صيانة وسائل الإنتاج

القسم : هندسة التصميم الميكانيكي

السنة : الخامسة

منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

صيانة وسائل الإنتاج

الدكتور
محمد غانم
أستاذ في قسم هندسة التصميم الميكانيكي

الدكتور
عصام قرقوط
أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم الميكانيكي

جامعة دمشق
١٤٤١ - ١٤٤٢ هـ
٢٠١٩ - ٢٠٢٠ م

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفهرس

الموضوع	الصفحة
الفهرس	٥
المقدمة	٧
الفصل الأول: أسس إصلاح الآلات	١٣
المبحث الأول: الخدمة التقنية لتجهيزات آلات التشغيل	١٥
المبحث الثاني: الأسس النظرية لإصلاح الآلات	٢٥
الفصل الثاني : الأوضاع الأساسية في الصيانة ومشكلاتها التنظيمية	٤٩
المبحث الثالث : تنظيم الصيانة	٥١
المبحث الرابع : تنظيم مكان العمل	٨٣
المبحث الخامس : أنظمة الصيانة	١٠٩
المبحث السادس: التخطيط والمتابعة	١٢١
المبحث السابع: أنظمة المعلومات	١٢٥
المبحث الثامن : الموارد البشرية	١٢٧
المبحث التاسع: الاعتبارات الاقتصادية عند تنفيذ الصيانة	١٣١
المبحث العاشر : نموذج مقترح للصيانة	١٣٣
الفصل الثالث: الصيانة الوقائية في المنشآت الصناعية ومبادئ التخطيط لهذه الصيانة	١٤٣
المبحث الحادي العاشر: الصيانة الوقائية	١٤٥
المبحث الثاني عشر: مبادئ تخطيط الصيانة الوقائية الدوريه	٢٠١
الفصل الرابع : التخطيط لصيانة المعدات والتجهيزات والصيانة الشرطية في المنشآت الصناعية	٢١٥
المبحث الثالث عشر: التخطيط لصيانة المعدات والتجهيزات الصناعية	٢١٧
المبحث الرابع عشر : الصيانة الشرطية في المنشآت الصناعية	٢٦٧

الفصل الخامس : تأثير الصيانة على وثوقية الآلات وارتباط مفاهيم الصيانة بالتطورات العلمية والتقنية ٢٨٥

المبحث الخامس عشر : الأعطال وعلاقتها بوثوقية الآلات ٢٨٧

المبحث السادس عشر : تأثير التطور العلمي والتقني على مفاهيم الصيانة وأساليبها ٣٠١

الفصل السادس : الخطة التكنولوجية والإنتاجية لعمليات الصيانة والإصلاح الشاملة للآلات ٣٢٣

المبحث السابع عشر:إدخال الآلات إلى الصيانة وتكنولوجيا عمليات التنظيف . ٣٢٥

المبحث الثامن عشر : تكنولوجيا كشف عيوب وتشوهات العناصر. ٣٥٣

المبحث التاسع عشر : تكنولوجيا عمليات تجميع الآلات بعد الصيانة. ٣٦٥

الفصل السابع : أسس تخطيط منشآت الصيانة والإصلاح ٣٨٩

المبحث العشرون : المسائل العامة المتعلقة بتخطيط (تصميم) منشآت الصيانة والإصلاح. ٣٩١

المبحث الواحد والعشرون: مزايا أقسام الإنتاجين الرئيسي والمساعد ٤٠١

المبحث الثاني والعشرون: تركيب الأبنية الإنتاجية والمخطط العام لمنشآت الصيانة والإصلاح. ٤١٧

الفصل الثامن: تكنولوجيا صيانة وتجديد عناصر الآلات ٤٢٥

المبحث الثالث والعشرون: تجديد وإصلاح عناصر الآلات بوساطة اللحام والتغطية السطحية باللحام ٤٢٩

المبحث الرابع والعشرون:بخ المعدن المنصهر وترسيب مساحيق المعادن ٤٥٧

المبحث الخامس والعشرون: التغطية السطحية بالغلفنة وبالمواد البلاستيكية ٤٧٧

المبحث السادس والعشرون: تجديد عناصر الآلات بالمعالجة الميكانيكية ٥١٧

تطبيقات عملية ٥٤١

المراجع العلمية ٥٤٣

قائمة بالمصطلحات العلمية ٥٤٥

١- مقدمة :

تشـــهد الأيام المعاصرة تطوراً متزايداً في بنية المنشآت الهندسية (الصناعية- الإنتاجـــية والخدمـــية)، ويرافق هذا التطور تعقيد متزايد في البنى الهندسية لمحتويات تلك المنشآت من المعدات والتجهيزات ذات الطيف الواسع جداً، كما يرافق ذلك ازدياد في التكامل والترابط بين محتوياتها. وأصبحت مهام الصيانة لمثل تلك المنشآت ومحـــتوياتها من المعدات الهندسية من المهام الصعبة. الأمر الذي دفع الاختصاصيين والمعنيين إلى بذل القدر الكبير من الجهود لتطوير الأساليب والنظم المتعددة المتعلقة بإدارة مهام الصيانة بحيث تتلاءم مع طبيعة عمل وبنية تلك المنشآت.

وتلعـــب الصـــيانة دوراً هاماً في الحفاظ على مقدرة المنشأة الهندسية على تقديم الوظائف المطلوبة منها بالشكل الاقتصادي الملائم، ووفق أزمنة التسليم المتفق عليها، وبالجودة المطلوبة حتى تحافظ المنشأة على سمعتها.

ويمكـــن أن **نحـــدد عدداً من الآثار الهامة التي تنتج عن تطبيق أساليب الصيانة الفعالة** على المنشأة الفنية وهي:

a- على إدارة المنشأة:

مـــن أهم العوامل التي تعنى بها الإدارة، هو الاستثمار الأفضل لرأس المال ورفـــع نسبة الربح، واختيار أسلوب الصيانة الأمثل (طبيعة وإدارة) للمنشأة الفنية، وهذا يؤدي إلى:

- تفادي خسائر الإنتاج الناتجة عن الأعطال الطارئة.
- خفض تكاليف الإنتاج بسبب الإدارة المثلى لمهام الصيانة بأقل التكاليف.
- التـــوافق مـــع متطلبات أنظمة الجودة،سواء كان ذلك للمنتج أو لبنية المنشأة أو لنظام العمل.

b- على فعالية الإنتاج:

- تطوير وتنظيم إدارة الإنتاج وتسهيل تنفيذ الخطط الإنتاجية.
- زيادة حجم الإنتاج.
- رفع جودة المنتج (أو الحفاظ على مستواه).
- الالتزام بمواعيد تسليم الدفعات الإنتاجية بشكل أدق.

c- على وسائل الإنتاج:

- رفع المردود الاستثماري لوسائل الإنتاج وتحقيق الفائدة القصوى من رأس المال الذي كرسَّ لها.
- رفع جاهزية وسائل الإنتاج، ومقدرتها على تحقيق الخطط الإنتاجية.
- الاستفادة من العمر الأقصى الممكن لوسائل الإنتاج.

d- على المحيط:

- تأمين سلامة المنشأة ومحتوياتها والعاملين فيها ومن حولها.
- التوافق مع متطلبات الحفاظ على البيئة.

وتحتل مسألة استثمار الإمكانات و الموارد المتاحة أهمية بالغة في ظل ظروف العمل والإنتاج في البلدان الناشئة، وذلك لأنها يجب أن تتوسع أفقياً وشاقولياً في آن واحد، وهذا ما يكلف كثيراً ويستدعي توظيف أموال طائلة في الأصول الثابتة التي تتمثل في الآلات والتجهيزات والمعدات والعدد والأدوات والإنشاءات.

وعندما تكون الإمكانات محدودة، فإن الاستغلال التام والاستثمار الأفضل لهذه الإمكانات والموارد يعتبر ضرورة ماسة في ظل **الظروف التالية:**

1-تزايد معدلات التقدم التقني والتقاني (التكنولوجي)، وما يطرحه من وسائل عمل حديثة ومتطورة.

2-التدفق الهائل للوسائل والسلع الحديثة الاستهلاكية والإنتاجية.

3-ظهـــور التقادم الأدبي (المعنوي) في كل المجالات، وهذا ما يجعل مسألة النوعية تقع تحت التأثير المباشر لذلك التقادم.

وتـــبرز في مقدمـــة جوانـــب مســـألة الاستثمار قضية جاهزية الآلات والمعدات والتجهـــيزات الموجودة، وهي تمثل وسائل العمل وأدواته. فالحرص على استمرار عمـــل تلـــك الوسائل بكفاءة تامة، خاصة خلال عمرها المفيد والفعال، وهذا ما تتـــيحه الخدمـــة والعناية المستمرة وما يطلق عليه بالأعمال الوقائية التي تهدف إلى حفـــظ الآلات بحالتها الجيدة وجاهزيتها الكاملة، تعتبر قضية في غاية الأهمية وسط المعطيات والظروف الحالية المشار إليها.

إن النتائج السلبية التي تفرزها الأعطال المفاجئة، وما يترتب عليها من توقفات غير مخططة في العمل والإنتاج، تدعو إلى ضرورة الإسراع بعملية الإصلاح [1] مع العلم أنـــه لا يمكن بسهولة السيطرة على عملية الإصلاح هذه دائماً بكفاءة تتيح تجنب الآثـــار الضارة للتوقفات المفاجئة وانعكاساتها السلبية على العمل والإنتاج، وبالتالي على اقتصادية أداء نشاط الصيانة والمنشأة بشكل عام.

إن الـــبديل يتمثل في العناية بالصيانة، وذلك لأنها تؤثر مباشرة في مخرجات المنشأة، أو تؤثـــر بصـــورة غـــير مباشرة، وذلك من خلال المساس بجودة المنتجات وعدم تحقيقها بالمستوى المطلوب، أو من خلال الحوادث وما تفرزه من إصابات وأمراض مهنية، تؤدي إلى ضياعات وخسائر ضخمة. إن ذلك كله يؤدي إلى خفض شديد في إنتاجية العمل في المنشأة أياً كان نوعها.

تلعب الصيانة الدور الأكبر في الحد من الهدر الزمني المتمثل بالتوقفات الطارئة، التي تؤدي إلى الضياعات الزمنية، وتكون النتيجة الاستفادة الجزئية من الموارد المتاحة.

1-الإصلاح (repair): هو تنفيذ بعض العمليات التي تهدف إلى إصلاح أجزاء من الآلة لإعادتها لحالتها التشغيلية.

إن الهدر يؤثر سلباً على المنتج النهائي، ويؤدي إلى خفض الإنتاجية ويحد بالتالي من فعالية العمل ويزيد من تكاليفه، وعندها ترتفع كلفة السلع والمنتجات.

وتعـرّف الصيانة بأنها مجموعة الإجراءات والأعمال الفنية التي تتم بقصد الحفـاظ على أداء عمل آلة ما، أو جزء أو مجموعة أجزاء منها، وإعادتها إلى حالتها الأولـية. وهناك تعريف آخر مختصر، ينص على أن الصيانة هي إصلاح التلف أو العطل الناتج عن الاستعمال.

إلا أن الصـيانة في حقيقة الأمر لا تقتصر على المفهوم التقليدي، بمعنى أنها ليست فقـط جملـة أعمـال فنية تتم لغرض المحافظة على الآلات والمعدات أو استعادتها لخصائصـها الفنية، بل هي تمثل نشاطاً هاماً في المنشأة، فلها مستلزماتها ومقوماتها، وهـي تشكل نظاماً إدارياً له مدخلاته ومخرجاته الذي يسعى إلى ضمان أداء موثـوق لوسـائل العمل. ولهذا، لم يعد يقتصر نشاط الصيانة على تحقيق الوظيفة الفنـية لـلآلات، بل لها **دور اقتصادي** يتمثل في اختصار حصتها من التكاليف، **ودور وقـائي** يسعى إلى الحد من الإصابات والحوادث المباشرة، ولها **دور إنتاجي** أيضاً، من خلال تصنيع القطع التبديلية (قطع الغيار) التي يعهد بها إلى قسم الصيانة عـندما تكـون الحاجـة كبيرة والإمكانات مناسبة لتأسيس ورشة مركزية لذلك الغرض. ولهذا يمكن اعتبار **الصيانة أنها استثمار حقيقي** يؤدي إلى تحسين استخدام الآلات والمعـدات والتجهيزات، مما يزيد من إنتاجيتها بشكل ينعكس على تطور المنشـأة ويرفع درجة استقرار العمل والإنتاج والعاملين فيها، وكذلك من خلال دورها كإنتاج مساعد يقدم قطع الغيار ويلبي حاجات المنشأة منها.

وتـبرز **أهمـية الصيانة** من خلال مضمونها ودورها وأهدافها، وكذلك من خلال مسـاهمة نفقاتهـا بحوالي (5%) من قيمة المنتج، وحجم القوى العاملة فيها الذي يـتراوح بـين (5 إلى 15%) مـن مجموع العاملين في المنشأة، وأيضاً من خلال

تكاليفها التي تشكل حوالي (15-20%) من قيمة الآلات. وإذا ما علمنا بأن نسبة (30%) من الآلات الجديدة التي تركب، هي بسبب دواعي الإحلال والتجديد، يتبين لنا حجم الاستثمارات التي تستدعيها الصيانة ونشاطها وأقسامها.

ويمكن **تلخيص الدور الهام الذي تلعبه عمليات الصيانة** من خلال دورها في تحقيق الأهداف التالية:

1- المحافظة الدائمة على الحالة الجيدة للآلات والمعدات وضمان حس الأداء وبالتالي جودة الإنتاج.

2-الإقلال من حدوث الأعطال وما تسببه من خسارة اقتصادية لعملية الإنتاج بسبب توقف الإنتاج وتكاليف إعادة التشغيل.

3-زيادة العمر الافتراضي للآلات، وبالتالي الحصول على عائد اقتصادي أكثر جدوى.

4-تحقيق ظروف تشغيل مستقرة، وبالتالي زيادة شروط ومناخ السلامة الصناعية لمواقع العمل.

بالإضافة إلى أهداف أخرى متعلقة بمواقع العمل المختلفة.

ونظراً للتكلفة الباهظة المالية لمكونات المشاريع التي تنفق حتى إكمال المشروع، والتي تبلغ في معظم الأحيان ملايين الدولارات، فمن البديهي أن تتم المحافظة على تلك المكونات الباهظة القيمة من جميع المؤثرات التي تؤدي إلى تلفها أو إنقاص عمرها الافتراضي. وتتم المحافظة على هذه المكونات بإجراء الصيانة الصحيحة المخططة والمدروسة لجميع مكونات المنشأة بدون استثناء. والمشكلة تكمن في بعض الأحيان بأن **إدارة المنشأة تتجاهل دور الصيانة الصحيحة** بجميع أنواعها المختلفة بدافع تقليص المصروفات لزيادة الربح، وتلجأ في العادة إلى اعتماد نظام الصيانة التقليدية القديمة (الإسعافية)، وهي صيانة الإصلاح وقت حدوث العطل.

وعندها تدفع أضعاف ما تم توفيره من أموال نتيجة تجاهل تطبيق الصيانة الصحيحة بجميع أنواعها. وقد تنبهت جميع الدول الصناعية لذلك، وتخلت عن الاعتماد على نظام الصيانة الإسعافية منذ عهد الخمسينات، وطورت برامج الصيانة لديها ليشمل جميع أنواع الصيانة الوقائية والتوقعية والرقابية والإنتاجية وغيرها من الأنواع المختلفة، التي تضمن الحفاظ على مكونات المنشأة وزيادة عمرها الافتراضي وجودة وزيادة الإنتاج. ولاحقاً سوف نلقي الضوء على الطريقة الصحيحة لتطبيق الصيانة بجميع أنواعها وتأثيرها على مكونات المنشأة المختلفة.

الفصل الأول

أسس إصلاح الآلات

المبحث الأول : الخدمة التقنية لتجهيزات آلات التشغيل.

المبحث الثاني : الأسس النظرية لإصلاح الآلات

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المبحث الأول

الخدمة التقنية لتجهيزات آلات التشغيل

يرتبط عمل تجهيزات آلات التشغيل بصحة استثمارها. يحمل كلاً من العاملين على آلات التشغيل والقائمين على ضبط هذه الآلات وخدمتها، مسؤولية خاصة في المحافظة على الحالة التقنية وأيضاً من أجل استثمار تجهيزات هذه الآلات بشكل صحيح. يجب أن يعرفوا عمل هذه التجهيزات بشكل جيد وأن يتقيدوا بقواعد الاستثمار: مراعاة النظام التكنولوجي المستخدم، وعدم السماح بحدوث أية تغييرات في نظام القطع؛ تنفيذ عمليات الإصلاح والخدمة بشكل دوري؛ القيام بعمليات التنظيف والتزييت للتجهيزات في الأوقات المحددة، واستبدال سوائل التبريد والزيوت ، وتنفيذ الأعمال الأخرى المتعلقة بالخدمة.

§ 1- صفة وأشكال الخدمة التقنية (Servicing) :

يخصص نظام الخدمة التقنية للتجهيزات من أجل منع أو التخفيض حتى الحد الأدنى لتوقفاتها، ولتحقيق صلاحياتها للاستخدام بشكل اعتيادي خلال كامل مدة الخدمة.

يحقق نظام الخدمة التقنية تنفيذ الأعمال التالية: تزويد التجهيزات بكل من المشغولات، وأدوات القطع، والمثبتات، والزيوت، وسوائل التبريد وبالمركبات الأخرى الضرورية؛ شحن المشغولات إلى المخازن، التزييت يومياً، والصب الإضافي للمستحلب، وتخليص الآلات من الرايش، وتنظيف التجهيزات...إلخ؛ الكشف عن الأعطال وتلافيها في الأوقات المحددة؛ استبعاد العيوب (fault) البسيطة عن طريق استبدال أو تعمير (restoration) العناصر والوحدات المجمعة التي لا تستطيع أن تقوم بوظائفها.

يجب أن تتم الخدمة التقنية للتجهيزات بشكل مخطط. تؤكد التجربة العملية أن الخدمة غير المخططة تؤدي إلى النمو الحاد في مقادير أعطال التجهيزات، وخفض أعمارها، وإلى الزيادة العامة في النفقات الإنتاجية. تضم الخدمة التقنية التحضير التقني للعمل، والخدمة التقنية أثناء الاستخدام، والمراقبة النشطة للعمل، والإجراءات الوقائية واستعادة صلاحية الاستخدام للعناصر التي تمتنع عن القيام بوظائفها.

§ 2- تحضير تجهيزات آلات التشغيل للعمل.

في بداية يوم العمل ينجز جهاز الخدمة مايلي: التفتيش (osmoscope)، بهدف إظهار الأعطال الخارجية غير المرئية (الانكسار، الشقوق، تسرب الزيت...إلخ)؛ اختبار الوضع الأولي لكل ميكانيزمات آلات التشغيل وآلات الوحدات القياسية في الخط الإنتاجي؛ فحص مستوى الزيت وفق مؤشر الزيت (oil-level-gauge) في الخزانات والعلب والأحواض التي تستخدم للتزييت؛ فحص حالة أدوات القطع؛ التعرف إلى الملاحظات المسطرة في كتيبات التشغيل (للمخطوط المؤتمتة، خطوط الإنتاج المرنة، مجمعات التشغيل التقنية) من قبل عمال الخدمة في الوردية السابقة، وعند الضرورة إزالة العيوب المشار إليها؛ تزييت التجهيزات وفقاً لما هو موضح في لوحة التزييت؛ فحص الأتمتة الافتتاحية بواسطة زر "إيقاف الخلل"؛ فحص حالة الإشارة الوقائية الصوتية (أو الضوئية) قبل تشغيل المحركات الكهربائية؛ تشغيل التجهيزات وفق الشوط المساعد أو وفق نظام المعايرة، وفحص الضغط في النظام الهيدروليكي، وتشغيل نظام التزييت، وفحص عمل أجهزة التبريد، وإزالة الأعطال التي يمكن مشاهدتها؛ تشغيل المحركات الكهربائية بمقدار 5-10min قبل أن تعمل التجهيزات وفق الدورة المؤتمتة؛ تشغيل نظام التزييت لمدة 20 دقيقة قبل أن تعمل آلات التشغيل، فيما إذا كانت تحوي مدحرجات

هيدروديناميكية (hydrodynamic bearing)؛ فحص احتياط المشغولات، مع الأخذ بالحسبان مخطط توريدها؛ تشغيل التجهيزات للعمل.

يجب أن يتم **التسليم**، فيما بين الورديات، لكل من التجهيزات المؤتمتة بما في ذلك الأنظمة الإنتاجية المرنة، والمجمعات التكنولوجية الحاوية على الرجال الآلية، وهي في حالة العمل أو عندما يكون مقدار التوقفات قليلاً. وعند التسليم فيما بين الورديات، يمنع مناولة السلع نصف المصنعة (semifinished item)، المتجمعة في المواقع التشغيلية وغير التشغيلية، وأيضاً نزع أدوات القطع التي ضُبطت.

عند توقف الخط في نهاية الوردية، فإنه من الضروري إعطاء الأمر "**التوقف المسبق**" أو منع إعطاء الأمر من أجل بداية الدورة التالية. بعد توقف آلات الوحدات القياسية في الوضعية الأولية، فإنه من الضروري أن تُفصل التجهيزات الكهربائية العائدة لآلة التشغيل.

يجب أن تختبر المنتجات المرفوضة من قبل أجهزة الأتمتة والفحص بكل عناية عند تسليم التجهيزات للمناوب، بهدف عزل الخلل النهائي وتحديد أسبابه. فيسلم المنتج المعطوب، بعد القيام بالإجراءات القانونية، إلى مخزن العزل، حيث تتم معالجة الخلل القابل للإصلاح على التجهيزات وهي في حالة الخدمة.

يجب، قبل انتهاء الوردية، **إجراء الأعمال الخاصة بتنظيف التجهيزات** وغير المرتبط بتوقفها. عندما تكون كمية الرايش كبيرة، وخاصة فيما إذا كان ناتجاً عن حديد الصب فإنه من الضروري أن يتمّ إيقاف التجهيزات عن العمل، ومن ثم تنظيفها.

-**تحضير المشغولات**. يقوم عامل النقل بتسليم المشغولات إلى التجهيزات، ويكون ذلك بمساعدة وعاء (container) إفرادي دوراني، على أن تكون سعته محدودة، بحيث يتحقق ذلك بمساعدة عمال التحميل.ومن خلال الخزن متعدد الطبقات في

رفـــوف وأوعـــية خاصة. تختبر نوعية المشغولات في الأقسام الخاصة بذلك. تزود المشغولات التي تستجيب للمتطلبات التقنية بـــ "شارة النوعية" .

يقـــوم العاملون على آلات التشغيل وعمال الضبط والمعايرة خلال الوردية بالتأكد من أن المشغولات ترد بالكمية المطلوبة وبالأوقات المحددة، وأيضاً يتم فحص نوعية المشغولات بشكل دوري للتأكد من أنها تتمتع بالمتطلبات التقنية اللازمة.

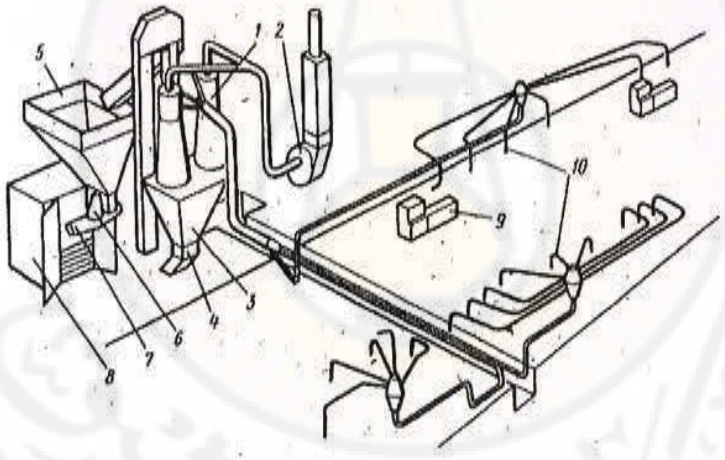
§ 3- الخدمة التقنية للتجهيزات خلال العمل.

- **خدمـــة نظـــام التزييـــت.** تتلخص هذه الخدمة في الآتي: استبدال الزيت الذي انتهـــت مدة خدمته (انسكاب الزيت الذي يحتاج إلى استبدال من الحوض، غسيل وتنظـــيف الحـــوض، امتلاء الحوض بزيت جديد، إكمال تزويد الحوض بالزيت)، التزييـــت الـــدوري للتجهـــيزات، جمع وتسليم الزيت المستخدم، المراقبة المخبرية الدوريـــة لنوعية الزيت المستخدم. يتم تزييت التجهيزات في الأقسام الإنتاجية وفق مخطـــط خـــاص. من أجل كل وحدة من التجهيزات، يدخل في تركيب وثائقها التكنولوجـــية "لوحة التزييت". يقوم بالتزييت اليومي للتجهيزات ومراقبة صلاحية حالـــة نظـــام التزييت كلٌ من العاملين على آلات التشغيل وعامل التشغيل وعامل المعايـــرة. يقوم عمال التزييت بتسليم الزيوت إلى مواقع التشغيل وصبّ الزيت في الأحواض واستبدال الزيوت المستخدمة.

- **تنظـــيف التجهيزات.** يتشكل:عند القطع الرايش الدقيق والشبيه بالغبار (خلال التحلـــيخ- مـــلاط رقيق القوام؛ Slurry)، الذي يترسب على التجهيزات. ومن الضـــروري عـــند الاستثمار تنظيف التجهيزات (إزالة الرايش والملاط والأوساخ، مسح الموجهات وهي جافة، ومن ثم وبشكل خفيف يتم التزييت بطبقة رقيقة من الزيـــت). يخصص في نهاية كل وردية 15-10 دقيقة من أجل تنظيف التجهيزات. يمنع تنظيف التجهيزات خلال العمل، منعاً لحدوث الإصابات.

تعتـــبر أساليب التنظيف اليدوية صعبة ولا تحقق التنظيف الجيد، أما أسلوب النفخ فـــيودي إلى توســـيخ كل من التجهيزات المحيطة وأماكن العمل. ويعدّ الامتصاص (draw off) هو الأسلوب الأمثل، ومن أجل ذلك تستخدم آلات التهوية (الخاصة أو العامـــة)، التي تستند على مبدأ الانقذاف (ejection). يتم جمع الغبار أو الرايش بواســـطة المرشـــحات (filter)، أو باســـتخدام الفرازات المخروطية (cyclone) والأجهزة المركبة، أما الهواء الماص فينقذف إلى الوسط المحيط (environment).

عند تشغيل المشغولات المصنوعة من حديد الصب، فإنه يتم استخدام نظام التهوية (Ventilation system) المستند على مبدأ امتصاص كل من الرايش والغبار (شكل 1.1). يتم امتصاص الرايش الناعم والغبار من آلات التشغيل 9 .



شكل 1.1– نظام امتصاص الرايش والغبار من التجهيزات.

بواســـطة الأنابيـــب 10(pipe-line). تتكون الخلخلة (rarefaction) في الأنابيب بمســـاعدة المراوح 2. يترسب الغبار في الفرازة المخروطية 1، ومنها يُفرغ في القمع الانـــتقالي 3، ومـــن ثم إلى الصمام 4. يذهب الرايش الناعم إلى القمع الأساسي5، الذي يملك مزلاج التوجية 6، ومنه إلى الوعاء 8 من خلال الصينية 7.

– **تنظـــيف المساحة المحيطة بالتجهيزات**. إن القيام بهذه المهمة يعتبر من واجبات جهـــاز خدمـــة التجهـــيزات (عامل تشغيل الآلة، عامل الخدمة والتشغيل، عامل المعايرة).

لا يسمح للتجهيزات أن تعمل بدون وجود الغلاف المناسب، والذي يحفظ المحيط حـــول الآلـــة من الرايش ورذاذ السائل، وأيضاً بدون مجمعات للسائل المستحلب، وغير ذلك من وسائل الحماية المختلفة.

تســـتخدم من أجل تنظيف المساحة الإنتاجية (operating area) الوسائل الممكنة (على أن تكون هناك أماكن لمرورها) (mechanized facility)، مثلاً آلة التنظيف ذات الاســـتطاعة المناســـبة. إنها تتمتع بمقدرة كبيرة على المناورة، ومجهزة بفرشاة دائرية جانبية وذات محور عمودي للدوران، وأيضاً هناك فرشاة أسطوانية موجودة في القسم السفلي للآلة.

–**تجمـــيع الرايش**. توجد في أكثرية آلات التشغيل المؤتمتة أنظمة لتصريف الرايش، وتستخدم في الخطوط الإنتاجية المؤتمتة أنظمة مركزية مؤتمتة (automatic-central system) لســـحب الـــرايش، ولكن تصريف الرايش من آلة التشغيل يتم بشكل دوري من قبل جهاز الخدمة. عندما لا يكون هناك جهاز مركزي لسحب الرايش في الورشـــة، فإن تنظيف أوعية التجميع، حيث يرد الرايش إليها من البساط الناقل لآلات التشغيل، يتم عند الامتلاء وبما لا يقل عن مرتين في الوردية.

– **خدمـــة نظام التغذية بالسائل المستحلب**. تتم خدمة النظام المركزي المستخدم للـــتغذية بالســـائل المستحلب من قبل جهاز خاص للخدمة، أما عند وجود النظام اللامركـــزي (المؤلـــف من حوض مع أوعية للترسيب، مرشح مع جهاز للضخ)– فمن قبل عامل التشغيل أو عامل المعايرة. يستخدم احتياط السائل المستحلب خلال 2-3 أســـبوع (عند العمل من خلال ورديتين)، ويضاف عليه بشكل دوري، لأن

كميـــته تقـــل، بسبب التبخر، والطرطشة (sprinkling)، والانجراف مع كل من المنـــتجات والـــرايش. بعد انتهاء مدة صلاحية استخدام السائل المستحلب، فإنه يستبدل بشكل كامل.

§ 4- المراقبة النشطة لعمل التجهيزات.

يقوم جهاز الخدمة بالمراقبة النشطة (active observation) لحالة التجهيزات. عند المراقبة النشطة، فإن كلاً من عامل التشغيل وعامل المعايرة يتلقيان بشكل ثابت المعلومات عن حالة التجهيزات، ويتخذان الإجراءات حتى لا تظهر الأعطال، وفي الحالة المعاكسة-فمن الضروري أن يتم إيقاف الآلة.

عند العمل العادي، فإنه يجب على كل من عامل التشغيل وعامل المعايرة القيام بما يأتي:

مراقـــبة عمل التجهيزات بشكل ثابت من خلال لوحة عرض (display panel)، وإشارات المصابيح الكهربائية واللوحات، وغير ذلك من مصادر المعلومات؛ مراقبة حالـــة ميكانـــيزمات آلات التشـــغيل وتجهـــيزات الـــنقل، واختبار مقدرة هذه الميكانـــيزمات على القيام بوظائفها، والاختبار الدوري لحالة أدوات القطع ونوعية العناصـــر المنـــتجة؛ مراقـــبة عمل النظام الهيدروليكي، والاختبار الدوري للضغط ودرجة حرارة السائل، واختفاء التسرب؛ مراقبة تغذية السائل المستحلب، والتأكد بشـــكل خاص من اتجاه انبثاق هذا السائل؛ المراقبة الدورية لامتلاء المخازن، ولمدة دورة التجهيزات؛ تسجيل المعلومات عن حالة التجهيزات (التوقفات الطويلة، زمن إجراء الخدمة التقنية والصيانة المخططة، أسباب التوقفات).

خـــلال المراقبة النشطة فإن جهاز الخدمة يدور حول التجهيزات لمراقبة حالة هذه التجهـــيزات ولتنفـــيذ أعمال الضبط بدون توقيفها. بسبب الاختلاف في كل من قابلـــية التشـــغيل (workability) لمجموعات المشغولات المختلفة، وخواص القطع

ونوعـــية أداة القطـــع، فإن هذه الأداة يمكن أن تتعطل قبل أن يحين موعد استبدالها المخطـــط له. وبناءً على ذلك، فإنه لابد من وضع معايير لتثلم (blunt) أداة القطع ولكيفـــية إجـــراء الاختبار الدوري لحالتها، وخاصة في المواقع المحددة، ويتم خلال ذلك استعمال أية توقفات للآلة.

مـــن أجـــل أدوات القطع المخصصة للتشغيل الإنهائي، فإن معيار التثلم هو خروج أبعـــاد العناصر من مجال التسامح التشغيلي والخشونة المرتفعة للسطح المشغل. تعتبر نـــتائج قـــياس المنتجات الجاهزة المعيار الأكثر أماناً المستخدم من أجل تقدير حالة أدوات القطـــع. إن بعض أدوات القطع المخصصة من أجل التشغيل الأولي، ولتكن ريـــش الثقب، تبدأ عند التثلم الشديد بالصرير، وهذا يعتبر مؤشراً إضافياً لضرورة استبدالها قبل انتهاء فترة العمر (tool life) المخطط لها. هناك بعض أدوات القطع، ولتكن أقلام القطع وسكاكين التفريز النهائي (End mill)، تترك عند التثلم الشديد خطوطـــاً حلقية على السطح المشغل. من الضروري عند الفحص الدوري لأدوات القطع الانتباه إلى اهتراء السطوح الخلفية لأدوات القطع.

§ 5-استعادة صلاحية الاستخدام (Serviceability) للتجهيزات.

تظهـــر خلال عمل آلات التشغيل، وغيرها من آلات الوحدات القياسية تعطلات وهي تزال بمساعدة جهاز الخدمة. إنه يقوم أيضاً باستبدال ومعايرة أدوات القطـــع. يمكـــن استعادة صلاحية الاستخدام عند ظهور مثل هذه التعطلات، عن طـــريق ضـــبط ميكانيزمات التجهيزات بسبب اهتراء العناصر (ضبط مدْحرجات أعمـــدة الـــدوران، شـــد أســـافين وصفائح المسك، ضبط القارنات الاحتكاكية والمكابح، ضبط الوصلات القلاووظية وغير ذلك من الأعمال المشابهة)، واستبدال أدوات القطع المتآكلة والمكسورة والجلب الدليلية المتآكلة، وغير ذلك من العناصر المتعطلة.

تـــتوقف مـــدة إزالة التعطل على قابلية الإصلاح (maintainability) للتجهيزات، وخـــبرة العـــامل ووجـــود القطع التبديلية. من أجل الاستعادة السريعة لصلاحية الاســـتخدام، فيجـــب أن يكـــون هناك مكان لكل من محطات الغسيل والتزود بالأدوات والمواد الضرورية، والأدوات التخصصية، والمواد المساعدة، وأيضاً وسائل الاتصال من أجل الاستدعاء السريع لعمال الإصلاح وغيرها من عمال الخدمة.

يجـــب مراقبة أدوات القطع ذات الاهتراء السريع بشكل ثابت. عندما يكون عمر أداة القطـــع مســـتقراً فإنه من الملائم استخدام نظام الفحص والاستبدال الوقائي. وعـــندما يكون مجال تذبذب فترات العمر كبيراً، فإنه يتم إدخال الفحوص الوقائية لأدوات القطـــع تقريباً خلال كل ثلث الفترة الحسابية للعمر. عند القيام بالفحص، فإن العامل يستبدل فقط أدوات القطع المثلومة.

§ 6- القيادة الإدارية- التقنية لاستثمار التجهيزات المؤتمتة.

يجـــب، من أجل تحقيق الاستثمار للتجهيزات المؤتمتة، تأسيس نظام القيادة الإدارية –التقنية. وفي مثل هذه الحالة فقط، يمكن تنظيم استثمارها الأمثل.

إذا كان، في القسم الإنتاجي المعني، يتم استثمار واحدٍ من الخطوط الإنتاجية المؤتمتة أو اثـــنين، فإنـــه يكفي وجود بعض المهندسين المسؤولين في كل وردية من أجل الإشـــراف عـــلى اســـتثمار الخطوط المعنية. تتم خدمة كل خط بواسطة مجموعة متكاملة من الاختصاصيين برئاسة أحد خبراء المعايرة المتميز بمعرفته العلمية والفنية. يقـــوم رئـــيس المجموعة بالأداة الاستثمارية لعدة خطوط. إذا كان يوجد في القسم العديـــد مـــن الخطوط الإنتاجية، فإن المصلحة الإدارية –التقنية ملزمة بتعيين أحد الفنيين كمساعد لرئيس المجموعة.

إذا كان الخط الإنتاجي يدخل في تركيب القسم المؤتمت (automatic plant) فإن إدارته يجب أن تتم مع الأخذ بالحسبان خاصية مسائل الاستثمار، حيث يمكن حلها

بإدارة نائب رئيس القسم، المسؤول عن صيانة واستثمار التجهيزات.

عند وجود عدد غير كبير من التجهيزات المؤتمتة في القسم الإنتاجي، فإنه تتم الاستعانة بمجموعة من العمال الخبراء المختصين الذين يمتلكون معلومات عامة بالصيانة والمعايرة، وهم يقومون بكل أنواع الأعمال الخاصة بالخدمة التقنية والإصلاحات الجارية. إذا كان يوجد في نفس القسم العديد من الخطوط، وهي تعمل في شروط القسم الإنتاجي المؤتمت، فإن العمال الخبراء المسؤولين عن الصيانة والإصلاح والمعايرة، يجب أن يكونوا متخصصين، بحيث يكون كل عامل-خبير مسؤولاً عن دائرة ضيقة ومحدودة من المسائل الفنية، مثلاً يكون أحدهم مسؤولاً فقط عن التجهيزات الهيدروليكية، وآخر- عن وسائل النقل والحركة...إلخ.

المبحث الثاني

الأسس النظرية لإصلاح الآلات

§ 1- صفة العمليات الضارة، المسببة لضياع الآلة لصلاحيتها في الاستخدام.

عند استثمار الآلات، فإن العمليات المسببة لحدوث الضرر (عطب) وتحطم (failure) عناصر الآلات، تسمى بـ "الضارة". ضرر (damage) في العنصر-هو الضياع الجزئي لخواصه الوظيفية. التحطم-هو أية عملية حادثة في المادة أو على سطحها، والتي تؤدي إلى عدم إمكانية تنفيذ المهام المعطاة من قبل العنصر.

ينسب إلى **العمليات الضارة**: اهتراء السطوح العملياتية للعناصر بسبب الاحتكاك، تحطم وعطب العناصر تحت تأثير الأحمال المختلفة (التشوه اللدن، الانكسار- fracture-، تعب المعادن، التحطم الحراري وبسبب الانفراغ الكهربائي)، وتحت تأثير الأوساط النشطة (active medium) كيميائياً (التآكل الكيميائي والكهروكيميائي)، ضياع الخواص الوظيفية المعطاة للعنصر (إزالة التمغنط- demagnetization ،ضياع المرونة)....إلخ.

من حيث **سرعة الحدوث**، فإن العمليات الضارة، حسب وجهة نظر العالم برونيكوف، تُقسم إلى **ثلاثة مجموعات**: سريعة الحدوث، ومتوسطة السرعة وبطيئة.

تُنسب إلى العمليات السريعة الحدوث: تذبذبات الأحمال العملياتية، اهتزازات الأجزاء الآلية، وتغير قوى الاحتكاك في الوصلات المتحركة. يمكن أن تقاس دورية تغير العمليات السريعة الحدوث بأجزاء من الثانية. تُنسب إلى العمليات متوسطة

السـرعة المقاسـة بالدقائق والساعات، الشروط المناخية للاستثمار (درجة حرارة الوسـط المحيط والآلة نفسها، رطوبة الوسط المحيط). تُنسب إلى العمليات البطيئة المقاسـة بالأيـام والشـهور، اهتراء العناصر، التآكل (corrosion) وتعب المعدن (fatigue of metal)...إلخ.

لا يمكن، بشكل كامل، التخلص من العمليات الضارة. يمكن تخفيف حدوث مثل هـذه العمليات، عن طريق إجراء الخدمة التقنية والصيانات البسيطة، وهذا يحقق صلاحية الاستخدام (Serviceability) للآلة. ولكن مع مرور الزمن، فإن صلاحية الاسـتخدام للآلة، وبغض النظر عن الخدمات التقنية والصيانات البسيطة التي يتم إجـراؤها، تنخفض ويصبح استثمار الآلة غير ملائم من الناحية الاقتصادية، أو غير ممكـن مـن الناحـية التقنية. في هذه الحالة، فإن الآلة تخضع للصيانة الشاملة، أو للتنسيق بعد العديد من الإصلاحات الرئيسية. لاحقاً، تتم دراسة فحوى العمليات الضارة وطرائق تخفيف تأثيراتها السلبية.

§ 2- أشكال اهتراء عناصر الآلات :

إن **الاهـتراء العـادي** (wear-and-tear)، هو تفاعل تتغير خلاله بشكل تدريجـي أبعـاد الجسم عند الاحتكاك، وهو يظهر على شكل انفصال للمادة من سطح الاحتكاك و (أو) التشوه المتبقي (أو المتخلف residual deformation) لهذا السـطح. بنتيجة الاهتراء يحدث التآكل، وعادة يمكن التعبير عنه بوحدات المقادير الخطية، وفي حالات أخرى –بوحدات الكتلة.

يعتـبر اهـتراء العناصر واحداً من الأسباب الأساسية المؤدية إلى خفض مدة خدمة الآلـة (service life) . يرتـبط الاهتراء بمجموعة من العوامل، وبشكل خاص، بشروط الاحتكاك.

a) أشكال الاحتكاك. الاحتكاك الخارجي، وهو عبارة عن ظاهرة المقاومة للتحرك النسبي، الظاهر بين اثنين من الأجسام في مناطق تلامس سطوحهما وفق المماس المتكون بينهما.

يُقسم الاحتكاك إلى سكوني وحركي. احتكاك السكون (friction of rest) هو احتكاك اثنين من الأجسام عند الإزاحة المسبقة. احتكاك الحركة (أو الديناميكي) (dynamic friction)- هو احتكاك اثنين من الأجسام، واقعين في حركة نسبية.

حسب نوع الحركة النسبية، فإن الإحتكاك يمكن أن يكون: انزلاقياً (sliding)، تدحرجياً (اهتزازياً – rolling)، وتدحرجياً مع الانزلاق (sliding and rolling) . كأمثلة عن احتكاك الاهتزاز مع الانزلاق وهو الاحتكاك بين أسنان المسننات عند استخدام الحركة المسننية، واحتكاك الكريات والمدحرجات وفق سطوح حلقات الرولمانات ذات الكريات والرولمانات.

حسب وجود التزييت بين الأجسام المتلامسة، فإن الاحتكاك يمكن أن يكون جافاً (dry)، شحمياً (greasy، أو الاحتكاك على الحد – boundary)، وسائلياً (friction of complete- fluid- lubrication).

* **الاحتكاك الجاف:** هو احتكاك حركة اثنين من الأجسام الصلبة، وبدون تزييت على السطوح المتلامسة. يمكن الحصول على هذا الاحتكاك بالشكل النظيف في شروط التفريغ المطلق، أي عند اختفاء الوسط المحيط. في الناحية العملية، يقترب من شروط الاحتكاك الجاف عمل الجنزير في الأرض الرملية الجافة. يقع معامل الاحتكاك في الحدود 0,1-0,8.

* **الاحتكاك الشحمي (أو الاحتكاك على الحد):** هو احتكاك حركة اثنين من الأجسام الصلبة، التي تملك على سطوحها طبقة غير مهمة (عدة جزيئات) من المادة التزيتية (بحدود 0,1μm)، والتي تتمتع بخواص متميزة عن الخواص الحجمية للسوائل

عـــند وجود الاحتكاك السائلي. يتسم الاحتكاك الحدودي بعلاقة متبادلة فيزيائية كيميائـــية خاصـــة للزيت مع سطح الاحتكاك، وتعتمد طبيعة الاهتراء على مقدار الحمل ودرجة الحرارة.

* **الاحـــتكاك السائلي** : هو عبارة عن ظاهرة المقاومة للتحرك النسبي التي تتكون بـــين اثنين من الأجسام المتلامسة، المفصولين بطبقة من المادة التزييتية، حيث تظهر فيها خواصها الحجمية. ومعامل الاحتكاك السائلي يساوي 0,001-0,008. ويعتمد ظهور الاحتكاك السائلي على مقدار السرعة النسبية للأجزاء المتحاكة وطريقة دفع الزيت ولزوجته. إن الصفة الأساسية للاحتكاك هي قوته، أي قوة المقاومة للتحرك النسبي لاثنين من الأجسام عند الاحتكاك.

b) **أشـــكال الاهتراء**: يعد اهتراء (wear) كل من الموجهات وأعمدة الجر (lead screw) وميكانيزمات الربط والتثبيت، وأجزاء الاحتكاك المختلفة، سبباً رئيساً في ضياع آلة التشغيل لدقتها الأولية خلال عملية استثمارها (usage). بناءً على ذلك، فـــإن رفـــع وثوقـــية آلات التشغيل يتعلق بالدرجة الأولى برفع مقاومتها للاهتراء (wear-resistance).

يُقســـم الاهـــتراء إلى ثـــلاث مجموعات أساسية: ميكانيكي، جزيئي- ميكانـــيكي وتآكـــلي- ميكانيكي. يظهر الاهتراء الميكانيكي عند التأثير التبادلي الميكانـــيكي لمواد المنتج؛ يحدث الاهتراء الجزيئي- الميكانيكي بنتيجة التأثير التبادلي لـــلمواد والتأثير بآن واحد للقوى الجزيئية أو أحادية الذرة (monatomic force)؛ يحـــدث الاهتراء التآكلي- الميكانيكي (mech-anochemical wear) عند احتكاك المواد الداخلة في تأثير تبادلي كيميائي مع الوسط المحيط.

* **الاهـــتراء الميكانيكي (mechanical wear)**: يُقسم هذا النوع من الاهتراء إلى اهتراء ناتج عن الحبيبات الحاكة، والاهتراء التعبي.

– **الاهتراء الناتج عن الحبيبات الحاكة (abrasive wear)**: هو عبارة عن عملية، حيث تتحطم خلالها السطوح المتلامسة بسبب الخدوش (scratch) أو القطع بنتيجة تأثير الأجسام الصلبة أو الجزيئات. يمكن أن تسقط الجزيئات الحاكة (abrasive particle) على سطوح المواد بنتيجة الترشيح (filtering) غير المقبول للزيت، أو بنتيجة المتكونات الصلبة للحجوم الميكروية (microscopic volume) المتحطمة، وأيضاً يمكن أن تكون كنواتج عن أكسدة المواد التزيتية. هناك بعض العناصر، يمكن أن تعمل بشكل غير مباشر في أوساط حاكة(abrasive medium). وفق المعطيات المتوفرة، فإن الاهتراء الحاك يمكن أن يقع في الحدود 0,5-50 µm/h.

هناك **أنواع للاهتراء الحاك**، ويأتي في مقدمتها الاهتراء الحاك الهيدروليكي أو الغازي، حيث يحدث الاهتراء عندئذ، بنتيجة تأثير الجزيئات الصلبة على المادة، والتي توجد عادة في التيارات السائلة أو الغازية.

وأيضاً، هناك **أنواع للاهتراء الميكانيكي–الاهتراء الفجوي**(cavitation erosion) للسطح، والذي يظهر عند الحركة النسبية للجسم الصلب في السائل في شروط الفجوات، أي عند اختلال استمرارية حزمة السائل مع تشكل فقاعات فجوية (هوائية)، والتي تقل في الحجم بسرعة كبيرة ومن ثم تنفجر. وهذا يؤدي إلى حدوث صدمة هيدروليكية للسائل مع سطح العنصر، ومع تشكل تحطمات على شكل نخاريب (cavity) والتي تقع أقطارها في الحدود 0,2-1,2mm.

– **الاهتراء التعبي (fatigue wear)**، يتعرض سطح الاحتكاك أو بعض أجزائه لهذا النوع من الاهتراء، وهو ينتج عن التشوه المتكرر للحجوم الميكروية للمادة، ويؤدي إلى ظهور الشقوق وانفصال الجزيئات من الطبقة السطحية لهذه المادة. إن المعيار الأساسي التعبي– هو عمق الطبقة المشوهة المتشكلة على سطح الاحتكاك.

يمكـــن أن يظهـــر الاهتراء التعبي عند الاحتكاك التدحرجي، وأيضاً عند الاحتكاك الانزلاقي، ويتوقف ذلك على كل من الضغط النوعي المتشكل في أماكن الاتصال، وخواص مادة العنصر وترددات الدورة الزمنية (cycle) للحمل.

يلاحظ، عند التدحرج النظيف، ظهور التعب التماسي (contact fatigue)، الذي يـــتكون عـــلى شـــكل بؤر موضعية للتحطم المشابهة للتجاويف. عند الاحتكاك الانـــزلاقي، يتشكل الاهتراء المرتبط بالطبيعة التعبية للتحطم. في بعض الوصلات، مـــثل نقل الحركة بالمسننات، ومساند الاهتزاز، والكامات- كلها يمكن أن تملك كلاً من النوعين، وذلك لأنه في هذه الوصلات يلاحظ ظهور الاهتزاز والانزلاق.

* **الاهـــتراء الجزيئي- الميكانيكي** (molecular-mechanical wear)، وهو يقسم إلى نوعين:

- **الاهـــتراء الالتصـــاقي** (adhesive wear)، وهو يحدث بسبب ظهور التأثيرات التبادلـــية الجزيئية (الالتصاقية) على بعض أجزاء السطوح المتلامسة، حيث تتفوق قـــوى هذه التأثيرات على متانة تماسك (bond) الطبقة السطحية للمادة مع المادة الأساسية للعنصر. يتوقف ظهور الترابط (التماسك) الذري- الجزيئي على خواص مـــواد السطوح المتلامسة. إن أزواج السطوح المعدنية تميل نحو الاهتراء الالتصاقي. ويتوالد الاهتراء الالتصاقي في التكوينات العميقة للمادة وانتقالها من أحد السطوح إلى الآخر، وهذا يؤدي، كقاعدة، إلى حدوث استعصاء (Jam) بين العناصر. يمكن أن يظهـــر الاهـــتراء عـــند الاستعصـــاء، في الزوج المسنني أو في نقاط الاستناد التدحرجية، وذلك عند وجود الأحمال التماسية المرتفعة واختفاء الزيوت.

- **الاهتراء في شروط الانتقال الاختياري**، وهو يوصف أيضاً من خلال الظاهرة أحاديـــة الـــذرة (monatomic) في مـــنطقة التماس. وتلاحظ مثلاً، عند احتكاك الأزواج المعدنـــية- البولـــيمرية (metallopolymeric)، عندما يتم انتقال البوليمر

(Polymer- مركب كيميائي مؤلف من عدة أجزاء متماثلة) إلى سطح المعدن، بحيث تتشكل طبقة أحادية الجزيء عليه. في هذه الحالة، تتشكل طبقات بينية (interlayer)، وهذا ينعكس بشكل إيجابي على الصفات الاحتكاكية للزوج الاحتكاكي، ويؤدي إلى التخفيض الحاد في شدة الاهتراء.

* **الاهتراء التآكلي- الميكانيكي**، وهو يقسم إلى :

- **الاهتراء التأكسدي** (oxidative wear)، وهو يحدث عند وجود طبقات للحماية على سطح الاحتكاك متشكلة بنتيجة التأثير التبادلي للمادة مع الأكسجين. توجد ثلاثة **أنواع من الاهتراء التأكسدي**: الأول، يتشكل بنتيجة إبعاد طبقات ممتزة من سطح الاحتكاك (تكثيف جزيئات الغاز وإلصاقها بالسطح الصلب- adsorb) كيميائياً ومتناهية الصغر؛ الثاني- عند إبعاد الطبقات الميكروية للمحاليل الصلبة ويوتكتيك (تصلبي أو أصهري- eutectic) المركبات الكيميائية لكل من الأوكسجين والمعدن؛ الثالث- بنتيجة التشكل الدوري وانسلاخ الطبقات الضخمة للمركبات الكيميائية للأوكسجين والمعدن. الاهتراء التأكسدي- هو عبارة عن عملية مستقرة محددة للتوازن الديناميكي لتحطم وتجديد الطبقات التأكسدية.

يجب أن نشير إلى أن ظهور الطبقات التأكسدية لا يمنع، وإنما يسرّع التحطم التعبي للمادة، وذلك لأنه بنتيجة التأثير التبادلي للأوكسجين والمعدن تتشكل طبقة عالية الهشاشة، وهي تسرّع تحطم المادة.

تخضع للاهتراء التأكسدي رقبات الأعمدة المرفقية والكامات، والأصابع المكبسية وجلب نقاط الاستناد الاهتزازية (التدحرجية). يقع الاهتراء التأكسدي في الحدود 0,5-0,1 μm/h.

- **الاهتراء الناتج عن الحك (fretting wear)**.يحدث هذا النوع من الاهتراء خلال التحركات النسبية الاهتزازية الصغيرة للسطوح المعدنية المتلامسة بنتيجة

التشـــوهات الدورية أو اهتزاز أجزاء الجزء الآلي المصمم. يلاحظ خلال هذا النوع من الاهتراء وجود الظواهر التالية: الانتزاع (grabbing)، الاهتراء بالحبيبات الحاكة والاهـــتراء التأكســـدي-الـــتعبي. هذا النوع من الاهتراء يظهر في سطوح عناصر الوصـــلات غـــير المـــتحركة، التي تستقبل الأحمال الاهتزازية (مثلاً، في السطوح الخارجـــية لـــلحلقات الخارجـــية لـــلمدحرجات، ســـطوح الثقوب في أجسام المدحـــرجات، في وصلات البرشمة الخاضعة لأحمال اهتزازية...إلخ) هذا النوع من الاهتراء يظهر عند الاحتكاك الجاف وفي شروط التزييت.

§ 3- الصـــفات الأساســـية وقوانين اهتراء عناصر الآلات. الحدود القصوى للاهتراء.

تســـتخدم من أجل تحديد صفات الاهتراء المعايير التالية: الاهتراء الخطي، سرعة الاهتراء، شدة الاهتراء، مقاومة الاهتراء، مقاومة الاهتراء النسبية.

الاهتراء الخطي U(linear wear)-هو عبارة عن تغير بُعد العنصر (النموذج) بنتيجة الاهتراء في الاتجاه العمودي على سطح الاحتكاك.

سرعة الاهتراء γ=du/dt(wear rate)-هي عبارة عن نسبة الاهتراء إلى الزمن الذي يحـــدث خلاله هذا الاهتراء. يمكن الحكم على عمر العنصر المعني من خلال سرعة الاهتراء.

مقاومـــة الاهـــتراء (wear resistance)-هـــي عبارة عن خاصية المادة في إظهار المقاومـــة للاهـــتراء عند شروط احتكاك محددة. تُقدر مقاومة الاهتراء من خلال المقدار المعاكس لسرعة أو شدة الاهتراء.

مقاومة الاهتراء النسبية (comparative wear resistance)–هي عبارة عن نسبة مقاومة الاهتراء للمادة المعنية والمادة المتخذة كنموذج، وذلك عند اهترائها في شروط متشابهة.

شدة الاهتراء j=du/ds–هي عبارة عن نسبة الاهتراء إلى مسافة الاحتكاك التي يحدث خلالها هذا الاهتراء، أو إلى حجم العمل المنفذ، وليكن مثلاً حجم العمل المنجز من قبل الآلة (بالأمتار المكعبة) عند حرف التربة.

a) العوامل الأساسية المؤثرة على عملية الاهتراء. إن العوامل الأساسية المؤثرة على عملية الاهتراء، هي :

الصفات التصميمية لأماكن التزاوج والاتصال، أي نوع الاحتكاك (انزلاقي، تدحرجي أو احتكاك معقد)، الأحمال الحسابية، سرعة التحرك النسبي، صفة الحركة (منتظمة أو غير منتظمة)، الفراغات الحسابية، نوعية تشغيل السطوح المتزاوجة، مقاومة اهتراء المواد الصفات الاستثمارية، أي مدى توافق الأحمال الحسابية مع الفعلية، الوسط المحيط (الرطوبة المرتفعة، حجم الغبار، درجة حرارة الوسط المحيط المرتفعة أو شديدة الانخفاض)، نوعية التزييت.

يحدث الاهتراء الأساسي في مرحلة الاهتراء المستقر، وعند الحسابات، ومن أجل أكثرية الحالات، يمكن أن تكون العلاقة بين زمن الاهتراء t ومقدار الاهتراء U خطية، أي نحسب بأنه في مرحلة الاستثمار العادي لآلة التشغيل تبقى سرعة الاهتراء (wear velocity) γ ثابتة:

$$\gamma = \frac{U}{t} = \text{const}, \qquad (2.1)$$

إن الضغط p وسرعة الانزلاق النسبية V–هما من العوامل الأساسية المحددة لسرعة الاهتراء. نُحدد قبل كل شيء علاقة الاهتراء بكل من p و V من خلال نوع الاهتراء، حيث يناسب كل نوع قانون محدد. يتناسب **الاهتراء الخطي** U

الناتج عن الحبيبات الحاكة والتعب طرداً مع الضغط النوعي p على سطح الاحتكاك وطريق الاحتكاك S، أي أن U لا يرتبط بشكل مباشر بسرعة الانزلاق النسبي:

$$U = KpVt = Kps, \qquad (2.2)$$

حيث: K-معامل، يصف مقاومة المواد للاهتراء وشروط عمل الزوج المعني (التزييت، درجة عزل السطوح عن الأوساخ...إلخ).

نحصل، عند تقسيم كل من جزئي المعادلة على زمن عمل الاتصال(التزاوج) t، على سرعة الاهتراء γ المتناسبة مع كل من سرعة الانزلاق V والضغط p:

$$\gamma = KpV. \qquad (2.3)$$

هذه القوانين، يمكن أن تستخدم عند حساب اهتراء الكثير من قطع آلات التشغيل: موجهات الانزلاق، أقراص قارنات الاحتكاك، أعمدة الجر والصامولات، ميكانيزمات الوصل...إلخ.

يمكن في الحالة العامة، التعبير عن سرعة الانزلاق من خلال تابعيتها لكل من الضغط وسرعة الانزلاق النسبي:

$$\gamma = Kp^{m}V^{n}. \qquad (2.4)$$

عادة، عند الاهتراء يكون n=1 (عامل ثابت يصف شكل التزييت، ونوعية المواد التزيتية). إن عامل الاهتراء K، يصف تأثير مادة العنصر المعني ونوعية السطح.

يوصف اهتراء المادة، من خلال سرعة اهتراء γ أو شدة الاهتراء j. تعد شدة الاهتراء مقداراً دون وحدة قياسية- وتحسب من خلال نسبة سماكة الطبقة المعرضة للامحاء (abrasion) إلى مسافة الاحتكاك.

عند تقدير اهتراء السطح فإن الاهتراء المميز هو الخطي U-وهو تغيير بُعد القطعة في الاتجاه العمودي على سطح الاحتكاك. في الحالة العامة يتوزع الاهتراء

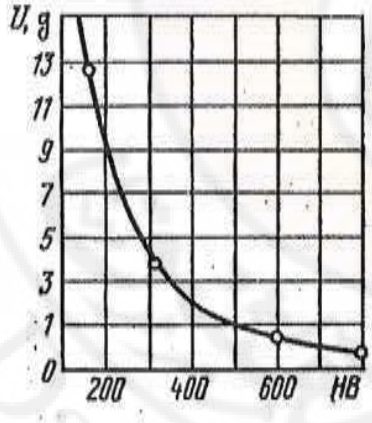
وفـــق سطح الاحتكاك بشكل غير منتظم، بناءً على ذلك يكون U=F(X,y)، حيث y و X هما إحداثيات سطح الاحتكاك.

يحدث الاهتراء عند احتكاك اثنين من السطوح المتزاوجة، وعندئذ يحدث اهتراء لكل من السطحين بآن واحد. وهذا يقود إلى تغير التوضع التبادلي للسطوح المتزاوجة.

إن اهـــتراء مكـــان الـــتزاوج (الاتصال)- هو معيار للتقارب التبادلي بين القطع المتزاوجة عند اهترائها. يقاس مكان التزاوج ببارامترات هندسية (واحد أو اكثر)، وهـــي تعـــبر عـــن تغـــير الوضع التبادلي للقطع المتزاوجة الحادث بنتيجة اهتراء سطوحها.

إن إحـــدى الصفات الهامة لكل من المعادن والخلائط المؤثرة على سرعة كل أنواع الاهتراء تقريباً هي **القساوة**: عند ازدياد القساوة ترتفع مقاومة اهتراء المادة.

عـــلى الشكل 2.1، مبين مخطط مقاومة اهتراء الفولاذ الكربوني عند الاحتكاك الانزلاقي: U-مقدار الاهتراء (بالغرام)؛ HB- قساوة الفولاذ وفق طريقة برينل. يتضـــح من الرسم، أنه لا توجد علاقة خطية بين القساوة ومقاومة الاهتراء.



شكل 2.1: علاقة اهتراء الفولاذ بقساوته.

تؤثر بنية **معدن** العنصر بمقدار هام على مقاومـــة الاهتراء. تبين بأنه عند ارتفاع نسبة الكربون فإن مقاومة اهتراء الفولاذ تـــرتفع. عند إشابة (alloying) الفولاذ بالمنغنيز أو الكروم، أو الفولفرام...إلخ فإن مقاومـــته للاهتراء تزداد. إن مقاومة اهتراء حديد الصب تتوقف بمقدار كبير على

حالة الكربون الموجود فيه. إذا كان الكربون موجوداً في حديد الصب على شكل سمنتيت Fe_3C (كربيد الحديد)، أي في الحالة المترابطة (bound state)، فإن حديد الصب سيكون مستقراً تجاه الاهتراء، مقارنة بحديد الصب الحاوي على الفريت، حيث يكون الكربون واقعاً في الحالة الحرة (free state) على شكل غرافيت (graphite). عند استخدام المعالجة الحرارية أو الكيميائية- الحرارية لحديد الصب (عن طريق النتردة- nitriding) فإن مقاومته للاهتراء تزداد بمقدار 4-2 مرة .

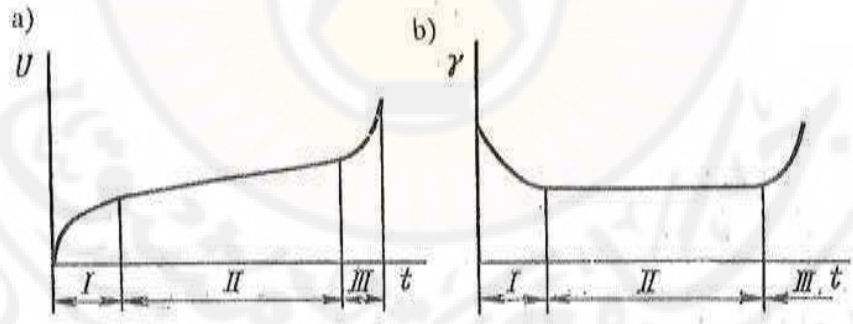
إن نوعية سطح العنصر وتأثيرها على مقاومة الاهتراء مبينة في مقرر خطط تشغيل عناصر الآلات.

يؤثر الوسط المحيط (environment) بمقدار مهم على مقاومة اهتراء عناصر الآلات العاملة في شروط مختلفة (الجو المحيط الحاوي على الغبار، الرطوبة المرتفعة، تذبذب درجة الحرارة الخارجية...إلخ). تبين شروط المراقبة أنه عند العمل في شروط الهواء الحامل لذرات الغبار ($15.10^{-5}kg/m^3$) فإن شدة الاهتراء لمحرك التراكتور ستكون أعلى بـ 3,5 مرة، مقارنة بحالة العمل في الشروط العادية.

تزييت السطوح المتلامسة. يلعب الاختيار الصحيح للمواد التزيتية، وإرسالها بشكل مستمر إلى منطقة الاحتكاك دوراً رئيسياً حتى تعمل أماكن الاتصال بشكل اعتيادي.

b) **طبيعة (قوانين) اهتراء عناصر الآلات خلال الزمن**. يتم اهتراء عناصر الآلات خلال الزمن بشكل غير منتظم. على الشكل 2.2,a، مبين منحني نمو الاهتراء U، وذلك من أجل أكثرية الوصلات المتحركة، وعلاقة ذلك بزمن عمل مكان الاتصال (التزاوج) . إن الفترة الزمنية I توافق الاهتراء الشديد. تحدث في هذه الفترة عملية الكسب الإضافي (أو الترويض- run-in-) للعناصر. في الفترة الزمنية II، والمسماة بفترة الاهتراء العادي، يتناسب الاهتراء بشكل طردي (بخط

مستقيم) مع زمن العمل، أي أن عملية الاهتراء تكون ثابتة. يحين في الفترة الزمنية III الاهـــتراء المدمر (عنيف- forcing) . اعتماداً على المراجع العلمية، فإنه يمكن تسمية الفترات الزمنية I+II-بفترة الاهتراء العادي، أما الفترة الزمنية III- فتسمى بفـــترة الانهـــيار (break-down) أو التوقف الفجائي. يرتبط الاهتراء الشديد في مـــرحلة الكســـب الإضافي، بأنه قبل بداية استثمار مكان الإتصال، فإن المساحة الفعلـــية لأمكنة التلامس بين السطوح المتزاوجة لا تزيد عن 5-15% من المساحة الأسمـــية، بســـبب الخشونة الميكروية وتموجات هذه السطوح. في مرحلة الكسب الإضـــافي تـــزداد مساحة التماس الفعلي للعناصر المتزاوجة بشكل تدريجي، ويقل بصـــورة متوافقة مقدار الضغط النوعي (unit- area- pressure)، وهذا يؤدي إلى الانخفـــاض التدريجي في سرعة الاهتراء. يمكن التعبير عن الاهتراء في فترة الكسب الإضـــافي من خلال القطع المكافئ. يعبر عن انتهاء فترة الكسب الإضافي باستقرار سرعة الاهتراء.



شكل 2.2-علاقة اهتراء العناصر بالزمن.

فمن أجل الاهتراء المستقر (المرحلة II) يكون:

$$U = \gamma t. \qquad (2.5)$$

حيث γ – سرعة الاهتراء $(\gamma = du/dt)$

من أجل الاهتراء، ومع الأخذ بالحسبان مرحلة الكسب الإضافي:

$$U = U_r + \gamma t. \qquad (2.6)$$

حيث U_r – مقدار الاهتراء في مرحلة الكسب الإضافي

يتعلق نمو سرعة الاهتراء في مرحلة الاهتراء المؤدي إلى التوقف الفجائي باختلال الاحتكاك السائلي (friction of fluid lubrication) وظهور الاهتزاز بسبب الفراغات الكبيرة في أماكن الاتصال، وبارتفاع درجة الحرارة في منطقة الاحتكاك وتدهور نوعية السطوح المتزاوجة. لا يسمح بحدوث الاهتراء الانهياري في الآلات. على الشكل 2.2,a: في المرحلة I تنخفض سرعة الاهتراء، ومن أجل المرحلة II يكون $\gamma = const$، أما في المرحلة III فإن هذه السرعة تزداد.

c) **حساب الاهتراء النهائي (الحدي) المسموح به.** يسمى اهتراء العنصر حدياً (limiting)، إذا لم يكن مسموحاً الاستعمال اللاحق لهذا العنصر في الآلة، بسبب الاختلال في العمل العادي للجزء الآلي أو الآلة بالكامل (حيث ينتسب العنصر إليهما)، مع إمكانية ظهور التعطل (failure) المفاجئ (الانهيار). إن المؤشرات (المعايير) الأساسية المعبرة عن ظهور الاهتراءات الحدية، هي: ارتفاع شدة اهتراء العناصر (الجزء III، المبين على الشكل 11.2,a)؛ انخفاض متانة ووثوقية عناصر الآلات بسبب تغير أبعادها؛ تدهور الخواص الوظيفية للجزء الآلي الذي يدخل فيه العنصر المعني (ظهور الاهتزازات، انخفاض الاستطاعة، زيادة استهلاك الوقود...إلخ).. يعتبر الاهتراء واحداً من معايير الحالة الحدية للمنتج.[1]

---

١ –الحدية تسمى حالة المنتج (الجزء الآلي، العنصر المعني أو أجزائه)، عندما يجب أن يتوقف خلالها استثمار هذا المنتج بسبب ظهور الضرورة لإصلاحه أو لإجراء الخدمة التقنية. إن معيار الحالة الحدية يمكن أن يكون: الاهتراء، الصدأ، التشوهات الحرارية، ضياع المتانة والجساءة، الأضرار الميكانيكية.

يكـــون اهتراء العنصر مسموحاً به، فيما إذا كانت هناك إمكانية لتوضعه في الآلـــة بـــدون إصلاح، وسيعمل بشكل مرضٍ خلال الفترة القادمة الواقعة بين إصلاحين.

عند حساب آلة التشغيل على الاهتراء، فإنه من المهم تحديد قيمه المسموح بهـــا، وذلك لمختلف القطع وأماكن الاتصال (التزاوج)،أي تحديد قيمها الاهترائية النهائية (الحدية) U_{max}. تعد هذه المسألة معقدة، وذلك لأن المتطلبات المطلوبة من قطع أية آلة مختلفة.

عـــند حساب الاهتراءات النهائية (limiting wears)، فإنه قبل كل شيء تُحدد معايير (علائم) للاهتراء النهائي. إنها متعلقة بذلك التأثير الذي يظهره اهتراء القطعة المنتجة على عمل آلة التشغيل. **يمكن تمييز معايير الاهتراء عن بعضها، عن طـــريق تقســـيم نتائج تأثيرها إلى ثلاث مجموعات:** 1) بنتيجة الاهتراء، فإن آلة التشـــغيل لا يمكـــن أن تستمر في العمل أكثر (يحدث انكسار "break-down" للقطعة، تعطل للميكانيزم أو عدم مقدرته على تنفيذ وظائفه)؛ 2)الاهتراء يودي إلى وقـــوع آلة التشغيل في منطقة "الخروج الشديد من العمل"؛ 3) بنتيجة الاهتراء فإن صـــفات آلـــة التشغيل وميكانيزماتها تخرج عن الحدود المسموح بها أو عن الحدود المقترحة (تتدهور نوعية المنتوجات "quality of product"، تنخفض الإنتاجية "productivity"، يهبط المردود "efficiency"، تزداد الضوضاء "noise").

يمكـــن أن ترتـــبط معـــايير الاهتراء النهائي في حالات معينة فقط بعمل الاتصال (التزاوج) المعني أو القطعة، وفي حالات أخرى-بعمل عدة قطع موجودة في الميكانـــيزم. مـــن أجل القطع التي يتم تصليحها وفق إصلاحات مخططة دورية (Periodic-sheduled repair)، فإن الاهتراءات المسموح بها U_{all} ستكون أقل أو مساوية الاهتراءات النهائية U_{max}، وذلك لأن القطعة يجب ألا تخرج من العمل (أي

يجب ألا تتعطل) خلال مرحلة الإصلاح الوسيطي التالي. إذا كانت مدة الإصلاح الوسيطي، أي الزمن الواقع بين إصلاحين مخططين هو T_1، فإنه خلال هذا الزمن يزداد اهتراء القطعة بمقدار γT_1. بناءً على ذلك فإن قيمة الاهتراء المسموح به U_{all}، حيث أنه من الضروري بدءاً منه أن يتم تصليح القطعة عند الإصلاحات الدورية، هو:

$$U_{all} = U_{max} - \gamma T_1. \qquad (2.7)$$

إذا أخذنا بالحسبان، إن $\gamma = \frac{U_{all}}{T}$، حيث T- زمن عمل القطعة حتى الإصلاح، فإننا نحصل:

$$U_{all} = U_{max} - \frac{U_{all} T_1}{T},$$

ومن هنا، يكون:

$$U_{all} = \frac{U_{max}}{1 + \frac{T_1}{T}}. \qquad (2.8)$$

إذا كان K- الرقم الترتيبي للإصلاح الدوري المعني من لحظة الإصلاح الأخير للقطعة، عندئذٍ سيكون زمن عمل القطعة هو $T=KT_1$، وعندها ستتخذ العلاقة التي بوساطتها يمكن حساب الاهتراء المسموح به الشكل :

$$U_{all} = U_{max} \frac{K}{K+1}. \qquad (2.9)$$

مثال: لدينا قطعة منتجة، وهي تملك عمقاً للطبقة المعرضة للكربنة (carburizing) مقداره 0,8mm، ويساوي الاهتراء النهائي U_{max} إلى 0,65mm(80% من عمق الطبقة). هل يجب إصلاح هذه القطعة فيما إذا كان الاهتراء عند الإصلاح الدوري الثالث مساوياً 0,55mm؟

نحسب U_{all} من العلاقة (2.9) :

$$U_{aff} = 0{,}65\frac{3}{3+1} \approx 0{,}49 \quad \text{mm}$$

إذن، يجب إصلاح هذه القطعة المنتجة، على الرغم أن الاهتراء الكلي هو أقل من U_{max}، وذلك لأن هذه القطعة لا تستطيع الاستمرار في الخدمة حتى يحين موعد الإصلاح الدوري التالي.

إن علائم المجموعة الثالثة من المعايير الخاصة بتحديد U_{max}، هي خاصة بأماكن الاتصال في آلات التشغيل العصرية. في الغالب، تحين الحالة النهائية ليس بسبب انكسار أو ظهور شروط لعمل آلة التشغيل غير مسموح بها، وإنما بسبب انخفاض صفاتها. من الضروري، من أجل الحصول على العلاقات التحليلية لـ U_{max}، تحديد العلاقة بين خطأ عمل آلة التشغيل والبارامترات التي تصف مقدار السطح المهترئ وشكله. فمثلاً، عند اهتراء موجهات البدن يحدث انحراف لمسار حركة القلم القاطع، وبصورة موافقة تنخفض دقة التشغيل.

اعتماداً على بحوث شكل السطح المهترئ لموجهات البدن، فإن العلاقة اللازمة لحساب الاهتراءات النهائية المسموح بها لموجهات المخارط (من أجل المكان الأكثر اهتراءً) حسب دقة التشغيل المطلوبة هي:

$$U_{max} = 320\frac{\Delta}{L}, \qquad (2.10)$$

حيث: Δ -الانحراف النهائي لقطر القطعة المشغلة الناتج عن اهتراء الموجهات؛ L- طول الخرط (كل البارامترات تقدر بـ mm).

هذه العلاقة تبين أن الاهتراء المسموح به للموجهات مرتبط بشكل غير مباشر بالدقة الضرورية للتشغيل وبأبعاد (طول) القطعة المشغلة. عندما تكون التسامحات (tolerances) كبيرة على القطر، والقطع المنتجة قصيرة فإن الاهتراء المسموح به يمكن أن يكون أكبر بكثير.

يمكن بيان **الأنواع الأساسية التالية للحساب وفق الاهتراء:**

1-تحسب وفق الأحمال النوعية (الضغط) الضغوط (الوسطى أو العظمى) المؤثرة في سطح الاحتكاك، وتقارن القيم المحصول عليها مع تلك المسموح بها.

إن القيم الأخيرة تؤخذ من الحياة العملية، وهي توافق حالة المحافظة الطويلة على قابلية العمل لمكان الاتصال من أجل شروط عمل مماثلة. تحسب موجهات الانزلاق بمعرفة الضغط في آلات التشغيل وصامولات أعمدة الجر المهمة، وبعض أنواع المدحرجات الانزلاقية .. إلخ.

2- يسمح الحساب وفق مقدار الاهتراء وشكل السطح المهترئ بتحديد الطرائق الأساسية لرفع مدى الحياة لأماكن الاتصال، سواء أكان ذلك أثناء التصميم أم الاستثمار . يُحدد عند حساب شكل السطح المهترئ مقدار الاهتراء U لسطح القطع المتصلة مع بعضها في كل نقطة، ومقدار مخطط الضغوط p على سطح الاحتكاك وتغير أوضاعها التبادلية نتيجة الاهتراء، أي اهتراء مكان التزاوج. يعتمد هذا الحساب على قوانين اهتراء المواد ويأخذ بالحسبان شكل مكان التزاوج.

يعتبر تحديد الاهتراءات الحدية مسألة في غاية التعقيد من الناحية التقنية. في أكثرية الحالات تُحدد هذه الاهتراءات بمساعدة الطرائق التجريبية، عن طريق المراقبة الطويلة لاستثمار الآلة المعنية، وباستعمال طرائق الإحصاء الرياضي (mathematical stastics).

ونورد فيمايلي، على سبيل المثال، **مقادير الاهتراءات المسموح بها بالنسبة لبعض أجزاء الآلات**، وهي مأخوذة من التطبيقات العملية لأساليب الصيانة المستخدمة في المصانع.

يعتبر اهتراء الموجهات مسموحاً به فيما إذا لم تزداد قيمته عن 0,02-0,03mm لكل 1000mm من الطول بالنسبة لآلات التشغيل المرتفعة الدقة، أو لم ترتفع قيمته

عـــن المقدار 0,1-0,2 mm لكل 1000 mm من الطول بالنسبة إلى المعدات عادية الدقة.

ويســـمح باهـــتراء رقـــبات الأعمـــدة المتوضـــعة في كراسي التحميل (المدحـــرجات) الانزلاقية، والمستخدمة في الأجزاء الآلية المختلفة لآلات التشغيل، بحيـــث لا يـــزيد عن 0,001-0,01 من قطر العمود تبعاً لدقته، وقد تم إيراد بعض المعطـــيات في الجـــدول 2.1. ويجـــب ألا يزيد تآكل رقبات الأعمدة المتوضعة في المدحرجات الاهتزازية عن 0,03-0,04 mm .

الجدول 2.1: اهتراء رقبات الأعمدة المتوضعة في المدحرجات الانزلاقية :

الخلوص المسموح به بلا صيانة بين العمود وكرسي التحميل، mm					
مجموعات رئيسية تعمل عند سرعات دوران				المجموعات غير الرئيسية	قطر العمود
أكثر من 1000 rev/min		أقل من 1000 rev/min			
وعند أحمال نوعية، kg/cm^2					
أكثر من 30	أقل من 30	أكثر من 30	أقل من 30		
0,15	0,30	0,10	0,20	0,5	80-50
0,20	0,35	0,15	0,25	0,8	120-80
0,25	0,40	0,20	0,30	1,2	180-120
0,35	0,60	0,25	0,40	1,6	260-180
0,45	0,70	0,30	0,50	2,0	360-260

ويســـمح بحدوث الاهتراء في المسننات المستخدمة في وسائل نقل الحركة بحيث لا يزيد عن المعطيات المبينة في الجدول 2.2 .

الجدول 2.2: اهتراء المسننات المسموح بها.

نظام التشغيل	السرعة المحيطية، m/S	الحد الأقصى للتآكل% ، بالنسبة إلى السمك المقدر للسن عند دائرة الخطوة في أثناء الصيانة		
		البسيطة	المتوسطة	الشاملة
نقل القدرة في اتجاه واحد بدون تحميل صدمي	أقل من 2	20	15	10
	5-2	15	10	6
	أكثر من 5	10	7	5
نقل الحركة العكسية مع وجود تحميل صدمي	أقل من 2	15	10	5
	5-2	10	5	5

§ 3- طرائق تقدير اهتراء عناصر الآلات :

a) أعراض الاهتزاز. يمكن الحكم على اهتزاز أجزاء الآلة تبعاً لشروط تشغيلها. ففي الآلات الحاوية على أعمدة دوران مرفقية، يمكن معرفة حدوث الاهتزاز بوجود صدمات مكتومة (حشرجة) في أماكن تلامس الأجزاء، وكلما ازداد الاهتزاز حدة ازدادت شدة هذه الصدمات.

يدل وجود ضوضاء في المسننات، على حدوث اهتزاز في السطوح الجانبية (الأنفليوتية) للأسنان، أما عند اهتراء أجزاء الخوابير أو الوصلات المخددة، فتسمع صدمات مكتومة وحادة في كل مرة يتغير فيها اتجاه الدوران أو الحركة الخطية المستقيمة.

ومن الممكن أن نعلم بحدوث اهتراء في الأجزاء الآلية لآت التشغيل، لا بالسمع فقط، بل وبشكل السطوح المشغلة على هذه الآلات. فمثلاً إذا ظهرت أثناء خرط المشغولة على الآلة نتوءات أو حفر حلقية على أبعاد متساوية، فإن هذا يدل على أن أسنان مجموعة الجريدة المسننة –المسنن الناقلة للحركة قد اهترأت. ولهذا، فإن حركة العربة تصبح متقطعة، بدلاً من أن تكون سلسلة وطبيعية.

وفي كثير من الأحيان، ينجم نفس العيب بسبب اهتراء موجهات الفرش وعربة الراسمة (العربة الطولانية)، وهذا يؤدي إلى حدوث اختلال باتحاد محاور ثقوب العربة الطولانية وعلبة التغذية التي يمر عمود السحب من خلالهما .

كذلك، فإن وجود آثار التهشم على عمود أسطواني تتم خراطته عن طريق تثبيته في الفتحة المخروطية لعمود الدوران، يدل على زيادة الخلوص بين رقبات (مرتكزات) عمود الدوران والمدحرجات نظراً لاهترائها.

وعندما يكتسب الجزء المشغل على آلة المخرطة شكلاً مخروطياً، فإن هذا يعني أن مدحرجات عمود الدوران (خاصة المدحرج الأمامي) وموجهات الفرش قد اهترأت، أما عندما يكتسب الجزء المشغل شكلاً بيضوياً، فإن الاهتراء يكون قد حدث برقبة عمود الدوران التي تصبح في هذه الحالة بيضوية الشكل.

وعند الزيادة المفرطة في ارتجاف (تمايل) المقابض المثبتة في اللوالب، فهذا يدل على حدوث اهتراء في قلاووظ اللوالب أو الوصاميل. والمقصود بالتمايل هنا، هو حدوث زاوية دوران حرة للمقبض، قبل أن يقوم الأخير بتحريك الجزء المتصل به. ولا يسمح بأن يزيد تمايل مقبض راسمه المخرطة عن 1/40 من مقدار لفة اللولب.

وفي كثير من الحالات، يمكن الحكم على اهتراء أجزاء الآلات بظهور حزوز ونتوءات أو نقر عليها أو بتغير شكلها. أما أجزاء الآلات التي تعمل تحت تأثير أحمال كبيرة متغيرة الاتجاه، فيتم فحصها بواسطة عدسة مكبرة للتأكد من عدم

وجـــود شقوق صغيرة عليها، والتي يمكن أن تصبح فيما بعد سبباً في تهشمها. وفي بعـــض الحالات، يتم الاختبار بواسطة مطرقة صغيرة، فإذا كان الصوت خافتاً عند اصطدام المطرقة بالجزء المعني، فإن هذا يدل على وجود تشققات كبيرة فيها.

وكذلـــك **يمكـــن الحكم على حالة عمل الأجزاء الآلية الحاوية على مدحرجات اهتزازية عن طريق دراسة طبيعة الضوضاء التي تنتج عنها.** وأفضل طريقة لإجراء مـــثل هذا الاختبار، هي استخدام جهاز خاص يسمى "المسماع". وفي حالة عدم وجـــود هـــذا الجهاز، يستعمل قضيب معدني يُقرب طرفه المستدق من الأذن، أما طـــرفه الحـــاد —فمن المكان الذي يوجد فيه المدحرج. فإذا كانت حالة التشغيل طبيعـــية فإن الضوضاء تكون ضعيفة وتظهر على هيئة رنين منتظم وصوت خافت، أما إذا كانت المدحرجات مهترئة فإن الضوضاء تكون شديدة.

ويـــدل الصفير أو الضوضاء الرنانة على عدم وجود زيت في المدحرجات وعلى أن الكـــريات مضـــغوطة بـــين مجاري الحلقتين الداخلية والخارجية. وعند وجود ضوضـــاء رنانـــة حادة ومتكررة، فإن هذا يدل على تساقط البرادة أو أية شوائب أخرى على الكريات، أو على نشوء حفر فيها.

وتدل الصدمات المكتومة على انخفاض مقدار توافق المدحرجات التي يرتكز عليها العمود والموجودة في هيكل الآلة.

كذلـــك يمكـــن **اختبار حالة عمل المدحرجات باللمس**، أي براحة كف اليد التي تتحمل بسهولة درجات الحرارة التي تصل إلى 60 درجة مئوية. ويمكن بهذه الطريقة تحديـــد التسخين المرتفع للمدحرجات الذي يمكن أن ينتج عن حشر الكريات بين مجاري المدحرج بسبب عدم اتحاد محاور أماكن الارتكاز، أو عند عدم توفر الزيت اللازم وخاصة في تلك الحالات التي يدور فيها العمود بسرعة كبيرة.

والتسخين الزائد للمدحرجات، يمكن أن يحدث أيضاً عند سرعات الدوران الكبيرة، حتى وإن كانت كمية الزيت الموجودة فائضة. ويؤدي تجمد الزيت إلى إحداث مقاومة إضافية لدوران العمود. وللتذكير، فإن الإفراط الشديد في التسخين يؤدي إلى زيادة اهتراء المدحرجات.

وإذا كان **تدوير العمود يحدث بصعوبة** بالغة، فهذا يدل على أن محور المدحرج لا يتطابق مع محور العمود، أو أن هناك توافقاً قسرياً شديداً بين المدحرج وعمود الدوران، أو بين المدحرج وهيكل الآلة.

b) طرائق تحديد مقدار اهتراء عناصر الآلات. يمكن أن يتم تقدير طرائق اهتراء عناصر الآلات في **ظروف الإنتاج أو المختبر**. ينسب: أسلوب قياس العنصر إلى الطرائق الإنتاجية بواسطة الميكرومتر، والأسلوب غير المباشر للتقدير وفق الصفات الاستثمارية للتزاوج. ينسب: أسلوب تحديد وزن العناصر، كمية الحديد في زيت الحوض، واستخدام النظائر المشعة، وأسلوب القواعد الاصطناعية، وأسلوب المنظر الجانبي إلى الأساليب المختبرية (البحثية).

– **أسلوب القياس بواسطة الميكرومتر** (micrometer method)، وهو يعتمد على قياس الأبعاد الخطية للعناصر، التي كانت واقعة في الاستثمار باستعمال الوسائل القياسية العامة (الميكرومترات، المساطر المنزلقة– vernier caliper–، الأجهزة القياسية ذات الأقراص المدرجة – dial indicator.. إلخ).

– **تقدير الاهتراء، وفقاً لتغير الصفات الاستثمارية** لمكان التزاوج أو الجزء الآلي، وتستعمل هذه الطريقة بشكل واسع في الإنتاج. مثلاً، يمكن أن يُحدد اهتراء المضخة التزيتية بطريقة غير مباشرة عن طريق تحديد مقدار الهبوط في ضغط الزيت، وبالنسبة لاهتراء مجموعة مكبس المحرك – فعن طريق تحديد كمية الغازات المارة في

حـــوض المحرك، ومن أجل تحديد اهتراء الوصلة المتحركة — فعن طريق تغير درجة حرارتها خلال مرحلة الاستثمار، وليكن مثلاً في المدحرجات الانزلاقية.. إلخ.

– **أســـلوب تحديـــد الوزن**، وهو يتلخص في تحديد كتلة العنصر قبل الاستثمار وبعده. يُمنع استخدام هذه الطريقة فيما إذا الاهتراء المسيطر، هو ذلك النوع الناتج عن التشوهات اللدنة للعناصر .

– **تحديـــد كمـــية الحديد** ومنحنيات الاهتراء الأخرى في الزيت، وتتلخص هذه الطـــريقة في التحليل الكيميائي للزيت المستخدم. ومن سيئات هذا الأسلوب عدم وجود إمكانية لتحديد اهتراء كل عنصر موجود في الجزء الآلي. أما المزايا فتتلخص في اختفاء الضرورة لفك الجزء الآلي المعني.

– **أســـلوب الـــنظائر المشعة** (radioisotope)، وهو مؤسس على استخدام نظائر الفولفرام، والأنتيمون أو الكوبالت، الداخلين في تركيب الطبقة السطحية لسطوح العنصـــر العملية. تعتبر شدة إشعاع الزيت المسجلة من قبل أجهزة خاصة (جهاز للحساب)، معياراً معبراً عن شدة إشعاع العنصر المعني.

– **أســـلوب القواعـــد الاصطناعية**، وهو يتلخص في تشكيل تجويف خاص على السطح العملي للعنصر الجديد. يمكن، وفقاً لتغير بُعد التجويف بعد فترة زمنية من الاستثمار تحديد مقدار الاهتزاز الخطي حسابياً لهذا السطح.

– **أســـلوب رسم تعاريج السطح**، وهو مؤسس على مبدأ تحديد بمساعدة راسم السطح (profilogragh)، الاهتزازات الصغيرة جداً عند بعض العناصر مثل أصابع المكابس وقضبان الوصل.

الفصل الثاني

المبحث الثالث : تنظيم الصيانة

المبحث الرابع: تنظيم مكان العمل

المبحث الخامس : أنظمة الصيانة

المبحث السادس: التخطيط والمتابعة

المبحث السابع : أنظمة المعلومات

المبحث الثامن: الموارد البشرية

المبحث التاسع: الاعتبارات الاقتصادية
عند تنفيذ الصيانة

المبحث العاشر: نموذج مقترح للصيانة

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المبحث الثالث

تنظيم الصيانة

أولاً) مفهوم الصيانة ومشكلاتها.

الصيانة هي جزء من عدة أجزاء متكاملة تكوّن المؤسسة الإنتاجية، ولهذا فإن أهداف الصيانة يجب تأسيسها من خلال هذا الإطار المتكامل للعمليات الإنتاجية، بحيث تكون هذه الأهداف وسيلة لتحقيق أهداف المؤسسة ككل. وعند إهمال الصيانة فإن هذا يؤدي إلى حدوث أعطال متكررة في خطوط الإنتاج، وعمليات إصلاح مكلفة مع التسبب في تدهور سريع لمعدات ثمينة من معدات الإنتاج.

ويمكننا أن **نعرّف الصيانة** بأنها عملية المحافظة على الوسائل والمعدات في حالة تشغيلية جيدة، أو أنها مجموعة النشاطات التي تبذل من أجل حفظ وسائل ومعدات الإنتاج أو إعادتها إلى المستوى التشغيلي المناسب بتكلفة مقبولة.

كما **أنها عرّفت** بأنها (مجموعة من النظم الفنية التي تقوم بها إدارة الصيانة لتقليل الأعطال وجعل الأصول في حالة تشغيلية جيدة، أو إعادة تلك الحالة الجيدة لها عندما تتعطل).

والصيانة هي عبارة عن عمل أو مجموعة من الأعمال الفنية، التي تهدف إلى تلافي الأعطال ومعالجتها بغية استرجاع الأصل (المعطوب أو الذي سيعطب) إلى حالته الأولية التي كان عليها، مما يضمن قيام الأصل بوظيفة الإنتاجية وذلك بكلفة اقتصادية مقبولة للقيام بهذا العمل أو هذه الأعمال.

ويتضح من هذه التعاريف **أن الصيانة وسيلة لتقليل الأعطال وليس لمنعها بالكلية**، وأن التكلفة عامل هام لابد من أخذه في الاعتبار عند إجراء عمليات الصيانة.

وواكب مفهوم الصيانة التطورات الفنية المتسارعة التي دخلت في مجالات الإنتاج الصناعي وغير الصناعي، مما أدى إلى تبلور أهمية تكاليف الصيانة كعنصر من عناصر التكلفة، وأصبح لزاماً على الإدارة الناجحة مجابهة نمو هذه التكلفة عن طريق تبني الأساليب العلمية المناسبة التي تؤدي إلى القرار الصائب. كما أن الأتمتة والتقدم التقني ساهما في تعقيد النواحي الهندسية، وأصبحت المهارات المطلوبة لتركيب وصيانة خط آلي أو غرفة تحكم هي أعقد من التقنيات المطلوبة لوضع محرك في حالة العمل وإجراء الصيانة له، كما ساعد هذا التطور على فتح أسواق واسعة نحو إدخال التكنولوجيا وتغلغلها في جميع أوجه الأنشطة الصناعية، مما أدى إلى ضرورة التخصص في عمليات الصيانة وبدء ظهور إدارة لها تقدم خدماتها المستقلة عن إدارة الإنتاج، ولكنها بقيت تشكل دعامة للإنتاج كماً ونوعاً، وغدا نجاح وحدة الإنتاج واستمرار تشغيلها مرهوناً بكفاءة إدارة الصيانة وفاعليتها.

ويلاحظ أن **مفهوم الصيانة**، اقتصر في الماضي على الإصلاح الذي يجري بعد توقف الآلة وخروجها عن العمل، فكانت الصيانة تختص بإصلاح ما تم إفساده عندما يتم الفساد فعلاً، ولم تكن مسببات العطل تكتشف إلا بعد حين تكرار التوقف. ولكن انصرف التفكير بعد الحرب العالمية الثانية، نحو ضبط مصاريف الصيانة باستخدام النماذج الرياضية، حيث أثبت التطبيق العملي أن الصيانة لم تعد قاصرة على مفهوم تقليدي من حيث كونها مجموعة من الأعمال الهندسية والجهود الفنية التي يعهد بها إلى عدد من المهندسين أو الأخصائيين، بل أصبحت جهداً إدارياً

متكاملاً يشرف عليه مسؤول إداري قد يصل إلى أعلى المستويات الإدارية في التنظيم، ويمارس وظائفه الإدارية بكل عناصرها وأبعادها.

ولعل من أهم المشكلات التي تعاني منها الدول النامية، تعود بالدرجة الأولى إلى إهمال الدور المهم لإدارات الصيانة، ومن أهم المشكلات التي تعاني منها هذه الدول:

1-مشكلة الكهرباء: لقد شكل انقطاع الكهرباء مشكلة كبرى في الأعوام الماضية، عندما بلغ انقطاع التيار الكهربائي (18)ساعة من أصل (24) ساعة في العديد من البلدان. ولا عجب أن السبب هو عدم إجراء الصيانة اللازمة (الوقائية) في المواعيد المحددة لها من قبل الشركات المصنعة أو المشغلة لمحطات التوليد.

2- مشكلة المياه: تتبلور مشكلة الصيانة في شبكات المياه والسدود في اختلاط مياه السيول بشبكات المياه العامة، والسبب الرئيسي في ذلك التقصير في تطبيق الصيانة الوقائية، لأن الضعف في شبكات المياه العامة يؤدي إلى إهترائها عندما تصطدم بها سيول الأمطار الجارفة.

3-مشكلة التلوث: بما أن معظم الصناعات تنبعث منها عوادم ونفايات تتناسب طرداً مع سوء الحالة العامة للمصنع، لذلك يساهم الإهمال في تطبيق الأسس الصحيحة للصيانة إلى تفاقم مشكلات التلوث البيئي.

4-المشكلات التي تواجهها مؤسسات القطاع العام الصناعي: والتي تنتج في الغالب عن تقصير إدارات الصيانة، وتقع هذه المؤسسات في التعقيد الخاص بإجراءات الصرف والشراء والاستيراد الخارجي، وتكون الفترات اللازمة لتأمين قطع الغيار متفاوتة مما يسبب توقفاً في الإنتاج أحياناً، إضافة لمشاكل التضخم الهيكلي في موظفي وعمال الصيانة.

وإن أهم الأسباب الكامنة خلف هذه المشكلات، هي :

1- عـــدم مراقبة القطع التبديلية وقطع الغيار اللازمة للصيانة، حيث أن هذه القطع يحكمهـــا عامل الندرة الاقتصادية وازدياد الطلب عليها مما يزيد من سعرها ويجعلها تشكل عبئاً من أعباء التكلفة .

2-عـــدم ضـــبط المهـــارات الـــتي تتضـــمنها نشاطات تنفيذ الصيانة، فأهملت الاختصاصـــات في هـــذا المجال، وكذلك الدورات التدريبية الخاصة برفع مستوى المهارات الفنية، مما جعل هذه القدرات الداخلية والخارجية متدنية جداً.

3-عدم مقابلة زيادة الأتمتة في الآلات وخطوط الإنتاج بعمليات الصيانة، فأهملت الاختصاصات في هذه القدرات الداخلية والخارجية ذات الفعالية المتدنية جداً.

4-عـــدم مراقـــبة الاهتراء والصدأ مع أن مراقبتها يعتبر واجباً لما يسببانه من إفساد واهتراء للآلات، فهما عدوان يجب محاربتهما.

5- عدم استخدام التقنيات الفنية والإدارية من أجل الاستخدام الكامل لتجهيزات المؤسســـة لمواجهة الأعطال أو الصيانة غير المخططة، ومعالجتها بنجاح قبل أن تؤثر في البنية التنظيمية للمؤسسة.

6-إن زمان ومكان الصيانة لا تفرضهما الإدارة من خلال التخطيط الجيد، بل على العكس فالصيانة تفرض نفسها بالزمان والمكان غير المطلوبين.

7-عـــدم بناء نموذج لكل مؤسسة أو كل صناعة يتناسب مع إمكانياتها وحاجياتها، لـــيكون مقياساً لشكل إدارة الصيانة فيها، ويحدد ويصف أنشطة الصيانة الواجب توافرها.

8-عـــدم شمـــول الصيانة على جميع الوحدات في المؤسسة (خطوط إنتاج وآلات وتجهيزات وبناء وجميع الأجهزة المكتبية).

a) بعض الأساسيات في إدارة الصيانة :

تهـــدف هـــذه الأساسيات إلى ضرورة اهتمام الإدارة العليا في المؤسسات الإنتاجـــية بإدارة أو بقسم الصيانة بوصفة إدارية حيوية، وباعتباره بحق بوابة الأمان للنشـــاط الإنتاجي فيها. أيضاً فهي تساعد في شرح كيفية بناء نموذج خاص بكل إدارة، بما يتناسب واحتياجاتها، بغية ضبط أعمال الصيانة التي تزداد صعوبة بازدياد الـــتطورات التكنولوجـــية في الآلات، وفي تكامل خطوط الإنتاج، كما تهدف إلى توعـــية فـــرق الصـــيانة بدورهم الهام في كبح جماح تكاليف الصيانة التي ازدادت بازديـــاد دورهم في الإنتاج، وذلك بتنظيم أعمالهم بالشكل الأمثل، مستفيدين من التطورات الحاصلة في علوم إدارة الأعمال وعلوم الهندسة الصناعية وعلوم التدريب التقني.

b) موضوع إدارة الصيانة وأهميتها....

توارثت المؤسسات المختلفة لفترة طويلة من الزمن أعمال الصيانة كوظيفة ثانوية وبدائية، سيطر عليها طابع الإصلاح، ونُظر إليها كمرض مفاجئ يؤدي إلى تكاليف إضافية لا يمكن التنبؤ بها.

وفي أوائـــل الستينيات، اقتنعت معظم المؤسسات بأن **الصيانة هي وظيفة أساســـية في جميع الأنشطة** تساهم في ضبط التكاليف وتجنب النتائج الخطيرة التي يمكـــن أن تعـــزى إلى عطـــل تقني أو خطأ إنساني. وبدأت أقسام علمية مختلفة في الجامعـــات، وكذلك مراكز البحوث المتقدمة تولي اهتماماً خاصاً بأساسيات إدارة الصـــيانة، وتركزت الدراسات والبحوث الأولى حول بناء **نماذج رياضية للصيانة**، وأظهـــرت التطبيقات أن بعضاً من هذه النماذج قدم حلولاً غير صحيحة وكشف الـــبعض الآخـــر عن مفاهيم وأسس هامة جداً في ميدان التطبيق. ويبدو اليوم أن **المعـــرفة العلمـــية الخاصة بأداء الصيانة أصبحت أكثر نضوجاً، لكن الفجوة ما**

زالت كبيرة بين النظرية والتطبيق، خاصة في الدول النامية. وبالطبع فقد أظهرت الممارسة الصحيحة والتصميم والتقدم التقني المتنامي آثاراً جوهرية في تطور أعمال الصيانة.

إن تنظـــيم الصيانة وأنظمتها المختلفة وتخطيطها وأنظمة المعلومات الخاصة بها والقوة العاملة المكلفة بتنفيذها، وأخيراً النظرة الاقتصادية إلى هذه الوظيفة الهامة ليســـت واحـــدة في جميع المؤسسات. وما زال الجدل قائماً حول نماذج وأشكال الصـــيانة حـــتى في المؤسسات التي أدركت دورها الفعال في تخفيف التكاليف وفي تجنب المفاجآت الأليمة.

c) أهمية الصيانة في المنشآت الصناعية:

تكتســـب عملـــيات الصيانة في المؤسسات الإنتاجية أهمية خاصة وذلك للعوامل التالية:

1. تســـاعد على المحافظة على أعطال الآلات والمعدات في حدها الأدنى، مما يعطي العملية الإنتاجية الفرصة المناسبة لتصنيع أكثر كفاءة وفعالية وأقل تكلفة .
2. تعمل على المحافظة على معايير الجودة من خلال ضمان فعالية آلات الإنتاج .
3. تعمـــل عـــلى منع الأعطال الرئيسية التي تؤدي إلى توقف خطوط الإنتاج، مما يتســـبب في الإخلال بمواعيد تسليم الطلبيات للزبائن، وينجم عنها خسائر فادحة للمؤسسات الإنتاجية .
4. المحافظـــة عـــلى الـــروح المعنوية للعاملين ومنع تعريضها للهبوط بسبب كثرة الأعطال وتوقف خطوط الإنتاج .
5. المساعدة في تقديم التسهيلات المختلفة للعاملين في المؤسسة الإنتاجية، مما يؤدي إلى رفع الإنتاجية . مثال ذلك توفير جو مناسب من ناحية درجة الحرارة ومستوى الرطوبة من خلال صيانة أجهزة التكييف وضمان تشغيلها بالمستوى اللائق.

6. إن المفاهيم الإنتاجية الحديثة التي تأخذ بمبدأ الإنتاج عند الحاجة (Just-in- time) (JIT) تتطلب وجود صيانة وقائية، تضمن تشغيل الآلات بشكل كامل لمواجهة الطلب دون الاعتماد على التخزين .

ثانياً) أنواع الصيانة والنظام النموذجي للخدمة التقنية والإصلاح:

تهدف صيانة أية منشأة (أو آلة) بشكل رئيس إلى استثمار هذه المنشأة (أو الآلة)، بحيث تتحقق الأهداف الوظيفية المطلوبة منها قدر الإمكان، وذلك خلال فترة عمرها الافتراضي. وقد **عرّفت المواصفة القياسية البريطانية** (Bs4778) الصيانة بأنها جميع الجهود المبذولة من قبل الإدارة والكادر الفني لإعادة وسيلة الإنتاج إلى الحالة التي تمكنها من أداء الوظائف المطلوبة منها. **وعند القيام بأعمال الصيانة، فإن الهدف من ذلك:**

a- الإقلال من الإصلاحات الطارئة،

b- الإقلال من أزمنة توقف المنشأة عند العمل، بسبب الأعطال المختلفة،

c- إطالة فترة بقاء المنشأة (أو الآلة) في الخدمة، لتصل إلى عمرها الافتراضي، أو لتتجاوز ذلك العمر إن أمكن ذلك؛

d-أداء المنشأة (أو الآلة) لوظائفها وفقاً للأهداف المصممة من أجلها.

وتشترك مختلف عمليات الصيانة معاً لتحقيق الهدف الرئيس المشار إليه آنفاً. وتصنف تلك العمليات ضمن أنواع مختلفة، حيث يهدف كل منها في النهاية إلى الإسهام في تحقيق ذلك الهدف. **وقد قسم بعض البحاثة الصيانة إلى الأنواع التالية:**

1) الصيانة الوقائية (Preventive maintenance -PM): يعتبر هذا النوع من أهم أنواع صيانة المنشآت بشكل عام، ويهدف أساساً إلى درء حدوث الأعطال في المنشأة (الآلة)، وهي عادة تتم دون إيقاف المنشأة عن العمل. تجري الصيانة غالباً

عـــلى فـــترات ثابتة محددة بشكل مسبق منعاً لوقوع العطل، أو بقصد الإقلال من احتمال وقوعه، أو لمنع تدهور أداء وسيلة الإنتاج.

والصـــيانة الوقائـــية تمثل إجراءً وقائياً تقوم به وحدة الصيانة لمنع حدوث الأعطال طـــبقاً لجدول منتظم محدد مسبقاً، ويحدد هذا الجدول درجة الثقة بالأجزاء المختلفة من ماكينات الإنتاج ويبين كذلك نوعية الأعطال المتوقعة بها.

وتشمل الصيانة الوقائية الإجراءات العامة التالية:

1. التفتـــيش مقدمـــاً: وفيها يقوم مهندس الإنتاج بتحديد أوقات فحص الآلات المخـــتلفة بناءً على نوع القطعة الخاصة بالآلة، ودرجة أهميتها لاستمرارية وسلامة عمليات الإنتاج، وكذلك الوقت المتوقع لتغييرها.
2. الصـــيانة المجدولـــة (الروتينية): وتشمل العديد من الأنشطة مثل تزييت الآلات وتشحيمها، وإعادة شحن البطاريات وبعض الإصلاحات البسيطة وغيرها.
3. خدمـــات المصنع: وهي التي تشمل الخدمات المختلفة في مؤسسة الإنتاج، مثل خدمات التبريد والتكييف، التلفونات، خدمات الحماية من الحرائق وغيرها.

وتعمل الصيانة الوقائية عموماً على تقليل تكرار الصيانات الأساسية وحجمها.

إن الصـــيانة الوقائية هي صيانة ذات شكل دوري، ويمكن جدولتها طبقاً لطاقم الصيانة ومراعاة عدم التعارض مع جداول الإنتاج بالمؤسسة المعنية. **وعادة ما يقـــوم مديـــرو الصيانة الوقائية ببرمجتها اعتماداً على تركيبة مؤلفة من العناصر التالية:**

1. نتائج الفحص والتفتيش المخططة لمعرفة الحاجة للصيانة .
2. طبقاً للتقويم الزمني لمرور الوقت .
3. بعد ساعات تشغيلية محددة سلفاً .

ويمكن تحديد أهداف تخطيط وجدولة أعمال الصيانة الوقائية كمايلي :

1. تحسين إنتاجية أعمال الصيانة .

2. إعداد جدول أعمال الصيانة .

3. وضع خطة للمتطلبات المستقبلية لمنع حدوث أزمات .

وتجري أعمال التخطيط في ثلاثة مستويات أساسية هي :

a–التخطـــيط طويل الأجل: ويغطي هذا المستوى فترة لا تقل عن خمس سنوات ويعـــتمد عـــلى نتائج التنبؤ بالإنتاج والمبيعات على المدى الطويل، وذلك بهدف المحافظـــة عـــلى أهـــداف وسياسات وإجراءات الصيانة في شكل متحدد لتحقيق الأهداف الكلية للمؤسسة الإنتاجية. عند وضع الخطط الطويلة الأجل يجب مراعاة الآتي:

1. التغيرات في تجهيزات وتسهيلات الصيانة المطلوبة .

2. الـــتغيرات في آلات ومعدات الإنتاج بسبب التقادم (Obsolescence) والآلية والتحسينات التقنية المختلفة .

b– التخطيط قصير الأجل: ويعني إعداد خطة سنوية للعمليات تشمل الآتي:

1. خطـــة عامـــة يتم فيها توزيع أعضاء طاقم الصيانة على مختلف الأقسام في ظل الأحوال العادية .

2. خطط وجدولة تفصيلية لأعمال الصيانة الأساسية مثل عمليات الفحص الدقيق الكبرى .

ويهدف التخطيط قصير الأجل لتحقيق مايلي:

1. تحديد الأوقات المناسبة لتنفيذ كافة أعمال الصيانة .

2. وصف التوزيع العادي لأعمال الصيانة حسب نوع العمل.

أي خلـــل في هـــذا المســـتوى من التخطيط سيؤدي إلى زيادة في معدل الأعطال، وزيادة في التكاليف المصاحبة لعدم توفر العمالة والمواد الخام والأدوات والتجهيزات وغياب التعليمات المناسبة لمجابهة الأعطال

C- **تخطـــيط الوظيفة اليومي:** ويهدف أساساً لخفض تكاليف الصيانة وذلك من خلال إعداد الآتي: .

1. تعلـــيمات الوظيفة التي تحدد كيفية الأداء وما يرافقها من مواصفات ورسومات فنية .
2. تحديد الاحتياجات من المواد الخام .
3. تقدير العمالة اللازمة .
4. تحديـــد التجهيزات والأدوات الخاصة المطلوبة لأداء أعمال الصيانة بالإضافة إلى التجهيزات العادية .
5. تجهيز التعليمات المتعلقة بالأمن والسلامة وكيفية التعامل مع مختلف الأخطار .
6. تقدير الأوقات المطلوبة لإنجاز أعمال الصيانة .
7. إعداد أوامر الشغل لتنفيذ أعمال الصيانة.

لقد تطور مفهوم وأسلوب هذا النوع من إصلاح المعدات والتجهيزات الهندسية مع تطـــور كـــل من بنية المنشآت الهندسية والمعدات فيها، من حيث ارتقاء المستوى الـــتقاني لهذه التجهيزات، والتعقيد المتزايد في بنيتها وتكامل مهامها. وبمرور الزمن واختلاف مستوى الأداء المطلوب من المنشآت وتجهيزاتها فقد طور هذا النوع من الصيانة عدة أشكال أهمها:

- الصـــيانة المخططـــة الدورية **(Planed Maintenance)**: في هذا النوع، تنفذ عملـــيات صيانة دورية بناءً على انقضاء فترات زمنية دورية مخططة مسبقاً، (كعدد ساعات التشغيل، عدد الدورات، الفترات الزمنية، المسافات المقطوعة...). وغالباً

مـــا تـــنطلق خطط هذا النوع من الصيانة اعتماداً على نصائح الشركات المنتجة للمعدات، والتي تحتاج عادة إلى المراجعة والتحديث بناءً على خبرات الكادر الفني المسؤول عن مهام الصيانة.

من مزايا هذا النوع أنها تخفض من احتمال وقوع الأعطال الطارئة المربكة. ويتأثر هـــذا التخفـــيض إلى (حد كبير) بمستوى شمولية ونضوج خطط الصيانة الدورية الموضوعة لهذا النوع من الصيانة.

أما أهم مساوئها فهي:

-تحـــتاج إلى تخزين كم كبير من قطع الغيار المحتملة الاستخدام، والتي تشكل عادة جزءاً راكداً من رأس المال؛

-تزعج الأنظمة المستقرة، وتنفيذها يرفع من احتمال نشوء الأعطال؛

-قـــد تـــؤدي إلى حـــدوث بعض الهدر الناتج عن استبدال بعض الأجزاء التي لم تستهلك تماماً (ما زال هناك بقية في عمرها الاستثماري).

- الصيانة بمراقبة الحالة (Condition Based Maintenance-CBM):

وتـــنفذ الصـــيانة اللازمة للآلة في هذا النوع، بناءً على معطيات وسائل التحســـس والمراقبة لمعاملات محددة (حرارة-ضجيج-تلوث...) في المواضع المعنية على الآلة، حيث تسمح مراقبة تلك المعاملات بملاحظة بداية نشوء العطل في تلك المواضـــع ومراقـــبة تطـــوره مع الزمن، وتمكن من اتخاذ قرار الإصلاح في الوقت الأنسب.

من أهم مزايا هذه الطريقة أنها:

-تسمح باستثمار العمر الأقصى لقطع الغيار المستهلكة بشكل دوري؛

-تعطـــي فسحة من الزمن لاتخاذ قرار الإصلاح في أنسب الأوقات بالنسبة لمستثمر الآلة؛

-تساعد في خفض مخزون قطع الغيار التي يمكن أن تحتاجها المؤسسة المعنية، بحيث يكون هناك متسع من الوقت منذ لحظة بدء نشوء العطل وحتى اكتمال حدوثه.

أما **أهم مساوئها** فقد تكون التكاليف الإضافية الناتجة عن إضافة وسائل التحسس، والمراقبة.

- الصيانة المعتمدة على تحاليل الوثوقية (Reliability Centered-RCM Maintenance): انطلق هذا النوع من الصيانة في مطلع الستينات، وأدخل في صيانة الطائرات المدنية على الخطوط الجوية الأمريكية عام 1978، حيث أن وثوقية خطوط الطيران تعتمد بشكل أساسي على الصيانة المعتمدة على تحاليل الوثوقية.

تتم صياغة مهام الصيانة الوقائية في هذا النوع من الصيانة انطلاقاً من المعطيات الإحصائية حول أعطال المعدات والتجهيزات الموثقة في الأرشيف الفني لأعطال المعدات. **من أهم ميزات هذه الطريقة**، أن تحليل الأعطال من وجهة نظر الوثوقية يؤدي إلى فهم طبيعة تلك الأعطال ومسبباتها والعوامل المؤثرة التي أدت إلى حدوثها. وهذا بالتالي سوف يؤدي إلى صياغة مهام الصيانة التي تحد أو تمنع تكرار تلك الأعطال، وهذا بدوره يؤدي حتماً إلى رفع وثوقية وجاهزية تلك المعدات.

2) الصيانة التصحيحية (أو العلاجية CM–Corrective maintenance):

يتم ضمن هذا النوع من الصيانة إعادة إصلاح الأجزاء المعطوبة من المنشأة (الآلة) وإعادتها إلى وضعها الأصلي قدر الإمكان. يحتاج هذا النوع من الصيانة عادة إلى إيقاف الآلة عن العمل. أيضاً، يدخل ضمن هذا النوع ما يدعى **الصيانة الطارئة أو الصيانة في حالة الانكسار** (Emergency or Break-down maintenance). تنفذ

الصـــيانة العلاجية بعد وقوع العطل(*)، بقصد إعادة وسيلة الإنتاج إلى الحالة التي تمكنها من أداء الوظائف المطلوبة منها.

ويســـمي الـــبعض هـــذا النوع من الصيانة بـــ "**الصيانة الإصلاحية (العلاجية، Repairs Maintenance)**، وهـــي الـــتي تغطـــي كل أعمال الصيانة الميكانيكية والكهربائية لمختلف الأجهزة والمعدات، من تحديد للقطع التي تتطلب التغيير بسبب الكســـر أو الاســـتهلاك وفحص للآلات للتأكد من أنها تؤدي عملها على الوجه الصـــحيح. ويتم القيام بهذا النوع من الصيانة بعد توقف المكائن والمعدات أو بعد تعرضـــها لمشاكل تشغيلية معينة. **ويوجد نوعان من الصيانة الإصلاحية:** الصيانة الـــثانوية (Minor Maintenance)، وهي تشكل جزءاً كبيراً من نشاطات الصيانة الإصـــلاحية ويمكن التنبؤ بها بسهولة، والصيانة الأساسية (Major Maintenance) وقد تلجأ بعض المؤسسات الإنتاجية لإسنادها إلى شركات متخصصة مقابل تعاقد سنوي يتفق عليه.

وهذا النوع من الصيانة هو الأكثر شيوعاً في بلدان دول العالم الثالث التي لا تمتلك المنشآت الهندسية عالية التطور وذات الأتمتة المنخفضة.

لهذه الطريقة العديد من المساوئ نذكر منها أنها:

- مفاجئة ومربكة، حيث تفرض نفسها في أوقات غير ملائمة؛
- تسبب الخسائر الكبيرة في الإنتاج؛
- تحتاج إلى المرونة العالية في تأمين قطع الغيار في الأوقات غير المتوقعة؛
- تحتاج إلى كادر صيانة فني ذي مهارات عالية في سرعة تشخيص الأعطال، وآلية إصلاحها.

---

*-العطل (Failure): هو انعدام مقدرة العنصر على أداء الوظائف المطلوبة منه.

- تحدث خللاً في خطط الإنتاج، وتؤخر مواعيد التسليم.

3) الصيانة الكلية المنتجة (Total Productive Maintenance-TPM):

وفيها تكون مسؤولية صياغة وإدارة مهام الصيانة موزعة على جميع العاملين في المنشأة، من مستوى الإدارة العليا للمنشأة ووصولاً إلى مستوى العمال المباشرين المشغلين والمستثمرين المباشرين للمعدات والآلات التابعة لتلك المنشأة. ويعتبر هذا النهج الأكثر حداثة وشيوعاً في الدول الصناعية الكبرى.

4) الصيانة الاستباقية (Proactive Maintenance):

بما أن تكاليف الصيانة تشكل شريحة كبيرة وهامة (وقد تكون الشريحة الأكبر من تكاليف المنشأة-وفق إحصاءات شركة DUPONT) من تكاليف الإنتاج، فقد أصبحت الجهود المعاصرة لخفض تكاليف الصيانة تتجه نحو البرامج التي تستهدف الأسباب الجذرية لاهتراء المعدات وتعطلها. ونتيجة للدراسات التي أجريت من قبل العديد من الشركات، تبين أن هذه التكاليف يمكن خفضها بشكل حاد من خلال إنشاء خط دفاع استباقي. حيث أظهرت الاختبارات المخبرية والميدانية (للمعدات التي تعاني من أعطال الاهتراء) أن الملوثات المحمولة في السوائل هي العامل الأكبر المسبب لأعطال الاهتراء في المعدات، بما في ذلك الجزيئات الميكروسكوبية التي يمكن أن تجهد الآلة حتى التوقف. ومن المعلوم أن الطرائق شائعة الاستخدام لمجابهة ضرر الآلة تركز على ظواهر الأعطال بالاعتماد على :

- إما كشف الإشارات التحذيرية لبدء تكون العطل (مراقبة الحالة).
- أو الصيانة الدورية وفق خطط محددة مسبقاً.

بينما تركز أي من المناهج التي سبق التنويه عنها على أسباب نشوء تلك الأعطال. والصيانة الاستباقية معروفة عالمياً كأحد أهم الطرائق المستخدمة لتحقيق ذلك، والتي لا غبار عليها لتحقيق الوفر المنشود مقارنة مع الأنظمة التقليدية الشائعة.

حيث أنه من البديهي أن التشخيص المسبق والحد من أي تطور لمرض ما بزمن طويل قبل ظهور أي أعراض في الجسم البشري سيوفر الكثير من تكاليف العلاج والأطباء. وهذا هو مبدأ الصيانة الاستباقية، وهي تملي الإجراءات التصحيحية التي تستهدف مسببات العطل.

من أهم ميزات هذا النوع:

- خفض تكاليف الصيانة.
- إطالة عمر الآلات الميكانيكية بتصديها لتنفيذ الإصلاحات عندما لا يكون هناك شيء معطل.
- تحويل الأعطال إلى أنماط روتينية عادية.
- تحقق الحمية من الأعطال الموصوفة في كل من الصيانة بمراقبة الحالة الدورية .

5) الصيانة التوقعية أو التنبؤية (Predictive Maintenance) :

يتم هذا النوع من الصيانة عادة عند ملاحظة أو حدوث حالات غير مرغوب بها أثناء عمل المنشأة (الآلة). أيضاً، يدعى هذا النوع الصيانة الظرفية (Condition-based Maintenance)، أو الصيانة بمراقبة الحالة. بواسطة هذا النوع، يتم الكشف عن العيوب(*) المخفية في الآلة قبل أن تستفحل وتتحول إلى مشاكل أكبر، وفيها تستخدم الأساليب الإحصائية والتنبؤية التالية:

- تحليل الاهتزازات الحاصلة في الآلة؛
- التحليل الطيفي للزيوت؛
- مراقبة درجة الحرارة باستخدام الأشعة تحت الحمراء؛
- الاختبارات اللاإتلافية؛

---

*-العيب (Defect): هو ضعف مقدرة العنصر على أداء الوظائف المطلوبة منه.

- الأمواج فوق الصوتية.

6) الصيانة التبديلية (Replacement Maintenance):

يـــتم هـــذا النوع من الصيانة عادة عندما تظهر الحاجة إلى تبديل جزء أو عنصر رئيس من المنشأة (الآلة)، نظراً لتكرار أعطاله، أو عدم إمكانية إصلاحه.

7) الصيانة الكشفية (Detective Maintenance):

يجـــري هـــذا النوع من الصيانة عادة على الأجزاء غير المتحركة المصممة للأمـــان أو للحماية (كأجهزة الإنذار عن الحريق، أو مجسات الغازات الخطرة، أو بعـــض العناصر في أجهزة القيادة والتحكم الآلي). يكتسب هذا النوع من الصيانة أهمية خاصة، لأن تعطل بعض أجزاء منظومات الحماية قد يكون له تأثيرٌ خطيرٌ في نـــتائجه. يـــتم تحديد فترات إجراء الصيانة الكشفية استناداً إلى إرشادات الشركة الصانعة وخبرة فريق العمال المكلفين بالصيانة. أيضاً، يدعى هذا النوع من الصيانة **بالصيانة الوظيفية** (Functional Main).

8) الصيانة التشغيلية (Operational Main):

يـــتعلق هذا النوع من الصيانة بالإجراءات المتخذة للتغلب على الصعوبات الحادثـــة أثناء التشغيل، وتتم غالباً دون إيقاف العملية التشغيلية وبدون إصلاحات فعلـــية، وإنما بتعديلات في أسلوب التشغيل. يقوم عمال تشغيل المنشأة المعنية عادة بإجراء هذا النوع من الصيانة.

9) الصيانة المؤجلة (Defered Main):

تجري ضمن هذا النوع عمليات الصيانة التي كان يجب إجراؤها في وقت سابق، إلا أنها لم تنفذ وقتذاك بسبب النقص في السيولة المالية، أو عدم توفر القطع التبديلية، أو عند ظهور إعاقات أخرى. وتكتسب هذه الصيانة أهمية متزايدة كلما تأخر تنفيذها عن أوقاتها المقررة.

يـــتم إصـــلاح آلات التشـــغيل والخطوط الإنتاجية المؤتمتة عندما يصبح الاستثمار اللاحق للتجهيزات الداخلة فيها غير ممكن، بسبب الاهتراء الحاصل أثناء عملها.

يسمى أسلوب استعادة صلاحية الاستخدام والمحافظة على الحالة التقنية للتجهيزات بـــ **"الإصـــلاح غـــير المبرمج"**، وأحياناً يطلق عليه **"الإصلاح حسب الحاجة"** (OM.offschedule- unscheduled-maintenance). إذا جـــرى الإصـــلاح قبل الموعـــد، وبـــدون انتظار حدوث عطل في التجهيزات، فإن هذا الأسلوب يسمى بـــ**"الإصلاح المبرمج"** (SR.Scheduled repair)، وذلك لأنه يخضع للتخطيط، وينجز وفق نظام مخطط له، وتنفيذه يمنع العطب غير المنتظر للتجهيزات، أو التدهور الحـــاد في حالتها الفنية بسبب الاهتراء المتزايد للميكانيزمات، أو الإزالة للعيوب في غير موعدها.

مـــن أجل هذا، وحتى يمكن تحقيق العمر المعطى للتجهيزات أثناء عملها، وعلى أن يكون مقدار التوقفات النسبية خلال الإصلاح غير كبير، فإنه من الضروري تطبيق SR للتجهيزات العائدة لآلات التشغيل.

لقـــد تم تصـــميم وإدخـــال **"النظام النموذجي للخدمة التقنية وإصلاح آلات التشـــغيل وتجهيزات تصنيع الخشب". يشمل هذا النظام الصيانات المخطط لها التالية:** البسيطة الوسطانية والرئيسية.

- الصيانة البسيطة (RR.running-routine-repair):

هذا النوع من الصيانة، ينفذ من أجل تحقيق أو استعادة ملاءمة الاستخدام للتجهيزات، ويتلخص في استبدال و(أو) تعمير الأجزاء المختلفة (العناصر ، الأجزاء الآلية).

وتجـــري الصـــيانة البسيطة عادة في مكان وجود التجهيزات المراد صيانتها. ويقوم بإجـــراء الصـــيانة البسيطة ميكانيكي الصيانة في القسم أو الورشة، تحت إشراف الملاحظ أو ميكانيكي الصيانة في القسم.

والـــزمن الذي تستغرقه عمليات الصيانة البسيطة (أو **الصيانة الجارية** كما تسمى أحـــياناً) يحـــدد بصورة مسبقة في كل ورشة على حده بواسطة جدول عمليات الصيانة المخططة الوقائية. وعند ذلك، تؤخذ بعين الاعتبار ضرورة إجراء عمليات الصـــيانة البسيطة خارج أوقات العمل، إما إذا كان من الضروري إيقاف الآلات، فإن فترة الإيقاف يجب أن لا تزيد عن الحدود المقررة.

وخلال عمليات الصيانة البسيطة تستبدل المسامير التالفة وتنظف وتصلح مجـــاري الخوابـــير، وتســـتبدل الخوابير القديمة بأخرى جديدة ، ويزال الرايش من رقبات أعمدة الدوران والجلب وأسنان المسننات، وتجرى عمليات إصلاح الحواجز الواقـــية وتقوية البرشامات وتلحم الثقوب، وتُستبدل كذلك بعض أجزاء الآلات بأخرى جديدة. يشكل حجم الصيانة البسيطة حوالي 20% من الصيانة الشاملة.

في حالـــة الصيانة البسيطة لا يمكن أن يكون حجم العملية ودرجة تعقدها كبيرين.

– الصيانة المتوسطة (MR. medium repair):

يـــنفذ هـــذا الـــنوع مـــن الصيانة من أجل استعادة صلاحية الاستخدام والتحديد الجزئي لعمر التجهيزات. (مثلاً، عن طريق رفع دقة التشغيل)، مع استبدال أو تجديـــد الأجزاء المركبة لمجموعة محدودة من المسميات الآلية ومراقبة الحالة التقنية للأجزاء المركبة، المنفذة بحجومها الكاملة والمبينة في الوثائق التقنية.

وعند إجراء الصيانة المتوسطة، تستبدل الأجزاء المتآكلة، أو يتم تصليحها، وتضبط التجهيزات وتختبر دقة التوضع التبادلي لمختلف أجزاء الجهاز.

تشمل هذه الصيانة تلك الأجزاء التي يعادل عمر تشغيلها تقريباً الفترة الفاصلة بين صيانتين متوسطتين، أو يقل عنه. يعادل حجم الصيانة المتوسطة تقريباً 50-60% من حجم الصيانة الشاملة.

– الصيانة الشاملة (أو الرئيسية– OR. overhaul):

تُنفذ هذه الصيانة من أجل إزالة الأعطال، والتمديد الكامل أو القريب من الكامل لعمر التجهيزات (وفق الدقة، الإنتاجية) مع استبدال أو تعمير أية أجزاء بها، بما في ذلك العناصر القاعدية (الأساسية).

يعتبر هذا النوع من الصيانة أكبر أنواع الصيانة المخطط لها حجماً. وعند إجرائها يتم فك الآلات والتجهيزات تماماً، ثم تستبدل وتصلح جميع الأجزاء المتآكلة، بما في ذلك الأجزاء الأساسية، وكذلك يتم تجميع وضبط هذه الآلات والتجهيزات وتختبر وتضبط جميع أبعادها الهندسية، بحيث تستعيد دقتها وقدرتها وإنتاجيتها. ويحدد حجم العمليات المطلوب إنجازها تبعاً لكمية العيوب المعدة من قبل.

وفي العديد من الحالات، تُنزع الأجزاء الآلية من قواعدها عند إجراء الصيانة الشاملة، ويمكن الجمع بين الصيانة الشاملة والتحسين الجزئي للأجزاء والتجهيزات. إضافة إلى عمليات الصيانة البسيطة والمتوسطة والشاملة الجارية وفقاً لخطط محددة مسبقاً، فإن هناك مكان للصيانات التالية: **عمليات صيانة خارج الخطة بسبب الطوارئ** (break repair)، وهي تنفذ خارج نظام الصيانة الوقائية- الدورية، وتخصص لإزالة آثار الأعطال المفاجئة، مثل انكسار أحد أجزاء الآلة أو لأي سبب آخر. وقد يصل حجم ومقدار هذا التصليح إلى حجم الصيانة البسيطة أو المتوسطة أو الشاملة، تبعاً للعواقب الحقيقية الناتجة عن الحادث الطارئ. ويجدر التنويه إلى أنه في حالة التنظيم الجديد لأعمال الصيانة الوقائية المخططة واتخاذ إجراءات فعالة لمنع حدوث الطوارئ، فإن التصليح الطارئ يعتبر قليل الحدوث. كما أن هناك

عمليات الصيانة التجديدية (Reconditioning)، حيث يتم خلال ذلك إجراء التحديث (modernization) للآلة المعنية.

يحقق النظام النموذجي التوافق التقريبي والكافي لمدة تنفيذ أعمال الصيانة المخطط لها، مع الزمن الحقيقي الضروري للقيام بأعمال الصيانة هذه، وأيضاً التطابق التقريبي والكافي لحجوم إصلاح الآلات المخطط لها مع الحجوم الفعلية الضرورية للإصلاح. بنتيجة ذلك، يتم بلوغ **الفعالية الاقتصادية** (economical effect) الناتجة عن إدخال النظام النموذجي، بفضل اختصار ضياعات الإنتاج التي تسببها الإصلاحات الطارئة (التي لا تدخل في النظام النموذجي) وتوقفات الآلات المرتفعة.

إن **الأوضاع الأساسية للنظام النموذجي** هي التالية:

1- يحدد حجم أعمال الصيانة الذي يعتبر ضرورياً لتجهيزات القسم الإنتاجي المعني انطلاقاً من شروط عمل هذه التجهيزات؛ والخصوصيات الإصلاحية لها؛ ونوعية تنفيذ كل من الأعمال الإصلاحية والخدمة التقنية؛ والزمن الذي يمكن أن يقوم خلاله كل جزء في التجهيزة. بالعمل بدون أن تكون هناك حاجة لإصلاحه؛ ومستوى إنتاجية العمل لعمال الصيانة . يتغير حجم أعمال الصيانة للتجهيزات في كل من المصنع والأقسام التشغيلية والورشات وفقاً للزمن الذي ينقضي بدون إجراء إصلاحات.

2- تُنفذ أعمال الصيانة المختلفة المخطط لها خلال مجالات زمنية دورية متكررة، وتؤخذ كنسبة من الزمن التشغيلي ووفق تسلسل محدد، وهو ما يطلق عليه اسم "**الدورة الإصلاحية**" (أو دورة الصيانة – Cycle of repair) . يسمى تسلسل تناوب أنواع الإصلاح المختلفة في حدود الدورة الإصلاحية بـ "**بنية الدورة الإصلاحية**". تتألف الدورة الإصلاحية من بعض الإصلاحات المخطط لها الموافقة

لعـــدة أنواع من هذه الإصلاحات، حيث يتم خلالها بشكل رئيسي تنفيذ استبدال العناصـــر المتآكلة وإزالة العيوب الظاهرة بسبب اهتراء الموجهات (guide ways)، وأيضاً الأعمال الأخرى الضرورية لاستعادة آلة التشغيل لدقتها.

3- يُحـــدد حجـــم أعمال الصيانة الضروري من أجل نوع محدد من الآلات من خـــلال تعقـــد الصيانة (compouned maintenance) . يُحدد تعقد الصيانة في وحـــدات نســـبية عن طريق مقارنة صعوبة الإصلاح الرئيسي لأية آلة تشغيل مع صعوبة الإصلاح الرئيسي لآلة التشغيل المتخذة كوحدة اصطلاحية لتعقد الصيانة.

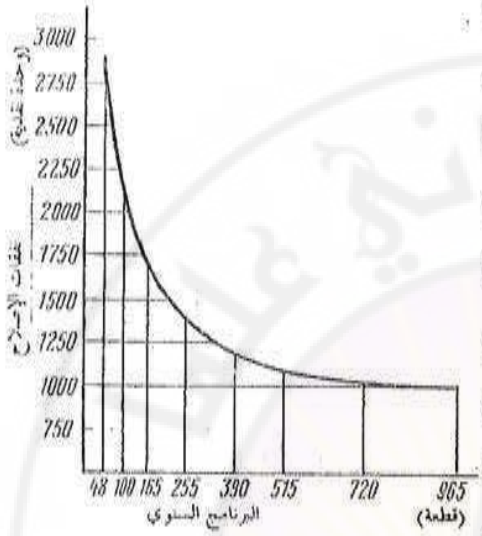
4- إضـــافة إلى الإصـــلاحات الدورية، فهناك وجود لـــ **"الدورة الخاصة بخدمة التجهـــيزات "**. وهي عبارة عن المجموع المتكرر لعمليات الأنواع المختلفة للخدمة التقنية المخطط لها، المنجزة خلال كمية محددة من ساعات الزمن التشغيلي للعمل، والعـــائدة لكل نوع من التجهيزات. تُنفذ خلال الخدمة التقنية العائدة لتجهيزات آلات التشغيل الأعمال التالية: الفحوص والاختبارات المخطط لها، والمبينة في النظام الـــنموذجي مع استبعاد العيوب الظاهرة؛ التزييت والاعتناء بالآلة؛ الخدمة المناوبة الضرورية لاستعادة صلاحية الاستخدام للآلة، وذلك في حالات التوقف والطوارئ والانكســـار. إن حجـــم الأعمـــال العائد للخدمة التقنية لآلات التشغيل يشكل 30-40% من حجم الضياعات البسيطة المخطط لها.

ثالثاً) الأشكال التنظيمية للصيانة الشاملة (الرئيسية) للآلات :

يمثل الإصلاح الرئيسي لكل من الآلات وآلات الوحدات القياسية المكان البارز في مصانع الإصلاح –الميكانيكية. من حيث **درجة التخصص**، فإن مصانع الإصـــلاح يمكـــن أن تكون **عمومية ومتخصصة**. يتم في المصانع العمومية تصليح الآلات ذات الأنواع المختلفة؛ ويتم في المصانع المتخصصة إجراء الإصلاح للآلات

ذات الوظـائف المحـددة، ومثال على ذلك الروافع الآلية (Motorized crane)، والتراكتورات والآلات الأخرى المرتبطة بها، الحفارات (excavayor).. إلخ.

تعتبر المصانع المتخصصة أكثر فعالية، حيـث يكون من الأسهل من أجل الأنواع المحدودة من الآلات الخاضعة للإصلاح استخدام التقنيات المتطورة وعالية الإنتاجية والأساليب المتطورة لتنظيم الإنتاج. على الشكل 3.1 مبين علاقـة الـنفقات، بسبب الإصلاح الرئيسـي، واحدة من الحفارات E-652 (بـدون كلفـة المواد والقطع التبديلـية)، بالـبرنامج السـنوي للإصلاح في المصنع المتخصص.



شكل 3.1- علاقة نفقات الإصلاح الرئيسي مع برنامج الإصلاح الرئيسي

يسـمح تخصـص مصـانع الإصلاح ليس فقط برفع إنتاجية العمل بشكل حاد، وخفـض كلفة الإصلاح، وإنما بتحسين نوعيته واختصار أزمنة مكوث الآلات في الإصـلاح، وتوسيع العلاقات بشكل حاد مع المؤسسات الأخرى، بحيث يتحقق التعاون ليس فقط داخل المؤسسة الواحدة وإنما بين المؤسسات.

يوجـد مخططات نموذجية لمصانع الإصلاح التخصصية والعمومية، بحيث يصل حجم الإصلاح إلى الملايين من الدولارات في السنة الواحدة.

إن الشـكل المـتقدم المستخدم في تنظيم إصلاح الآلات (وخاصة آلات البـناء) هـو **أسلوب الوحدة المجمعة – الجزء الآلي**. يتلخص هذا الأسلوب بأن

الوحـــدات والأجزاء المنـــزوعة من الآلة تُرسل إلى الإصلاح ويتوضع مكانها تلك الوحدات والأجزاء التي تمّ إصلاحها سابقاً أو الجديدة، التي يتم الحصول عليها من مخـــزن المخصصـــات المجددة. (وأحياناً يطلق على هذا الأسلوب: الطريقة التبادلية للصيانة).

خـــلال ذلك، فإن الوحدة المجمعة (أو الجزء الآلي) تُصلح دون أن يؤخذ بالحســـبان إلى أية آلة تنتسب، وبعد الانتهاء من إصلاحها تُرسل بصورة مجردة إلى مخـــزن المخصصـــات المجـــددة. يُسمى هذا النوع بـــ **"الإصلاح المجرد الخالي من العـــنوان"**. يســـمح الإصلاح بأسلوب الوحدة المجمعة- الجزء الآلي باختصار مدة الإصلاح بمقدار 50-60%، ورفع نوعيته وخفض كلفته.

أيضـــاً يتم باستخدام أسلوب الوحدة المجمعة –الجزء الآلي تنفيذ الإصلاح الرئيســـي لـــلآلات في قواعد المكننة الحاوية على ورشات الإصلاح –الميكانيكية. تملـــك قواعد المكننة، الواقعة تحت إشراف اتحاد الشركات الخاص بإصلاح آلات البناء أو إدارات المكننة في بنيتها ورشات ميكانيكية إصلاحية ثابتة، وأقسام للخدمة التقنية (للوقاية)، ومحطات للآلات، ومخازن وغير ذلك من المنشآت.

عـــندما يكـــون برنامج الإصلاح في مصنع ما كافياً فإن أسلوب الوحدة المجمعـــة –الجزء الآلي يمكن أن يمتزج مع **أسلوب خط التجميع** (Straight-line flow method)، بـــدءاً مـــن غسيل الآلات وانتهاءً بالتجميع العام، والاختبارات ودهان الآلات. عند استخدام الأسلوب التجميعي للإصلاح، فإن العملية الإنتاجية تُقســـم إلى مراحل. يتم اختيار حجم العمل خلال المراحل المختلفة، بحيث تكون مـــدة كل مرحلة مساوية أو من مضاعفات وتيرة (إيقاع – clock- time) الخط الإنـــتاجي للتجميع العام. ينفذ كل من فك الآلة، وتجميع الأجزاء الآلية والتجميع

العـــام للآلـــة عـــادة على منصات (stand) متحركة، ويمكن تجميع وفك الآلات الضخمة على منصات ثابتة، ولكن مع اتباع الأسلوب التجميعي للعمل.

يحقـــق الأســـلوب التجميعي الإنتاجية المرتفعة، وإيقاع ونوعية الإصلاح، بفضل مكننة وأتمتة العملية الإنتاجية، وتخصص كل من التجهيزات وعمال الإنتاج.

خامساً) الأساليب التنظيمية أثناء تنفيذ عمليات صيانة آلات التشغيل:

I- أساليب تنظيم الصيانة:

تُـــنظم أعمـــال الصـــيانة في المنشـــآت الصناعية من قبل مكتب رئيس الميكانيكـــيين. وتتـــلخص المهمة الأساسية لهذا المكتب وورشاته في الحفاظ على المقـــدرة التشـــغيلية لتجهيزات هذه المنشأة عن طريق اتباع نظام الصيانة الوقائية المخططة وغيرها من الأساليب الأخرى.

ويعتـــبر رئيس الميكانيكيين الذي يرأس قسم الصيانة المسؤول أمام الإدارة عـــن حالة التجهيزات الصناعية كلها في المنشأة، وهو الذي يشرف أيضاً على كل مـــن ورشات الصيانة الميكانيكية والصيانة البنائية، أما في المؤسسات الصناعية غير الكبيرة، فهو يشرف أيضاً على تجهيزات توليد الطاقة، إذا لم تكن القدرة الكهربائية اللازمة للمنشأة أكبر من 1000 كيلو واط في الساعة.

وعـــادة، توجد ثلاثة **أساليب مختلفة لتنظيم عمليات الصيانة** في المنشآت الصناعية، وهي : التنظيم المركزي والتنظيم اللامركزي والتنظيم المختلط.

يتـــلخص **التنظيم المركزي** لأعمال الصيانة في أن جميع أعمال الصيانة في المنشـــأة المعنـــية تتم بجهود ووسائل مكتب رئيس الميكانيكيين وورشات الصيانة الميكانيكية التي يشرف عليها، وعادة يستخدم هذا الأسلوب من التنظيم في المصانع التي تضم القليل من التجهيزات.

أمّـا **التنظـيم اللامركزي** لأعمال الصيانة فيتلخص في أن جميع أعمال الصـيانة في المنشأة مثل الخدمة الفنية الواقعة بين فترات الصيانة وعمليات الصيانة الدورية بما في ذلك الصيانة الشاملة تتم تحت إشراف ميكانيكيي الورشات (رؤساء ورشـات الصـيانة)، وذلك من قبل ما يسمى " **وحدات الصيانة في الورشات الإنتاجـية** ". وتضم وحدات الصيانة هذه فرقاً متكاملة من المختصين. أما ورشة الصـيانة الميكانيكـية فتخضع لرئيس الميكانيكيين مباشرة، وتقوم بإجراء عمليات الصـيانة الشاملة للتجهيزات الصناعية المعقدة فقط. وبالإضافة إلى ذلك، تقوم هذه الورشـة بإعداد وتصليح أجزاء ووحدات التجهيزات الصناعية التي يحتاج إعدادها إلى استعمال معدات غير موجودة لدى وحدات الصيانة في الورشات الإنتاجية.

ويتمـيز **التنظـيم المختلط** لأعمال الصيانة بأن جميع أنواع الصيانة، عدا الصيانة الشاملة، تنفذ من قبل وحدات الصيانة في الورشات الإنتاجية، أما الصيانة الشـاملة (وأحياناً الصيانة المتوسطة للتجهيزات الضخمة)، فتقوم بها ورشة الصيانة الميكانيكية.

بالإضـافة إلى ذلك، تقوم ورشة الصيانة الميكانيكية بتحديد القطع القابلة للاستمرار في العمل أثناء وجودها في التجهيزات المعنية، وذلك أثناء القيام بالصيانة الشاملة وتحضير قطع الغيار اللازمة لتجهيزات المصنع.

وتبعاً للأعمال التي يتعين على ورشة الصيانة القيام بها، **فإنها تضم الأقسام التالـية**: آلات تشغيل المعادن بالقطع، القسم الميكانيكي وقسم اللحام الكهربائي الغـازي. وتوجد في ورش الصيانة الميكانيكية الضخمة أيضاً أقسام مختصة بإصلاح الأجزاء الآلية بقصد رفع متانتها ضد الاهتراء، بالإضافة إلى وجود وحدات أخرى تقوم بأعمال التغطية بالمعادن (الرش بالمعادن) والتغطية بالكروم والكربنة والعمليات الحرارية وغير ذلك من العمليات الأخرى.

ويشـــرف عـــلى ورشة الصيانة الميكانيكية مهندس مختص خاضع لرئيس الميكانيكيين في المصنع، أما الأقسام فيترأسها فنيون خاضعون لرئيس الورشة الذي يشرف أيضاً على مكتب فني ومكتب تخطيطي وأقسام إدارية أخرى.

أمـــا وحـــدات الصـــيانة في الورش الإنتاجية فترتبط كما ذكرنا من قبل بالورشات الإنتاجية الأساسية. وهذه الوحدات تقوم بأعمال الخدمة أثناء الفترات الفاصـــلة بين عمليات الصيانة، وأيضاً ببعض أعمال صيانة التجهيزات الموجودة في الروشة. ويعتمد حجم العمل الذي تقوم به وحدات الصيانة في الورشات الإنتاجية على النوع التنظيمي للصيانة المتبعة في المصنع.

وتبعاً للقواعد الزمنية المستخدمة ينصح بإنشاء وحدات صيانة في الورشات الإنتاجية التي يزيد تعقد الصيانة فيها على 700-600 وحدة صيانة. أما في الورشات الصـــغيرة، فـــلا حاجة لتكوين وحدات صيانة خاصة بها، تخدم هذه الورشات من **قبل وحدات الصيانة التابعة للمناطق** التي تقوم بخدمة عدة ورشات في آن واحد، ويشـــرف على كل من هذه الوحدات ميكانيكي المنطقة، الذي يخضع أيضاً لرئيس الميكانيكيين.

وتوجـــد في وحـــدات الصيانة المنطقية **فرقة (أو أكثر) من الميكانيكيين** المســـؤولين عن كل منطقة إنتاجية معينة أو ورشة أو قسم محدد. يحدد العاملين في كل من هذه الفرق تبعاً لدرجة عمليات الصيانة المزمع القيام بها، وحسب الجدول السنوي للصيانة وكذلك تبعاً لمقدار تعقد أعمال الخدمة أثناء الفترات الفاصلة بين عمليات الصيانة، وذلك في الأماكن الواقعة تحت مسؤولية هذه الفرق.

وعند اختيار الأسلوب التنظيمي للصيانة في المصنع المعني يؤخذ في الاعتبار تـــأثير هـــذا الأسلوب على الإدارة المركزية المسؤولة عن الصيانة (أي على مكتب رئيس الميكانيكيين). ففي حالة الصيانة اللامركزية، وعندما تقوم وحدات الصيانة

بالجانب الأكبر من أعمال الصيانة يكون من المناسب تدعيم الجهاز التخطيطي لميكانيكي الورشات، وعندها تصبح مهام الإدارة المركزية قليلة، بحيث تكون مسؤولة فقط عن الإشراف المنتظم ومراقبة أعمال وحدات الصيانة.

ويعتمد تركيب إدارة الصيانة في مكتب رئيس الميكانيكيين على وجود **مكتب مستقل مسؤول عن شؤون الطاقة** في المصنع أم لا. فإذا وجد مثلاً هذا المكتب فإن مهمته الأساسية تنحصر في تحقيق التشغيل السليم لكل تجهيزات الطاقة المخططة لها بشكل مبرمج.

وعادة يتم تشكيل مكتب خاص مسؤول عن شؤون الطاقة في المصانع الضخمة المحتوية على كمية كبيرة من التجهيزات الطاقوية. أما في المصانع التي لا تستهلك كمية كبيرة من الطاقة الكهربائية والتي يوجد فيها عدد محدود من التجهيزات الطاقوية فيشكل فيها **قسم مشترك** لكل من رئيس الميكانيكيين والمسؤول عن شؤون الطاقة، ويدخل في هيئته مكتب خاص بشؤون الطاقة يكون مسؤولاً عن عمل الورشة الكهربائية وورشة الطاقة الحرارية. ومن البديهي أن يقوم هذا القسم المشترك بتشغيل وصيانة جميع التجهيزات الطاقوية.

بالاعتماد على ما سبق، نرى أن أشكال الصيانة المطبقة في المؤسسات تكون مختلفة. فهناك مؤسسات تأخذ بشكل **الصيانة الداخلية** أي أن جميع أعمال الصيانة تتم داخل المؤسسة بأسلوب مركزي أو لا مركزي أو مختلط. وهناك مؤسسات تفضل شكل **الصيانة الخارجية**، متمثلاً بأسلوب الصيانة المعروضة في الأسواق، أو أسلوب الصيانة الذي يقدمه المنتج للتجهيزات الخاضعة للصيانة، وترفض بعض المؤسسات النوعين المذكورين وتترك الصيانة إلى عامل الصدفة (**الصيانة الاضطرارية**)، أو تتبنى نظاماً آخر من أنظمة الصيانة. وقد رأينا قبل قليل أنّ هذه الفقرة تدرس وتحلل مفهوم الصيانة الداخلية.

ويبقى **السؤال الذي تناقشه المؤسسة دائماً**، والمتعلق بالتنظيم الحقيقي لقسم الصيانة فيها هو: هل هذا **التنظيم يجب أن يكون مركزياً أو لا مركزياً**. ففي التنظيم المركزي كما رأينا، تناط جميع المسؤوليات لصيانة الآلات والتجهيزات بأقسام الإنتاج المختلفة في تنظيم مركزي للصيانة، أما في التنظيم اللامركزي كما هو ملاحظ، فإن كل قسم من أقسام الإنتاج يملك فريق صيانة خاص به. وعليه، فإن مسؤولية الصيانة في هذا القسم تعتبر جزءاً من عمله الإنتاجي.

وتتفق أقسام الإنتاج على أن التنظيم اللامركزي يمتاز بسهولة التطبيق. وأن رئيس الإنتاج يستطيع ترتيب موارد الصيانة بنفس أسلوب ترتيب موارد الإنتاج. إذن **الصيانة تعتبر جزءاً من الإنتاج**. ويعاب على هذا النوع من التنظيم أنه يستحيل على أي قسم إنتاج أن يُلم ويتابع جميع أخطاء الإنتاج، لأن إمكانيات فريق الصيانة التابع له لا يمكن مقارنتها بالإمكانيات الواسعة والمتنوعة المتوفرة في قسم صيانة مركزي في المؤسسة. كما يعاب على التنظيم اللامركزي، أن قوة العمل فيه تكون أقل مرونة عما هو في التنظيم المركزي، وإن تطبيق عمل الصيانة في أقسام الإنتاج المختلفة ربما يكون أمراً صعباً.

إن **اعتماد هذا التنظيم أو ذاك لا يمكن تقريره سلفاً**، ولاشك أن هذا الأمر سيعتمد على تحليل مفصل للحالات المتعلقة بالأعمال الفردية. وفي التطبيق، فإن الجمع بين الشكلين ربما يكون حلاً عملياً. فكما هو الحال في بنية قسم الإنتاج، بحيث يُجزأ هذا القسم إلى شعب أو فروع: الطحن، العصر، الحرق، .. إلخ، فإن قسم الصيانة يمكن أن ينظم بنفس الأسلوب أيضاً ويُجزأ أيضاً إلى شعب وفروع. وفي هذه الحالة، فإن المشرف على كل فرع صيانة معين يكون على اتصال بالفرع المناظر في قسم الإنتاج ويقتسم المشرفان على الفرعين المذكورين مسؤولية تحقيق مصالح قسم الإنتاج وقسم الصيانة في آن واحد. وبهذا الأسلوب، سيتشكل

حـــوار دائم بين قسمي الصيانة والإنتاج، وبواسطة هذا الحوار فإن جميع الأوضاع غير الملائمة التي قد تعرقل الإنتاج أو الصيانة يمكن تلافيها.

إن المؤيدين والمعارضين للتنظيمين تمكنوا من مناقشة هذا الموضوع بعمق، ولكن يبدو أن الموقف تجاه هذا التنظيم أو ذاك يتبدل خلال كل حقبة من الأعوام. فعـــلى ســـبيل المثال، كثيراً ما نجد تنظيماً مداراً مركزياً بحزم، يتجه بعد فترة نحو إعطاء درجة معينة من عدم المركزية للوحدات الفردية التابعة لمدير التنظيم. ولكن بعـــد مضي فترة أخرى، قد تكون طويلة أو قصيرة، ربما تشعر الإدارة بأنها فقدت ســـيطرة الرقابة على الوحدات، وتتراجع عن عدم المركزية نحو التنظيم المركزي، وهـــلم جرا. فمصنع روردال (Rordal)، الدانماركي للإسمنت أدخل حديثاً تعديلاً جذريـــاً من النوع المذكور على تنظيم المصنع. فقد ألغى قسم الصيانة، وتمّ توزيع العـــاملين فيه على أقسام الإنتاج، وأصبح مديرو هذه الأقسام مسؤولين عن إنتاج وصيانة المصنع وتجهيزاته[1].

II- تقنيات تنظيم الصيانة:

اقتبســـت تقنـــية الصيانة جزءاً هاماً من معارفها بالاعتماد على معارف وخـــبرات التصـــنيع. وهـــذا ليس بأمر غريب، ففي هذين المجالين، نجد أن المواد والتجهيزات اللازمة تطورت كثيراً بفضل جهود مراكز البحث والتطوير. وبالنظر للطـــابع التصـــادفي (الاحتمالي) لأعمال الصيانة مقارنة مع عمليات الإنتاج، فإن الصـــيانة لم تهـــتم بدراســـة الوفورات الاقتصادية لأنها لم تستطع الاستفادة منها، وركـــزت بصورة رئيسية على إمكانيات تحسين الفعالية. ومن خلال التطبيق، فإن فـــترات الانـــتظار خلال عملية الإصلاح أدت إلى اهتمام أكبر بطرائق التخطيط

---

[1] -Svend Nielsen –1990 – (THE MAINTENANCE ORGANIZATION), F.L. Smith, DENMARK, pp. 3.

والمراقـــبة، بدلاً من التركيز على التقنية المستخدمة في الإصلاح. ومع ذلك، فهناك تقنـــيات إصلاح معينة تم تطويرها بسبب صعوبة الظروف التي ترافق تنفيذ أعمال الصيانة، مقارنة مع الظروف المألوفة خلال أعمال التصنيع. ونجد بعض الحالات أن الصـــيانة تتطلـــب تقنيات عالية الجودة للكشف عنها في الوقت المناسب وتنفيذها بأسلوب جيد.

وبصورة عامة، فإن **التقنيات التي تستخدمها المؤسسات حالياً في تنظيم الصيانة** يمكن تلخيصها كما يلي:

a) الصيانة البدائية أو اليدوية:

تـــتم أعمال الصيانة في عدد كبير من المؤسسات، وخاصة الصغيرة منها، بالتشـــغيل اليدوي بمساعدة الملاحظين والمشرفين. وهذا الأسلوب يناسب أعمال الصـــيانة البدائية، وعندما تكون الصيانة مرادفة للإصلاح، أو يكون أرباب العمل والعمال أنفسهم هم أصحاب القرار في رسم سياسات الصيانة والقيام بتنفيذها.

b) معالجة البيانات إلكترونياً (Electonic Data Processing , EDP):

أصبحت الرقابة الإلكترونية وسيلة مسيطرة على أداء الآلات والتجهيزات، مـــن خـــلال غرف أو لوحات القيادة والتحكم، التي يقودها عاملٌ أو أكثر لمراقبة خطوط الإنتاج أو الآلات أو المؤسسة بأكملها.

إن المتطلـــب الأساســـي الـــذي يجب توفره لتحقيق الفائدة المنشودة من اســـتخدام EDP في الصيانة، **يتلخص في نقاط جوهرية هي:** أن نملك سيطرة قوية عـــلى نظام الصيانة، وأن نعرف بدقة ما نحتاجه من استخدام تجهيزات EDP، وأن يكـــون المشـــغّلون لنظام EDP يعملون في المشروع منذ أمد بعيد لضمان السلوك الصحيح تجاه الـــ EDP، وأن يكون المشغّلون قد تدربوا تدريباً كافياً على تشغيل تجهيزات الـــ EDP.

ومن جهة أخرى، عندما يُقرر إدخال الـ EDP في إدارة الصيانة، فإن **الأمور يجب أن تكون واضحة تماماً أمام المؤسسة:**

- إن الـ EDP ليس هو أكثر من أداة ووسيلة.
- وإن الـ EDP يتطلب نظام بيانات.
- وإن الـ EDP يتطلب زمناً وتكلفة قبل أن يصبح قابلاً للاستثمار.
- وأخيراً إن الـ EDP لن يحلّ مشكلات المؤسسة.

وبالنظر لأن معالجة البيانات باستخدام الـ EDP ليس لها حدود، فمن الضروري أن نعرف جيداً: ماهي حاجتنا؟. وبصورة عامة، يفضل البدء بنظام غير معقد وقابل للاستيعاب، لأن الفرق بين النجاح والفشل يعتمد على الأشخاص المكلفين باستثمار النظام. ويجب أن نفهم جيداً أن المعالجة بمنهجية محددة لقدر معين من البيانات، **تحقق للمشروع مجموعة من الفوائد:** فهي تمكنه من إجراء تقييم اقتصادي وتقني للمصنع وتجهيزاته، وإجراء تقييم للبيانات بهدف تحسين الأسلوب، وتحقيق الموازنة بين الموارد، ومعرفة الوضع الأمثل لقطع التبديل الواجب تخزينها..إلخ.

وكما سبق أن ذكرنا، فإن نظام الـ EDP لا يحل مشكلات. فإذا وجدت مشكلات في العلمية اليدوية لنظام الصيانة، فالحل الأفضل هو عدم إدخال الـ EDP. وعليه، فإن تحويل نظام صيانة يدوي إلى نظام صيانة يستخدم الـ EDP يتطلب أن يكون النظام اليدوي مؤدياً لمهامه جيداً.

c) الصيانة باستخدام الحاسوب:

تنفذ حالياً بعض المؤسسات الكبيرة أعمال الصيانة فيها باستخدام الحاسوب. وعرضت الشركات في السنوات الأخيرة بعض برامج الصيانة الحاسوبية. ويرى الباحث أن هذا الحقل من حقول المعرفة كتب حوله القليل

ومـــازال يحـــتاج إلى جهود علمية كبيرة. وفيما يلي بعض المشكلات الإدارية التي يمكن حلّها بسهولة باستخدام مثل هذه الأنظمة:

(1) التذكير بجميع أعمال الصيانة.

(2) توزيع هذه الأعمال على فرق عمل، وتحديد مسؤولية هذه الفرق.

(3) تزويد المشرفين بتسهيلات الموازنة والتخطيط.

(4) تجميع جميع معلومات الصيانة الضرورية بطريقة منهجية.

(5) تزويد العاملين بمعلومات كافية حول أسلوب إنجاز الأعمال.

(6) تخطيط أعباء الصيانة الوقائية المستقبلية [٢].

2 - Jan H. Nielsen- 1991 –(Illustraytion of A Computerized Maintenance System Which May Be Designed To Operate At Various Functional Levels) –F. L. Smith, Denmark. PP. 36.

المبحث الرابع

تنظيم مكان العمل

أولاً – أنـــواع الطـــرائق التبادلية المستخدمة في صيانة آلات التشغيل ومزاياها.

يعـــد استخدام الطريقة التبادلية عند الصيانة في المصانع المحتوية على كمية كـــبيرة من آلات التشغيل، والمنتمية إلى طراز واحد وسيلة ناجعة للتقليل من زمن توقيف التجهيزات أثناء الصيانة.

وكمـــا رأينا، فإن **الطريقة التبادلية** للصيانة تتلخص في نزع الأجزاء الآلية (أو القطع) من الآلات المراد تصليحها واستبدالها بأجزاء (أو قطع) أخرى سبق وأن جـــرى تصـــليحها أو إعدادها أو شراؤها. وعند تطبيق هذه الطريقة على آلات التشـــغيل، فإنه يمكن استبدال الأجزاء الآلية التالية: غراب الرأس، وواقية المنشآت والعـــربات الطولانـــية والعرضانية وآليات الإدارة وعلب أعمدة الدوران ورؤوس التجلـــيخ أو الرؤوس البرجية وما شابه ذلك. ومن الضروري زيادة عدد الوحدات الصناعية والأجزاء الآلية التي يمكن تغييرها وإعدادها باستخدام الطرائق المركزية.

وعـــند إجراء كل من الصيانة الشاملة والصيانة المتوسطة بالطريقة التبادلية يجب توفير كمية كافية من قطع الغيار (العائدة للوحدات الصناعية والأجزاء الآلية) في المســـتودعات، وكذلـــك تـــنقل إلى هذه المستودعات كاحتياط الأجزاء الآلية المـــنـــزوعة مـــن الآلات بعد تصليحها، وعندها تصبح هذه الأجزاءً أجزاء عامة، ويمكـــن تركيـــبها على أية آلة تحتاج لمثل هذه الأجزاء. **وتتمتع الطريقة التبادلية للصيانة بالمزايا التالية:**

1- يقـــل الزمن اللازم لأجراء الصيانة عدة مرات مقارنة بطريقة الصيانة العادية، وذلك بسبب فصل الأعامل التصليح ذاتها عن أعمال الفك والتجميع (فعلى سبيل المثال يحتاج استبدال الوحدة الاحتكاكية في علبة السرعة العائدة لآلة الخراطة طراز ID62، و 1D 63 إلى 90-60 دقيقة، بدلاً من 8-6 ساعات) .

2- لا تـــودي عمليـــات إعادة الأجزاء الآلية إلى حالتها الطبيعية الأولية، وتصليح الوحدات المختلفة، إلى توقف التجهيزات الصناعية عن العمل .

3-تنشـــأ الظـــروف المناســـبة لتقسيم العمل تقسيماً عقلانياً مقبولاً بين القائمين بعمليات الصيانة، ويمكن كذلك أن يتخصص كل منهم بتنفيذ عمل معين.

4-يـــتم تـــأمين الاســـتقرار لعمال الصيانة في أماكن عملهم، ويكون توزيع هذه الأماكن في المناطق المختلفة مناسباً.

5-يـــتم تأمين تشغيل تجهيزات ورشة الصيانة الميكانيكية بشكل مستمر، كما أن تحميلها يكون كاملاً.

6-هذه الطريقة تزيد من جودة أعمال الصيانة وتخفض من تكاليفها.

يحـــتاج تطبـــيق الطريقة التبادلية إلى الإعداد الجيد والعناية الخاصة، ويجب على الأخص معرفة أنواع الآلات التي يكون من المفيد اقتصادياً إصلاحها بالطريقة التبادلـــية وإعـــداد الرسوم والوثائق الفنية الخاصة بجميع الوحدات الصناعية المراد إصـــلاحها أو تجهيزها. وفي هذه الحالة يجب إعداد الفنيين القادرين على القيام بهذه الأعمال وتحديد الزمن اللازم لإجرائها...إلخ .

ومن المهم إجراء تخطيط سليم لإنتاج أجزاء آلية جديدة وإصلاح الأجزاء المهترئة، وأيضاً يجب الحصول على الوحدات والأجزاء الاحتياطية المستعملة كقطع غـــيار تـــبعاً للحاجة الحقيقية إليها. وفي هذه الحالة، يجب الأخذ بعين الاعتبار مدة تشغيل مختلف أجزاء الآلات والتكاليف اللازمة لإعداد الأجزاء الاحتياطية بحيث لا

يقل عددها عن حد معين. فعلى سبيل المثال، تقدر التكاليف اللازمة للحفاظ على عـــدد الأجزاء الاحتياطية لآلات التشغيل حسب تقدير المعهد الاختباري للأبحاث العلمية بالآتي (وحدة نقدية لكل درجة من درجات تعقد التصليح):من أجل آلات التشـــغيل الصـــغيرة والمتوســـطة وعـــندما يكون الإنتاج فردياً أو حسب الإنتاج المتسلســـل-3، وفي حالـــة الإنتاج الضخم بالجملة- 5، ومن أجل آلات التشغيل الضـــخمة وعندما يكون الإنتاج فردياً أو حسب الإنتاج المتسلسل-5، وفي حالة الإنتاج الضخم بالجملة-10.

وتعتبر **الطريقة التبادلية المتتالية** شكلاً من أشكال الطريقة التبادلية للصيانة، ويتـــلخص فحواهـــا في تصليح الوحدات المطلوبة وفقاً لترتيب معين أثناء فترات التوقـــيف المخطـــط لها. وتبعاً لهذه الطريقة تفك هذه الوحدة أو تلك من الآلات الـــلازم تصليحها وتستبدل أجزاؤها المتآكلة، أو تستبدل الوحدة بكاملها بوحدة أخـــرى تم إصـــلاحها مـــن قبل، وذلك في فترات الغذاء أو في أيام العطل أو في الورديات التي لا يعمل فيها أحد.

ويستحســـن إتباع هذه الطريقة عند صيانة آلات التشغيل المؤتمتة والآلات المـــتعددة الأغـــراض المصممة على هيئة وحدات منفصلة، وذلك لأن هذه الآلات تحتوي على وحدات ذات سمات تصميمية وشكلية واضحة.

والتحضـــير لإجراء الصيانة يجب أن يتم بعناية وبصورة شاملة. إذ يحتاج الأمر إلى الرسوم الفنية، وتوفير الاحتياطي الكافي من مختلف قطع الغيار.

وقد أثبتت تجربة العمال المتمتعين بخبرة عالية أنه يمكن التقليل من أعطال التجهيزات فـــيما إذا تمّ **إتقـــان تنظيم أعمال الصيانة بطرائق سريعة**. فهم على سبيل المثال يقومون بصيانة آلة الخراطة وقطع القلاووظ طراز 1K62(درجة تعقد الصيانة-11)

خلال 8 أيام، بينما يكون زمن تعطل الآلة وفقاً للقواعد الزمنية العادية معادلاً لـ 11 يوماً (أنظر الجدول 1.1.).

وتتبع من أجل تقليل أعطال الآلات أثناء الصيانة، **طرائق متطورة**، كما يجري **التنظيم فائقة الدقة لعملية الصيانة في جميع مراحلها**. أي أن فك الآلة وغسل الأجزاء واكتشاف العيوب فيها، ثم القيام بأعمال الصيانة ذاتها، بما في ذلك تحضير أجزاء جديدة ووضعها في أماكنها وضعاً سليماً وتجميعها واختبار وضبط ودهن التجهيزات الجاري إصلاحها-أي كل مراحل الصيانة دون استثناء، وكل مرحلة على حدة، يجب أن يكون بحيث لا يتم ضياع دقيقة واحدة بدون عمل إنتاجي. كذلك يجب عدم توقيف آلات التشغيل إلا بعد إعداد الأجزاء الجديدة اللازمة.

ومن الممكن اختصار الزمن اللازم لعمليات فك آلات التشغيل عن طريق الاستعمال الواسع العقلاني لوسائل النقل والرفع ولمختلف الأجهزة والأدوات التي تساعد على **مكننة عمليات الفك**.

ومن العوامل الهامة التي تساعد على إجراء الصيانة بسرعة كبيرة **التوزيع السليم للعمل** داخل فرق الصيانة وفقاً لخطة موضوعة مسبقاً، على أن يؤخذ خلال ذلك بعين الاعتبار الزمن اللازم لإجراء كل عملية وكفاءة كل عامل على حدة. كذلك يمكن اختصار الزمن اللازم لغسل الأجزاء إذا أجريت **عملية الغسيل في أجهزة خاصة**، وأيضاً يمكن **اختصار الزمن اللازم لاكتشاف عيوب الأجزاء** إذا جرى باهتمام بالغ، وإذا لم تترك في الآلة بشكل عفوي هذه الأجزاء غير السليمة التي يمكن اكتشافها في وقت متأخر عند إجراء اختبار الوحدات الصناعية. كذلك يمكن تخفيض الزمن اللازم لتقليل مدة الصيانة **إذا أعدت الرسوم الفنية**

الخاصـــة بقطع الغيار غير الموجودة في المستودعات وقُورت العملية التكنولوجية الخاصة بإعداد هذه الأجزاء وجميع الأجزاء الأخرى المراد إصلاحها.

ثانياً- النظام المستخدم عند تسليم التجهيزات الصناعية للصيانة:

المسؤول عن إعداد التجهيزات الصناعية لتسليمها إلى ورشات الصيانة هو رئيس الورشة الإنتاجية أو رؤساء الوحدات. ويجب وقبل توقيف هذه التجهيزات من أجل تصليحها، تنظيفها من كل من البرادة والأقذار والغبار وسوائل التبريد.

ويـــتم تســـليم التجهيزات للصيانة المتوسطة أو الشاملة بعد **تدوين وثيقة خاصـــة** يحـــررها مفـــتش مـــن مكتب رئيس الميكانيكيين مع ميكانيكي الورشة الإنتاجـــية. وتكتب في هذه الوثيقة نتائج الفحص الخارجي والاختبارات التشغيلية للآلـــة، وكذلك ملاحظات العامل المسؤول عن تشغيل هذه الآلة (عامل الإنتاج). ويكـــون الغـــرض مـــن الفحص الخارجي هو تحديد حالة جميع آليات ووحدات التجهـــيزات الصناعية والعيوب والشقوق المختلفة والأثلام والكسور والانحناءات وغيرهـــا مـــن العيوب التي يمكن اكتشافها بدون فك الأليات وأيضاً لتقييم حالة أجهزة التزييت والوقاية.

وعن طريق الاستفسار من الشخص العامل على الآلة، يمكن تحديد عيوب الآلـــة عندما تعمل وفق نظم التشغيل المختلفة وحالة الآليات والوحدات والأجزاء المختلفة. فعلى سبيل المثال إذا ذكر عامل المخرطة أن المسننات لا تتعشق ذاتياً عند العمل وفق سرعات محددة على الآلة، وهذا يدل على أن الأسنان في زوج المسننات المناظر لهذه السرعة متآكلة، وعند إعداد كشف العيوب يجب إعارة هذه المسننات اهتماماً خاصاً. ولدى تشغيل الآلة يتم التأكد من وجود الضوضاء أو الصدمات أو الاهتزازات فيها أو انعدامها.

ويجب عند إعداد الكشف النهائي للعيوب وتقديمه لإجراء عمليات الصيانة أن تؤخذ جميع العيوب الموضحة بالوثيقة المذكورة في الاعتبار.

ومن أجل الإسراع في عملية الصيانة، فإن الأمر يحتاج إلى توفير مجموعة كاملة من الرسوم والأجزاء، المعدة على أساس كشف العيوب المعد مسبقاً عند تجهيز التجهيزات لعمليات الصيانة، ويتم تدقيق كشف العيوب بشكل نهائي عند فك آلة التشغيل.

ثالثاً-ترتيب تنفيذ عمليات فك التجهيزات عند إجراء الصيانة:

يعد ترتيب العمليات عند إجراء صيانة أية آلية أو مجموعة من الآليات، أمراً ضرورياً من أجل التنظيم الدقيق والجريان الطبيعي لعمليات الصيانة. وفي الغالب، **يكون هذا الترتيب** كالآتي:

1-تحديد عيوب الآلية.

2- ترتيب عملية فك هذه الآلية.

3-فك الآلية إلى وحدات وأجزاء من ثم غسلها.

4-تعيين طبيعة ومقدار اهتراء الأجزاء وكشف عيوبها.

5-إصلاح الأجزاء.

6- تجميع الآلية مع ضرورة تحقيق التوافق أثناء تجميع هذه الأجزاء.

7-اختبار وضبط الآلية بعد تجميعها.

* **الإعداد للفك:** يتعلق نجاح الصيانة بالكيفية التي تمت بها عملية فك الآلة المعنية. فعمليات الفك عمليات هامة تتم وفق أسلوب معين متعلق بنوع الآلة التي تتم صيانتها. وقبل البدء في عمليات الفك يجب التعرف على تركيب الآلة المعنية ومجالات استخدامها والصلة التبادلية بين وحداتها وأجزائها. وإذا كانت هناك صعوبة في تحقيق هذا الأمر عند فحص الآلة عندئذ يمكن الحصول على بعض

الـــتوجهات المتعلقة بالفك من خلال الإطلاع على الإرشادات والرسوم التصميمية الخاصة بها، ليتم لاحقاً البدء في عملية الفك. وينطبق الأمر نفسه عند فك الأجزاء الداخلـــة في هـــذه الآلة أو تلك، فعلينا قبل كل شيء أن ندرس تركيبها الداخلي جيداً وطرائق تثبيتها، وترتيب عملية الفك والطريقة المستخدمة.

وقـــبل بدء فك الأجزاء المعقدة والهامة الداخلة في تركيب الآلات، ينصح بوضع رسوم تخطيطية لها، خاصة في تلك الحالات التي تكون فيها الأجزاء مشابهة. وفي أثـــناء الفـــك يستحسن كتابة الأرقام والإشارات على السطوح غير المشغلة للأجزاء، وذلك لتمييزها بعضها من بعض أثناء تجهيز وتجميع هذه الأجزاء. ويجب أن نتذكر دائماً أنه- عند فك الأجزاء المثبتة مع أخرى قد تفقد توازنها وتقع، الأمر الـــذي يشكل خطراً على حياة القريبين منها. ولهذا يجب اتخاذ الإجراءات الوقائية اللازمـــة في أثناء الفك. فعلى سبيل المثال، عند فك الكتف الثقيل، يجب في البداية نـــزع اللولب العلوي وتسنيد الكتف بشكل مضمون. وعلى العموم، من الواجب دائماً عند نزع الأجزاء الآلية أن نأخذ في الاعتبار موضع مركز الثقل والاتجاه الذي سينـــزاح إليه هذا الجزء عند نزع عناصر التثبيت.

عادة يقوم ميكانيكي الصيانة في القسم بالإشراف على فك الآلات عادية الدقـــة، أما تلك التي تكون دقتها فائقة فيشرف على فكها رئيس الميكانيكيين في المصنع.

رابعاً- غسل أجزاء آلات التشغيل والكشف عن عيوبها.

- غسل أجزاء الآلات:

يجـــب بعـــد فك آلة التشغيل تنظيف الأجزاء وغسلها بشكل جيد، لأن اكتشـــاف العيوب يصبح سهلاً فيما إذا كانت الأجزاء نظيفة، وفضلاً عن ذلك،

فـــإن **تنظيف وغسل الأجزاء المتسخة يحسن ظروف الصيانة الوقائية**. أيضاً من الضروري تنظيف وغسل أجزاء آلة التشغيل عند إعدادها للتصليح أو الدهان.

ويـــتم تنظـــيف الأجـــزاء الجاري صيانتها باستخدام كل من الطرائق الحـــرارية (باللهب) **والميكانيكية والكيميائية، أو بالاستعانة بالأدوات الكاشطة**. وتتلخص الطريقة الحرارية، في تنظيف الأجزاء الآلية لآلة التشغيل (أي إزالة الصدأ أو الدهـــان القـــديم) باللهب. وباستخدام الطريقة الميكانيكية، يُزال الدهان العتيق والصدأ وتراكمات الزيت المتجمدة، بوساطة معاجين أو معدات تنظيف ممكنة، أو بآلـــيات دورانية أو بأية آليات أخرى قابلة للنقل. ويتم عند التنظيف بمواد حاكة استخدام أجهزة القذف بالرمل. أما التنظيف بالطرائق الكيميائية فيتلخص في إزالة الدهـــان القديم والزيوت المتراكمة والأوساخ الأخرى بمساعدة معجون خاص، أو باســـتخدام محاليل متكونة من الحجر الجيري غير المطفأ والطباشير والصود الكاوية والمازوت ومركبات أخرى، وتتم الطريقة الميكانيكية للغسل في أجهزة غسيل ثابتة أو متنقلة بمساعدة سائل مندفع بقوة بتأثير ضغط معين ناتج عن مضخات خاصة.

ويســـتعمل لغســـل الأجزاء والوحدات في أماكن العمل مباشرة أحواض غســـيل عائدة لآلات متنقلة، ويستخدم الكيروسين كسائل غسيل، وتُغسل عندها الأجـــزاء في تلك الأحواض يدوياً. وتوجد في الوقت الحاضر آلات ممكنة تستعمل لغسيل مختلف الأجزاء.

-كشف عيوب أجزاء آلات التشغيل:

يمكـــن بعد غسل الأجزاء أن نرى بوضوح تام الحزوز والأثلام والتقعرات على سطوحها، كما يمكن قياس هذه الأجزاء بالدقة المطلوبة.

ويـــتم الكشف عن عيوب الأجزاء المغسولة والمجففة بعد تجميعها على هيـــئة وحدات، ومن الأهمية الإشارة إلى أن هذا التجميع يجب أن يتم بعناية ودقة

فائقتين. وفي بادئ الأمر يفحص كل جزء، وبعد ذلك يتم التأكد من شكله وأبعاده بأدوات الاختبار والقياس المناسبة. وفي بعض الحالات، تختبر العلاقة التبادلية بين الجزء الجاري فحصه وبين الأجزاء الأخرى المتزاوجه معه بحيث يمكن تحديد إمكانية تصليح هذا الجزء أو ربما تظهر الضرورة لاستبداله بجزء آخر جديد.

وتقسم الأجزاء الآلية من حيث العيوب الظاهرة إلى ثلاث مجموعات وهي: أجزاء صالحة وأجزاء بحاجة إلى التصليح أو يجب أن تستعيد حالتها الأولية، وأجزاء غير صالحة للاستعمال، ويتعين إحالتها إلى مستودع الخردة، وعندها يتم تحرير وثيقة مناسبة تتعلق بالعيوب المكتشفة.

ويجب عند كشف العيوب ترقيم الأجزاء التي تظهر بها عيوب، وكتابة رقم الآلة وهذا يسهل إجراء عمليات الصيانة التالية.

وفي الترقيم، تستعمل قطع معدنية (أختام) وتكون عليها الأرقام المطلوبة، أو تستعمل الدهانات المختلفة، أو تكتب الأرقام على شرائح صغيرة وتثبت على الأجزاء المطلوبة، ويجري الترقيم أيضاً باستخدام أدوات كهربائية أو الأحماض. وعند استعمال القطع المعدنية المطلوبة تثبت هذه القطع على سطوح الأجزاء غير المشغولة وغير المصلدة. أما طرائق الترقيم الأخرى فتستخدم من أجل ترقيم الأجزاء المصلدة وغير المصلدة. ففي حالة ترقيم الأجزاء غير المصلدة على سبيل المثال، يستخدم ختم من المطاط المغموس في محلول يتكون من 40% من حامض النيتريك، و 20% من حامض الخليك، و 40% من الماء. أما في حالة ترقيم الأجزاء المصلدة فيتكون المحلول من 10% من حامض النيتريك و 30% من حامض الخليك و 5% من الكحول و 55% من الماء. علماً أن الختم المبلل بالمحلول يوضع على الجزء غير المشغول من سطوح الجزء الجاري ترقيمه. وبعد إبقاء الختم لمدة تتراوح بين الدقيقة والدقيقتين، يمسح السطح بقطنة مبللة بمحلول الصودا المكلسة.

أما الأجزاء التي يجب تغييرها، فيحتفظ بها حتى انتهاء تصليح الآلة لأنها قد تلزم من أجل إعداد الرسوم الفنية أو تستخدم لصنع نماذج لأجزاء جديدة.

خامساً- استلام تجهيزات آلات التشغيل من ورشات الصيانة بعد الانتهاء من صيانتها.

بعد الانتهاء من تصليح واختبار آلة التشغيل والتقييم الأولي لنوعية التصليح، يعرض فنيو الصيانة أو ميكانيكو الورشة الوحدة الآلية على **قسم المراقبة الفنية** لاختبار نوعية أعمال الصيانة التي تم إنجازها. ويجري **استلام التجهيزات** من ورشات الصيانة وفقاً للشروط الفنية المتفق عليها، وحسب كل نوع من أنواع آلات التشغيل. أما **اختبار جودة صيانة** (تصليح) كل وحدة من وحدات آلة التشغيل على حده فيقوم به ممثل عن قسم المراقبة الفنية في أثناء التصليح والتجميع. ويتم التوقيع على **وثيقة استلام آلة التشغيل** بعد انتهاء مدة التشغيل الاختباري. ومدة الاختبار هذه، هي 8 ساعات بعد الصيانة البسيطة و 16 ساعة بعد الصيانة المتوسطة و 24 ساعة بعد الصيانة الشاملة. وتعرض آلة التشغيل بعد تصليحها وضبطها للتجربة (للاختبار) لكي يتم التأكد من صلاحيتها للتشغيل اللاحق.

ويحدث أقصى اهتراء في الأجزاء الآلية في الساعات 12-8 الأولى من عملها. **وتتميز الفترة الأولى من تشغيل آلة التشغيل** بانخفاض معامل كفايتها، وذلك لأن جزءاً كبيراً من الطاقة يستهلك من أجل التغلب على قوى الاحتكاك بين الأجزاء لأنها لم تصل بعد إلى الشكل المناسب في توافقاتها (تزاوجاتها). ولهذا يجب في هذه الفترة القيام بمزيد من التزييت للسطوح المتحاكة. كذلك يجدر الإشارة إلى أن النتوءات الميكروية الموجودة على السطوح والناجمة عن التشغيل الميكانيكي (كالخراطة أو غيرها)، تصبح أكثر استواءاً خلال هذه الفترة.

ويضاف، من أجل اختصار هذه الفترة، خليط غرافيتي إلى الزيت. وعند إجراء هذه العملية بطريقة سليمة في فترة التشغيل الأولي، فإن الاهتراء يقل في فترة التشغيل الثانية.

ومـــع ازدياد مقدار الخلوص (الفراغ) بين الأجزاء المتزاوجة، فإن مقدار اهتراء هذه الأجـــزاء يزداد بشكل شديد. وبنتيجة ذلك، يحدث الاهتراء التام لهذه الأجزاء في الفترة الثالثة للتشغيل. لهذا، تحدد الفترة الزمنية الفاصلة بين عمليتي صيانة بحيث لا تعمل أجزاء آلة التشغيل مدة زمنية طويلة في المرحلة الثالثة إلا وتجري خلالها الصيانة الوقائية الدورية.

ويمكـــن اختبار آلة التشغيل بعد تصليحها عن طريق تشغيلها بدون تحميل في مكانهـــا على منضدة الاختبار، أو في مكان التصليح ، على أن تتم هذه العملية بعد التأكد من صحة وضعها الأفقي الذي يحدد بدقة قدرها 0,02-0,04mm لكل 1000mm مـــن الطول، بمساعدة ميزان التسوية. والغرض من تشغيل آلة التشغيل بـــدون تحمـــيل (أي عند التدوير الأولي)، هو اكتشاف عيوب التجميع الممكنة، وجعل الأجزاء المتزاوجة تأخذ أوضاعاً مناسبة نسبة بعضها إلى بعض.

ولا تبدأ عملية التشغيل بدون تحميل إلا بعد التأكد من أن جميع وحدات وآليات آلة التشغيل مثبتة في أماكنها ومزيتة بشكل جيد، وأن جميع الأجهزة الواقية موجودة في أماكنها الطبيعية. وقبل بدء حركة الآلة يتم اختبار صحة عمل الآليات المخـــتلفة، عن طريق تدوير الوحدات المطلوبة باليد، وأيضاً بتحريك مقابض علب السرعة والتغذية. ويجري في الوقت نفسه اختبار مدى وصول الزيت إلى السطوح المتحاكة.

ويتم التدوير الأولي في البداية بأدنى سرعات ممكنة، ثم ترتفع تدريجياً جميع السرعات التشغيلية حتى الوصول إلى السرعات الأعظمية. ويجب من أجل السرعة

القصـــوى تشغيل آلة التشغيل لمدة لا تقل عن ساعة واحدة بدون توقف. وبنفس الطريقة يتم اختبار آليات التغذية.

وتعـــين أثناء عملية التدوير الأولي درجة حرارة تسخين كراسي التحميل الـــتي يجب أن لا تزيد عن 50-60C°، وتختبر أيضاً الصدمات المتشكلة والضوضاء وسلاســـة عمل جميع آليات الحركة، أما بدء التشغيل أو عكس الحركة فيجب أن يتم بدون حدوث قفزات أو صدمات.

ويجب كذلك أن **ترتبط جميع عناصر التحكم في آلة التشغيل فيما بينها ارتـــباطاً سلساً ومنسقاً**، بحيث يتم توصيل العناصر التنفيذية أثناء الحركة والتغذية بكـــل ســـهولة. ويمنع تماماً وجود إمكانية لحدوث التحرك العفوي لأي جزء في الآليات المختلفة، مهما صغرت مسافة هذا التحرك. ومن الضروري أيضاً أن تحقق مخـــتلف الميكانـــيزمات الموجودة في الأجهزة المؤتمتة الفصل المضمون للتغذية، أما آلـــيات الأجـــزاء المرتـــبطة بأدوات القطع فيجب أن تضمن تثبيت وفك الأجزاء والأدوات مـــرات عديـــدة من دون ظهور أية صعوبات. ومن الضروري أيضاً أن تســـمح نظم التزييت والتبريد بإيصال الكميات الكافية من الزيت أو سائل التبريد إلى الأماكن المطلوبة.

كذلك، يجب أن تعمل التجهيزات الكهربائية بشكل فعال وبدون توقف. ولا يســـمح إطلاقاً بوجود أبسط العيوب في المفاتيح الكهربائية والمقاومات المتغيرة وغير ذلك من الأجهزة الكهربائية. إن عدم تحقيق السرعة الكافية في وصل وفصل التجهـــيزات الكهربائية والتسخين المفرط عند بدء التشغيل وغير ذلك من العيوب التي يمكن أن تظهر أثناء التدوير الأولي للآلة، يدل على وجود عيوب أثناء تجميع أو تصليح الآلة بشكل عام. وللتخلص من هذه العيوب **تجري بعض عمليات الضبط** أو تفك بعض الوحدات الآلية إذا احتاج الأمر لذلك.

ولاختبار الآلة عند التحميل بعد تصليحها وتجميعها، فإنه يتم تشغيل عينات إنتاجية عليها بسرعات مختلفة وفقاً للمعطيات الفنية الواردة في الكتيب الفني (كتالوج) للآلة. ويجري الاختبار للآلة مع تحميلها بالقوى المقدرة لوسيلة إدارة هذه الآلة، على أن يزداد مقطع الرايش المنزوع تدريجياً. وعادة، يسمح بتجاوز تحميل آلة التشغيل لفترات وجيزة، وبما لا يزيد عن 25% من القوى المقدرة.

وعند اختبار آلة التشغيل تحت التحميل (الاختبار الإنتاجي) يجب أن تعمل جميع آلياتها بشكل سليم، وأن لا تزيد الضوضاء الحادثة بين المسننات عن الحدود المسموح بها. ويعتبر من الضروري أن تعمل الأجهزة التي تقي الآلة من تجاوز التحميل بشكل مضمون، كما هو الحال من أجل القارنة الاحتكاكية ذات الأقراص التي يجب أن تقوم بوظائفها بسهولة وسلاسة. وعند تجاوز التحميل عن الحد المسموح به (حتى 25%) يجب ألا تعمل قارنة الآلة ذاتياً، كما إنه لا يسمح بحدوث تزحلق فيها.

وبعد اختبار آلة التشغيل تحت التحميل يتم **اختبار دقة وجودة تشغيلها**. ويجب قبل كل اختبار جديد تسخين كل من عمود الدوران وكراسي التحميل والنظام الهيدروليكي والعناصر الأخرى الأساسية في الآلة عن طريق تشغيلها بالتدوير الأولي بدون تحميل.

وللتأكد من الحصول على **النعومة المطلوبة للسطح المشغل**، تُخرط عينة إنتاجية وفق نظم قطع معينة، وبعد الخراطة يجب أن نعرف فيما إذا كانت سطوح العينة خالية من الآثار التي يمكن أن تؤدي إلى تخفيض هذه النعومة.

وعند اختبار **دقة التشغيل**، يجب وضع الآلة على الأساس أو على المنضدة الاختبارية، وبعد ذلك تختبر آلة التشغيل بعناية فائقة وفق نظم الاختبار المعلومة. ويجب إرجاع الآلة إلى الوضع نفسه الذي كانت عليه عند مرحلة التجميع وبعد

الانتهاء من التصليح. ويتم استلام الآلة من الصيانة الشاملة وفقاً لقواعد الدقة الواردة في المواصفات والنظم التقنية الخاصة باستلام المخارط أو أية آلات جديدة.

ويجري **اختبار الجساءة** (rigidity) للتأكد من جودة تجميع غراب الرأس والعربات الطولانية والعرضانية وغراب الذيل. وتقل جساءة آلة التشغيل بسبب عدم استواء السطوح المتلامسة وتشوه كراسي التحميل والأسافين والشرائح والمسامير المتنوعة والأجزاء الوسطية الأخرى بسبب عدم توافق بعضها مع بعض. ويعبر عن الجساءة من خلال درجة تشوه الأجزاء الآلية نسبة إلى فرش الآلة، والناتج عن تأثير قوة خارجية ذات مقدار معين. ويستعمل من أجل اختبار درجة الجساءة دينامومتر (أو مقياس القوة- dynamometer) معين، يركب على الوحدة المعنية، ويتم الاختبار وفق أسلوب محدد. وتحدد المواصفات التقنية معدلات الجساءة المسموح بها لكل نوع من أنواع آلات التشغيل.

وبعد إجراء اختبار القدرة (Power)، ويتم بعد اختبار الآلة بدون تحميل، وأيضاً بعد اختبار الجساءة) يعين معامل الكفاية(*) عند أقصى تحميل للآلة. وأثناء الاختبار يشغل أي جزء إنتاجي مع اختبار لمقطع الرايش ونظم القطع الأخرى وفقاً للمعطيات المبينة في الكتيب الفني للآلة. ولا تستغرق عملية التشغيل الاختباري باستعمال القدرة القصوى أكثر من 30min. وفي هذه الحالة، يسمح بتجاوز تحميل المحرك الكهربائي بمقدار 10-15% عن قدرته المقدرة.

ويتم **اختبار الدقة الهندسية** (geometric accuracy) لآلة التشغيل بعد وضعها على منضدة الاختبار في ورشة التصليح، أو على أساس هذه الآلة في القسم الإنتاجي.

---

*-معامل الكفاية هو النسبة بين العمل الناتج والعمل المبذول.

وبعـــد الانتهاء من اختبار آلة التشغيل المعنية بوجود تحميل وبدونه (أي عندما تتم عملية الخراطة مثلاً أو بدونها)، **يتم التأكد مما يأتي:**

الاســـتقامة (Straightness) والـــتوازي (Parallelism) التبادلي وميل موجهات الفرش، والتعامد (Perpendicularity) التبادلي للموجهات العليا والسفلي للعربات الطولانـــية والعرضانية؛ وتوازي كل من عمودي الدوران وغراب الذيل؛ وتوازي لولب السحب وعمود التغذية مع موجهات الفرش؛ وانطباق مركز عمود الدوران مـــع مركز غراب الذيل؛ وانطباق محاور لولب التغذية وعمود التغذية التي تمر من خلال كل من علبة التغذية وصندوق المسننات المحركة للعربات ونقاط الاستناد في الحوامل.

سادساً- مراقبة واختبار عمل التجهيزات المختلفة في آلات التشغيل.

تُشـــكل مـــن أجل تنفيذ أعمال الخدمة الفنية لتجهيزات آلات التشغيل وتصـــليحها **الفـــرق المتكاملة من عمال الصيانة**، وتلحق هذه الفرق بالأقسام أو الورشات المختلفة. ويُحدد عدد أفراد هذه الفرق انطلاقاً من حجم أعمال الخدمة الفنـــية والتصليح المزمع القيام بهما، وتبعاً للخطة السنوية والخدمة اليومية المطلوبة لهـــذه التجهـــيزات التي تقع تحت مسؤولية الفرقة المعنية. ويكون كل عامل صيانة مســـؤولاً عـــن حالة وتشغيل مجموعة من التجهيزات، وفي الوقت نفسه يجب أن يراقـــبها يومـــياً. فضـــلاً عن ذلك، يدخل في واجبات عامل الصيانة مراقبة عامل التشغيل والتأكد من تقيده بقواعد تشغيل آلات التشغيل وصيانتها.

ويقـــوم رئيس الفرقة بتحديد العدد المطلوب من عمال الصيانة المسؤولين عـــن خدمـــة الآلات في الورديات المختلفة. ومن الضروري تسجيل نتائج المراقبة وأعمال التصليح المنفذة في كتيب خاص عائد لكل وحدة آلية على حدة.

ويقـــوم **فـــريق تفتـــيش** تابع لمكتب رئيس عمال الصيانة بمراقبة حالة التجهيزات الموجودة في المصنع. **وتشمل هذه المراقبة الآتي:**

1-الـــتأكد مـــن جودة خدمة التجهيزات؛ 2-تحديد أسباب توقف الآلات الذي يحدث قبل أوانه؛ 3-التأكد من جودة أدوات القطع؛ 4- التأكد من صحة تسليم التجهـــيزات عـــند الانـــتقال من وردية لأخرى. 5-التأكد من تنفيذ المتطلبات المذكورة وتسجيلها في كتيب الورديات.

وعند إخلال عمال الإنتاج بقواعد تشغيل وخدمة التجهيزات يجب عندها عـــلى ميكانـــيكي ورشـــة الصـــيانة ومفتشي مكتب رئيس عمال الصيانة اتخاذ الإجراءات اللازمة حتى ولو احتاج الأمر إلى إيقاف الآلة.

ويـــتحقق ميكانيكي الورشة أو فنيو الصيانة من جودة خدمة التجهيزات، ويراقب ذلك المفتش في مكتب رئيس الميكانيكيين.

ويجـــب، بقصد اختصار زمن تعطل الآلات عند تصليحها، تنظيم العمل بحيـــث تخـــتلف فترات تناول الطعام والعطلات لدى عمال الصيانة عن تلك التي يتمـــتع بهـــا عمال الإنتاج. كذلك يجب الاستفادة من الورديات التي تتوقف فيها التجهيزات عن العمل.

ولـــزيادة مؤهـــلات عمـــال الصيانة الميكانيكية والإسراع في استيعابهم لمواصـــفات الآلات ووظائفها، **يجب تنظيم دورات تدريبية دورية لعمال الصيانة** ويستحسن في المصانع الكبيرة تنظيم فرق متخصصة تقوم بتنفيذ الصيانتين الشاملة والمتوســـطة لأنواع التجهيزات الواسعة الاستعمال، الأمر الذي يساعد على زيادة كل من إنتاجية عمال الصيانة وجودة صيانة التجهيزات.

ويـــبين الجـــدول 4.1 الجـــدول الزمني المتعلق بالصيانة الشاملة لآلة الخراطة طع القلاووظ 1k62.

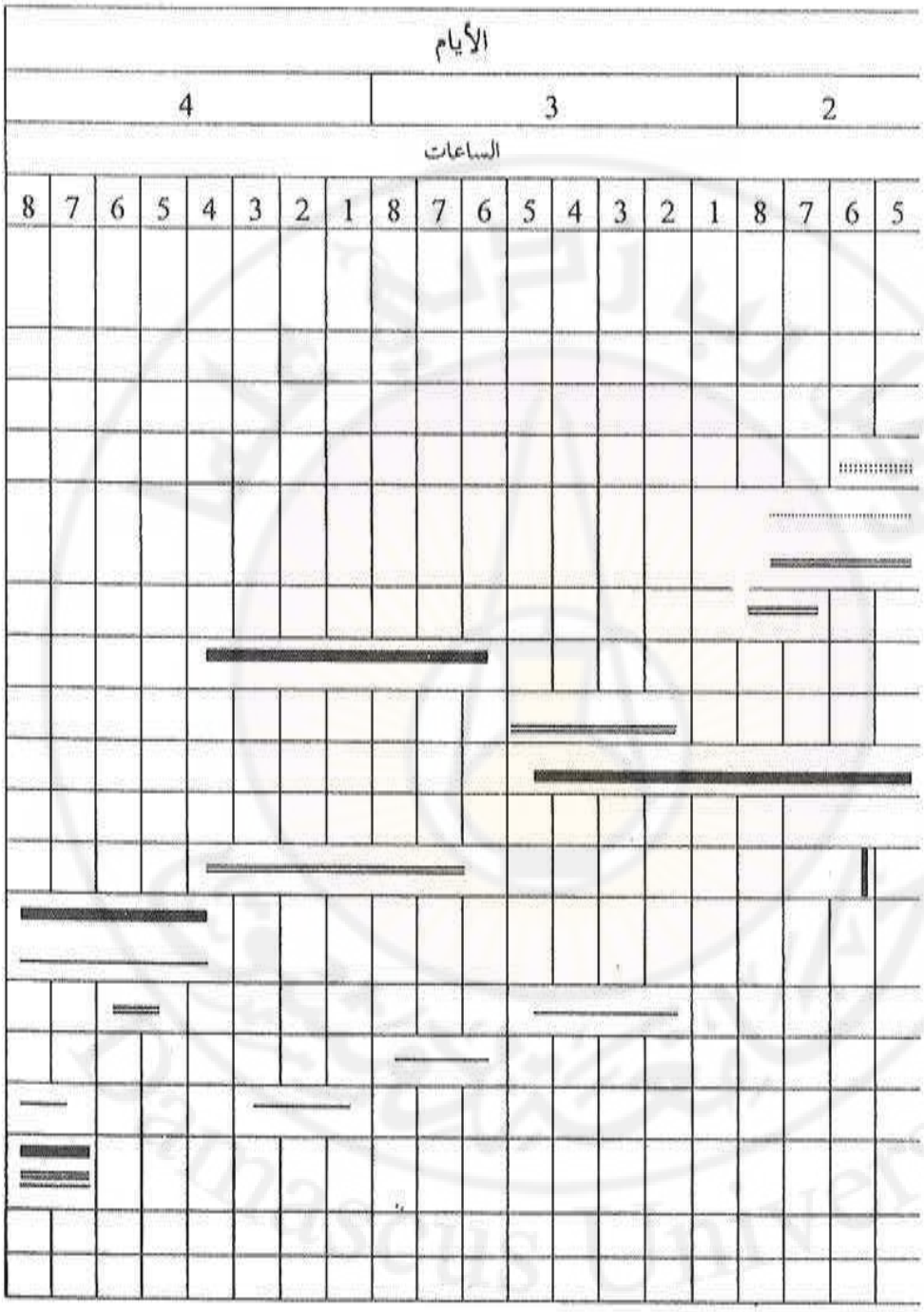
جدول 4.1- الجدول الزمني للصيانة الشاملة لآلة الخراطة وقطع القلاووظ 1k62:

الرموز: ▬▬ -مهمة رئيس فرقة العمل؛ ═══ مهمة عامل من الدرجة الرابعة؛

——— مهمة عامل من الدرجة الثانية؛ ..... مهمة عامل تجليخ،

..... مهمة عامل دهان.

	نوع العمل	الأيام																					
		1												2									
		الساعات																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4		
1	فك آلة التشغيل	▬▬ ═══																					
2	غسل أجزاء الآلة	———																					
3	كشف عيوب الآلة	▬▬																					
4	تجليخ موجهات الآلة	.....																					
5	إصلاح موجهات العربات وضبط الصواميل.	..... ═══																					
6	تجميع وتركيب الفرش على المنضدة																						
7	إصلاح علبة المسننات المحركة للعربات																						
8	ضبط موجهات العربة على الفرش																						
9	إصلاح علبة السرعة	▬▬																					
10	إصلاح علبة التغذية	———																					
11	تجميع العربات الطولانية والعرضانية																						
12	تركيب كل من علبتي التغذية والمسننات وعمود السحب																						
13	تجميع غراب الذيل																						
14	تجميع نظام التبريد																						
15	وضع المحركات وملء الزيت																						
16	فترة التدريب والإنجازات																						
17	اختبار دقة الآلة وثباتها وإنتاجيتها																						
18	دهان الآلة.																						


الأيام
4
3
2
الساعات
8 7 6 5 4 3 2 1 8 7 6 5 4 3 2 1 8 7 6 5

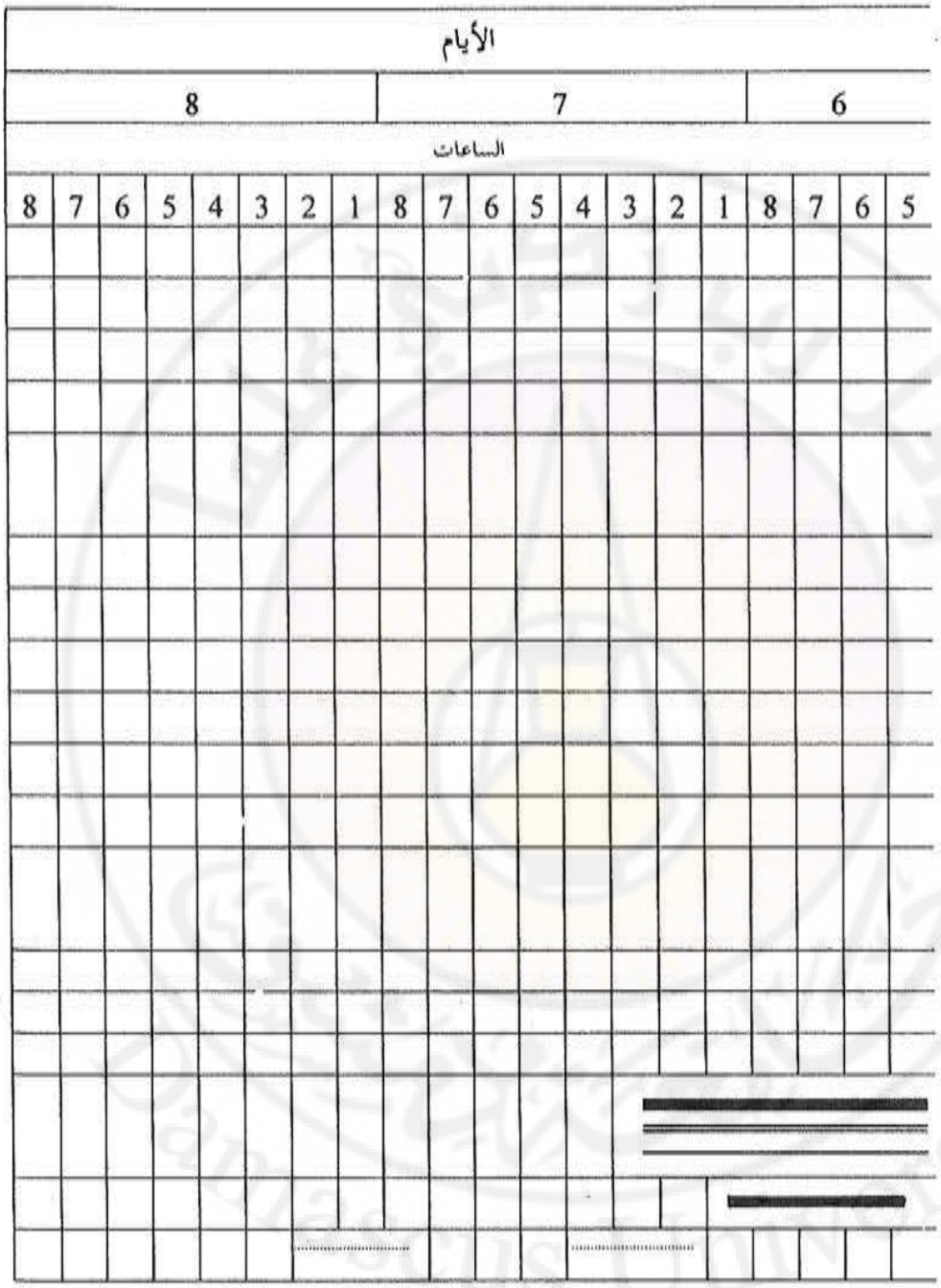
تابع الجدول 4.1- الجدول الزمني للصيانة الشاملة لآلة الخراطة وقطع القلاووظ 1k62:

الرموز: ▬▬ -مهمة رئيس فرقة العمل؛ ═══ مهمة عامل من الدرجة الرابعة؛

——— - مهمة عامل من الدرجة الثانية؛ ..... -مهمة عامل تجليخ،

..... -مهمة عامل دهان.

	نوع العمل	الأيام											
		5							6				
		الساعات											
		1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4
1	فك آلة التشغيل												
2	غسل أجزاء الآلة												
3	كشف عيوب الآلة												
4	تجليخ موجهات الآلة												
5	إصلاح موجهات العربات وضبط الصواميل.												
6	تجميع وتركيب الفرش على المنضدة												
7	إصلاح علبة المسننات المحركة للعربات												
8	ضبط موجهات العربة على الفرش												
9	إصلاح علبة السرعة												
10	إصلاح علبة التغذية												
11	تجميع العربات الطولانية والعرضانية												
12	تركيب كل من علبتي التغذية والمسننات وعمود السحب												
13	تجميع غراب الذيل												
14	تجميع نظام التبريد												
15	وضع المحركات وملء الزيت												
16	فترة التدريب والإنجازات	▬▬											
17	اختبار دقة الآلة وثباتها وإنتاجيتها	▬▬											
18	دهان الآلة.												


الأيام
8
7
6
الساعات
8 7 6 5 4 3 2 1 8 7 6 5 4 3 2 1 8 7 6 5

سابعاً- المتطلبات الواجب توافرها بمكان عمل ميكانيكي صيانة آلات التشغيل.

المقصـــود **بمكـــان عمل ميكانيكي** الصيانة ليس فقط منصة التجميع أو منضـــدة تنفـــيذ عمليات البرادة (filing)، حيث يقف أمامهما الميكانيكي للقيام بأعمال الصيانة، بل وكل المنطقة المحيطة بالمنصة أو المنضدة التي توجد فيها المعدات المساعدة وجميع الأجهزة التي تستعمل أثناء ذلك.

ويعتبر مكان العمل سليماً، فيما إذا تحققت فيه المتطلبات التالية:

a) يجـــب أن يكـــون مكـــان العمـــل مريحاً، وأن تكون مساحته كافية لوضع التجهـــيزات ووســـائل النقل والرفع وخزانة الأدوات والوسائل والعدد الأخرى. كذلـــك يجب أن تخلو الممرات المؤدية إلى مكان العمل من العوائق التي تمنع مرور العمـــال وعـــربة نقل المعدات. ومن الضروري أن يكون إنجاز الأعمال في المكان مريحاً ومأموناً.

b) يجـــب أن يـــزود مكـــان العمل بأجهزة الوقاية وفقاً لقواعد الأمن الصناعي الـــنافذة، ويجب كذلك أن يكون المكان مضاءً بشكل جيد ودرجة الحرارة طبيعية بشكل دائم. ولا يسمح بوجود اهتزازات أو حدوث ضوضاء شديدة أو خبطات في مكان التجميع، كما لا يسمح بظهور أية عوامل أخرى مؤدية إلى إرهاق العامل وتعبه.

c) يجب أن يكون مكان العمل نظيفاً ومنظماً وخالياً من الأشياء غير الضرورية. وإذا كـــان مكان العمل منظماً بشكل جيد فإن هذا لا يحقق العمل المريح والخالي من الأخطار فحسب، بل ويساعد أيضاً على القيام بالعمليات التكنولوجية بشكل آمن وتزداد في الوقت نفسه جودة الصيانة وتنخفض نفقاتها.

وقد يكون **مكان العمل** ثابتاً فيما إذا كان واقعاً في ورشة الصيانة، أو **مؤقتاً** حينما تجري الصيانة في أماكن تواجد التجهيزات المراد إصلاحها.

ثامناً- التجهيزات التي يحتاجها عامل الصيانة في أماكن العمل الثابتة والمؤقتة.

تعد **المنضدة الخاصة** بتنفيذ عمليات البرادة الجهاز الأساسي في مكان العمل الثابت لعامل الصيانة الميكانيكية، وهي عبارة عن منضدة ذات أدراج متحركة، مثبتة على قوائم خشبية أو معدنية، ومغطاة بألواح حديدية ويجب أن تتوفر في هذه المنضدة المتانة والثبات.

ولا يجب أن تكون في مكان العمل أية أدوات، سوى الأدوات اللازمة **لتنفيذ المهام الجارية**. وتكون الأدوات ووسائل العمل والوثائق الفنية في متناول اليد. أما الأدوات التي تستعمل بصفة متكررة فيجب أن تكون بمكان أقرب من تلك التي تستعمل نادراً.

وعادة توضع في ورشات الصيانة، مناضد يعمل عليها في الوقت نفسه عدد من عمال الصيانة. ويجب ألا تقل المسافة الفاصلة بين كل ملزمتين متجاورتين عن 1,2 m، بغض النظر فيما إذا كان عدد الأماكن على المنضدة ثنائياً أو متعدداً. وبالإضافة إلى المنضدة الخاصة بعمليات البرادة توضع في ورشات الصيانة مناضد معدنية أخرى لفك الآلات واكتشاف عيوبها وتجميع بعض أجزائها، (مثل علب المسننات وعلب التغذية وغير ذلك).

ومن الضروري أن يكون مكان العمل مضاءً بشكل جيد. لهذا يوضع على المنفذة مصباح كهربائي به عاكس للضوء وذراع مفصلي. ويجلس عامل الصيانة

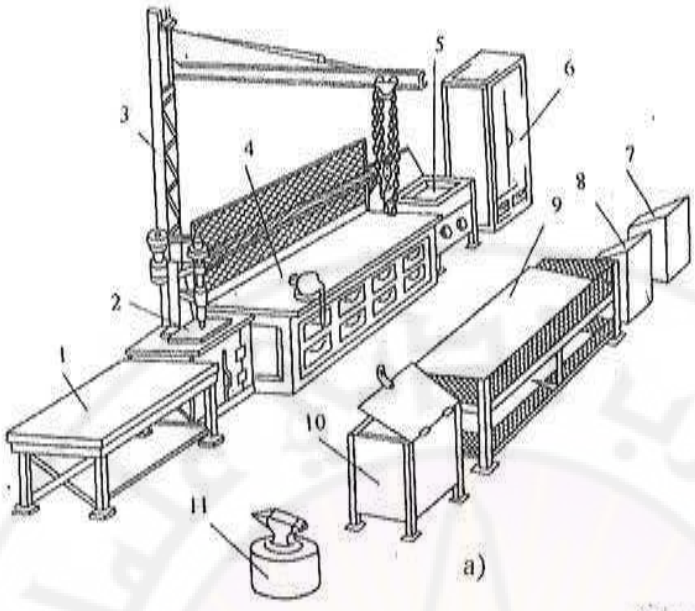
بالقـــرب من المنضدة على معقد أو كرسي خاص قابل للصعود والانخفاض أو ربما يقف على أرضية بها ألواح خشبية.

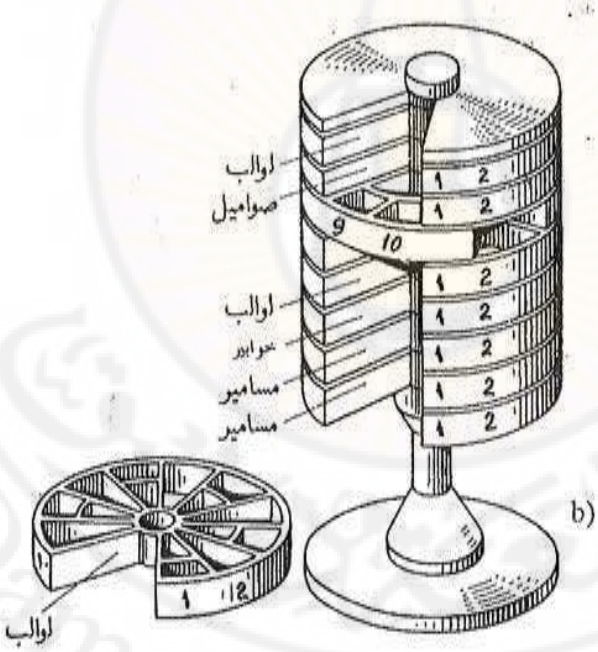
ويجـــب الاهتمام بتنظيم **أماكن عمل فرق عمال الصيانة المسؤولة عن قطاعات إنتاجـــية**، أو عن عدد من الآلات المتشابهة (في حالة النظام اللامركزي للصيانة). ويظهر في الشكل 4.1 **رسم تخطيطي نموذجي لتنظيم مكان عمل الفريق المتكامل في ورشـــة التصـــليح**. توضع في هذا المكان لوحة مسطحة 1، وآلة تثقيب على المنضدة 2، ومرفاع (ونش) دوار 3 بحمولة قدرها نصف طن، وطاولة 4، وحوض لتســـخين كراســـي التحميل 5، وخزانة 6 لحفظ قطع الغيار، وصندوق 7 للقطع القماشية المستعملة، وصندوق 8 للقطع الجاهزة، ومكان فيه رفوف لوضع الأجزاء والوحدات الآلية 9، وحوض غسيل 10 وسندان 11.

ومـــن المفـــيد جـــداً استعمال الرفوف (الشكل 4.1,b) ذات القطاعات الدورانية التي تستعمل لحفظ وسائل التثبيت (اللوالب، ومسامير التثبيت، والخوابير، الرنديلات، الصواميل... إلخ) التي يتم توزيعها تبعاً لنوعها وأبعادها .

كذلـــك يجب أن تكون تحت تصرف فريق الصيانة المتكامل دائماً أجهزة خاصـــة لـــنـــزع وتثبيت كراسي التحميل التدحرجية ومنصة لاختبار المضخات الزيتـــية، وخزانات متحركة فيها زيت ومستحلب لملء آلات التشغيل، وصناديق للأدوات اللازمة يمكن حملها ونقلها، وما شابه ذلك.

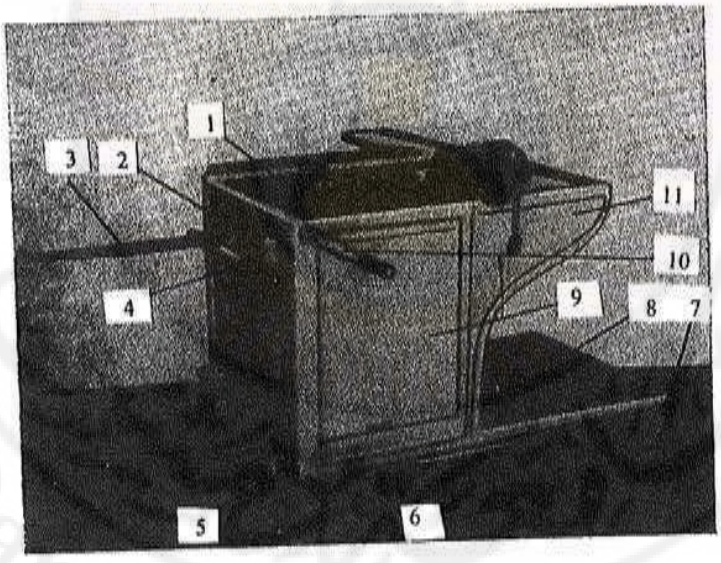
وفي كثير من الأحيان يضطر عامل الصيانة إلى القيام بعمله في مكان الآلة المـــراد إصـــلاحها. في هذه الحالة يلجأ عامل الصيانة إلى استعمال منضدة صيانة مـــتحركة ورفوف متحركة وآلة غسل متحركة وعربة بها جهاز رفع، وصناديق متنقلة فيها الأدوات والمعدات الأخرى اللازمة.





الشكل 4.1– تنظيم مكان العمل لفريق التصليح المتكامل
a– الرسم التخطيطي؛ b– خزانة برفوف دوارة.

وقـــد أوردنا في 4.2 مكان عمل متحرك لعامل الصيانة. ويزود هذا بجهاز لتركيـــب وفك الوحدات والأجزاء الآلية الثقيلة. وهو يتكون من عربة 4 وأذرع قابلـــة للانقـــلاب 3. وتـــتحرك العربة بوساطة اللولب 2 والمقبض 10 ومسننات مخروطية. وتستعمل الصناديق المغلقة 9 و 11 لحفظ الأدوات والوسائل اللازمة. أما الأرضـــية 8 والمنضدة 1 فتستعمل لنقل الأجزاء والوحدات. وبالإضافة إلى ذلك، يمكـــن تركيب وفك الوحدات وضبط الأجزاء على المنضدة 1 ، كما يمكن وضع ملازم ووسائل أخرى عليها، ويوضع أثناء العمل مكان العمل المتحرك بالقرب من الآلة التي يجري إصلاحها مباشرة على وسائل الرفع 5. ولتحريك مكان العمل هذا نستعمل العجلات 7 و 6، علماً أن العجلات 7 غير قابلة للدوران، أما العجلات 6 فتدور بسهولة.



الشكل 4.2– مكان عمل متحرك لعامل الصيانة.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المبحث الخامس

أنظمة الصيانة

تملك جميع أنظمة الصيانة، سواء أكانت الصيانة تنفذ بالأعمال اليدوية أم باستخدام الـ EDP أم باستخدام الحاسوب، الوظيفة الأساسية نفسها وهي أن تراقب:

- ماذا يجب أن يُعمل ؟
- وأين يجب عمله؟
- ومتى يجب عمله؟
- ومن يجب أن يعمله؟
- وكيف يجب عمله؟

ومهما يكن نظام الصيانة المقرر، فإن جميع الأنظمة تتألف من خطوات قياس فردية لها تقريباً الطبيعة والوظيفة نفسهما وهذه الخطوات الفردية هي :

- سجل المعلم.
- الصيانة الوقائية.
- نظام قطع التبديل.
- سجل التوثيق.
- نظام المهمة أو الصيانة الإصلاحية.
- مفهوم جيتس للصيانة.
- نظام الشراء.
- نظام مراقبة التكلفة والموازنة.

a) سجل المعمل :

يلعب نظام ترقيم بالمعلم دوراً جوهرياً في إدارة وظيفة الصيانة بطريقة منهجية، وفي التعرف الدقيق على كل قطعة من التجهيزات. ورقم التعرف يستخدم لكل نشاط له صلة بقطعة من التجهيزات: صحيفة الدوام، قطعة التبديل، المادة المشتراة،...إلخ، بحيث يمكن تخصيص جميع التكاليف بدقة. إن حجم المعلومات التي يمكن تسجيلها في سجل المعمل هي طبعاً غير محدودة، خاصة في حالة نظام EDP. لكن أي بيان "من بيانات المعمل"، يقدم مواصفة تقنية لكل قطعة في المعمل وتجهيزاته، سيكون مفيداً جداً. وإذا تلا ذلك إدخال أنماط بحث معينة، وبصفة خاصة إذا كان الـ DEP في متناول اليد، فيمكن تصنيف الوحدات المماثلة القابلة للاستبدال. فمثلاً إذا تُلفت وحدة من الوحدات، وكانت القطعة البديلة (المحرك، أو الآلة بكاملها) غير موجودة في المستودع يمكن أن نبحث في هذه الحالة في سجل المعمل أين سيوجد البديل؟ وبالتعاون مع قسم الإنتاج يحدد عندئذٍ أسلوب تحويل القطعة من مكان إلى آخر حسب الأفضلية.

b) الصيانة الوقائية:

تتكلم أدبيات الصيانة عن **الصيانة الاستراتيجية**، وتحدد قواعد أو مبادئ هذه الصيانة من خلال كل من :

- الصيانة الوقائية (الدورية وحسب الحالة).
- والصيانة الإصلاحية (والتي يطلق عليها نظام المهمة كما سنرى بعد قليل).

وخطوة قياس الصيانة الوقائية، مثل باقي الخطوات الأخرى لنظام الصيانة، هي عبارة عن وسيلة لإدارة مهمات الصيانة بطريقة منهجية في جميع الأعمال. فمن

المعلومـــات الـــواردة في كتيب المنتج حول الصيانة ومن الخبرة المتراكمة، يمكن أن نقرر قاعدة صيانة لمعمل فردي، وأن نضع التخطيط الضروري لتنفيذ الصيانة.

إن **تخطـــيط الصيانة** لكل معمل على انفراد يتضمن، كما سبق أن ذكرنا، وصفاً للمواد التالية:

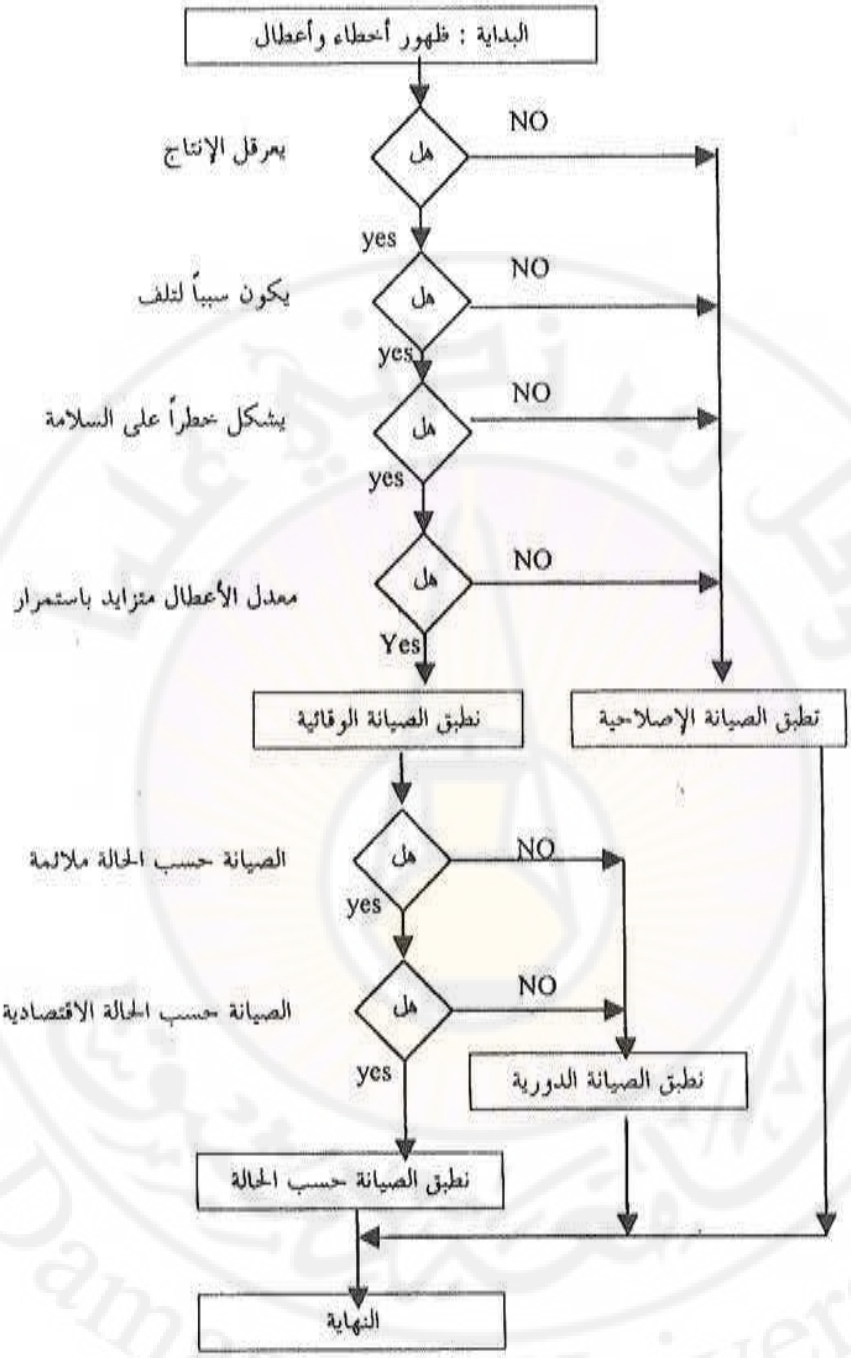
- ماذا يجب أن يُعمل ؟
- وأين يجب عمله؟
- ومتى يجب عمله؟
- ومن يجب أن يعمله؟
- وتضمن أيضاً هذا التخطيط وصفاً حول: كيف يجب عمله؟

وهـــذا يعـــني كيف يجب أن تنجز المهمة، أي أين هي قطع التبديل، أو الأداة المحددة، أو التزييت.. إلخ، الواجب استخدامها.

والآن، بالاســـتفادة من جميع المهارات المجدولة في القائمة، ومن التكرار لتنفيذ المهمات ومن القوة العاملة المطلوبة لتنفيذ المهمات المعروفة، فإن التخطيط الحقيقي لإنجـــاز المهمـــات يمكن تنفيذه بدقة. وباستخدام هذه الخطة يمكن أن تحدد مهمة يومية أو أسبوعية أو شهرية توجه مباشرة إلى موارد بشرية معينة.

وهكـــذا، **فإن الصيانة الوقائية تعتبر بصورة عامة صيانة مخططة، في حين أن الصيانة الإصلاحية هي غير مخططة** كما سنرى، لاسيما فيما يتعلق بتحديد الزمن الحقيقي لتنفيذ الصيانة الإصلاحية لكل قطعة من التجهيزات.

ولتطبـــيق الصـــيانة الاســـتراتيجية المناسبة، فإن الباحث يقترح استخدام النموذج التالي إذا ظهر خطأ في أي معمل أو في أي آلة (انظر الشكل 5.1).



الشكل 5.1 : النموذج المستخدم عند تطبيق الصيانة الاستراتيجية.

وبالطبع، **هناك مؤشرات أخرى يجب أن تُؤخذ بعين الاعتبار عند تقرير الصيانة الاستراتيجية** لمعمل فردي أو لتجهيزات، نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر: العناصر القانونية، الوضع المالي، المخزون، قطع التبديل، الموقع، الموارد البشرية، درجة الجاهزية[1].

c) نظام قطع التبديل [2]:

إن الهدف من نظام قطع التبديل هو إدارة مستودع قطع التبديل، بما فيها القطع القابلة للاستهلاك، سواء كان ذلك من حيث الإدخالات أو الإخراجات من مستودع قطع التبديل هذا، وعلى أن تكون كل القطع مسجلة، وأن تكون الاحصاءات معدة بالنسبة لجميع المواد. وبهذا الأسلوب يمكن أن نصل إلى الوضع الأمثل لمخزون قطع التبديل في المستودع من خلال دراسة متأنية للاستهلاك.

وبمعرفة زمن استلام الطلبيات والاستهلاك بالنسبة للمواد، خاصة الغالية الثمن والتجهيزات الأساسية، فإن أرقاماً دقيقة لقيم المخزون العظمى أو الصغرى تكون قابلة للتحديد، الأمر الذي قد يقود المؤسسة إلى وضع تستثمر فيه رأس مال أقل في قطع التبديل.

إن التنظيم الطبيعي والواقعي لمستودع قطع التبديل يجب أن يخطط بدقة، بحيث تحدد علامات ومواقع القطع بصورة واضحة. وهكذا، عندما تكون قطعة التبديل المطلوبة موجودة في الكتيب الفني للمعمل، ويكون الموقع الفعلي لها في المستودع معروفاً أيضاً، ففي هذه الحالة فإن قسم الصيانة لا يضيع وقتاً في البحث عنها. وعلى وجه الخصوص، من الضروري أن يكون تنظيم المستودع خلال الورديات

---

1 -Nieken S. –(Maintenance A Systemic Approach).
2 -Svend Nielsen –(The Maintenance Organization), OP.CIT., PP6.

المستأخرة في كل يوم مخططاً بصورة حسنة، بحيث يتم إحضار قطع التبديل بسرعة ويتم تنفيذ مهمة الإصلاح بأدنى حد من الزمن.

d) سجل التوثيق :

إن أنواع التوثيق الخاصة بكل معمل والتجهيزات التي يحتاج إليها قسم الصيانة ليتمكن من القيام بواجباته تجاه هذا المعمل والتجهيزات، **يمكن أن تشمل ما يلي:**

- توثيق المنشآت والأبنية.
- تعليمات الصيانة.
- توثيق العملية (أو العلميات) المطلوب إنجازها.
- قائمة قطع التبديل.
- تعليمة صفارة الإنذار.
- كتيب الإصلاح.
- التوثيق الكهربائي.
- تعليمات التزييت والتشحيم.

ويسجل في سجل التوثيق جميع الوثائق المستندية المذكورة التي تعود إلى معمل فردي وتجهيزاته، وذلك باستخدام أرقام المعمل. وبإدخال رقم المعمل في سجل التوثيق، فإن جميع المعلومات حول الوثائق يمكن الحصول عليها بسهولة. كما أن المعلومات حول موقع الوثائق المذكورة تكون مذكورة في السجل.

e) نظام المهمة:

وهو **نظام لإدارة مهمات الصيانة الإصلاحية**. فنظام الصيانة يتضمن فحصاً نظامياً لكل مادة واردة في قائمة الأعمال. وخلال هذا الفحص، فإن الاختلالات التي تجذب الانتباه يجب أن تكتشف. أضف إلى ذلك، إن قسم الإنتاج يُعد عادة

تقريـــراً حـــول الأخطاء والسلوك الخاطئ في المعمل. وهذه التقارير حول المهمات الواجبة التنفيذ تذهب إلى قسم الصيانة للتسجيل ولإصدار بطاقة المهمة.

ومن خلال سجل المعمل، يمكن التعرف على كل آلة من آلات المعمل بواسطة الـــرقم المستخدم والمسجل أيضاً على التقارير الموجهة إلى قسم الصيانة. كما يمكن أن تُجهـــز للمهمة الرسوم والصور والتعليمات من سجل التوثيق، وأن تختار قطع التبديل والأدوات.. إلخ، التي تكون ضرورية لإنجاز المهمة.

وعلـــيه، فإن **الصيانة تجري بناءً على تقارير من قسم الصيانة خلال عمليات الفحـــص الاعتـــيادية للتجهـــيزات، أو من قبل القائمين على تشغيل المعمل.** وتتضمن التقارير المذكورة دراسة لجميع الأعطال والتوقيفات المحتملة للتجهيزات، وتحلـــيل الأسباب الكامنة خلف هذه الأعطال، وتحديد الأعمال المطلوبة للحد من أوجـــه القصور التي تعيق المؤسسة من أداء واجباتها على أحسن ما يرام. **وقد ينجم عن التحليل المذكور:**

- تعديل عمليات الإنتاج.
- إعادة تصميم مسببات الأعطال.
- الاستبدال أو إدخال آلات جديدة.
- إعداد دورة تدريب وتأهيل للعاملين.

ولا شـــك أن الإعداد والتخطيط الجيدين لكل مهمة صيانة يؤديان إلى تخفيض زمن هذه المهمة وتحسين درجتها.

وقد توصل الباحثون من خلال متابعتهم للدراسات التي تناولت عملية الصيانة في أحد معامل الإسمنت الدانماركية إلى أن الزمن المستهلك في تنفيذ مهمات الصيانة في المعمل المدروس يتوزع نسبياً كما يلي:

الحالة	%
الزمن المضاع في الصيانة	45,00
نقل/ إعداد	37,00
زمن الموظفين والعاملين	9,00
غياب (غير معروف)	6,50
متنوعات	2,50
الإجمالي [1]	100,00

وبالطبع، فإن ثلاثة من الأزمنة السابقة لا يمكن مناقشتها. ويبقى العنصر الوحيد الذي يثير الانتباه ويحتاج إلى فحص مفصل هو النقل / الإعداد، ومفرداته كانت كما يلي:

الحالة	%
نقل	13.00
محادثات	6.00
انتظار	8.00
إعداد	10.00

ومن هذا التحليل يمكن أن نقرر بأن تخفيض الزمن الإجمالي المستهلك في إنجاز مهمة الصيانة يمكن أن يتحقق بمراعاة ما يلي:

- تنظيم النقل.
- التخطيط بحيث نتجنب الانتظار.
- ترتيب وتصنيف الوثائق المستندية.

---

1 - (1) Oest, Flemming- 1991- (DEVELOPMENT OF ORGANIZATION STRUCTURE IN A CEMENT PLANT), F.L. Smith, DENMARK. PP. 9.

- وضع الأدوات والتجهيزات.

F) مفهوم جيتس للصيانة : [1]

ساد لفترة طويلة انقسام حاد ونقاش طويل بين المؤدين والمعارضين لنظامي الصيانة الوقائية والإصلاحية. وقد تجاهل جيتس هذا الانقسام المألوف، وقدم بدلاً من ذلك، قاعدة صيانة أولية خلال أبحاثه ودراساته لمفهوم الصيانة. وتصف هذه القواعد ماهية الصيانة ومتى يجب أن تنفذا. وميز بين ثلاثة أنواع من قواعد الصيانة هي: الصيانة حسب العطل (Failure Based Maintenance- FBM)، والصيانة حسب الاستعمال (Use Based Maintenance- UBM)، وأخيراً الصيانة بحسب الحالة (Condition Based Maintenance- CBM). وسندرس فيما يلي هذه القواعد بقدر محدود من التفصيل.

I) الصيانة بحسب العطل (FBM):

إن الـ FBM، هي صيانة تنفذ بسبب حدوث عطل مفاجئ. وهذا الحادث قد يُظهر نفسه خلال عمل آلة من آلات المعمل وتجهيزاته، وقد يكون عطلاً مخفياً ويتطلب الكشف عنه إجراء فحص دقيق للآلة أو للنظام التقني. ويطبق هذا النوع من الصيانة إذا بينت نتائج الفحص بأن العطل يمكن إهماله، أو إذا كان قسم الصيانة لا يعرف كيف يُجري تنبؤاً بالعطل.

II) الصيانة بحسب الاستعمال (UBM):

وهي صيانة يجب أن تنفذ عندما تستهلك آلة (أو النظام التقني) عمرها الإنتاجي المحدد مسبقاً من قبل المنتج، وبصرف النظر عن حالة الآلة (أو النظام) في اللحظة الآنية للصيانة. وبالطبع فإن العمر الإنتاجي للنظام يُقاس إما بوحدات

---

1 -C.W. Gits – 1988-(The Systemtic Desgin of The Maintenance Concept For Centrifugal Separator)- F.L. Smith, DENMARK., PP. 2-9.

الاستعمال أو بوحدات الزمن. ويبرر استخدام هذا النوع من أنواع الصيانة إذا كان تباين الأزمنة الفاصلة بين الأعطال المتتالية صغيراً.

III) الصيانة بحسب الحالة (CBM):

إن CBM، هي عبارة عن صيانة تنفذ عندما تصل الآلة أو التجهيزات إلى حالة حرجة أو خطر.

وعليه، فإن هذا **النوع من الصيانة يقضي أن نستخدم التجهيزات إلى حدها الأقصى، وأن نخطط الزمن المناسب لإصلاح هذه التجهيزات قبل أن تصل إلى الحالة غير المقبولة.** والطريقة الأكثر انتشاراً لمراقبة الحالة هي **قياس الاهتزاز.** وبقياس الاهتزاز يمكن أن نكتشف حالة الخطأ في الآلة وأن نتابع تطوره. ويلاحظ في معظم الآلات أن الاهتزاز لـه مستوى نموذجي وأمواجه المتكررة لها شكل مميز عندما تكون الآلة في حالة جيدة.

ومراقبة الحالة يمكن أن تتم أيضاً بملاحظة **تطور وضع الزيت خلال الزمن** ومقارنة ذلك مع المواصفات التي يحددها المنتج.

ويرى جيتس أن الصيانة بحسب الحالة سوف تتزايد وستسيطر على الأنواع الأخرى. كما أن الجهد المبذول لإجراء قياسات CBM، ومقارنة القيم المقاسة مع الوحدة المعيارية في تناقص مستمر نتيجة استخدام **الصيانة بحسب الحالة عن بُعد** Tele-CBM: القياس الآلي، المقارنة الآلية، والإعلام الآلي إلى نقطة المراقبة المركزية. وعليه، فإن الشاشة الثابتة التقليدية مع مراقبة الأضواء سوف تستبدل بشاشة حاسوب موضحة ديناميكية العملية خلال الزمن الفعلي لظهور الحوادث، وتمكن من سؤال النظام عن تطور العملية وخواص التجهيزات خلال الفترة الماضية، الأمر الذي يسمح بإجراء تشخيص عن بُعد (Tele-Diagnosis).

g) نظام الشراء:

تنتج الدوافع لنظام الشراء عن نظام قطع التبديل، عندما يصل مستوى المخزون إلى حده الأدنى. وهذا الدافع يمكن استلامه يدوياً أو بواسطة EDP تماماً مثل نظام الشراء الكامل الذي يمكن أن يعمل يدوياً أو باستخدام EDP.

إن إحدى وظائف نظام الشراء، هي تقييم وضع قطع التبديل بالتعاون مع قسم الصيانة: - مستويات المخزون (دنيا /عليا).

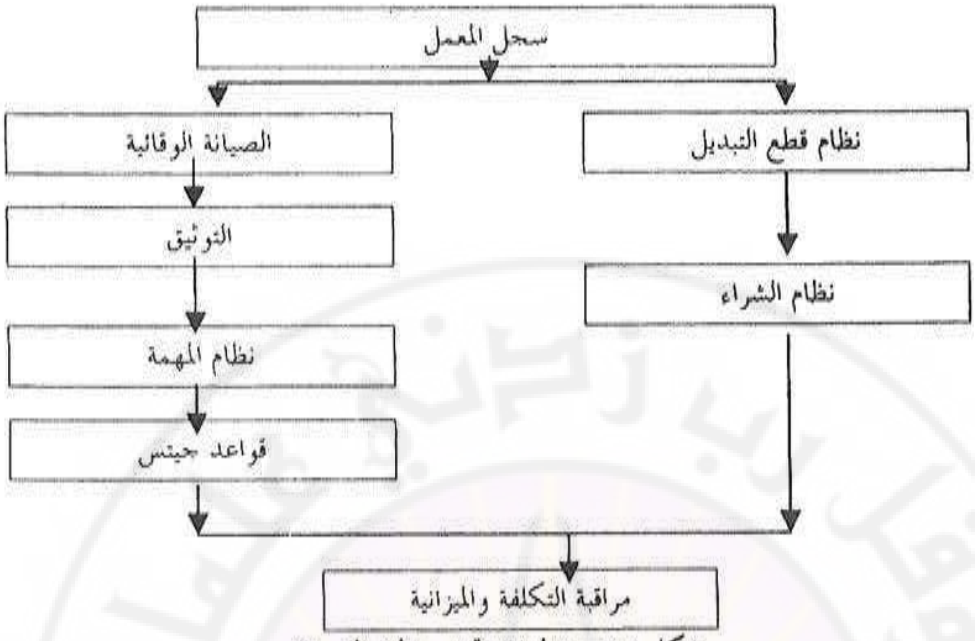
- نوعية أو جودة قطع التبديل.
- المزود أو المورد لهذه القطع.

h) مراقبة التكلفة أو الموازنة :

إن أهم شيء بالنسبة لقسم الصيانة هو أن يكون قادراً على متابعة النفقات لكل مهمة وعلى التأكد من أن القسم يعمل ضمن الموازنة المخصصة. ولهذا الصدد، من الضروري أن تقوم القوة العاملة بمسؤوليتها المخصصة لتخطيط الموازنة. فعلى سبيل المثال، إن رئيس فرع قسم الصيانة، والمسؤول عن صيانة جزء معين من الأعمال، يجب أن يساهم في تخطيط الموازنة لهذا الفرع.

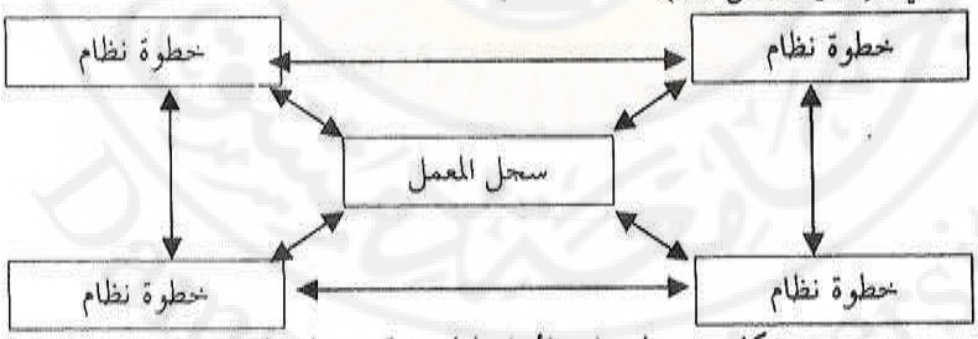
أضف إلى ذلك ما سبق ذكره، من الضروري أن تعطى أيضاً للقوة العاملة المخصصة بمسؤولية معينة السلطة المناسبة، وأن تتمتع بدرجة من المرونة ضمن الموازنة. وبالطبع، فإن نظام مراقبة الموازنة هو كأي نظام آخر يمكن أن يعمل يدوياً أو باستخدام EDP.

لقد درسنا حتى الآن خطوات قياس النظام المتنوعة التي تساهم في بناء وظيفة الصيانة. وبالطبع، لكي تكون الوظيفة المذكورة عملية فليس من الضروري أن تنجز جميع خطوات القياس المذكورة في آن واحد. ويقترح الباحثون النموذج المثالي التالي لإنجاز الخطوات، (انظر الشكل 5.2).



شكل 5.2– خطوات قياس نظام الصيانة.

لا شـــك أن سجل المعمل متطلب أساسي لابد منه لبناء أي تنظيم صيانة. وأن أي نظام يمكن أن يتألف من خطوتين (سجل المعمل والصيانة والوقاية)، ومن ثم يتوسع هـــذا النظام تدريجياً إلى أن يشمل جميع خطوات القياس المذكورة. كما أن بنية أي نظـــام يجـــب أن تصـــمم بصورة جيدة، وبحيث تتوافق مع نموذج أمثل تكون فيه خطـــوات قـــياس النظام متوضعة حول سجل المعمل كما هو موضح في الشكل التالي: (انظر الشكل 5.3).



شكل 5.3– النموذج الأمثل لخطوات قياس نظام الصيانة.

وبهذا الأسلوب، فإن قوة العمل في قسم الصيانة قادرة على إنتاج جميع المعلومات المطلوبة والوثائق بطريقة فعالة وسريعة.

المبحث السادس

التخطيط والمتابعة

إن القسم الأساسي اللازم لإدارة قسم الصيانة هو قسم التخطيط الذي يتولى تخطيط أنشطة الصيانة. **والتخطيط يمكن أن يجري بمستويات أربعة هي:**

- التخطيط الاستراتيجي.
- التخطيط الشامل.
- التخطيط المفصل.
- التخطيط للمهمة.

لقد سبق أن ذكرنا بأن **التخطيط الاستراتيجي** يشمل الصيانة الإصلاحية. وأما التخطيط الشامل فيعتمد على التخطيط الاستراتيجي، وعلى وصف آخر لجميع الأنشطة التي يجب تنفيذها في معمل فردي بخصوص الاستراتيجية الحالية العائدة للمعمل المذكور. **وهذا الوصف يستلزم تقديراً للموارد المطلوبة:**

- الأعمال الساعية.
- قطع التبديل.
- قطع قابلة للاستهلاك.
- أدوات.

إن مدة كل مهمة تكون مخططة فيما يتعلق بتخصيص الموارد. وعندما يتم عمل ذلك، فإن المهمات تدرج على قائمة تخطيطية ويتم فيها توضيح أوقات تنفيذها. ويمكن في هذه الحالة أن نحسب لكل شهر الأعمال الساعية المطلوبة لتنفيذ الصيانة المخططة. والأهم من ذلك، هو أن نضيف الموارد المطلوبة لإنجاز المهمات غير المخططة، التي ستنفذ حتماً في المستقبل، ويؤخذ بعين الاعتبار الاستثناءات المتوقع حدوثها نتيجة الغياب بسبب المرض أو ترك العمل.

إن المـــوارد اللازمة لإنجاز المهمات غير المخططة، يمكن تقديرها من خلال الخبرة، وتساوي بصورة تقريبية 30 % من المهمات في قسم الصيانة مثلاً. وهكذا، فإن عبء العمل الساعي الإجمالي لكل شهر يمكن تقديره، وأن أية تغيرات في هذا العـــبء ستكتشف على مدار العام. إن التغيرات الكبيرة السالبة والموجبة يمكن أن تؤدي إلى وضع التوازن. وإذا لم يحدث ذلك، فيجب أن يؤخذ بالاعتبار استخدام مساعدة خارجية.

وفي التخطـــيط الشامل، يجب أن يؤخذ بالاعتبار استهلاك قطع التبديل والأدوات، بحيـــث تكون القطع الضرورية جاهزة عند الطلب. وبالطبع، فإن جميع الـــتقديرات الـــتي يجريها قسم التخطيط: الأعمال الساعية، قطع التبديل، ... إلخ، يجب أن تترجم إلى تكلفة وأن تستخدم في تخطيط الموازنة.

ويطـــبق **التخطيط المفصل** عندما يمكن تجزئة أي نشاط إلى أنشطة مستقلة منفصلة (مثال : التخطيط الشبكي). ويعتبر **تخطيط المهمة بمثابة روتين يومي ينجز عادة بالتعاون مع قسم الإنتاج.**

إن نظـــام المتابعة يمكن أن يكون اقتصادياً أو فنياً. والمتابعة الفنية هي أولاً تســـجيل الأعطـــال الحادثة بقصد معرفة وحذف نقاط الضعف. وبما أن تسجيل الأعطال يعتبر أمراً بسيطاً، نجد أن تحديد سبب العطل يكون أحياناً مسألة معقدة. ويجب أن توجد دائماً وجهات نظر موضوعية، وغالباً فإن تحديد المسؤولية قد يضع ضباباً حول الحقائق.

أضـــف إلى ماســـبق أن أية متابعة حول الوقت يمكن تحقيقها من خلال جاهزية المعمل [1].

---

1 -Svend Nielsen -(THE MAINTENANCE ORGANIZATION) OP. CIT., PP.19

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MDT}$$

حيث : MTBF –هو الزمن الوسطي بين الأعطال و MDT –هو متوسط الزمن الأدنى بين الأعطال، وذلك بالنسبة لفترة زمنية معينة (مثلاً سنة). وكذلك، فإن متابعة المعلومات المتاحة يمكن أن تستخدم لتحديد نسب أداء الصيانة التي تعطي ملخصاً عن أنشطة الصيانة وفعاليتها. وبالطبع توجد قاعدة عريضة من نسب الأداء، ولكن القليل منها يمكن اختياره لتقديم معلومات كافية حول تقدم الصيانة وفعاليتها. ومن هذه النسب نذكر مايلي:

نسبة الوقت الإضافي (نسبة الأعمال الساعية الإضافية إلى الأعمال الساعية الإجمالية).

نسبة صيانة تعطل آلة (نسبة الأعمال الساعية لإصلاح عطل آلة إلى جميع الأعمال الساعية الإجمالية).

نسبة انتظام العمل (نسبة الأعمال المنفذة بصورة جدية إلى جملة الأعمال المنفذة).

والمتابعة الاقتصادية تقتضي تسجيل جميع التكاليف الفعلية وبصورة مفصلة، وتقيّمها مقارنة مع مخصصات الموازنة. وعندما يجري تقييم تكلفة الصيانة بالنسبة لآلة محددة، فإن نتيجة التقييم يمكن أن تعتبر بمثابة معيار اقتصادي بالنسبة للآلات الأخرى.

ومتابعة تكاليف صيانة آلة يوضح لنا الاتجاه العام لحالة هذه الآلة، وهذا الاتجاه العام يمكن أن يستخدم لتقرير الزمن المناسب لإجراء عملية استبدال الآلة المذكورة بآلة جديدة.


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المبحث السابع

أنظمة المعلومات

إن إحـــدى المهـــام الإدارية لقسم الصيانة هي **تصميم أنظمة معلوماتية.** ويعتـــبر أمـــراً أساسياً لأي اتصال، سواء أكان كتابياً أم شفهياً، أن يكون واضحاً ومحدداً بصورة جيدة. ورسائل هذا الاتصال التي قد تكون مجرد توجيه، أو تقرير، أو معلومات عامة، يجب أن تصل من المصدر إلى المستقبل خلال طريق محددة بدقة. إن **جمـــع المعلومات** التي تجري ضمن التنظيم، سواء كان ذلك أفقياً أم عامودياً في تسلســـل المراتب، **سيملك هدفاً محدداً: أن نملك مهمة منجزة.** وقد يكون ذلك مجـــرد معلومـــات من الإدارة، أو توجيه أو أمر يجب تنفيذه. وإذا لم يكن التوجيه واضحاً، فإن المهمة لن تنفذ بدقة.

وإن أي تساهل من قبل مصدر التوجيه سيبرز أهمية وجود وسيلة للاتصال بدقة كافية.

وعـــلى حـــين أن التوجيهات تتدفق عادة من أعلى نحو الأسفل وفقاً لتدرج مراتـــب التنظـــيم، فإن التقارير تسلك طريقاً آخراً لتزويد الإدارة بالمعلومات التي تمكـــنها مـــن إنجـــاز المتابعة الضرورية. إن التصميم الواقعي لنظام إعداد التقارير والأشـــكال المتـــنوعة التي يجب استخدامها في هذا النظام يجب أن يكون مدروساً بعناية. ولكي نعمم الأشكال التي ستنقل المعلومات المطلوبة، فإننا نحتاج إلى فحص شـــامل لماهـــية المعلومـــات المطلوبـــة ولأسلوب صناعتها، أي من يجب أن يقوم بصـــناعتها؟ . كما أن الاهتمام يجب أن يوجه نحو تجنب إعداد أية معلومات غير ضـــرورية أو إعـــداد المعلومـــات نفسها من قبل مصدرين أو أكثر. وعلى وجه التحديد، إن **إعداد التقارير في قسم الصيانة سيساعد الإدارة** على:

- مراقبة النفقات. - تسجيل المؤشرات المميزة للمعمل والتجهيزات.

- الـتعرف إلى الاتجاهات العامة. - تمكين القسم من إنجاز خدماته، والتي تتضمن أيضاً إدخال التحسينات الفنية.

ولكـي يعمل نظام إعداد التقارير بصورة حسنة، فإن **عناصر قليلة يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار:**

- ما المعلومات المطلوبة وبواسطة من؟ - ما المعلومات المتاحة؟
- شكل إعداد التقارير يجب أن يكون بسيطاً ومخططاً بصورة حسنة.
- طريق تدفق المعلومات، من خلال تدرج مراتب التنظيم، يجب أن يكون مختصراً.
- أين تحفظ المعلومات؟

والأهم من ذلك: أن المستلم للمعلومات يجب أن يكون تحت المراقبة، لمعرفة تجاوبه الصارم عند استلام التقرير.

إن إحـدى مكونـات نظام المعلومات التي يمكن أن تؤدي بسهولة إلى إرباك النظام هي **الاجتماعات**. وبالطبع، إن الاجتماعات تكون ضرورية لتنظيم الأعمال الروتينية اليومية، ولتكوين التعاون بين مجالات العمل المستفيدة. فعلى سبيل المثال، لإصـدار واستقبال معلومات بين قسمي الإنتاج والصيانة قد ينفق المشاركون في الاجتماعات ساعات عديدة كان من الأفضل أن توجه نحو العمل المنتج. ولتجنب إضـاعة الوقت في اجتماعات مفيدة، يتوجب وضع نظام دقيق للاجتماعات. وفي الحقـيقة، إن دروساً محدودة حول الأسلوب التقني للاجتماع قد يكون له مردودٌ يغطـي تكلفـة هذه الدروس. وفيما يلي بعض **القواعد الأساسية التي يمكن أن يأخذها بعين الاعتبار رئيس اجتماع معين:**

- اختصر زمن الاجتماع ما أمكن. - حضّر جدول الأعمال.
- التزم بجدول الأعمال. - اترك كل فرد أن يعبّر عن رأيه، وليس أكثر من واحد في وقت واحد. - تأكد بأن جميع التعليمات تكون مفهومة. - اختم الاجتماع.
- خصص دقائق قليلة للمداولة بين المشاركين.

المبحث الثامن

الموارد البشرية

تعتـــبر **الموارد البشرية بمثابة العمود الفقري في تنظيم الصيانة**. وبصرف النظر عمّا إذا كان نظام الصيانة بسيطاً أو متقدماً، فإن هذا النظام يكون في مأزق حقيقي، إذا لم تكن المواد البشرية قادرة على تشغيله، الأمر الذي يقتضي اتخاذ عدد مـــن الإجـــراءات الحاسمة بخصوص الكفاءات المتاحة وبرامج التدريب التي تصقل وتدعم الكفاءة.

إن المطلـــب الأساسي في وظيفة الصيانة هي أن تنفذ بإخلاص. ويتحقق ذلـــك، عـــندما تُحفز الموادر البشرية على إنجاز مهماتها بأسلوب فعال. وتختلف بالطـــبع الحوافز من عمل لآخر ومن بلد لآخر. فهناك حوافز تقليدية للعاملين مثل برامج الإسكان، الصحة، والمنافع الاجتماعية الأخرى. ولذلك، يعتبر **أهم حافز في قسم الصيانة هو تخطيط برامج تدريب مناسبة لكل مجموعة من الموارد البشرية**:

- الماهرون وغير الماهرين.
- التقنيون.
- رؤساء العمال.
- المتمرنون.

ونظام التدريب يشمل عادة ما يلي:

- السلامة المهنية.
- إدارة الأفراد.
- عمل الرافعات.
- الصيانة بحسب الحالة.
- عمل عربات النقل.
- تخطيط المهمة.
- اللحام.
- تقنية الاجتماع.
- الأعمال الإلكترونية.
- EDP.
- الهيدروليك.
- إلخ...

ويضـــاف إلى ذلـــك التدريب الذي يتبرع به مورد الآلات والتجهيزات إلى قسم الصيانة.

ومـــن الضـــروري أن يكون تدريب الموارد البشرية مبرمجاً على أرض الواقـــع، لكـــي نحصـــل على كفاءات حقيقية. ويضاف إلى ما سبق، معيار آخر للحصـــول على فريق من الموارد البشرية حتى يستطيع هذا الفريق أن يعمل بصورة حسنة، ويتمثل ذلك في وضع الأوصاف المهمة لكل عامل، حتى يتمكن من القيام بوظيفته الحقيقية، وبمسؤوليته، ومهارته، وموقعه في التنظيم.. إلخ. وبهذا الأسلوب، فـــإن كل عامل يعرف جيداً جميع الشروط الخاصة بمهمته. ويجب أيضاً أن يوضع وصـــف لمهمة المشرفين ونواياهم، بحيث لا يوجد شخص يشك في الجهة التي يجب أن يتصـــل بها عند غياب المشرف. وبأسلوب مماثل، فإن هناك تعليمات عامة يجب أن تكـــون معـــروفة بالنســـبة لجمـــيع المديرين في المستويات كافة : واجباتهم ، مسؤولياتهم، اختصاصاتهم، وسلطاتهم.

وباســـتخدام أوصـــاف المهمات وبرامج التدريب، فإن كل عامل يرى بوضوح ماذا يكون مطلوباً منه في المهمة؟ وماذا تتوقع المؤسسة من العامل؟ وكيف ستعمل على مساعدته من أجل إنجاز مهمته؟

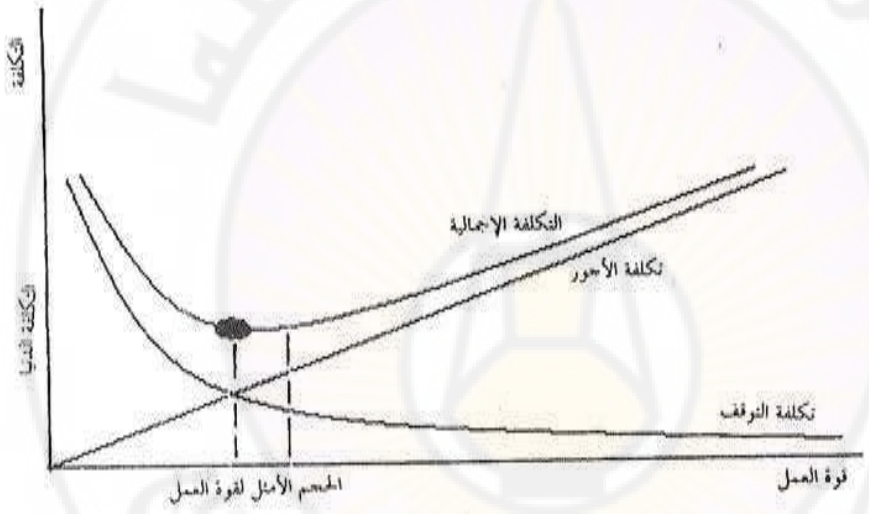
إن العدد الحقيقي للأشخاص الواجب استخدامهم في تنظيم الصيانة يختلف بالطـــبع مـــن مكان لآخر. وفي مرحلة تخطيط الصيانة، فإن أحد الأمور الهامة التي يجب اتخاذ قرار بشأنه هو حجم استخدام القوة العاملة الخارجية، أي عمالة العقود مـــن أجـــل بعض المهمات. وهذا بالطبع له أثر على تدريب الموارد البشرية. ومن الممكـــن أن يـــأخذ الترتيـــب الصـــيغة التالية: إن قسماً كبيراً من العمل الخدمي والفحوصـــات تكون منجزة من قبل متخصصين متدربين بواسطة المؤسسة، وإن أعمـــال الإصلاح الحقيقية والتركيب قد تنفذ بواسطة متعاقدين من الخارج. وعلى

وجـــه التقريـــب، فإن قوة العمل لتنظيم الصيانة يمكن تقديره بأسلوب تقريبي قائم عـــلى الخبرة (Rule of Thumb). وعلى سبيل المثال، تدل الإحصاءات في إحدى الصناعات على أنه يمكن استخدام المعادلة التالية:

الأعمال الساعية الإجمالية اللازمة للصيانة في العام = X(0,1-0,2)

حيث X – أطنان الاسمنت المنتجة خلال العام.

ويقترح الباحث النموذج النظري التالي لتحديد الحجم الأمثل للقوة العاملة اللازمة للقيام بوظيفة الصيانة (انظر الشكل 8.1).



شكل 8.1– الحجم الأمثل لقوة العمل اللازم للقيام بوظيفة الصيانة.

وعلـــيه، مع زيادة عدد العمال في القسم، فإن نفقات الأجور تزداد. وفي الوقـــت نفســـه، فإن تكلفة التوقف التي تعزى إلى الصيانة المتزايدة تتناقص. وإن الحجـــم الأمثل لقوة العمل يكون في النقطة التي تصل عندها التكلفة الإجمالية إلى

حدها الأدنى. ويوضح النموذج أيضاً أنه من الأفضل أن ندفع إلى استخدام الفائض في قوة العمل من أن ندفع إلى استخدام الناقص في قوة العمل في قسم الصيانة.

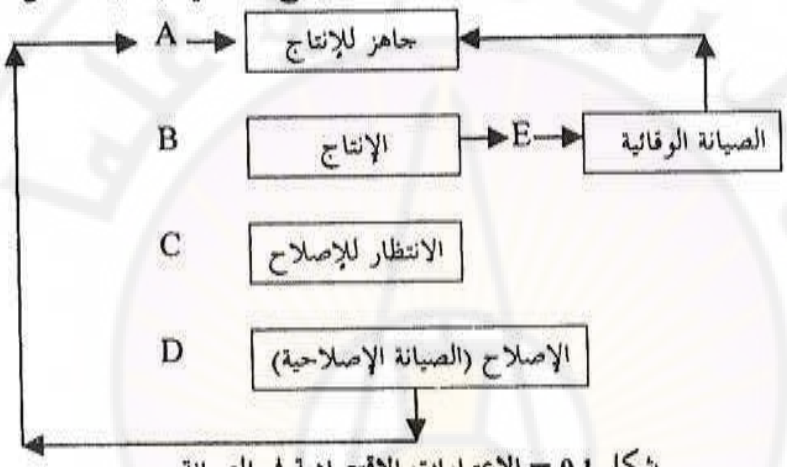
إن الاستثمارات الكبيرة توجه عادة إلى تجهيزات الإنتاج، لضمان مستوى عال من الجودة في هذه التجهيزات، مما يسمح بإنتاج منتج جديد ومنافس اقتصادياً. ولكن عندما نتجه نحو أدوات وتجهيزات عملية الصيانة، فإن الموقف يكون مختلفاً تماماً بالنسبة للاستثمارات المخصصة لذلك. وعلى أية حال، فإنه يجب ألا يكون هناك أدنى شك لدى الإدارة العليا بأن إنجاز مهمة الصيانة بصورة ملائمة لضمان جاهزية تجهيزات الإنتاج يتطلب أن تكون الأدوات والوسائل المتاحة من نوع جيد، وهذا يتضمن التسهيلات الملائمة في الورشة (الآلات، الطاولات، أدوات العمل، وتسهيلات النقل.. إلخ)، ولا يعتبر كافياً المحافظة على جاهزية قطع التبديل ومواد الإصلاح. وأيضاً، فإن التسهيلات البيئية في أبنية المستودع والورشة، يجب أن تكون في مستوى مناسب لتجدد الحياة والحيوية لدى الموارد البشرية. وبالطبع، هناك تسهيلات أخرى مطلوبة للموارد البشرية مثل الحمامات وغرف تبديل الألبسة وأماكن الخدمة العامة، حيث يجب أيضاً أن تكون بمستوى لائق.

المبحث التاسع

الاعتبارات الاقتصادية عند تنفيذ الصيانة

إن تخفـــيض تكلفة الإنتاج هو أحد الأهداف الرئيسية لوظيفة الصيانة.

والسؤال الذي يُطرح هنا مباشرة هو: حجم النقود التي ستنفق على الصيانة؟ وماذا سيكون منجزاً نتيجة هذا الإنفاق؟ لننظر إلى النموذج[1] التالي،(انظر الشكل 9.1).



شكل 9.1 – الاعتبارات الاقتصادية في الصيانة.

إن تجهيزات الإنتاج ستكون دائماً من الناحية النظرية في حالة من الحالات الموضـــحة في النموذج. وأن قسم الإنتاج يهتم بداهة بأن تكون تجهيزاته في إحدى الحالـــتين B و A، وبذلـــك فـــإن تخطيط الإنتاج يمكن أن يكون منفذاً بدقة. **إن جاهزية تجهيزات الإنتاج** يمكن تعريفها كما يلي:

$$Av = \frac{To}{To + Ta}$$

حيث To: الزمن عندما تكون التجهيزات بحالة عمل = A+B و Ta: الزمن عندما تكون التجهيزات بحالة توقف = C+D+E.

---

1 -Svend Nielsen- (THE MAINTENANCE ORGANIZATION), OP. CIT., PP.28.

إن التأثير الناجم عن عملية الصيانة على اقتصاد المؤسسة يكون موجباً عند زيادة جاهزية التجهيزات، وسالباً باستهلاك الموارد. لنضيف بعض الأرقام للبرهان على أن الصيانة المخططة والمنظمة بصورة حسنة ستزيد اقتصاد المؤسسة. وسيتم استخدام بعض النتائج التي تم الحصول عليها من أعمال شركة الاسمنت الدانماركية (PortLand)، حيث قامت الشركة المذكورة بتطوير نظام الصيانة فيها، وقد أدى ذلك إلى انحدار ملحوظ في عدد الأعطال وإلى تخفيض التكاليف بنسبة تزيد على 15%.

ويحقق إدخال الصيانة الوقائية عدداً كبيراً من المزايا:

- الصيانة ضمن حالات مخططة.
- زيادة جاهزية تجهيزات الإنتاج.
- زيادة الدخل.
- نمذجة الإجراءات والتكلفة.
- تخفيض مخزون قطع التبديل.
- تدني الوقت الإضافي.
- انخفاض موازنة الموارد.
- حاجة قليلة لتجهيزات احتياطية.

ومن جهة أخر، فإن إدخال الصيانة الوقائية قد يؤدي إلى بعض العيوب:

- التدخل في آلة قد يولد خطأ.
- استبدال قطع قد يسبب أخطاء أساسية.
- ازدياد استهلاك قطع التبديل.
- استثمار اقتصادي منخفض.

ولابد أمام هذا الوضع من تحديد الجهد الأمثل للصيانة الوقائية.

المبحث العاشر

نموذج مقترح للصيانة

a) اعتبارات النموذج :

يرجع الفضل في بناء هذا النموذج المقترح إلى الأستاذ جيرارد (W.M.J.Geraerds)، حيث أطلق عليه نموذج EUT نسبة إلى الجامعة التي يعمل بها[1] (Eindhoven University of Technology)، وقد حاول الباحث تبسيط هذا النموذج وإدخال بعض التعديلات عليه. ويأخذ هذا النموذج بالحسبان الاعتبارات التالية:

1- الهندسة الصناعية: يستند هذا النموذج [2] إلى وجهة نظر الهندسة الصناعية حول المنظمة [3]. وهذا يتلخص بالنظر إلى أية منظمة كمجموعة مترابطة من العمليات، مخرجات كل منها يجب أن تتأثر بالتخطيط والرقابة. ويتطلب ذلك مساهمة حقول عملية مختلفة نذكر منها مثلاً نظرية النظم وبحوث العمليات.

2- الشمولية: يتصف النموذج بالشمولية بسبب التشعب التكنولوجي بالنسبة للمواد الخاضعة للصيانة. ولا ينطبق هذا النموذج فقط على معدات الإنتاج، بل يشمل المواد الأخرى مثل الأبنية، الطرقات، المركبات...إلخ.

3- التغيرات التنظيمية: يركز هذا النموذج أولاً على الصيانة كوظيفة ضمن منظمة، ولكنه لا يستبعد عقد الصيانة الذي يمكن إجراؤه مع مقاولين

---

1 -N.M.J. Geraerds- (THE MAINTENANCE MODEL), OP. CIT., PP.18.

2- IFRIM Report 90/6 April 1990, EUT.

3- يقصد بالمنظمة: المؤسسة التي تمتلك أنظمة تقنية ولديها طاقات صيانة.

عـــامين، كمـــا يســـتبعد الاستعانة بجهد صانع التجهيزات الأساسي (Original Equipment Manufacturer, OEM).

4- الـــتغذية الـــراجعة للتصـــميم: يلحظ النموذج التغذية الراجعة من المعلومات لمنهجيات التصميم في نظم التصميم التقنية المختلفة.

5- تقرير مصير نظام تقني : إن القرارات الفردية حول مصير نظام تقني، وأيضـــاً القـــرارات حول إدخال أنظمة تقنية جديدة وحول استبدالها لا تنتمي إلى جوهـــر نظـــرية الصـــيانة. فهذا الأمر يهم دراسات الاستثمارات ويمكن أن يُعالج باستخدام طرائق معينة معروفة بالنسبة لقرارات الاستبدال.

b- بناء النموذج:

يحدد النموذج المقترح الوظائف الجزئية، أو العمليات الجزئية، وترابطها مع بعضها. ويعرض هذا النموذج الصيانة كما تظهر في المنظمة وبمنظار وجهة نظر إدارة الصـــيانة. ويفترض بأن المنظمة تمتلك قسم صيانة خاص بها، وتُجري عقوداً خارجية، وتستعين بخدمات صانع التجهيزات الأصلي (OEM).

وهذا النموذج، كما هو موضح في أسفل الشكل 10.1، **يتضمن شريطين:** الأعلى يوضـــح الوظـــائف الجزئـــية التي يأخذها النموذج بعين الاعتبار، والأسفل يحدد الوظـــائف الجزئـــية الـــتي تنـــتمي إلى اهتمامات علم الإدارة والهندسة الصناعية، والوظائف الجزئية التي تخص مساهمات نحصل عليها من فروع المعرفة التقنية.

وتلخص العمليات الجزئية التي يأخذها النموذج بالاعتبار على الشكل التالي:

1-الأنظمـــة التقنـــية: إن الأهداف الواجب صيانتها في المنظمة عديدة ومتـــنوعة، نذكـــر مـــنها: المخارط، الروافع، الإنارة، الناسخات، وسائل النقل، الـــتكلس، الهـــاتف، التدفئة، الآلات... إلخ. وهذا التنوع يسمح للنموذج بترميز الأنظمـــة التقنية من 1 إلى n. هذه الخطوة توضح وتحدد مجموعات الأنظمة التقنية

التي تمتلكها المنظمة. تنتج أية مجموعة تلحق المجموعة المعروفة، عن القرارات المتخذة بشأن إدخال وتقرير مصير الأنظمة التقنية.

يخصص النموذج لكل نظام تقني صندوقاً من 1 إلى n. ويلاحظ أنه خصص للنظام التقني i ثلاثة صناديق، وهذا يحدث عندما تستخدم المنظمة مجموعة (أو أكثر من واحد) أنظمة تقنية متماثلة ومتطابقة. هذا التمييز هام لأن تخطيط ورقابة صيانة نظام تقني وحيد يختلف بصورة جوهرية عن حالة مجموعة أنظمة تقنية متماثلة. وفي حين أن تخطيط ورقابة نظام تقني منفرد يمكن أن يعتمد على نظرية تخطيط ورقابة الإنتاج، فإن المجموعات المتماثلة تنطلق من إمكانيات نموذجية من حيث الطبيعة بالنسبة للصيانة.

2- الطاقة الداخلية: إن الطاقة الداخلية هي الطاقة التي تمتلكها المنظمة، ويقع على عاتقها عبء الصيانة الكلي مطروحاً منه الصيانة المتعاقد عليها خارجياً. وعليه إذا استطاعت المنظمة تحديد عبء الصيانة الكلي، فإن القرار الاستراتيجي الأول الذي يجب أن تتخذه بهذا الخصوص هو تحديد ماهية الصيانة التي سيتم تنفيذها بعقود خارجية.

وتهتم قرارات الصيانة الداخلية بكلفة بناء الطاقة الكلية في مجموعات الطاقة التنظيمية. إن الخصائص النموذجية التي يجب أخذها بعين الاعتبار هي: المركزية أو عدم المركزية، تقنيات وحيدة المهارة أو متعددة المهارة.. إلخ. وعندما تتحدد بنية الصيانة الداخلية، فإن قوة العمل لكل وحدة تنظيمية يجب أن تعطي وتزود، عن طريق دراسة طرائق العمل التقليدية،، الإدارة بأدوات لإجراء عملية التقدير المطلوبة.

إن مجموعات الطاقة تُميز بالأدلة 1,2...m. وهذا الترميز يعرّف الطاقة الداخلية الكلية للمنظمة ويحدد مساهمة الصيانة المعروضة من قبل العمال الفنيين أو إدارة الإنتاج.

شكل 10.1 النموذج المقترح للصيانة

3-الطاقـــة الخارجية المعروضة في السوق: إن الطاقة الخارجية يمكن أن نحصل عليها من مؤسسات تعرض خدماتها وتمتلك الإمكانية التكنولوجية، الخبرة، والأدوات المطلوبـــة. ففـــي بعـــض الحـــالات، فإن هذه الطاقة تخص تكنولوجيا مؤسسات معينة كانت سباقة في عرضها، واكتسبت بالتالي شهرة فيها، عند إنتاج نظـــم جديدة، وتعتبر في الوقت نفسه تكنولوجيا مناسبة للصيانة، مثال على ذلك: الأصـــبغة أو صـــيانة الأسطحة. وفي حالات أخرى، فإن الطاقة تتعلق بتكنولوجيا متخصصة ومتقدمة مثل تحليل الزيوت.

وتبرز أهمية **الاستعانة بالخبرات الخارجية لسببين:** الأول، وهو أن احتفاظ المـــنظمة بإمكانية تكنولوجية معينة قد لا يكون مجدياً اقتصادياً، بسبب أن الطلب عـــلى هـــذه التكنولوجيا يكون متدنياً جداً (عندها يفضل التعاقد الخارجي بسبب التخصـــص). وأما السبب الثاني، فهو أن بعض المنظمات تمتلك القدرة على تنفيذ الصـــيانة بنفســـها، ولكن الطلب على الصيانة المعنية يظهر بصورة مفاجئة بحيث يـــتجاوز الطاقـــة الداخلية المتاحة، الأمر الذي يضع المنظمة في موقف اضطراري للتعاقد مع الخارج (التعاقد الخارجي بسبب الطاقة).

وبالإضافة إلى السببين السابقين، فقد تكون هناك **اعتبارات هامة يمكن أن تلعب دوراً**، نذكر منها:

- نقل المسؤولية بالنسبة للإصلاح والتنفيذ الفوري إلى شخص آخر.
- نقـــل المســـؤولية القانونـــية إلى شخص آخر بخصوص السلامة المهنية ونتائج الحوادث.
- تركيز الذكاء الداخلي المتاح على العملية الأساسية للمنظمة.
- توفـــير الإمكانية، وبصورة مؤقتة، على استعادة العمل المتعاقد عليه خارجياً في حالة تقهقر المنظمة، وهذا يحررها من مشكلة الطاقة الفائضة.

4- الصيانة الخارجية المعروضة من قبل المصنّع (OEM): ذكرنا سابقاً أن عمليات الصيانة تستمد طبيعتها التكنولوجية من تكنولوجيا التصنيع. فالمؤسسات التي تنتج وتبيع منتجاً، تملك بكل تأكيد المعرفة في هندسة التصميم، المهارة التقنية، القدرة العلمية، والأدوات المطلوبة لصناعة ذلك المنتج. وإذا كانت تلك الكفاءات يمكن تطبيقها في صيانة المنتج، فإن عرض الصيانة كخدمة يصبح مجدياً. إن ميزة الـ (OEM) على المنافسين الممكنين تكون واضحة. ففي بعض الحالات تكون بعض خدمات النظام التقني معروضة في السوق على نطاق واسع، ويملك مستخدم هذا النظام حرية الاختيار في التعاقد مع من يشاء، وفي حالات أخرى يحرم المستخدم من هذه الحرية. وقد يكون هذا بسبب أن صانع التجهيزات الأصلي لا يوفر معلومات أساسية حول منتجه، مثل كتيب تقني، قوائم قطع التبديل، الدعم الهندسي، وأيضاً قد يرفض التزويد بقطع التبديل إذا طلبت. وبالطبع، فإن المستخدم يكون مضطراً في هذه الحالة للاعتماد على الـ (OEM) بصورة كاملة وعندها تنعدم المنافسة نهائياً.

5-تخطيط الرقابة: إن عملية تخطيط ورقابة الصيانة تركز على التدخل في الوقت المناسب حتى تكون النتيجة المحتملة لعمليات الصيانة متطابقة مع الأهداف الموضوعية. **وطبقاً للتشابه مع تخطيط ورقابة الإنتاج، فإننا نميز:**

- التخطيط.
- إعداد العمل.
- رقابة تنفيذ الصيانة.

يجب عند التخطيط أن توضع المعايير المطلوبة أثناء الرقابة على التنفيذ الحقيقي للصيانة. **ونقدم نظرية تخطيط الإنتاج** حلولاً قابلة للتطبيق في الصيانة، وبصورة خاصة تلك النماذج التي تبدو ملائمة في محلات البيع بالجملة. ويعتبر

التخطيط الشبكي قابلاً للتطبيق في معظم أعمال الصيانة، مثل حالات التوقف عن العمـــل في مصنع، أو حالات الفحص والإصلاح عند الضرورة. وحتى الآن، فإن التخطـــيط الشـــبكي، مع تطوره الكبير، يتطلب دراسة أعمق بالنسبة للتطبيق في الصـــيانة، لا سيما فيما يتعلق بأوضاع عدم التأكد. إن بعض نماذج تخطيط الإنتاج تكـــون قابلة للتطبيق، ولكن هذا التطبيق يقتصر على ورشة متخصصة تكون فيها الصيانة الواجبة التنفيذ تتعلق بمجموعة منوّعة من المنتجات محدودة تكنولوجياً، مثل عناصر الهيدروليك أو الكهرباء التي يتكرر طلبها كثيراً.

ويعتـــبر **إعداد العمل في الصيانة** أكثر تعقيداً منه في الإنتاج، بسبب عدم الـــتأكد بالنسبة لتقدير زمن العملية والقطع المطلوبة في كل عمل. ويتم أيضاً تقدير زمـــن العملية بأسلوب مختلف يمكن اختزاله إلى طريقة مبسطة، مثل **معايير الصيانة الشـــاملة** (Universal Maintenance Standards, UMS). ويمكن اشتقاق هذه الطريقة من النظم الجزئية المطوّرة لتقدير زمن العملية عند مراقبة الإنتاج.

وتتصـــل **مراقبة تنفيذ الصيانة** مباشرة بنظام التخطيط، الذي يضع المعايير الـــتي يجـــب أن تتحقق أثناء المراقبة، ويكون ذلك من خلال تطابقها مع المتحقق الفعلي. وعليه، فإن فهم تلك العلاقة هو متطلب أولي وأساسي للتطبيق في الصيانة.

6- مراقـــبة مخـــزون قطـــع التبديل : إن انتظار قطع التبديل هو إزعاج معـــروف جيداً في الصيانة. وهذا يخص أولاً جميع القطع الصغيرة والرخيصة، والتي يكون طلبها مرتفعاً، مثل العزقات والبراغي.. إلخ. هذه القطع قابلة للاستهلاك أو غـــير قابلة للإصلاح، ويجب أن يتبع استهلاكها طرح طلبية جديدة،منها يحدد بناءً عـــلى تاريخهـــا وحجمها، نظام مراقبة المخزون. وفي نظرية مراقبة المخزون بنيت نماذج إحصائية عديدة لمراقبة المخزون، وجميعها تتطلب أن يكون الطلب مرتفعاً أو مـــرتفعاً نســـبياً، وبالـــتالي فإن بعض هذه النماذج يمكن أن يستخدم لمعالجة قطع

التـــبديل المذكـــورة. تجـــدر الإشارة هنا إلى أن معظم مواد الصيانة يكون طلبها منخفضـــاً نســـبياً، وأسعارها تكون عادة مرتفعة، الأمر الذي يتطلب استثمارات كبيرة، والذي يجعل استخدام نماذج التخزين بصورها المعروفة غير عملية.

7- **تقـــويم النتائج:** تقتضي نظم التخطيط والمراقبة تقويم الأداء باستمرار لكـــي يحـــدد مـــتى يكون التكييف والتحسين مطلوباً؟. ويتناول **التقويم عناصر متنوعة:** التكاليف، نسب التعطل، أوقات التوقف... إلخ. ويمكن أن **يؤدي التقويم إلى إجراءات تصحيحية عديدة، نذكر منها:**

- تعديل النظام التقني المعني.
- تكييف مفهوم الصيانة لنظام تقني معين.
- تغيير شكل تنظيم الصيانة بحيث تصبح أكثر ملاءمة.
- تكييف طريقة استخدام النظام التقني.

8- **الـــتغذية المرتجعة التكنولوجية:** إن بعض التعديلات التي تبدو جذابة قـــد تكـــون باهظة التكاليف بالنسبة للنظم التقنية القديمة. ومع ذلك، فإن نتيجة البحـــث قد تكون تغذية مرتجعة لمنهجية التصميم لكي يمكن استخدام هذه النظم عـــندما يُظهـــر تصميم جديد أنظمة تقنية متطورة. ولا شك أن الراغب في شراء التجهـــيزات الجديدة يستفيد من استخدام النظم القديمة بالنسبة لتحديد مواصفات التصميم أو بالنسبة لعملية الانتقاء للتجهيزات الجديدة.

9- **تحديـــد مواصفات جهاز تقني** : عندما يُطلب تصميم لصناعة جهاز تقـــني، فـــإن المواصفات تكون محدودة من قبل المشتري. وبالإضافة للأداء الذي يُكـــيف طـــبقاً للشروط المطلوبة، فإن المواصفات تحدد متطلبات الصيانة المرغوبة. ويُعطى للمشتري كتيبات تقنية تساعده في الاستخدام والصيانة.

وإذا كان انتقاء الجهاز سيتم من مجموعة أجهزة تقنية معروضة في السوق، فـــإن المواصفات بالنسبة للتصميم والصناعة تحدد من قبل صانع الجهاز. وفي الحياة العلمـــية نشـــاهد تباينات أساسية بالنسبة للاهتمام المعطى لعنصر الصيانة. ولذلك يتوجب على المشتري أن يحدد متطلباته من المواصفات، وأن يستخدم معايير مناسبة في انتقائه المحتمل من المجموعة المعروضة في الأسواق. وبديهي أن مدير الصيانة يجب أن ينطلق من وجهة نظر الصيانة عند تحديد متطلباته.

10- صـــناعة جهـــاز تقني : إن هذا الموضوع يقع خارج نطاق الهندسة الصـــناعية، ومع ذلك، فإن بعض الأعطال ربما تعزى إلى قصورات في مراقبة جودة العملـــية التصنيعية، وتقييم الصيانة قد يؤدي إلى متطلبات محددة بخصوص صناعة جهاز تقني.

11- تصـــميم مفهوم الصيانة لنظام تقني: إن السؤال الرئيسي في الصيانة هـــو: "ما هو حجم الصيانة الكافي؟". وهذا السؤال تتم الإجابة عنه بطريقة نظامية تعـــتمد على سلوك العطل في النظام التقني المعني. ومصطلح "مفهوم الصيانة" يعبر عـــن مجموعـــة مرتبة من القواعد التي تصف مسبقاً ما هي أنشطة الصيانة الواجبة التنفيذ؟ ومتى يجب أن تنفذ؟.

وإن مفهـــوم الصيانة لأنظمة تقنية موضوعة في الاستخدام، وكذلك كثافة عملها يحدد طلب الصيانة بالنسبة لهذه الأنظمة.

بالاعتماد على ما سبق، **نستنتج أن الضرورة تقتضي باعتماد واستخدام الأســـاليب العلمية في إدارة الصيانة** بغية سد الفجوة بين النظرية والتطبيق، كما بينـــت النـــتائج إمكانـــية تبني أسلوب أو أكثر في تنظيم أعمال إدارة الصيانة، بما يتناسب مع مقدرتها المالية والتقنية وطبيعة نشاطها.

وبالنتيجة، يترتب على إدارة الصيانة في كل مؤسسة أن تبني نموذج صيانة خاص بها، يوضح السجلات والوثائق اللازمة، يحتوي على الدورة المستندية التي لا تعيق العمل الفني وتبين نظام قطع التبديل ونظام الشراء الواجب استخدامه، ويشرح النموذج أيضاً بنية الموارد البشرية وطرائق استخدامها.

إن من أهم وظائف نموذج الصيانة هو تحديده لشكل وحدود الصيانة العلاجية والصيانة الوقائية ونسبة مزجهما. وعلى كل حال، يبدو من الممارسات العملية الناجحة ازدياد اعتماد طريقة (الصيانة حسب الحالة، CBM)، ويتوقع ازدياد اللجوء إليها بوصفها ركناً هاماً من أركان الصيانة الوقائية.

كما يترتب على إدارة الصيانة مراقبة تكاليفها من خلال التزامها بموازنة خاصة لإدارة الصيانة، كما يفضل تخصيص ميزانية فعلية لها، وذلك بغية تحديد شكل مسيرة هذه الإدارة بما يخدم تخطيط ورقابة هذه الإدارة الهامة.

وأخيراً، يترتب على إدارة الصيانة تأمين نظام معلومات يساعد في تأمين التدقيق المعلوماتي اللازم للتذكير بجميع أعمال الصيانة، وبالتالي إسناد هذه الأعمال لفرق العمل المختصة، وتطبيق المحاسبة والمسؤولية في معالجة المقصرين ومكافأة المجدين لضمان الحصول على أعمال صيانة منفذة بإخلاص بغية الحصول على استقرار إنتاجي يؤمن للمؤسسة استقراراً داخلياً ينعكس على صورة المؤسسة تجاه التزاماتها مع الغير، ويولد الثقة عند الآخرين في مقدرتها الإنتاجية.

الفصل الثالث

الصيانة الوقائية في المنشآت الصناعية

ومبادئ التخطيط لهذه الصيانة

المبحث الحادي عشر : الصيانة الوقائية

المبحث الثاني عشر : مبادئ تخطيط الصيانة الوقائية الدورية

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المبحث الحادي عشر

الصيانة الوقائية

§ أولاً) الإدارة المتكاملة للصيانة:

تُعرف الإدارة المتكاملة للصيانة(Integrated Mangement of Maintenance)، بأنها مجموعة من الإجراءات المتعلقة بتخطيط وبرمجة وتنفيذ العمليات الصيانة في المنشأة الصناعية بشكل اقتصادي بهدف تحقيق الاستثمار الأمثل للمنشأة لأطول فترة ممكنة ، وبما لا يؤثر سلباً على البيئة المحيطة.

وقد تطورت مفاهيم وأهداف الصيانة بشكل ملحوظ خلال العقدين الأخيرين، بسبب ظهور المعدات ذات التقنية العالية، وازدياد الاهتمام بالمعايير الخاصة بالسلامة الفردية، وحماية البيئة، وتطور عمليات الصيانة ذاتها. ويبين الجدول 11.1 تطور بعض تلك المفاهيم والأهداف خلال العقود الأخيرة.

الجدول 11.1– تطور بعض مفاهيم وأهداف الصيانة خلال الفترة 1970-2002

عام 1970	عام 2002
a–تهدف الصيانة إلى المحافظة على التجهيزات بحالة سليمة	a–تهدف الصيانة إلى ديمومة عمل التجهيزات
b–تهدف الصيانة الوقائية إلى منع حدوث الاعطيارات	b–تهدف الصيانة الوقائية إلى تحاشي، أو الإقلال من النتائج السلبية للاعطيارات.
c–تهدف الصيانة بشكل رئيس إلى تدقيق جاهزية المنشأة بأقل التكاليف.	c–تهدف الصيانة إلى تأمين السلامة الفردية، وحماية البيئة، وتوفير في الطاقة، إضافة إلى تحقيق جاهزية المنشأة بأقل التكاليف.
d–معظم التجهيزات تصبح أكثر عرضة للاعطيارات كلما تقادمت.	d–معظم الاعطيارات لا تحدث بالضرورة كلما تقادمت التجهيزات.

e-يجب توفير معلومات كافية عن معدلات انكسار (قصور) الآلة قبل تطوير برنامج صيانة ناجح.	e-القرار حول انهيار الآلة يتخذ غالباً بناءً على معلومات غير كافية حول معدلات الانكسار.
f-تواتر عمليات الصيانة التوقعية يجب أن يعتمد على تواتر الانهيار و/أو أهمية العنصر.	f-تواتر عمليات الصيانة التوقعية يجب أن يعتمد على الفترة المؤدية إلى الانهيار، وهذه الفترة هي الزمن المنقضي بين اكتشاف احتمال الانهيار وحدوثه فعلاً، والتي قد تتراوح بين ثوان معدودات وبضعة أشهر، حسب نوع الآلة أو العنصر.
g-الحوادث، أو الانهيارات الخطرة لمجموعة معدات أو لمنظومة ما، هي نتيجة سوء الحظ، أو القضاء والقدر، وبالتالي فهي ليست خاضعة للسيطرة.	g-معظم حالات الحوادث، أو الانهيارات الخطرة يمكن تفاديها بإجراءات بسيطة، وخاصة في المنظومات المزودة بتجهيزات للحماية.
h-إدخال التحسينات في تصميم آلة قاصرة، هو الطريق الأسرع والأرخص لرفع أدائها.	h-في معظم الحالات، يمكن رفع أداء آلة قاصرة بتحسين ظروف عملها وصيانتها.
i-الشركات الصانعة هي المرجع الوحيد في وضع إرشادات وبرامج صيانة المعدات التي تنتجها.	i-الشركات الصانعة، وكذلك العاملون أنفسهم في الصيانة هم القادرون معاً على تطوير برامج صيانة فعالة.

لقد كان الهدف من عمليات الصيانة في بدايات عهدها، تبديل عنصر من الآلة تمّ انكساره. وقد تطورت أساليب الصيانة مع الزمن، لتأخذ بعين الاعتبار مختلف الاعتبارات الفنية والاقتصادية والبيئية . ويعبر الجدول 11.2 التطورات الزمنية الحادثة لبرامج إدارة الصيانة خلال الفترة بين 1940–2002 .

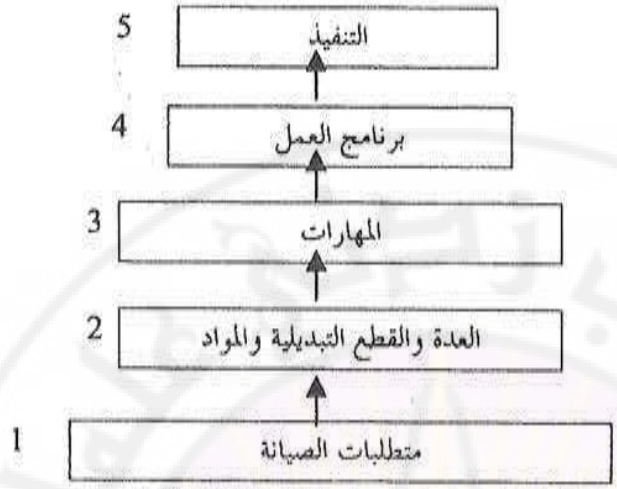
تحتاج الإدارة المتكاملة للصيانة، إلى اتخاذ إجراءات عديدة تبدأ بمعرفة متطلبات الصيانة كافة، وصولاً إلى القيام بالإجراءات التنفيذية في الموقع، وذلك ضمن برنامج شامل، يتم إعداده بمساعدة الحاسوب .

الجدول 11.2– التطور الزمني لبرنامج إدارة الصيانة في الفترة 2002-1940



ويتضمن هذا البرنامج سجلات متعلقة بمتطلبات الصيانة وأنواعها كافة، وبرامجها الزمنية، وقوائم التجهيزات والمعدات الداخلة في بنية المنشأة، وجداول القطع التبديلية والمواد اللازمة، وسجلات العاملين في الصيانة، والإرشادات والتعليمات، وبرامج التدريب، ونظم الحماية والسلامة الفردية والإسعاف الأولي،

والتكاليف والميزانية المرجوة، ويمثل الشكل 11.1، تسلسل بناء الإدارة المتكاملة للصيانة وفقاً لمراحلها الخمس الرئيسة.



شكل 11.1 – تسلسل بناء الإدارة المتكاملة للصيانة.

ويمتزج مفهوم " الإدارة المتكاملة للصيانة " مع برنامج " الصيانة الإنتاجية الشاملة". وهو عبارة عن برنامج للصيانة يشمل كل الشركة، ويهدف إلى الإصلاح الجذري للمعدات والموارد البشرية لتقليل خسائر المعدات (والتي تشمل التوقفات، وضعف الكفاءة وكذلك العيوب)، وتحسين الفعالية الكلية للتجهيزات (overall Equipment Effeciveness, DEE). ويعرف البعض هذا البرنامج بأنه مدخل مبتكر للصيانة لتعظيم فعالية المعدات، وإلغاء الأعطال ونشر مفهوم الصيانة الذاتية من خلال العمل اليومي عن طريق تشغيل كل القوى العاملة بالشركة .

ويحتوي برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة العناصر التالية :

1 – تعظيم الفعالية الكلية للآلة المعنية.

2 – وضع نظام شامل للصيانة الوقائية طوال فترة حياة المنشأة الصناعية.

3 – تطبيق هذا البرنامج بواسطة العديد من إدارات المنشأة: الإدارة الهندسية، إدارة الإنتاج وإدارة الصيانة.

4 – يشمل هذا البرنامج كل العاملين في المنشأة، بدءاً من الإدارة العليا وإلى العمال العاملين في الورشات.

5 – يعتمد هذا البرنامج على نشر الصيانة الوقائية من خلال تحفيز مجموعات العمل الصغيرة. وفي ضوء موارد إدارة الصيانة المحدودة، فإن تحسين فعالية المعدات يحتاج إلى مشاركة كافة العاملين في المنشأة على شكل مجموعات صغيرة، ومن هنا كان لزاماً أن يصبح البرنامج شاملاً لكل المنشأة.

ويؤدي التطبيق الصحيح لبرنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة إلى زيادة الإنتاج ورفع الروح المعنوية وزيادة الرضى الوظيفي للعاملين.

ويضع البرنامج وظيفة الصيانة في بؤرة الاهتمام كأحد الأجزاء الحيوية والهامة في أي مشروع،حيث لم يعد ينظر إليها كنشاط خدمي غير مدر للربح، بل صار يتم جدولة توقفات الصيانة عند وضع الجدولة الزمنية للإنتاج، كما **أصبحت الصيانة في العديد من الحالات جزءاً لا يتجزأ من العملية الإنتاجية**، وانتهى الوقت الذي كان يتم فيه حشر مواعيد الصيانة في أوقات توقف الإنتاج، فالهدف الآن هو جعل الصيانة الإسعافية وغير المخططة عند أدنى حد ممكن، وبالتالي تصبح المعدات أكثر إنتاجية، وذات وثوقية أعلى، وأسهل في التشغيل، كما يبدو مظهرها أفضل.

ولا يعد برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة مجرد استراتيجية للمنشأة، ولكنها فلسفة جديدة للتطوير المستمر والعمل الجماعي، والتي تخلق إحساساً لدى العاملين على كل المستويات، من عمال أو مشغلين أو مشرفين أو مهندسين أو رجال صيانة أو حتى إداريين، حيث يشعر الجميع بملكيتهم لأصول الشركة، ويصبح تطبيق

البرنامج من مهمتهم كلهم، وإن عائد هذا التطبيق سيعود عليهم أيضاً، ويخلق عندهم اتجاهات جديدة بالالتزام والمسؤولية.

ويمكن تلخيص الفوائد التي تنتج عن تطبيق هذا البرنامج بما يلي :

1 – يصبح مكان العمل نظيفاً وأكثر ترتيباً ومشجعاً للعمل.

2 – إمكانية معالجة شكوى العملاء (Rectify customer complaints) .

3 – خفض كلفة التصنيع بنسبة 30 % (Reduce manufacturing cost).

4 – إرضاء احتياجات العملاء .

5 – زيادة الإنتاجية (productivity) والكفاءة الكلية للمصنع .

6 – رفع الروح المعنوية وزيادة الثقة (confidence) وخلق روح الانتماء لدى العاملين (Sense of Ownership and belonging).

7 – تنمية روح العمل الجماعي (Teamwork) والمشاركة في الخبرة والمعلومات والمعارف.

8 – الإحساس بالمسؤولية والالتزام (Responsibility and Commitment).

9 – زيادة الرضى الوظيفي (Job satisfaction).

10 – التطبيق العملي لآلية التطوير المستمر (continuous improvement).

وقد بزغ برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة [1] من برنامج الجودة الشاملة،

1-**الصيانة** : صيانة كل المعدات وأصول المشروع وكل ما يتعلق بهما.

الإنتاجية: - لتحقيق أقصى كفاءة إنتاجية، - للوصول إلى صفر في المائة من العيوب، -للوصول إلى صفر في المائة من الأعطال، -للوصول إلى صفر في المائة من الفاقد.

الشاملة : - الفعالية الشاملة (Total Effectiveness): تشمل الكفاءة الاقتصادية والربحية، -الصيانة الشاملة (Total Maintenance): تبدأ من مرحلة التصميم وتشمل طول حياة المشروع، - المشاركة الشاملة (Total Participation) : مشاركة كل العاملين، كل الوظائف وكل المستويات.

التي ولدت وتطورت من خلال مبادئ د. ديمنج وأثرها على الصناعة اليابانية، حيث امتزجت أساليب ديمنج في الرقابة على الجودة مع مبادئ اليابان في العمل، لتصبح فيما بعد الطريقة اليابانية لإدارة مشروعاتهم بنجاح.

وقد وُجد عند تطبيق برنامج الجودة الشاملة أن بعض المفاهيم لا تتناسب مع ظروف وبيئة الصيانة في هذا الوقت، حيث كانت تطبق نظم الصيانة الوقائية التي كانت تؤدي في بعض الأحيان إلى بعض الإسراف في التعليمات، تطبيقاً حرفياً كما وردت في تعليمات الصيانة، و لم يكن الجهاز الفني المكلف بالصيانة يحظى بأي تدريب، اللهم سوى التدريب المبين في محتويات كتالوجات ودلائل الصيانة التي قد تحوي على معلومات غير دقيقة أو غير مناسبة لظروف العمل.

وبناءً على ذلك، تمّ إدخال بعض التعديلات على البرنامج الأصلي للجودة الشاملة من أجل التغلب على هذه المشكلة مع الالتزام بمتطلبات الجودة الشاملة. وأدت هذه التعديلات إلى **رفع وضع الصيانة إلى جزء متكامل مع برنامج الجودة.**

قام "شيتشي ناكاياما"وهو أحد خبراء معهد صيانة المشاريع في اليابان (the japan Institute of Maintenance , JIPM)، بتقديم وتطوير برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة وطبقه في المئات من الشركات في اليابان، كما قام بكتابة العديد من الكتب والمقالات حول هذا الموضوع.

ويشابه برنامج الصيانة الشاملة مع برنامج الجودة الشاملة في العديد من العناصر مثل:

1- ضرورة التزام الإدارة العليا بالبرنامج الموضوع بشكل كامل لضمان نجاحه .

2- ضرورة تمكين العاملين وتشجيع مبادراتهم الرامية إلى اقتراح الإجراءات التصحيحية .

3-استخدام العديد من المبادئ المشاركة، مثل المقارنة المرجعية (Benchmarking)، والتوثيق (Documentation)، حيث تستخدم هذه المبادئ لتطبيق برنامج الصيانة الشاملة وتعظيم الاستفادة منه.

4-النظرة بعيدة المدى، فقد يمتد تطبيق البرنامج لمدة عام أو أكثر، كما أنه يصبح عملية مستمرة تحتاج إلى تغيير في اتجاهات العاملين نحو مسؤوليتهم الوظيفية.

كما يتكامل **برنامج الجودة الشاملة مع برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة**، حيث:

1-يوفر نظام الجودة الشاملة مجموعات العمل اللازمة للتعامل مع مشاكل المعدات.

2-كما يساعد برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة في تحقيق أهداف نظام الجودة الشاملة، حيث من المستحيل الوصول باستمرار إلى إنتاج ذو جودة عالية باستخدام معدات غير مصانة بطريقة جيدة.

وتعد **الفعالية الكلية** (Overall Equipment Effectiveness , OEE)، للآلة المبدأ الرئيسي والهام في برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة، وهي عبارة عن محصلة تنتج عن ضرب ثلاثة عناصر:

= % Availability × % Performance Efficiency × % Rate of Quality

= وقت الآلة المنتفع به (المستفادية)% × كفاءة الأداء% × نسبة جودة المنتج%.

كما تعد **فكرة الصيانة الذاتية** (Autonomous Maintenance) إحدى المبادئ التي يعتمد عليها في برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة، وهي تعني المشاركة الإيجابية للمشتغلين في صيانة معداتهم، بحيث تصبح الآلة محور اهتمام المشغل ويكون عندها قادراً على التعرف عليها بالتفصيل، كما يتعامل معها كما لو كانت ملكه، وعندئذٍ يتعامل المشغل مع الآلة بوعي وإدراك (**Equipment** Conscious Operator).

ويجب عند دراسة هذا البرنامج أن نتذكر الخسائر الرئيسية الست (Six Big Losses) المؤثرة على الفعالية الكلية، وهي:

Availability

1. الأعطال .
2. الإعداد للعمل، (Efficiency).
3. التوقفات الصغرى.
4. التشغيل بمعدلات بطيئة، (Quality).
5. المنتجات المرفوضة على خط الإنتاج .
6. المنتجات ذات الجودة المتدنية .

ويلاحظ أن المعدات تضيع 75% من كلفتها طوال فترة حياتها(Life cycle cost)، وقد نتج هذا المبدأ عن القرارات المتخذة خلال مرحلة التصميم، حيث تسعى **الإدارة المبكرة للمعدات** (Early Equipment Mangement, EEM) إلى تطوير نظم الصيانة الوقائية وإدخال مفهوم جودة الصيانة خلال مرحلة التصميم، من أجل تحسين الوثوقية التشغيلية (Operating Reliability).

وللبدء في تطبيق أفكار برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة يجب أن يقتنع العاملون أن الإدارة العليا بالشركة ملتزمة بهذا البرنامج.

والخطوة الأولى، هي تعيين **منسق للبرنامج** حيث يتولى توضيح أفكار ومبادئ البرنامج للعاملين من خلال برنامج تثقيفي، لتعليمهم وإقناعهم بأن البرنامج ليس مجرد موجة تأخذ وقتها سنة أو أكثر، ثم تنتهي كغيرها من المداخل والأفكار.

وفي بداية البرنامج التدريبي سنصطدم بمقاومة خاصة من الأشخاص الأقل تعليماً، لذا يجب أن نخلق مناخاً من الثقة والتعريف بالنوايا الحسنة التي يهدف إليها البرنامج، ونخلق قنوات فعالة للاتصال مع كافة الأطراف.

وعـــندما يلاحـــظ العـــاملون الأهداف المخلصة للبرنامج، ألا وهي توفير معـــدات وظـــروف عمـــل أفضل، ستسقط بسهولة كل العوائق المذكورة سلفاً، وعـــندما يـــتم الـــتأكد من اقتناع العاملين التام بالبرنامج يتم تشكيل أول فريق للدراســـة ووضع برامج العمل. ويتكون أعضاء الفريق عادة من الأشخاص الذين لهـــم تـــأثير مباشر على المشكلة التي يتم دراستها وهم: المشغلون، أطقم الصيانة، مشـــرفو الوردية، مسؤولو تخطيط وجدولة الإنتاج، والإدارة العليا، وهي الأطراف ذات العلاقة بالمشكلة "Stakeholder" حيث يتم تشجيعهم وتحفيزهم لبذل أقصى مشاركة من أجل نجاح جهود الفريق. وعادة، يرأس الفريق منسق البرنامج، إلى أن يتأقلم أعضاء الفريق مع العملية، والذي يظهر بطريقة طبيعية على أنه قائد للفريق. ويـــتم اختيار إحدى الآلات لتطبيق برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة عليها، حيث يكلـــف أعضـــاء الفـــريق بتحديد مجالات المشاكل، وتحديد مجموعة الإجراءات التصحيحية اللازمة تفصيلياً وبدء عملية التصحيح.

وللتأكد من التطبيق الصحيح للبرنامج يقوم أعضاء الفريق بزيارة شركات أخـــرى للملاحظة، ولمقارنة طرائق العمل في البرنامج. ويعد هذا جزءاً من أسلوب المقارنة المرجعية (Benchmarling).

وينصـــح بأن يبدأ الفريق في التعامل مع أحد المشاكل الصغيرة والاحتفاظ بســـجلات دقيقة حول مدى تقدمهم في حل هذه المشكلة، وعند نجاحهم يجب أن يتم نشر النتائج المحققة على العاملين بالشركة كافة.

وعـــند الاســـتيعاب الكـــامل للبرنامج يتم البدء بالمعدات الحرجة لتطبيق البرنامج عليها أولاً، وهي ليست بالضرورة المعدات ذات المظهر السيئ أو المعدات التي يمكن الاستغناء عنها، وإنما الآلات المحملة بأعمال كثيرة.

وكمثال في أحد المصانع تمّ اختيار مكبس للبدء في دراسة مشاكله، حيث قـــام الفريق بدراسته وتقييمه بأقصى تفصيل ممكن، وتمّ قياس الوقت المنتج بالمقارنة بالوقـــت غـــير المنتج، وقام أعضاء الفريق المكلف بالدراسة بزيارة لمكبس مماثل في شركة تبعد آلاف الكيلومترات، حيث يعمل هذا المكبس بكفاءة أعلى من المكبس تحت الدراسة.

أدت هـــذه الدراســـة إلى توليد العديد من الأفكار حول كيفية التحسين، وتم تصـــميم والـــبدء في تنفيذ برنامج عمل للوصول بالآلة إلى مستوى عالمي من حيـــث ظـــروف التشغيل، وشمل البرنامج خروج المكبس خارج الخدمة للتنظيف والدهان والضبط وتغيير الأجزاء المتآكلة والسيور والخراطيم وغيرها.

وتمّ مـــراجعة التدريب الخاص بالصيانة والتشغيل، ووضع قائمة واجبات الصـــيانة اليومـــية ليتم تنفيذها بواسطة المشغل، كما تمّ الاستعانة بأحد المهندسين المسئولين عن التشغيل للاستفادة لآرائه في بعض مراحل الدراسة.

وبعـــد النجاح الذي تحقق مع هذه الآلة، تمّ اختيار آلة أخرى، ثم توالت المعـــدات حـــتى وصـــلت معدات المصنع كافة إلى مستوى عالمي وأصبحت تنتج بمعدلات أعلى بكثير عما سبق.

ويلاحـــظ في المثال السابق تكليف المشغل بدور فعال في صيانة الآلة وهي أحد المستحدثات في برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة، فلقد أصبح من مهام المشغل القيام بالفحص الروتيني اليومي، وأعمال الضبط البسيطة، والتزييت وتغيير الأجزاء البســـيطة، وكذلك إصلاح الأعطال البسيطة، أما العمرات والإصلاحات الجسيمة فتتم بواسطة فرق الصيانة بمساعدة المشغل.

أيضاً، قامت العديد من الشركات بتطبيق برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة (عـــلى ســـبيل المثال فورد –كوداك –هارلي ديفدسون – آلان برادلي...). ولقد

أوضحت النتائج الفعلية زيادة في الإنتاجية نتيجة لتطبيق هذا البرنامج، فقد حققت شركة كوداك 16 مليون دولار زيادة في الأرباح مقابل استثمار 5 مليون دولار في تطبيق البرنامج، ولقد حققت إحدى الشركات الصناعية وفراً في الوقت المستغرق في تغيير القالب من عدة ساعات إلى عشرين دقيقة فقط، وهذا يعادل إضافة آلتين أو ثلاث آلات إلى العمل يومياً بدون الاضطرار لشرائها أو تأجيرها. ولقد سجلت شركة تكساس انسترمنت زيادة في أرقام الإنتاج وصلت إلى 80% في بعض خطوط الإنتاج.

ولقد سجلت معظم هذه الشركات انخفاضاً في أوقات الأعطال وصل إلى 50% أو أكثر، بالإضافة إلى تقليل مخزون قطع الغيار، وتقليل وقت الانتظار بالنسبة للعميل.

وقد ثبت نجاح هذا النظام في العديد من الأنشطة، بالإضافة إلى المصانع. فقد نجح مثلاً في قطاع الإنشاءات وصيانة المنشآت، والنقل وغيرها.

وبشكل عام، يمكن **تطبيق برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة من خلال الخطوات الاثنتي عشرة التالية:**

أولاً : مرحلة الإعداد (Preparation Stage) :

1. إعلان قرار الإدارة العليا بإدخال برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة .
2. بدء حملة تدريبية لإدخال مفاهيم الصيانة الإنتاجية الشاملة .
4. إعداد السياسات والأهداف الرئيسية لبرنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة.
5. إعداد الخطة الرئيسية لتطبيق برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة .

ثانياً : مرحلة التطبيق (Implementation stage) :

6. تحديد موعد وأسلوب بدء تطبيق برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة .
7. تحسين فعالية كل آلة .

8. تطبيق برنامج الصيانة الذاتية (Autonomous Maintenance Program).

9. تطبيق برنامج الصيانة المخططة لكل إدارة (Scheduled Maintenance Program).

10. التدريب لزيادة مهارات الصيانة والتشغيل .

11. تطبيق نظام الإدارة المبكرة للمعدات (Early Equipment Mangement EEM).

ثالثاً : مرحلة التثبيت (Stabilization Stage) :

12. مراجعة وتحسين تطبيق برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة ورفع مستويات البرنامج .

ولابد من مراجعة برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة، ويكون الهدف من ذلك: تقييم الموقف والوضع الحالي للبرنامج، حتى يمكن تحديد إمكانيات التطوير، أو تقييم المشروع أو العمليات الإنتاجية لتحديد كيف يمكن تطبيق برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة.

§ ثانياً) مفاهيم عامة عن نظام الصيانة الوقائية المخططة:

الصيانة الوقائية هي عبارة عن صيانة متكاملة يتم تنفيذها وفقاً لتخطيط مسبق لأهم أعمال الصيانة التي سيتم إنجازها اعتماداً **على المعلومات المسبقة الواردة إلى قسم الصيانة.** ومن هنا نرى أن جوهر نظام الصيانة المخططة الوقائية يعتمد، إلى جانب الخدمة اليومية، على الفحص المخطط الوقائي ولأعمال صيانية مختلفة للآلات والتجهيزات خلال فترات زمنية محددة في نظام الصيانة، ويتوقف مقدار هذه الفترات على تصميم هذه الآلات والتجهيزات وعلى مجالات استعمالها وظروف تشغيلها. **يتم الحصول على هذه المعلومات المسبقة من خلال:**

1- توصيات وتجهيزات الشركات الصانعة للمعدات، ويكون ذلك بمساعدة الكتيبات الفنية المرافقة لهذه المعدات.

2- المعلومات المقدمة من قسم المتابعة والتشخيص (condition Monitoring)، وذلك بالاعتماد على أجهزة الفحص الدوري للمعدات وباستخدام أساليب آلية تقنية حديثة، تعتمد على مبدأ مراقبة الاهتزازات (Vibration Monitoring)، إضافة إلى طور صدمة النبضة (shock pulse phase)، ويتم تسجيل ذلك يومياً وترسل النتائج إلى أجهزة حاسوبية للمتابعة بشكل دوري، وعلى ضوء ذلك يتم اتخاذ القرار المناسب.

3- الملاحظات المقدمة من قسم الإنتاج عن المعدات، والتي تتم بشكل يومي من خلال التبليغ عن العطل (Defect Cards)، وعادة تكون هذه الملاحظات متعلقة بالأعمال التي يتطلب إنجازها توقيف الآلة.

4- مخطط الإنتاج الشهري، والذي قد يشمل تغييراً في نوع المنتج، وهذا يحتاج إلى تشغيل أو توقيف بعض المعدات أو الخطوط الإنتاجية .

وبشكل عام، يمكن **إجمال الفوائد التي يمكن أن تجنى عند تطبيق الصيانة الوقائية في المنشآت الصناعية بما يلي:**

* إنقاص زمن تعطيل التجهيزات ومحاولة إلغائه، وتحاشي التعطل المفاجئ غير المنتظر.

* إنقاص المبالغ المدفوعة لكوادر الصيانة بسبب العمل الإضافية عند القيام بالصيانة الطارئة.

* إنقاص حالات الإصلاح الكبيرة والمتكررة.

* إنقاص كلفة الإصلاح بسبب إجراء الإصلاحات الصغيرة قبل حدوث العطل الكبير، وهذا يساعد على تخفيض تكاليف صيانة وتصليح هذه التجهيزات.

* المقدرة على التحكم بالعمل بنوعية أفضل.

* انخفاض مقدار الحاجة للتجهيزات والقطع التبديلية والتحكم الأفضل بمقدار هذه الحاجة.

* إنقاص كلفة تصنيع المنتجات.

* إنقاص مقدار الحاجة إلى الصيانة العلاجية.

* إنقاص الأخطار الممكنة الحدوث أثناء العلم.

* زيادة فترة الحياة المتوقعة للتجهيزات، وهذا يؤدي إلى زيادة الإنتاجية.

* إنقاص متطلبات الطاقة وتكاليف الاستعمال.

وأهم المبادئ المتبعة عند تطبيق نظام الصيانة الوقائية المخططة، هي:

- لا يتم تطبيق نظام الصيانة الوقائية المخططة على كامل المنشأة الصناعية، بل يبدأ التطبيق من قسم واحد أو اثنين، ومن ثم الانتقال إلى باقي الأقسام.

- يُفضل تطبيق القاعدة التالية: تخفيض الأعطال في المنشأة عن طريق الفحص الدوري بقصد اكتشاف حالات العطل وإصلاحها.

- تطبيق نظام المسح الشامل لكامل التجهيزات والآلات، لكي تُفحص وتصان بشكل وقائي، وتحديد الفترة الزمنية اللازمة للقيام بأعمال الصيانة الوقائية.

وهناك مجموع من القواعد يجب الانتباه إليها أثناء إجراء الفحص لتحديد مدى ملائمة الصيانة الوقائية، وهي:

- التأكد من أن الآلة ليست خطرة، أو أن نسبة العطل فيها لم تصل إلى الحالة الحرجة، وبالتالي فإن هذه الآلة لن تصاب بخلل كبير أو مكلف أثناء الصيانة، أو أن أحد العاملين لن يصاب بأذى.
- التأكد من توفر الآلة البديلة في حالة حدوث العطل، وعند توفرها فإن تطبيق نظام الصيانة الوقائية يعتمد عندئذ على كلفة الإصلاح.

- مقارنـــة كلفة الصيانة الوقائية مع كلفة إصلاح أو تبديل الآلة مضافاً إليها كلفة فترة التوقف. وعلى ضوء ذلك، يتم إجراء الدراسة المفصلة.
- ضرورة التأكد من عمر الآلة عندما تعمل بشكل طبيعي وبدون تطبيق أية صيانة وقائية عليها، لمعرفة إن كان العمر أكبر من فترة عمل المنشأة، وإذا كـــان هـــذا العمر أكبر من فترة العمل عندها لا يكون مبرراً تطبيق نظام الصيانة الوقائية.
- إذا كان ترميم الآلة أو إجراء تعديل في بعض عناصرها سيؤثر على أعمال المنشـــأة أو يسبب اضطراباً في إنتاجها، عندئذٍ يجب استبعاد نظام الصيانة الوقائية عن هذه الآلة.

ويشتمل نظام الصيانة المخطط الوقائية على نوعين من الأعمال؛ وهما:

- الخدمة الوقائية بين عمليات الصيانة؛
- والتنفـــيذ الدوري لعمليات الصيانة المخططة، والتي تشمل عادة عمليات الصيانة البســـيطة وعملـــيات الصيانة المتوسطة وعمليات الصيانة الشاملة. ويعتبر تقسيم عمليات الصيانة في نظام الصيانة هذا، هو الأكثر انتشاراً عند تطبيقه في المؤسسات الصناعية.

A- الخدمة الواقعة بين عمليات الصيانة:

بيـــنا ســـابقاً، **أن الخدمـــة الفنـــية الواقعة بين عمليات الصيانة تشمل العملـــيات الأساسية التالية:** تنظيف المعدات وتزييتها، فحص ومراقبة الحالة الفنية للآلـــيات والتجهيزات والمكنات عموماً، ضبط المعدات والتخلص من عيوبها الفنية البسيطة.

إن أعمال الخدمة الواقعة بين فترات الصيانة للمعدات والآلات تدخل ليس في مهـــام عمـــال الصيانة، بل وفي مهام جميع العاملين عليها أيضاً. ويجب أن تُعار

عمليات الخدمة الفنية الخاصة بكل من آلات التشغيل المؤتمتة والخطوط الإنتاجية المؤتمتة اهتماماً خاصاً، حتى يبقى عملها مضموناً بشكل موكد، وإلاّ فقدت هذه الآلات والخطوط أهميتها الإنتاجية والفنية.

إن القيام بخدمة المعدات من قبل عمال الصيانة، يُعد وسيلة مضمونة لتقليل اهتراء الأجزاء المتحاكة، وعندئذٍ يزداد طول الفترات الزمنية التي تعمل خلالها الآلة المعنية دون تصليح. وقد بينت التجربة العملية أهمية تطبيق نظام التشغيل التصميمي للمعدات، وفي حالة مخالفة ذلك بالإضافة إلى عدم التزييت الصحيح في المواعيد المحددة، فإن ذلك يؤدي إلى زيادة الإهتراء وإلى انكسار بعض أجزاء الآلة.

وهكذا، فإن **الخدمة الواقعة بين عمليات الصيانة لها أهمية كبرى من الناحية الوقائية. لهذا، فإن عمال الصيانة يراقبون يومياً حالة المعدات ومقدار التغير في إنتاجيتها والطريقة التي ينفذ خلالها عمال الإنتاج قواعد التشغيل.** ومن الأهمية الإشارة إلى أن عمال الصيانة في كل وردية (الميكانيكي والكهربائي وعامل التزييت) يقومون بإزالة العيوب البسيطة، التي تظهر أثناء تشغيل المعدات في الوقت المناسب.

ويتعين على عمال الصيانة الميكانيكيين عند مرورهم بالمناطق المسؤولين عنها، أن يتأكدوا من سلامة دوران الأجزاء الدورانية، ومن عدم وجود ضوضاء أثناء تشغيلها، ومن سهولة توصيل وفصل الأجزاء المتحاكة مع بعضها. كذلك، يجب أن يتأكدوا من عدم وجود نقاط ضعيفة في أماكن الاتصال، وعدم ارتفاع درجة حرارة المدحرجات أكثر من اللازم، وعندما يلاحظ عامل الصيانة الميكانيكي وجود أجزاء متآكلة عندها يجب أن يقوم في الحال باستبدالها.

أمـــا عامل التزييت فهو مسؤول عن حالة وعمل أجهزة التزييت ووسائل نقـــل الحـــركة بالسيور، أما العامل الكهربائي –فمسؤول عن حالة جميع الأجهزة والمعدات والتجهيزات الكهربائية.

وحتى لا تتوقف الآلات عن العمل، فإن عمليات الخدمة الواقعة بين فترات الصـــيانة، تتم في ساعات الغداء أو في فترات الورديات، وكذلك في أوقات إعداد الآلات والمعدات لإنتاج منتجات جديدة.

ومـــن أجـــل الخطوط الإنتاجية المؤتمتة، فإن عمليات الخدمة الوقائية تتم يومياً، وبالإضافة إلى ذلك تجرى في كل أسبوع، وفي كل شهر خدمة وقائية عامة وفقـــاً للإرشـــادات الموضحة في الكتيبات الفنية الملحقة بها. وإذا كانت الخطوط المؤتمـــتة تعمل خلال ورديتين يومياً، فإن عمليات الخدمة اليومية تتم خارج أوقات العمل، أما إذا كانت الخطوط هذه تعمل خلال ثلاث ورديات يومياً، فإن الخدمة اليومية تجري أثناء العمل، وعندها فمن الواجب توقيف هذه الخطوط عن التشغيل خلال إجراء الخدمة.

B– العملـــيات الدوريـــة عـــند تنفيذ الصيانة المخططة الوقائية ودرجة صعوبة الصيانة (أو درجة تعقد الصيانة) .

تشـــمل العملـــيات الدوريـــة الوقائية التي يقوم بها عمال الصيانة وفقاً للخطة المقررة بشكل مسبق ما يأتي:

a) غسل الآلات والتجهيزات الصناعية بقصد التخلص من النواتج الناتجة عن قطع بعـــض المـــواد، وأيضاً عند العمل في ظروف الاهتراء الشديد (مثلاً للتخلص من النواتج عند تشغيل حديد الصب، وأيضاً عند استخدام المواد الحاكة وآلات الشحذ وتجهيزات السباكة وغير ذلك).

b) تغيير الزيت، في التجهيزات ذوات نظام التزييت المركزي ونظام التزييت بالرش، بمواعيده.

c) التأكد من دقة الآلات في التشغيل، وخاصة تلك المستعملة في العمليات الإنهائية (مثل آلات التجويف الإحدائية، وآلات صقل الثقوب وآلات تجليخ الأسنان وغير ذلك من الآلات).

d) فحص المعدات في الفترات الواقعة بين عمليات الصيانة المخططة.

e) القيام بعمليات الصيانة المخططة (التي تنفذ تبعاً للخطة المتبعة).

f) إجراء عمليات اختبار وقائية للمعدات المستخدمة في توليد الطاقة.

ويتم التأكد من دقة الآلات ليس فقط أثناء صيانتها، بل أيضاً خلال مراحل الصيانة خارج أوقات العمل. ومن أجل ذلك، تتم الاستعانة بالتجارب التي تتم تبعاً لقواعد المواصفات الحكومية، أو تبعاً لشروط فنية خاصة (في حالة المعدات ذات التصميم الخاص). وعند ظهور انحرافات معينة عن الحالة الطبيعية، فإنه يجب التخلص منها بأسرع وقت ممكن، إذا كانت هذه الانحرافات تودي إلى حدوث عيوب في القطع المنتجة، أما إذا كانت الانحرافات بسيطة –فيجب التخلص منها عند تنفيذ أقرب عملية صيانة. **يعتبر فحص المعدات الواقع بين عمليتي صيانة مخططة، واحداً من أهم أشكال الصيانة الوقائية**، وفي أثناء ذلك يتم التخلص من جميع العيوب البسيطة كما يتم اكتشاف العيوب الكبيرة إن وجدت. ولإجراء مثل هذا الفحص، فإنه يتم فتح التجهيزات التي تعمل تحت تأثير أحمال مرتفعة (مثل علب السرعة)، ويتم عندها التأكد من عدم وجود تشوهات ظاهرة أو اهتراء بالأجزاء المهمة. أما الأجزاء التي تعمل بدون تحميل مرتفع، أو التي لا يمكن فحصها من دون فك للآلة تماماً، فيجرى الفحص عن طريق التنصت والتأكد من عدم وجود أية ضوضاء. وعادة، يتم فحص المعدات من قبل ميكانيكيي الصيانة،

بالاشتراك مع عمال الكهربائيين وعمال التزييت، ويستحسن أن يشترك في عملية الصيانة أيضاً عمال الإنتاج، العاملين على الآلة التي يجري فحصها، وبعد ذلك تكتب نتائج الفحص والصيانة الجارية.

والفحص يتم في مواعيد محددة بشكل مسبق وخارج أوقات العمل، وتبعاً لنتائج الفحص يحدد حجم عملية الصيانة الدورية وجميع العمليات المرتبطة بها. وعندها يجب إزالة العيوب التي تهدد بحدوث تدهور خطير في عمل المعدات قبل أن يحين موعد الصيانة المخططة التالية.

C- أنواع الصيانة الوقائية:

بينا سابقاً، إنه يمكن تقسيم الصيانة المخططة الوقائية إلى ثلاثة أنواع، وهي: الصيانة البسيطة والصيانة المتوسطة والصيانة الشاملة.

ويتحتم عند إجراء الصيانة المتوسطة والشاملة، أن يتم بشكل مسبق **تحضير قائمة بعيوب التجهيزات التي يجري تصليحها**، وهذه القائمة توضع أثناء فك الآلة المعنية. وتساعد قائمة العيوب الموضوعة بشكل صحيح على تعيين طبيعة أعمال الصيانة وحجمها بسرعة تبعاً لنوع ومقدار اهتراء الأجزاء، وفي معرفة تلك الأجزاء المطلوب استبدالها بأخرى جديدة، وفي حساب الجهد الضروري الذي يجب أن يبذل، ومقدار المواد المطلوبة لتنفيذ العمل الصياني المعني، وتكاليف عملية الصيانة.

وتوضع قائمة العيوب وفقاً لصيغة خاصة يقرها المصنع الذي تجري به أعمال الصيانة، ويشارك في إعدادها مراقب الصيانة ومهندس الإنتاج مع رئيس فريق عمال الصيانة.

D- درجة صعوبة (تعقد) الصيانة:

يتوقف الجهد الواجب بذله أثناء تنفيذ عمليات الصيانة على نوع ودرجة صعوبة (تعقد) الصيانة، وكذلك على السمات التصميمية والفنية للتجهيزات وعلى

إبعادها. إن البنية التصميمية والفنية للآلة وامتدادها الأفقي والعمودي، كلها عوامل تلعب دوراً مهماً في تحديد درجة صعوبة الصيانة لهذه الآلة. فكلما كانت الآلة أكثر تعقيداً وأكبر حجماً وأكثر دقة ازدادت درجة صعوبة صيانتها. **وتستعمل من أجل تعيين درجة صعوبة كل نوع من الآلات** جداول موجودة في النظام الموحد لعمليات الصيانة الوقائية المخططة والتشغيل الرشيد للمعدات الإنتاجية في المؤسسات الصناعية.

ولتحديد صعوبة آلات التشغيل بالقطع والتشكيل بالحدادة والكبس، وآلات الرفع، فإنه **يتم استعمال آلة الخرط وتشكيل اللوالب 1K62 كمعيار لتحديد درجة صعوبة الصيانة والإصلاح**، وعادة تحمل هذه الآلة الدرجة الحادية عشرة من الصعوبة، وقد حدد الجهد اللازم لإنجاز الصيانة الشاملة لهذه الآلة بـ 385 ساعة، وذلك من قبل مجموعة من عمال الصيانة ينتمون إلى الفئة الثالثة من الخبرة، منها 253 ساعة تخصص لأعمال البرادة، و 110 ساعة مخصصة لتشغيل الأجزاء المراد صيانتها على آلات التشغيل، و 22 ساعة لأعمال تصنيع الأجزاء بالطرق واللحام وغير ذلك.

وهكذا، فإن **وحدة درجة الصعوبة** (أي الدرجة الأولى من الصعوبة) تساوي $\frac{1}{11}$ من الجهد اللازم لأجزاء الصيانة الشاملة للمخروطة طراز 1K62. وهذه الوحدة تعادل 35 ساعة صيانة (23 لأعمال البرادة، و 10 ساعات لأعمال التشغيل بالقطع، و 2 ساعة لأعمال أخرى) عند إجراء الصيانة الشاملة.

أما عند إجراء الصيانة المتوسطة فتساوي هذه الوحدة 23,5 ساعة صيانة (منها 16 ساعة لأعمال البرادة، و 7 ساعات لأعمال التشغيل بالقطع، و0,5 لأعمال أخرى). وعند إجراء الصيانة البسيطة فإن هذه الوحدة تساوي 6,1 ساعة صيانة (منها 4 ساعات لأعمال البرادة، و 2 ساعة لأعمال التشغيل بالقطع، و 0,1

لأعمال أخرى)، أما عند إجراء الفحوص العادية فتساوي هذه الوحدة 0,85 ساعة **صيانة (منها** 0,75 ساعة لأعمال البرادة، و 0,1 لأعمال التشغيل بالقطع).

وكمثال للآلات التي تدخل في نطاق الدرجة الأولى من الصعوبة، يمكن أن تكون آلة التثقيب المتوضعة على الطاولة التي يصل أكبر قطر للثقب فيها إلى 5 mm.

إلا أن القواعد المذكورة لا تعتبر نهائية. فإذا زادت مكننة عمليات البرادة، وأُدخلـــت الوسائل الحديثة التي تقلل من الجهد المبذول في عمليات الصيانة، عندها يُعاد النظر في معدلات الجهد اللازم.

وبمعـــرفة درجـــة صعوبة صيانة المعدات ومقدار الجهد اللازم لإجراء هذه الأعمـــال المتعلقة بها، فإنه **يمكن حساب وسائل الصيانة اللازمة** (أي تحديد آلات التشـــغيل اللازمة واليد العاملة) **وتخطيط أعمال الصيانة**. وكمثال، نحسب الجهد المعياري لأنواع الصيانة المختلفة في المخرطة الرأسية طراز 1565 المعقدة التركيب، والتي يصل قطر صينيتها إلى 4500 mm، ودرجة صعوبة صيانتها إلى الدرجة 68.

الصيانة الشاملة: $35\ h \times 68 = 2380\ h$

الصيانة المتوسطة : $23,5\ h \times 68 = 1598\ h$

الصيانة البسيطة : $6,1\ h \times 68 = 414,8\ h$

الفحوص : $0,85\ h \times 68 = 57,8\ h$

§ ثالثاً) ترتيب عمليات الصيانة والمعدلات اللازمة لتوقيف الآلات من أجل الصيانة:

يمكن أن تظهر عند دراسة عمليات الصيانة الأزمنة التالية:

-الفـــترة الواقعة بين عمليتي الصيانة- وهي عبارة عن الزمن الذي تعمل خلاله الآلة والواقع بين عمليتي فحص دوريتين تمّ التخطيط لهما، أو هي الزمن الواقع بين عملية صيانة وأقرب عملية فحص تالية.

- **دورة الصيانة** (أو الدورة الإصلاحية)- وهي الفترة الواقعة بين عمليتي صيانة شاملتين متتاليتين.

ويتم حساب زمن دورات الصيانة والفترات الفاصلة بين عمليات الصيانة وعمليات الفحص، تبعاً لعدد ساعات عمل الآلات، أو بأي مقدار آخر مكافئ مثل عدد المنتجات. ويحسب قسم التخطيط الساعات التي عملتها هذه الآلات، وتُقدم المعطيات شهرياً إلى رئيس قسم الميكانيكيين العاملين بالصيانة. وعلى أساس ذلك يتم تحديد زمن توقيف الآلات من أجل إجراء الصيانة اللازمة.

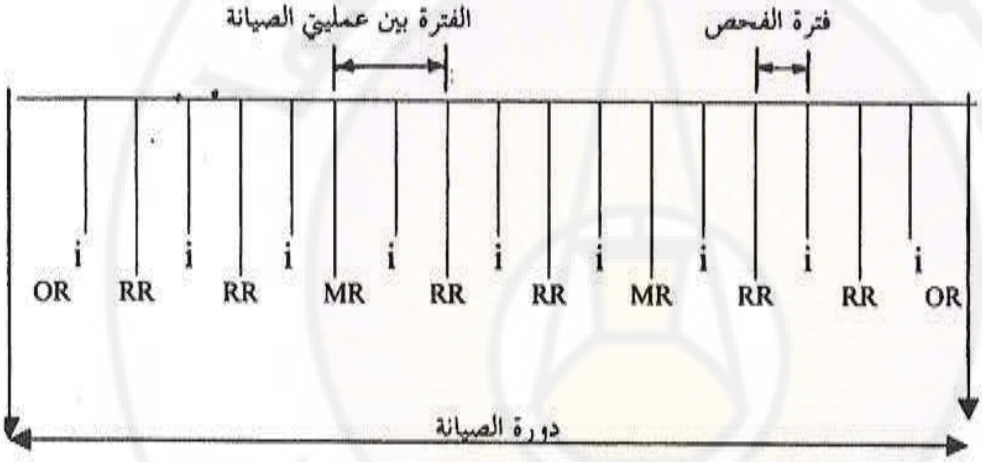
أما زمن دورات الصيانة والفترات الفاصلة بين عمليات الصيانة، أو بين عمليات الفحص في حالة الآلات التي لا يحسب عدد الساعات الفعلية لتشغيلها، فيتم تبعاً للفترة الكاملة التي تتعرض خلالها تلك الآلات للصيانة (عدد الأشهر) مع أخذ **معامل استعمال** [1] **هذه الآلات** بعين الاعتبار.

ومن أجل الأوضاع الترتيبية الزمنية، تُذكر الأرقام التقريبية لزمن دوران الصيانة والفترات الفاصلة بين عمليات الصيانة وعمليات الفحص، ويكون ذلك حسب الأنواع المختلفة للتجهيزات الصناعية، وهذه المدد المقترحة لا تعد ثابتة، وإنما تزداد مع مرور الزمن بصفة مستمرة، لأن نوعية الآلات التي تنتجها الصناعة العالمية ترتفع بمرور الأيام، ولأن نظام الصيانة المخططة الوقائية يزداد إتقاناً. واعتماداً على مجمل هذه الظروف، فإن الزمن التشغيلي للآلات يزداد بمرور الوقت.

1- معامل استعمال الآلات = هو النسبة المئوية بين الزمن الفعلي لتشغيل الآلات خلال الوردية الكاملة وبين زمن الوردية الكلي. ويختلف معامل الاستعمال، باختلاف نوع الإنتاج، حيث يصل إلى 80%-70 في حالة الإنتاج الفردي، وإلى 85%-80 في حالة الإنتاج بالجملة، وإلى 90%-85 - في حالة الإنتاج الضخم.

وعـــندما يتم الحديث عن دورات الصيانة، يكون المقصود بذلك **تركيب هـــذه الدورات**، وهو يعني ترتيب عمليات صيانة وفحص المعدات الإنتاجية وفقاً لخطـــة معيـــنة. ويـــبين الشكل 11.2 تركيب دورة الصيانة لأحد أنواع الآلات الإنتاجـــية، ويبين أيضاً الجدول 11.3، محتوى دورات الصيانة عندما يراد تطبيقها عـــلى آلات تشغيل المعادن والمطارق والمكابس. **وعند استعمال الجدول يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار مايأتي:**

a- الصفات التصميمية والإنتاجية للآلات التي يتم إعداد دورة صيانتها .



شكل 11.2- تركيب دورة الصيانة:

OR- صيانة شاملة؛ MR- صيانة متوسطة؛ RR- صيانة بسيطة؛ i-فحص الآلة العادي.

b- نوع الإنتاج الذي تستخدم فيه الآلات.

c-الظروف التي تشتغل من خلالها هذه الآلات.

وتـــبعاً للأوضـــاع الزمنية الترتيبية، ينصح تطبيق **القواعد الآتية من أجل توقيف الإنتاج في كل وحدة صيانة** بالنسبة للعاملين في وردية واحدة:

التوقـــيف في حالة الصيانة الشاملة –يوم كامل، ومن أجل الصيانة المتوسطة- 0,6 يوم، وعند الصيانة البسيطة – 0,25 يوم.

جدول 11.3– محتوى دورة صيانة الآلات

نوع الآلات	ترتيب عمليات الصيانة	عدد عمليات الصيانة			
		الصيانة الشاملة	الصيانة المتوسطة	الصيانة البسيطة	الفحص
آلات قطع المعادن : خفيفة ومتوسطة وزنها أقل من 10 طن وقديمة نسبياً	i-RR2-i-RR1-i-OR -RR4-i-RR3-i-MR1 -RR6-i-RR5-i-MR2-i OR-i	2	2	6	9
آلات قطع المعادن: خفيفة ومتوسطة وزنها أكثر من 10 طن ومصنعة حديثاً	MR1-i-RR2-i-RR1-i-OR OR-i-RR4-I-RR3-i	2	1	4	6
آلات التشكيل، آلات التشكيل والكبس المؤتمتة، المطارق الآلية	-RR2-i-i-RR1-i-i-OR -i-RR3-i-i-MR1-i-i- OR-i-i-RR4-I	2	1	4	12
الرموز : OR– صيانة شاملة؛MR1–صيانة متوسطة أولى؛ RR2–صيانة بسيطة ثانية؛ i–فحص دوري عادي.					

ويبدأ حساب زمن التوقف في أثناء الصيانة من لحظة توقيف الآلة لبدء الصيانة حتى لحظة انتهاء استخدامها.

ويدخل في حساب زمن التوقيف الزمن اللازم لإصلاح الوحدات الميكانيكية والهيدروليكية والكهربائية الذي يتم في الوقت نفسه. وهذا الزمن لا يعتمد على ورديات تشغيل الآلة في اليوم السابق لإيقافها من أجل الصيانة.

§ رابعـــاً) الأسس العملية المستخدمة عند تطبيق نظام الصيانة الوقائية في المنشآت الصناعية:

1–جرد الأنظمة المستخدمة وحصر التجهيزات الداخلية فيها

(Inventoty of systems)

يـــبدأ وضـــع خطة الصيانة الوقائية بحصر شامل لجميع الأنظمة في المنشأة الصناعية. وفيما يلي أهم هذه الأنظمة:

a–الأنظمة الميكانيكية (Mechanical Systems):

- أنظمة التدفئة والتهوية والتكييف

(Air & Heating Ventilation Conditioning Systems)

-أنظمة مكافحة الحرائق: كنظام رشاشات الماء الأتوماتيكي (Sprinkler System) ونظـــام خراطـــيم الإطفـــاء (Reels System Hose) ونظام الإطفاء بغاز الهالون (Halon System).

-أنظمـــة توفـــير المياه: كنظام المياه الباردة (Cold Water System)، ونظام المياه الحارة (Hot Water System).

-أنظمة المصاعد: كنظام المصاعد الهيدروليكية (Hydraulic Lifts)، ونظام المصاعد الكهربائـــية (Elecrical Lifts)، ونظـــام السلالم المتحركة (Elevators)، ونظام الروافع (Cranes).

b– الأنظمة الكهربائية (Electrical Sestems):

-أنظمـــة الإنـــارة: نظـــام الإنـــارة الداخلية، نظام الإنارة الخارجية، ونظام إنارة الطوارئ.

-أنظمة محطات التحويل والتوصيل: كنظام المحطات الفرعية (Substaions) ونظام محطـــات التوصـــيل (Switch Stations)، ونظام محطات توليد الطاقة الكهربائية (Power Generation System).

-نظام الحماية من البرق (Lightening Protection System).

c- الأنظمة الإلكترونية (Electronic System):

- أنظمة الإنذار من الحريق (System Fire Alarm).

- نظام التوزيع الصوتي والتلفزيوني (Audio-Visual-System).

- نظام التحكم والمراقبة الأتوماتيكي (Automatic Monetoring and Control System) .

- نظام الهاتف (Telephone System).

وبعـــد حصر جميع الأنظمة الموجودة في المنشأة الصناعية، يتم جرد آلات ومعدات كـــل نظـــام على حدة. وتنظم لكل آلة – ستشملها خطة الصيانة الوقائية-بطاقة سجل (Record Card) تذكر فيها أهم المعلومات عن الآلة.

d- الأنظمة المعمارية (Architectural Systems)،

e-الأنظمة الإنشائية (Structural Systems).

إن تســـجيل جميع المعلومات في بطاقة سجل الآلة مهم جداً. فإذا توفرت معلومات عن الشركة الصانعة وعنوانها بالتفصيل، فإن ذلك يسهل عملية الاتصال بهـــا إذا دعت الحاجة لذلك. فأحياناً تظهر في الآلة مشاكل لا يستطيع فنيو الصيانة حـــلها، وعـــندئذ يمكن الاتصال بسهولة بالشركة الصانعة لأخذ رأيها في أسباب ظهور هذه المشاكل، وتحديد أفضل الطرائق لحلها.

إن توفـــر معلومات عن تاريخ الآلة وما تعرضت له من أعطال رئيسية أو مـــراجعات شاملة هو على درجة بالغة من الأهمية بالنسبة لقسم الصيانة، لأنه قد

تـــتكرر بعـــض الأعطال الرئيسية في آلة ما، مما يمكن أن يشير إلى وجود خطأ في التصميم أو التشغيل.

2- تعيين الهوية الذاتية لكل من الآلات والمعدات

(Identification of Equipments)

بعد الجرد الشامل لجميع الأنظمة والمعدات الموجودة في المنشأة الصناعية، تتم تسمية هذه الأنظمة والمعدات لتمييزها بعضها عن بعض. وهناك طرائق مختلفة مستخدمة لتحديد الهويات الذاتية للآلات، ويستحسن عند ذلك، استخدام طريقة تـــتطابق مع احتياجات الحاسب الآلي والبرامج المتوفرة. لهذا فمن الأفضل أن يُرمز لكـــل آلة برمز يتألف من مجموعة من الحروف والأعداد. ونوجز فيما يلي إحدى الطـــرائق الـــتي يمكن استخدامها من أجل تحديد هوية الآلات المستخدمة في آلات الأنظمـــة الميكانيكية: يُرمز لكل **نظام من الأنظمة الميكانيكية** الموجودة في المنشأة بحرف على الوجه التالي:

-أنظمة التكييف A - أنظمة التدفئة H

-أنظمة توفير المياه W -أنظمة مكافحة الحرائق F

وعـــند وجود **عدة أنظمة فرعية أو فئات**، كفئات التكييف التي يمكن أن تأخذ الأشكال التالية:

- فئة المكيفات من نوع وحدة النافذة (Window Units).
- فئة المكيفات من نوع الوحدة المتكاملة (Packaged Units).
- فئة المكيفات من نوع الوحدة المنفصلة (Split Units).
- فئة المكيفات من نوع الوحدة المناولة للهواء (Air handling Units).

عـــندئذ لابد من تمييز هذه الأنظمة الفرعية أو الفئات بعضها عن بعض، وذلك باستخدام مجموعة من الأعداد المؤلفة من رقمين أو أكثر على الشكل التالي:

فـــئة التكيـــيف من نوع وحدة النافذة – 01، فئة التكييف المتكاملة – 02، وفئة التكيـــيف مـــن نوع الوحدة المنفصلة- 03، فئة التكييف من نوع الوحدة المناولة للهواء- 04.

وبمـــا أن كـــل فئة من الفئات تشمل عدداً من الآلات والأجهزة، لذا يتم ترقيمها بالتسلسل، فنرمز للمكيف الثامن الواقع ضمن فئة التكييف من نوع وحدة الـــنافذة بـــرقم 8، وعلـــيه يكون رمز المكيف الثامن من نوع وحدة النافذة هو A-01-8.

وفي **المشاريع الضخمة التي تتألف من عدة مبان**، لابد من أن يبين في رمز الآلـــة موقعها ليسهل الوصول إليها. لذا يضاف لرمز المنشأة أعلاه رمز آخر يتألف من عدد من الحروف والأعداد يبين بدقة موقع الآلة، مثال ذلك:

1. يرمـــز لكـــل مبنى بحرف فيما إذا كانت المنشأة الصناعية تتألف من عدة مبان، كالمبنى A أو المبنى B أو المبنى C وهكذا.
2. يرمز للطابق في المبنى الواحد برقم،مثل: الدور الأرضي- 0،والطابق الأول –1، والطابق الثاني – 2... إلخ.
3. يُرمز لكل غرفة في الطابق الواحد برقم تسلسلي .

فالمكـــيف من نوع وحدة النافذة المركب في الغرفة رقم 15، من الطابق الثاني من المبنى B، يكون رمز موقعه هو : B-2-15.

بناءً على ما تقدم يكون رمز المكيف من نوع "وحدة النافذة" ذي الرقم التسلسلي 8 والمركب في المبنى B في الطابق الثاني في الغرفة 15 كما يلي: A-01-8-B-2-15.

وبعـــد الانتهاء من تحديد الهويات الذاتية لجميع آلات المنشآت الصناعية، يتم وضع بطاقة الهوية الذاتية لكل آلة (Identification Card)، وتُدخل إلى ظرف بلاستيكي وتثبـــت على الآلة في مكان ظاهر، بعيداً عن تأثير الأجزاء المتحركة للآلة ومن أية

مؤثرات أخرى كالحرارة الزائدة. وبغية الوضوح لابد من كتابة الأرقام والأحرف بحجم كبير يمكن رؤيتها من بعد، كما هو مبين فيما يأتي:

الغرفة	الطابق	المبنى	الآلة	الفئة	النظام
15	2	B	8	01	AI

يقتصر الترقيم وإعطاء الهوية الذاتية على الآلات الرئيسية فقط، أما الأدوات والأجهزة المركبة عليها، فلا تُعطى رقماً منفصلاً، كما لا يتم إعطاء هوية ذاتية للأجهزة التابعة للآلة والمركبة بالغرفة بشكل منفصل كمنظم درجة الحرارة التابعة لوحدة مناولة الهواء.

يتم في بعض الحالات إعطاء **أرقام منفصلة لبعض الأجهزة الصغيرة** المنفصلة والتابعة لآلة معينة أو لنظام معين، عندما **يكون لهذه الأجهزة الصغيرة دور مهم بالنسبة للمبنى**، ككاشفات الدخان (Detectors) التابعة لنظام إنذار الحريق، والتي يمكن ترقيم كل منها على حدة، للتمكن مستقبلاً من كشف وصيانة كل كاشف لما لذلك من أهمية على سلامة المبنى.

3- تحديد ملحقات الآلات (Association of Equipments) :

بشكل عام، يتبع كل آلة من الآلات الرئيسية، مجموعة من الأجزاء الملحقة بها (Items Associated)، التي لابد من حصرها وذكرها مع الآلة الرئيسية، ليتم تفقدها وفحصها مع الآلة كلما احتاج الأمر لذلك. فإذا نظرنا مثلاً إلى مكيف من نوع الوحدة المنفصلة (Split Unit)، لرأينا أن هذا المكيف من جزأين رئيسين هما:

- الضاغط المغلق (Hermetic Compressor) ومعه المكثف (Condenser) ومروحته (Fan).
- الملف المروحي (Fan Coil) ويتألف من المبخر (Evaporator) ومروحته (Fan) ومصفاة الهواء التابعة له (Air Filler).

يوضـــع الضاغط عادة خارج الغرفة المراد تكييفها، في حين يركب الملف المـــروحي داخلها. عدا هذين الجزأين الرئيسين، هناك أجزاء تابعة للوحدة المنفصلة تركب في الغرفة وخارجها، منها:

- أجهزة التحكم (Control)، كمنظم درجة الحرارة الذي كثيراً ما يكون منفصلاً عن الملف المروحي.
- أنابيب نحاسية تصل المكثف بالملف المروحي.
- مفتاح كهربائي.

فعـــندما نسمي الوحدة المنفصلة الموصوفة أعلاه نعني بذلك جميع أجزائها الرئيســـية التابعة لها. يتم ذكر جميع هذه الأجزاء في بطاقة الصيانة الوقائية الخاصة بفئة وحدة التكييف المنفصلة، أيضاً ليصار إلى فحصها وصيانتها جميعها بعضها مع بعض.

يـــتم وصف كل آلات المنشأة المراد صيانتها بذات الطريقة التي شرحناها أعـــلاه، لضمان شمولية الصيانة وعدم نسيان أي بند من البنود التابعة. ثم إن ذكر توابـــع كـــل آلـــة في بطاقة الصيانة الوقائية يبين كنه ونوع أعمال الصيانة اللازم تنفـــيذها، والـــتي يمكن أن تكون ميكانيكية وكهربائية وإلكترونية، الأمر الذي قد يقتضـــي أن يشـــترك أكـــثر مـــن فني باختصاصات مختلفة لفحص الآلة وصيانتها.

4- تنظيم قوائم الفحص (Lists of Equipments) لكل فئة من الآلات.

تحـــدد هذه القوائم جميع الفحوص وخطوات الصيانة التي يجب على فنيي الصـــيانة تنفـــيذها لدى تفقدهم (Inspection) الآلة المعنية في فترات زمنية محددة (يومـــياً، أســـبوعياً، شـــهرياً ...إلخ)، أو بعد مرور عدد من ساعات تشغيل الآلة المعنية، أو بعد قطع مسافات معينة (بالنسبة للسيارات مثلاً).

يُفضل دراسة تعليمات كتب التشغيل والصيانة الموضوعة من قبل الشركات الصانعة مع فني الصيانة، لإدخال التعديلات اللازمة على هذه التعليمات على ضوء النتائج المتوفرة لتتماشى مع ظروف عمل المنشأة الصناعية. كما ينبغي أن يستعين فنيو الصيانة لدى إنجاز عمليات الصيانة المختلفة المذكورة في بطاقات الصيانة الوقائية بأجهزة الاختبار والقياس اللازمة، لأن الاعتماد على الحواس وحدها لا يكفي للتعرف على حالة الآلة، وخاصة إذا كانت هذه الآلة معقدة وحساسة. ففحص مَحْمِل (Bearing) لمحور دوار في آلة تصنيع خيوط البوليستر (Texture Machine)، مثلاً للتعرف بدقة على مدى اهترائه عن طريق اختبار شدة اهتزازاته ومستوى الضجيج الصادر عنه، يتطلب استخدام مقياس اهتزازات يستطيع أن يحدد بشكل دقيق قيمة هذه الاهتزازات، وبالتالي مدى الحاجة لاستبدال المسند بآخر جديد، أما الاعتماد على حاسة اللمس أو السمع عند الفني للتعرف على مستوى اهتزازات المحمل، فهو طريقة لا يمكن الاعتماد عليها دائماً لعدم دقتها ولاختلاف حاسة اللمس والسمع من فني إلى آخر. وينبغي طبعاً أن تركب الآلات في موقعها بشكل يسمح لفنيي الصيانة الوصول إلى جميع أجزائها التي تحتاج إلى فحص وصيانة بسهولة ويسر دون تعرض هؤلاء الفنيين لأي خطر .

5- تحديد فترات الفحص (Checking) الزمنية المناسبة :

ينبغي لدى تحديد الفترات الزمنية أن تؤخذ بعين الاعتبار النقاط التالية:

- **طريقة التشغيل**، التي تختلف بالنسبة للآلة نفسها من منشأة لأخرى. فوحدة مناولة هواء مثلاً يمكن أن تعمل بشكل مستمر أي بدون توقف ليلاً ونهاراً، ويمكن أن تعمل خلال ساعات النهار مثلاً وتتوقف عن العمل ليلاً. وبناءً على ذلك،

ســتختلف الفــترات الزمنية للصيانة الوقائية باختلاف طريقة التشغيل المستمر أو المتقطع.

– **مدى تأثير توقيف الآلة**، على غيرها من الآلات، كما هو الحال في المصانع ذات الإنــتاج بالجملة (Mass Production)، حيث تشترك كل آلة بإنتاج سلعة معينة. فــإذا كانت الآلة المراد تحديد فترات الصيانة لها مهمة وحساسة، فعندئذٍ يستحسن جعل فترات الصيانة الوقائية لهذه الآلة قصيرة، مما سيضمن صيانة وقائية جديدة لها وعدم تعرض هذه الآلة للأعطال.

– **مــدى تأثير الآلة على السلامة العامة** ، فقد يؤدي توقف الآلة عن العمل إلى تلــوث البيــئة، أو تعــريض ســلامة العاملين في المنشأة للخطر، ففي هذه الحالة يستحســن جعل الفترات الزمنية للصيانة الوقائية قصيرة لضمان مستوى عال من الصيانة، ومن ثم عدم تعرض الآلة للتوقف.

معرفة الفترات الزمنية المناسبة للصيانة، لأن اختصار عدد هذه الفترات قد يؤدي إلى زيادة تكلفة الصيانة، وربما يؤدي ذلك إلى تقصير عمر الآلات وزيادة احتمال تعرضها للأعطال.

إن الفترات الزمنية المناسبة المستخدمة في الصيانة الوقائية هي:

يومــياً (Daily) ، كــل ثلاثة أشهر (Quarterly)، أسبوعياً (Weekly)، كل ستة أشــهر (Semi Annually)، نصــف شــهرية (Semi Monthly)، كــل ســنة (Annually)، شهرياً (Monthly)، كل سنتين (Every Two Years).

6– بطاقة الصيانة الوقائية (Preventive Maintenance Card)

بمجــرد الانتهاء من إعداد قوائم الفحص والصيانة الوقائية لكل نوع من أنواع الآلات، والتي تحدد الخطوات التنفيذية اللازمة، **تنظم بطاقة الصيانة الوقائية، والتي تشمل على المعلومات المهمة التالية:**

رقـــم بطاقة الصيانة، حيث ترقيم بطاقات الصيانة العائدة لأنواع الآلات المختـــلفة لتميـــيزها بعضها عن بعض، حيث يتم الإشارة فيها إلى أوامر العمل التي تصدر عادة لتنفيذ عمليات الصيانة الوقائية.

- نظام الصيانة الذي تتبع له الآلة المعنية.
- نوع أو فئة الآلة، إذ يذكر هنا الرقم المميز للفئة.
- أرقـــام الرســـومات الخاصة بكل فئة، والتي يمكن الرجوع إليها لتوضيح الأمور الفنية التي تتعلق بصيانة هذه الفئة.
- التعليمات الخاصة بفئة الآلة المعنية، والمذكورة في كتيب التشغيل والصيانة.
- تاريخ إصدار البطاقة للمرة الأولى.
- التعديلات اللاحقة التي تطرأ على البطاقة.
- رقـــم خطوة الفحص والصيانة الوقائية، وشرح هذه الخطوة والإرشادات المتعلقة بها.
- الرمـــز العددي الذي يحدد عملية الصيانة الوقائية اللازم إجراؤها، حيث تستخدم هذه الأرقام في شرح خطوات الصيانة الوقائية.
- الفـــترات الزمنـــية للصـــيانة، أي هل الصيانة أسبوعية أو شهرية أو ربع سنوية... وهكذا.
- المدة الزمنية اللازمة لتنفيذ عملية الصيانة.
- اختصـــاص الفـــني المـــنفذ ويحـــدد نوعية العامل: ميكانيكي، كهربائي، إلكتروني.
- المـــواد والأدوات وأجهزة القياس، مثل أنواع الشحوم التي ستستخدم في حالـــة تشـــحيم مَحْمِل، وأية أجهزة قياس معينة قد يحتاجها الفني لتنفيذ عملية الفحص والصيانة المطلومة.

7- وضع برنامج الصيانة الوقائية .

برنامج الصيانة الوقائية هو عبارة عن جدول زمني، تختلف مدته باختلاف المنشـــأة الصـــناعية، وتمتد غالباً لمدة عام كامل. ويحدد هذا البرنامج مواعيد تنفيذ عمليات الصيانة الوقائية لكل آلة من آلات المنشأة خلال الفترات الزمنية المطلوبة: اليومـــية، الأسبوعية، الشهرية، ربع السنوية، نصف السنوية، السنوية... وهكذا. ويجـــب أن يكـــون البرنامج شاملاً لجميع الآلات مما يضمن عدم نسيان أية آلة في المنشأة.

يساعد وجود برنامج الصيانة الوقائية في معرفة حاجة هذا البرنامج بشكل مســـبق مـــن قطع الغيار والمواد الاستهلاكية وغيرها، وبالتالي يساعد بقية الأقسام ذات الصلة كإدارة المشتريات والمستودعات على التخطيط لطلب جميع هذه المواد لتكون جاهزة في الوقت المناسب.

إن توفر برنامج الصيانة الوقائية يذكر فنيي الصيانة بما لديهم من أعمال في الأيام والأسابيع القادمة، ويساعد على التخطيط المسبق للعمليات التي يجب أن تنفذ مثلاً في الأسبوع القادم.

هـــذا ومن المهم جداً أن **ينسق قسم الصيانة** في أية منشأة صناعية، لدى وضع برنامج الصيانة الوقائية، مع جميع الأقسام الأخرى التي تستخدم الآلات المراد صيانتها طبقاً للبرنامج الموضوع، حتى يتم أخذ موافقتها على البرنامج، والتأكد من عـــدم تعارضه مع خططها الإنتاجية. بالإضافة إلى ذلك، يجب الانتباه إلى أن نظام الصيانة الشاملة لكل نظام يجب أن يتم خلال الموسم الذي تتوقف فيه الآلات عن العمـــل. فمثلاً، تتوقف أنظمة التبريد عن العمل في الشتاء، في حين تتوقف أنظمة التدفئة المركزية عن العمل تماماً في الصيف. وبذلك يمكن تفادي إزعاج المستفيدين من هذه الأنظمة، لأن الصيانة تتم خلال فترات توقفها العادية.

عـــند تنفـــيذ بـــرنامج الصيانة الوقائية، فإن **حجم العمل يجب أن يوزع بشكل متساوٍ على جميع أسابيع العام**، مع الأخذ بعين الاعتبار أيام العطل الرسمية ما أمكن. وبهذا يمكن أن نتفادى تراكم العمل في بعض الأسابيع، وعند عدم تحقيق ذلـــك فلابد من تكليف طاقم الصيانة بعمل إضافي (Over Time)، كما أن عدم الـــتوزيع الصحيح للعمل قد يفسد العمال الفنيين. وقد تدعو ضرورة توزيع العمل بشـــكل متســـاوٍ إلى تعديل الفترات الزمنية (Frequencies) الخاصة بصيانة بعض التجهـــيزات. وبمـــا أن أكثر عمليات الصيانة تتم بفترات زمنية طويلة نسبياً (أي شهرياً، أو كل ثلاثة أشهر، أو ستة أشهر)، لذا يمكن تنسيق عمليات الصيانة لبعض التجهيزات بمقدار أسبوع أو أكثر، بغية التوصل لتوزيع حجم العمل بشكل متساوٍ على مختلف الأسابيع.

إن **تعديـــل فترات الصيانة الوقائية**، يصبح ضرورياً في المنشآت الصناعية الـــتي تحـــتوي على عدد كبير من المعدات المتماثلة، والتي تمّ تركيبها وتشغيلها في موعـــد واحد. فلو وجد عدد كبير من آلات الخراطة (Lathes) في ورش التشغيل الـــتابعة للمنشأة الصناعية، وكانت جميعها من نوع واحد وبدأت العمل في وقت واحـــد، لتزامنـــت مواعيد تنفيذ عمليات الصيانة الوقائية الشهرية، وربع السنوية، والأســـبوعية مع بعضها البعض. مما يلقي عبئاً كبيراً على فنيي الصيانة، لذلك لابد مـــن تفادي هذا التراكم بتعديل مواعيد الصيانة لبعض هذه الآلات، مما يُساعد في توزيع العمل بالتساوي على الأسابيع.

هـــناك ناحـــية مهمة ينبغي الانتباه إليها لدى وضع برنامج الصيانة الوقائية، وهي **ضـــرورة تمـــتع هذا البرنامج بالديناميكية والمرونة اللازمتين**. وهذا يعني أن يتغير بـــرنامج الصـــيانة الوقائية لآلة ما بتغير ظروف عمل وتشغيل الآلة المراد صيانتها وقائياً.

كأمثلة لذلك، يمكن أن يكون :

- إن تغـــيير طـــريقة عمـــل ضاغط الهواء من الشكل المستمر (Continuous Operation) إلى الشـــكل المـــتقطع (Interrupt Operation) تستدعي تغيير برنامج الصيانة الوقائية لهذا الضاغط، مما يتماشى مع طريقة التشغيل الجديدة.
- إن تغيير إنتاجية آلة في منشأة صناعية ينعكس حتماً على برنامج صيانتها. فإذا عقـــدت هـــذه المنشأة صفقة مع أحد الزبائن لبيع كمية ضخمة من منتج يتم تصـــنيعه على آلة معينة، والتزمت المنشأة بتوريد المنتج في مواعيد محددة الأمر الذي يقتضي تشغيل الآلة باستمرار وبدون انقطاع لمدة أشهر، آنذاك يتوجب على الصانع رفع درجة صيانة الآلة بشدة للحفاظ عليها في حالة جيدة لضمان عملها باستمرار حتى لا تتعرض لعطل، وإلا فالإنتاج سيتوقف ويتأخر التسليم. وبعـــد انتهاء الكمية المتعاقد عليها تعود الآلة للعمل بشكل طبيعي، أو تتوقف لعدم الحاجة لإنتاجها، آنذاك تنخفض درجة الصيانة للحد العادي.

وهكـــذا نرى من خلال هذه الأمثلة أنه يتوجب علينا إعادة تغيير برنامج التشغيل والصيانة الوقائية بحيث يتلائم مع ظروف التشغيل الجديدة.

8- تنفيذ برنامج الصيانة الوقائية.

يضم الكادر الفني لقسم الصيانة موظفاً يسمى الـــمُجَدول (Scheduler)، الـــذي يســـاهم عـــادة مـــع رئيس قسم الصيانة في وضع برنامج الصيانة الوقائية الســـنوي، ويأخذ على عاتقه مسؤولية اتخاذ الإجراءات الإدارية اللازمة لتنفيذ هذا الـــبرنامج، ومـــتابعة هذا التنفيذ. **ففي مطلع كل أسبوع يحدد المجدول** على ضوء بـــرنامج الصـــيانة السنوي الآلات التي ستخضع للصيانة الوقائية خلال الأسبوع القـــادم، سواء كانت هذه الصيانة أسبوعية، أم شهرية، أم ربع سنوية... إلخ. بعد ذلـــك ينظم المجدول لكل آلة ستخضع للصيانة الوقائية خلال الأسبوع القادم أمر

عمل للصيانة الوقائية. وفي هذه الحالة يفضل الاستعانة بالحاسب الآلي بعد تغذيته بجميع المعلومات اللازمة لتوفير الوقت وضبط عمليات الصيانة. **وعادة يضم أمر العمل المعلومات الآتية:**

- اسم ورقم الآلة والنظام الذي تتبع له الآلة وفئتها وموقعها في المنشأة الصناعية.
- فترة الصيانة الوقائية التي ستخضع لها الآلة حسب برنامج الصيانة الوقائية: أسبوعية، شهرية... إلخ.
- رقم بطاقة الصيانة الخاصة بفئة الآلة.
- المدة المقدرة لتنفيذ أمر العمل.
- المواد المستهلكة وقطع الغيار في حالة الحاجة إليها.

يرسل الجدول أوامر العمل التي تتألف عادة من أصل وعدة نسخ، إلى المسؤول في قسم الصيانة الوقائية الذي يقوم بدوره بتوزيع أوامر العمل على الفنيين المسجلة أسماؤهم في البرنامج. وبما أن كل فني يحتفظ لديه بنسخ من بطاقات الصيانة لفئات الآلات المختلفة، لذا يستطيع تنفيذ خطوات الصيانة المطلوبة لكل أمر عمل طبقاً لبطاقة الصيانة المحدد رقمها في هذا الأمر.

في حالة احتياج أي أمر عمل لمواد من المستودع، ينظم الفني **طلب سحب مواد** بوقعة المشرف المسؤول، ثم يستلم الفني هذه المواد ويقوم بتنفيذ أمر العمل في الموعد المحدد. عدا عن ذلك يُسجل الزمن الذي استغرقه تنفيذ هذا الأمر على أمر العمل، والمواد المستهلكة أثناء العمل. أما نتائج خطوات الصيانة المذكورة في بطاقات الصيانة الوقائية المعنية فيسجلها الفني في العمود المخصص لها في البطاقة. وفي اكتشاف الفني لأي عطل في الآلة التي يصونها، يقوم بإصلاح العطل إذا كان بسيطاً ويسجل ذلك في حقل الملاحظات الموجودة في أسفل برنامج الصيانة الأسبوعي. أما إذا كان العطل كبيراً ويتطلب إصلاحه فنياً متخصصاً، فيجب

الإشـــارة إلى ذلـــك في **طلب الإصلاح**، ويرسل الفني بعد انتهاء تنفيذ أمر العمل جميع المستندات المذكورة إلى المشرف المختص، الذي يحتفظ بنسخة من أمر العمل، ويرسل الأصل وبقية الصور والمستندات للمجدول. يطلع المجدول على المستندات ويضع إشارة على جدول الصيانة السنوي تبين بأن الصيانة الوقائية للآلة المعنية قد تمت.

يرســـل المجـــدول بعد ذلك نسخة من أمر العمل المنفذ للمحاسبة لحساب **كلفة الصيانة الوقائية** على ضوء ساعات العمل المستنفذة والمواد المستهلكة وبذلك تكتمل حلقة عمليات الصيانة عند هذا الحد

§ خامساً) زيادة فعالية برنامج الصيانة الوقائية:

ربمـــا يـــدور جدل كبير عند تنفيذ برنامج الصيانة الوقائية حول الكمية الكبيرة المتوقعة من العمل الورقي (المكتبي) الذي سينتج عنه، علماً أن هناك حاجة إلى هـــذا الـــنوع من العمل لضبط نظام العمل، وعلى كل حال يجب **أخذ الأمور التالية بعين الاعتبار:**

1- الإقلال من عدد النماذج والمداخل، وعندئذٍ فلا تسجل المعلومات التي لا تملك أهمية حالية أو مستقبلية .

2- تسجل كل المعلومات المتعلقة بالكلفة .

3- مـــن المفضل دمج أعمال الصيانة الوقائية ضمن الأعمال الورقية العائدة لأنواع الصيانة الأخرى .

4- يُفضـــل، مـــن خـــلال المراجعة الدورية، وضع قائمة مختصرة بأعمال الصيانة الوقائية، وذلك على شكل خلاصة أو لوائح .

5- لتنفـــيذ بـــرنامج الصيانة الوقائية، فإن **الحد الأدنى المطلوب هو خمسة نماذج** وهي:

- لوحة تخص الأجهزة مع قائمة خلاصة عن تاريخ صيانتها.
- ورقة تعليمات الصيانة الوقائية PMI.
- لوحة الخطة الرئيسية.
- لوحة أوامر عمل الصيانة الوقائية.
- نماذج طلب المواد SRF إذا كان هناك حاجة لأية مادة .

حتى يتم التأكد من أن نظام الصيانة الوقائية يعتبر فعالاً أثناء العمل، فلا بد من تقييمه سنوياً، ويكون ذلك بإجراء مقارنات بين الإنتاج الساعي الفعلي والمتوقع (النظري)، وهناك **عدة طرائق لزيادة فعالية برنامج الصيانة الوقائية يمكن تلخيصها بما يلي:**

- إدخال قطع الغيار (Spare Parts) الأفضل والتي تحتاج إلى صيانة أقل.
- إعادة تحديد مواقع التجهيزات الصعبة المنال ضمن المنشأة الصناعية.
- تأمين برامج تدريب مستمرة (Ongoing training Programs) للفنيين وعمال الصيانة.
- دراسة الزمن والحركة واستخدامهما في تحليل الأعمال النظامية.
- تطبيق تعليمات الصيانة الوقائية النموذجية التي وضعتها الشركة الصانعة بشكل كامل .
- تحديد نموذج عياري للأدوات والأجهزة ولطرائق العمل.
- تأمين غرفة صيانة (Maintenance Storeroom) للأدوات ذات الحركة السريعة والمحافظة عليها.
- إطالة فترة حياة أدوات الصيانة (Equipment life) عن طريق أغطية واقية لها.

- إنجاز الأعمال التحليلية الخاصة بقياس فعالية برنامج (Effectiveness of The Program) الصيانة الوقائية.

§ سادساً) تكلفة الصيانة الوقائية والإجراءات المتخذة لتخفيضها.

تعتـــبر الصـــيانة الوقائية من الأعمال المكلفة التي تدخل في التكاليف غير المباشرة للعملية الإنتاجية. لذلك **يجب العمل على تخفيض تكاليف الصيانة الوقائية عن طريق الإجراءات التالية:**

أولاً – توظيف العدد الصحيح والمناسب من الفنيين والأخصاصيين بقسم الصيانة، لأن زيادة عدد عمال الصيانة عن حد معين، وإن كان يؤدي إلى الإسراع في إنجاز أعمـــال الصـــيانة والإصلاح، يؤدي إلى ارتفاع التكاليف بسبب عدم وجود عمل كاف ومنظم لجميع عمال الصيانة على مدار السنة.

ثانياً– تعمل المنشآت الصناعية على خفض تكاليف الصيانة، ويعد ذلك واحداً من العناصـــر الرئيسية التي تدخل في اقتصاديات المنشأة المعنية، ويتم ذلك على النحو التالي:

1-يعهد بجزء من أعمال الصيانة إلى بعض الشركات الخارجية المختصة، وذلك خلال فترات الضغط التي لا يستطيع قسم الصيانة فيها إنجاز جميع المهام الموكلة إليه بالسرعة اللازمة وفي الوقت المحدد.

2-تأجيل القيام ببعض أعمال الصيانة غير العاجلة إلى فترات قد لا يكون فيها الضغط كبيراً على قسم الصيانة.

3-اســـتبدال بعض الأجهزة وقطع الغيار بأخرى جديدة وذلك خلال فترات زمنية دورية ثابتة، من أجل خفض عدد ساعات العمل المطلوبة لأعمال الصيانة وبالتالي خفض التكاليف.

ثالـثا– يجـب التمييز بين المبالغ المخصصة لأعمال الصيانة الوقائية والإصلاحات وتلـك المخصصـة لأعمال التحسينات المختلفة في المنشأة الصناعية، حيث تُدخل المبالغ التي تُصرفْ على أعمال الصيانة الوقائية في تكاليف الإنتاج بالنسبة للسنة التي تمـت فـيها وتعتـبر من المصروفات، أما بالنسبة للمبالغ التي تصرف على أعمال التحسـينات فيجـب تقسيطها على تكاليف الإنتاج لعدة سنوات على أساس أنها إضافات للأصول الثابتة.

رابعـاً – العمل على توفير المواد وقطع الغيار اللازمة بأقل التكاليف الممكنة وذلك عن طريق الاحتفاظ بها في المخازن بكميات مناسبة، حتى لا يؤدي عدم توفير قطع الغـيار إلى الإربـاك في أعمال الصيانة وعدم قيام قسم الصيانة بالمهام المطلوبة منه وخاصة في الأوقات الحرجة.

§ سابعاً) كوادر الصيانة وأهمية تدريبها.

تهدف عملية تدريب (Training) كوادر الصيانة الفنية (المهندسين والفنيين والعمـال) إلى إكسـابهم كـل المهارات اللازمة لرفع كفاءة عملية صيانة الآلات والمعدات والتجهيزات وخفض تكاليفها. وقد **عرَّف بعضهم التدريب**، بأنه الجهد المنظم والمخطط له لتزويد العاملين بمعارف معينة، وتحسين قدراتهم ومهاراتهم وتغيير سـلوكهم واتجاهـاتهم بشكل إيجابي وبناء. والتدريب من هذا المنظور يمثل عملية منظمة محورها الفرد، وتهدف إلى إحداث تغييرات محددة فيه فنية (علمية وهندسية) وتطبيقـية وسلوكية. والهدف من ذلك، هو الوصول بهذا الفرد إلى مستوى محدد يحتاجه حالياً أو مستقبلاً، حتى يستطيع أن يؤدي العمل المطلوب منه في المنشأة التي يعمل بها، وهذا ما ينطبق على أعمال الصيانة وأعمالها.

ومـن **جملـة أهداف الصيانة** تحقيق مستوى الجودة المطلوب أثناء تنفيذ أعمـال الصـيانة، والحد من الهدر في مستلزماتها والالتزام بالمعايير في الاستهلاك،

وكذلك تنفيذ الأعمال المطلوبة بأمان بحيث تقل الحوادث والإصابات إلى حدودها الدنيا، مع الحرص على المواعيد المحددة للإنجاز وفقاً للمؤشرات الزمنية المقررة.

ويجب على مسؤولي الصيانة خلال مرحلة تدريب الكوادر الفنية **انتقاء الأفراد** الذين يتوسم فيهم القدرة على استيعاب الأشياء ومكونات الآلات والمعدات والقدرة على تمييز الأعطال وأسبابها وإصلاحها، كما يجب عليهم وضع البرامج اللازمة لتدريبهم على المعدات ذاتها، وعلى كيفية إنجاز أعمال الصيانة في وقت قصير مما يقلل فترة توقف العمل كما يقلل الخسائر في الإنتاج وغير ذلك.

تعتمد **تخصصات الكوادر الفنية** لقسم الصيانة على نوعية الآلات ونشاط المنشأة الصناعية. لذلك لابد من أن تتوفر الكوادر الفنية بجميع التخصصات اللازمة (كماً وكيفاً) لتنفيذ أعمال الصيانة على الوجه المطلوب.

إن **الكوادر الفنية المدربة** على إجراء الصيانة بشكلها الصحيح يخفض كمية قطع الغيار المستخدمة، وذلك بالكشف على الوحدات المعطلة ومعرفة ما يمكن استبداله وما يمكن تنظيفه وإصلاحه وتركيبه بالآلة مرة أخرى. كما أن معرفتها باستخدام أدوات الفك والتركيب بالطريقة الصحيحة، يوفر في استهلاك هذه الأدوات وفي قطع غيار المعدات الواقعة تحت الصيانة، أما **الكوادر الفنية غير المدربة** فكثيراً ما يؤدي إجراء الصيانة من قبلها، وللأسف، إلى تلف أجزاء من الآلة أو خسارة قطع غيار سليمة، حيث يتم استخدام المطارق في الطرق على أجزاء مختلفة من الآلة، بغرض الفك أو التركيب بدلاً من استخدام بعض المعدات المناسبة إلى تلفها. وخير مثال على ذلك: هو فك وتركيب المدحرجات (Bearings)، حيث تعمد الكوادر الفنية غير المدربة عند فكها إلى كسرها بدلاً من نزعها بهدوء بوساطة عدد بسيطة مخصصة لذلك، وهذا يؤدي إلى تلف المحور الحامل لها، كما

تعمـــد هـــذه الكـــوادر عند تركيب المحامل إلى طرقها بالمطرقة بدلاً من تسخينها وإدخالها بهدوء.

ويمكن **حصر الفوائد التي تُجنى من استخدام الكوادر الفنية بما يلي:**

- رفع كفاءة تشغيل الوحدات الصناعية.
- تقليل الهدر والتوالف أثناء عملية الصيانة الوقائية.
- تقليل قطع الغيار المستهلكة أثناء الصيانة.
- تقليل الوقت اللازم للصيانة وإتمامه في التاريخ المحدد طبقاً للجداول.
- الاستعداد التام لمواجهة الظروف الطارئة والحالات الحرجة التي يمكن أن تحدث أثناء التشغيل.

تؤكد كل البيانات أن **الاستثمار في تدريب الكوادر الفنية** في أية منشأة صـــناعية هـــو اســـتثمار في حقول التكنولوجيا وبرامج التسويق، بل في البحوث والتنمية.

لذلـــك تعـــد الموارد البشرية العامل الرئيسي في الإنتاج الاقتصادي، أما الآلات والـــتمويل الـــرأسمالي فإنها ليست سوى أشياء من صنع الإنسان ومن نتاج براعـــته. إن **تنمية الموارد البشرية هي الأداة الرئيسية لتحسين الأداء الاقتصادي** للمنشأة الصناعية ولرفع مستوى إنتاجيتها.

إن عـــدم تشـــجيع ودعم الإدارة العليا في معظم منشآتنا الصناعية لعملية تدريـــب الكوادر الفنية هو اعتقاد نابع من أن: **كل ما أنفق في السنوات الماضية عـــلى التدريب قد ذهب أدراج الرياح** فلا حاجة للاستمرار به. ولكن ذلك غير صـــحيح إطلاقـــاً لأن التدريـــب يجب أن يكون مرتبطاً بالأهداف الاستراتيجية للشركة.

توضح الأبحاث أن الأفراد الذين يتلقون تدريباً رسمياً في محيط العمل يرتفع معـــدل إنتاجيتهم بعد عام واحد بنسبة 30% أكثر من الأفراد الذين لا يتلقون مثل هذا التدريب. لذلك، بدأت الشركات الصناعية في الدول المتطورة برصد جزء من ميزانيتها لتدريب الأفراد العاملين لديها.

إن التدريـــب لا يعـــد غاية في حد ذاته. والمعرفة لا تعد غاية في حد ذاتها ولكـــن مـــا يجب السعي إليه هو **تحسين الأداء على الفور**، وإذا لم يكن التدريب قـــادراً على تحقيق ذلك فقد فشل في تحقيق هدفه. إذ لا ينبغي أبداً أن يتم التفكير في التدريب دون وضع تحسين الإنتاجية في الاعتبار كهدف رئيسي. وبهذا الشكل **يصبح التدريب جزءاً لا يتجزأ من أي جهد لتحسين الإنتاجية.**

وتشير المصادر العلمية، إلى أن **كوادر الصيانة المختارة للعمل في شركات الصـــيانة، تحـــتاج عند تدريبها إلى سنتين كاملتين، وهي تقسم إلى أربع فترات زمنـــية متســـاوية**، مـــدة الواحدة منها تصل إلى ستة أشهر. يتم في الفترة الأولى: التعريف بكل من الشركة وأنشطتها الرئيسية والفرعية، ونشاطات الصيانة (أدوارها وسياســـاتها وأهدافهـــا وأعمالها وموقعها في الهيكل التنظيمي للشركة)، والأصول الثابتة في الشركة (الآلات والتجهيزات والأدوات وخطوط الإنتاج) والأصول غير الإنتاجـــية (المباني والمنشآت المدنية والخدمية)، وتقنيات الصيانة وإدارتها. ويتم في الفترة الثانية التعريف بالمجال العام الذي سوف يعمل عامل الصيانة فيه. وفي الفترة الثالثة. يتم التعريف بالعمل المحدد التفصيلي الذي سوف يقوم العامل به. وفي الفترة الـــرابعة يقـــوم العامل بعمله متدرباً، أي بدون أية مسؤولية، حتى يقوم بعد ذلك بعمله الصيانى بمسؤولية كاملة.

§ ثامـــناً) الشـــروط الواجب توفرها في كوادر الصيانة وفقاً لحاجات سوق العمل.

من الضروري أن تتمتع أعمال الصيانة وفعاليتها بالمؤشرات المطلوبة، وهذا يستدعي الاختيار الصحيح لكوادرها الفنية والإدارية. وعند عدم توفر تلك الكوادر دائمـــاً في سوق العمل، فإن الأمر يحتاج إلى الاختيار الصحيح لها، ومن ثم إعدادها بشـــكل ملائم وتأهيليها بقدر كاف وتدريبها بشكل مستمر. وتمثل **الصيانة سلعة مـــتكاملة الاحتياجات والخصائص**، وميدانياً تطبيقياً لـــه متطلباته، وهذا ينعكس بـــدوره عـــلى القـــوى العاملـــة فيه، مما يستدعي ضرورة تمتع هذه القوى ببعض المواصـــفات وفقـــاً لحاجات سوق العمل، وهذا يشكل الشرط الأساسي لتحقيق حسن الأداء، **ويأتي في طليعة هذه المواصفات:**

1- المعـــرفة الفنـــية. حـــتى تتمكن الكوادر الفنية العاملة في مجال الصيانة بكافة تخصصـــاتها مـــن إنجـــاز الأعمال المنوطة بها ضمن إطار المسؤوليات والصلاحيات وتوصيف الأعمال، فإنها يجب أن تتمتع بالمعرفة والخبرة الفنية اللازمة.

2- المعرفة الاقتصادية وحساب التكاليف. بالرغم من أن أعمال الصيانة وفعالياتها ذات صـــبغة فنية، إلا أنها تحتاج إلى المعرفة الاقتصادية حتى يتحقق الحد الأدنى من التكاليف عند التنفيذ، ويكون ذلك من خلال المعرفة بطرائق الأداء الصحيح والحد من الهدر في المواد المستخدمة، وعندئذ تتحقق الوظيفة الفنية المطلوبة بأقل التكاليف في كل الأعمال والمراحل الصيانية.

3- المعـــرفة الوقائـــية. وذلك بهدف تحقيق السلامة عند القيام بأعمال الصيانة، ويكـــون ذلـــك مـــن خلال القدرة على الأداء دون التعرض المباشر وغير المباشر لـــلحوادث والإصابات في محيط العمل، والتي قد تتصل بأدواته ووسائله ومواضيعه ومواده وبالعاملين وبالموجودات وبيئة العمل، حيث تنفذ أعمال الصيانة. إن إهمال

الوقايـــة مـــن الأخطار المحتملة، والإهمال أو العجز في معالجة الأخطار القائمة، قد يؤدي إلى الإضرار بكل من الإنسان والموجودات في مكان ومحيط العمل وبيئته، مما يفضي إلى خسائر قد تصل إلى حد الكوارث.

إن المتطلـــبات الثلاثة السابقة تبدو ضرورية لكل العاملين، إذ تمس جوهر عملهم جميعاً.

4- **المقدرة الإدارية**. وهي مطلب يمس كل القوى العاملة في مجال الإدارة والقيادة عـــلى جمـــيع المستويات، بمن فيهم المهندسين والمشرفين، على اختلاف مواقعهم، والذين يمارسون الإدارة الفنية الهندسية في مجال الصيانة التي تحتاج، كنشاط هادف، إلى تنفـــيذ أعمالهـــا وفعالـــياتها حسب الأهداف المحددة والخصائص المطلوبة. إن المتطلـــبات الإدارية تعني المقدرة على المواءمة بين الموارد المتاحة لتحقيق الأهداف المرســـومة الفنية والاقتصادية والوقائية والزمنية وسط اعتبارات إنسانية موضوعية وتشريعات وقوانين وإمكانات مالية.

5- **المعـــرفة والممارســـة المعلوماتية**. لقد أصبحت المعلوماتية لغة العصر وإحدى أدوات الـــتقدم والـــتطور وخاصة في المجال الهندسي، بما فيه الصيانة، ولهذا تحتاج الصـــيانة إلى نظـــام معلومات، كما تحتاج إلى استخدام الحاسوب في معالجة تلك المعطـــيات. ويحتاج استخدام برمجيات نظام إدارة الصيانة المؤتمتة (computerized Maintenance Mangement system) إلى كـــم كـــبير وشـــامل مـــن البيانات والمعطـــيات والمعلومات، وإلى معالجة سريعة من أجل التنفيذ واتخاذ القرارات الآنية اللازمة.

6- **المهـــارة اللغويـــة**. تساعد اللغة، كوسيلة للتفاهم والتواصل وبلورة كل من المفاهيم وقواعد العمل وتعليمات الأداء وأساليب الإنتفاع، في التعرف على محتوى ومضـــمون النشرات والكتيبات الفنية، والتعريف بقواعد العمل وتعليمات الصيانة

وأســـاليب الأداء، ولهـــذا فهي تحتل أهمية بالغة في ظروف النقل الواسع والمستمر للتكنولوجـــيا الحديثة وضرورة استيعابها بسرعة والانتفاع الكافي منها، مما يشير إلى ضرورة إجادة لغة أجنبية واحدة حية أو أكثر.

§ تاسعاً) أهمية الصيانة الوقائية.

إن الأهمية الاقتصادية والفنية يمكن تلخيصها بمايلي:

إن مشـــكلة الـــتوقفات المفاجئة وغير المخططة، تعتبر في مقدمة مشكلات العمل والإنتاج في الصناعة، والسبيل إلى تجنب ذلك هو العناية بالآلات والمعدات ومباني المنشأة بصورة مسبقة وقبل أن تحدث الأعطال المفاجئة أو الانهيارات غير المتوقعة، وهذا ما يعبر عنه بالصيانة الوقائية. وللحفاظ على المنشأة ووقايتها من التلف يجب أن تكون هذه الصيانة مخططة ودورية حتى يمكن الاستمرار بالعمل والإنتاج.

وتـــبرز أهمية الصيانة الوقائية وتزداد قيمتها في ظروف استخدام منجزات الـــتقدم العـــلمي والتقني، إذ أن الآلات الحديثة المعقدة والمتطورة تحتاج إلى عناية خاصـــة وإلى صيانة دقيقة ومنتظمة، وقد دلت الإحصائيات التي أجريت على عدد المنشآت والشركات الصناعية المتطورة على **زيادة نسبة عمال الصيانة بالمقارنة مع عمـــال الإنـــتاج**، وهـــذا دليل على زيادة الاهتمام بالصيانة والوقوف على مدى أهميتها ولزومها للمحافظة على الاستثمارات والمعدات والآلات والمباني، ولضمان حســـن واســـتمرار تشـــغيلها أطـــول فترة ممكنة، وبأقل قدر ممكن من الأضرار والتكاليف.

كما دلت الإحصائيات على **أن تطبيق برامج الصيانة الوقائية قد أدى إلى:**

1- استمرار الإنتاج بأدنى حد من التوقفات وتخفيض نسبة التوقفات .

2- خفض الاستهلاك للقطع التبديلية والمواد واللوازم الأساسية والمساعدة والوقود والطاقة .

3- زيادة العمر الإنتاجي للآلات والمعدات .

4- خفض تكلفة الإصلاحات بالنسبة لرأس المال المستثمر .

5- التحكم في وقت الصيانة بحيث يمكن تنفيذها وإتمامها تبعاً للخطة بدلاً من انتظار حدوث العطل أو الكسر .

6- الحصول على المنتجات والسلع بالكميات والنوعية المطلوبة .

7- التمكن من تحديد احتياجات أعمال الصيانة .

§ عاشراً) أهداف (مردود) الصيانة الوقائية.

إن الهدف من أعمال الصيانة هو الحفاظ على الاستثمارات المناسبة للمعدات وأدوات الإنتاج والمباني، وكذلك فهي ضمان للمنشأة في الحصول على الإنتاج المطلوب بصورة مستمرة دون أعطال أو توقفات فجائية، وبأقل قدر ممكن من التكلفة، مع مطابقة المنتج للمواصفات المطلوبة كماً ونوعاً. ويمكن تقسيم **أهداف الصيانة الوقائية إلى ثلاثة أهداف رئيسية وهي:**

a) هدف إنتاجي مالي ويتجلى بمايلي:

1- استمرار العمل والإنتاج، وتجنب التوقف المفاجئ للآلة وتعطلها عن الإنتاج، وكذلك تجنب توقف الآلات والمعدات في خطوط الإنتاج والذي يقع قبل أو بعد آلة ما، بسبب تعطلها، خاصة في خطوط الإنتاج المستمرة المتزامنة أو الأوتوماتيكية.

2- المحافظة على حالة الآلات وإنتاجيتها، بحيث تكون جاهزة وصالحة للعمل والإنتاج بصورة مستمرة وبالكمية المحدودة .

3- المحافظة على معدل المصروفات المادية للسلع والمنتجات أو المعيار الزمني لوحدة السلع، وكذلك معدل مصروف الآلة للطاقة أو الوقود أو المواد المساعدة (زيوت، شحوم، ...)، وهذا ينعكس على كلفة السلع والمنتجات.

4- تخفـــيض تكاليف الصيانة الوقائية بالمقارنة مع تكاليف الصيانة العلاجية، وهذا يعني خفض تكلفة استثمار رأس المال المستثمر .

5- زيادة طول الفترة الزمنية الإنتاجية للآلة التي تعمل خلالها،دون توقف للتصليح.

6- الحفاظ على مقدرة الآلة لتحقيق الجودة والنوعية المطلوبة أو المحددة للمنتج.

7- زيـــادة العمـــر الافتراضي للآلات، وبالتالي الحصول على عائد اقتصادي أكثر جدوى.

b) هدف فني يتجلى فيمايلي:

1- إمكانـــية تشـــغيل وعمل الآلة بشكل مناسب، والوصول إلى الأداء والمردود المذكـــور في مواصفات الآلات والمعدات، حسب ما هو محدد و وارد في تعليمات الشركات الصانعة .

2- إطالـــة عمر الآلة وزيادة مدة خدماتها وذلك بالحد من استهلاكها المبكر غير الطبـــيعي . فمـــثلاً: عدم تنظيف الآلة أو تزييتها أو تشحيمها أو تعييرها وضبطها بالشكل والوقت المناسب يؤدي إلى زيادة تآكل أو تهشم أو كسر بعض أجزائها.

3- الـــتحكم في فـــترة الصيانة، بحيث يمكن تنفيذها وإتمامها تبعاً للخطة بدلاً من انتظار حدوث عطل أو تلف أو كسر مما يؤدي إلى التوقف الإجباري .

4- يســـاعد وجود برنامج الصيانة الوقائية على معرفة حاجة هذا البرنامج وبشكل مسبق من قطع غيار ومواد استهلاكية وغيرها من أجل تنفيذه، وبالتالي يساعد بقية الأقســـام المعنـــية كإدارة المشتريات والمستودعات على التخطيط لطلب جميع هذه المواد لتكون جاهزة في الوقت المناسب .

c) هدف أمني صناعي ويتجلى فيمايلي :

1- تـــلافي حوادث العمل التي قد تنتج عن تعطل بعض الآلات أو أجزائها بشكل فجـــائي، والـــتي قـــد ينتج عنها إصابة بعض العاملين في المنشأة، فمثلاً إن انفجار

مـــرجل أو أنبوب بخاري، أو انقطاع حبل أو جنـــزير رافعة، أو حدوث قصر في دارة كهربائـــية أو انقطـــاع سير ناقل أو انهيار جسر أو حامل معدني أو غيره في منشـــأة، من شأنه أن يؤدي ويضر بأكثر من عامل عند وقوع الحادثة، إضافة إلى الـــتلف المـــادي بـــالموجودات وتعطل العمل والإنتاج والأثر النفسي الذي تحدثه الإصابة لدى العاملين.

2- تخفيض التلوث وتقليل الضجيج، وهي من الأسباب الداعية إلى إصابة العاملين بأمراض المهنة .

3- تحقيق ظروف تشغيل مستقرة، وبالتالي زيادة شروط ومناخ السلامة الصناعية لمواقع العمل .

§ حادي عشر) مقارنة بين كل من الصيانة العلاجية والصيانة الوقائية.

1- تعريف الصيانة ودورها في رفع الكفاءة الإنتاجية:

يمكن **تعريف الصيانة**، بأنها إصلاح التلف أو العطل الناتج عن الاستعمال، وكذلـــك الوقاية من هذا التلف أو العطل لتجنب وقوعه. كما يمكن تعريفها، بأنها العمـــل أو مجموعـــة الأعمال التي تتم بقصد الحفاظ على التجهيزات أو إصلاحها وإعادتها إلى مستوى قياس مقبول.

2- الصيانة العلاجية:

وتعـــرف الصـــيانة العلاجية بأنها إصلاح العطل أو الكسر أو التلف بعد وقوعـــه، و قـــد كان هذا النوع من الصيانة ولا يزال في العديد من المنشآت هو الشائع الاستخدام.

a) ميزاتها:

1- تصلح في حالة الآلات ذات التجهيزات السريعة الاستخدام .

2- تكلفتها أقل في المدى القريب .

b- عيوبها:

1-كثرة تعطل الآلات والتجهيزات، وبالتالي زيادة عدد وطول فترة التوقفات عن الإنتاج.

2- زيـــادة استهلاك القطع التبيدلية بل ونفاذها وبالتالي توقف الآلات عن الإنتاج لفترات أطول لحين تأمين القطع المناسبة .

3- قصر العمر الإنتاجي للآلات والمعدات وبالتالي زيادة خسائر المنشأة .

4- زيادة تكلفة الإصلاح بالنسبة لرأس المال .

5- احتمال عدم إمكانية تحقيق الخطة الإنتاجية الموضوعة وتنفيذ البرامج المقررة .

6- احتمال تعرض العاملين للخطر عند حدوث الأعطال أو الانهياراتْ الكبيرة .

3- الصيانة الوقائية:

وتعرف بأنها الصيانة التي تتم وفقاً لبرنامج زمني مخطط. وفيمايلي بعض أنشطتها:

1- الفحـــص الـــدوري للمعدات والمنشآت بقصد تحديد ومعرفة حالتها ومدى حاجتها للصيانة .

2- إعداد التقارير اللازمة ورفعها للمسؤولين عن نتائج الفحص الدوري .

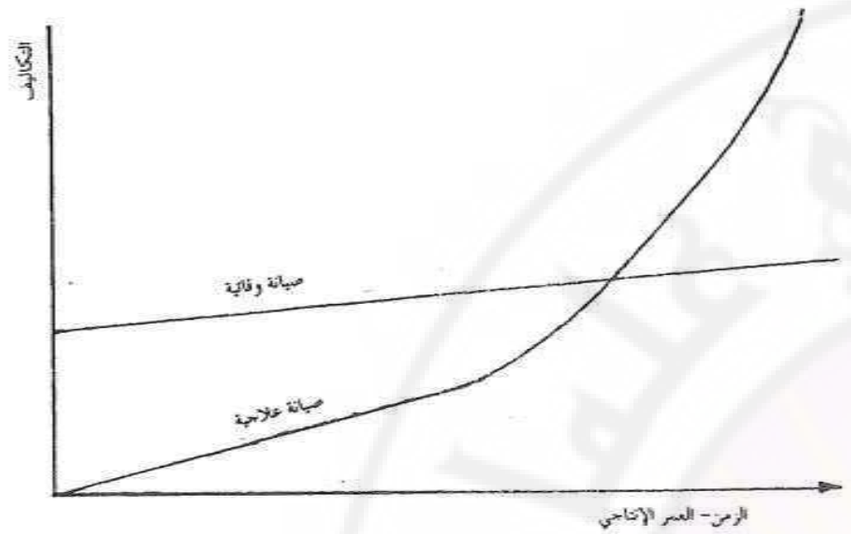
3- التأكد من إجراء عمليات التنظيف والتزييت والتشحيم كما يجب .

4- المحافظة على المعدات بحالة جيدة وسلامة العاملين عليها .

5- تأمين القطع التبديلية واللوازم بالوقت المناسب .

6- تدارك وعلاج الأعطال في مراحلها الأولى، وإعادة ضبط وتعيير الآلة وأجزائها، لتعطي الإنتاج بالكم والنوعية المطلوبين .

ويلاحظ، بالاعتماد عل ما سبق، أن كلفة صيانة الآلة وعمرها الإنتاجي هما أمران مـــتعلقان بنوع الصيانة الذي يحدث للآلة المعنية، ويمكن التعبير عن ذلك بيانياً من خلال المخطط التالي (شكل 11.3):



شكل 11.3: تأثير نوع الصيانة على كلفتها والعمر الإنتاجي للآلة.

وبسبب تسارع وتأثر التقدم العلمي، وانعكاس ذلك على الأعمال الصيانية للآلات، فقد ظهر مفهوم جديد للصيانة يمكن توضيحه بالمخطط التالي (شكل 11.4).

وفيما يلي شرح موجز لبعض المفاهيم الواردة في هذا المخطط:

I-الصيانة المخططة:

وتعرف بأنها أعمال الصيانة الضرورية التي تخضع لخطة مسبقة حتى يتم تنفيذها ومتابعتها ووجود سجلات لها، ويمكن أن تكون وقائية أو علاجية:

1-الصيانة الوقائية المخططة: وتعرف بأنها أعمال الصيانة التي تتم بغرض وقاية التجهيزات من الكسر أو التوقف، وتشمل الإصلاحات العادية والتوقفات الاختيارية للصيانة.

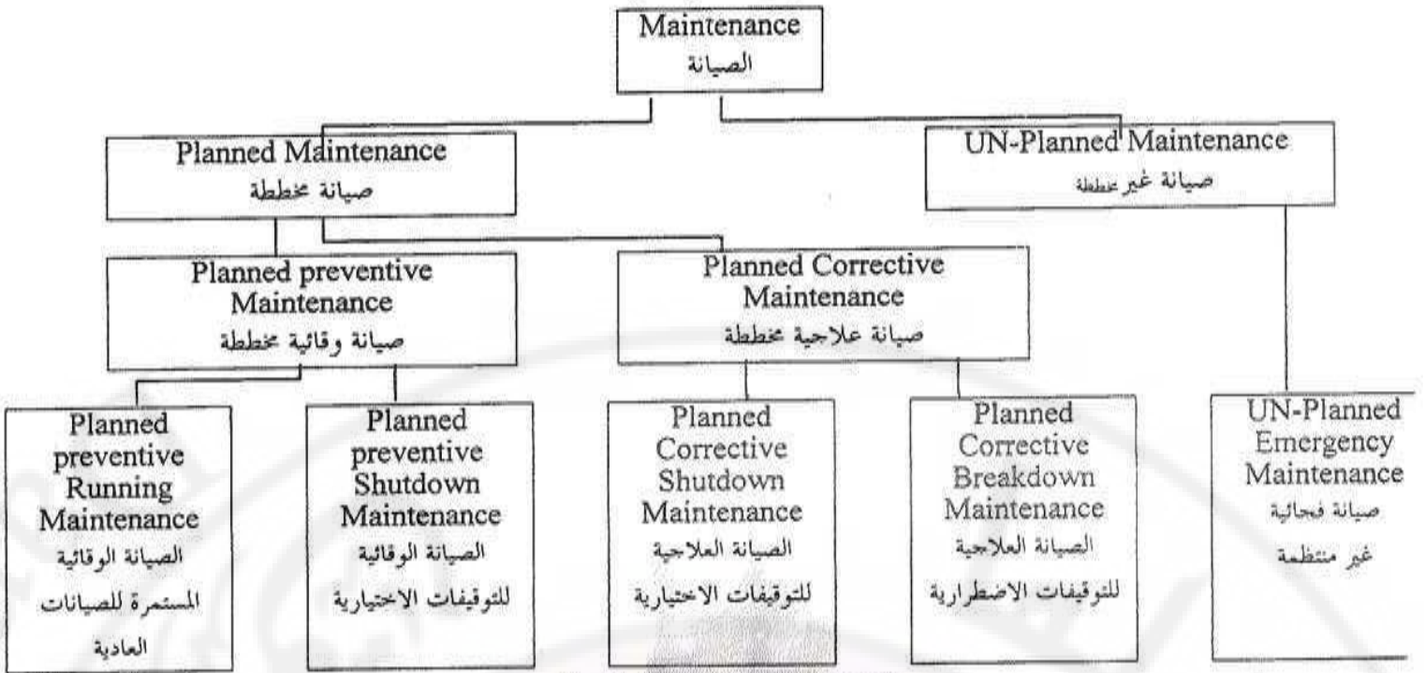
2-الصيانة العلاجية المخططة: وتعرف بأنها أعمال الصيانة التي تتم بعد التوقف أو الكسر وتشمل التوقفات الاختيارية والتوقفات الاضطرارية.

*** التوقفات الاختيارية للصيانة:**

وتعرف بأنها أعمال الصيانة التي يتم فيها إيقاف الآلات عن العمل اختيارياً.

Classification of Maintenance

تصنيف أعمال الصيانة



الشكل 11.4: تطور مفهوم الصيانة.

* التوقفات الاضطرارية للصيانة:

وتعرف بأنها أعمال الصيانة التي تتم بعد توقف الآلات عن العمل اضطرارياً بسبب حدوث عطب أو كسر فيها، ويمكن تسميتها (إصلاح الأعطال الطارئة المتوقعة).

II- الصيانة الفجائية غير المخططة:

وتعرف بأنها الصيانة الفجائية التي لم يتم توقع حدوثها و لم تدرج بالبرنامج الزمني لأعمال الصيانة، ويمكن تسميتها (أعمال إصلاح الأعطال الطارئة غير المتوقعة).

III- العلاقة بين تكاليف الصيانة الوقائية وتكاليف الصيانة الإصلاحية:

لفهم العلاقة بين تكاليف الصيانة الوقائية وتكاليف الصيانة الإصلاحية نستعين بالشكل (11.5) الذي يوضح علاقة التكلفة مع حجم أعمال الصيانة فبالنسبة للصيانة الإصلاحية يظهر جلياً من الشكل وجود علاقة عكسية بين تكلف الصيانة الإصلاحية وحجم أعمال الصيانة، وهذا يفسر بأن تكاليف الاستثمار في أدوات ومعدات الصيانة إذا لم يقابلها توسع في حجم أعمال الصيانة فإن هذ التكلفة تكون مرتفعة، والعكس صحيح بمعنى أن هذه التكلفة تبدأ بالانخفاض مع توسع حجم أعمال الصيانة.

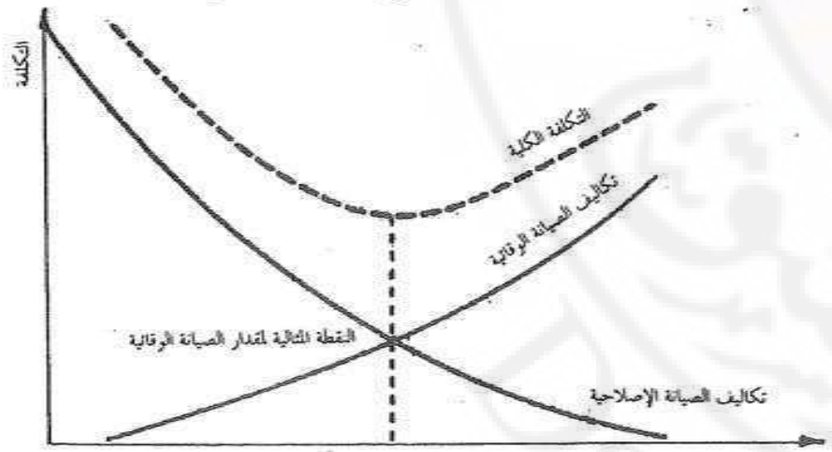
أما بالنسبة للصيانة الوقائية فواضح أيضاً من الشكل (11.5)، أنه مع زياد حجم أعمال الصيانة تزداد التكاليف، أي أنه توجد علاقة طردية بين الاثنين.

ومن الجدير بالذكر أنه إذا اتضح للمؤسسة الإنتاجية أن تكاليف الصيان الإصلاحية تزيد عن الفائدة التي يمكن تحقيقها نتيجة لهذه المعالجة، فإنه من الأفضل للمؤسسة التخلص من مثل هذا النوع من المعدات التي تكون فيها الصيان الإصلاحية غير مجدية، وذلك بطريقة مناسبة سواءً كان ذلك بالبيع أم خلافه.

بعد أن فهمنا العلاقة بين حجم أعمال الصيانة وتكلفة كل نوع من أنواع الصيانة على حدة، يمكننا الآن أن نستنتج أنه كلما تم تخصيص مبالغ أكبر وعدد أكبر من الفنيين المناط بهم تنفيذ أعمال الصيانة الوقائية، فإن ذلك يؤدي إلى تخفيض

تكاليف الصيانة الإصلاحية بسبب الانخفاض الملحوظ الذي يحدث في عدد حالات الأعطـــال. ولكن بالنسبة للتكلفة الكلية كما هو واضح من الشكل (11.5)، فإن مـــنحني التكلفة يستمر في الانخفاض مع التوسع في حجم الصيانة الوقائية إلى نقطة معيـــنة تمـــثل أدنى تكلفة كلية وتسمى النقطة المثالية (Optimum Point) لسياسة الصـــيانة التي يمكن للمؤسسة الإنتاجية إتباعها. ولكن بعد هذه النقطة المثالية تبدأ الـــتكلفة الكلية في الارتفاع مرة أخرى، وهذا يعني أن الانخفاض في تكلفة الصيانة الإصلاحية سيكون أقل من الزيادة في تكاليف الصيانة الوقائية. وفي مثل هذه الحالة الأخـــيرة، قـــد يكـــون مـــن الأفضل للمؤسسة الإنتاجية تحمل تكاليف الصيانة الإصلاحية لمعالجة الأعطال الناشئة عن عدم التوسع في تكاليف الصيانة الوقائية.

وخلاصـــة القول إنه على المؤسسة الإنتاجية المقارنة بين تكاليف الصيانة والصـــيانة الإصـــلاحية مـــن أجل اختيار سياسة الصيانة المناسبة التي تكون بأقل التكالـــيف، وغالباً فإن أفضل سياسة هي التي تحقق التوازن بين نوعي الصيانة، مع ملاحظـــة أنـــه توجد عدة عوامل هي التي تحدد المدى الذي يمكن الذهاب إليه في تطبـــيق بـــرنامج الصيانة الوقائية، وذلك مثل عمر وحالة الآلات والمعدات المراد صيانتها ومستوى التقنية المستخدمة فيها ونوع عمليات الإنتاج وغيرها من عوامل.



الشكل 11.5: العلاقة بين تكاليف الصيانة الوقائية وتكاليف الصيانة الإصلاحية.

المبحث الثاني عشر

مبادئ تخطيط الصيانة الوقائية الدورية

A) مقدمة :

تعتبر شدة الاستفادة من الموارد العملية التي تتجلى بالدرجة الأولى بالاستغلال الأقصى لزمن عمل الآلات، إحدى أهم أسس التشغيل الأمثل للمصانع والمنشآت القائمة، ويتحقق **تشديد الاستفادة من زمن عمل الآلات عن طريق استمرارية عملها، وهذا يعني بالتالي تقليص الضياعات الزمنية إلى الحد الأدنى.** ومن المعروف أن الضياعات الزمنية تنتج عن أسباب كثيرة ويأتي في مقدمتها التوقعات المفاجئة غير المخططة للآلات والمعدات بسبب الأعطال والحوادث المختلفة، ولهذا يبرز دور الصيانة الوقائية كعامل مساعد يؤدي إلى تحقيق الاستفادة شبه الكاملة من زمن العمل، خاصة وأن واقع العمل في مصانعنا يفصح عن أسباب تدني الإنتاج، وهو يرجع في جزء كبير منه إلى التوقفات المفاجئة غير المخططة الناتجة عن حدوث أعطال الآلات والمعدات، وبالإضافة إلى ذلك، فإن تزويد الكثير من مصانعنا بالتجهيزات الفنية المتقدمة إنما يتطلب خدمة على المستوى نفسه حتى يمكن ضمان استمرارية عملها وفعالية استثمار رؤوس الأموال فيها. ولهذا فإن معالجة موضوع تخطيط وبرمجة الصيانة الوقائية وإجراءاتها تعتبر من الأهمية بمكان .

B) مفهوم الصيانة الوقائية الدورية وخصائصها وأهدافها:

عرّفنا سابقاً **الصيانة بأنها العمل** أو مجموعة الأعمال التي تتم بقصد الحفاظ أو إصلاح آلة الإنتاج، أو جزء أو مجموعة أجزاء منها أو إعادتها إلى حالتها الأولية، أو ما يشابه ذلك. وأشرنا أيضاً إلى أن الصيانة قد تكون مخططة وقد تكون غير

مخططـــة، وتتخذ صفة العلاج (أو ما يسمى بالإصلاح)، والذي يتم بعد حدوث العطـــل المفاجـــئ. **والصـــيانة الوقائية هي مجموع الأعمال** التي تتم بغرض وقاية الأجـــزاء والآلات من الكسر والتوقف. وتتم التوقفات هنا بصورة اختيارية، تبعاً لـــبرنامج زمـــني يحدد مسبقاً، وهي بهذا تتخذ طابع الانتظام في التكرار سواءً كان مستمراً أم دورياً.

وقلنا بأن **الصيانة العلاجية هي عبارة عن مجموعة الأعمال** التي تجري بعدما يحدث عطـــل أو كسر مفاجئ، ولهذا فالتوقف هنا اضطراري ومفاجئ (إجباري)، وغير مخطط ولا مبرمج، وبالتالي فهي تتم بصورة آنية.

بالاعـــتماد على ذلك، يمكن القول إن الصيانة الوقائية قد تتم دون توقف كامل للآلة، وقد تتطلب توقفاً كاملاً، وهذا يتوقف على نوع الصيانة، أما الصيانة العلاجية فهي تتبع توقفاً كاملاً للآلة.

تضم الصيانة الوقائية كلاً من الكشف الدوري المستمر، والذي يكون عادة يومياً ويتحدد لفترات قصيرة نسبياً كالأسبوع مثلاً. ثم هناك الصيانة الوقائية البسيطة أو المتوسطة أو الكبيرة والتي تسمى **بالعمرة الكاملة أو العمومية**[1] وكلها تتخذ صفة الدورية، أي تتكرر حسب الحاجة إليها وحسب النظام المتبع في المنشأة.

C) أسس تخطيط الصيانة الوقائية الدورية:

تحتاج الصيانة الوقائية الدورية باعتبارها مجموعة من العمليات والإجراءات إلى تخطـــيط كأي نشاط مادي أو خدمي. ففي كثير من الأحيان، لا يمكن القيام بالصيانة الدورية الوقائية أو إجراء الإصلاحات(الصيانة العلاجية)، بسبب النقص في

1-العمرة (overhaul recondition rebuild) : هي عبارة عن أعمال الصيانة الكاملة، حيث يتم الفحص الدقيق والاختبار والترميم للآلة أو لجزء كبير منها، واسترجاعها لحالتها التشغيلية بمواصفات مقبولة.

المواد اللازمة وقطع الغيار أو لعدم توفر الكوادر اللازمة نوعياً أو كمياً، أو لأسباب أخـــرى، مما ينتج عنه عدم القيام بالإصلاحات الضرورية، أو إهمال القيام بالصيانة الوقائـــية أو عدم المقدرة على التخلص من الأعطال المفاجئة، وينتج عن هذا تعطل للإنتاج وضياع في زمن العمل. ولهذا **فإن تخطيط الصيانة يعتبر مسألة حيوية** ينبغي حـــلها وتحديد الإجراءات اللازمة لها ووضعها موضع التطبيق، وذلك لأنها الركيزة الأساســـية للقـــيام بعملية الصيانة حتى عند التنظيم الجيد ومع توفر الإدارة الفعالة. والتخطـــيط يعـــني كما هو معروف: تحديد الاحتياجات اللازمة لتحقيق أهداف محددة خلال فترة زمنية محددة.

ولهـــذا فمـــن الضـــروري **تقدير الاحتياجات المادية والبشرية والعملية** اللازمـــة أولاً، ومـــن ثم **تحديد خطة العمل والوقت الملائم للقيام بكل الأعمال المطلوبـــة**. وهذا ما ينطبق تماماً على الصيانة الوقائية الدورية، ويعني وضع خطتها وبرنامج التنفيذ اللازم (برمجته)، والذي يمكن أن يكون سنوياً أو لأجزاء من السنة (كنصف السنة أو ربعها أو لأسبوع أو ليوم واحد).

§ 1- تقدير الاحتياجات المادية للصيانة الوقائية الدورية:

يقصـــد **بالاحتـــياجات المادية للصيانة الوقائية**، تلك المواد اللازمة لتنفيذ مختـــلف الأعمـــال المتعلقة بها، ويبرز في مقدمتها قطع الغيار والأدوات القياسية ثم المـــواد المســـاعدة الأخرى، من زيوت وشحوم. وتقدير الحاجة إلى المواد يجب أن يشمل الكم إلى جانب النوع كمايلي:

* **الـــتقدير النوعي**: يتم تقدير الحاجة إلى أنواع المواد وقطع الغيار بناءً على أنواع أعمال الصيانة المختلفة والتعليمات المحددة في كل منها.
* **التقدير الكمي**: يتم التقدير الكمي للاحتياجات المادية بناءً على مايلي :

a-عـــدد مـــرات الصيانة الدورية بأنواعها المختلفة، ويدخل ضمن ذلك مثلاً عدد مرات تغيير الزيت أو الشحم بين كل صيانتين دوريتين.

b-مقـــدار الاســـتهلاك في المـــرة الواحدة، وهذا يتبع خصائص الآلة واستطاعتها وسعتها وسلوكها أثناء التشغيل.

ويفيد هذا في تحديد كميات الزيوت والشحوم والمواد الأخرى اللازمة.

c- فـــترة خدمـــة قطـــع الغيار (القطع التبديلية) مقدراً بساعات العمل الفعلية ثم الاسمية، وهذه تتحدد على شكل فترات زمنية، والأمر ينطبق كذلك بالنسبة لفترة الاستخدام للمواد الأخرى من زيوت وشحوم ومواد أخرى.

وعـــند التحديد الكمي للاحتياجات المادية لابد من تقدير ما يسمى **بالحد الأدنى**، والـــذي يمثل مستوى إعادة الطلب ثم تحديد **الحد الأعلى**، وكذلك تقدير **الحاجة الســـنوية**. ومن الضروري الإشارة إلى أن تحديد ذلك يتم بطرائق عديدة تبعاً لنوع المادة ودرجة استهلاكها وخاصة بالنسبة لقطع الغيار.

وسنورد هنا إحدى الطرائق المستعملة في تقدير الحاجة إلى قطع الغيار كمايلي :

1- الحد الأدنى (مستوى إعادة الطلب) K_{min}:

يحســـب الحد الأدنى لاحتياطي القطع التبديلية (أو مستوى إعادة الطلب) استناداً إلى حاجة الآلة خلال مدة معينة، وهي عادة مدة صنع كمية من هذه القطع أو المـــدة اللازمة للحصول على هذه القطع من خارج المنشأة، وتتحدد كمية الحد الأدنى حسب العلاقة التالية:

$$K_{min} = \frac{t_m + K_m}{n}, \qquad (12.1)$$

t_m : الفترة اللازمة لتصنيع القطع أو لإحضارها (شراءً أو استيراداً) مقدرة بالأيام.

K_m : الكمية التي تستهلك من هذه القطع في الشهر الواحد.

n: عدد أيام الشهر.

فمـــثلاً، إذا وجد في قسم ما عشر آلات من النوع نفسه وتحتاج كل آلة إلى القطع (a) والتي تبلغ مدة خدمتها ثلاثة أشهر. وفي كل آلة توجد ستة قطع، فيكون الحد الأدنى الضروري وجوده في المستودع من القطعة (a) كمايلي:

حاجة آلات القسم من القطعة المطلوبة في الشهر الواحد هي :

$$10 \times 6/3 = 20 \text{Piece}$$

ومنه يكون:

$$K_{min} = \frac{3 \times 30 \times 20}{30} = 60 \text{ Piece}$$

وهو الحد الأدنى المطلوب.

2- تقدير الحد الأعلى، K_{max}:

يحســـب الحـــد الأعلى لاحتياطي القطع التبديلية استناداً إلى الحد الأدنى، ويكـــون ذلـــك عـــن طريق زيادة كمية هذه القطع بمقدار 3 إلى 4 مرات الحاجة الشـــهرية لهذه القطع. وعلى هذا، يبلغ الحد الأعلى لوجود القطع التبديلية من نوع معين في المستودع كمايلي :

$$K_{max} = K_{min} + 4K_m, \qquad (12.2)$$

وبتطبـــيق معطيات المثال السابق، فإننا نجد أن الحد الأعلى من قطع الغيار المطلوبة هو:

$$K_{max} = 60 + 4 \times 20 = 140 \text{ Piece}$$

3- تقدير الحاجة السنوية، K_y :

يمكن حساب الحاجة السنوية لكل نوع من القطع التبديلية حسب العلاقة التالية:

$$K_y = \frac{N \times B \times H(1+R_e)}{T_c}, \qquad (12.3)$$

حيث : N: عدد أشهر السنة.

B: كمية القطع من النوع المعني الموجود في الآلة الواحدة.

H: عدد الآلات التي تحتاج لهذا النوع من القطع التبديلية.

T_e: فترة الخدمة المضمونة لهذه القطع (شهر أو يوم).

R_e: عامل الاحتياط للطوارئ ويتراوح بين 0,3-0,5

وبالاستناد على معطيات المثال السابق وباعتبار أن عامل الاحتياط يساوي 0,5: فتكون كمية قطع الغيار السنوية:

$$K_y = \frac{12 \times 6 \times 10(1+0,5)}{3} = 260 \quad \text{Piece}$$

إن موضوع تنظيم وإدارة المخزون من المواد والقطع التبديلية له خصوصياته. إلا أن المهم هو الإشارة إلى أن ضمان نجاح عملية الصيانة إنما يستند إلى توفير المواد وقطع الغيار اللازمة من الأنواع المطلوبة وبالكميات المناسبة وفي الزمن والمواعيد المحددة.

§ 2- تقدير الحاجة من القوى العاملة اللازمة للصيانة الوقائية الدورية:

عند تقدير عدد العاملين الذين تحتاجهم الصيانة الوقائية الدورية، فإنه لابد من التقدير النوعي والتحديد الكمي، تماماً كما هو الحال عند تحديد الاحتياجات المادية:

* التقدير النوعي للعاملين في الصيانة، ويتم حسب نوع الأعمال والمهن المطلوبة للقيام بالصيانة الدورية الوقائية والعلاجية على حد سواء.
* التقدير الكمي للعاملين بالصيانة.

يتم تحديد حجم القوى العاملة في الصيانة الدورية على أساس العلاقة مع شكل تنظيم الصيانة وحجم أعمالها. ومن الضروري الإشارة هنا إلى أنه يجب الفصل بين الكادر الذي يقوم بأعمال الصيانة الوقائية الدورية والصيانة العلاجية حتى وإن كانت هناك صعوبة في تحقيق ذلك، إلا أننا نجد أن كادر الصيانة يقوم

عـــادة بكل من العملين. ومن الصعب تحديد حجم القوى العاملة في الصيانة على أســـاس حجم أعمال الصيانة العلاجية، إذ أن أعمال الصيانة في هذه الحالة بالذات تدخل ضمن الأعمال غير النمطية، وإن كانت تجري أعمال لتصنيفها وبالتالي قياس الأزمان المستهلكة لإجرائها.

يتم **تقدير عدد العاملين في الصيانة الوقائية الدورية بطريقين اثنين: أولهما** مباشر وذلـــك حسب حجم أعمال الصيانة، والثاني نسبي بالقياس إلى عدد عمال الإنتاج الأساسي أو إلى حجم الأصول الثابتة.

a- حسب حجم أعمال الصيانة:

عندما يتحدد الزمن المعياري لأعمال الصيانة المختلفة عندها يمكن تقدير حجـــم العمالة اللازمة لذلك خلال فترة زمنية محددة. وهنا **توجد حالتان لحساب ذلك:**

1-في حالة حساب حجم العمالة اللازمة للقيام بنوع معين من الصيانة الدورية:

يجـــب حســـاب متوسط ساعات العمل اليومية لعامل الصيانة على أن يؤخذ بعين الاعتبار عامل الغياب المخطط، وعندئذ يتم قسمة حجم ساعات الصيانة على كل مـــن عدد أيام الفترة المخططة للصيانة ومتوسط زمن العمل اليومي لعامل الصيانة على أساس وردية واحدة.

فإذا كان حجم أعمال الصيانة الدورية المتوسط لآلة ما هو (210) ساعات وكانت الفترة المخططة لإجراء الصيانة هي أسبوع واحد (6) أيام، وكان متوسط ساعات العمـــل الـــيومي للعامل هو (7) ساعات، عندئذ يكون العدد اللازم للقيام بأعمال الصيانة هو:

$$\frac{210}{7\times 6} = 5 \text{ Worker}$$

وعندما يؤخذ عامل الغياب غير المخطط بالاعتبار، عندئذ فإن حجم العمالة يزداد، ويتوقف ذلك على نسبة الغياب غير المخطط.

2- في حالة تقدير حجم العمل السنوي لأعمال الصيانة:

هـنا يجب حساب ساعات العمل السنوية لعمل العامل الواحد، على أن تؤخذ العطل الرسمية والأعياد والإجازات بأنواعها، أي يجب تحديد الغياب المخطط وكذلك الغياب غير المخطط. وبقسمة حجم ساعات الصيانة السنوية على ساعات العمـل السـنوي لعامل الصيانة الواحد، عندها نحصل على العدد الكلي المطلوب لعمال الصيانة.

وفي كلتا الحالتين السابقتين تحتسب نسبة الانتفاع من وقت عامل الصيانة هي 75% ، هذا يزيد من عدد العمال اللازمين للقيام بأعمال الصيانة.

b- التقدير النسبي ويتم كمايلي :

1-بالنسبة لعدد عمال الإنتاج الأساسي (العمال المباشرون):

تتحدد الحاجة إلى القوى العاملة الأساسية بناءً على أسس ومبادئ معروفة، وعـند ذلك يمكن تقدير حجم العمالة اللازمة للقيام بالأعمال المختلفة الأخرى في المصنع منسوباً إلى عدد العمال المباشرين، ويدخل في ذلك العمال اللازمين للصيانة الدوريـة الوقائـية. لذلك، يجب أن تؤخذ بالاعتبار خصوصيات العمل والإنتاج، وعـلى ضـوء ذلك يمكن إجراء الدراسات لتحديد القوى العاملة اللازمة لصيانة المصانع المتشابهة في القطاعات المختلفة.

2-بالنسبة للأصول الإنتاجية الثابتة:

مـن المعـروف أن الأصول الإنتاجية الثابتة بما تحويه من آلات ومعدات وتجهـيزات، تعتبر الوسيلة الرئيسية لتحقيق العملية الإنتاجية، وهي التي تحتاج إلى الصـيانة والعـناية الدورية، لهذا هناك من يرى أن حجمها المتمثل بقيمتها المادية

يصـــلح أن يكون مؤشراً يتحدد على أساسه حجم القوى العاملة اللازمة لخدمتها. ومـــن الضروري عند ذلك إجراء التقدير للمصانع المتشابهة في القطاعات المختلفة، وتحديد النسب المئوية التي تربط بين مقدار تلك الأصول وبين حجم العمالة اللازمة للصيانة.

ويجـــب الحـــذر عند اتباع تقدير العمالة اللازمة للصيانة عن هذا الطريق، بسبب اختلاف نسبة قيمة الأصول الإنتاجية الثابتة من صناعة إلى أخرى، وكذلك فـــإن الاعـــتماد عـــلى الآلات المتقدمة أصبح شائعاً في المصانع الحديثة. كما أن موضـــوع التخصص الضيق في الإنتاج أصبح مهماً. كل هذه الاعتبارات يجب أن تؤخذ بالحسبان عند إجراء الحسابات التخصصية اللازمة.

§ 3- تقدير الاحتياجات العملية اللازمة للصيانة الوقائية الدورية:

مـــن المهـــم تقدير الاحتياجات العملية اللازمة للصيانة الوقائية الدورية، ونقصـــد بذلك **تحديد حجم أعمال الصيانة، أي الزمن المعياري الخاص بها** ليس فقـــط من أجل تخطيط الصيانة كنشاط، وإنما من أجل تحديد القوى العاملة اللازمة كما رأينا، وأيضاً لتحديد كل من أجور العاملين في الصيانة وكلفة أعمال الصيانة ومقدار اهتراء الآلات والمعدات، وفوق كل ذلك يعتبر تحديد حجم أعمال الصيانة ضرورياً من أجل التوقيت الزمني اللازم للقيام بأعمال الصيانة.

يتوقف **حجم أعمال الصيانة على مايلي** :

1- الخصائص الفنية (التصميمية) والاستثمارية (الإنتاجية) للآلة.

2- درجة تعقيد صيانة الآلة.

3- عدد ساعات عمل الآلة بين صيانتين دوريتين متتاليتين.

ومـــن أجـــل قياس الزمن اللازم للقيام بأعمال الصيانة، فإنه لابد من **التفريق بين نوعين من أنواع العمل:**

1- أعمـــال نمطية متكررة، ويمكن قياسها بطرائق قياس العمل المختلفة وأيضاً عن طـــريق معـــامل أداء العمال، وعندها يمكن تحديد الأزمنة المعيارية الخاصة بها. هذا النوع من الأعمال يخص الصيانة الوقائية الدورية.

2-أعمـــال غير نمطية: وهي الأعمال التي لا تتكرر إلا بالصدفة، وعندها لا يمكن التنـــبؤ بهـــا لاكماً ولا نوعاً، وبالتالي لا يمكن تصنيفها ولا حساب الزمن المعياري الخـــاص بها، وإنما يمكن تقديرها أو قياسها عندما تحدث فعلاً، وبعدها يتم تسجيل أزمنـــتها في سجلات إحصائية بقصد حصرها ووضع احتمال حدوثها. هذا النوع من الأعمال يخص الصيانة العلاجية.

D) تحديد حجم أعمال الصيانة الوقائية الدورية:

هناك **ثلاث طرائق رئيسية** تستخدم من أجل هذا التحديد وهي كمايلي :

1-القياس المباشر: ويتم القياس المباشر بواسطة الساعة الميقاتية، حيث يحدد الزمن الـــلازم لعمليات الصيانة وأجزائها كما هو الحال تماماً عند قياس زمن العمل لأية عملـــية إنتاجـــية. ومن أجل ذلك يحدد زمن المشاهدة ويجري تقدير معامل الأداء، حيث نحصل عندها على الزمن الأساسي، وبإضافة مقدار الساعات الزمنية المناسبة نحصل على الزمن المعياري للعملية. وبوساطة هذا الطريق يتم تحديد الأزمنة المعيارية لكل نوع من أنواع الصيانة الدورية.

ومـــثل هـــذه الطريقة تستعمل من أجل التحديد الدقيق لبعض الأعمال المـــتكررة بكثرة وللتأكد من المعايير الزمنية،وأيضاً من أجل كل خطوة تستجد أو خطوة يتقرر القيام به مجدداً.

2- بواسطة تحديد وحدات تعقيد الصيانة:

تعتـــبر هـــذه الطريقة قياسية، بمعنى يتم اتخاذ آلة ما أساساً لتحديد حجم أعمال الصيانة ، ومن ثم تقارن باقي الآلات المتشابهة معها، ويتحدد على أساس

ذلك زمن أعمال الصيانة الوقائية الدورية بأنواعها.

يرتبط حجم العمل اللازم لعمليات الصيانة بالخصائص التصميمية للآلات والمعـــدات، إضافة لارتباطه بالخصائص الاستثمارية لها. وكلما كانت الآلة متعددة الأغـــراض معقـــدة التصميم وذات حجم كبير ودقة متناهية كلما ازدادت صعوبة صيانتها.

ولتحديد درجة تعقيد كل نوع من الآلات تستعمل جداول خاصة تصنف فـــيها الآلات حســـب مؤشـــرات مختلفة، وتتخذ آلة عامة كأساس للمقارنة، أما الآلات الأخرى فتتحدد درجة تعقيدها بالقياس للآلة الأساس.

وقـــد دُرســـت هذه الفقرة سابقاً بشيء من التفصيل. إلا أنه يجب إعادة الـــنظر في حجـــم الجهد اللازم للقيام بالصيانة الدورية من خلال وحدات تعقيد الصيانة وتوزيع الأعمال اللازمة للقيام بذلك مع إعادة توزيع النسب الزمنية لتلك الأعمال، وذلك نظراً لزيادة درجة المكننة.

3- بواســـطة تحديد نسبة مئوية من زمن العمل السنوي الأسمي تخصص للصيانة الوقائية الدورية.

تســـتخدم هـــذه الطريقة ليس فقط من اجل معرفة الاحتياجات العملية للصـــيانة الوقائـــية، وإنما من أجل حساب الطاقة الإنتاجية، وعندها يمكن معرفة الـــزمن الفعال الذي يستخدم من أجل تحديد مقدار الطاقة الإنتاجية، وكذلك من أجل تخطيط الإنتاج.

يتم تحديد الزمن المخصص للصيانة الدورية الوقائية كنسبة مئوية من العمل السنوي الاسمي للآلات والمعدات، **ويكون ذلك بطريقتين:**

a- الطـــريقة التقريبية: وتعتمد على الخبرة وتتعلق بعدد ورديات العمل. فمثلاً، تؤخـــذ النســـبة المئوية لآلات قطع المعادن العادية ولدى العمل بنظام الورديتين في

حدود 3% من الزمن الاسمي أما في حالة العمل بثلاث ورديات فتؤخذ 4,5 %، أما من أجل الآلات والمعدات الخاصة والتي تعمل في ثلاث ورديات، فإنها تؤخذ في حدود 10% من الزمن الاسمي لعمل تلك الآلات.

b–الطريقة الدقيقة: وتعتمد على الحسابات والإحصائيات المختلفة وعلى ظروف الإنتاج. وتأخذ هذه الطريقة بعين الاعتبار نوع العملية الإنتاجية وطبيعتها ونوع الآلات وأسلوب الإنتاج ونظام العمل وعدد الورديات، ولهذا تحسب تلك النسبة المئوية من زمن العمل الاسمي المخصص للقيام بالصيانة الوقائية الدورية للآلات والمعدات في مختلف قطاعات الصناعة وأنواعها كافة.

E) تخطيط الصيانة الوقائية الدورية زمنياً:

يعتبر تخطيط الصيانة الوقائية الدورية في المجال الزمني موضوعاً قائماً بذاته، وهو ما نعبر عنه بالبرمجة والجدولة، أي وضع البرنامج الزمني بالتوقيت المناسب، ومن أجل ذلك يجب تحديد طول دورة الصيانة وتحديد هيكلها ومن ثم جدولة أعمالها وهذه كلها لها تقنياتها.

F) أسس برمجة الصيانة لوقائية الدورية ومراحلها:

تتطلب البرمجة **تحديد مواعيد تنفيذ الأعمال وتحضير العمليات الأساسية** التالية:

1- تحديد الفترات الزمنية الفاصلة بين أنواع الصيانة المختلفة (بالساعات).

2- تحديد أزمنة البدء بكل نوع من أنواع الصيانة الدورية (بالساعات).

3- تحديد آخر صيانة دورية تمّ القيام بها.

4- تحديد أعمال الصيانة وتتابعها.

5- حساب أزمنة أعمال الصيانة بأيام العمل الفعلية، وهذا يعتمد على عدد الساعات في الوردية الواحدة وعدد ورديات العمل في الصيانة في اليوم وعدد أيام العطل الأسبوعية والأعياد والعطلات الرسمية في حالة عدم القيام بأعمال الصيانة أثنائها .

6- تحديـد تـتابع الأعمال في الجدول الزمني للصيانة الوقائية، مع ذكر الأسبوع والأعمال وأزمنتها مقدرة بأيام العمل مع ذكر التاريخ المحدد لذلك.

7- إجـراء الخطـوات السابقة للآلات الأخرى، مع إعداد الجدول الزمني اللازم للتنفيذ.

ومـن الضـروري تقرير الحالة المناسبة بالنسبة لتتابع الأعمال أو توازي بعضـها، وهذا ما يجب أن يظهره المخطط. وفي الحالة الخاصة، نلجأ إلى التخطيط الشـبكي الذي يساعدنا في تحديد المسار الحرج والطريق الأقصر المستخدم لتحقيق وإنجاز أعمال الصيانة وبشكل خاص عندما تكون كثيرة ومتشعبة.

وبصـورة عامـة، **تتضمن مراحل برمجة الصيانة الوقائية الدورية ثلاث مراحل أساسية**، حيث تتضمن كل مرحلة أعمالاً، وهذه المراحل كمايلي :

1-المـرحلة الإحصـائية، ويتم فيها جمع المعلومات عن الآلات والمعدات موضوع الصـيانة الوقائـية ومعلومـات عن المواد وقطع الغيار اللازمة والأدوات اللازمة وكذلك معلومات عن القوى العاملة في الصيانة.

2-مـرحلة فنـية (تخطيطية)، ويتم فيها تحديد البيانات الفنية عن تسلسل أعمال الصـيانة بمخـتلف أنواعها وعن الاحتياجات المادية والعملية والحاجة إلى القوى العاملة.

3-مـرحلة تنظيمـية، وتتضمن إعداد الوثائق اللازمة لتخطيط وتنفيذ الرقابة على أعمـال الصـيانة، وتضم كذلك تنظيم المخزون من المواد وإعداد برامج الصيانة المختلفة.

G) طرائق تحسين تخطيط الصيانة الدورية:

تتعلق عملية تحسين الصيانة الوقائية الدورية في الدرجة الأولى بصحة ودقة البيانات المحددة للمراحل و الاحتياجات المختلفة وبإمكانية التنفيذ حسب الزمن

المحدد. ويدخل ضمن **إجراءات أو طرائق تحسين برمجة الصيانة الوقائية، مايلي :**

1-تبسيط الوثائق المستعملة، مع الحفاظ على الغرض من إيجادها بما يتناسب وتسهيل عملية تسجيل المعلومات وترحيلها بعد إتمام عملية الصيانة.

2- برمجة خطط الصيانة، بما لا يتعارض مع خطة الإنتاج وذلك بالاعتماد على أوقات الورديات غير العاملة والعطل .

3- تقليل حجم أعمال الصيانة، وذلك بمكننة العمليات وإدخال الوسائل الحديثة في التنفيذ دون التوقف عن العمل .

4- استبدال المجموعات (بمجمعات الأجزاء) بكاملها بأخرى جاهزة (الطريقة التبادلية) وهذا يفيد في تقصير زمن الصيانة .

5- استغلال أدوات ومعدات الصيانة بشكل كامل ما أمكن ذلك، سواء في أعمال الخدمة أو إنتاج قطع الغيار .

6- مضاعفة ورديات عمل العاملين في الصيانة .

7- تقليص توقف الآلات، وذلك بالعمل على إنجاز أعمال الصيانة خارج أوقات العمل .

8- التحفيز المناسب للعاملين في الصيانة، بما يتناسب مع تحقيق جودة أعمال الصيانة وتقليل المصروفات على الصيانة والإنجاز في الوقت المناسب أو المبكر.

H) الخاتمة:

بما أن التوقفات الفجائية في زمن العمل، تحدث تأثيراً سلبياً مباشراً على الإنتاج فإن الحاجة تدعو بشكل جدي إلى منع الأسباب المؤدية إلى مثل تلك التوقفات، وما تخطيط الصيانة الدورية الوقائية مادياً وزمنياً إلا واحدٌ من أهم الإجراءات الفعالة في هذا السبيل، والتي تعالج موضوعاً يعتبر مزمناً في مصانع بلادنا. ومن هنا يكتسب هذا الموضوع أهمية ويتطلب عناية خاصة ومتابعة مستمرة.

الفصل الرابع

التخطيط لصيانة المعدات والتجهيزات

والصيانة الشرطية في المنشآت الصناعية

المبحث الثالث عشر : التخطيط لصيانة المعدات والتجهيزات الصناعية

المبحث الرابع عشر : الصيانة الشرطية في المنشآت الصناعية

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المبحث الثالث عشر

التخطيط لصيانة المعدات والتجهيزات الصناعية

أولاً) المقدمة:

إن **مفهوم صيانة الآلة** بشكله البسيط هو عبارة عن مجموعة من الفعاليات المخطـــط لها مسبقاً، تنفذ أثناء عمل هذه الآلة أو بعد توقفها، مما يؤدي إلى ديمومة اســـتمرارها في العمل بشكل جيد ومردود اقتصادي مرتفع ينعكس بشكل مباشر على الطاقة الإنتاجية للخط الإنتاجي أو المصنع بكامله.

يوظـــف العديـــد من الدول النامية بما فيها الأقطار العربية وأيضاً الدول المـــتطورة صـــناعياً كل عام مبالغ طائلة من أجل تجهيز مشروعات صناعية مختلفة، وقـــد تخـــرج بعض تجهيزات تلك المشاريع من العمل لعدم العناية بها أو صيانتها بالشـــكل المطلـــوب وفي الأوقات المناسبة، الأمر الذي حدا بالباحثين إلى الاهتمام بموضوع صيانة المعدات التكنولوجية اهتماماً خاصاً.

وقد برزت أهمية الصيانة والتخطيط المسبق لها في الدول الصناعية في أواخر القرن العشرين، حيث تطورت بشكل سريع الأجهزة الخاصة بفحص المعدات أثناء العمـــل وتســـهيل حفظ المعلومات من خلال أجهزة الحاسوب الصغيرة والمحمولة، والـــتي هـــي في الأساس تعمل بمبدأ التنبؤ عن حالة المعدات الصناعية لتلافي توقفها ومن ثم توقف الخطوط الإنتاجية.

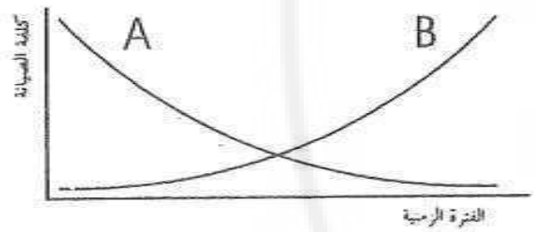
ومـــن هنا برزت **أهمية التخطيط لصيانة المعامل الإنتاجية بإتباع إحدى الفعاليات التالية:**

1- توقـــيف المصـــنع بشـــكل كـــامل لمدة شهر في السنة وتسليمه إلى شركات متخصصـــة لتنفيذ جميع فعاليات الصيانة، بما فيها تبديل قطع الغيار، وهذا[٤]

اتبعته عدة شركات أوربية وله مزايا معينة أهمها الوفرة في قطع الغيار، مما يؤدي إلى سهولة العمل إضافة إلى إمكانية تحديد الاحتياج الفعلي من قطع الغيار .

2- توقـيف المصـنع فـترات معينة ومحددة خلال السنة يتم فيها تحديد الأعمال المطلوبة وانعكاساتها على البرامج التنفيذية المعتمدة أساساً على إرشادات وتعليمات الشـركات الصانعة والمضاف إليها خبرة كوادر الشركات، حيث يتم خلال ذلك تحديد أولويات العمل، وأساليب الصيانة الممكن تنفيذها .

أصبحت الكثير من الشركات الصناعية تؤمن بأهمية الصيانة ومدى فعالية التخطيط لها، وبسبب ذلك بدأت تظهر المكاتب الهندسية المتخصصة بأنواع مختلفة مـن الصيانة مع اعتماد الأسلوب العلمي الصحيح في التخطيط لها، بقصدْ تخفيض تكاليف الصيانة (انظر الشكل 13.1).



شكل 13.1 – العلاقة بين كلفة الصيانة وفترات تطبيق برامجها وتنفيذ احتياجاتها.

يـبين هـذا المخطط وجود حالتين. يوضح المنحني A، أن كلفة تطبيق أعمـال الصـيانة وبرامجها وتنفيذ احتياجاتها تكون في البداية مرتفعة، ولكن بمرور الوقت، فإن هذه الكلفة ستنخفض، وفي الوقت نفسه تقل فترات توقفات الآلات والتجهيزات وخطوط الإنتاج في المصنع، وتكون النتيجة زيادة المردود الاقتصادي لهذا المصنع بمقادير محسوسة.

أمـــا المنحني B، فيعبر عن الحالة المعاكسة لما هو مبين في الحالة A، حيث يلاحـــظ أن كلفـــة الصيانة في بداية استثمار الآلات والتجهيزات تكون منخفضة بسمـــبب عدم تطبيق أعمال الصيانة وبرامجها واحتياجاتها، ولكن هذه الكلفة تزداد بشكل ملحوظ لاحقاً وبمرور الوقت عند استثمار هذه الآلات والتجهيزات لفترات طويلـــة، مما يؤدي إلى ظهور التوقفات المتكررة في المصنع، وهذا ينعكس على كل من الإنتاج ونوعيته.

تـــتعرض الأجهـــزة والمعدات أثناء استخدامها الطبيعي **للاهتلاك المادي والاهتلاك المعنوي**، وهما يفقدانها قيمتها الاستثمارية.

والاهـــتلاك المـــادي نوعان: أحدهما يحدث بسبب الاستخدام ونتائجه، أما الثاني فـــيحدث بغض النظر عن حدوث الاستخدام. عند الاهتلاك المادي، فإن المعدات والأجهـــزة تفقـــد صفاتها الاستثمارية الأولية، ومميزاتها الفنية، كالهبوط في المردود وفقـــدان الدقـــة والمتانة، وهذا يؤدي إلى فقدانها لقيمتها الاستثمارية، فتتحول إلى وسائل غير صالحة للاستخدام، وعندها يحتاج الأمر إلى استبدالها بوسائل جديدة.

أمـــا الاهـــتلاك المعـــنوي فهو نوعان أيضاً: الأول يؤدي إلى تدني قيمة المعـــدات بســـبب تناقص الجهد الضروري اللازم لإنتاج الجديد منها في الفروع المنتجة لها، وهذا يحصل نتيجة للتقدم العلمي والتقني مما يؤدي إلى إعادة تقييم هذه المعـــدات. والثاني يحدث نتيجة صنع آلات معاصرة أعلى إنتاجية وأكثر تطوراً من الآلات القديمة مما يسبب تدني الآلات الأكثر قدماً.

للقضـــاء عـــلى الاهـــتلاك المعنوي وإبطال نتائجه تجدد صنوف المعدات الحالـــية، أي يـــتم إدخال تعديلات في تركيب الأجهزة والمعدات لرفع إنتاجيتها ومميزاتها التقنية.

أمـــا من أجل القضاء على الاهتلاك المادي للمعدات والأجهزة والاحتفاظ بها في حالة صالحة للاستعمال، فيتطلب دائماً إجراء خدمة فنية دورية جيدة وصيانة عالية الجودة في أوقات مناسبة.

والغرض من هذه الصيانة لا يكمن في استعادة إنتاجية الآلة ولا في استعادة دقتها الأصلية فحسب، بل وفي تحقيق التشغيل الطويل الأمد وبلا توقف لها.

ثانياً) أساليب الصيانة:

كـــثرت في الآونـــة الأخـــيرة الاجـــتهادات والتسميات عند البحث في الأســـاليب المســـتخدمة لصيانة الآلات والتجهيزات، وقد لاحظنا ذلك في بحث ســـابق. ويمكـــن (مـــن منطلق زيادة المعارف لدى الطالب) إدراج التقسيم التالي لأســـاليب الصيانة الرئيسية والفرعية، المنفردة والمجتمعة، التي يمكن أن تعتمد في أي مصنع أو مؤسسة إنتاجية:

* **الصيانة الإصلاحية**، ويمكن تقسيمها إلى:
  - صيانة العمل حتى العطل (أو الصيانة العلاجية).
  - الصيانة الطارئة.
  - صيانة اغتنام الفرص.
* **الصيانة الوقائية**، وتقسم إلى ثلاثة أنواع:
  - الصيانة ذات الزمن المحدد.
  - الصيانة الشرطية.
  - الصيانة المعتمدة على الوثوقية.
* **الصيانة التصميمية**؛
* **الصيانة التطويرية**، وهي تهدف إلى:
  - التطوير بغية اختصار الزمن الأساسي والتحضيري.

- التطوير بغية توسيع الإمكانيات التكنولوجية.
- التطوير بغية مكننة وأتمتة عمليات التشغيل.
- الـتطوير بغية زيادة العمر التشغيلي للآلات وجعل ظروف العمل أكثر أماناً.

تعتبر الأعمال التي يمكن إجراؤها قبل حدوث العطل وقائية، أما تلك التي تجري بعد حدوث العطل فتعتبر إصلاحية.

تعرَّف الصيانة الإصلاحية بأنها مجموعة الإجراءات التقنية التي تنجز لدى تعطل أو توقف الآلة أو الجهاز بغية إعادة جودة عمله وجاهزيته التامة للعمل. وقد يكـون الإجـراء التقني إصلاحاً أو تبديلاً. وفي هذا النوع من الصيانة يزداد زمن الـتوقف الذي يشمل الزمن اللازم لإصلاح الآلة أو الجهاز وزمن التأخير عن جمع المعلومـات من مصادرها. وبما أن العطل يجري حسب التوقعات وليس الحسابات، وبسبب انعدام الدقة عند اتخاذ القرارات حيال الصيانة الإصلاحية، **فلا يمكن برمجة هذه الصيانة**. أما **الصيانة الوقائية** فتعرف بأنها الخدمات الفنية والإجراءات التقنية الـتي تـنجز على الآلة أو الجهاز إثر انقضاء فترات محددة من بدء التشغيل للتغلب على الظروف التي من شأنها إعاقة عمل الآلة أو الجهاز أو توقفهما عن العمل. إذاً يتـلخص جوهر الصيانة الوقائية في تنفيذ خدمات فنية وإنجاز إجراءات تقنية على كـل آلة أو جهاز أو وحدة صناعية ضمن مخطط صياني وقائي إثر انقضاء فترات زمنية محددة.

ويعـتمد امتداد هذه الفترات على تصميم الآلات أو الوحدات الصناعية ومجال استخدامها وظروف تشغيلها. وبما أن أعمال الصيانة الوقائية قابلة للتحديد فيمكن برمجتها.

وقـبل أن نحدد أسلوب الصيانة المفضل، فإنه لابد من دراسة التقسيمات السابقة بشيء من التفصيل.

a – الصيانة ذاتُ الزمن المحدد أو الإصلاح قبل العطل:

تكون هذه السياسة فعّالة عندما تكون آلية العطل للعنصر مستقلة تماماً عن الـزمن، حيـث يكون عمر العنصر المتوقع تبديله واقعاً ضمن عمر الوحدة، حيث تكـون التكاليـف الكلـية (المباشرة وغير المباشرة) لمثل هذا التبديل أقل من تلك اللازمة لإجراء الإصلاح والتبديل بعد العطل.

يـبين الشـكل (13.2) مـبدأ التـبديل بعد زمن محدد. ويظهر الشكل (13.2,a) توزيـع احـتمالات ظهور العطل في وحدة صناعية، وهو تابع للزمن. والمشـكلة تكمن هنا، في إيجاد الفترة الزمنية التي يتم خلالها إجراء الاستبدال، التي تقلل من المجموع الكلي للأزمنة الاستبدالية وتكاليف الاستبدال.

وتستعمل المعلومات المتوفرة في الشكل (13.2,a) في حساب معدل العطل المتوقع حدوثه كتابع لفترة الاستبدال. وتتحد هذه المعلومات مع معلومات التكلفة لإعطـاء معدل التكلفة المتوقع كتابع لفترة الاستبدال (الشكل 13.2,b). وستكون هـذه السياسـة هي المفضلة فيما لو كانت ذات تكلفة أقل من تكلفة السياسات البديلة المبينة في الشكل (13.1).

يجـب أن نـأخذ عاملاً آخر بعين الاعتبار، ألا وهو تكلفة وصعوبة جمع المعلومات الإحصائية المطلوبة، التي يمكن أن نصفها ضمن **نوعين من الصعوبات:**

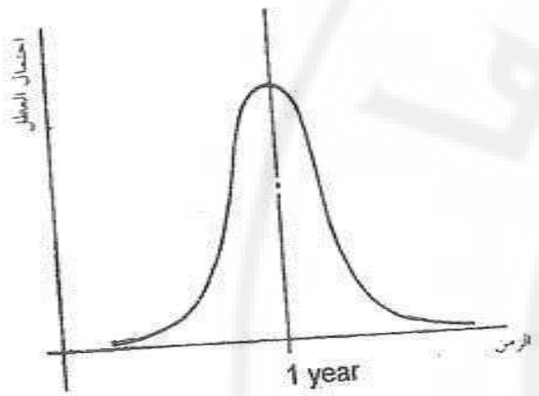
1– العامل الإنساني الفردي.

2– عامل الجهاز.

يتلخص العامل الإنساني بالمقاومة الكبيرة التي تظهر على المستويات كافة عندما يراد جمع ومعرفة المعلومات عن الأعطال. لهذا كانت المعلومات التي يجمعها

المؤلفون غير كافية، والمؤلفون يعرفون ذلك بسبب معرفتهم المسبقة بالإعداد السيئ لكادر الصيانة. ونورد هنا **بعض الأخطاء الشائعة:**

1. مـــا تزال دوافع جمع المعلومات غير كافية، وكان الكثير من هذه المعلومات غير ضروري بسبب عدم صحته .



الشكل 13.2– مبدأ الصيانة وفق الزمن المحدد.

2. عـــدم تقدير الصعوبات المتعلقة بمشاكل تحليل المعلومات، التي يمكن بواسطتها إعطاء القرار المناسب للشخص المعني في الوقت المناسب .
3. إن جمع المعلومات يتطلب جهداً كبيراً ومتطلبات كثيرة .

لذلـــك، يجـــب توخي البساطة عند جمع المعلومات، أي إننا نفضل كادراً محدوداً ومؤهلاً بجمع المعلومات الملائمة في الوقت المناسب، على كادر آخر معقد لكن لا نستطيع الثقة به تماماً.

أمـــا **عامل الجهاز** فيمكن أن يسبب عراقيل كبيرة في طريق جمع المعلومات الكافية لتحقـــيق الهـــدف. وتكـــون عملية جمع المعلومات أسرع وأكثر جدوى في تلك الصـــناعات الـــتي تحتوي على أجهزة عديدة ومتماثلة وتعمل تحت ظروف عمل متشابهة، لأنه يمكن ملاحظتها بشكل أدق.

هـــناك ســـببان رئيسان لعدم ملائمة سياسة الصيانة. ذات الزمن المحدد لحالة الوحدات الصناعية معقدة الاستبدال:

1- كـــلما تعقدت الآلة كلما كانت أقل استعداداً لإظهار نموذج العطل، الذي هو طبعاً تابع للزمن .

2- الآلات المعقـــدة ذات تكلفـــة استبدال أو إصلاح عالية ومن ثم تظهر مشاكل صيانة بارزة، حيث يستحسن اتخاذ تدابير أخرى حيالها كالصيانة الشرطية مثلاً .

b- الصيانة الشرطية:

وتعتمد هذه الطريقة على أن الزمن المناسب لإجراء الصيانة يجب أن يكون قـــابلاً للتحديد بواسطة الإنذار المبكر، أو باستخدام خصائص الانحراف المعياري. وعـــندئذٍ، يقـــل الاعتماد على التوقعات في التنبؤ بالعطل أو تلغى التوقعات نهائياً، وهذا يؤدي إلى الإقلال من تأثيرات الأعطال وإلى إطالة عمر الجهاز.

ويمكـــن أن تكـــون الصـــيانة الشرطية مكلفة بالنسبة للأدوات والزمن. وســـيعتمد تفضيل هذه السياسة على خواص الانحراف المعياري للجهاز المدروس وتكلفة هذه العملية.

فمثلاً، هناك عناصر سهلة الاستبدال كلقم المكبح التي يمكن فحصها بالعين المجردة خـــلال فـــترات قصيرة وبتكلفة قليلة. بينما يختلف الأمر في حالة الآلات معقدة الاســـتبدال كالمحـــركات، حيث يمكن أن يؤدي فكها للفحص بالعين المجردة إلى تكلفـــة ومشقة كبيرتين، ناهيك عمّا قد تسببه عملية الفك من مشاكل تؤدي إلى العطل.

ففـــي مـــثل هذه الآلات يمكن استخدام ظروف الإنذار المبكر، كالإنذار بواســـطة الاهـــتزازات والإنـــذار بواسطة نبضة الصدمة وتحليل الزيت والتخطيط الحراري والتي تكون مفيدة جداً في هذه الحالة.

ويمكـــن تـــبرير التكلفة العالية للأجهزة المستخدمة بالإصلاح عالي الجودة والاقتصاد في الأموال الضائعة بسبب انعدام السيولة الزمنية.

c- صيانة اغتنام الفرص:

اســـتعمل هذا الاصطلاح لتعريف أعمال الصيانة التي تجري بعد العطل أو خلال صيانة الزمن المحدد (Fixed time maintenance) أو خلال الصيانة الشرطية (Condition based M.) ، ولكنها تجري على بعض العناصر المهمة أكثر من تلك التي كانت السبب الأولي في إجراء الإصلاح.

وتناسب هذه السياسة الآلات صعبة الاستبدال، والتي تتأثر بتكلفة انعدام السيولة الزمنية وتكلفة التوقف عن العمل.

d- العمل حتى العطل أو الصيانة العلاجية:

مـــن المعلوم أنه لا يمكن اتخاذ ترتيبات لمنع حدوث الأعطال، ومن ثم يقع العبء الأكبر على كاهل الصيانة الإصلاحية.

ولا تحـــدث الصـــيانة الإصلاحية عند عطل الجهاز فقط، بل عندما تشير معـــايير الصيانة الشرطية إلى احتمال حدوث العطل أيضاً. والعمل الأساسي يكون بإنشاء الطريقة الأكثر اقتصادية لإعادة الجهاز للعمل ضمن شروط مقبولة.

وبالنســـبة لآلـــة ذات طبيعة استبدال معقدة، يمكن أن نختار أحد البدائل التالية للإصلاح:

1- الإصـــلاح في مكـــان العمل: فك الجهاز في موضع العمل واستبدال الأجزاء العاطلـــة عن العمل. ونلخص مساوئ هذه الطريقة في تأثيرها السيئ على السيولة الزمنية للوحدة أو للمصنع.

2- اســـتبدال كل آلة قديمة بآلة جديدة: وهذا يقلل من انعدام السيولة الزمنية، أما الآلة المستبدلة فيمكن إصلاحها وجعلها موافقة للشروط المطلوبة.

وهناك الكثير من العوامل التي تؤثر على اختيار الإصلاح أو الاستبدال، أهمها تكلفة انعدام السيولة الزمنية وزمن الإصلاح بالمقارنة مع زمن الاستبدال.

وهذه العوامل متغيرة باستمرار، وهي بالإضافة إلى كثير من مسببات الأعطال وإلى الكـــثير مـــن طـــرائق الإصلاح، تعني أن الصيانة الإصلاحية يمكن أن تزودنا فقط بخطوط عريضة عند اتخاذ القرارات.

وتعـــد هـــذه الطبـــيعة الديناميكية للمشكلة أهم مظهر من مظاهر اتخاذ القـــرارات في الصيانة التي لا يمكن إتخاذها بدون نظام للمعلومات(كما هو مبين في الشكل 13.3) متوفر للأشخاص المعنيين في الوقت المناسب.

أمـــا المعلومات التي نجمعها بالطريقة السابقة، فيمكن الاستفادة منها فقط إذا كان متخذو القرارات في مستويات عالية، ولديهم الفهم الكامل للمصنع الذي يديرونه.

e- الصيانة الطارئة (الفجائية) -- Break down maintenanee.

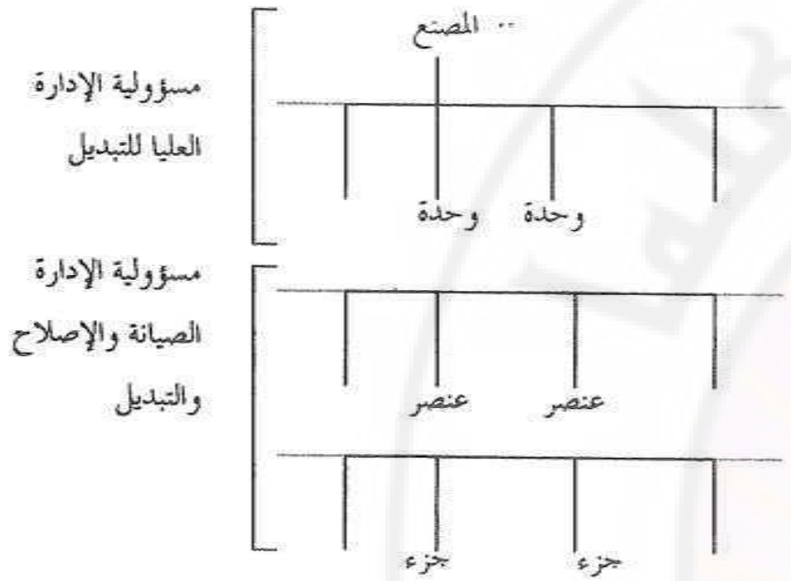
البعض يطلق على هذا النوع الصيانة العلاجية، وهي التي تتم بعد وقوع العطل وتوقف الآلة عن العمل، وهذا النوع شائع في كثير من شركات القطاع الخاص التي تعتمد مبدأ تصليح العطل في المعدات المتوقفة فقط، دون النظر إلى فحص المعدات الأخرى، مما يؤدي إلى احتمال توقف هذه المعدات بعد فترة من الزمن، وبالتالي سيؤدي إلى حدوث زيادة باهظة في التكاليف، مع عدم إمكانية تحديد فترة الصيانة، التي قد تطول في بعض الأحيان لأسباب عدة، منها عدم توافر قطع الغيار مما ينتج عنه إرباك في تنفيذ مخطط المبيعات للشركة وفقدان بعض الزبائن في كثير من الحالات.

إذن تجري عمليات الصيانة الطارئة عند إصابة الآلة أو الوحدة الصناعية بعطل مفاجئ لانكسار أحد أجزائها أو لأي سبب آخر. وقد يكبر حجم ومقدار هذا الإصلاح أو يصغر تبعاً للعواقب الحقيقية للحادث الطارئ. ويجدر التنويه بأنه في حالة التنظيم الجيد لأعمال الصيانة الوقائية المخططة واتخاذ إجراءات فعالة لمنع حدوث الطوارئ، لا تظهر ضرورة للإصلاح الطارئ.

f- الصيانة التصميمية:

بالمقارنة مع الأساليب الآنفة الذكر، والتي تهدف إلى التقليل من تأثير العطل، فإن الصيانة التصميمية تهدف إلى التخلص من الأسباب المؤدية إلى حدوث الصيانة، وتتطلب أعمالاً هندسية أكثر من الأعمال الصيانية، ولكنها غالباً ما تكون جزءاً من مسؤولية قسم الصيانة. وهذه عادة سياسة متخذة في المناطق ذات تكلفة الصيانة العالية، والتي تظهر إما بسبب ضعف الصيانة أو لأن الجهاز استعمل أكثر مما صمم عليه.

والـــنظام المبين في الشكل (13.3) يسمح بتحديد تلك المناطق. وهنا يأتي الاختيار بين تكلفة إعادة التصميم وتكلفة المعالجة بالصيانة .



الشكل 13.3 – العلاقة بين تركيب المصنع وقرارات الصيانة.

g – الصيانة التطويرية:

جوهر التطوير واتجاهاته الأساسية:

إن تطوير المعدات هو إدخال تغييرات على تصاميمها يكون من شأنها رفع المستوى الفني لهذه المعدات وزيادة إنتاجيتها وإطالة عمرها التشغيلي (لاحظ مخطط الاتجاهات الأساسية لتطوير الآلات في الشكل 13.4).

عـــلماً أن التطوير لا يعد ملائماً من وجهة النظر الاقتصادية، إلا إذا كانت تكاليفه الإنتاجـــية تعوض خلال سنتين أو ثلاث، وإذا زادت إنتاجية الآلة بنتيجة التطوير بمقدار 20-30% ولن تقل مدة استعمال الآلة المطورة عن خمس سنوات.

ومـــن الملائم تطوير آلات تشغيل المعادن سواء العامة منها أو الخاصة أثناء الصيانة الشاملة الأولى.

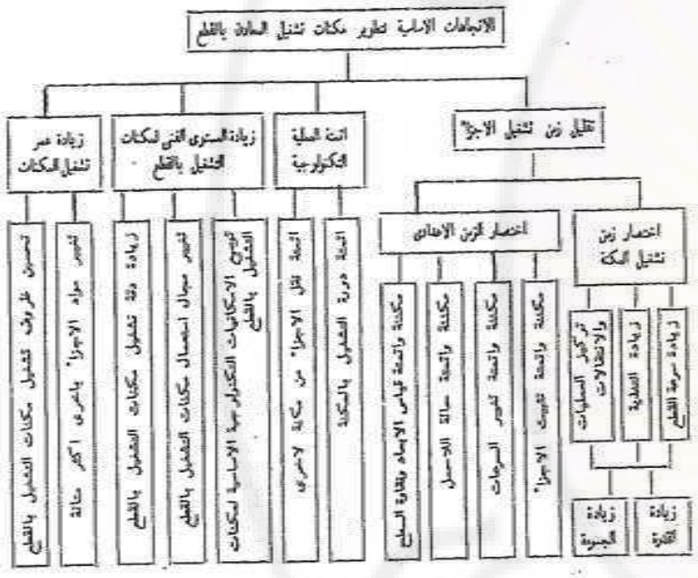
يؤدي تطوير آلات تشغيل المعادن بالقطع إلى :

1- زيادة إنتاجية هذه الآلات نظراً لاختصار زمن تشغيل العناصر، وبالذات الزمن الأساسي والزمن التحضيري .

2- توسـيع الإمكانيات التكنولوجية للآلات بغية التعويض عن الآلات التي يفتقر المصنع لوجودها .

3- مكننة وأتمتة عملية التشغيل .

4- زيادة العمر التشغيلي للآلات وجعل ظروف العمل أكثر أماناً .



الشكل 13.4 – مخطط الاتجاهات الأساسية لتطوير آلات تشغيل المعادن بالقطع.

ثالثاً) إدارة الصيانة وهيكليتها:

إن **أهـم المعوقـات التي تظهر عند تطوير أعمال الصيانة** في الشركات والمؤسسـات الصناعية، هو عدم إيمان قيادات هذه الشركات والمؤسسات بأهمية الصيانة ودورها الهام في استمرار دوران عجلة الإنتاج وتحسين فعاليته.

ولهذا السبب، فقد تعددت الاجتهادات التي يعتمد عليها عند تكوين إدارة الصيانة بمستوياتها المختلفة، ولكن تشير المصادر العلمية إلى أن الصيغة المبينة في الشكل 13.5 هي الأكثر انتشاراً.

1) المضمون والوظائف:

تمثل **الصيانة نشاطاً متكاملاً له مستلزماته واحتياجاته وله خطته وأهدافه.** فهو يحتاج إلى جهد إداري متكامل الوظائف وحديث الأسلوب، لأن الصيانة تمس مجموعة الأصول الثابتة ولها أهمية كبيرة نظراً لدورها ووزنها النوعي في تكاليف المنشأة، وكذلك انطلاقاً من الدور والأهمية الفنية والاقتصادية والوقائية.

إن إدارة الصيانة تمثل عملية مواءمة بين الموارد والإمكانات المتاحة لتحقيق الأهداف الموضوعة ضمن إطار زمني محدد، وتتجلى المهمة الأساسية لإدارة الصيانة بالعمل المستمر من أجل الحفاظ على وسائل الإنتاج بحالة جيدة وصالحة للعمل، وذلك خلال أقل زمن وكلفة، وأيضاً لتحقيق باقي أهداف نشاط الصيانة.

ومن أجل تحقيق أهداف الصيانة لابد من **القيام بوظائف إدارة الصيانة وهي أربعة وتشمل:**

التنظيم والتخطيط والتوجيه والرقابة.

عند القيام بوظائف إدارة الصيانة بشكل متكامل، فإنه يمكن تحقيق الهدف الأساسي للصيانة كنشاط وعملية، والمتمثل في زيادة إنتاجية العمل. وتبدو العلاقة وثيقة بين الصيانة وتحسين وتحديث العمل فيها من حيث التقنيات والإدارة على حد سواء.

2) الأدوات الحديثة المستخدمة لإدارة الصيانة:

وتشمل الوسائل التي يتحقق معها تحسين الصيانة وزيادة إنتاجيتها، ويأتي من بين ذلك ما يلي:

a- **النظام الإداري للصيانة**: وهو النظام الكلي الشامل للأنظمة الفرعية لكل الأنشطة للصيانة. إن إيجاد نظام جيد للصيانة يعني ضبط المدخلات والمخرجات والوصول بالأهداف إلى مرحلة التحقيق. ويأتي في مقدمة ذلك تحقيق أعلى نسبة للصيانة المخططة، وبالتالي تخفيض الصيانة غير المخططة إلى الحد الأدنى، بالإضافة إلى تحسين نوعيتها وتقليل تكاليفها.

b- **تحديث إدارة الصيانة وأثرها على الإنتاجية**: إن استخدام أنظمة إدارية محكمة للصيانة، إضافة إلى التقنيات الحديثة، يؤدي إلى نتائج إيجابية تصب في قناة الإنتاجية وتؤدي إلى تحسينها. وهـا هي **بعض المعطيات الواقعية المتعلقة بعدة مصانع ومنشآت** قامت بتطبيق أنظمة إدارية للصيانة، وأخذت في الاعتبار جملة قضايا وكانت النتيجة مايلي:

1- في مصنع للورق، تمّ تطبيق برامج الصيانة المخططة بنسبة (100 %)، وتمّ عندئذ تخفيض زمن التوقفات الفجائية (غير المخططة) بنسبة (15,7%)، وكذلك تمّ تخفيض الوقت المطلوب لتنفيذ برامج الصيانة السنوية بنسبة (25%).

2- في معمل للصفائح الكرتونية، يستخدم (2500) عامل، منهم (325) عامل صيانة يمثلون نسبة (13%) من مجموع العمال، وكانت النتائج بفضل تحديث إدارة الصيانة كما يلي: تخفيض في زمن التوقفات الفجائية بنسبة (50%)، وتقليل الأعمال غير المنفذة بنسبة (25%)،وتخفيض عدد العاملين في الصيانة بنسبة (22%)، وكذلك تمّ رفع إنتاجية ورش الصيانة بنسبة (35%).

3- في مصنع لتجميع المعدات الكهربائية طبقت أنظمة إدارية حديثة في الصيانة، وتمّ عندها تخفيض في القوى العاملة بنسبة (15%)، وفي زمن التوقفات الفجائية بنسبة (20%)، في حين زادت إنتاجية ورش الصيانة بنسبة (40%).

إن تحديـــث نظام إدارة الصيانة يستدعي أتمتتها، وذلك من خلال نظام معلومات للصيانة له مدخلاته ومخرجاته، ومن خلال استخدام الحاسوب. **إن ذلك** يساعد في التحول من واقع للصيانة قد يكون غير ملائم إلى واقع جديد تنقلص فيه الصيانة الاضطرارية (المفاجئة أي غير المخططة) إلى أدنى نسبة ممكنة.

إن أتمـــتة نظـــام إدارة الصـــيانة يفيد في إحكام السيطرة على قطع الغيار (التبديلـــية) وتوثـــيق المعلومـــات واعتماد أسلوب أوامر العمل الموثقة واستخراج المعلومـــات بســـرعة لاتخاذ القرار، وكذلك من أجل الدخول التدريجي في الصيانة التنبؤية، وأيضاً فهي تتيح التدريب المنتظم والحديث لكوادر الصيانة وتطويرها.

رابعاً) الخطوات التي يجب القيام بها عند التخطيط للصيانة:

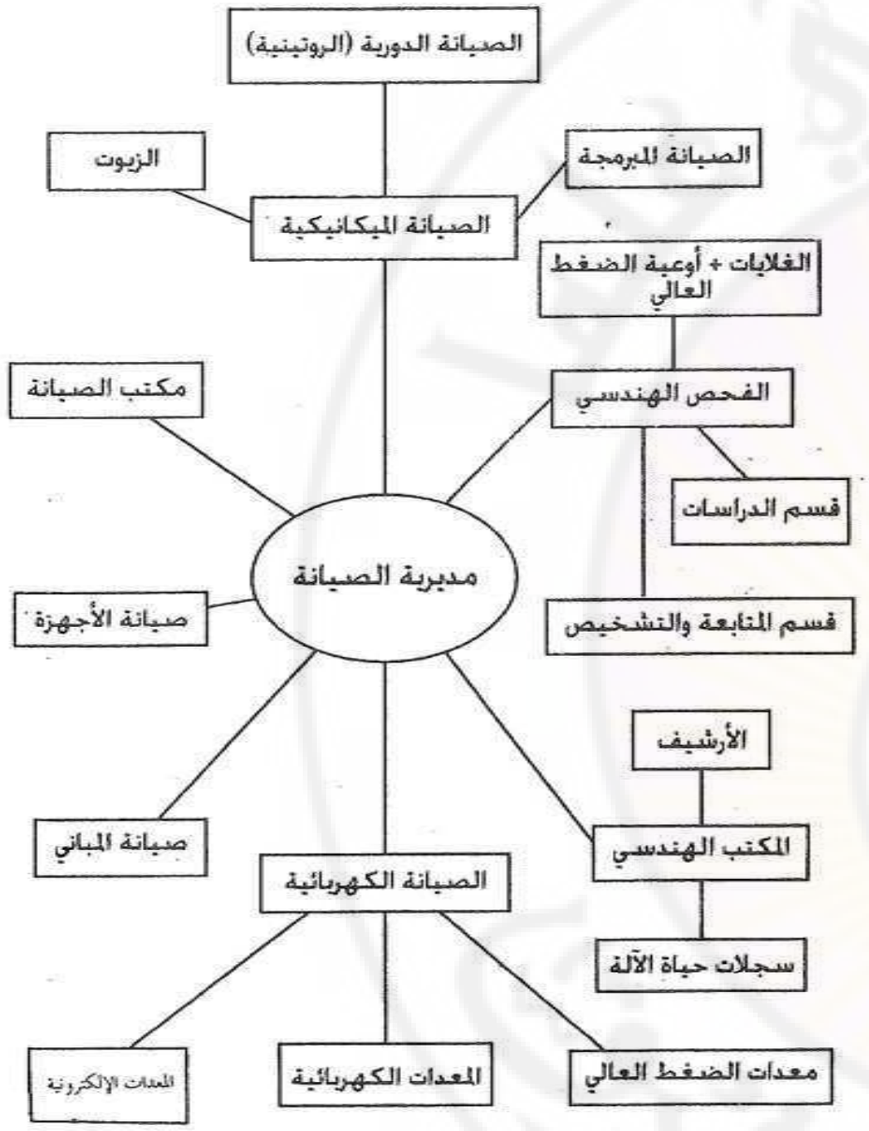
لابد، عند التخطيط للصيانة، من القيام ببعض **الخطوات خلال الفترة التي تسبق تاريخ البدء بالصيانة، وتشمل هذه الخطوات ما يلي:**

1- مسح شامل للأعمال المطلوب تنفيذها خلال فترة الصيانة.

2- جـــرد للكوادر الفنية المنفذة للأعمال الصيانية، بمختلف تخصصاتها ومستوياتها ومهاراتهـــا، والتي تضم العاملين والفنيين والإداريين وهؤلاء يحتلون نسبة هامة من العاملين.

3- تحديـــد قوائـــم قطع الغيار المطلوبة والمتوقع استهلاكها خلال فترة الصيانة، والـــتأكد مـــن توافـــرها وتصنيع القطع غير المتوفرة مع شراء اللازم منها قبل بدء الصيانة.

4- التأكد من صلاحية آلات ومعدات الورش الميكانيكية والكهربائية، والتأكد من توافـــر العُـــدد واللـــوازم الخاصـــة بأعمـــال الصـــيانة من روافع وعدد يدوية ومكـــانس...الخ، وكـــلها تـــتعرض للاهتراء والتآكل بمرور الوقت، وتحتاج إلى الاستبدال والتجديد .



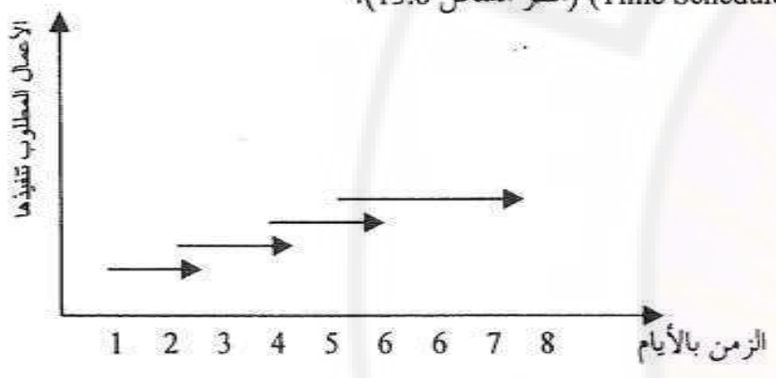
الشكل 13.5 – إدارة الصيانة وهيكلتها.

5- التأكد من توافر معدات ووسائل السلامة الصناعية في المعمل أو المصنع المعني.

6- التأكد من صلاحية أجهزة الفحص والقياس المستخدمة في فترة الصيانة.

7- التأكد من وجود كوادر المشتريات ووسائط النقل.

يـــتم، بعد الانتهاء من الفقرات السابقة، إصدار قوائم تفصيلية توضح فيها آليات العمل، مع الإشارة إلى الأعمال التي تقوم بها مجموعات الصيانة، ويتم لاحقاً وضـــع جـــدول توضيحي يبين فيه توزيع الأعمال على الأفراد والمجموعات الفنية وتحديـــد الأوقـــات اللازمة لتنفيذها، وهو ما يطلق عليه تسمية «البرنامج الزمني» (Time Schedule) (انظر الشكل 13.6).



الشكل 13.6- البرنامج الزمني التنفيذي.

تـــتم مـــتابعة العمل بشكل دقيق عن طريقة الاجتماعات اليومية للكوادر المكلفـــة بالصيانة، وبقصد تذليل الصعوبات التي قد تظهر أثناء التنفيذ، مع دراسة وتشخيص الأسباب التي أدت إلى تأخير بعض الخطوات بغية تذليلها.

خامساً) الصيانة المخططة وعلاقتها بالإنتاج:

يتـــلخص الدلـــيل المـــلموس المباشر لنجاح فعالية الصيانة في نوعية المنتج واســـتمرار الآلة في العمل بشكل صحيح وبدون توقف، مما يؤدي إلى زيادة الطاقة الإنتاجية وانعكاسها على كلفة الإنتاج بحيث يقل مقدارها، إضافة إلى المردود غير المباشـــر المتمـــثل في تطـــور العلاقة الإنسانية الناشئة بين كوادر الصيانة والإنتاج

وتفاعلهما من خلال العملية الإنتاجية، بحيث ينعكس ذلك على تحقيق الخطة الإنتاجية الشهرية وزيادة الحوافز الإنتاجية التشخيصية. وتكون النتيجة اندفاع العاملين في العمل، هذا في الإطار العام، أما في الإطار الخاص فيتم هندسياً عن طريق دراسة المردود العامل لكل آلية (overall machine effieiney)، ويتمثل ذلك في الفرق الواضح بين حالة المعدات قبل الصيانة وبعدها.

1) دور الصيانة وعلاقتها بالإنتاجية:

بما أن الدور الرئيسي للصيانة يتمثل في ضمان تشغيل منتظم ومستقر بكفاءة إنتاجية عالية، للآلات والمعدات والتجهيزات، **فإن الصلة تبدو وثيقة بين الإنتاجية والصيانة**، التي تتصل بمخرجات العملية الإنتاجية ومدخلاتها على حد سواء. فالصيانة تساهم في تعظيم المخرجات من خلال النوعية التي تضمنها آلة التشغيل الصالحة التي تؤدي وظيفتها بدقة مطلوبة وتحقيق مواصفات وخصائص السلعة المنتجة، وهي تتصل بالمخرجات من زاوية التكاليف التي تسعى إدارة الصيانة إلى تخفيضها وإلى تحقيق أكبر كمية من الإنتاج الناجم عن الاستغلال الكبير لزمن الآلات والمعدات ووسائل العمل، كما وتتصل بالمدخلات من حيث تقديم كل وسائل العمل المطلوبة لتحقيق أهداف وغايات الإنتاج وخطة العمل، وذلك بحالة سليمة وجاهزة، حيث يمكن عندها استغلال زمن العمل المخطط دون أعطال، وبالتالي التوقفات غير مخططة التي ينتج عنها ضياعات زمنية.

2) إنتاجية الصيانة مؤشراتها:

وعند الإشارة إلى دور الصيانة في زيادة وتحسين إنتاجية المنشأة الصناعية، يجب **اعتبار الصيانة، كنشاط ، له مؤشر عام هو إنتاجيتها** ، والتي تعبر عن درجة الاستفادة من الموارد المتاحة لقسم الصيانة.

I- مؤشر إنتاجية الصيانة:

تتمـــثل الإنتاجية كنسبة بين المخرجات إلى المدخلات. والتعبير عن هذه العلاقة في مجال إنتاجية الصيانة يكون على الشكل التالي :

مخرجات الصيانة

(1) ، ——————————

مدخلات الصيانة (نفقاتها)

إلا أن اســـتخدام هذا المؤشر لتحديد إنتاجية الصيانة لا يعبر عن حقيقة إنتاجية هذا النشاط إنطلاقاً مما يلي:

1. إن مخرجات الصيانة هي خدمات تستفيد منها المنشأة الصناعية ذاتها، ولا تدخل ضـــمن مبيعات المنشأة (مخرجاتها) إلا في الحالة التي يكون فيها قسم الصيانة منتجاً لقطع تبديلية تباع للمنشآت الأخرى .

2. يؤدي ازدياد حجم أعمال الصيانة عن الحجم المطلوب إلى زيادة نفقات الصيانة دون مبرر، وهذا بدوره يزيد في تكاليف الإنتاج، ولهذا لابد من تعديل هذا المؤشر بالاستعاضـــة عـــن مخرجات الصيانة بمخرجات الإنتاج، ولهذا فإن مؤشر إنتاجية الصيانة يصبح كما يلي:

مخرجات الإنتاج (منتجات- خدمات)

(2) ، ——————————

مدخلات الصيانة (نفقاتها)

ويمكن عكس هذه العلاقة لتعبر أيضاً عن شكل آخر لإنتاجية الصيانة.

إن مؤشر إنتاجية الصيانة، كغيره من المؤشرات، يعتبر غير ذي معنى، إن لم تـــتم مقارنـــته مع مؤشرات إنتاجية أقسام الصيانة في منشآت أخرى، وهذا يعني إجراء المقارنة المشابهة، أي لمنشآت لها ظروف مماثلة أو متقاربة.

فهـــناك **المقارنـــة الزمنية** التي تعني مقارنة مؤشر إنتاجية الصيانة في فترات زمنية سابقة. فمثلاً، إذا كانت إنتاجية الصيانة في مصنع للإسمنت في سنة (1999) هـــي (1,5 طـــن/وحدة نقدية)، فهذا يعني أن كل وحدة نقدية واحدة من نفقات

الصـــيانة تـــؤدي إلى إبقاء الآلات والمعدات بحالة جيدة صالحة للعمل لفترة زمنية تـــتمكن خلالها وسائل العمل تلك من إنتاج (1,5 طن) من الإسمنت . إلا أن الرقم (1,5) وحـــدة غير كافٍ لإعطاء صورة واضحة عن مستوى الإنتاجية في الصيانة، إلا عندما نعلم أن ذلك الرقم كان (1,2) في سنة (1999)، وعندئذ يتضح لدينا أنّ قسم الصيانة قد بذل مجهوداً لرفع إنتاجيته.

تســـمح المقارنة الزمنية لمستوى إنتاجية الصيانة برسم مخطط بياني ودراسة وتحلـــيل الـــتغيرات في مستوى الإنتاجية، مما يساعد على اقتراح واتخاذ الإجراءات لتحسين أداء ذلك القسم.

وتـــبقى **مشـــاكل حســـاب إنتاجية الصيانة** في المنشآت ذات المنتجات المـــتعددة، هـــي نفسها المستخدمة عند حساب إنتاجية تلك المنشآت ذاتها، والتي **تتلخص فيما يلي :**

1- التعبير عن المنتجات المختلفة (مخرجات الإنتاج) بالقيم المالية.

2- التعبير عن المخرجات بساعات العمل الفعلية للآلات، أي:

$$\text{(3)} \qquad \frac{\text{عدد ساعات تشغيل الآلات في المصنع (خلال فترة معينة)}}{\text{نفقات الصيانة (خلال نفس الفترة)}}$$

وهذه النسبة تدل على عدد ساعات تشغيل الآلات خلال فترة زمنية معينة نتـــيجة إنفاق وحدة نقدية واحدة على الصيانة. ولهذا فإن هذه النسبة تعبر بصورة أوضـــح عن إنتاجية الصيانة نظراً للعلاقة الوثيقة بين نفقات الصيانة وعدد ساعات تشغيل الآلات.

II- العوامل المؤثرة في إنتاجية الصيانة:

1. العوامل المؤثرة في البسط (مخرجات الإنتاج) التي تدخل ضمن مسؤولية قسم الصيانة في المؤسسة :

a- فـــترة التوقفات المبرمجة: تؤثر هذه الفترة في حجم الإنتاج في المنشأة الصناعية، ويجـــب عـــلى قسم الصيانة أن يعمل بشكل دائم لكي تكون هذه الفترات أقل ما يمكن.

b- فترة التوقفات الاضطرارية (غير المخططة): وهي تؤثر كذلك تأثيراً مباشراً في حجـــم إنـــتاج المنشأة الصناعية. وإن مسؤولية قسم الصيانة هي العمل على منع حـــدوث مـــثل هذه التوقفات، لأن من واجبه تنفيذ برامج الصيانة الوقائية تنفيذاً كاملاً وعلى الوجه المطلوب، فإن تمّ ذلك، فإن احتمالات التعطيل المفاجئ للآلات تصبح معدومة تقريباً.

ومـــن الجديـــر بالذكر أن لجودة تنفيذ أعمال الصيانة أثراً جيداً في مؤشر إنتاجية الصيانة، إذ يقلل من تكرار التعطلات المفاجئة للآلات، وبالتالي من فترات توقف الآلات بصورة غير مخططة.

2. العوامـــل المؤثرة في المقام (مخرج الكسر – نفقات الصيانة) والداخلة ضمن مسؤولية قسم الصيانة.

a- ساعات العمل الإضافية في قسم الصيانة.

b- حجم القوى العاملة في قسم الصيانة.

c- الطرائق المتبعة في الصيانة.

d- أجهزة الفحص المستخدمة في الصيانة.

e- عدد مرات تكرار التزييت والفحص والصيانة الفجائية (الإصلاح).

f- تنميط الأجزاء التبديلية والمجموعات.

III- مؤشر إنتاجية العمل في الصيانة:

يملـــك هذا المؤشر أهمية كبرى، نظراً لأن مستوى إنتاجية العمل في أعمال الصـــيانة يكـــون عادة أدنى بكثير من مستوى إنتاجية العمل في الأقسام الإنتاجية. لهـــذا، فإن رفع مستوى إنتاجية العمل في المنشأة الصناعية بشكل عام والتوفير في القوى العاملة والأجور يتأثران بمستوى إنتاجية العمل في الصيانة.

ولهذا يكون التعبير عن إنتاجية العمل في الصيانة كما يلي:

$$\frac{\text{عدد ساعات العمل المعيارية التي يقوم بها قسم الصيانة}}{\text{عدد العمال في قسم الصيانة}} \quad (4)$$

تشـــير هذه العلاقة إلى كمية الساعات المعيارية التي يستطيع العامل تنفيذ العمـــل خلالهـــا في قســـم الصيانة خلال فترة معينة. وهذه النسبة يجب أن تتزايد باســـتمرار، وذلـــك لأنهـــا في هذه الحالة تعكس الجهود المبذولة لتحسين وزيادة الإنتاج.

وكمـــثال على ذلك، فقد بلغت ساعات العمل المعيارية المنتجة في قسم الصـــيانة لعام (1990) مقدار (42288)، وفي عام (1991) بلغت (41492) ساعة، وبلـــغ عدد عمال الصيانة في عام (1990) مقدار (24) عاملاً وفي عام (1991) بلغ (22) عـــاملاً، وبهذا تكون إنتاجية العمل في قسم الصيانة (حسب العلاقة رقم 4) هي: (1762 ساعة معيارية/عامل) في عام (1990) و (1886 ساعة معيارية/عامل) في عام (1991)، مما يشير إلى تحسن ملحوظ في إنتاجية العامل.

والخلاصـــة أن العلاقـــة **الثنائية بين الإنتاجية والصيانة** تتجلى بأن نشاط الصـــيانة يملك تأثيراً مباشراً على الأنشطة الأخرى في المنشأة وفي مقدمتها الإنتاج، ممـــا يزيد في إنتاجية المنشأة التي تنعكس بدورها على جميع مؤشرات العمل والأداء فيها. كما أن الصيانة، كنشاط له إنتاجيته التي تصب في إنتاجية المنشأة.

ولهـــذا، **فالاهتمام يجب أن يكرس لنشاط الصيانة في المنشأة الصناعية،** كمـــا إننا يجب أن نعمل على توفير احتياجاته من كوادر ومستلزمات مادية ومالية وأنظمـــة جزئية تصب كلها في النظام الكلي لإدارة الصيانة، التي تحتاج إلى تحديث وأتمتة، وكل ذلك يؤدي إلى تحسين الإنتاجية في المنشأة الصناعية وزيادتها وهو بيت القصيد.

سادساً) مرود الصيانة المخططة:

إن كـــثيراً من الشركات العالمية اعتمدت **الشعار القائل: الربح المادي لا الإنـــتاج الكمـــي** (making money, not tonnes)، أي إذا كان الإنتاج بنوعية جـــيدة، فإن تسويقه يصبح ممكناً مع تحقيق الربحية المعقولة، أما إذا تمّ اعتماد مبدأ كمـــية الإنـــتاج وتكديســـه في المخازن، مع عدم إمكانية تسويقه بسبب مخالفته للمواصـــفات، أو بسبب انخفاض المردود الإيجابي للمعدات وعدم فاعليتها. من هنا بـــدأت تظهـــر أهمية فعالية الصيانة المبرمجة بأنواعها المختلفة ومردودها على المدى القريب والبعيد، كما هو واضح في المقارنة المبسطة التي أصدرتها إحدى الشركات الـــتي قيّمت النتائج التي وصلت إليها باستخدامها **أنظمة إدارة الصيانة المبرمجة من خـــلال الحاســـوب** (computerized Maintenance Management system) C.M.M.S. خلال فترة زمنية تقارب الخمس سنوات (انظر الجدول 13.1).

جدول 13.1 – نظام إدارة الصيانة المبرمجة من خلال الحاسوب.

قبل استخدام النظام	بعد استخدام النظام
75% من أوامر العمل تم تنفيذها وبشكل مقبول	95% من أوامر العلم تم تنفيذها وبشكل جيد.
أعمال التنفيذ المهمة فقط تمّ توثيقها	جميع الأعمال التنفيذية تمّ توثيقها.
كـــتابة أوامـــر العمـــل كانـــت تُودى من قبل المســـؤولين فقـــط إضافة إلى التخبط في عملية إصدارها.	التنســـيق المتكامل لإصدار أوامر العمل من قبل الكـــوادر المتخصصـــة وإدراجها ضمن برنامج الحاسوب.

تتمة الجدول 13.1

جميع الأعمال الطارئة كانت تنفذ بدون أوامر عمل وبالتالي لا يمكن الاحتفاظ بها في سجل حياة الآلة (Historical cards)	كل الأعمال الطارئة تدخل بشكل رتيب (روتيني) ومتكامل ليتضمن: العمل وقطع الغيار والكلف .. إلخ.
25% من الأعمال كان لها وصف واضح للعمل المطلوب.	95% من الأعمال يتوفر لها وصف كامل للعمل المطلوب.
20% من الأعمال المنجزة يتمّ تنظيم مخطط مسبق بها.	75% من الأعمال المنجزة تظهر لها مخططات مسبقة وقد تكون قبل أسبوع.
10% من الأعمال المنجزة تم تخطيطها قبل المباشرة بالعمل.	65% من الأعمال المنجزة تم تخطيطها قبل المباشرة بالعمل.
الاجتماعات الأسبوعية قلما يحضرها أفراد من قسمي الصيانة والإنتاج.	الاجتماعات الأسبوعية تتم كل يوم خميس يحضرها جميع مسؤولي الصيانة والإنتاج.
اجتماعات التخطيط للصيانة تتم قبل يوم أو يومين من بدء الصيانة.	اجتماعات التخطيط تتم قبل أربعة أسابيع من بدء الصيانة.
مجاميع المشتريات بعيدة كل البعد عن فعاليات الصيانة.	مجاميع المشتريات متفاعلة مع الصيانة وأعمال التطوير.
لا توجد سجلات لتاريخ الآلة والتطويرات التي تجرى عليها	جميع المعلومات والأعمال التي تتم على المعدات توثق في سجلات تاريخ الآلة من خلال الحاسوب.
لا توجد أية سجلات لخطوات العمل في الصيانة.	إن أهم أعمال الصيانة يتم توصيفها وتحديد خطوات العمل فيها.
تخمينات وقت العمل هي السائدة.	تحديد وقت العمل بشكل جيد والتجاوز فيه يكون ضمن الحدود المسموحة.

سابعاً) مؤشرات الصيانة المخططة:

قبل التخطيط للصيانة، يجب في البداية الكشف عن حالة المعدات ويكون ذلك من خلال المتابعة الفعالة لظروف عملها، وتسجيل ظروفها التشغيلية، وتثبيت

نقـــاط الاختـــناق فـــيها من ضغوط ودرجة حرارة ومستوى الاهتزاز، إضافة إلى مســـتوى الجهد الكهربائي. لتحقيق ذلك، يتم استخدام معدات متطورة كأجهزة الحاســـوب، التي تُغذى بالمعلومات قبل إعداد برنامج الصيانة، ومن ثم تُقارن هذه المعلومات بالضوابط والتعليمات الواردة من الشركات الصانعة، وعلى ضوء ذلك يمكـــن اتخاذ القرار فيما يتعلق بإمكانية تبديل بعض قطع المعدات بأخرى جديدة، عـــن طـــريق الاعتماد على اثنين من البارامترات الأساسية: أولهما الفترة الزمنية التشـــغيلية، وثانـــيهما مقـــدار الـــتغير في ظروف التشغيل، كالزيادة في الضغط والحـــرارة...الخ. وعـــلى ضوء ذلك، يتم تحديد الأعمال التي ستنفذ خلال فترة التوقف، الممكن توزيعها على البنود الرئيسة التالية:

1- تحديد المعدات التي يجب أن تصان وفقاً لحالتها قبل التوقف .

2- تحديـــد الظروف الانتقالية واجبة التنفيذ خلال فترة الصيانة، مثل الكشف عن أدوات القطع والقياس، ومدى توفر قطع الغيار .

3- تحديد المعدات الجديدة التي لا يمكن إدخالها إلى الخط الإنتاجي إلا بعد توقيف هذا الخط .

4- أعمـــال التزييت، ويكون ذلك بإضافة كميات جديدة من الزيت أو باستبداله وفقاً لتوصيات الشركات الصانعة .

وتنحصر مؤشرات الصيانة المخططة بالنقاط التالية:

1- تحديد كفاءة الكوادر الفنية الموجودة في الشركة .

2- حصر العمالة المتواجدة في الشركة ومدى ملائمتها لمتطلبات العمل وخاصة من حيث العدد اللازم للتنفيذ .

3- تحديـــد المعـــدات والأدوات المتطورة اللازمة لإنجاز العمل خلال فترات زمنية قليلة وبكفاءة عالية .

4- تقليل فترة التوقف اللازمة لإنجاز الأعمال المطلوبة عن طريق التقليل من الأوقات باستغلال الوقت الضائع واستغلال الطاقات المتوافرة .

5- تقويم حالة المعدات والمكائن المستخدمة لرفع طاقتها الإنتاجية .

6- زيادة فعالية الخطوط الإنتاجية والتقليل من فترات توقفها، حتى تستطيع الكوادر الفنية التفرغ للأعمال الأخرى .

7- تقليل الهدر في المواد والأدوات المستخدمة، عن طريق رفع كفاءة عمل المعدات وفقاً لتعليمات الشركات الصانعة .

8- رفع شأن الأعمال التخطيطية وضرورة سيطرتها حتى يتم تنفيذ الأعمال الإنتاجية الشهرية المخطط لها .

9- التقليل من نفقات الصيانة، من خلال إيجاد البدائل عن قطع الغيار اللازمة، والاعتماد على التصنيع المحلي والتخفيف من الاستيراد غير الضروري .

10- زيادة عامل الأمان والاهتمام بتنفيذ تعليمات الأمن الصناعي، وذلك عند عمل الآلات والتجهيزات الداخلة في الخط الإنتاجي .

11- التقييم الدوري للكوادر الفنية العاملة في مجال الصيانة، والعمل على إدخال العناصر الجديدة الكفوءة، مع ضرورة الاستعانة بالمكاتب الهندسية المتخصصة ومراكز إدارة الأعمال W.C.C (Work Control Center) .

ثامناً) ضوابط نجاح الصيانة المخططة:

1- تحديد مدى تدهور حالة الآلة، ويكون ذلك من خلال مقارنة هذه الحالة قبل الصيانة وبعدها .

2- تحديد مدى التطور والزيادة في الطاقة الإنتاجية للآلة لحالة مابعد صيانتها، ويكون دور التخطيط صحيحاً عند تقويم حالة الخط الإنتاجي أثناء التشغيل، فيما إذا انخفض عدد نقاط الاختناق، وقلّت إجراءات الصيانة الضرورية له .

3- التحسس الملموس في جودة المنتج، المتعلق بمدى التخطيط الصحيح لأعمال الصيانة، حيث يتم خلال ذلك وضع الأسس السليمة لإعادة حالة المعدات لوضعها المحدد من قبل الشركات الصانعة .

4- يعتبر الانخفاض في استهلاك الطاقة الكهربائية، مؤشراً جيداً لتحديد مدى نجاح التخطيط المسبق للصيانة، وقد تبين على أن نسبة هذا الانخفاض يجب أن لا يقل عن 10% .

5- كما أن قلة التوقفات الفجائية، وفي بعض الأحيان انعدامها، يُعد مؤشراً جيداً آخر، يدل على مدى نجاح عملية التخطيط للصيانة .

6- إن معرفة الزيادة في عمر المواد التشغيلية (Operational Material) يعتبر المؤشر الثالث غير المباشر لتحديد دور التخطيط للصيانة ومدى نجاحه .

تاسعاً) أبعاد نجاح الصيانة المخططة:

لابد من **تقييم عملية التخطيط للصيانة** للتأكد من نجاحه ومعرفة مدى تحقيق هدفه المنشود، ويكون ذلك من خلال **معرفة مقدار تنفيذ المعايير التالية:**

1- الاستمرارية (Maintainability)، وتعني معرفة مدى استمرار الآلة بعملها بشكل صحيح، والتأكد فيما إذا كانت الآلة قد استعادت مقدرتها على الإنتاج.

2- التحسس في الأداء (Improvement) ، ويعني معرفة مقدار الزيادة في مردودية العمل، ويتمثل في مقدار عطاء الآلة .

3- كلفة التغيير والتكيف (Modification Cost)، وتعني مقدار الكلفة اللازمة لتحقيق التغيير في كل من مواصفات المنتج والمتطلبات الإنتاجية، ثم معرفة مدى التكيف مع هذه المتغيرات والمتطلبات.

4- الانخفاض في كلفة الإنتاج (Production Cost)، ويمكن معرفة ذلك من خلال تقليل الهدر في المواد الأولية والطاقة والأجهزة واليد العاملة... الخ.

عاشراً) الوثوقية عند التخطيط للصيانة

(Reliability of Maintenance Planning)

إن مفهـــوم الوثوقـــية في نظـــرية الصيانة، يعني معرفة إمكانية أداء الآلة لوظائفها بشكل فعال بعد انتهاء أعمال الصيانة لهذه الآلة. لذلك اهتمت الكثير من الشـــركات بوضـــع مخططات لتقييم أداء الآلة لوظائفها، بهدف التقليل من كلفة المنـــتج، وهو ما تسعى إليه الشركات الصانعة، حتى تستطيع أن تطرح منتجاتها في الأســـواق بـــأقل ســـعر ممكن، وبشكل تنافسي مع الآخرين. وقد برهنت إحدى الدراســـات الـــتي تمـــت بهذا الصدد في الشركة الأمريكية (Smurfit)، بأن **هناك إمكانـــية لتقلـــيل كلفة المنتج منن خلال تحسين فعاليات الصيانة، ويكون ذلك باعتماد المعايير التالية:**

1- وثوقية المعدات (Equipment reliability) .

2- التخطيط والجدولة (Planning and Scheduling) .

3- الخدمات الخارجية والعقود (Outside services and contract).

4- قوائم الجرد للمستودعات (Stores inventory).

ومـــن هـــذا المنطلق فقد تم اعتماد المخطط التالي (شكل 13.7) في هذه الشركة، حيث يمكن من خلاله توضيح **الفعاليات المهمة المؤثرة في أداء الصيانة والتي نتج عنها:**

1- تقلـــيل الأعطال، وبسبب ذلك فقد قلّت النفقات المالية المصروفة على المعدات والعمال .

2- تحديـــد العطـــل قـــبل وقوعه، وقد ساعد هذا في تخطيط وجدولة الأعمال، وبالنتيجة فقد قلّت كلفة الصيانة .

3- قلة التوقفات، وقد نتج عنها قلة استهلاك قطع الغيار الموجودة في المستودعات.

وقد حددت إحدى الشركات فعالية الوثوقية (Definition of reliability)، كما هو مبين على (الشكل 13.8) ، والذي نلاحظ من خلاله كيفية التحرك من مرحلة منع العطل إلى مرحلة التحليل ومن ثم اكتشاف العطل، وبالتالي تحقيق الهدف (Target) لهذه العملية،ألا وهو **الارتقاء بالكفاءة الكلية للآلة** (Overal Machine Effieincy).

من المخطط يلاحظ أن تدريب العمال في الشركات له أهمية عالية وضرورة قصوى، وإن كان الكثير من الشركات قد أهملت ذلك، وإن وجد فهو هامشي وليس جوهرياً.

أحد عشر) أسس تحديد خطة الصيانة:

تعد خطة الصيانة في أحد الأقسام الصناعية (أو الوحدة الصناعية) في مصنع ما، عن طريق اختيار المزيج الأفضل من الأساليب الموضحة سابقاً، بحيث يتحقق خلال ذلك **الاستغلال الأفضل لكل من الزمن ومستلزمات الصيانة**. ومن الأفضل أن تحدد أعمال الصيانة الوقائية والإصلاحية لكل قسم صناعي من قبل الجهات الصانعة، وتنفذ هذه الأعمال عادة في حالة الآلات سهلة الاستبدال، حيث تكون الصيانة قليلة الكلفة، ويندر استعمال هذه الطريقة في حالة الآلات معقدة الاستبدال، حيث ترتفع كلفة أعمال الصيانة بشكل باهظ، وبالوقت نفسه تكون المعلومات المتوفرة غير دقيقة.

أما الآلات غير القابلة للاستبدال، فإنها تحتاج إلى أعمال صيانية مسبقة، لأن العمر المتوقع لها يزيد عن العمر المتوقع من قبل المصنع.

وهناك الكثير من العوامل التي تؤثر على قرار اختيار أسلوب الصيانة المناسب لكل آلة. وهذه العوامل بالإضافة إلى الكثير من الظروف الأخرى، تدعو إلى التفكير ببعض **الإجراءات النظامية بقصد تحديد البرنامج الصيانى الأفضل** الممكن التنفيذ خلال فترة زمنية محددة. **وهذه الإجراءات هي:**

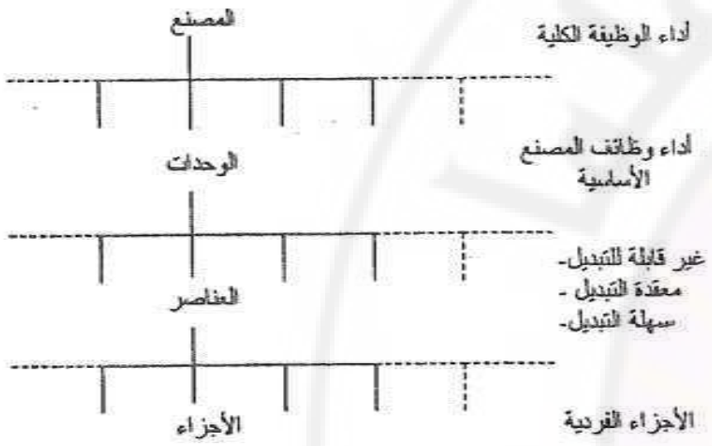


شكل 13.7 – الفعاليات المهمة المؤثرة في أداء الصيانة.



الشكل 13.8 – فعاليات الوثوقية

a– **تصـــنيف الجهاز وتحديد نوعه:** وهذا الإجراء هو أحد الخطوات المهمة، وإذ كـــان الأمر يحتاج إلى الكثير من الجهد، علماً أن التصنيف وتحديد النوع يرتبطان بقابلية الاستبدال ووظيفة الجهاز (انظر الشكل 13.9).



الشكل 13.9 – الشكل الهرمي للمصنع.

b– **جمع المعلومات وتنسيقها:** إن الحصول على المعلومات (المتصلة عادة بالصيانة المخططـــة) عـــن الأقسام والوحدات الصناعية في المصنع هي من الأمور الجوهرية. وبمـــا أنـــه لا يمكن فصل الصيانة عن الإنتاج، فإن هذه **المعلومات تكون متصلة بالمعلومات عن كل من الإنتاج وطبيعة العمل.** واعتماداً على هذه المعلومات يمكن وضـــع البرنامج الصيانى لكل قسم صناعي (أو آلة أو وحدة) بهدف إجراء الصيانة في الأوقات المحددة وبدون أن يؤدي ذلك إلى توقف الإنتاج.

وهـــناك أيضـــاً **بعض المعلومات التي قد نحتاج إليها، والمتعلقة بالآلات والأقسام الصناعية، وهي:**

- توصيات الصيانة التي يزودنا بها المصنع الصانع.

- خصـــائص الجهـــاز: أنواع الأعطال، أوقات حدوث الأعطال وأنواعها، العمر التشغيلي، زمن العطل وتأثيره على العمل في المصنع... الخ.
- المعـــايير الاقتصـــادية (التي تحدد الوحدات الحساسة): تسلسل الأعطال، تكلفة الاستبدال قبل حدوث العطل، تكلفة الإنذار المبكر... الخ.
- عوامـــل الأمـــان: علاقـــات أعطال الآلات بعضها ببعض، التأثير على الوسط المحيط... إلخ.

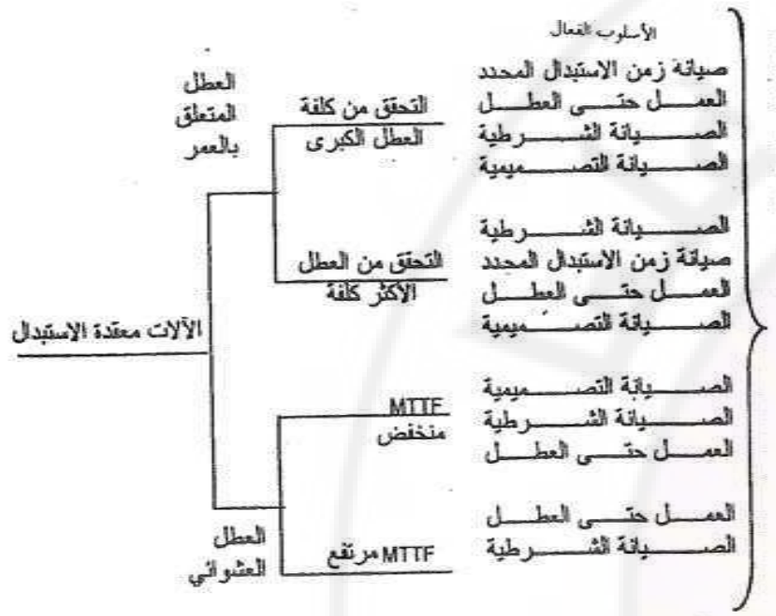
c- **اختـــيار الأســـلوب:** يتم تحديد أسلوب الصيانة المفضل لكل آلة، على ضوء تحديـــد الأساليب الفعالة، واعتماداً على ذلك يتم اتخاذ القرار. وعادة، يتم اختيار الأســـلوب بحيث تكون كلفته أقل مع توفر عوامل الأمان المناسبة. ويتوقف ذلك على فئة الآلة التي يتم صيانتها.

فـــإذا كانـــت الآلة سهلة الاستبدال، فإن الصانع يزود المستهلك ببرامج الصـــيانة وفـــترات الاســـتبدال. أما إذا كانت الآلة معقدة الاستبدال، فإن اختيار أســـلوب الصـــيانة المفضل يرتبط بخصائص هذه الآلة ومعايير الأمان وتكلفة هذا الأســـلوب (انظـــر شكل 13.10). ومن أجل الآلة غير القابلة للاستبدال، فإنها لا تحتاج إلى أعمال صيانية مسبقة، لأنه لا يتم توقع حدوث العطل لها. **وباختصار:**

1- إن أســـلوب الصـــيانة ذي الزمن المحدد هو الأسلوب المفضل من أجل الآلات سهلة الاستبدال، وذات تكلفة الاستبدال المنخفضة .

2- إن أسلوب الصيانة الشرطية، هو الأسلوب المفضل عندما تكون الآلات صعبة الاستبدال، وذات تكلفة الاستبدال العالية.

3- عـــند التصميم، فإنه يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار الآلات ذات تكلفة الصيانة العالية، وتلك القابلة أو غير القابلة للاستبدال.



الشكل 13.10 – اختيار سياسة الصيانة للآلات المعقدة في المصنع.

4- يجب أن يعمل الجهاز حتى العطل في الحالات التي لايمكن خلالها القيام بأعمال الصيانة الوقائية أو التصميمية.

d- إعداد برنامج الصيانة الوقائية: يجب، بعد اكتمال التحليلات الفردية، فحص الأعمال الإجمالية لإيجاد فرص التعاون «**بدمج البرامج في مجموعات زمنية، تضم مجموعة الأعمال الموجودة في مجموعة الآلات التي تشكل وحدة صناعية واحدة**»، وهذا سيؤدي إلى توافق بين الخطط الفردية المثلى، ذات الاستخدام الاقتصادي الأفضل للعمل، والسيولة الأعظمية للمصنع.

ويجب أن تحتوي هذه المجموعات الزمنية على تسامح زمني لتعويض الحالات غير المتوقعة، مثل عدم التأكد من مخطط الإنتاج وروتين التفتيش وروتين التشحيم ومخططات الخدمة ومخططات الكشف العام.

e- الخطوط العريضة في برنامج الصيانة الإصلاحية: عندما يكون المصنع جديداً فمن الصعب، حتى بعد إجراء التحليلات آنفة الذكر، قياس مستوى وطبيعة العمل المترتب على الصيانة الإصلاحية.

وخلال العمر المبكر للمصنع تكون عملية القياس غير دقيقة وستعتمد اعتماداً كبيراً على معلومات صانعي أجهزة المصنع وعلى خبرة المهندسين.

ومن الواضح أن هذا القياس سيتحسن خلال عمل المصنع، وإن الحمل المترتب على الصيانة الإصلاحية يمكن أن يُحسب بمزيد من الدقة.

والقرار الحساس في هذا المجال هو تحديد طبيعة ومستوى الاحتياطات المزمع تنفيذها. وكلما كبر عدد الاحتياطات إزاء آلات هذا المصنع، فإن كلفة انعدام السيولة الزمنية في حالة العطل ستقل وستسهل أيضاً برمجة الصيانة الإصلاحية.

ويواجه مدير الصيانة مشكلة تقليل مجموع هذه التكاليف، وهذا يعني ضرورة تحديد الآلات والوحدات الحساسة في جهاز معين، والتأكد من تبني سياسة الصيانة الإصلاحية المثلى.

اثنا عشر) تخطيط العمل وبرمجته :

ستتم دراسة «**إدارة الصيانة الديناميكية**»، وهي عبارة عن وضع خطط العمل الفعال والقيام بإجراءات البرمجة والتحكم. وسيكون دور هذه الإجراءات هو توصيل المستلزمات الملائمة إلى المكان المناسب للقيام بالعمل السليم في الوقت

المناسب. والهدف من هذه الإجراءات هو القيام بالوظائف المطلوبة **بأقل تكلفة** ممكنة:

I- مبادئ تخطيط الأعمال الصيانية: من الضروري عند وضع نظام التخطيط للعمل، **مراعاة القوانين المتعلقة بمراقبة العمل، وأهمها:**

1- يجب أن يملك المخطط السلطة لاتخاذ القرارات الضرورية (أي تحديد الأفضليات) التي تؤثر على كل من حمل الصيانة والمستلزمات .

وعند مراعاة هذا القانون، فإنه يجب أن نأخذ بعين الاعتبار وجود مستويات مختلفة عند التخطيط للعمل.

2- يجب أن تحدد مواطن المسؤولية عند مستويات التخطيط المختلفة بشكل واضح، وبالإضافة لذلك يجب أن يكون لدينا الفهم الكامل لمعرفة تأثير خصائص حمل الصيانة.

ويتضمن الحمل، ذو الطبيعة التوقعية، الصيانة الإصلاحية وصيانة الطوارئ، وهي عشوائية الحدوث، ويصادف الإصلاح التابع لها صعوبات كبيرة، وفي أحسن الأحوال يمكن أن نعرف مستوى الحمل فقط.

ويبين (الشكل13.11) **تذبذب حمل الصيانة، وتكون وظيفة قسم الصيانة في مثل هذه الحالات:**

a- تعيين الأجهزة التي تقوم بوظائفها بشكل سيئ.

b- تشخيص الخطأ وتحديد مسبباته.

c- الخطوات الواجبة التنفيذ بقصد إصلاح الانحراف الحادث.

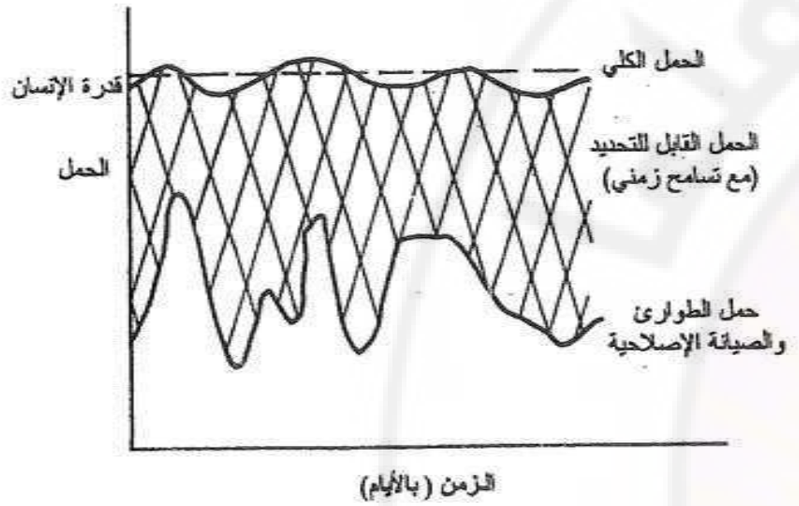
d- تحديد أفضليات العمل وفقاً للأهمية .

e- إعداد الخطة اللازمة لتحديد مستلزمات العمل.

f- برمجة العمل حسب الأولويات.

g- إصدار أوامر العمل التي تضمن حسن التنفيذ.

h- التأكد من أن العمل يسير بالشكل المناسب، ويكون ذلك من خلال النتائج.



شكل 13.11 – استعمال الحمل القابل للتحديد من أجل تبسيط الحمل الكلي.

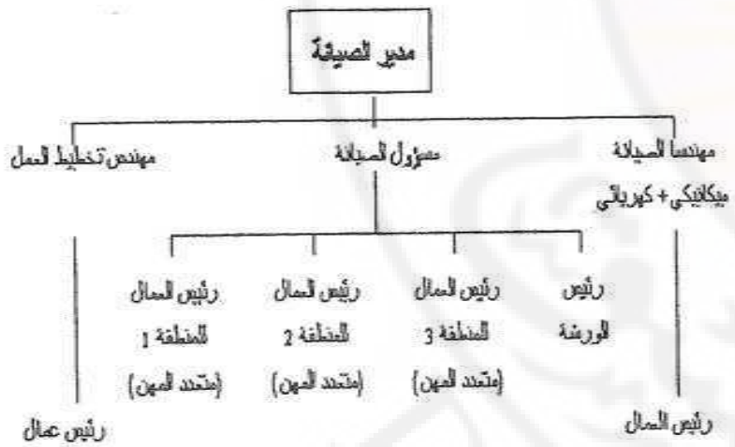
إن الأعمـــال السابقة هي مزيج من الأعمال الهندسية(a،b،c، h) وتخطيط العمـــل (مـــن d حتى g)، وأصعب جزء في عملية التخطيط للعمل هو d (تحديد أفضـــليات العمـــل)، والتي تعتمد على نفقات انعدام السيولة الزمنية والسيولة في المستلزمات.

أما الحمل القابل للقياس فيحتوي على أعمال الصيانة الوقائية والتعديلات الضـــرورية في المصـــنع، وهذه الأعمال يمكن تخطيطها بالتفصيل وبرمجتها لمدة من الزمن.

وعـــند تمييـــز حمل العمل الكلي (انظر الشكل 13.11) عن طريق تحديد الخدمـــة المقدمة له والمتعلقة بالمستلزمات العامة، فإن أسلوب التخطيط عندها يؤدي

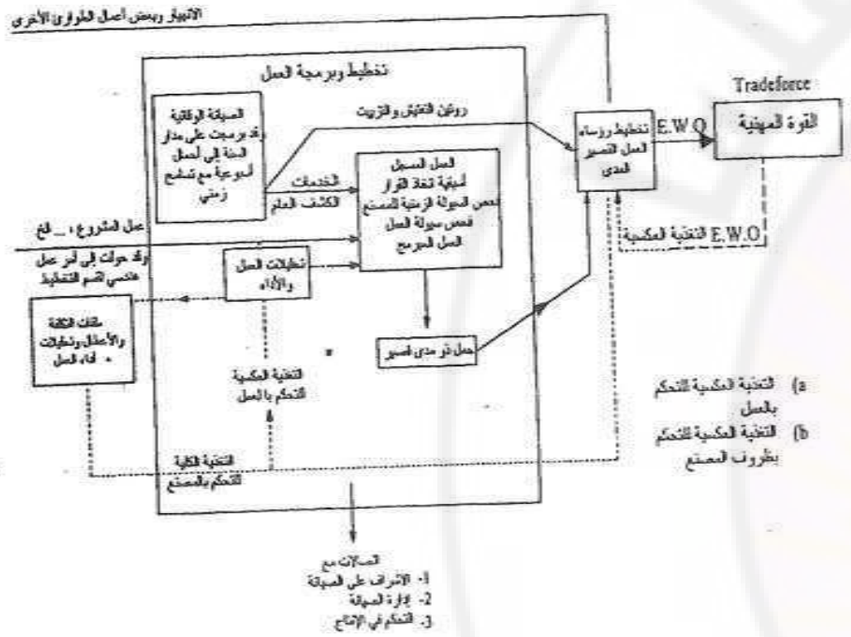
إلى الـــتوازن مع الحمل الكلي والتقيد بقوانين الأفضلية. واعتماداً على ذلك، يجب تـــرك تسامحات زمنية عند وضع الخطة، ومن ثم تسهيل القيام بالعمل خلال الخطة القصـــيرة المدى، ويجب الانتباه إلى أن طبيعة المهن المتعددة المتعلقة بأعمال الصيانة، ســـتؤدي إلى ظهور صعوبات فائقة عند التخطيط للعمل. والحمل المبين في الشكل 13.11، يمكـــن أن يحـــدث في كـــل مهنة صيانية، وبسبب ذلك لابد من **تنسيق الأعمال المنفصلة، حتى يتم إنجاز عمل الحمل الكلي.**

بالإضـــافة إلى ذلـــك، هناك مشكلة التنسيق بين الأجهزة المستخدمة في الصيانة، وفي دائرة صغيرة يمكن للمهندس ورئيس العمال التصدي للصعوبات التي تظهـــر عند التخطيط للعمل، بالإضافة إلى الأمور اليومية المرتبطة بوظائف الإدارة. ومن الأفضل في دائرة كبيرة **تقسيم هذه الأعمال** (الشكل 13.12). وتقع مسؤولية التخطـــيط قصـــير المـــدى على عاتق رئيس العمال، بينما تقع مسؤولية التنسيق والتخطيط بعيد المدى على عاتق قسم للتخطيط منفصل.



شكل 13.12– تركيب إدارة الصيانة، المقسمة حسب طبيعة العمل.

II- نموذج تخطيطي لأعمال الصيانة: يوضح الشكل 13.13، عملية تخطيط العمل في قسم صيانة ذي لامركزية جزئية.



الشكل 13.13- تمثيل لتخطيط العمل وعملية البرمجة.

وتُـــنجز خدمات الصيانة اللازمة للمشروع، وبعض التعديلات والأعمال الأخـــرى، من خلال أوامر الأعمال الهندسية (e.w.o) (كما هو مبين على الشكل 13.14).

وتكمـــن مسؤولية قسم الصيانة في برمجة أعمال المشروع والصيانة الوقائية والصيانة الإصلاحية المطلوبة، ومن ثم يتم توصيل هذه المعلومات إلى رئيس العمال ضمن أوامر (e.w.o) وبشكل مناسب بقصد إجراء التخطيط قصير المدى.

امـــا رؤســـاء العمال، فهم مسؤولون عن التخطيط قصير المدى ومواجهة تعطل الآلات، ويمكن أن يصدر رئيس العمال أوامر الـــ (e.w.o) خلال العطل أو بعده.

ومـــن الضـــروري للـــتحكم بأعمـــال الصيانة وتخطيطها توفر خطوط الاتصـــالات الفعالـــة، كما يحتاج الأمر إلى وجود اتصال وثيق بين كل من القوة المهنـــية والمشـــرفين وبين التخطيط والإشراف، من أجل مواجهة بعض الصعوبات كأفضـــليات معالجة الأعطال وقلة المستلزمات المتوفرة والعمل الإضافي والعمل غير المكتمل... الخ. ويلزم أيضاً وجود اتصال وثيق بين قسم التخطيط وأقسام المصنع الأخرى، من أجل تحديد أفضليات إصلاح الأعطال والأعمال الأخرى.

				العمل المساعد المطلب القرار			
تاريخ الطلب		: اليوم		طلبت من قبل:		قسم الطلبات	
رقم الخطة الأسبوعية	أسبقية التخطيط	تاريخ التخطيط المطلوب		رقم المعمل	نوع العمل	رقم التحديد	
المهن المتعددة المطلوبة							: التعليمات
			القسم				
			المساري				
			الكهربائي				
			ورشة الإنتاج				
			ورشة الآلات				
			ورشة اللحام				
			تصنيع المعادن				
			المجموعات الكلية				
			ورشة الهندسة				
			ورشة المراجل				
			الأجهزة				
			قسم المنشئين				
			قسم الإنشاء				
كلفة المواد الكلية		فراغات حقلت لأعمال التخطيط فقط		تاريخ الإنجاز		تحت مسؤولية:	

شكل 13.14– أحد الأوامر الهندسية (e.w.o) لتنفيذ العمل الهندسي المطلوب

ويمكن أن تساعدنا أوامر الـ (e.w.o) للتغذية العكسية على الاتصال مع بطاقات الزمن التي تزودنا بالمعلومات القيمة اللازمة من أجل تخطيط العمل .

ويمكـــن بتحلـــيل معلومات التغذية العكسية تحديد معدل الزمن الواجب توفـــره لكـــلّ مهنة صيانية حتى تتم مزاولة أعمال المشروع، ويمكن استعمال هذا المعـــدل عـــندئذ لتخطيط المشاريع خلال فترات مختلفة، كما يمكن الاستفادة من تخطيط المشروع عند نهاية كل فترة من أجل الحصول على مستلزمات إضافية عند الحاجة.

وقد تمّ سابقاً توضيح أن التخطيط والبرمجة للصيانة الوقائية يشكلان أجزاء من التخطيط العام.

ثالثة عشر) تحديد مستلزمات الصيانة:

إن **التخطـــيط للصيانة هو عبارة عن عملية ديناميكية ذات بعدين:** بُعد مادي وآخر زمني. فالبعد المادي يشكل جميع المستلزمات والاحتياجات، أما البعد الـــزمني فيتجـــلى في التقويم الزمني، الذي يتم خلاله تنفيذ كامل أعمال الصيانة. لتحقـــيق ذلـــك، تتم برمجة أعمال الصيانة وتُحدد الإمكانات المتاحة أمامها، من وسائل وكوادر، وإعطاء التوجيهات والقيام بالرقابة والمتابعة.

1- مســـتلزمات الصيانة واحتياجاتها المتنوعة . حتى يتم تنفيذ أعباء الصيانة، فإنه لابد من توافر مستلزمات مادية وزمنية وبشرية محددة:

a- **تقدير الاحتياجات المادية كماً ونوعاً:** يُقصد بالاحتياجات المادية، تلك المواد اللازمـــة لإنجـــاز مختلف أعمال الصيانة، وفي مقدمتها قطع التبديل وأجهزة القياس والـــزيوت والشحوم يقدر الحجم اللازم من أنواع المواد المختلفة وقطع التبديل، بـــناءً على توصيف أعمال الصيانة المتنوعة، ويكون ذلك من خلال تحليل عملياتها.

أما **التقدير الكمي للاحتياجات المادية**، فيتم من خلال المعايير التالية:

- عدد مرات الصيانة وأنواعها المختلفة.
- مقدار الاستهلاك في المرة الواحدة، والذي يتعلق بالخصائص التصميمية للآلة واستطاعتها وحجمها وسلوكها أثناء التشغيل.
- العمر التشغيلي للقطع التبديلية.

b- تقديـــر الحاجـــة من القوى العاملة: يتم التقدير العددي للعاملين في الصيانة، انطلاقاً من تحليل الأعمال التي تتعلق بحالة الصيانة المخططة الدورية وبكيفية تنظيم الصيانة وحجم أعمالها. أما التقدير النوعي للعاملين في الصيانة، فيتم بناء على نوع الأعمال والمهن المطلوبة، ويتم ذلك بعد توصيف الأعمال الصيانية.

c- تقديـــر الأزمـــنة اللازمة وفقاً للاحتياجات: يُقصد بالأزمنة اللازمة للصيانة الوقائـــية، وفقاً للاحتياجات بأنواعها، تحديد حجم أعمالها، ومن ثم الزمن المعياري لإنجاز تلك الأعمال، بغية تخطيط الصيانة كنشاط، ثم تحديد القوى العاملة اللازمة لإنجازهـــا وأجـــور العـــاملين فيها وكلفة أعمالها، وتقدير معدل استهلاك الآلات والأدوات والأجهـــزة المستخدمة في تنفيذ أعمالها ومن ثم توقيت زمن القيام بتلك الأعمال.

وكـــنا قد رأينا أن حجم أعمال الصيانة يتوقف على الخصائص التصميمية والاستثمارية للآلات المستخدمة ودرجة تعقيد صيانتها ومجموع أزمنة تشغيلها فيما بـــين صيانتي دوريتين متتاليتين. وقد ذكرنا بأن **حجم أعمال الصيانة الدورية، أي قـــياس الزمن المعياري اللازم لإنجازها يتحدد باستخدام إحدى الطرائق الثلاث التالية:**

- بالقياس المباشر.
- بتحديد وحدات تعقيد الصيانة.

- بتحديد نسبة مئوية من زمن العمل السنوي الاسمي مع مراعاة نظام العمل ونوع الآلات وعمرها التشغيلي.

d- تقدير الاحتياجات من العدد والأجهزة: يتم تحديد هذه الاحتياجات اللازمة لتحقيق الصيانة على ضوء حصر أنواعها المختلفة، وتقدير حجم أعمالها، لذلك فإن **هذه الاحتياجات تتعلق بما يلي:**

- شكل تنظيم الصيانة.
- نوع ودورية الصيانة المعمول بها.
- حجم أعمال الصيانة.

يستعرض عدد وأدوات ومعدات الصيانة للتآكل الفيزيائي والمعنوي. ولذلك فهي تخضع للاعتبارات نفسها المعمول بها عند شراء وسائل العمل وإحلالها وإبدالها، ومنه فالتحديد الدقيق للحاجة من العدد والأدوات والمعدات يتطلب معرفة معايير استهلاكها.

2- الرقابة على الصيانة وفقاً لأساليبها:

a- مفهوم الرقابة على الصيانة: تُعد الرقابة أسلوباً تتابع الإدارة من خلاله الممارسات المستخدمة في تنفيذ الخطط، كي لا تنحرف مسيرة التنفيذ بعيداً عن المعالم المرسومة لها، بحيث يمكن بواسطتها التعرف على مختلف جوانب الصيانة التخطيطية والتنفيذية الآنية، وأيضاً التعرف على مستوى الأداء فيها، كما تتيح للإدارة التعرف على المشكلات والمعوقات والعوامل المؤدية إلى الواقع الذي رصده، والتعرف عليه والتأثير به، كما تؤكد على التصحيح والتقويم الذي من أجله تتم المتابعة.

فالرقابة تتيح من خلال التقييم مطابقة نتائج الواقع (أي المهام والأهداف المحقق) **ومقارنتها مع المهام والأهداف المخططة**، وهي بهذا المنظور تحتاج إلى أدوات ووسائل تمثلها المؤثرات والصيغ التوضيحية للتعرف السريع.

تهـــدف الـــرقابة، عبر دراسة الصعوبات التي أعاقت التنفيذ والمشاكل التي حدثـــت خلالـــه، إلى إيجاد الحلول لها واتخاذ القرار المناسب بشأنها بقصد تحسين الأداء واختيار الحل الأمثل.

b- أساليب الرقابة على الصيانة: تتم هذه الرقابة من خلال **الأساليب التالية:**

- أســـلوب بيرت: وهو أسلوب لتقييم ومراجعة خطة وبرامج التنفيذ، وهو يتيح الـــتعرف على الموارد (المادية والبشرية والعملية) المتاحة للتنفيذ، ويستعرض البدائل المحتملة في ضوء الإمكانات المتاحة والظروف والعوامل المؤثرة على مسيرة التنفيذ، وذلك بهدف التوصل إلى الحل الأفضل.

- قياس مستويات وكفاءة الأداء: يعني هذا الأسلوب تقييم الأداء بغية التعرف على الواقع ومقارنته بالمطلوب ومن ثم تحديد إجراءات التحسين للتقليل من الانحرافات وتصحيحها.

c- مؤشرات الصيانة وفقاً للأساليب المستخدمة: تحتاج الصيانة، كنشاط فني له جوانـــبه الاقتصـــادية إلى مؤشرات توضح جوانبه المختلفة والمتصلة بمراحل تطوره وتقدمـــه بـــدءاً من مرحلة التصميم والإنشاء إلى مرحلة الأداء. فمؤشرات الصيانة تستخدم في عملية التقييم بهدف الرقابة والتوجيه، بعد التحليل، ما يساعد في اتخاذ القرار.

ومؤشرات الصيانة المستخدمة كثيرة ونقتصر على ذكر أهمها:

1. مؤشـــرات أساليب الصيانة (كنسبة الصيانة الداخلية، ونسبة الصيانة الخارجية، ونسبة الصيانة المقدمة من الغير، ونسبة الصيانة المقدمة للغير) .
2. مؤشـــرات الاستثمار في الصيانة (كنسبة الصيانة الداخلية، ونسبة في الصيانة، ونسبة تكاليف الصيانة إلى الاستثمار، ونسبة تكاليف الصيانة إلى قيمة الآلات) .

3. مؤشـــرات أداء الصـــيانة (نسبة تكاليف الصيانة إلى التشغيل، ونسبة التكاليف المباشرة للصيانة، وحجم الصيانة المخططة، وحجم أعمال الصيانة غير المخططة) .

4. مؤشـــرات مـــردود الصيانة (مردود الصيانة، نفقات الصيانة لوحدة الإنتاج، نفقات الصيانة لساعة التشغيل الفعلي) .

d- الرقابة على الصيانة وفقاً لمعايير الأداء .

1- وضـــع معـــايير الأداء في الصيانة: تتباين معايير (مؤشرات) الأداء التي يمكن استخدامها في الصيانة، ويتوقف ذلك على طبيعة الأعمال المطلوبة.

ونبين فيما يلي بعض مستويات الرقابة ومجالات ومعايير الأداء التي يمكن تطبيقها في مجال الصيانة (جدول 13.2).

جدول 13.2- مستويات الرقابة ومعايير الأداء المطبقة في مجال الصيانة

مستوى الرقابة	مجالات الأداء	مؤشرات الأداء
المستوى الأول : الرقابة على عدم ضياع موارد إدارة الصيانة	المحافظة على خدمات مواد الصيانة	نسب الفاقد والتالف من مواد الصيانة وقطع الغيار
	استغلال القوى العاملة في الصيانة	وقت العمل/ الوقت المتاح الكلي لعمالة الصيانة
	استغلال إمكانيات ومعدات الصيانة	وقت معدات الصيانة المنتفع به (المستفادية): وقت عمل معدات الصيانة/الوقت الكلي
المستوى الثاني: الرقابة على كفاءة استخدام موارد إدارة الصيانة	متوسط وقت الإصلاح (Mean Time for repair)	إجمالي أوقات الإصلاح عدد/مرات الإصلاح
	التكلفة	متوسط تكلفة الإصلاح= إجمالي تكلفة الإصلاح/ عدد مرات الإصلاح
		متوسط التكلفة السنوية للصيانة والرقابة
		متوسط التكلفة السنوية لإدارة الصيانة

تتمة الجدول 13.2

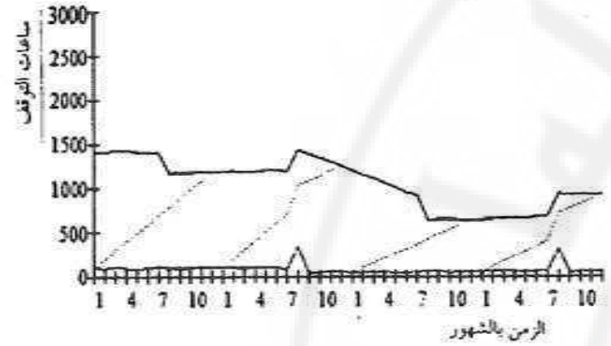
المستوى الثالث :	وقت المعدات المصانة المنتفع به (Availabilty)	وقت التشغيل الفعلي للمعدات المصانة/ الوقت الكلي
	كفاءة الإصلاح (Mean Time for failure)	عدد ساعات التشغيل/ عدد مرات الإصلاح
الرقابة على فعالية إنجاز أهداف إدارة الصيانة	كفاءة الصيانة الوقائية	عدد ساعات الصيانة الوقائية/ عدد ساعات الصيانة الكلية
	الإنجاز	الإنجاز الفعلي لأعمال الصيانة / الإنجاز المستهدف
	سرعة التلبية	متوسط الوقت اللازم لتنفيذ الأعمال العاجلة
	التوقيت	العمل المنجز طبقاً للتوقيت المطلوب/ إجمالي أعمال الصيانة

لا تعـد هذه المعايير والمؤشرات هي المعايير الوحيدة التي يجب استخدامها لتقييم أعمال الصيانة، بل يمكن استخدام معايير أخرى حسب طبيعة ونوعية أعمال الصـيانة، وتؤخذ هذه المعايير على سبيل الاسترشاد. وعند استخدام معايير أخرى فإنما يجب أن تغطي كافة مجالات الأداء المذكورة أعلاه.

2- تقييم الأداء : حتى يمكن إجراء مقارنة زمنية لأي من المؤشرات السابقة، فإنه يجب معالجة التغيرات الموسمية والعشوائية والطارئة حتى نستطيع أن نحكم على تطور هذا المعيار مع الزمن. ومن أجل ذلك **تستخدم المنحنيات التالية:**

I- منحني (Z) المتصل: يعتبر منحني (Z) المتصل من بين الأساليب المستخدمة في هذا المجال، ومن مميزات هذا الأسلوب أنه يسمح لنا بمتابعة تطور الأداء بصورة أوضح بعـد عـزل المتغيرات الموسمية والعشوائية الطارئة كافة، وذلك من خلال حساب

الإجمـــالي المتحرك للمعيار (المؤشر) المطلوب دراسته، وذلك خلال فترة كافية (12 أو 24 شهر)، بحيث يحوي كل مرة كلّ المتغيرات السالفة (شكل 13.15).

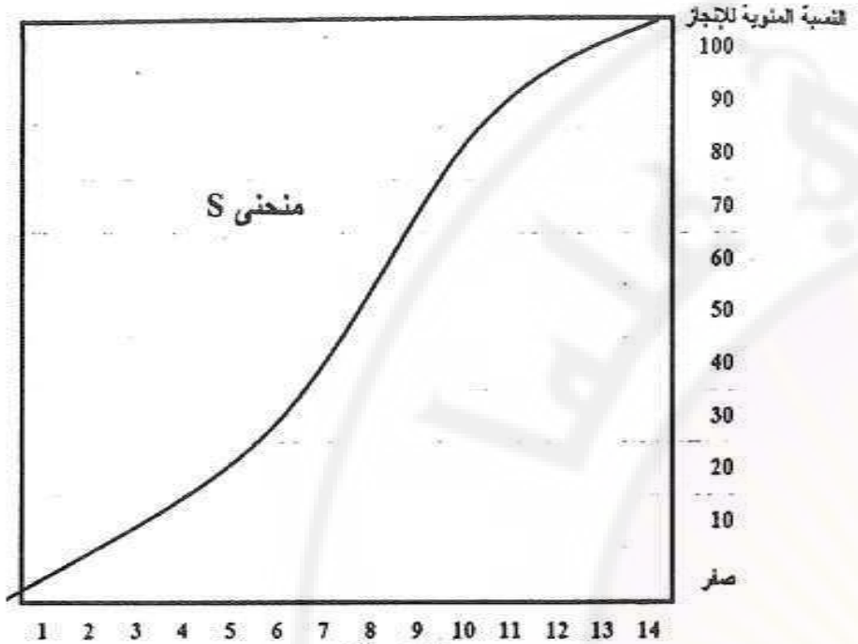


شكل 13.15– منحني (Z) المتصل.

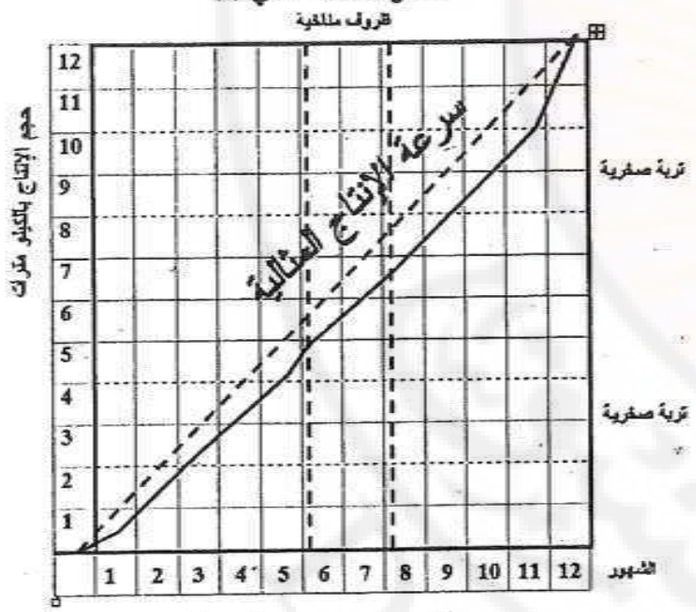
II– منحني (S): كذلك يمكننا استخدام منحني (S) لتقويم مستوى الإنجاز لمتعهد الصيانة أو لإدارة الصيانة، وذلك عند تنفيذ أعمال العمرات أو مشروعات الصيانة، حيث تتم مقارنة نسبة الإنجاز الفعلية مع نسبة الإنجاز المستهدفة.

ويلاحـــظ في هذه الحالة أنّ استخدام هذا الأسلوب بدون استخدام أحد أساليب التحلـــيل الشبكي قد يكون مضللاً، حيث أنه ليس المهم فقط نسبة الإنجاز، ولكن من المهم أيضاً ألا يكون هناك تأخير في الأنشطة الحرجة (الشكل13.16).

III– مـــنحني السرعة: بالنسبة لأعمال الصيانة والإصلاح الخاصة بنوعية واحدة مـــن الأعمـــال، مثل أعمال مد المواسير، وأعمال الرصف، وغيرها يمكن استخدام مـــنحني الســـرعة، حيث تعتمد معدلات الإنجاز على ظروف التشغيل والظروف المحيطة، كما هو واضح في الرسم البياني التالي (شكل 13.17).



شكل 13.16: منحني (S)



شكل 13.17– منحني السرعة

أربعة عشر) الأرشفة والتوثيق (Documentation & Files):

إن مـــن المراحل المهمة التي تأتي بعد الصيانة، هي توثيق أعمال الصيانة في سجلات أُعدت خصيصاً لهذا الغرض، ويكون في طليعتها:

1- سرد كامل لكل فعالية من فعاليات الصيانة التي نفذت .

2- تسجيل الأيدي العاملة والوقت المستغرق لكل فعالية .

3- قطع الغيار التي تمّ سحبها من المستودعات .

4- التحاليل الهندسية التي تمت على المعدات .

5- تقرير مفصل عن التغيرات والأعمال الانتقالية التي نفذت ومبرراتها .

6- الأعمال التي نفذت في الورش وأوقات عمل الآلة .

7-تقارير الفحص الهندسي للمعدات بعد إجراء الصيانة عليها .

8- العدد المستخدمة في أعمال الصيانة (Tools) .

9- حسابات أداء العمل للآلة والمعدات قبل الصيانة وبعدها (Overall Machine Efficiency)

10- التوصيات اللازمة من أجل تغيير معايير الخزن في المستودعات المتمثلة في الحد الأعلى والأدنى ومستوى إعادة الطلب .

11- المواد التي تم شراؤها من الأسواق المحلية .

يـــتكفل المكتـــب الهندسي بالمعلومات المذكورة أعلاه من أجل إدراجها ضـــمن ملف تاريخ الآلة للرجوع إليها عند الحاجة لتقييم فعالية المعدات ومردودها لتثبيت مدى استمرارها في العمل واعتمادها أو تغيير نوعيتها.

المبحث الرابع عشر

الصيانة الشرطية في المنشآت الصناعية

أولاً) المقدمة:

كـنا قـد درسـنا سابقاً في بحث التخطيط لصيانة المعدات والتجهيزات الصـناعية (فقـرة أساليب الصيانة) التقسيمات المتبعة في أساليب الصيانة الرئيسية والفرعية.

واعتماداً على ذلك، تسمى الصيانة المتبعة، عند حدوث انحرافات مميزة في عمـل الآلـة أو الجهـاز أو الوحدة الصناعية، كما تشير وسائل الإنذار المبكر، **بالصيانة الشرطية.**

وتخـتلف الصـيانة الشرطية عن كل من الصيانة العلاجية (صيانة العمل حـتى العطل) والصيانة ذات الزمن المحدد، بأنها تحتاج إلى قياس المقدار (أو المؤشر) المعبر عن ظروف عمل الآلة أو الوحدة الصناعية التي تجري صيانتها. وبالتالي، فهي تخـتلف عـن صيانة العمل حتى العطل (الصيانة العلاجية)، التي لا تتخذ فيها أية إجـراءات للحصول على الإنذار المبكر المعبر عن ظروف العمل، كما أنها تختلف عـن الصـيانة ذات الزمن المحدد، التي تعتمد على معلومات إحصائية مأخوذة عن العطل الحادث لنوع معين من الآلات أو الوحدات الصناعية.

بعد ظهور الانحراف في عمل الآلة أو الوحدة الصناعية، فإنه يمكن برمجتها حـتى تـتوقف عـن العمل بشكل مؤتمت قبل حدوث العطل بزمن معين. أما إذا احـتاج الإنتاج لغير ذلك، فيمكن أن تترك الآلة أو الوحدة الصناعية دون توقف حتى حدوث العطل.

يمكـــن عـــن طـــريق تـــبني هذه السياسة الصناعية إنقاض الخطوات غير الضرورية أثناء التبديل الوقائي. على حين إذا كان تسلسل الأعطال خطيراً فيمكن عـــندها توجـــيه عملية التحذير أو الإنذار بقصد إيجاد الاحتمالات الأولية المتعلقة بحدوث الأعطال الممكنة في آلة ما، قبل أن يصبح احتمال العطل مؤكداً.

يوضح الجدول (14.1) الفوائد الناتجة عن تطبيق الصيانة الشرطية.

هناك **سببان رئيسيان يمنعان تطبيق الصيانة الشرطية** في كل الظروف:

a- لا يمكـــن الكشـــف عـــن كل أسباب العطل في مصنع ما. فإذا لم تكن هناك إمكانية للكشف عن أعطال الآلات الحساسة بشكل مسبق، فإن الفائدة المحققة من الصيانة الشرطية ستكون ضئيلة عند تطبيقها.

b- إن عملية التحذير المبكر مكلفة، سواء من ناحية العنصر البشري أو من ناحية الوسائل المستخدمة في التحذير المبكر. واعتماداً على ذلك، فإن الصيانة الشرطية لا تطـــبق إلا عندما تكون كلفة التحذير المبكر أقل من تكلفة الصيانات الأخرى، أو أقل من تكلفة انعدام السيولة الزمنية، أو أقل من تكلفة تلك الحالة التي يجب خلالها تحقيق عوامل الأمان المرتفعة بسبب أهميتها .

ثانياً) فئات الكشف عند تطبيق الصيانة الشرطية:

تُصنف عمليات الكشف عند الصيانة الشرطية **في فئتين رئيسيتين:**

a-عملية الكشف التي تتعارض مع عمل الوحدة الصناعية؛

b-عملية الكشف التي تحتاج إلى توقيف الوحدة الإنتاجية عن العمل، أو على الأقل لا تستطيع أن تقوم بواجباتها الرئيسية.

ومـــن الواضـــح أن الفئة الأولى أكثر فائدة من الثانية لأنه لا يحدث عند تطبيقها تعارض مع إنتاج المصنع.

الجدول 1-14– الفوائد الناتجة عن تطبيق الصيانة الشرطية

الطرائق التي تستطيع الصيانة الشرطية بواسطتها أن تحقق فوائدها		الفوائد المحققة	
الكشف الشرطي	الكشف الموجه		
حالة الآلة، كما تبين من الإنذار، ملائمة إذا تمّ الإغلاق الفوري	يسمح بإيقاف العمل بأمان، عندما يكون الإغلاق الفوري غير مسموح به.	تقليل الإصابات والحوادث الكبيرة الناتجة عن عمل الآلة	
السماح بتمديد الأزمنة الواقعة بين الكشوف العامة المبرمجة، وعند الضرورة يسمح بالعناية بالآلة حتى حدوث الكشف القادم.	يسمح بإيقاف الآلة للصيانة اللازمة عند وجود إنتاج معين، مما يؤدي إلى تخفيض الخسارات المتنابعة المختلفة الناتجة عن التوقفات غير المتوقعة أو لاجتنابها .	ظهور المزيد من الزمن الممكن استخدامه في الإنتاج	تزايد في سيولة الزمن المحقق للآلة
تقليل زمن البحث بعد الإغلاق وتسريع بداية العمل الصحيح.	يسمح بتوقف الآلة قبل أن تتعطل. يسمح لفريق الصيانة باستخدام الأجزاء الاحتياطية لبدء العمل، فيما إذا توقفت الآلة عن العمل.	زمن الصيانة أقل	
يسمح بإدارة بعض أنواع الآلات عند الحمل والسرعة الأعظمية. يمكن التحقق من النقص في فعالية الآلة أو استهلاك الطاقة المتزايدة.		تزايد في المردود الصافي	
يمكن استخدامه لتقليل حجم العمل أو الخدمة عند مستويات محدودة النوعية.	يسمح بالتخطيط المتطور، من أجل تقليل تأثير الأعطال على الزبون، مما يؤدي إلى تحسين سمعة الشركة	تحسين النوعية للمنتج أو الخدمة.	

وعلى كل حال، فهناك حالات كثيرة تتوقف خلالها الوحدة الإنتاجية عن العمـــل بشـــكل منـــتظم ضمن برنامج عمل المصنع (مثلاً المصانع التي يجري فيها الإنـــتاج خلال ورديتين -Two shifts). في مثل هذه الأحوال لا يتعارض الكشف غير المحمل مع المعمل الطبيعي للمصنع.

ثالثاً) طرائق الإنذار المبكر المستخدمة والمتنوعة :

إن مجـــال هـــذه الطرائق واسع جداً، ولكن بعضها يلائم أنواعاً معينة من المصـــانع، بينما يعتبر البعض الآخر منها غير ملائم. وسندرس في الفقرات القادمة طرائق الكشف بأشكالها المتنوعة، والتي استخدمت في فترات مختلفة.

I- طرائق الإنذار عندما تكون الآلة في حالة التحميل:

a- الفحـــص البصري والسمعي واللمسي للأجزاء سهلة التناول: يمكن كشف الانحراف عن الحركة غير الصحيحة في الأجزاء غير الدورانية بسهولة. فعند وجود بقايـــا الاهتراء أو التآكل الناتج عن الاحتكاك في الوصلات المعدنية (في الوصلات المبرشمة)، فإن هذا يؤدي إلى حدوث هذا الانحراف .

ويمكـــن أن نشـــعر بلمسة أصبع، عند الحركة النسبية، بمقدار الانحراف المســـاوي إلى 1 ميكرومتر والمتكون بين جزئين معدنين. كما يمكن طلاء الأجزاء المعدنية بمساحيق هشة بقصد إظهار الحركة النسبية عند وقوعها.

ويمكن كشف حركة الأجزاء ذات الارتباط غير الوثيق عن طريق السمع في بعـــض الأحـــيان. أما الأجزاء صعبة التناول فيمكن فحصها باستعمال أجهزة الفحص والاختبار أو أية آلات بصرية أخرى.

b- الكشـــف عـــن العطل حرارياً: يمكن كشف العطل في الآلات الحساسة تجاه الحـــرارة بسهولة. ويمكن استخدام أجهزة قياس الحرارة لكشف الأعطال. وهناك مثالان يوضحان كيف يمكن أن يساعد الكشف الحراري في إيجاد الأعطال: أولاً-

قـياس درجـة حرارة الزيت عند مخرج أحد المدحرجات،، وثانياً- قياس درجة حرارة ماء التبريد في محرك ما.

c- كشف اهتراء السطوح من خلال البقايا المعدنية في الزيت: تستعمل شمعات التصريف المغناطيسية في أحواض الزيت، ويدل وجود البقايا القابلة للمغنطة فيها، على حدوث حالات اهترائية في سطوح اهتزراء المدحرج مثلاً.

ومـن المعروف أن انسلاخ طبقات من المعدن عن سطحٍ يعبر عن حدوث اهتراء في السطوح الأنفلوتية لأسنان المسنن، أو أن هناك إجهادات تعبية قد حدثت فيها.

d-كشف تسرب السوائل والزيوت. هناك الكثير من الطرائق المتوفرة المستخدمة في كشف التسرب: منها طريقة الماء والصابون، ويمكن باستخدام عمليات تحضيرية معينة جعل هذه الطريقة أكثر فعالية، حيث يمكن عندها الكشف عن التسرب فوق الســمعي من الطرائق المتطورة في هذا المجال، **إذ يجبر السائل على المرور عبر شق ضـيق تحـت تأثير ضغط داخلي أو خارجي**، فينتج صوت يقع تردده في المجال 40-80KHz، ويستطيع جهاز كشف التسرب فوق السمعي التقاط هذه الذبذبات وتمـيـزها عـن تلك الناتجة عن صوت الآلات العاملة في المصنع . ويمكن بوساطة جهاز كشف نموذجي من هذا النوع أن يدلنا على وجود ثقب قطره 50 ميكرومتر في آلة معينة، عند تطبيق ضغط مقداره 1 ضغط جوي من على بعد عشرة أمتار.

وأيضـاً هناك **الفحص الهالوجيني**، حيث يمر الغاز (الفريون 12 مثلاً) في الجهـاز المطلـوب الكشف عليه، ويؤكد خروج هذا الغاز من الجهاز على وجود التسرب. ويمكن باستخدام هذه الطريقة قياس معدلات تسرب منخفضة. وبسبب وجود هالوجينات حرة في أنحاء المصنع، فإن هذه الطريقة تعتبر غير فعالة.

e- **الكشف والفحص بواسطة الاهتزازات.** تستخدم هذه الطريقة بشكل واسع جداً، ولها تطبيقات كثيرة.مقارنة بالطرائق الأخرى. وكمثال، يمكن عن طريق قياس الاهتزازات التي تجرى بالقرب من مدحرجات آلة ما، أن نكشف ونميز بين الحالات التالية: انعدام التوازن، انحراف الأعمدة، التحطم والانكسار الجزئي لكل من المدحرجات والمسننات، الانحرافات الميكانيكية، التكهف،...إلخ.

f- **كشف الأصوات الحادثة.** تتشابه طريقة كشف الأصوات، مع طريقة كشف الاهتزازات. ويعتبر الصوت مؤشراً معبراً عن ظروف عمل الآلة، ويمكن أن ينتج عن اهتزازات أحد الأجزاء، وعندها فمن المفضل قياس الاهتزاز عوضاً عن الصوت. ولكن هناك مواقف يستحسن فيها تطبيق الفحوص الصوتية.

g- **الكشف عن الاهتراء.** إذا وضعت عناصر كهربائية خاصة في نظام ميكانيكي معين، فإن المقاومة الكهربائية لهذه العناصر تتغير بتزايد الاهتراء. ويمكن عن طريق الحسابات الخاصة، تحديد معدل الاهتراء عن طريق قياس المقاومة القطبية للمجس.

II- طرائق الإنذار في الآلات غير المعرضة للتحميل:

a- **الكشف البصري والسمعي واللمسي للعناصر صعبة التناول والإجزاء المتحركة.** يمكن تحديد ظروف الكثير من عناصر النقل بسهولة بصرياً، وكمثال على ذلك: يحدد بواسطة الاهتراء المتكون على سطوح أسنان المسننات جمع الكثير من المعلومات عنه، كما يمكن التمييز بين المشاكل الناتجة عن الحمل الزائد (Over-load) وعطل التعب والاهتراء ومشاكل ضعف التزييت من خلال مظهر السن.

والمراجع العلمية تذخر بالكثير من الطرائق المتوفرة والمستخدمة في عملية الكشف.

b–الكشف عن الشقوق الدقيقة. في معظم الأحيان، وقبل ظهور الأعطال الجديـة، تظهـر الشقوق إما في نقطة تركيز الإجهادات، أو بسبب وجود عيب معدني على سطح الآلة. **ومن الفحوص المستخدمة في الكشف:**

– التسـرب مـن الشـقوق في السطوح المصبوغة، وهذا الفحص يظهر الشقوق الصغيرة التي تصل أبعادها حتى 0,25 ميكرومتر.

– فحـص التدفق المغناطيسي (magnetic flux inspection). عند عبور السطح الـذي بـه شق المجال المغناطيسي (الذي يتكون محلياً على سطح المعدن باستعمال مغناطيسـي عـلى شـكل حرف U)، فإنه يتشكل عندئذ انتشار للتدفق (فيض) المغنطيسـي حول هذا الشق، ويتم إظهار هذا المجال، ومن ثَمّ عن وجود الشق عن طريق رش برادة الحديد.

– كشـف المقاومـة الكهربائية. إن وجود الشق المتكون على السطح سيزيد من مقاومة المجال الكهربائي المقاس بين مسبرين متصلين موجودين على كل من جزئي السطح. يمكن باستعمال هذه الطريقة فحص عمق الشقوق.

– الكشـف باسـتخدام التيارات الدوامية (eddy current، التيار الدوامي يخالف التيار الرئيسي). عند وضع ملف يحمل تياراً مقابل سطح الآلة، عندها يتكون تيار دوامي في معدن هذا السطح. وتفحص هذه التيارات الدوامية إما بوساطة التغير في تحـريض الملف المولد لهذا التيار، أو بوساطة ملف منفصل. وعند وجود تعارض في النتائج، فإن هذا يدل على وجود الشق.

– الفحص الراديوغرافي (radiography). يمكن تصوير العيوب المتشكلة في المعدن، باسـتعمال أشعة X أو الأشعة الصادرة عن مصدر راديو غرافي، وخلال ذلك يتم الاستعانة بمواد فوتوغرافية خاصة. ويمكن بهذه الطريقة الكشف عن الاختلاف في السماكة الواقع في حدود 2%.

c- **الكشـــف عـــن التسرب.** يمكن أن يطبق فحص التسرب فوق السمعي على الآلات غـــير المحملـــة، عـــن طريق وضع مولد فوق سمعي داخل الجهاز المطلوب فحصه.

d- **الكشـــف عـــن الاهـــتزازات.** إحدى الطرائق الشائعة المستخدمة في فحص اهـــتزازات الآلات الدورانية، هو فحص التوقف عن العمل (run-down)، وعندها يتم استثمار طنين (resonance) النظام من أجل تكبير الاهتزازات.

e- **الإنـــذار عـــن معدل التآكل.** بالإضافة إلى الطرائق التي شرحت تحت عنوان (الإنـــذار في حالة التحميل)، فإنه يمكن تحديد معدل التآكل بدقة، عن طريق قياس مقـــدار الـــتغير في الوزن لعنصر (أو جزء آلي) خلال فترات مختلفة. وهناك طريقة جديـــدة لفحـــص تغير السماكة، عن طريق قياس تغير عمق الحفرة المستحدثة في السطح المعني بمساعدة أشعة الليزر.

رابعاً) الطرائق العامة المستخدمة للإنذار المبكر:

يمكن اعتبار ثلاثاً من الطرائق السابقة كطرائق عامة للإنذار المبكر، وهي: الكشـــف الحـــراري، والكشـــف بمســـاعدة الـــزيوت المستخدمة والكشف عن الاهتزازات.

I- الإنذار المبكر عن طريق فحص الزيوت المستخدمة:

لـــيس مـــن الســـهل إجـــراء فحص لأجزاء الآلة المعقدة، وهي في حالة التحميل، كما أنه ليس بسيطاً فك هذه الآلة. وعلى كلٍ، يحمل الزيت الذي يدور في أنحاء الآلة دلائل عن ظروف عمل الأجزاء التي يقابلها في طريقة.

يســـمح تحليل الزيت وتحديد أية شوائب عالقة به بالكشف عن حالة الآلة سواء كانت محملة أم غير محملة.

وهناك العديد من الطرائق المستعملة في هذا المجال، بعضها بسيط وبعضها معقد وذو تكلفة عالية.

§ 1- طـرائق الكشف عن الزيت. يمكن بفحص الزيت استقصاء المعلومات عن البقايا المترسبة والأخرى العالقة به.

a-البقايا المترسبة: يمكن تجميع البقايا الكبيرة التي يحملها الزيت معه (في حالة التحميل) بوساطة المرشحات أو المجمعات المغناطيسية.

b- البقايا العالقة: ستبقى الأجزاء الصغيرة التي يجمعها الزيت عالقة فيه، ومن المعروف أن فحص هذه البقايا العالقة يعطي الإنذار المبكر المعبر عن عطل الجهاز المعني.

ويجب الأخذ بالحسبان خسارة الزيت خلال جريانه، وتأثير خروج الزيت النقي مع البقايا العالقة عند إجراء القياسات على الزيت المستخدم. وفي العادة، يتم استعمال أنواع التحاليل التالية:

1- تحليلات الزيت السبيكترومترية (مقياس الطيف —spectrometer): يمكن تحديد تركيز مواد الاهتراء في الزيت بوساطة سبيكترومتر باعث أو ماص للذرات، والنوعان يقيسان تركيز المعادن في الزيت. وتعتبر هذه الطريقة سريعة ومناسبة، ولكنها تزودنا بالمعلومات عن معدل تجمع هذه البقايا ومكوناتها فقط ولا تعطي المعلومات اللازمة عن شكل هذه البقايا.

2- تحليلات الزيت الفروغرافية: وهي طريقة لترسيب المحتويات القابلة للمغنطة الموجودة في عينة زيتية ما وتوزيعها حسب الحجم. وبعدها يمكن فحص هذه البقايا وفقاً للتركيز والحجم والتوزع والشكل.

§ 2- الانحرافات التي يمكن تحديدها بوساطة الكشف على الزيت. إن التغير في معدل تجميع البقايا المعدنية يؤكد على وجود تغير في حالة الآلة المعينة، فخلال

العمـــل ســـيقل معدل تجميع هذه البقايا مع الزمن إلا إذا حصل عطل ما. وخلال العمـــر العادي، يكون معدل تجميع البقايا المعدنية وتكوينها وحجمها ثابتاً. وتميل دقائق الاهتراء الطبيعي إلى النعومة، بينما يكون شكل البقايا المتكونة عند القطع أو الكشط مدبباً. ويعبر عن أعطال تعب السطوح من خلال البقايا المعدنية التي تكون كبيرة نسبياً ومستديرة.

يمكن بواسطة التحليل البسيط لمعدل تجمع البقايا المعدنية في المرشحات أو المجمعـــات المغناطيسية أن نعرف فيما إذا كان الاهتراء يعود إلى المدحرجات أو إلى سطوح التلامس كوجوه المستنات أو وحدات النقل الأخرى.

ويعطـــي الفحص السبيكترومتري أو الفروغرافي المعلومات التي تساعد في معرفة الجزء المعطل التابع لآلة ما.

II- الإنـــذار المـــبكر عن طريق الكشف الحراري. يجري الكشف الحراري من أجل:

1-تسهيل التحكم بعملية ما، أو التأكد من أنها مراقبة بشكل جيد.

2-الـــتحقق من سبب الزيادة الحرارية العائدة لواحد من الانحرافات عند عمل الآلة (كاهتراء المدحرج مثلاً).

3-الـــتحقق من التغير في كمية الحرارة المنقولة من خلال جسم الآلة إلى الخارج، والـــذي ينـــتج عنه تغير في حالة أحد الأجزاء، كالدوران السيء لسائل التبريد أو تكون الرماد في المرجل.

يعتـــبر الأســـلوب الأول شـــائعاً في التطبيقات العملية، بينما لا يستعمل الأسلوبان الأخيران إلا في حالات قليلة.

§ 1-أساليب إجراء القياسات الحرارية. يمكن إجراء الكشف الحراري في مكان مـــن المصـــنع (مثلاً، لتحديد درجة حرارة الماء في المرجل)، أو على سطح الجهاز

(غطاء المدحرج مثلاً). وتزودنا قياسات السطح بمعلومات عامة عن تشكل الحرارة في الآلة، وعن الانتقال الحراري إلى السطح أو إلى المبادلات الحرارية.

ومـــن المعروف أن قياسات حرارة السطح أصعب من القياسات الحرارية المغمورة، وذلك لأن الانقطاعات الحادة في المنحنى الحراري تكبر عند القياس على الســـطح، ومن ثم يجب أن تكون الأجهزة التي تحس حرارة السطح محدودة الحجم، كالمزدوجات الحرارية (thermal couple).

§ 2- أجهزة الكشف الحراري.

a-موازيـــن الحـــرارة ذات الاتصال: تأخذ هذه الأجهزة درجة حرارة الأجسام الملامســـة لهـــا، ومن ثم تنتقل المعلومات المطلوبة عن حالتها الحرارية إلى الأجهزة اللازمة، وهي مستعملة بشكل واسع.

يمكـــن أن تـــزودنا هذه الأجهزة بالمعلومات الحرارية عن المناطق المحلية أو البعيدة (ويســـتعمل عـــندئذٍ مقياس أو ميزان الحرارة -thermometer)، أو يمكن التحكم بواسطتها بأحد الوظائف(مثلاً عن طريق أداة مؤتمتة لتنظيم الحرارة-thermostat).

تتأثر كلاً من الدقة وزمن الاستجابة (response time) بطرائق تثبيت هذه الأجهـــزة. ومن المهم أن يتم الاتصال الحراري الجيد بين الجهاز والأداة الحرارية. ويتم هذا الأمر عن طريق لحام الأداة الحرارية بجسم الآلة. وتعتمد أزمنة الاستجابة الحـــرارية على حجم الجهاز. وعليه، فإن الأدوات الحرارية الصغيرة هي المناسبة في حالة حدوث تغير سريع في درجة الحرارة. وفيما يلي بعض أنواع الموازين الحرارية الأكثر استخداماً.

1-موازيـــن الحرارة ذات التمدد السائلي: وهذه الموازين هي أشهر أجهزة قياس الحرارة.

2–موازين الحرارة ذات التمدد لخليط من المعادن: هذه الموازين كثيرة الانتشار، وتستعمل عندما تكون الحرارة عالية جداً، أو عندما يحتاج الأمر إلى أدوات حرارية متينة.

3– موازيـــن الحـــرارة ذات المزدوجات الحرارية: وتعتبر هذه الموازين من أصغر الموازين المستعملة، كما أنها كثيرة الملاءمة للظروف الحرارية.

ويتلخص مبدأ هذه الموازين، بأنه عند وصل سلكين معدنيين مختلفين، فإنه تـــتولد قـــدرة حرارية في مكان الوصلة، وهي تتناسب مع درجة الحرارة، ويمكن قياسها بواسطة جهاز فولتمتر (voltmeter) بسيط أو جهاز لقياس القدرة. وبما أنه يجـــب إكمـــال الـــدارة الكهربائية، فيجب أن يحوي جهاز القياس على وصلتين متقابلتين بين المعدنين المختلفين، ومن ثم ستوضح القدرة المقاسة الفرق الحراري بين الوصلتين.

تعتـــبر هذه الأجهزة حساسة، وتستطيع أن تقيس درجات الحرارة بدقة تصل حتى $0,5c^{o}$، عن طريق استعمال مقياس القدرة أو الفولتمتر الكهربائي.

4– الموازيـــن الـــتي تقـــيس تغير المقاومة: ويعتمد مبدأ عمل هذه الموازين على استعمال تغير المقاومة لعنصر ما بتأثير تغير درجة الحرارة. ويمكن أن يكون العنصر سميكاً أو غشاء رقيقاً على السطح. وبما أن المقاومة لمعظم المواد تتغير بمقدار 0,003 أوم/ لكل درجة مئوية، فإن هذه الأدوات غير دقيقة وتحتاج إلى وجود دارة جسرية ومقياس حساس.

والمقاومـــات هي مواد نصف ناقلة تتغير مقاومتها بسرعة مع تغير مقدار الحرارة، ويساوي مجال درجة الحرارة إلى $300c^{o}$.

يعتـــبر قـــياس درجـــة حرارة ماء التبريد في المحرك واحداً من التطبيقات النموذجية لهذا النوع من الموازين.

b–موازين الحرارة عديمة الاتصال: تتغير طاقة الإشعاع الصادرة من جسم ما وفقاً للحرارة المطلقة للجسم وقدرة الانبعاث الحراري (thermal emission) من السطح المشع، ويكون ذلك حسب قانون بولتزمان–ستيفان. ويمكن أن تزداد حرارة الجسم عن طريق الطاقة المشعة من دون وجود أي تماس مباشر. وعادة تكون دقة هذه الموازين غير مرتفعة بسبب تغير قدرة الانبعاث الحراري. وفيما يلي وصف لأدوات القياس التي تعتمد على هذا المبدأ، وهي مرتبة حسب تصاعد الكلفة:

1–المقياس البصري (optical gauge) : يتكون جزء كبير من الإشعاع في مجال الذبذبات المرئية عند الدرجة 500c°. وتستعمل هذه الظاهرة في الأجهزة البصرية، حيث يُقارن لون سطح الجسم أو الغاز بلون اللهب المضيء، وعندها يتم قياس درجة الحرارة بدقة 2%.

2–مقياس الإشعاع (radiant gauge): وتستعمل هذه الأجهزة خلايا كبريتات الرصاص لقياس الطاقة المنبعثة من السطح الساخن، عن طريق استخدام مجموعة من الذبذبات، كتلك الناتجة عن الأشعة تحت الحمراء (ultra-red). وتظهر درجة الحرارة بعدئذ على مقياس خاص بدرجة دقة تصل حتى 2%، وفي مجال درجات الحرارة 5-500c°.

3–جهاز التصوير بالأشعة تحت الحمراء: وتظهر هذه الطريقة المنحني الحراري على شاشة تلفزيونية خاصة. ويقع مجال درجات الحرارة المقاسة باستخدام هذه الطريقة ضمن الحدود 20-2000c°. وتعتبر هذه الأجهزة غالية الثمن، وهي ذات قدرات عالية.

§ 3- الانحرافات التي يمكن كشفها حرارياً: بالإضافة إلى كشف درجة حرارة عملـية أو جهـاز ما، فإن هناك مجالاً واسعاً من العيوب العامة التي يمكن كشفها حرارياً.

a-اهـتراء المدحـرج: ينتج عن اهتراء عناصر المدحرج، تزايد في تشكل الحرارة. وبسبب هذا التزايد الحراري ستتزايد حرارة سطح غطاء المدحرج.

b- يمكـن الكشـف عن عطل جهاز التبريد أو التزييت عن طريق مراقبة ارتفاع درجـات الحرارة على سطح الجسم. وينتج هذا العطل بسبب عطل المضخة العائد لأحـد الأسـباب التالـية: إغلاق أنبوب أو صمام أو مصفاة، أو اهتراء المبادل الحراري.

c- تشكل الحرارة بكميات غير متوازية: إن الاحتراق غير التام في محرك انفجاري أو مرجل يمكن أن يسبب توزيعات غير متعادل للحرارة على سطح الغطاء.

ويمكـن أن تظهـر مجموعـة من المزدوجات الحرارية المثبتة بشكل مناسب انعدام التوازن الحراري أو تغيراته. ويمكن أن نكشف أجهزة التصوير تحت الحمراء مناطق التوزع الحراري الكبيرة وبسرعة.

d-تشـكل المواد غير المرغوبة: يمكن الكشف عن تراكم الأوساخ أو الرواسب في الأنابيـب والـرماد أو الغـبار أو التآكل في المراجل، بوساطة الكشف الحراري للسطوح المناسبة، لأن هذا التراكم يغير من درجة حرارة السطح.

e- العيوب الكهربائية: عندما تكون وصلات التيار ضعيفة، فإن المقاومة الكهربائية تولد كمية كبيرة من الحرارة.

III- الكشف الصوتي وتحديد مقدار الاهتزازات ومواضع تشكلها: ربما يكون هذا الكشف هو أقدم أنواع الكشف للإنذار المبكر المعبر عن عطل الآلة. وتشكل

الـــتغيرات الحادثة في الاهتزازات المسموعة أو المحسوسة للأجهزة أو الآلات مؤشرا للبدء في إجراء الفحوص اللازمة.

§ 1- أســـباب حدوث الاهتزازات والصوت: جميع الآلات تهتز ومن الصعب موازنـــة الأجزاء المتحركة بشكل مطلق، وبالتالي فإن الاهتزازات تنتج في الأجزاء الدورانـــية غـــير المتوازنة، وعند تسارع تحرك الأجزاء الآلية وفق مسارات خطية. تحـــدث الاهـــتزازات أيضـــاً في الأجزاء التي تتحرك أو تنـــزلق أو تتدحرج فوق الســـطوح الأخـــرى، إذ تحـــدث بسبب خشونة السطوح المتلامسة. وقد يسبب إنفكـــاك الارتباط في أزواج الأجزاء المتلامسة حدوث صدمات. كما تنحني أجزاء المدحرج (أو ما شابهه) المعرضة للحمل، وعندها تتشكل الاهتزازات.

وقـــد وضـــعت جداول لمجموعات الاهتزازات، وهي تبنى بالاعتماد على الصـــفات العامة للاهتزازات والمستويات المقبولة منها، والتي تستعمل للمساعدة في تصميم الآلات.

ويحـــدث الصوت عندما تهتز الآلة، ويتوقف مستواه على كل من مساحة سطوح الأجزاء المهتزة ومردود انتقال الصوت من الآلة. وفي الوقت الحاضر يكرس جهد كبير لتقليل الاهتزازات في الآلات ومردودها أثناء الانتقال.

§ 1- الاختيار بين أساليب الكشف عن الصوت أو الاهتزازات: يجب الاختيار بين الكشف عن كل من الصوت أو الاهتزاز في أي موقع من الآلة. وعادة، تكون مســـتويات الصوت أكثر ملائمة للقياس، حيث لا تحتاج عندها إلى تثبيت أدوات القـــياس عـــلى الآلة. ولكن تكون قياسات الاهتزازات أكثر تنوعاً وتكراراً. ولهذا الســـبب تســـتعمل أســـاليب الكشف عن الاهتزازات أكثر من أساليب الكشف الصوتي.

§ 3- الأجهزة المستخدمة في القياس: إن محول الصوت هو عبارة عن ميكروفون (microphone- أداة لتحويل موجات الصوت إلى تيارات كهربائية) يحول إشارات الضغوط الصوتية إلى إشارات كهربائية، وأداة التحويل هي عبارة عن عنصر كهروجهدي (piezoelectric- عنصر يحول طاقة الضغط إلى طاقة كهربائية) أو عنصر سعوي (capacity element) موصول مع الغشاء (diaphragm) الحساس بالنسبة للضغط.

وأشهر محولات الاهتزازات هو جهاز التسارع الكهروجهدي ذو الحجم الصغير والمتانة العالية، والتمتع بالديناميكية المرتفعة والتردد الواسع. ويعتمد المبدأ الرئيسي لأي محول يعمل بالتأثير الكهروجهدي على تحويل الحركة إلى شحنة، والتي تنتقل بدورها إلى جهاز تكييف الإشارات. وإذا كان معدل تغير الحركة بطيئاً، فإن عملية الانتقال تؤثر على القراءة بشكل ملحوظ.

§ 4- الطرائق العملية المستخدمة لكشف الاهتزازات: تعتبر طريقة كشف الحمل، من أكثر الطرائق شيوعاً عندما يراد الكشف على كل من الصوت والاهتزاز. ونعتبر هذه الطريقة مناسبة في حالة كشف الصوت أيضاً. ويمكن الكشف لحالة الحمل بإحدى الطريقتين الآتيتين:

1-إجراء القياسات على فترات لكل من القطع والعناصر والأجزاء القابلة للتبديل: وهذه الطريقة تزودنا بالمعلومات عن التغيرات بعيدة المدى التي تحدث ضمن ظروف المصنع.

2-الكشف المتواصل على التجهيزات والأجزاء غير القابلة للتبديل: **ويدري** الكشف المتواصل عندما يكون حدوث الأعطال سريعاً، وعندما تكون نتائج **هذه** الأعطال غير مقبولة، كما في حالات مولد العنفة مثلاً.

وبالنتـــيجة يمكن باستخدام الصيانة الشرطية التقليل من الخطوات غير الضـــرورية عند التبديل الوقائي. وإذا كان حدوث الأعطال متكرراً وخطيراً، فيمكن توجيه عملية التحذير للتنبؤ عن المؤشرات الأولية للعطل في آلة ما، قبل أن يصـــبح احتمال حدوث العطل مؤكداً. وهذا ما يجعل الصيانة الشرطية أكثر فاعلية وملاءمة للظروف المختلفة.

طرائق الإنذار المبكر متعددة ووسائلها كثيرة، وتستعمل من أجل ذلك أجهزة بسيطة، ويمكن للفني المتمرس أن يستخدمها بنجاح أثناء الكشف. يحقق تطبيق الصيانة الشرطية العديد من الفوائد الاقتصادية والفنية، وأهمها:

- تقلـــيل عدد الإصابات والحوادث التي تسببها الآلات، وبناءً على ذلك يزداد عامل الأمان في العمل.
- تقلـــيل أزمنة كل من التوقفات والصيانة، وبسبب ذلك يزداد المردود الزمني.
- تحسين نوعية المنتجات الفنية المقدمة.

والصيانة الشرطية هي السياسة المفضل تطبيقها فيما إذا كانت الأجزاء الآلية في الآلات صعبة الاستبدال، كما إن كلفة هذا الاستبدال تكون عالية.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الخامس

تأثير الصيانة على وثوقية الآلات

وارتباط مفاهيم الصيانة بالتطورات العلمية والتقنية

المبحث الخامس عشر : الأعطال وعلاقتها بوثوقية الآلات

المبحث السادس عشر : تأثير التطور العلمي والتقني على مفاهيم الصيانة وأساليبها

وقل رب زدني علما
Damascus University

المبحث الخامس عشر

الأعطال وعلاقتها بوثوقية الآلات

§ 1- الأعطال خلال العمر الكلي للآلة :

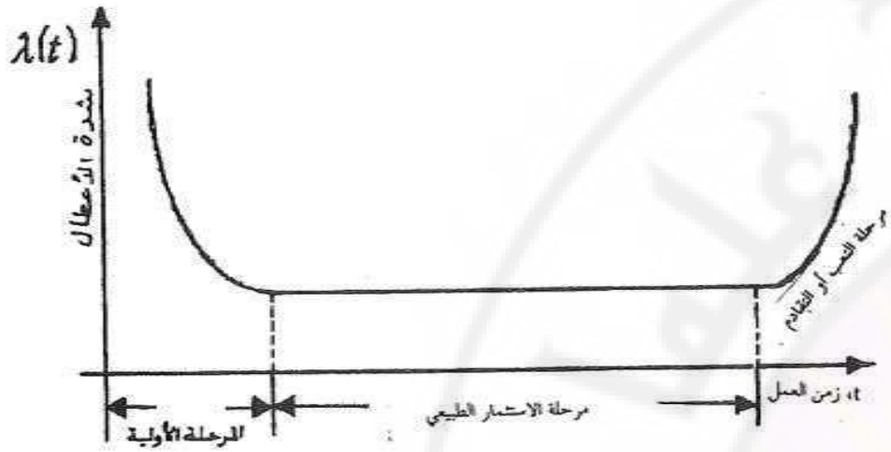
خلال عمل الآلة، يمكن أن تظهر الأنواع التالية من الأعطال:

1- العطل الفجائي : وهو العطل الذي يحدث بدون سابق إنذار، وكمثال لذلك يمكـــن أن يكون الانهيار المفاجئ لأي جزء ميكانيكي، ففي هذه الحالة من الصعب ملاحظة التدهور، أو ما يشير إلى حدوثه، وهنا يصبح من غير الممكن وضع صيانة مشروطة.

2- العطـــل المـــتدرج: هنا يمكننا ملاحظة مراحل التدرج في الوصول إلى العطل. فعلى سبيل المثال؛ يمكن أن يظهر العطل بسبب ظواهر التآكل وازدياد الاحتكاك؛ وعـــندها فـــإن هـــذا العطل يمكن أن يخضع لتقنيات المراقبة المستخدمة في الصيانة المشروطة.

يعتـــبر زمن الاستثمار من العوامل الهامة المحددة لوثوقية الأنظمة الصناعية، وتتضـــح هـــذه المســـألة لدى دراستنا للمنحني التالي الذي يمثل العلاقة بين شدة الأعطال وزمن الاستثمار (أنظر الشكل 15.1)

في الغالـــب، تظهـــر العيوب التكنولوجية التصميمية في **الفترة الأولى من الاستثمار (أعطال الولادة)**، ونلاحظ عندها أن شدة الأعطال كبيرة وقد تمتد هذه الفـــترة إلى عشرات الساعات، وهي تعطي فكرة واضحة عن العيوب التي يعانيها الـــنظام. تتميز هذه الفترة من الحياة، بمعدل أعطال متناقص مع العمر الاستثماري للنظام أو الآلة، وتمثل أيضاً مرحلة التجريب الأولية، وهذا يساعدنا على إزالة جميع الأعطال بسبب الأخطاء التكنولوجية قبل وضع النظام في الاستثمار النظامي.



شكل 15.1: العلاقة بين شدة أعطال الأجزاء الآلية وزمن استثمارها.

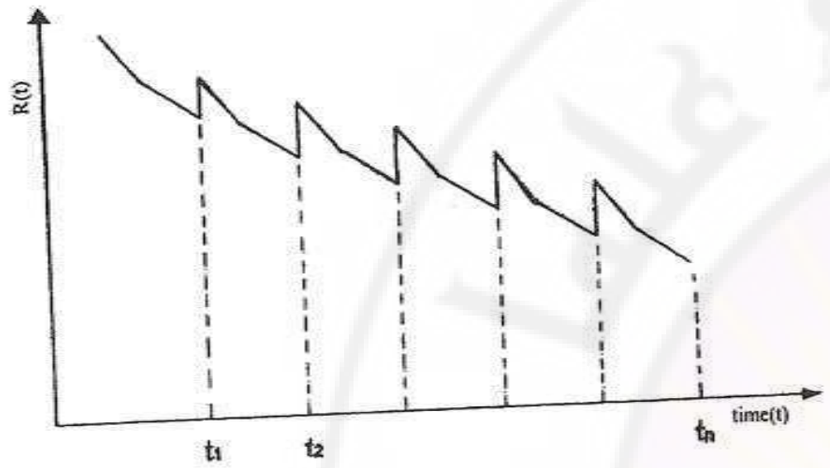
أمـــا **الفترة الثانية** فتمثل مرحلة التشغيل النظامي (مرحلة الاستثمار)، وتتميز هذه الفترة من الحياة بمعدل أعطال مستقر نسبياً، حيث تكون فيها شدة الأعطال ضئيلة وثابتة. وتستغرق هذه الفترة من عمر الآلة زمناً كبيراً.

إن إجـــراء عمليـــات الصـــيانة في هـــذه المرحلة من حياة الآلة (مرحلة الاستثمار) تزيد من وثوقية النظام الاستثماري ضمن فترة الاستثمار.

يمكـــن تمثيل تأثير عملية الصيانة على الوثوقية خلال هذه المرحلة بالشكل التالي (شكل 15.2):

تمثل $t_1, t_2, \ldots t_3$ – فترات التشغيل للنظام أو الآلة، وفي كل فترة يحدث فيها أعطال نقـــوم بصيانتها، أي بمعنى آخر يتم تصحيح الوثوقية إلى المستوى المقبول تصميمياً. ومـــن المعـــروف، بأنـــه مع مرور الزمن تنخفض الوثوقية، وعند القيام بإجراءات الصيانة، فإننا بذلك نحسن وثوقية النظام. ولكن بعد انتهاء فترة الاستثمار، أو بعد مضي زمن طويل من الاستثمار تصبح عملية الصيانة غير مجدية وتنخفض الوثوقية

بشكل كبير وعندها نقول بأن **العمر الاستثماري للنظام أو الآلة قد انتهى ودخل في مرحلة الشيخوخة.**



شكل 15.2: تأثير الأعمال الصيانية للآلات على وثوقيتها.

إن الأعطال في هذه المرحلة من العمر ذات مدلول هام، حيث نستطيع من خلالهـــا تقييم وثوقية النظام أو الآلة، ومن خلال العلاقات الرياضية التي تحكم هذه المسألة نستطيع التنبؤ بالوثوقية كتابع للعمر.

معدَّل الأعطال : $$\lambda(t_i)=\frac{n_i}{N_i.\Delta t_i}$$

تابع العطل التراكمي : $$F(t_i)=1-\frac{N_i}{N_o}$$

تابع الوثوقية : $$R(t_i)=1-F(t_i)$$

حيث:

N_o : عدد العناصر الجيدة عند اللحظة البدائية t_o.

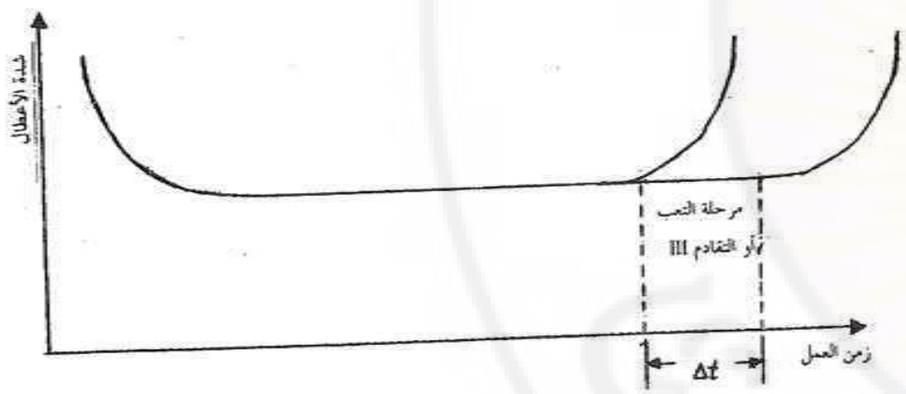
N_i : عدد العناصر الجيدة عند اللحظة t_i.

n_i: عدد العناصر المعطلة بين اللحظتين t_i و $t_{(i-1)}$ ويرمز لها بـــ ΔN_i

Δt_i : مجال زمن المراقبة خلال الفترة : $t_{(i+1)}-t_i$.

أما الفترة الثالثة فتمثل نهاية الحياة الاستثمارية للأنظمة والتجهيزات الصناعية. تبدأ هـــذه المـــرحلة بعد عمر طويل للآلية، وتتميز هذه الفترة بشدة الأعطال المتزايدة وتدهور الوثوقية بشكل ملحوظ ويصبح النظام خارج شروط الخدمة بسبب تقادم عناصر الآلة واستهلاكها، وهذا يطابق ظواهر التعب والتآكل في الآلات.

إن كلفة النظام والهدف الاستراتيجي منه ومجال عمله يحتم علينا التصرف عـــند الوصول لهذه المرحلة من العمر. فإذا كانت هناك حاجة للاحتفاظ بالنظام أو الآلـــة ضمن الخدمة، فهذا يفرض علينا أنواعاً مشروطة من الصيانة الدقيقة لا يمكن الاستغناء عنها. **إن عملية الإبقاء على النظام أو الآلة في الاستثمار تعني من ناحية الـــتقادم تمديـــد حـــياة النظام أو الآلة أو تمديد العمر الاستثماري لفترة زمنية مقدارها Δt (انظر شكل 15.3).**



شكل 15.3 : تمديد العمر الاستثماري للآلة.

لتحقـــيق ذلـــك، فإن الأمر يحتاج إلى إجراء عمليات صيانة إضافية لإطالة عمر النظام، وهي :

- تبديل العناصر ذات صلاحية العمل المنتهية.

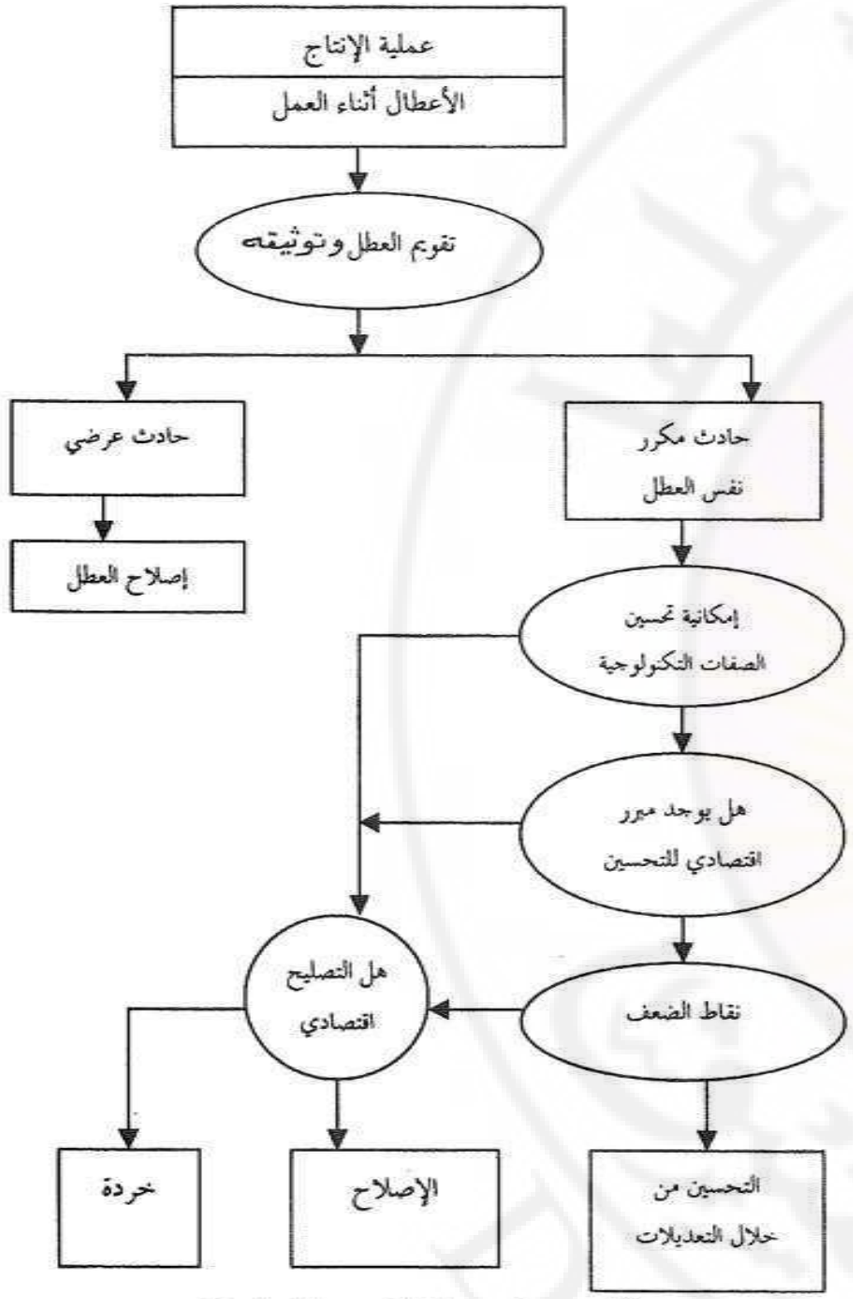
- تبديل بعض الأنظمة الجزئية إذا لزم الأمر.
- إجراء عمليات صيانة شاملة للآلة.
- وضع برنامج فحص مكثف لضمان الوثوقية بشكل مستمر.
- إزالة نقاط التأكسد أو التآكل.
- إجراء عمليات معايرة للآلة.

طبعاً مهما كان مستوى الصيانة المنفذة، فإنه لا يمكن أن نعيد الوثوقية إلى قيمتها الأولية عند البدء باستثمار النظام أو الآلة، ولكن يمكن **بفضل هذه الصيانة الوصول بالوثوقية إلى قيمة مقبولة** مقارنة بكلفة النظام أو الآلة في حالة خروجها من الخدمة وعدم وجود البديل (انظر شكل 15.4).

§ 2- المفاهيم الأساسية والمعايير المرتبطة بالوثوقية:

ترتبط كل من المفاهيم الأساسية ومعايير الوثوقية (reliability) لآلة التشغيل، بتقدير قابليتها للعمل (أو قابليتها للخدمة serviceability)، ويتم ذلك بالدرجة الأولى من خلال تحقيق دقة التشغيل. إن مفهوم الوثوقية، يمكن أن ينسب إلى آلة التشغيل ككل، أو إلى أحد عناصرها. إن موضوع الدراسة سيكون ما يسمى "الوحدة المنتجة، product".

الوثوقية- هي خاصية الوحدة المنتجة في الحفاظ على قابليتها للعمل خلال الفاصل الضروري من الزمن. إن وثوقية الوحدة المنتجة- هي خاصية عامة، وتضم كلاً من مفهومي عدم التعطل ومدى التحمل. يجب قبل أن نعطي تحديداً لهما، أن نعرف كيف نقدر زمن عمل الوحدة المنتجة. هنا **تظهر حالتان أساسيتان**. الأولى-عندما الزمن يقدّر بالاستمرارية التقويمية (calendar duration) لعمل وحدة المنتج. تظهر هذه الحالة، عند تحديد أسباب اختلال قابلية العمل لوحدة المنتج، مثلاً في حالات الصدأ (corrosion)، وتأثير العوامل الخارجية الحرارية...إلخ.



شكل 15.4: تحسين الوثوقية من خلال الصيانة.

في هـــذه الحالة، يسمى زمن العمل حتى حدوث العطل (failure) t=T بـــ "**مدة الخدمـــة** servicelife حـــتى حـــدوث العطل" (t- الزمن الجاري أو الحاضر، T- الفاصل الزمني المعني).

ولكن من أجل أكثرية الآلات وميكانيزماتها، فإن المقدار الأساسي المستعمل لتقدير قابلـــية العمـــل ليس الزمن التقويمي، وإنما استمرارية عمل الوحدة المنتجة. في هذه الحالـــة يســـمى زمن عمل الوحدة المنتجة حتى التعطل بـــ "**متوسط الزمن حتى التعطل**، mean-time between-failures" أو "**زمن التشغيل**، operating time" حـــتى التعطل. إن استمرارية عمل الوحدة المنتجة عند وجود هذا السبب أو ذاك (ضـــرورة الإصـــلاح، ازديـــاد خطر الاستثمار اللاحق) يمكن أن تنظم (تضبط). بصورة موافقة، يسمى زمن التشغيل أو مدة الخدمة حتى الوصول إلى الحالة النهائية المـــنظمة بـــ "**مدى الحياة** resource" Tr أو "**مدة الخدمة**" Ts. نشير إلى أن زمن عمـــل الوحـــدة المنتجة حتى التعطل- هي مقدار عشوائي، أما الزمن الخاص بمدى الحـــياة أو مـــدة الخدمة- فهي مقادير غير عشوائية. إن حساب الساعات التقويمية بســـاعات عمـــل الوحدة المنتجة لا يشكل أية صعوبة، فيما إذا كان معلوماً عامل تحمـــيل (loading factor) آلـــة التشغيل ومدى اشتراك الميكانيزم المعني في دورة التشـــغيل (operation cycle). يمكـــن أن تـــدرس وثوقية الوحدة المنتجة خلال الفواصل الزمنية المختلفة وعند الاستراحات المسموحة أو غير المسموح بها من أجل الإصلاح أو الخدمة التقنية (maintenance).

عـــدم التعطل (non-failure operation)- هو خاصية الوحدة المنتجة، في المحافظة على قابلية العمل بشكل مستمر خلال زمن التشغيل أو بعض منه.

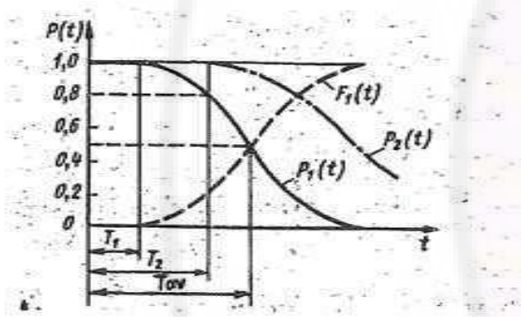
مـــدى الـــتحمل (longevity)- هو خاصية الوحدة المنتجة في المحافظة على قابلية العمـــل حتى حلول الحالة النهائية أو الحدية (limiting state) وفق النظام الموضوع للخدمة التقنية والإصلاح.

وهكـــذا، فإن **وثوقية آلة التشغيل، تُحدد من خلال عدم التعطل ومدى الـــتحمل**. يعـــبر عدم التعطل، عن العمل المستقل والمستمر لآلة التشغيل دون أي تدخـــل بقصـــد تدعيم قابلية العمل. أما مدى تحمل آلة التشغيل، فعلى العكس، يوصـــف عملها خلال كل فترة الاستثمار، وهو يأخذ بالحسبان أن العمل الطويل غـــير ممكـــن دون إجراءات إصلاحية وقائية، بقصد استعادة قابلية العمل الضائعة خلال عملية الاستثمار.

إن الأسباب الأساسية، المحددة لوثوقية الوحدة المنتجة، مرتبطة مع الظواهر الاحتمالـــية (العشـــوائية) حيـــث تستخدم من أجل وضعها نظرية الاحتمالات (probability theory). مـــثلاً، التعطل (failure)- هو حدث عشوائي، أما مدة الخدمـــة (زمـــن التشغيل) حتى التعطل- فهو مقدار عشوائي، والتفاعل المؤدي إلى ضـــياع قابلـــية العمـــل (مثلاً الاهتراء)- هو تابع عشوائي. بناءً على ذلك، **تملك المعايير المستخدمة لتقدير وثوقية الوحدة المنتجة طبيعة احتمالية.**

إن المعيار الأساسي لعدم تعطل الوحدة المنتجة- هو احتمال عدم تعطل العمـــل P(t) (عامل الوثوقية، reliability indx)، وهو يعني احتمال عدم ظهور تعطل للوحدة المنتجة خلال الفترة الزمنية المعطاة t=T (أو في حدود زمن التشغيل المعطـــى). إن قيم P(t) يمكن أن تقع في الحدود $0 \le P(t) \le 1$. يصف المقدار P(t) درجـــة خطر التعطل، وبناءً على هذا، فكلما زاد هذا المقدار، كان عمل الوحدة المنتجة بشكل موثوق أكبر.

نشـــير إلى أن استعمال P(t) دون بيان لفترة الزمن t=T، التي تتم خلالها دراســـة عمل الوحدة المنتجة، لا يملك أي معنى. أعطي على الشكل 15.5 ، مثال للمـــنحني P(t) كـــتابع للزمن. وفق خط متقطع، تمّ بيان منحني احتمال الأعطال $F_1(t)=1-P_1(t)$ المتـــناظر بالنسبة لـــ $P_1(t)$. إن كلاً من المنحنيين يتقاطع في نقطة موافقـــة لمـــدة الخدمة الوسطى (زمن التشغيل) للوحدة المنتجة $T=T_{av}$. من أجل الوحـــدة المنـــتجة، فـــإن عـــدم تعطل العمل مرتفع جداً خلال $t=T_1$، حيث إن $P_1(t)\approx 1$، وعندما $t=T_2$ فإن $P_1(t)=0,8$.



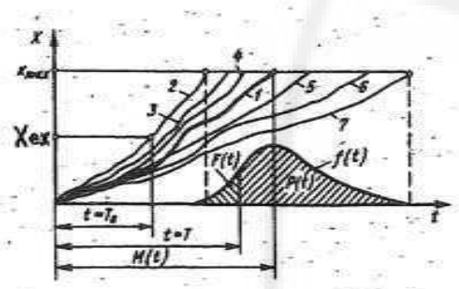
شكل 15.5– تغير احتمال عدم تعطل العمل للوحدة المنتجة خلال الزمن.

يوافـــق كل وحدة منتجة، وحسب قابليتها للعمل، منحنياً خاصاً بها P(t) إن المـــنحني $P_2(t)$. يوافق الوحدة المنتجة، المتمتعة بوثوقية عالية، حيث يكون مجال عملها ودون تعطل أوسع بكثير. مثلاً عندما $t=T_2$، فإن احتمال العمل دون تعطل $P_2(t)=1$. إن قيمة T مرتبطة تابعياً مع P(t) من خلال العلاقة:

$$P(t)=\int_{t=T}^{\infty} f(t)dt, \qquad (15.1)$$

حيث: f(t)– كثافة الاحتمال لمدة خدمة (زمن تشغيل) الوحدة المنتجة.

مـــبين على الشكل 15.6 التغير العشوائي لبارامتر خروج X الوحدة المنتجة خلال الـــزمن (المنحنـــيات 7...1؛ المـــنحني 1–يعبر عن تغير بارامتر الخروج حتى المقدار الأعظمـــي المســـموح بـــه X_{max}، وعـــند زمن للاستثمار مساوٍ للتوقع الرياضي "mathematical expectation" M(t) للمقدار العشوائي T).



شكل 15.6–مخطط تغير بارامتر الخروج للقطعة المشغلة خلال الزمن، من أجل اختيار مدة خدمتها.

عند اختيار المقدار T وفق العلاقة (15.1)، فإنه يمكن من أجل هذه الوحدة المنـــتجة تحقـــيق P(t) الضروري، وفق بارامتر الخروج X. خلال ذلك، يمكن أن يكون هناك **أسلوبان لاختيار المعايير:**

1–عـــند وجـــود المتطلبات المرتفعة تجاه وثوقية الوحدة المنتجة، فإنه تعطى القيم المسموح بها $P(t) = \gamma\%$، ومن ثم يُحدد زمن عمل الوحدة المنتجة $t = T_\gamma$، الموافق للاحتمال المنظم المعطى لعدم تعطل العمل. إن المقدار $T\gamma$ يسمى "**المجموع النسبي لمـــدى الحياة**"، وعندها يمكن أن نحكم عن كبر أو صغر عدم تعطل الوحدة المنتجة من خلال هذا المقدار.

2-عـــند وجـــود متطلبات عادية تجاه الوثوقية (التعطل لا يؤدي إلى حدوث آثار شـــديدة)، فإنه يمكن إعطاء مدى حياة الوحدة المنتجة $t=t_r$ (أو مدة الخدمة T_s)، مـــثلاً اعـــتماداً على شرط ضرورة إجراء الإصلاح المخطط لآلة التشغيل. في هذه الحـــال، نحكم على عدم تعطل الوحدة المنتجة، بشكل غير مباشر من خلال قيمة $P(t)$. إذا ظهرت خلال الفترة الزمنية المعطاة الأعطال بشكل كبير،أي $P(t) \to o$، عـــندئذ يُعبر عن صفة عدم تعطل العمل من خلال العدد الوسطي للأعطال $\Omega(t)$ الحادثـــة عـــبر الفترة الزمنية المعطاة 1...0 (أي بمساعدة ما يسمى التابع القائد) أو **بارامتر حزمة الأعطال.**

$$\omega = \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{T_{av}} , \qquad (15.2)$$

حيـــث : T_{av}- زمن التشغيل حتى التعطل، أي الاستمرارية الوسطى لعمل الوحدة المنتجة الفاصلة بين تعطلين. إن بارامتر حزمة الأعطال- هو العدد الوسطي لأعطال الوحـــدة المنتجة في وحدة الزمن. أيضاً، إذا كانت الأعطال خلال الفاصل الزمني نفسه المدروس غير مسموح بها، أي $P(t) \to 1$، فإنه يستعمل من أجل تقدير عدم التعطل **مفهوم احتياطي الوثوقية** (reliability margin)K_rوفق البارامتر المعطى X. لنفـــترض بأنه كان معلوماً خلال الفترة الزمنية المعطاة $t=T_0$ بارامتر الوحدة المنتجة X، الـــذي يمكـــن أن يأخذ قيماً مختلفة (وذلك لأنه يعد مقداراً عشوائياً)، ولكن ســـتكون قيمته الحدية (extreme) من أجل الشروط المعطاة، مساوية X_{ex} (شكل 15.6). يرتـــبط هـــذا المقدار مثلاً، بسرعة اهتراء مكان الاتصال (أو التزاوج) من أجـــل شـــروط الاستثمار غير الملائمة بشكل كبير (أنظمة العمل العظمى، اختفاء التزييـــت... إلخ). إذا كانت قيمة البارامتر، عندما يحين تعطل الوحدة المنتجة هي X_{max}، فإن احتياطي الوثوقية عندئذٍ هو:

$$K_r = \frac{X_{max}}{X_{ex}} > 1 . \qquad (15.3)$$

أيضـــاً، يمكن حساب احتياطي الوثوقية، من خلال نسبة X_{max} إلى قيمة البارامتر $X\gamma$ نفسها حيث ومع الاحتمال γ، لن يخرج عن الحدود المعطاة، أي :

$$K_r = \frac{X_{max}}{X_\gamma} . \qquad (15.4)$$

يُقـــدر معيار مدى التحمل، من خلال ضياع الوحدة المنتجة لقابليتها للعمل خلال كـــل فـــترة استثمارها. نشير إلى أنه يمكن التفريق بين معايير مدى التحمل لعنصر الوحـــدة المنـــتجة ولآلة التشغيل بالكامل. إن المعيار الأساسي لمدى تحمل عنصر الوحدة المنتجة، هو **مدة خدمته (زمن التشغيل) حتى التعطل T**.

تُحدد قيمة T بشكل نهائي من خلال المقدار المسموح به لبارامتر الخروج $X=X_{max}$، وأيضاً من خلال جزء من التفاعل العشوائي لضياع قابلية العمل X(t)، مـــثلاً من خلال اهتراء الوحدة المنتجة، ومقدار الصدأ الذي تتعرض له... إلخ. بناءً على ذلك، فإنه يمكن وصف مدى التحمل وعدم التعطل لعنصر الوحدة المنتجة من خلال المعايير T— نفسها والمقدار الموافق P(t).

يســـتخدم من أجل تقدير مدى تحمل الوحدة المنتجة المعقدة، فئتان من المعـــايير. أولاً، المعـــايير التي تصف خروج الصفات التقنية الأساسية (بارامترات الخـــروج) للوحدة المنتجة بالكامل خارج الحدود المسموح بها. إن المعيار الأساسي لآلـــة التشغيل هي دقة التشغيل، التي يجب المحافظة عليها خلال فترة الزمن المعطاة. ثانياً، يجب أن تصف معايير مدى التحمل لكامل آلة التشغيل قابليتها لتنفيذ مهماتها مـــع أقـــل الضـــياعات اللازمة لتبديل العناصر المهترئة، والتنظيم، والإصلاحات والخدمـــة. كلما كان مجموع ضياعات الزمن والوسائل المضاعة، من أجل استعادة قابلية العمل لآلة التشغيل خلال كل فترة الاستثمار أقل، كان مدى التحمل أعلى.

إن المعـــيار، الذي يحدد مدى تحمل آلة التشغيل، يمكن أن يكون **عامل الاستعمال التقني** (Factor of tech nological utilization):

$$K_{t.u} = \frac{T_o}{T_o + \Sigma T_{ri}}, \qquad (15.5)$$

حيث: T_0 – زمن عمل آلة التشغيل خلال بعض من زمن الاستثمار؛ ΣT_{ri} – الزمن الإجمـــالي لـــتوقفات آلـــة التشـــغيل بسبب إصلاحها (repair) والخدمة التقنية (servicing).

إن عامل الاستعمال التقني– هو مقدار دون وحدة قياسية $(0 \le K_{t.u} \le 1)$ وكـــلما كانـــت قيمته أكبر كان مدى تحمل الآلة أعلى. هو يساوي احتمال أن تكـــون آلـــة التشغيل في حالة العمل وليست قيد الإصلاح خلال أية لحظة زمنية مأخوذة. تتلخص **قابلية الإصلاح** (maintainability) للوحدة المنتجة، في قابليتها لتجنـــب وإيجاد وإبعاد الأعطال والأضرار، عن طريق إجراء الإصلاحات والخدمة التقنية. وهكذا، فإن قابلية الإصلاح، التي تحدد ضياعات الزمن ΣT_{ri} (انظر العلاقة 15.5)–هـــي إحدى مركبات مدى التحمل. من أجل تحديد عامل مدى التحمل K_L، فإنه من الضروري دراسة علاقته بمدد خدمة عناصر الوحدة المنتجة. إن **زمن التوقف بسبب إصلاح القطعة المعنية i**، أو عنصر آلة التشغيل هو :

$$T_{ri} = \frac{T_o}{T_i}\tau_i. \qquad (15.6)$$

حيـــث: T_i – مـــدة خدمـــة (زمن التشغيل) i قطعة في آلة التشغيل، τ_i – زمن (صعوبة) إصلاح i قطعة، بما في ذلك الفك والتجميع والضبط.

تبين النسبة T_0 / T_i كم مرة تم إصلاح القطعة المعينة خلال الفترة المساوية T_0. من الضروري من أجل تحديد K_L أن نأخذ الفترة الزمنية التي هي أكبر من مدة الخدمة T_i لأية قطعة في آلة التشغيل.

إذا وضعنا $T_{\tau i}$ في العلاقة (15.5) ، فإننا نحصل على **عامل مدى التحمل**، المعـــبر عنه من خلال مدد الخدمة وصعوبة إجراء (labour content) إصلاح قطع الآلة:

$$K_L = \frac{1}{1+\sum \frac{\tau_i}{T_i}}. \qquad (15.7)$$

عـــند الإصلاحات الدورية، وعندما يتم بآن واحد إصلاح مجموعة من القطع، فإن T_i يفهم على أنه الزمن حتى الإصلاح الدوري، أما τ_i -فهي صعوبة إجراء إصلاح هـــذه المجموعـــة. يتضح من العلاقة (15.7) أن الطريقة الأساسية المتبعة لرفع مدى تحمل الآلة- هي رفع مدة خدمة قطعها واختصار الأزمنة الضائعة على الإصلاح.

المبحث السادس عشر

تأثير التطور العلمي والتقني على مفاهيم الصيانة وأساليبها

§ 1- تأثير كل من التطور العلمي والتقني على أساليب الصيانة الفعالة للمنشأة الهندسية ووثوقيتها.

شكّل العديد من المفاهيم الفنية والاقتصادية أساساً لاختيار أساليب وفلسفة الصيانة للمنشآت الفنية ومعداتها. وتطورت هذه المفاهيم مع الزمن توفقاً لطبيعة وبنية المنشآت الفنية والتجهيزات الموجودة فيها، مما أدى إلى إعادة النظر في بعض تلك المفاهيم والاعتبارات بسبب تأثيرها على عمل آلات المنشأة ووثوقيتها. وسوف نعالج فيما يلي بعضاً من هذه المفاهيم.

1- هدف الصيانة:

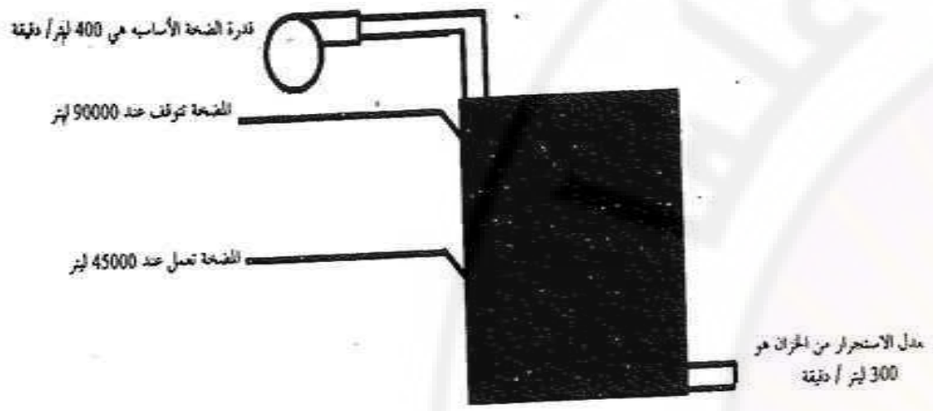
المفهوم القديم : المحافظة على وسائل الإنتاج (المعدات والتجهيزات).

المفهوم الجديد : المحافظة على وظائف المعدات والتجهيزات وليس المعدات والتجهيزات نفسها.

من المعلوم أن الآلة توضع في الاستثمار لتؤدي وظيفة محددة. وبالتالي فعندما نصون الآلة، فإننا نسعى للحفاظ على مقدرتها في تأدية ما كان مطلوباً منها من وظائف، وهذا يعني أن الاهتمام يجب أن يتركز في الحفاظ على أداء هذه الآلة. وحتى نستطيع أن نفعل ذلك يجب أن نفهم بشكل واضح جداً **الوظائف المطلوبة من الآلات وأداءها المعياري** حتى نتمكن من وضع برامج الصيانة الملائمة لها، ويمكن توضيح ذلك من خلال المثال التالي:

يبين الشكل 16.1 مضخة ماء ذات قدرة ضخ مقدارها (400 لتر/دقيقة)، وهي تغذي خزاناً يستجر الماء منه بمقدار (300لتر/ دقيقة). تتلخص الوظيفة

الأساسية للمضخة في هذه الحالة في تغذية الخزان بالماء بمعدل لا يقل عن (300 لتر/ دقيقة)، وأي برنامج صيانة لهذه المضخة يجب أن يضمن تحقيق أداء للمضخة لا يقل عن (300لتر/دقيقة).



شكل 16.1: مضخة موصولة مع خزان الماء.

إذا نقلـــنا هذه المضخة نفسها لتعبئة خزان آخر معدل السحب منه (350 لتر/دقيقة)، فإن الوظيفة الأساسية للمضخة قد تغيرت (بسبب ازدياد عدد ساعات عمـــلها)، لذلـــك فإن برنامج الصيانة يجب أن يتغير ليتمكن من تأمين المتطلبات الأعلى.

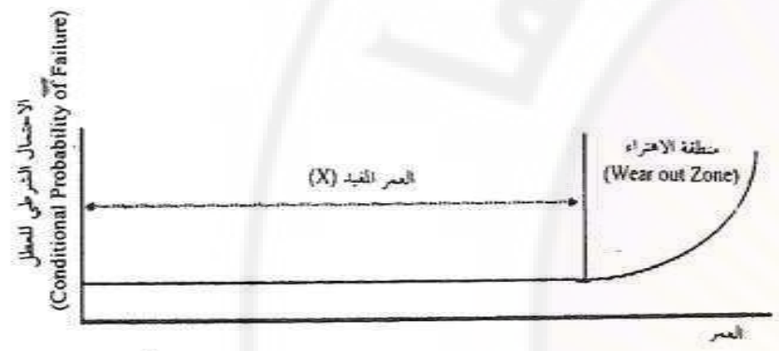
ويجدر ملاحظة أن **مهام الصيانة لا تتعلق بوظائف الآلة ومتطلبات الأداء المطلـــوب مـــنها فقـــط**، ولكن تتعلق بعوامل أخرى مثل: جودة المنتج، اقتصادية العملية الإنتاجية ومردودها، خدمة المستثمر، السلامة والتوافق مع ضوابط البيئة.

2- احتمال حدوث الأعطال:

المفهوم القديم: يزداد احتمال تعطل معظم وسائل الإنتاج كلما تقادمت.

المفهوم الجديد: معظم الأعطال ليس لها احتمال حدوث أكبر مع تقادم المعدات.

كـــان الاعـــتقاد الســـائد أن أفضل طريقة للحصول على الأداء الأمثل لـــلمعدات والتجهـــيزات هي التفتيش الدوري أو الاستبدال خلال فترات ثابتة، ويعـــتمد هذا على المنطق القائل بوجود **علاقة مباشرة بين مقدار الزمن** (أو عدد الـــدورات No.of Cycles) **التي تصرفها الآلة في الخدمة وتوزع احتمال تعطلها**، والمنحني الشائع الذي يربط بين توزع الاحتمال الشرطي لعطل الآلة بالعمر مبين في الشكل رقم (16.2).

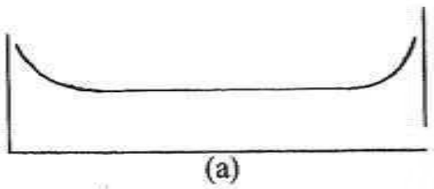


شكل 16.2: علاقة توزع الاحتمال الشرطي لعطل الآلة بعمرها.

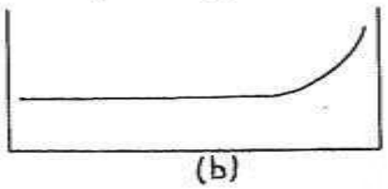
وقـــد أدى ذلك، إلى ظهور قناعة بإمكانية تحديد الفترة (X) من السجل الـــتاريخي (History Records) لأعطـــال الآلة، والذي يمكّن المستخدم من اتخاذ إجراءات وقائية خلال فترة قصيرة قبل أن يحين أوان العطل.

إن هذه العلاقة الممكن توقعها بين عمر الآلة وأعطالها هي بالواقع صحيحة لـــبعض أنـــواع الأعطال، ويكثر وجودها حينما تكون الآلة على تماس مباشر مع منـــتجها، (مثل مضخات الدفع، مضاجع الصمامات، النواقل اللولبية – Screw Conveyors..)، حيـــث تقـــترن الأعطـــال المتعلقة بالعمر (غالباً) بخاصتي التعب (Fatigue) والتآكل (Corrosion).

ونظـراً لازدياد تعقيد المعدات المعاصرة عما كانت عليه سابقاً، فقد أدى ذلك إلى حدوث تغيرات كبيرة في أنماط تعطلها، والشكل رقم (16.3) يبين ذلك. **يبين هذا الشـكل علاقـة الاحتمالية الشرطية للأعطال بزمن التشغيل**، وذلك من أجل العديد من المعدات الكهربائية والميكانيكية.


(a)

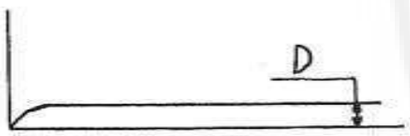
السـنمط (a) هو حوض الحمام المعروف جيداً.


(b)

السـنمط (b) هـو نفس الشكل (16.2) المذكور سابقاً.

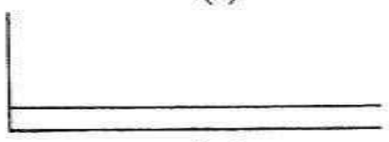

(c)

السـنمط (c) يظهـر الازدياد البطيء في احتمالـية جدوث العطل بدون اهتراء محدد.

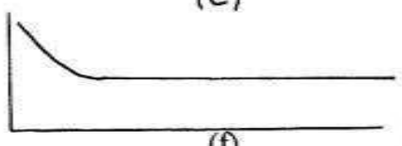


(d)

السـنمط (d) يظهـر احتمالـية العطل المنخفضـة عند البدء، ثم حدوث زيادة سريعة حتى يصل لمعدل ثابت D


(e)

السـنمط (e) يظهر الاحتمال الثابت في حدوث العطل طيلة العمر.


(f)

السـنمط (f) يـبدأ بمعدل أعطال طفولي عالي ثم يهبط إلى معدل ثابت أو متزايد ببطء شديد.

شكل 16.3 : علاقة الاحتمالية الشركية للأعطال بزمن التشغيل (a-f).

من خلال دراسات أجريت عند استخدام الطائرات المدنية المنتجة من قبل إحدى الشركات الغربية، تبين أن:

4% من العناصر يتطابق توزع احتمال تعطلها مع النمط a.

2% من العناصر يتطابق توزع احتمال تعطلها مع النمط b.

5% من العناصر يتطابق توزع احتمال تعطلها مع النمط c.

7% من العناصر يتطابق توزع احتمال تعطها مع النمط d.

14% من العناصر يتطابق توزع احتمال تعطلها مع النمط e.

68% من العناصر يتطابق توزع احتمال تعطلها مع النمط f.

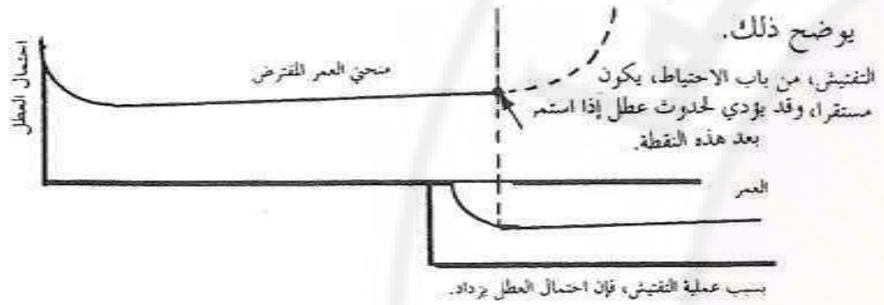
ومـــن الطبيعي أنه ليس من الضروري أن يكون هذا التوزع لاحتمال الأعطال في الطائـــرة هو نفسه للمعدات الصناعية الأخرى. ولكن طالما أن بنية المعدات تزداد تعقيداً، فإن أنماط الأعطال فيها، والمتوافقة مع النمطين e، f سيزداد أيضاً.

عـــند المقارنة، يلاحظ أن هذه النتائج تتعارض مع الاعتقاد السائد القائل بـــأن هـــناك دوماً صلة بين الوثوقية وعمر التشغيل، وهو الاعتقاد الذي أدى إلى ســـيطرة فكـــرة "**تقلـــيل التعطل عن طريق زيادة التفتيش والاستبدال المتكرر للعنصر**".

ولذلـــك، فإن التفتيش والاستبدال اللذين يتمان بشكل دوري لا يقدمان الكثير لتحسين وثوقية وجاهزية المعدات الحديثة المعقدة، ما لم تكن أنماط الأعطال المتعلقة بالعمر معروفة وتظهر سيطرتها الكاملة.

عـــلى أي حال، فإن حقيقة بقاء منحني حوض الحمام بارزاً في الكثير من المـــراجع العلمية المتعلقة بالصيانة، هو برهان على استمرار بعض الناس باعتقادهم بوجـــود علاقـــة بين معدل التعطل والعمر. ونتج عن ذلك، تبني أسلوب تفتيش العناصـــر من وقتٍ لآخر "**من باب الحيطة**" (Just in case)، ورغم عدم توفر أي

إثـــبات أكيد حول وجود أنماط من التعطل ذات علاقة بالعمر، ولكنّ هناك خوفاً مـــن احتمال وجود مثل هذه الأنماط، مهملين الحقيقة القائلة **إن عمليات التفتيش بحـــد ذاتهـــا عدوانـــية (aggressive) وتزعج النظم (الميكانيكية والكهربائية) المستقرة إلى حد كبير**، حيث يرافقها ازدياد في احتمال توليد أعطال منشئية، وهذا يـــزيد مـــن احتمال حدوث الأعطال الذي نسعى لخفضه، والشكل رقم (16.4) يوضح ذلك.



شكل 16.4: العلاقة بين احتمال حدوث التعطل وعمليات التفتيش.

وهذا ما يرجح تبني التوجه الحديث التالي :

بغـــياب أي برهان مضاد، فيعتبر الأكثر سلامة تطوير استراتيجيات الصيانة باتجاه الافـــتراض القـــائل **إن الأعطال تحدث بأي وقت (عشوائياً)، وعدم افتراض أنها تحدث فقط بعد فترات زمنية ثابتة خلال الخدمة.**

3- عواقب العطل :

المفهوم القديم : إجراءات الصيانة تهتم بمنع العطل.

المفهـــوم الجديد: إجراءات الصيانة تهتم بتجنب عواقب العطل أو تخفيضها أو الحد منها.

قـــد يؤدي إجراء التحليل المفصل لقطاع صناعي متوسط، إلى تمييز (1000-5000) نمط من الأعطال الممكنة الحدوث، وكلها تؤثر على هذا القطاع بطريقة ما، ولكن في كـــل حالة يكون التأثير مختلفاً. **والمدى الذي يجب أن نذهب إليه** لمنع حدوث

عطـــل ما، يجب أن يحدد على ضوء خطورة العواقب الناتجة عن وقوعه. فإذا كان لـــنمط العطل عواقب خطيرة، فيجب بذل جهود كبيرة لمنع حدوثه. أما إذا كانت عواقبه مهملة، أو لم يكن له عواقب، فقد نتخذ قراراً بعدم إجراء صيانة وقائية له. ويمكـــن القـــول بعبارة أخرى إن **عواقب العطل أكثر أهمية من خصائص العطل الفنية ذاتها**. ويمكن توضيح ذلك بالمثال التالي :

إن تآكل المضجع هو أحد الأعطال التي قد تصيب المضخة في الشكل رقم (16.1)، وذلـــك نتـــيجة للاهتراء، ولنفترض أن استبدال المضجع يتطلب /4/ ساعات، وأن عـــامل المضـــخة انتـــبه إلى العطل عندما كان مستوى الماء في الخزان عند مفتاح المستوى المنخفض، أي أن الخزان يحتوي الآن على كمية من الماء تكفي لمدة /2,5/ ســـاعة، لذلـــك فسوف يكون الخزان فارغاً لمدة /1,5/ ساعة حتى يتم الانتهاء من استبدال المضجع.

إن الصـــيانة وفق مبدأ مراقبة الحالة التي يمكن تطبيقها لهذا المدحرج تتم **بمراقـــبة مستويات اهتزازه** باستخدام محلل اهتزازات، أو بمراقبة مستوى الضجيج الصادر عن المضخة، وعند ظهور بوادر العطل، فإن الأفضلية الأولى لعمال الصيانة هي ملء الخزان بالماء قبل أن يكتمل اهتراء المضجع، وبذلك يتوفر لهم /5/ ساعات لتنفـــيذ عمل يستغرق /4/ ساعات. وهكذا يمكن تجنب مخاطر خلو الخزان من الماء لمـــدة /1,5/ ساعة (إضافة لتجنب حدوث أعطال متعددة- multiple failures- للمضخة).

4- معدلات الأعطال :

المفهـــوم القديم: وضع برامج صيانة فعالة يقتضي توفر معطيات شاملة حول طبيعة ومعدلات أعطال المعدات والتجهيزات.

المفهـــوم الجديـــد: يجب أن تتخذ القرارات حول إدارة أعطال المعدات رغم عدم توفر معطيات كافية حول معدلات حدوث تلك الأعطال.

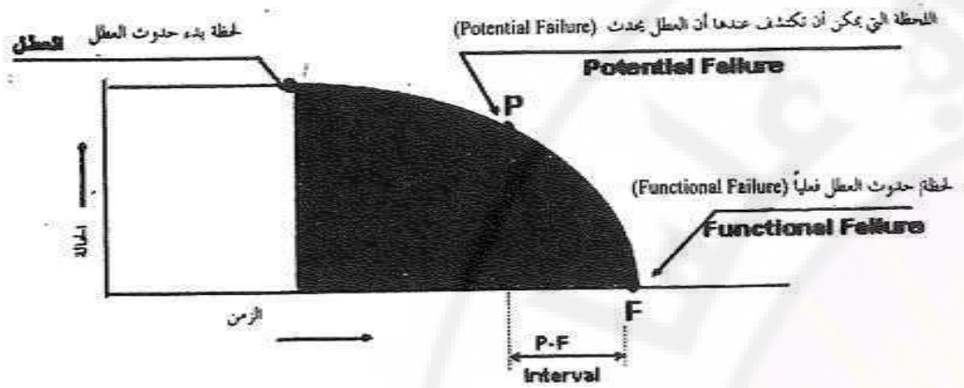
المعـــتقد الســـائد أن سياســـات الصـــيانة الفعالة يمكن وضعها عند توفر معلومات تاريخية غزيرة حول أنماط الأعطال ومعدلات حدوثها، ومن هذا المنطلق تم وضع واستخدام العديد من المعايير والتقانات الحاسوبية لأنظمة التوثيق التاريخي للســـلوك الفـــني لـــلمعدات بشـــكل واسع. ولكن الواقع العملي يقتضي **اعتماد الإجراءات اللازمة لتوقع الأعطال المحتملة**، واتخاذ القرارات حول كيفية معالجتها بالشكل الذي يمنع أو يقلل من عواقبها رغم عدم توفر المعطيات التاريخية المنشودة.

5- دورية تنفيذ الصيانة:

المفهـــوم القـــديم: في منهجـــية الصـــيانة المتعمدة على مراقبة الحالة، فإن الدورية (periodicity) في تنفيذ الصيانة تعتمد على دورية العطل و/أو درجة الوضع الحرج للعنصر.

المفهـــوم الجديـــد: يجب أن تعتمد دورية تنفيذ الصيانة المعتمدة على مراقبة الحالة، على فترة تطور العطل (Failure development period) والتي تعرف أيضاً بفترة حياة العطل (Lead time failure) أو فترة الـــ (P-F).

لـــيس لتواتر تنفيذ الصيانة المعتمدة على مراقبة الحالة، علاقة بتواتر وقوع العطـــل ولا بالوضع الحرج للعنصر، حيث يعتمد تواتر تنفيذ أي شكل من أشكال الصـــيانة المعـــتمدة على مراقبة الحالة، على الحقيقة القائلة بأن معظم الأعطال لا تحـــدث فوراً، وغالباً يكون من الممكن كشف العطل قبل الحدوث خلال المراحل الأخـــيرة مـــن التدهور. الشكل رقم (16.5) يبين هذه العملية العامة، **وهو يسمى بمنحني P-F.**



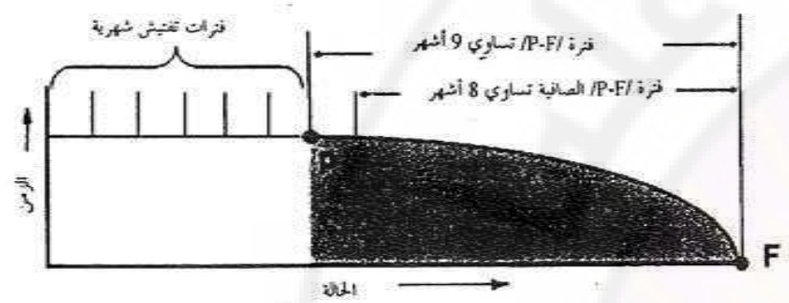
الشكل 16.5 : الدورية في تنفيذ أعمال الصيانة.

يبين الشكل رقم (16.5) كيف يبدأ العطل بالحدوث ويتدهور إلى النقطة التي يمكن عندها كشفه (Potential Failure Point"P"). بعد ذلك، إذا لم يكتشف في جوار هذه اللحظة وتُتخذ الإجراءات المناسبة لتفاديه فسوف يستمر بالتدهور بمعدل أعلى حتى يصل إلى نقطة العطل الوظيفي الكامل ("Functional Failure "F).

تتحكم فترة الـــ P-F بالتردد الذي يجب أن تنفذ به عمليات الصيانة المعتمدة على مراقبة الحالة. وإذا أردنا أن نكتشف العطل الكامن فإن فترة التفتيش (Checking Interval) يجـــب أن تكون أصغر بكثير من فترة الـــ P-F، وقبل أن يكتمل العطل ليصل إلى مرحلة العطل الوظيفي.

يمكن **قياس فترة الـــ /P-F/** بعدة أنواع من وحدات القياس وفقاً لشكل الإجهاد المؤثر (زمن التشغيل، وحدات الخرج، دورات التوقيف- تشغيل ...إلخ)، ولكـــن غالباً ما تقاس **بمصطلح الزمن المنقضي** (Elapsed Time). كما تتفاوت فـــترة الـــــ /P-F/ حسب نمط (نوع) العطل وتبدأ من أجزاء من الثانية إلى فترات طويلة عديدة.

ويبين الشكل رقم (16.6) كيف أن فترة /P-F/ تساوي (9) أشهر وفترات تفتيش مدتها شهر واحد تعطي فترة /P-F/ صافية تساوي (8) أشهر.



الشكل 16.6: فترة P-F الصافية.

6- المهام الشاملة للصيانة:

المفهوم القديم: هناك ثلاثة أنواع أساسية من الصيانة:

- متوقعة : -PREDICTIVE (CONDITION-BASED)
- وقائية : -PREVENTIVE
- إصلاحية: -CORRECTIVE

المفهوم الجديد : هناك أربع أنواع أساسية من الصيانة:

- متوقعة : -PREDICTIVE
- وقائية : -PREVENTIVE
- إصلاحية: -CORRECTIVE
- استكشافية: -DETECTIVE

إن معظـــم ما كتب حتى الآن في الموضوع العام للصيانة يشير إلى وجود ثلاثة أنواع من الصيانة وهي: متوقعة – وقائية – إصلاحية.

تتضـــمن عمليات الصيانة المتوقعة (أو مراقبة الحالة– condition- based) فحص الآلة للتأكد فيما إذا كان هناك شيء يتعطل.

بيـــنما الصـــيانة الوقائـــية تعني عادة التفتيش الدوري، وتبديل مكونات الآلة التي تعطلت أو سوف تتعطل، ويتم هذا التفتيش خلال فترات دورية ثابتة.

والصـــيانة الإصلاحية تعني إصلاح مكونات الآلة التي بدأت بالتعطل، أو أنهـــا تعطلـــت وانتهت. ولكن يجب ألا ننسى أن **هناك عائلة كاملة من عمليات الصيانة التي لا تتبع لأي من التصنيفات الثلاثة** المشار إليها أعلاه.

فمـــثلاً: عـــندما يتم تشغيل جهاز إنذار الحريق بشكل دوري، فإننا لا نفعل ذلك لمعرفة فيما إذا كان هذا الجهاز عاطلاً، ولا نكون حتماً بصدد تفتيشه أو استبداله، ولكننا ببساطة نتأكد من أنه ما زال يعمل.

تُعـــرّف العملـــية التي تصمم حتى يتم من خلالها التأكد من استمرار الآلة بعملها باسم **الفحوصات الوظيفية** (Functional Checks) (أو مهام إيجاد العطل Failure finding tasks)، وحـــتى تتـــناغم هـــذه التسمية مع التسميات الثلاث الأخـــرى من أنواع الصيانة المذكورة، فقد أطلق عليها اسم **الصيانة الاستكشافية** (detective mantenance)، لأنها تستخدم للتحري عما إذا كان شيء ما قد تعطل في الآلـــة المعنـــية. تُطـــبق الصيانة الاستكشافية فقط على الأعطال الكامنة أو غير الواضحة، وتوجد مثل هذه الأعطال في وسائل الإنذار والحماية.

بإجـــراء الدراســـة التحليلية لنظم الصيانة المطبقة على الأنظمة الصناعية الحديـــثة المعقـــدة، نجد أن (40%) تقريباً من أنماط الأعطال تقع في عائلة الصنف الكـــامن (hidden category)، والأكثر من ذلك فإن (80%) من أنماط الأعطال

هـــذه تحتاج عادة إلى إيجاد العطل (failure finding) واستكشاف مسبباته. وهذه الأنمـــاط يجـــب عـــدم إغفالهـــا، عـــند تطويـــر الاستراتيجيات الحديثة للصيانة (مثل RCM2)، لأنها تدخل في المهام الاستكشافية detective tasks).

ولـــيس القصـــد هنا التوجيه لعدم استخدام الصيانة بمراقبة الحالة، فحيث تكون جيدة فهي ملائمة جداً للاستخدام، ولكن القصد أنه يجب أن نتذكر ضرورة **تطويـــر الاستراتيجيات** الملائمة لضبط أنماط الأعطال الأخرى ذات النسبة العالية الممكنة الظهور.

وإذا كانت الصناعة حريصة على السلامة والتوافق مع البيئة، فيجب **إعطاء** مســـألة الصيانة الاستكشافية-إيجاد العطل- **الأفضلية** المناسبة. وبما أن الوعي لهذا النوع من الصيانة يزداد، فقد يصبح الموضوع الأكثر أهمية في استراتيجية الصيانة في العقد القادم عوضاً عن الصيانة الوقائية كما حدث في العقد السابق.

7- الاعتبارات الأساسية في سياسات الصيانة:

المفهـــوم القديم: يمكن تطوير سياسات الصيانة النوعية لمعظم الأنواع من الكائنات الفيزيائية.

المفهوم الجديد: يجب أن تُطبق السياسات النوعية فقط على الكائنات المتماثلة ذات الوظائف ونظم التشغيل المتماثلة والمطالبة بتقديم نفس الأداء المعياري.

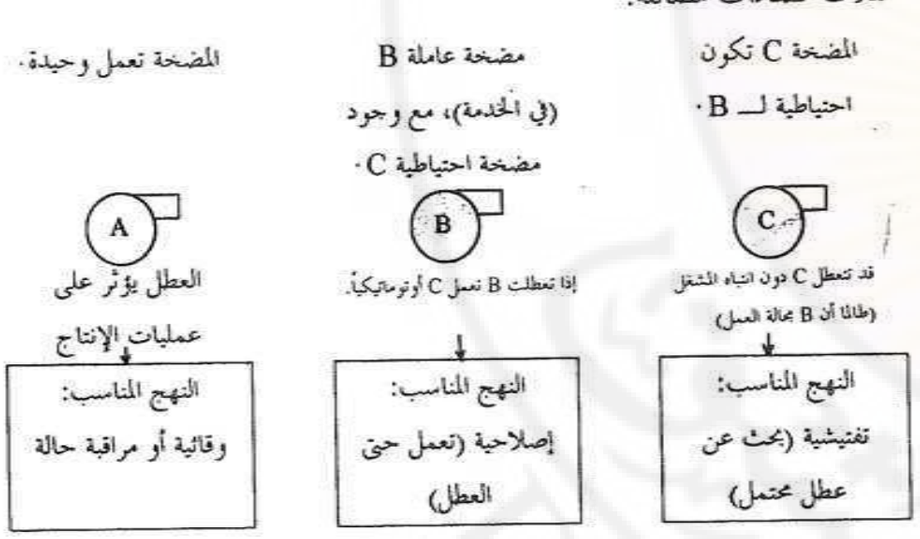
إن الاعتقاد بأن سياسات الصيانة النوعية يمكن أن تُطبق على معظم أنواع الكائنات الآلـــية يكمن في جوهر جميع برامج الصيانة التقليدية. وغالباً ما نسمع الناس **تقول** أشـــياء مثل "إن سياسة الصيانة التي نطبقها على جميع مضخاتنا هي X"، **أو "لدينا** سياســـة معايرة Y لجميع معداتنا". ولكن تجدر الإشارة إلى **عدم صحة مثل هذه الاعتبارات للأسباب التالية:**

a– الوظـــائف : التعليق المرافق للشكل(16.1) يبين كيف يمكن أن يكون المضخة نفسها أداء معين في أحد المواقع، وأداء مختلف في موقع آخر.

إن الأداء المعياري المختلف حسب الموقع يدعو حتماً إلى البحث عن طرائق صيانة مختلفة، (وهذا صحيح، خاصة عند استخدام معدات متماثلة في أوجه مختلفة).

b –أنمـــاط العطل : عندما تُستخدم معدات متماثلة في مواقع مختلفة (في محيط ذي رطوبـــة عالـــية، أو محيط مغبر بشكل زائد...) أو لتنفيذ مهام مختلفة (قطع معادن أقسى من المعتاد، تشغيل عند درجات حرارة أعلى، ضخ سوائل أكثر تركيزاً)، فإن أنمـــاط الأعطـــال تتغير بشكلٍ كبير، وهذا يستدعي بالضرورة تغيير استراتيجيات ضبط العطل وفقاً لذلك.

c– عواقـــب العطل: تتطلب العواقب المختلفة للعطل تطبيق استراتيجيات صيانة مخـــتلفة أيضـــاً. وهذا موضح في الشكل رقم (16.7)، الذي يبين التوضع المختلف لثلاث مضخات متماثلة.



الشكل 16.7 : استراتيجيات الصيانة المختلفة لمعدات متماثلة.

إلى اليسار نجد المضخة (A) تعمل لوحدها، لذلك فإن تعطلها سيؤثر فوراً أو لاحقاً على العمليات الإنتاجية. ونتيجة لذلك، فمن المحتمل أن يبذل مستثمرها أو المسؤول عن صيانتها بعض الجهود للحد من تعطلها أو لمنعه (ويتعلق مقدار الجهد المطلوب بمدى تأثير العطل على عمليات الإنتاج، وبطبيعة أعطال المضخة ومعدل تكرارها).

في الحالة الثانية (بالوسط)، إذا تعطلت المضخة B، فإن التشغيل ينتقل ببساطة إلى المضخة C. لذلك، تتلخص عواقب تعطل المضخة B فقط في إصلاحها، وكنتيجة لذلك، فمن المحتمل أن مشغل المضخة B سوف يختار تركها تعمل حتى تتعطل (وخاصة إذا كان تعطل المضخة B لا يسبب أضراراً جانبية كبيرة).

من ناحية أخرى (على اليمين)، إذا تعطلت المضخة C أثناء كون المضخة B تعمل (مثلاً إذا أُخذ من المضخة C أحد الأجزاء كقطعة غيار للمضخة B)، فمن المحتمل ألا يعلم العمال أن المضخة C معطلة حتى تتعطل المضخة B أيضاً. وللوقاية من مثل هذا الاحتمال، فإن استراتيجية الصيانة ذات المعنى قد تكون في تشغيل المضخة C من وقتٍ لآخر لتحديد فيما إذا تعطلت هذه المضخة أم لا.

المثال السابق يبين كيف يمكن أن يكون لثلاث "معدات" متماثلة ثلاث استراتيجيات صيانة مختلفة.

8- صياغة سياسات ومهام الصيانة:

المفهوم القديم: يجب أن تصاغ سياسات الصيانة من قبل المدراء، ويجب أن توضع خطط الصيانة من قبل خبراء مؤهلين بشكل مناسب أو بواسطة متعاقد خارجي.

المفهوم الجديد: يجب أن تصاغ سياسات الصيانة من قبل الناس الأكثر قرباً من المعدات، وعلى الإدارة تأمين الوسائل لمساعدتهم باتخاذ القرارات السليمة.

غالباً ما خصص مخططو الصيانة كميات هائلة من الوقت والجهد في أقسام تخطيط الصيانة التقليدية وفق المفهوم القديم، حيث كانت المسؤولية الرئيسية لهذه الأقسام تتلخص عادة في إعداد خطط الصيانة لجميع المعدات في العمل، ولكن غالباً ما ماتت خططهم عندما وصلت إلى أرض المصنع، **وقد حدث هذا لسببين:**

a–الصلاحية الفنية: كان المخططون الذين كتبوا هذه الخطط بعيدين عن الاحتكاك مع المعدات (ربما باستثناء مرة واحدة عند بدء التشغيل)، لذلك فهم لا يمتلكون الفهم الكافي لوظائف تلك المعدات وأنماط تعطلها وعواقبها، وهذا يعني أن الخطط التي وضعوها كانت بطبيعتها بعيدة عن الواقع العملي، لذلك وجد المكلفون بتطبيقها أنها غير صحيحة أو ربما تكون غير قابلة للتنفيذ.

b–الملكية: يميل الناس في أرض المعمل (المراقبون والحرفيون المهرة) إلى رؤية الخطط الموضوعة من قبل الإدارات، على أنها ورقيات غير مرغوب بها، وهي قد صدرت عن برج عاجي وتستحق الاختفاء بعد أن وقعوها. والعديد منهم تعلموا، أنه من المرّيح أكثر أن تعاد هذه الخطط لمصادرها مع بعض الملاحظات، عوضاً عن محاولة تنفيذها.

إن السبب الرئيسي لقلة الاهتمام كان بدون شك الحالات الخاصة المتعلقة بالملكية (ownership). والطريق الوحيد للالتفاف حول مشاكل ضعف الشعور بالملكية، هو أن **يشارك العاملون الموجودون على أرض المعمل مباشرة في عملية صياغة استراتيجية الصيانة، لأنهم هم فعلاً** الذين يعرفون تماماً كيف تعمل المعدات وماذا يحدث من أخطاء وأعطال فيها، وما أهمية كل عطل وماذا يتوجب عمله لإصلاحه. وأفضل طريقة للحصول على معارفهم العملية بطريقة منهجية، هي تنظيم مشاركتهم من خلال سلسلة اجتماعات رسمية.

ويجـــب العمـــل على تجنب تحول هذه اللقاءات إلى مهرجانات خطابية، ويمكن تحقيق ذلك بتدريب المشاركين فعلياً على استخدام التقانات وتطبيق سياسة الصيانة المعتمدة، وتزويدهم بالتوجيه المفيد من أجل تطبيق هذه التقانة.

ومن المناسب هنا أن نورد كلمة التحذير التالية:

"**مـــن الحكمة الابتعاد عن محاولة استخدام متعاقد خارجي لصياغة استراتيجيات الصيانة**. إن إهمال المتعاقدين الخارجيين الشديد لجميع المواضيع التي نوقشت، يعني أن كـــل مـــا سيقدمونه هو أشكال منجزة بشكلٍ أنيق ولكنها ذات قيمة قليلة أو بـــدون قيمة. واستخدام مثل هؤلاء الناس لتطوير برامج صيانة هو الترنح في منطقة الغموض والخطر، ويصبح عندها التوكيل (delegation) تنازلاً (abdication)".

§ 2 – أتمتة مهام الصيانة:

1–مبررات الأتمتة: نتيجة لازدياد درجة التعقيد والتكامل في بنية المنشآت الهندسية المعاصـــرة، وبسبب النمو والتشعب الكبيرين في حجم وبنية العديد من الفعاليات الهندســـية (مثل: مصانع السيارات–شبكات المترو– شركات الطيران)، فقد أصبح مـــن المـــتعذر الإحاطـــة بكـــل من عمليات الصيانة اللازمة للمعدات وبنية تلك الفعالـــيات بالأساليب التقليدية القديمة. وبرزت الحاجة الماسة لإعداد وصياغة تلك المهـــام بشكل مبرمج ومؤتمت يسهل إدارتها ومتابعة تنفيذها وتوثيق نتائجها. وقد ساعد في ذلك التطور الكبير في إمكانيات الأنظمة الحاسوبية المعاصرة.

يمكن **إبراز الفوائد التالية** والتي تعد من أهم المبررات الداعية إلى **أتمتة مهام الصيانة** وإدارتها بواسطة نظام حاسوبي:

- التمكن من إدارة مهام الصيانة في المنشآت الكبيرة وذات البنية المعقدة.
- الحد من التعطلات الطارئة، وتفادي خسائر الإنتاج.
- التمكن من بناء وتوثيق الأرشيف الفني للمعدات والتجهيزات.

- إدارة الموارد البشرية المعنية بالصيانة وتوزيع أعمالها بشكل فعال اقتصادياً.
- ضبط وتسهيل إدارة مستودعات قطع الغيار ومراقبة المخزون منها.
- ضبط مصادر تأمين وشراء وتوريد واستلام قطع الغيار .
- خفض تكاليف الإصلاح والصيانة.
- ضـــبط وتسهيل حسابات تكاليف أعمال الإصلاح والصيانة (حتى لمستوى الآلة الواحدة).
- رفع مردود وجاهزية المعدات والتجهيزات.
- الالتزام بمواعيد تسليم المنتج والخدمة بشكل أدق
- رفع جودة المنتج والخدمة.
- تأمين سلامة المنشأة والعاملين.
- التوافق الملائم مع متطلبات حماية البيئة.

2- مستلزمات عملية الأتمتة: لابد، من أجل أتمتة إدارة مهام الصيانة توفير العديد من المستلزمات، أهمها:

2-1- تحديـــد فلسفة الصيانة الأكثر ملاءمة لطبيعة عمل وبنية المنشأة ومحتوياتها من المعدات .

2-2- تحديـــد الوظـــائف والمهام التي ستطلب من النظام المبرمج، لكي يتم إدارتها ومتابعتها .

2-3- تحديـــد عـــدد المســـتثمرين للـــنظام المبرمج وتوزعهم في المنشأة وتعريفهم بصلاحياتهم .

2-4- انتقاء النظام المبرمج الملائم .

2-5- تحديد مواصفات التجهيزات الحاسوبية ومستلزمات شبكة الوصل بين المخدم المركزي (إن وجد) ومحطات العمل الفرعية .

2-6- تحديد المعطيات المتعلقة بإدارة جميع مهام الصيانة للمعدات والتجهيزات والتي ستحمل في النظام المبرمج .

2-7- تعيين الكوادر ذات الخبرة الملائمة وتأهيلها لاستثمار النظام المعتمد .

3- المعطيات الضرورية المتعلقة بإدارة مهام الصيانة:

3-1-المعطيات المتعلقة بالمعدات والتجهيزات: تحتاج الأنظمة الحاسوبية إلى العديد من المعلومات عن الآلات حتى تكون معروفة تماماً ومن ضمنها:

- أنواعها (أصنافها).
- وظائفها وطاقاتها الإنتاجية.
- توزعها الجغرافي وسجل تنقلاتها.
- مراكز الكلفة العائدة لها.
- ترميزها وبنيتها الهرمية.
- أعمال الإصلاح والصيانة المتعلقة بها.
- خطط الصيانة المنظمة لها.
- قطع الغيار الخاصة بها.
- المسؤولون عن استثمارها.
- عقود الصيانة المرتبطة بها.
- مصنع الآلة وموردها.

3-2- المعطيات المتعلقة بأعمال الإصلاح والصيانة للمعدات والتجهيزات:

- توصيف الأعمال الرئيسية لإصلاح جميع أجزاء الآلة.
- توصيف الأعمال الفرعية (بخطواتها) التي يجب تنفيذها عند تنفيذ الأعمال الرئيسية.
- تعريف الوثائق الفنية المساعدة المعنية.

- تعريف قطع الغيار اللازمة لتنفيذ كل عمل.
- تعريف العدد والأدوات اللازمة لتنفيذ كل عمل.
- تحديد المهارات والاختصاصات اللازمة لتنفيذ كل عمل.
- تحديد الأزمنة التقديرية لتنفيذ الأعمال.
- التوصيات التي يجب مراعاتها عند تنفيذ الأعمال.

3-3-المعطيات المتعلقة بالكادر المسؤول عن صيانة المعدات والتجهيزات:

- تعريف رؤساء فعاليات الصيانة .
- تعريف العاملين في فعاليات الصيانة.
- تعريف الاختصاصات الفنية المتوفرة.
- تحديد كلفة الساعة المعيارية لكل من العاملين في فعاليات الصيانة.
- معدلات الأجور الأخرى (الساعة الإضافية –الساعة الليلية...).
- المعلومات المتعلقة بذاتية العاملين في فعالية الصيانة.
- التقويم الزمني للعاملين في فعالية الصيانة.

3-4- المعطيات المتعلقة بخطط الصيانة الوقائية للمعدات والتجهيزات:

- تعريف خطط الصيانة الدورية (اليومية – الشهرية- الربعية- السنوية).
- تحديد وتوصيف أعمال الصيانة الدورية لجميع مستويات المعدات وأجزائها.
- تعريف المقادير المستخدمة في العد عند المراقبة (ساعات التشغيل-المسافة المقطوعة- عدد الدورات...).
- تعريف القيم المعيارية للمعاملات التي ستخضع للمراقبة والمتعلقة بالمعدات، وحدود الانزياحات المسموحة نتيجة تطور الأعطال، وتعريف عوامل اتخاذ قرار الإصلاح في نهج الصيانة بمراقبة الحالة.

3-5- المعطيات المتعلقة بقطع الغيار اللازمة لصيانة المعدات:

- نوعياتها.
- أرقام تصنيفها المستودعية (...Stock No).
- أرقامها لدى الشركات المنتجة لها (...Part No).
- الحدود الدنيا للمخزون منها.
- كمياتها.
- أسعارها.
- مصادر تأمينها.
- التوزع الجغرافي لأماكن تخزينها.
- شروط تخزينها.
- الملاحظات الخاصة حولها.

3-6- المعطيات المتعلقة بحساب تكاليف صيانة المعدات والتجهيزات:

- مراكز الكلفة التي تتبع لها التجهيزات.
- مركز الميزانية.

3-7- المعطيات المتعلقة بأعطال المعدات والتجهيزات:

- الأعطال المحتملة.
- الأسباب المحتملة.
- الظواهر والدلالات.

وتجـــدر الإشـــارة إلى أنـــه تم بناء نظام أتمتة لإدارة مهام الصيانة (بمساعدة الأمم المتحدة) في أربع شركات لدى القطاع الصناعي العام في سورية وهي :

- الشركة العامة لصناعة الاسمنت بعدرا.
- شركة الفرات للغزل بدير الزور.

- الشركة العامة لصناعة الجرارات بحلب.
- الشركة العامة للصناعات الحديدية والفولاذية بحماة.

مـــن خلال ما تقدم، نلاحظ أن **المنطلقات الأساسية** الموجهة لانتقاء وتطوير نهج الصيانة الأمثل لمنشأة هي :

- المعرفة الجيدة والشاملة لبنية المنشأة ومحتوياتها من المعدات والتجهيزات.
- الإلمام الفني بالوظائف المطلوبة من تلك المعدات.
- التقييم الجيد لعواقب الأعطال الممكنة.
- تحديد وتعريف واضح ومفصل لمهام الصيانة المناسبة للمنشأة ومعداتها.
- توفير الكادر الفني اللازم لتطوير وإدارة النهج الجيد المطلوب.
- انتقاء النظام الحاسوبي الملائم.
- إتباع سياسة التحول التدريجي نحو النهج المعتمد الجديد.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل السادس

الخطة التكنولوجية والإنتاجية لعمليات الصيانة والإصلاح الشاملة للآلات

المبحث السابع عشر : إدخال الآلات إلى الصيانة وتكنولوجيا عمليات التنظيف .

المبحث الثامن عشر : تكنولوجيا كشف عيوب وتشوهات العناصر.

المبحث التاسع عشر : تكنولوجيا عمليات تجميع الآلات بعد الصيانة.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المبحث السابع عشر

إدخال الآلات إلى الصيانة وتكنولوجيا عمليات التنظيف

§ 1–المخطط العام للخطة الإنتاجية لعملية الصيانة والإصلاح (بنية الخطة الإنتاجية لعملية الصيانة):

تتكون الخطة الإنتاجية Productive Prosses لعملية الصيانة الشاملة للآلات من العمليات الأساسية التالية: إدخال أو قبول الآلة في الصيانة، غسيل خارجي للآلة، فك الآلة إلى وحدات آلية وميكانيزمات، تنظيف وغسيل الوحدات والميكانيزمات المفكوكة، فك الميكانيزمات والوحدات الآلية، تنظيف وغسيل العناصر المفكوكة، فحص وتحديد عيوب هذه العناصر، إجراء عمليات الإصلاح اللازمة للعناصر وتجهيزها بالكامل، تجميع الميكانيزمات والوحدات الآلية، تشغيل أولي لهذه الوحدات واختبارها، تجميع كامل للآلة وإجراء عملية الضبط والمعايرة اللازمة لها وتشغيلها تجريبياً والتحقق من صحة عمليات الإصلاح والصيانة المنفذة ودقة التجميع، طلاء الآلة عند اللزوم، تخريج الآلة من قسم الصيانة وتسليمها لأصحابها.

المخطط العام للخطة الإنتاجية لعملية الصيانة والإصلاح مبين على الشكل (17.1). والأسهم تبين التسلسل التكنولوجي لتنفيذ مختلف العمليات المذكورة أعلاه. وفي هذه الحالة يتم تجميع الآلة مباشرة بعد إجراء عمليات الصيانة والإصلاح اللازمة للجزء القاعدي للآلة بدون تأخير، أو انتظار إصلاح العناصر المفكوكة من الآلة، حيث يمكن استخدام عناصر وأجزاء آلية مماثلة تمت صيانتها

سابقاً وموجودة جاهزة في مستودع القطع التبديلية، أو باستخدام قطع جديدة عند اللزوم.

أمـــا الأجـــزاء والوحدات الآلية والميكانزمات المفكوكة من الآلة الجاري صـــيانتها فيـــتم غســـيلها وتفكيكها وبعد ذلك تنظيف وغسيل هذه القطع، وثم فحصـــها بشكل جيد وتحديد عيوبها، وفي هذه الحالة يمكن تصنيف هذه القطع إلى ثلاث مجموعات:

1- عناصر بحالة فنية جيدة وليست بحاجة إلى إصلاح؛

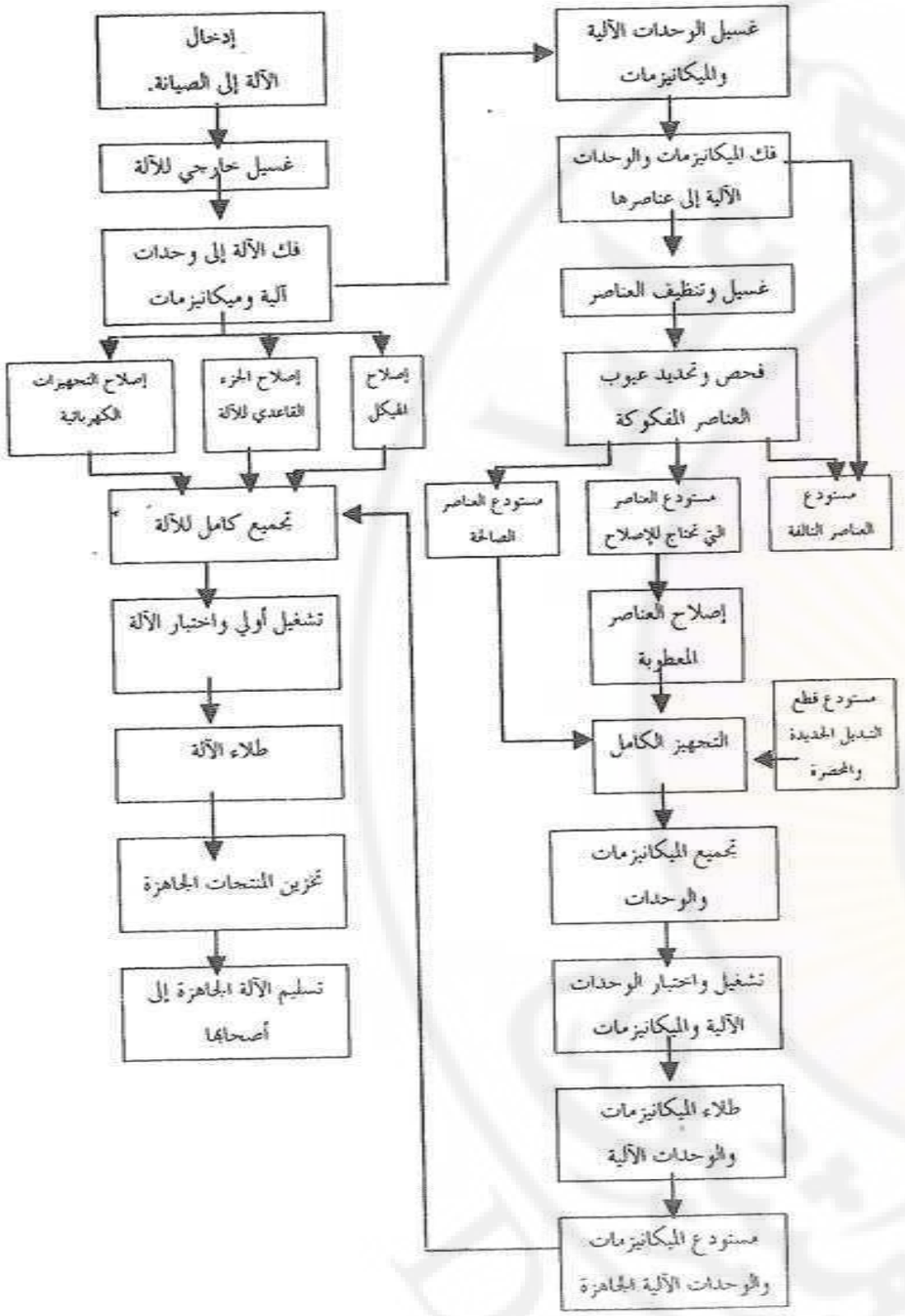
2- عناصر بحاجة إلى الإصلاح؛

3- عناصر تالفة لايمكن إصلاحها ويتم نقلها إلى مجمع الخردة.

القطع والعناصر التي تحتاج للإصلاح يتم نقلها إلى مجمع الخردة وبعد ذلك إلى أقسام الإصلاح المتخصصة بما يوافق حاجة هذه العناصر للإصلاح. أما العناصر التي تم إصلاحها فتدخل إلى قسم التجهيز الكامل حيث تتم مختلف عمليات التدقيق اللازمة ومراقبة الجودة عليها وذلك بهدف تأمين درجة نوعية عالية لعملية الصيانة وتسريع عمليات التجميع.

§ 2- نظام تسليم (إدخال) الآلات لأقسام الصيانة:

قبل إرسال الآلة المعنية وتسليمها إلى قسم الصيانة لإجراء عمليات الصيانة والإصـــلاح الشامل عليها يجب تنظيفها من الخارج من الأوساخ والغبار والزيوت والـــرايش وتفريغ الزيوت وسوائل التبريد من داخلها إن أمكن. ويعتبر رئيس قسم الإنتاج أو رؤساء الورشات الإنتاجية هم المسؤولون عن تجهيز الآلات في ورشهم من أجل تسليمها للصيانة.



الشكل 17.1 : المخطط العام للخطة الإنتاجية لعملية الصيانة والإصلاح.

وعـــند تسليم الآلات والمعدات المختلفة لإجراء عمليات الصيانة المتوسطة أو الشاملة عليها يجب أن يرفق معها تقرير فني خاص معتمد من رئيس الورشة التي تعمـــل فـــيها هذه الآلة ومن رئيس قسم الإنتاج بحيث تدون في هذا التقرير كافة ملاحظـــات العـــامل المسؤول عن تشغيل واستثمار هذه الآلة، بالإضافة إلى نتائج الفحـــص الخارجي الأولي عليها وكل ما يوجد من ملاحظات ومشاهدات تتعلق بعمل هذه الآلة.

الغـــرض مـــن هذا التقرير الفني هو مساعدة عمال الصيانة على كشف العيوب المختلفة للآلة مما يسهل ويسرع عمل أقسام الصيانة.

ومـــما لاشـــك فيه فإن العامل على آلة إنتاج معينة له دور كبير في إنجاز أعمـــال الصـــيانة والإصلاح اللازمة لها، فهو يستطيع تحديد غالبية العيوب والخلل الذي يحدث أثناء استثمار هذه الآلة.

فعـــلى ســـبيل المثال، إذا جاء في التقرير الفني لمخرطة أن بعض السرع لا يمكـــن تحقيقها على الآلة، فهذا يعني أن المسننات الموافقة لهذه السرع لا تتعشق مع بعضـــها، وهذا يدل على أن هذه المسننات متآكلة بدرجة كبيرة أو غير ذلك من الأسباب، وهذا بدوره يشكل مساعدة هامة لعمال الصيانة في التوصل إلى الأعطال بسرعة وإصلاحها.

يـــتم في قســـم الصيانة (في مكتب الدخول) تنظيم محضر استلام نظامي للآلة، ويتم استلام الكاتالوكات والرسومات الهندسية والوثائق الفنية الخاصة بالآلة بالإضـــافة إلى التقرير الفني سابق الذكر. بعد ذلك يتم توجيه هذه الآلة إلى ورشة (قسم) الغسيل لإجراء ما يلزم عليها.

§ 3- عمليات الغسيل لآلات:

حسب ماهو مبين على المخطط العام لعملية الصيانة والإصلاح (شكل 17.1)، يتم بعد استلام الآلة للصيانة توجيهها إلى ورشة (أو قسم) الغسيل الخارجي من أجل تنظيفها بشكل جيد مما يسهل عمليات الفك لاحقاً وتحديد العيوب. تتم عمليات الغسيل عادة على ثلاث مراحل:

a) – غسيل خارجي للآلة يترافق بنفس الوقت تنظيف بطريقة التبخير للعلب (علبة السرعة) والأغلفة الخارجية للوحدات والأجزاء.

b)- غسيل وتنظيف الأجزاء والوحدات الآلية المفكوكة بشكل جيد من أجل التخلص من بقايا الزيوت والشحوم الموجودة عليها.

c) غسيل وتنظيف نهائي للهيكل والعناصر المختلفة بعد فك الآلة بالكامل.

قبل البدء بعملية غسيل الآلة من الخارج يجب فك الأجهزة والعناصر الكهربائية كافة، الخراطيم والوصلات المطاطية، السيور الناقلة للحركة وغيرها من العناصر المشابهة التي يمكن أن تتضرر من السوائل المستخدمة بالغسيل.

من الأنسب أن تتوضع أماكن غسيل الآلات بالقرب من قسم الفك. يتم غسيل الآلات بالماء الصافي، أو المضاف إليه مواد تنظيف صابونية أو الصودا الكاوية بنسبة خفيفة (بمعدل 20-10غرام/ليتر).

تتم عملية غسيل الآلات في حجرات خاصة بتيار من الماء بواسطة مضخة ذات ضغط مرتفع (بحدود ميغاباسكال- 1-1,5MPa) أو بضغط منخفض (بحدود 0,3-0,4MPa). إن وحدات التي تعمل بمضخات الضغط المرتفع، ذات فعالية جيدة في هذا المجال، وهي مزودة بمحرك كهربائي استطاعته 3.5Kw أو 7Kw ومضخة دوامية Vortical Pump. يتم ضخ المياه بوساطة خرطومين موصولين بنهايتهما بفردي غسيل، مما يسمح بالحصول على تيار قوي من الماء.

يمكن أن تستخدم في عملية الغسيل مياه ساخنة درجة حرارتها بحدود 60-80C°.
والمـــاء المســـتخدم في الغسيل يجمع في حوض ترسيب خاص حيث يمكن تسخينه واستخدامه من جديد.

في مؤسســـات الصيانة والإصلاح المتخصصة والمتطورة تستخدم أيضاً في عمليـــات الغسيل حجرات الغسيل على شكل نفق. حيث يتم تحريك الآلة الجاري غســـيلها بشـــكل خطوي داخل الحجرة بمساعدة رافعة أو ناقل خاص ويتم ضخ سائل التنظيف عليها من جميع الجهات بالضغط المناسب.

عـــلى ســـبيل المـــثال، في وحدات الغسيل ماركة 2007 المستخدمة في ورشـــات صيانة وإصلاح الجررات، تستمر عملية الغسيل المترافقة مع تبخير المحرك وعلبة السرعة والجسر الخلفي بحدود 15-10 دقيقة.

في عمليـــات الغســـيل الخـــارجي للآلات من الضروري مراعاة تدابير الأمن والسلامة التالية:

- عمليـــة الغسيل يجب أن تتم في مكان معزول ومغطى بطبقة من البيتون أو الإسفلت ذات ميل مناسب ومجهزة بقناة (مجرى) جانبية لتصريف المياه المتدفقة.

يتم تفريغ السوائل والزيوت كافة من الآلة (زيت محرك، زيت علبة سرعة، سوائل تبريد وغيرها) في أحواض خاصة.

يجـــب أن تـــتم عملية الغسيل في الحجرات المخصصة لذلك وهي مغلقة بالكامل، وتتم مراقبة عملية الغسيل من نافذة خاصة.

§ 4- تسلسل عمليات فك الآلة:

تتم عملية فك الآلة من أجل إجراء عمليات الصيانة والإصلاح عليها وفق تسلســـل معين يوافق الخطة التكنولوجية لعملية الصيانة. تبدأ عملية الفك بالأجزاء والوحدات الآلية والميكانيزمات التي يمكن أن تعيق أو تمنع فك الأجزاء والوحدات

الأخـــرى، أو تـــبدأ بـــتلك الأجزاء والوحدات الآلية التي تقتضي شروط الأمن الصناعي والسلامة المهنية فكها أولاً.

ويجـــب الإشارة هنا إلى أن نجاح عملية الصيانة يعتمدُ بدرجة كبيرة على أسلوب وتسلسل فك أجزاء وعناصر الآلة. وقبل البدء بعملية الفكك يجب التعرف عـــلى تركيـــب الآلة ومجال استخدامها والعلاقة الآلية التبادلية بين مختلف أجزائها وميكانـــيزماتها الـــتي سيتم فكها. ومن الضروري أحياناً الإطلاع على الرسومات التصـــميمية والكاتالوكـــات الخاصة بالآلة، حيث يمكن بعدها البدء بفك الأجزاء والوحدات الآلية الأساسية للآلة.

كمـــا ويجـــب خـــلال مراحل عمليات الفك للأجزاء والوحدات الآلية والعناصـــر المكونـــة لها كافة اتخاذ كل إجراءات الأمن الصناعي والسلامة المهنية اللازمـــة الـــتي من شأنها الحفاظ على سلامة العاملين وعدم إلحاق الأذى بالعناصر المفكوكة. فعلى سبيل المثل، عند فك بعض البراغي وعناصر التثبيت يمكن أن يختل وضـــع التوازن لبعض الأجزاء الآلية ويمكن أن تسقط على الأرض مما يشكل خطراً على عمال الصيانة في حال عدم اتخاذ التدابير اللازمة لمنع ذلك.

وقبل البدء بعملية الفك يجب اتخاذ مجموعة من الترتيبات منها:

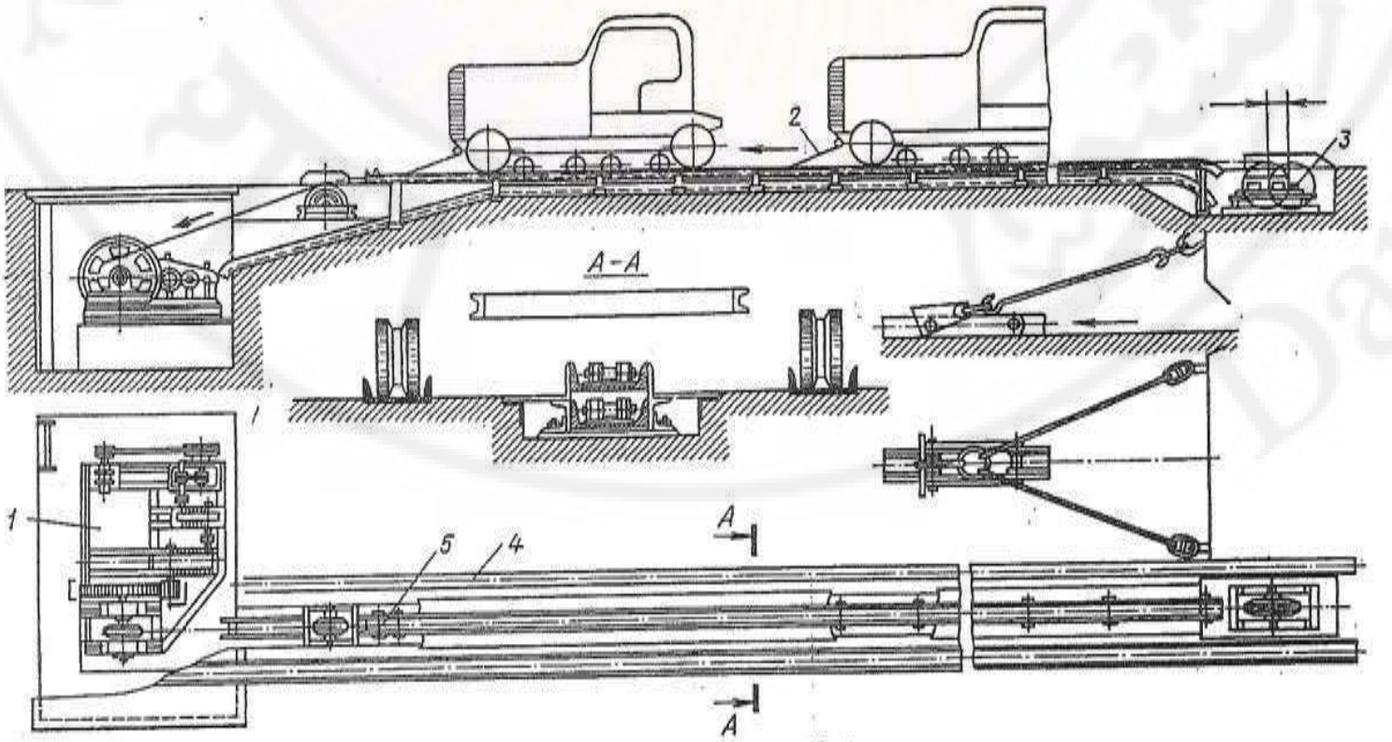
تجهـــيز مساحة كافية بجوار الآلة المطلوب صيانتها تسمح لعمال الصيانة بـــالعمل والحركة بشكل سهل، وكذلك تسمح بوضع الأجزاء المفكوكة وخاصة الكـــبيرة مـــنها بشكل صحيح، التأكد من وجود المعدات اللازمة كافة من روافع ومثبـــتات وعناصر استناد وغيرها بالإضافة إلى تجهيز مايلزم من طاولات وبطانات مختلفة لوضع الأجزاء المفكوكة.

تـــبعاً لـــبرنامج ونظام العمل المتبع في مؤسسة الصيانة والإصلاح يتم فك الآلات إلى عناصرها المكونة لها إما وفق الطريقة التيارية (النافذة) في عربات الناقل، أو وفق الطريقة غير النافذة (المسدودة) باستخدام طاولات خاصة بعمليات الفك.

بعـــد إنجـــاز عملـــية فك الوحدات والمجموعات الآلية المختلفة عن الآلة (مجموعـــة هيدروليكـــية، علبة مسننات، دارة قيادة وتحكم الكترونية وغيرها) يتم توجـــيه كـــل واحدة أو مجموعة منها إلى القسم أو الورشة المختصة كما هي دون تفكيكها، حيث تستكمل فيه دورة الصيانة والإصلاح الكاملة عليها والتي تتضمن: فـــك هذه الوحدات إلى عناصرها، تحديد العيوب فيها، إجراء عمليات الإصلاح اللازمـــة علـــيها، ومن ثم تجميعها ومعايرتها واختبارها. تستخدم بشكل واسع في عمليات فك وتجميع الماكينات معدات النقل والرفع المختلفة، وذلك من أجل رفع الوحدات والأجزاء المفكوكة عن جسم الآلة ونقلها إلى مواقع الإصلاح المختلفة.

كذلـــك هو الحال أيضاً في ورشات صيانة وإصلاح آليات البناء (المعدات الإنشـــائية) والطـــرق حيث يستخدم تقريباً المخطط العام السابق المبين نفسه على الشـــكل (17.1) في عملـــية الصيانة والإصلاح الشامل لها. كما وتعتمد المراحل نفسها تقريباً في تسليم الآلية (جرار، حفارة، شاحنة) إلى الصيانة وتسلسل عمليات فكهـــا. مـــن أجل فك وتجميع مثل هذه الآلات والمعدات الهندسية تستخدم أيضاً الـــنواقل. على الشكل (17.2)مبين ناقل جنزيري (سلسلة ناقلة) مخصص لعمليات فك وتجميع الجرارات والشاحنات حيث: 1-محرك كهربائي، 2- وصلة ربط، 3- جهاز السحب، 4- موجهات مسار الحركة، 5- سلسلة السحب (الشد).

مـــن أجـــل رفع الأجزاء الآلية وفكها خارج القسم تستخدم الشاحنات الـــرافعة، أمـــا في داخل القسم فتستخدم الروافع الجسرية بكثرة، كما وتستخدم الـــنواقل الدهروجـــية لنقل العناصر الجسمية من موقع عمل إلى آخر وغيرها من النواقل.



الشكل 17.2 : خط ناقل لفك وتجميع الآلات.

نظام وقواعد الفك.

إضـــافة إلى ماذكر سابقاً حول فك أجزاء وعناصر الآلات المختلفة، يجب اتباع القواعد والملاحظات التالية:

1- يجب استعمال العدة والأدوات المناسبة في عملية الفك والتي لاتسبب أي ضرر للأجزاء المفكوكة.

2- عـــدم اســـتعمال القوة الكبيرة في نزع بعض الأجزاء صعبة الفك، وإنما يجب معرفة سبب ممانعة الفك والتخلص منه.

3- رفع الأجزاء والعناصر المفكوكة بعناية دون إلحاق الضرر بها.

4- في حال استخدام المطارق المعدنية لفك بعض العناصر يجب وضع قطعة خشبية أو معدنية لينة بين المطرقة والجزء المطروق.

5- عند فك الأعمدة الطويلة يجب استعمال عدة نقاط ارتكاز في آن واحد لرفعها حتى لايحدث أي انحناء أو تشوه لها.

6- يتم وضع أجزاء كل وحدة آلية بعد فكها في صندوق خاص. ومن الضروري الاهتمام بالعناصر ذات السطوح المصقولة حتى لا تأذى.

7- توضـــع العناصر والأجزاء الضخمة على كقواعد أو ألواح خاصة بالقرب من الآلة الجاري إصلاحها.

§ 5- تكنولوجيا فك الوصلات النموذجية:

5.1. فك الوصلات اللولبية (المقلووظة):

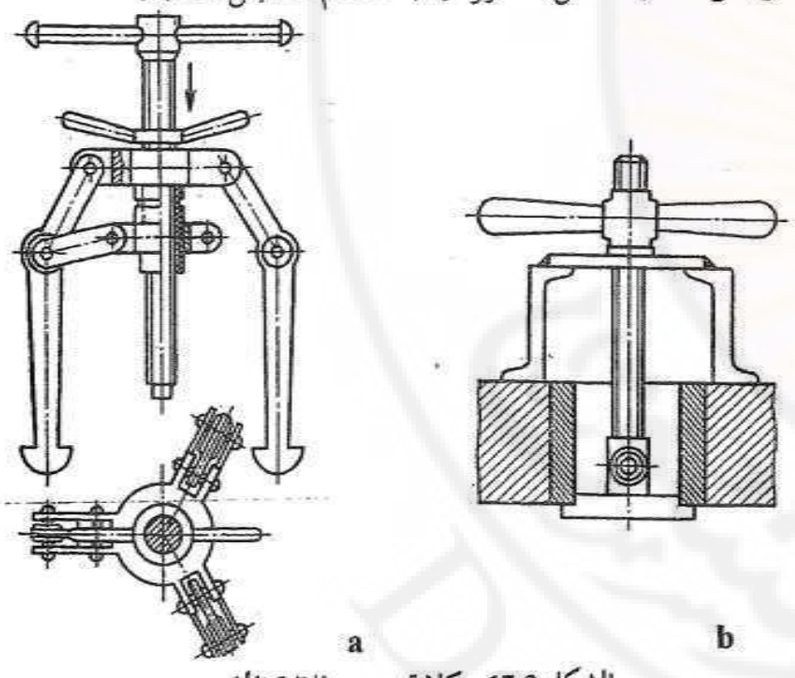
مـــن أجـــل فـــك اللوالب تستخدم عادة أدوات ممكنة (آلية) ذات محرك كهربائي أو هوائي مزودة برؤوس مختلفة المقاييس لفك البراغي والصواميل.

يجـــب الإشارة هنا إلى أن عزم الدوران اللازم لفك المسامير المقلووظة في الآلات الداخلـــة في الصـــيانة يفـــوق بـــ (1,5 ÷2,5) مرة عزم الدوران اللازم لتجميع الوصلات المقلووظة المماثلة الجديدة.

5.2. فك الوصلات ذات الازدواج التداخلي:

مـــن أجـــل فـــك العناصر والوصلات المجمعة بأزواج تداخلي تستخدم كلابـــات الســـحب والمكابس ولا يسمح باستخدام المظارق ومسامير (سنابك) الطرد. إن كلاً من كلابات السحب العمومية والكابلات الخاصة توجد بتصميمين اثـــنين: لولبية ميكانيكية وهيدروليكية. على الشكل (17.3,a)مبين كلابة سحب عمومية من ا لنوع اللولبي ذات ثلاثة أذرع سحب، وعلى الشكل (17.3,b) مبين كلابـــة ســـحب خاصة. تستخدم كلابات السحب العمومية لفك عناصر بأقطار مختلفة حيث يمكن معايرتها.

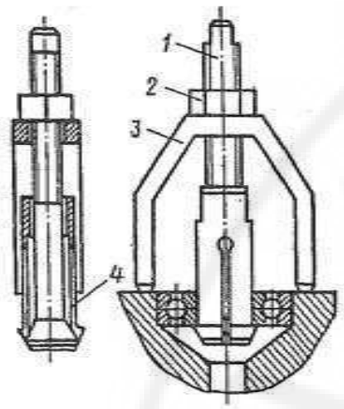
مـــن أجل سحب المحامل الدحروجية Ball Beating من المقعد (الثقب) المتوضـــعة بداخله، تستخدم كلابة سحب مزودة بحلقة زنق Collet كالمبينة على الشـــكل (17.4) حيث : 1- لولب، 2- صامولة، 3- مسند ، 4- حلقة الزنق. كما ويمكن سحب المحامل الدحروجية باستخدام المكابس الخاصة.



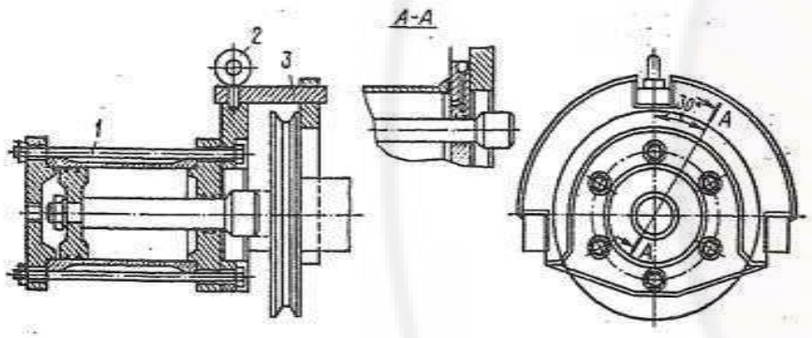
a

b

الشكل 17-3 : كلابة سحب ثلاثية الأذرع.



الشكل 17.4 : كلابة سحب بحلقة زنق.

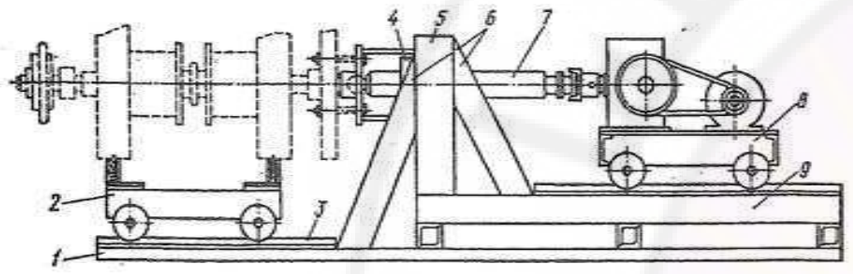


الشكل 17.5 : كلابة سحب هيدروليكية لنزع الطارة.

عـــلى الشكل (17.5) مبين كلابة سحب هيدروليكة من أجل نزع طارة بكـــرة محـــززة Grooved pulley عـــن عمود مرفقي. تتكون هذه الكلابة من اســـطوانة هيدروليكـــية 1 وعنصـــر المسك 3، والمتصلين فيما بينهما بستة براغي وصواميل. يتم تعليق الكلابة فوق المكان أو الجزء المطلوب فكه بواسطة البرغي 2 ذي الرأس الحلقي.

مـــن أجـــل فك الوحدات أو الأجزاء الضخمة في الآلة تستخدم مكابس تؤمـــن قوة تصل حتى 1000KN. على الشكل (17.6) مبين مكبس سحب لولبي

أفقـــي بقوة 400KN يستخدم لفك ملفاف الرفع في الحفارة. يتوضع المكبس على قـــاعدة عامة 1. ويتم وضع الملفاف المطلوب تفكيكه على العربة 2 والتي تتحرك بعـــد ذلك على السكة الحديدية 3 حتى الوصول إلى المصدم الموجود على السطح الجبهي للولب 7.

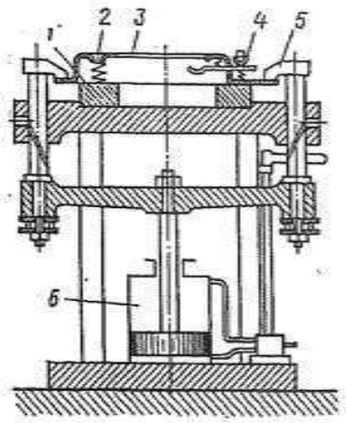


الشكل 17.6 : مكبس لولبي أفقي لفك ملفاف رافعة

عـــلى عمـــود الملفاف يتم تثبيت القرص 4 للكلابة بواسطة أذرع لولبية خاصة، يتم ربط القرص 4 من إحدى جهتيه إلى العنصر المطلوب فكه، ومن الجهة الأخـــرى يـــربط بالدعامة (المسند) 5. من أجل زيادة جساءة Rigidity (مقاومة التغير) الدعامة 5 يتم تدعيمها بالأذرع 6.

يتم نزع العنصر المطلوب بتدوير اللولب 7 الذي يأخذ حركته بدوره من المجموعـــة الآلـــية 8 المتوضـــعة بدورها على السكة الحديدية فوق القاعدة 9. من الممكن استخدام هذا المكبس في عملية فك عدة أجزاء آلية أخرى، إذا أمكن تثبيتها على عناصر التوضع العائدة للعربة 2.

كمـــا وتســـتخدم معـــدات وتجهيزات أخرى مختلفة من أجل فك أجزاء الماكينات والمعدات المختلفة بحيث تؤمن الاستطاعة اللازمة لفك الأجزاء وبالسرعة المناسبة.



الشكل 17.7 : طاولة بمكبس هوائي.

على سبيل المثال على الشكل (17.7) مبين منصة (طاولة) بمحرك هوائي من أجل ضغط كافة نوابض الفاصل واصل بآن واحد خلال تفكيكه أو تجميعه. تتكون هذه المنصة من الأجزاء التالية: 1- قرص الضغط، 2- نابض، 3- غطاء، 4- صامولة الفاصل واصل، 5- ذراع ماسك، 6- اسطوانة هوائية.

وكما سبق وذكرنا في مختلف مراحل عمليات فك الآلات يجب مراعاة الشروط كافة التي من شأنها تأمين السلامة المهنية للعاملين من خلال المعايير والتدابير التالية:

1-من الضروري إجراء عملية فك الآلة (وكذلك التجميع) وهي في وضع مستقر وثابت.

2-من الضروري الكشف الدوري على معدات النقل والرفع من حيث استطاعة التحميل، متانة الحبال والكوابل والسلاسل المستخدمة.

3-التحقق من صحة أماكن مسك (قمط) الأجزاء والوحدات الآلية والعناصر الضخمة.

4-لا يسمح بفك (أو تجميع) الوحدات الآلية والميكانيزمات وهي معلقة على ميكانيزمات الرفع.

5-لا يسمح أثناء نزول الحمل القيام بوضع البطانة أو الألواح تحته وإنما يتم تجهيزها ووضعها في المكان المناسب لتوضع الجزء الآلي عليها بشكل مسبق.

6- إن اســتخدام العــدة والأدوات المناسبة في عمليات الفك يشكل واحدة من شــروط السلامة والأمن. المفاتيح المستخدمة في الفك يجب أن توافق تماماً مقاييس البراغي والصواميل المفكوكة ويجب أن تكون السطوح العاملة لهذه المفاتيح متوازية تماماً وغير مشوهة.

7- عــند فك (أو تجميع) العناصر والوصلات ذات الازدواجات التداخلية Inter ference fit من الضروري تأمين مسك (قمط) آمن وفعال لهذه العناصر.

8- يجــب اســتخدام الأدوات والعــدة الكهربائية المعزولة قبضاتها بشكل جيد بالإضــافة إلى ارتداء قفازات عازلة عند إصلاح المعدات والأجهزة الكهربائية إذا كانت موصولة بالشبكة.

§ 6- تكنولوجــيا عملــيات تنظــيف وغسيل الأجزاء الآلية والميكانيزمات وعناصر الآلات:

كمــا بيــنا سابقاً بعد غسيل الآلة من الخارج، ومن ثم فك الأجزاء الآلية والميكانــيزمات الأساسية للآلة، يتم غسيل هذه الأجزاء باستخدام وسائل وسوائل التنظــيف المناسبة. بعد ذلك يتم تفكيك هذه الأجزاء والميكانيزمات بالكامل إلى العناصــر المكونة لها، وبالتالي من الضروري تنظيف هذه العناصر بشكل جيد من أجــل كشــف كافــة سطوحها العاملة وسطوح الاحتكاك بحيث يمكن مشاهدة الخــدوش والخزوز والشقوق والتآكل والعيوب المختلفة كافة، ويصبح من الممكن إجراء عمليات القياس اللازمة لهذه السطوح لتحديد وضعها الفني ومقدار العيوب الموجودة عليها.

مــن أجل تنظيف وغسيل عناصر الآلات تستخدم عدة طرق: كيميائية، ميكانيكية، فوق صوتية، كهربائية – كيميائية، كيميائية – ميكانيكية، كيميائية – حرارية وغيرها.

فالطريقة الكيميائية:

تتـــلخص باستخدام معاجين خاصة أو محاليل كيميائية ساخنة مكونة من الحجـــر الجيري غير المطفأ (الكلس الحي) والصودا الكاوية والمواد النفطية من أجل إزالة الزيوت المعدنية والأوساخ المتراكمة على سطوح العناصر.

الطريقة الميكانيكة:

يشتمل تنظيف القطع بهذه الطريقة باستخدام أجهزة جلخ خاصة وأدوات قشـــط ومعدات آلية ودوارة وغيرها من المعدات. وتستخدم أجهزة التنظيف الآلية بواســـطة الهواء المضغوط والممزوج بجزيئات من قشور بعض المواد أو الرمل الناعم أحياناً. كما وتستخدم معدات آلية لغسيل القطع بوجود تيار مائي قوي مضافاً إليه بعض مواد التنظيف، وهذا سوف نتعرف عليه لاحقاً.

الطريقة الحرارية

تتـــلخص بإزالـــة الأوساخ الملتصقة بسطوح العناصر والدهان وماشابهها بواســـطة اللهـــب. وتســـتخدم مـــن أجل ذلك أجهزة اللحام الغازي بالإستيلين والأكسجين.

الأكـــثر انتشاراً في منشآت الصيانة والإصلاح من بين الطرق السابقة هي الطريقة الكيميائية باستخدام محاليل التنظيف المتنوعة والمعدات المناسبة لذلك.

1-6- الأسس الفيزيائية – الكيميائية لغسيل الآلات وعناصرها.

إن تنظيف الآلات من بقايا الزيوت المعدنية Mineral Oil يشكل عملية فيزيائية- كيميائية معقدة تتضمن تأثيرات ميكانيكية، كيميائية وحرارية مختلفة على سطوح هذه العناصر.

مـــن الصـــعب كما هو معلوم التخلص من بقايا الزيوت المعدنية المختلفة الموجـــودة عـــلى سطوح العناصر بالمياه فقط، لذلك يتم إضافة بعض المواد القلوية المنظفة ذات الفعالية السطحية العالية للتخلص من الزيوت.

حسب التكوين الكيميائي للزيوت المعدنية هي غير قابلة للتصبن، لذلك لا تستحلل (تستفكك) هذه الزيوت تحت تأثير المواد القلوية، وإنما تشكل مستحلب Emulsion .

المحاليل القلوية، التي تعمل على إضعاف التوتر السطحي للطبقة الزيتية، لا تستطيع غزال الزيوت بشكل كامل عن سطوح العناصر، لذلك يتم إضافة مستحلبات قادرة على تجزئة (تفتيت) الطبقة الزيتية وفصلها عن سطوح العنصر على شكل قطرات صغيرة غير مترابطة (منفصلة) تتلبد هذه القطرات أو تلتف بواسطة المستحلب والذي بدوره لا يسمح لها بالتجمع والاتصال فيما بينها والالتصاق من جديد على سطح العنصر.

من هذه المواد القلوية يمكن استخدام الصابون العادي الذي يمكن أن يضاف بنسبة (8÷10) غرام/ليتر بالإضافة إلى مواد أخرى بنسب محددة.

تبعاً لطبيعة الأوساخ والزيوت المعالجة وسوائل التنظيف المستخدمة فإن الأوساخ يمكن أن تطفو على سطح السائل أو أن تتجمع في قعر حوض الغسيل.

6-2- محاليل ومستحضرات الغسيل:

من السهل التخلص من الغبار والأوساخ غير الدهنية عن سطوح العناصر بواسطة تيار مائي ساخن بدرجة حرارة C° 70-80. أما من أجل تنظيف سطوح العناصر من المواد والمركبات الزيتية وما شابهها فتستخدم عادة محاليل مائية مضاف إليها الصودا الكاوية NaoH(ماءات الصوديوم)أو كربونات الصوديوم Na_2CO_3.

6-3- سوائل الغسيل بالصودا الكاوية:

تستخدم هذه السوائل عادة لتنظيف القطع الفولاذية من حديد الصب وغير الملوثة بالزيوت والشحوم المعدنية. تحتوي هذه السوائل على الصودا الكاوية NaOH بمعدل (50÷80) غرام/ليتر وصابون بمعدل (8-10) غ/ليتر. ويتم تسخين

هـذا الخليط من السائل إلى درجة حرارة بحدود °80-90C. بعد تنظيف العناصر بهذا السائل يتم غسلها ثانية بالماء الساخن حرارته °50-60C.

محالـيل الصودا الكاوية سامة وتسبب تآكل Corrosion (صدأ) المعادن، ولا يجوز استخدام هذه المحاليل لغسل عناصر من الألمنيوم بسبب أن الصودا الكاوية تتفاعل معها وتسبب تلفها. من أجل تنظيف وغسيل العناصر من خلائط الألمنيوم (بـدون شـحوم) تسـتخدم محاليل مائية مضاف إليها الكلس بنسبة (10÷15) غـرام/ليـتر ثلاثي نترات الفوسفات بنسبة (25÷30)غرام/ليتر والزجاج المائي (محلـول مركـز من سيليكات الصوديوم والبوتاسيوم في الماء) بنسبة (10÷15) غرام/ليتر وبدرجة حرارة لهذا المحلول بمعدل °80-90C.

في السـنوات الأخـيرة لاقت مجموعة من مستحضرات الغسيل الصناعية التركيبـية مثل مستحضر ML-51، ML52، Labomid، MC وغيرها انتشاراً واسعاً.

المستحضـرات ML-51 و ML-52 هي عبارة عن مزيج من مواد ذات فعالـية سـطحية مـع محاليل كهربائية. يتم إنتاج هذه المستحضرات على شكل مساحيق أو حبيبات بيضاء وحديدية اللون.

المستحضـر ML-51 يستخدم من أجل التنظيف بتركيز للمستحضر في المـاء بمعـدل (10÷20)غرام/ليتر، والمستحضر ML-52 يستخدم لتنظيف عناصر الآلات بالتـبخير بتركـيز (25÷35)غرام/ليتر وبدرجة حرارة °70÷80C. قدرة المستحضرات من النوع ML على التنظيف تفوق بـ (2-3) مرات مستحضرات الصودا الكاوية.

المستحضـرات (Labodim- 101 , 203) هي عبارة عن مزيج من مواد صـناعية ذات فعالـية سطحية مع أملاح قلوية لاعضوية يشكل مسحوقاً أبيض.

تســتخدم المستحضــرات (Labodim 101) على شكل محاليل مائية بتركيز (10÷30) غــرام ليــتر، ودرجة حرارة 70-85C°لغسيل العناصر ضمن ماكينات الغسيل الخاصة من النوع ذي التيار المتدفق من المحلول على هذه العناصر.

تســتخدم المستحضــرات (Labodin) بنجاح لتنظيف وغسيل المعادن الحديدية والمعادن الملونة (غير الحديدية) ومن ضمنها الألمنيوم.

تحتوي المستحضرات MC (MC-5 , MC-6 , MC-8) في تركيبها على صــودا كلسية وتستخدم لغسيل العناصر في أحواض خاصة أو بواسطة ماكينات الغسيل من النوع التدفقي وذلك باستخدام محلول مائي من هذا المستحضر بتركيب (10-25)غــرام/ليتر وبدرجة تسخين 75÷80C°. قدرة هذه المستحضرات على التنظــيف تعادل (1.5÷2.5) مرة بالمقارنة مع المستحضر نوع ML-51 و (4÷5) مرة بالمقارنة مع مستحضرات الصودا الكاوية.

هذه المستحضرات الصناعية التي سبق ذكرها تتمتع بعدة مزايا وخصائص إيجابية هي:

- تتمتع بقدرة تنظيف عالٍ؛
- لا تسبب تآكل أو صدأ المعادن؛
- غير سامة ؛
- يمكن استخدامها لغسيل المعادن الحديدية وخلائط الألمنيوم؛
- لا تتطلب بعد إزالة الشحم والزيوت إعادة غسيل العناصر؛

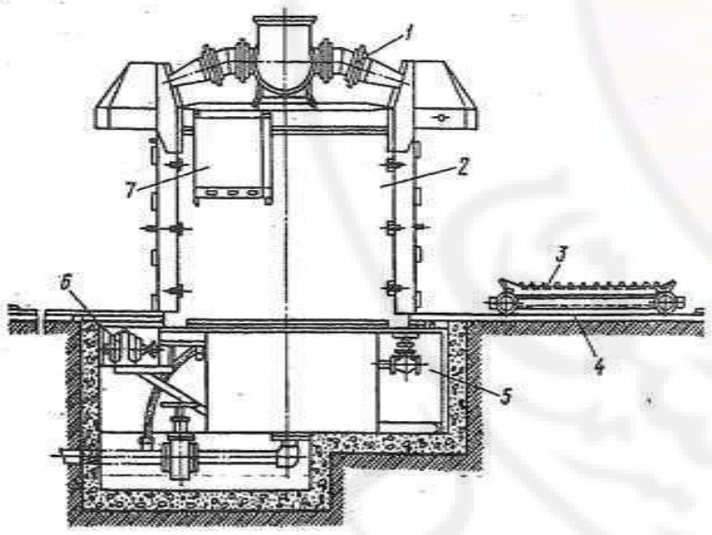
تتمثل سلبية هذه المركبات الصناعية بقابليتها لتشكيل رغوة كثيرة.

كما وتستخدم في عمليات الغسيل والتنظيف بعض المستحضرات العضوية مثل المركب AM-15 والذي يمثل محلولاً لمواد نشطة سطحياً في مذيبات عضوية، ويســتخدم بشكل رئيسي لتنظيف عناصر المحركات من الرواسب والمواد الراتنجية (القطرانية) الملتصقة بهذه العناصر بقوة وذلك ضمن أحواض غسيل خاصة.

4-6- معدات الغسيل:

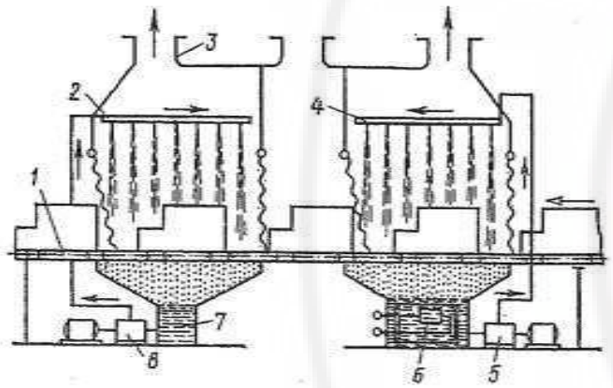
مـــن أجل غسيل الأجزاء الآلية والميكانيزمات وعناصر الآلات المفكوكة تســـتخدم ماكيـــنات غسيل خاصة بتيار متدفق بشكل مستمر ودون انقطاع أو بشكل دوري، كما وتستخدم أيضاً أحواض الغسيل (المغاطس).

عـــلى الشكل (17.8) مبين مقطع لآلة غسيل آحادية الحجرة (الحوض أو الوعاء) ماركة OM-837 ذات تأثير دوري. يتم وضع الجزء الآلي أو السلة الحاوية للعناصـــر المطلوب غسيلها على العربة 3 التي تتحرك على سكة حديدية 4 لتنقلها إلى حجـــرة الغســـيل 2. يوجد داخل حجرة الغسيل أرضية أو قاعدة دوارة تقوم بـــتدوير العربة 3 حول محورها الشاقولي. يتم تسخين سائل الغسيل في الحوض 5 حـــتى درجة الحرارة $90C^{o}$ باستخدام الوقود السائل والمضخة 6. مزودة هذه الآلة بجهـــاز تهويـــة 1 للتخلص من الأبخرة. التجهيزات الكهربائية للآلة متوضعة داخل الصندوق 7. تتميز آلات الغسيل آحادية الحجرة بانخفاض إنتاجيتها التي تقع بحدود (15÷20) جزءاً آلياً خلال الوردية الواحدة.



الشكل 17.8: مخطط لآلة غسل آحادية الحجرة.

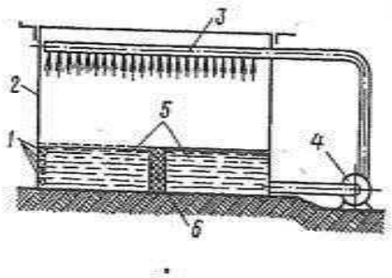
في المؤسسات الصناعية والإصلاح الضخمة ذات الإنتاجية العالية تستخدم بشكل واسع ماكينات الغسيل المزودة بناقل وهي ثنائية أو ثلاثية حجرات الغسيل، وتعمـــل بشكل مستمر على الشكل (17.9) مبين مخطط لآلة غسيل بسلسلة ناقلة وثنائـــية الحجـــرات، حيث: 1- سلسلة ناقلة من أجل تحريك الأجزاء والعناصر الداخلـــة إلى الآلة للغسيل، 2 و 4- دوش (رشاش) الغسيل داخل الحجرات، 3- جهـــاز تهويـــة الحجرة، 5- مضخة لدفع السائل إلى الحجرة الأولى، 6- مسخن بالبخار، 7- حوض تصريف، 8- مضخة لدفع السائل إلى الحجرة الثانية.



الشكل 17.9 : مخطط لآلة غسيل مزودة بناقل وثنائية الحجرات.

من أجل غسيل الآلات مباشرة في مواقع التشغيل تستخدم أحواض غسيل متحركة أو ثابتة بتصاميم مختلفة.

عـــلى الشـــكل (17.10) مبين حوض غســـيل ثابت حيث: 1- أنبوب بخار حلـــزوني، 2- الحـــوض، 3- أنبوب مثقب، 4- مضخة، 5- القعر الداخلي وهو مثقب جزئياً، 6- فلتر.



الشكل 17.10: مقطع في حوض غسيل ثابت.

تستخدم هذه الأحواض لتنظيف العناصر من القشور والدهان القديم، ولتنظيف العناصر الضخمة من الزيوت والشحوم. ويمكن بعد تخلص هذه العناصر من الزيوت أن توضع في حوض آخر لغسلها بالماء.

عملية التنظيف في الأحواض لا تحقق درجة تنظيف عالية وتتطلب وقتاً طويلاً نسبياً.

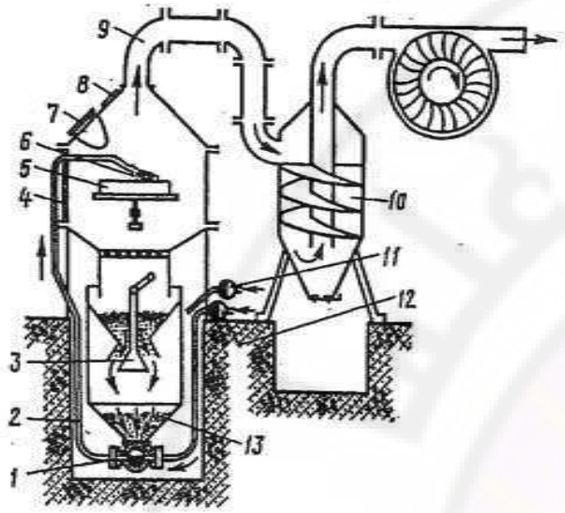
5-6- التنظيف الميكانيكي لعناصر الآلات:

على الشكل (17.11)مبين آلية مخصصة للتنظيف الميكانيكي لعناصر الآلات بواسطة بعض أنواع البذور أو نوى الفواكه أو قشور بعض النباتات مع تيار هوائي بضغط معين. يتم دفع الهواء بضغط 0.5÷0.6 MPa (ميغاباسكال) عبر الصمام 12 إلى صمام المزج 1 وعبر الصمام 11 إلى القمع (القادوس) 13 .

يتم تقطيع القشور أو البذور المستخدم كوسيلة للتنظيف بحدود (0,5 ÷0,8 mm).

يتم امتصاص القشور (أو البذور) بواسطة تيار هوائي من القمع 13 ودفعها عبر الأنبوب 2 إلى المنفث (الرشاش Nozzle) 6. يتم شحن العناصر التي تم تنظيفها عبر البوابة 4 بواسطة طاولة دوارة 5. يمكن للعامل مراقبة سير عملية التنظيف داخل الآلة عبر النافذة 8. ويتم إحكام وإغلاق حجرة التنظيف بواسطة الغطاء 7. يتم تصريف الأوساخ الناتجة عن عملية التنظيف (وهي دهان قديم، رواسب كربونية، قشور وغيرها) وإبعادها بواسطة الفرازة الحلزونية 10 والأنبوب 9 وتترسب في قعر الفرازة.

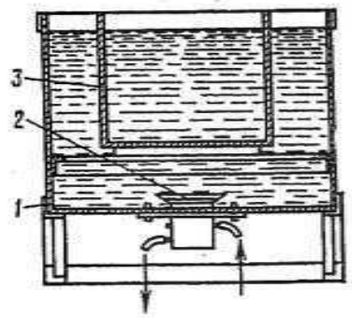
خلال عملية التنظيف يكون الصمام 3 مغلقاً. عند إنتهاء تنظيف دفعة العناصر يفتح الصمام 3 وتندفع من خلاله القشور أو البذور لتعود إلى القمع 13 من جديد. بعد تنظيف العناصر يتم غسلها بالماء.



الشكل 17.11 : آلية تنظيف ميكانيكي.

6-6- تنظيف العناصر بالأمواج الفوق صوتية:

بالنسبة للعناصر التي يلزم تنظيفها بشكل جيد جداً (مثل المحامل، المكابس والاسطوانات، الصمامات وماشابهها) من المناسب والمفيد استخدام حوض تنظيف مزود بمولدة أمواج فوق صوتية Ultrasonic wave. على الشكل (17.12) مبين مخطـط حـوض لتنظيف العناصر باستخدام الأمواج الفوق صوتية. يوضع داخل الحـوض 1 سـائل التنظيف (وهو عبارة عن محاليل مائية لمستحصرات صناعية أو مذيب عضوي Am-15).



الشكل 17.12 : حوض تنظيف بالأمواج فوق الصوتية.

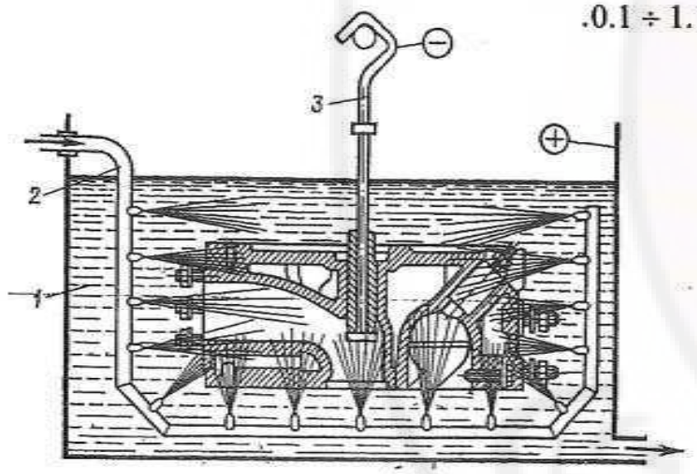
العناصر المطلوب تنظيفها توضع داخل سلة مثقبة 3 (شبكة).

بمسـاعدة المشع المغناطيسي 2 تتحول الاهتزازات الكهربائية، المتشكلة بواسطة مولـد تذبذبي خاص، إلى موجات مرنة ذات تردد عالٍ.

تحـت تأثير الموجات الصدمية المتشكلة نتيجة انفجار الفقاقيع المتشكلة في السـائل تتسـرع عملية فصل (قلع) الأوساخ عن سطح العناصر الموضوعة داخل السـائل. الزمن اللازم لعملية التنظيف هذه بحدود min(5÷1) عند درجة حرارة ($50\div60C^o$) للسائل المستخدم.

7-6- التنظيف الكهروكيميائي للعناصر:

على الشكل (17.13) مبين مخطط لحوض غسيل لعناصر الآلات بالطريقة الكهروكيميائية، حيث: 1-حوض فيه محلول كهربائي (الكتروليت electrolyte) وهو على الغالب محلول قلوي، 2- الأنبوب المغذي بالمحلول الكهربائي، 3- علاقة لحمـل العنصر الخاضع للغسيل. تتمم عمليات الغسيل الكهروكيميائية في أحواض غلفنة وبدرجة حرارة $80C^o$ درجة مئوية. الكثافة السطحية للتيار الكهربائي بحدود $0.1 \div 1.15\ A/m^2$.



الشكل 13-17 : حوض تنظيف الكتروكيميائي.

في عملـية الغسـيل والتنظـيف الكهروكيمـيائي يضاف إلى عمليات الاسـتحلاب والتشتت والانحلال الحاصلة، التأثير الميكانيكي لفقاعات الهيدروجين H2 المنفصلة على جانب السطح المعدني للعنصر.

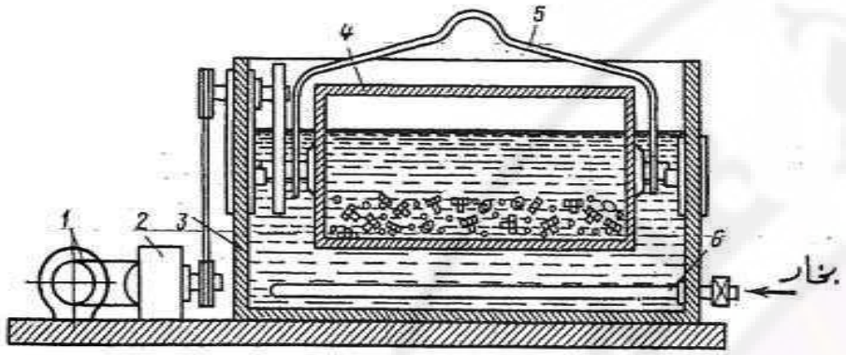
6-8- إزالة الرواسب الكربونية:

يمكـــن الـــتخلص مـــن الرواسب الكربونية عن سطوح العناصر بطرق ميكانيكية، كيميائية – ميكانيكية، كيميائية –حرارية وغيرها من الطرق.

– الطريقة الميكانيكية لإزالة الرواسب الكربونية:

تتـــلخص في تنظيف العناصر باستخدام فراشي معدنية، مقاشط، جزيئات القشـــور، كريات معدنية وغيرها. إن تنظيف العناصر بالفراشي المعدنية والمقاشط يعتـــبر صـــباً نسبياً ولا يحقق درجة تنظيف عالية. أما استخدام القشور في عملية التنظـــيف فيعتـــبر أكـــثر فعالية (انظر الآلية المبينة على الشكل17.11). وفق هذه الطـــريقة يمكـــن إزالة الرواسب الكربونية والمواد الراتنجية وماشابهها عن سطوح العناصـــر الضـــخمة، مثل غطاء محرك الاحتراق الداخلي، عناصر المحرك، مصافي الزيوت وغيرها. من أجل تنظيف العناصر عن طريق قذفها بالكريات أو الجزيئات المعدنية تستخدم حبيبات من حديد الصب المقسى أبعادها 0.3÷0.8 mm.

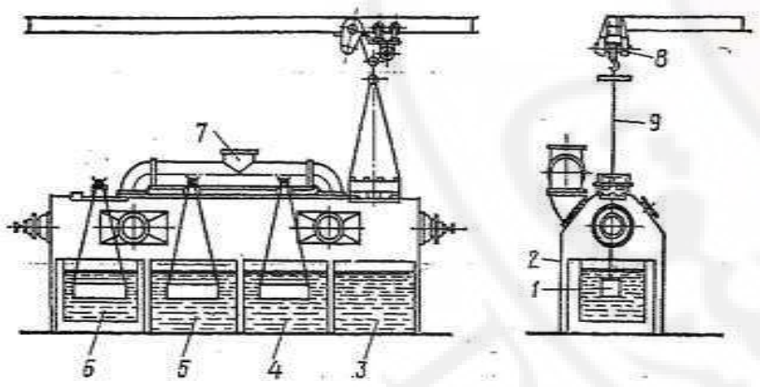
– الطـــريقة الكيميائية الميكانيكية: يتم تنظيف سطوح العناصر باستخدام حوض التنظـــيف ومـــلحقاته المبين على الشكل (17.14). تتكون آلية التنظيف هذه من الحوض 3 المملوء بمحلول التنظيف، طبل دوار مثقب 4. يوضع داخل الطبل الدوار العناصـــر المـــراد تنظيفها بمعدل الثلث، بالإضافة إلى قطع صغيرة من مواد خزفية (ســـيراميكية) بمعـــدل 2/3. يتم تدوير الطبل بواسطة المحرك الكهربائي 1 وعلبة الســـرعة 2 وجملة النقل بالسيور. يتم تسخين سائل التنظيف بواسطة تيار البخار المدفوع داخل أنبوب حلزوني 6. خلال دوران الطبل مع العناصر يتم التخلص من الأوســـاخ الملتصقة على سطوح العناصر. في هذه العملية يمكن أن تستخدم سوائل تنظـــيف مختلفة مثل الصودا الكاوية، المستحضرات ML-52 و ML-51 وغيرها. يتم بهذه الطريقة عادة تنظيف العناصر الصغيرة.



الشكل 17.14 : آلية تنظيف كيميائية – ميكانيكية.

– الطريقة الكيميائية الحرارية:

مـــن الممكن إزالة الرواسب الكربونية وماشابهها باستخدام المجموعة المبينة على الشكل (17.15)، والمكونة من : 1- سلسلة لحمل العناصر، 2- هيكل الآلة، 3- حـــوض المـــاء الساخن، 4- حوض المحلول الحمضي، 5- حوض ماء جارٍ، 6- مـــاء مالح، 7- فتحة سحب الهواء، 8- قضيب سكة حديد أحادي مع بكرة كهربائية، 9- آلية تعليق.



الشكل 17. 15 : آلية تنظيف كيماحرارية.

يـــتم معالجـــة العناصر في مصهور ملحي وتُعرّض للغسيل، ثم المعالجة في محلول حمضي، وبعد ذلك تغسل بالماء المضاف إليه الصود بنسبة (3÷5) غرام/ليتر وثلاثي نترات الفوسفات بمعدل (1.5÷2) غرام/ليتر.

درجة حرارة المصهور الملحي أثناء التنظيف $380\div420C^{o}$. وزمن تعرّض العناصـــر لهـــذا المصـــهور بحدود 5÷15min. نتيجة لتأثير الوسط الحامضي على العناصـــر تتفكك طبقة الرواسب والكربون عن سطح العناصر. بعد انتهاء عملية التنظيف يتم غسيل العناصر بالماء.

9-6- إزالة طبقة الدهان القديم :

تتم إزالة طبقة الدهان عن سطح العناصر بطرق ميكانيكية أو كيميائية. في عمليـــة التنظيف الميكانيكي يتم إزالة طبقة الدهان بواسطة تيار من الرمل النظيف غير المغبر والمدفوع من آلة خاصة متنقلة. والأكثر فعالية هو الرمل الكوارتزي الذي يؤمـــن تسريع عملية نزع الدهان 3-4 مرات بالمقارنة مع استخدام حبيبات كروية فولاذية. إن إزالة الدهان بالطرق الميكانيكية عموماً ذو صعوبة مرتفعة.

واحـــدة من الطرق الكيميائية المستخدمة بشكل واسع لإزالة الدهان عن ســـطوح العناصر، تتم بتغطيس العناصر لمدة 60÷90min في حوض يحتوي على محلـــول مـــن الصودا الكاوية بتركيز (80÷90) غرام/ليتر ودرجة حرارته بحدود $80\text{-}90C^{o}$. بعـــد انقضـــاء الفـــترة الزمنية اللازمة يتم غسيل هذه العناصر بالماء الســـاخن، وبعد ذلك تتم معالجة هذه العناصر في حوض يحتوي على محلول نترات الصوديوم بتركيز 5 غرام/لتر وبدرجة حرارة $50\text{-}60C^{o}$ بحيث تصبح سطوح هذه العناصر غير نشطة كيميائياً (سلبية – Passive) مما يزيد من مقاومتها للتآكل.

بعد انتهاء معالجة السطح وإزالة طبقة الدهان يتم غسيل العناصر بالماء.

ومـــن أجـــل تنظيف عناصر الآلات من مختلف أنواع الزيوت والشحوم تستخدم محالـــيل صـــناعية مثل ML-52 أو مركب Labodim203 بتركيز 25 غرام/ليتر وبدرجة حرارة $85\text{-}90C^{o}$. وفي حال عدم توفر هذه المركبات من الممكن تنظيف العناصر بالمواد النفطية (بترين، كاز...).

خـــلال مختلف عمليات تنظيف وغسيل العناصر من الضروري مراعاة شروط الأمن والسلامة المهنية التالية:

1- عمليـــات غسيل الأجزاء الآلية والعناصر يجب تنفيذها في أقسام خاصة وعلى أرض صلبة مائلة قليلاً من أجل انسياب وتصريف محاليل الغسيل .

2- من الضروري تجهيز أحواض الغسيل بمعدات لسحب الأبخرة والغازات الناتجة، بالإضافة إلى تهوية كامل مكان العمل بشكل جيد .

3- على اعتبار أن محاليل الغسيل تحتوي على مواد ضارة أو سامة، فمن الضروري عـــلى العـــاملين ارتداء القفازات والأحذية المطاطية العازلة بالإضافة إلى النظارات الواقية للعين واللباس الخارجي المناسب (مريول) .

المبحث الثامن عشر

تكنولوجيا كشف عيوب وتشوهات العناصر

§ 1- مقدمة :

يمكـــن تعـــريف العيب أو الخلل (defect) في عنصر معين على أنه عدم مطابقـــة هذا العنصر للمتطلبات والمواصفات الاستثمارية والفنية المبينة في الوثائق الفنية العيارية (الستاندر).

إن كشـــف أو تحديد عيوب العناصر والمنتجات يهدف إلى تحديد حالتها الفنية وتحديد مدى صلاحيتها للاستثمار اللاحق.

خلال عملية كشف العيوب يتم الكشف عن:

a) اهـــتراء wear الســـطوح العاملة للعناصر من خلال تحديد التغيير الحاصل في الأبعـــاد والشـــكل الهندسي للعناصر، بالإضافة إلى الكشف عن الخدوش والحزوز المتشكلة على هذه السطوح خلال استثمارها السابق.

b) العيوب المتبقية في العناصر على شكل انحناء، فتل واعوجاج.

c) الشقوق، التجاويف والثقوب، الكسور، التلون والحروق على سطح العنصر.

d) تغـــيير الخـــواص الفيزيائية – الميكانيكية للطبقة السطحية أو للعنصر بالكامل بسبب تأثير درجات الحرارة العالية أو التأثير الكيميائي للوسط وغيرها من العوامل.

عملية كشف عيوب العناصر تتم بعد غسيلها وتنظيفها بشكل جيد.

يتم تحديد أو كشف عيوب العناصر الضخمة (الهياكل، الأبدان، القواعد) في قســـم الفـــك. وتـــتم عملية كشف عيوب العناصر بشكل مستمر في أقسام الإصـــلاح المتخصصة خلال عملية إصلاح وصيانة هذه العناصر في تلك الأقسام.

كمـــا وتوجـــد أقســـام متخصصة بكشف وتحديد عيوب العناصر تكون مجهزة بالأدوات والأجهزة وطاولات الاختبار والقياس اللازمة لذلك.

أثـــناء كشـــف عيوب العناصر من الضروري وبشدة الالتزام بالمتطلبات والخصائص الفنية لهذه العناصر خلال عملية فحصها وتصنيفها.

وكما بيّنا سابقاً يتم تصنيف العناصر إلى ثلاث مجموعات:

1- عناصر صالحة سليمة؛

2- عناصر معطوبة بحاجة لإصلاح؛

3- عناصر غير صالحة (تالفة).

ومن الممكن، من أجل تمييز هذه العناصر عن بعضها، أن تلون كل مجموعة بلـــون محـــدد على أحد السطوح غير العاملة. على سبيل المثال، العناصر الصالحة باللون الأبيض، العناصر التي يلزم إصلاحها باللون الأزرق، والعناصر التالفة باللون الأحمر.

بعـــد انتهاء عملية تصنيف العناصر المفكوكة تم إرسال العناصر الصالحة (الســـليمة) إلى قســـم التجهـــيز الإنمائي الكامل أو إلى مستودع العناصر السليمة (مستودع القطع التبديلية).

أمـــا العناصر التي يلزم إصلاحها فتوضع في مستودع خاص منتظرة إجراء عمليات الإصلاح اللازمة عليها بما يتوافق مع الخطة الإنتاجية والتكنولوجية لأقسام الإصلاح. أما العناصر التالفة والتي لا يمكن إصلاحها فتجمع في مكان خاص حيث ترسل إلى أقسام الصهر أو يمكن استخدامها في تحضير عناصر أخرى.،

نـــتائج عملـــية فحص وكشف عيوب العناصر تدوّن في كشف (سجل) خـــاص بالعـــيوب، والتي تتم على أساسها تحديد نوع وحجم الأعمال المطلوبة في عمليات الإصلاح والصيانة لهذه العناصر.

المعالجة الإحصاية لكشوف العيوب في مئة آلة متماثلة أو أكثر تسمح من أجـــل كل عنصر بتحديد نسبة العناصر التي يلزم إصلاحها، نسبة العناصر الصالحة ونسبة العناصر التالفة التي يجب استبدالها.

يتم تحديد هذه النسب الثلاثة من خلال ثلاثة معاملات:

- معامل الإصلاح Repair factor $\eta_r = n_1 / n$
- معامل الصلاحية Fitnee factor $\eta_f = n_2 / n$
- ومعامل الاستبدال (Chang) $\eta_c = n_3 / n$

حيث: n_1 : عدد العناصر المتماثلة التي تحتاج إلى إصلاح.

n_2 : عدد العناصر المتماثلة السليمة

n_2 : عدد العناصر المتماثلة المعطوبة التي لا يمكن إصلاحها

n : العدد الكلي للعناصر المتماثلة في الآلات المدروسة.

من النسب الثلاث المبينة نجد أن :

$$\eta_r + \eta_{f+} \eta_c = 1 \qquad (18.1)$$

مـــن أجـــل تحديد القيم العددية لهذه المعاملات تستخدم طرق الإحصاء الرياضـــي. في هذه الحالة يتم دراسة دفعة من العناصر مكونة من مئة عنصر، ويتم تحديد مقدار الإهتراء الفعلي لكل عنصر في الدفعة.

§ 2- طرق كشف عيوب العناصر :

يتم كشف العيوب المختلفة في العناصر بمساعدة مختلف الأدوات والأجهزة وطاولات القياس، وكذلك من خلال الفحص (المعاينة) الخارجي للعنصر.

الفحـــص الخـــارجي للعناصر يسمح بكشف جزء هام من العيوب مثل الثقوب التصدع أو الكسور، الانحناء واضح الاعوجاج، الانبعاج أو التقعر، تمليص

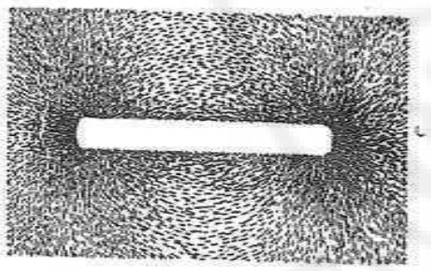
لوالـــب الـــبراغي والصواميل، تحطم درات اللحام، الشقوق الكبيرة نسبياً، الصدأ وغيرها من العيوب والتشوهات.

أمـــا بالنســـبة للعـــيوب المخفية التي من الصعب التعرف عليها بالمعاينة الخارجية بالعين المجردة (مثل الشقوق الدقيقة، زيادة خشونة السطح، الاهتراء) يتم الكشف عنها بطرق مراقبة فيزيائية مختلفة.

في مؤسسات الصيانة والإصلاح لاقت طرق المراقبة المغناطيسية، الضوئية (الومضية) والفوق صوتية انتشاراً واسعاً.

أولاً) الطريقة المغناطيسية:

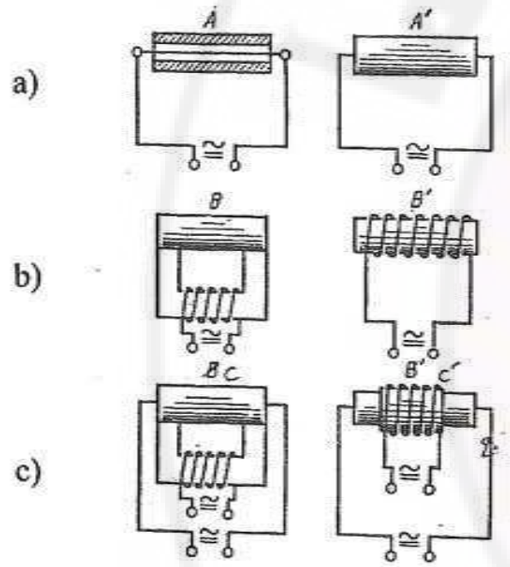
كمـــا هو معلوم عند مرور تدفق (تيار) مغناطيسي في عنصر يحتوي على شق مخفي وغير مشاهد بالعين المجردة فإنه يحصل تشتت لخطوط القوى المغناطيسية حـــول هذا الشق. إذا تم تغطية أو دهن سطح هذا العنصر بمزيج معلق مغناطيسي (بـــودرة معدنـــية من أكاسيد الحديد بالحالة الرطبة أو الجافة)، وبعدها تمرير تدفق مغناطيســـي فـــيه فإن حبيبات المسحوق المغناطيسي سوف تتجمع في منطقة مجال تشـــتت القـــوى المغناطيسية، وبالتالي مبينة مكان وجود الشق في العنصر كما هو مبين على الشكل (18.1).



الشكل 18.1: كشف مكان الشقوق بواسطة المجال المغناطيسي.

يتم تحضير هذا المحلول المغناطيسي المعلق من مزيج الكاز (الكيروسين) مع زيت المحولات الكهربائية بنسبة 2/1 (ثلثين من الكاز إلى ثلث من الزيت)، ومسحوق أكسيد الحديد بمعدل (50-35) غرام/ليتر من السائل، تستخدم هذه الطريقة بشكل واسع في ورش الإصلاح لسهولتها ودقتها.

بعد الانتهاء من تحديد مكان العيب (الشق) يتم إزالة التمغنط عن العنصر.



الشكل 18.2 : طرق إزالة تمغنط العناصر.

تستم إزالة تمغنط العناصر بثلاث طرق مبينة تخطيطياً على الشكل (18.2)

1- دوري كما هو في الشكل (18.2,a)، حيث يتم تمرير تيار كهربائي من خلال حامل (موصل) متوضع داخل العنصر (A)، أو تمرير التيار من خلال العنصر مباشرة (A').

2- قطبي (شكل 18.2,b). وذلك بمساعدة مغناطيس كهربائي (الحالة B)، أو ملف لولبي كهربائي (B').

3- مركب (شكل 18.2,c)، أي.بنفس الوقت دوري وقطبي.

تستخدم في منشآت الإصلاح أجهزة كشف عيوب مغناطيسية ثابتة أو متنقلة. النوع المتنقل يستخدم لمراقبة العناصر الضخمة التي أبعادها أكبر من 1000 mm. تسمح الطريقة المغناطيسية للمراقبة وكشف العيوب بكشف شقوق عرضها حتى 1-5 µm (ميكرون).

ثانياً) الطريقة الضوئية (الومضية):

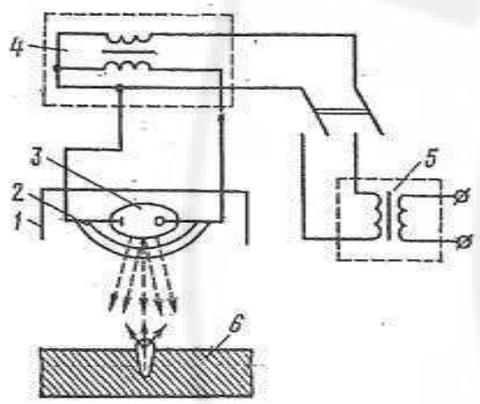
هذه الطريقة مبنية على خاصية بعض المواد أن تضاء بالأشعة فوق البنفسجية. جوهر هذه الطريقة يتلخص بأن يتم طلاء السطح المختبر بالفرشاة، أو تغطيس العنصر في حوض يحتوي على محلول فلوري (لاصف). خلال 10-15 دقيقة يتم تنظيف سطح العنصر ويجفف بتيار هواء ساخن مضغوط. يرش بعدها على السطح طبقة رقيقة من مسحوق يتمتع بخاصية (بقدرة) امتصاص عالية، مثل أكسيد السيلسيوم SiO_2. بعد قليل المسحوق سوف يمتص السائل (المحلول) الفلوري الذي تسرب إلى داخل الشق أو المسامات. إذا تم تسليط شعاع ضوئي من مصباح كوارتزي على سطح العنصر في مكان مظلم، فإن المسحوق المبتل بالسائل الفلوري سوف يضيء بشكل ساطع بلون أصفر – أخضر (فوسفوري) مبيناً مكان وجود العيب في السطح.

تظهر الشقوق على سطح العنصر خلال 10-15 دقيقة بعد رش المسحوق على سطحه. يتكون المحلول الفلوري المستخدم (بالنسبة للحجم) من: 25% زيت معدني، 50% كاز (كيروسين)، 25% بترين. يضاف إلى كل لتر من المزيج 0,25 غرام صبغة على شكل مسحوق أصفر – ذهبي.

عـــلى الشـــكل (18.3) مبين مخطط جهاز ضوئي لكشف العيوب بهذه الطريقة ماركة LD-3، يستخدم في ورش الصيانة والإصلاح حيث:

1-عـــاكس، 2-فلتر ضوئي، 3-مصباح كوارتزي-زئبقي، 4-محول جهد عالٍ، 5-محول قدرة، 6-العنصر المعالج.

تســـتخدم هذه الطريقة بشكل رئيسي من أجل كشف عيوب المحضَّر من المعادن الملونة (غير الحديدية) والمواد غير المعدنية، حيث لا يمكن استخدام الطريقة المغناطيسية.



الشكل 18.3 : مخطط جهاز ضوئي ثابت لكشف العيوب بالطريقة الضوئية.

ثالثاً) طريقة الترددات فوق الصوتية:

هـــذه الطـــريقة مؤسسة على خاصية الأمواج فوق الصوتية في الانعكاس (الارتداد) عن حدوث وسطين مختلفين (معدن العنصر والفراغ الموجود على شكل شـــق) وذلك بسبب التغير الحاد في كثافة الوسط والمقاومة الصوتية. النبضة المرتدة عـــن فـــراغ الشق يتم تسجيلها على شاشة آلة الفحص، مبينة بذلك مكان العيب وأبعـــاده. تقـــوم آلة الاختبار بإصدار اهتزازات فوق صوتية بترددٍ عالٍ يزيد عن 20000 HZ في القطعـــة المطلـــوب فحصها وتحليل الاهتزازات الخارجة منها. في

مصـــانع ومؤسسات الصيانة والإصلاح تستخدم عدة أنواع من الآلات التي تعمل بالأمواج فوق الصوتية من أجل كشف عيوب العناصر.

رابعاً) الطريقة الشعاعية:

حيـــث تستخدم الأشعة السينية (الروتنجية) أو أشعة غاما لكشف عيوب العناصر. هذه الطريقة مازال استخدامها على نطاق ضيق في أقسام الإصلاح.

في حـــال عـــدم توفر الآلات الخاصة بكشف الشقوق في العناصر يمكن اســـتخدام الطـــريقة العملـــية المبسطة التالية: بعد تنظيف السطح بشكل جيد من الأوساخ وبقايا الشحوم والزيوت يدهن بمركب مكون من 65% من الحجم كاز، 30% زيت المحولات الكهربائية و 5% تربنتين. بعد انقضاء زمن 5 إلى 10 دقائق يتم تنشيف السطح بقطعة قماش ويطلى بطبقة رقيقة من الصابون الجاف. السائل الموجود داخل الشق يبدأ بالصعود إلى السطح محدداً بذلك مكان الشق.

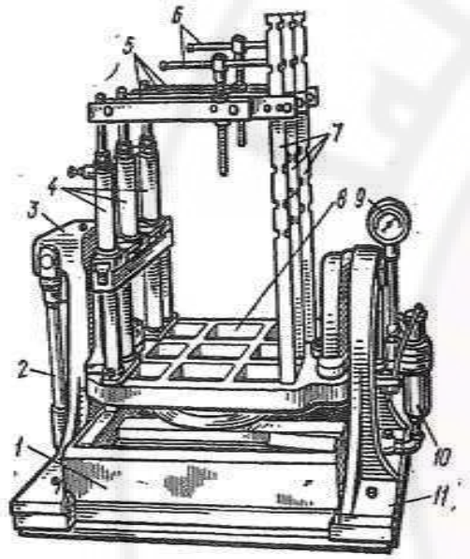
خامساً) الكشف عن الشقوق بالضغط الهيدروليكي:

تستخدم هذه الطريقة بشكل واسع من أجل كشف الشقوق في الأجسام الحاويـــة عـــلى تجاويف وفراغات داخلية مثل جسم محرك السيارات وغطاء كتلة الأســـطوانات ومـــا شابهها من العناصر والأجزاء الآلية حيث يمكن اختبار درجة الإحكـــام في هذه العناصر بواسطة مجموعة اختبار هيدروليكية تتكون من مضخة وخزان ومجموعة أنابيب توصيل ومقياس للضغط.

يوضع العنصر المراد اختباره على الإحكام على جهاز الاختبار كالمبين على الشـــكل (18.4) وتغلـــق الفتحات الخارجية كافة في العنصر بشكل محكم، ويتم توصـــيل الأنابيـــب إلى فتحة التغذية في العنصر وبعدها يتم ضخ الماء من الخزان 1 بواسطة المضخة 10 ويضغط بحدود (4-5) ضغط جوي ويترك لفترة زمنية بحدود .5 ÷10 mm

إن ظهـــور أي تسرب للماء من مكان معين وانخفاض الضغط عن القيمة المحددة والمبينة على المقياس 9 يكشف لنا عن وجود الشق في جسم العنصر.

وبـــالعكس إن ثبات قيمة الضغط وعدم ظهور أي تسرب للماء يدل على عدم وجود أي خلل في هذا العنصر.



الشكل 18.4 :جهاز هيدروليكي لكشف الشقوق في العناصر

سادساً) تحديد عيوب العناصر من خلال البارامترات الهندسية:

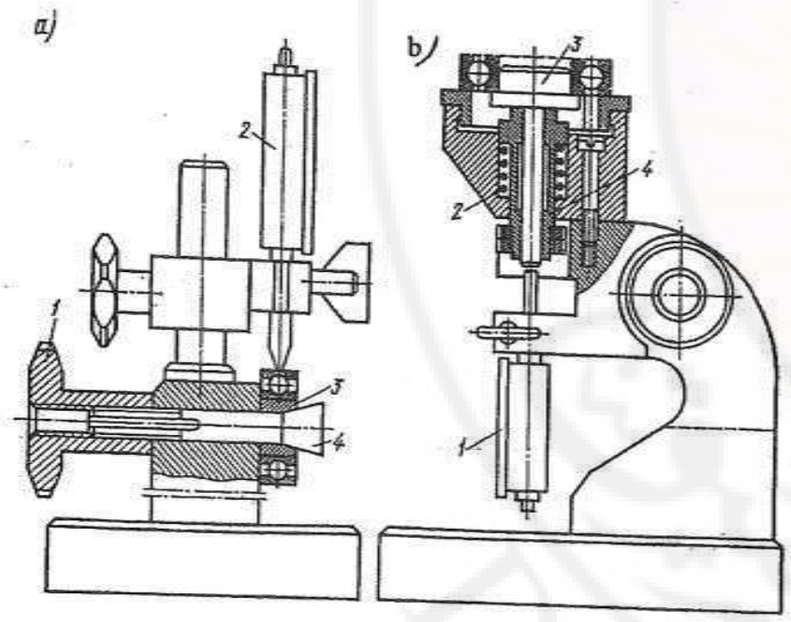
من الممكن تحديد درجة صلاحية العناصر المفكوكة من الآلات من خلال مختلف البارامترات الهندسية لهذه العناصر (دقة الأبعاد الخطية، دقة الشكل الهندسي، نعومة السطوح وغيرها) وذلك باستخدام مختلف أدوات القياس المناسبة ومحددات القياس النظامية.

عـــند مراقـــبة البارامترات الهندسية لعنصر معقد الشكل تستخدم مثبتات خاصـــة. ويتم تحديد الحالة الفنية للمحامل الدحروجية من فحص شكلها الخارجي (حالة الحلقات، الدحاريج أو الكرات، وجود الصدأ وغير ذلك من العيوب).

بعـــد الفحـــص الخارجي للمحامل بالعين المجردة يتم التحقق من سهولة ومـــرونة دورانهـــا باليد وبعد ذلك يتم تحديد مقدار الخلوص القطري والمحوري في المحمل بواسطة آلية خاصة.

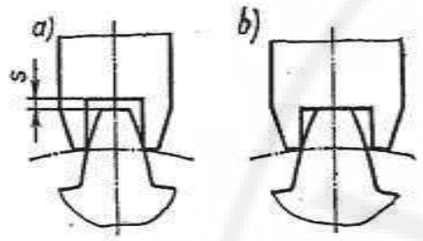
عـــلى الشـــكل (18.5,a) مبين مخطط جهاز لتحديد الخلوص القطري في المحامل الكروية، حيث 1- صامولة مشطوفة الجانب، 2- مؤشر (مبين) من النوع الساعي، 3- جلبة مشقوقة، 4- الجزء المخروطي من ذارع تثبيت المحمل .

وعلى الشكل (18.5,b) مبين جهاز قياس آخر لتحديد الخلوص المحوري في المحامل، حيث 1- مؤشر مدرج، 2- نابض، 3- مترلق، 4- جلبة توجيه .



الشكل 18.5 : أجهزة لقياس الخلوص القطري والمحوري في المحامل الدحروجية.

بالنسبة للمسننات Gears يتم تحديد مقدار اهتراء الأسنان بواسطة قدم مترلقة خاصة بقياس الأسنان أو بواسطة محدد قياس نموذجي (طبعة). على الشكل (18.6) مبين قياس السن بواسطة طبعة قياس.



الشكل18.6:قياس اهتراء أسنان المسننات.

في حال وجود خلوص S بين السطح الخارجي للسن والطبعة تعتبر السن صالحة من حيث السماكة (شكل19.6,a). في حال عدم وجود خلوص فإن الأسنان متآكلة.

§ 3- أسس التجهيز الإنهائي الكامل للعنصر.

قبل إرسال عناصر الآلات إلى قسم التجميع تجرى عليها بعض العمليات الإنهائية من أجل ضبط مقاييسها بشكل دقيق بحيث تحقق الازدواج الخلوصي أو التداخلي المطلوب أثناء التجميع. في عملية التجهيز الكامل للعناصر يتم تنفيذ عمليات البرادة والضبط اللازمة.

في منشآت الإصلاح الكبيرة تتم عمليات التجهيز الكامل في أقسام أو ورش خاصة مجهزة بالأدوات والمعدات وأجهزة القياس المناسبة والعاملين ذوي الخبرة الفنية العالية في هذا المجال.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

البحث التاسع عشر

تكنولوجيا عمليات تجميع الآلات بعد الصيانة

§ 1- مقدمة:

إن نوعـــية وكفاءة عمليات التجميع وسرعتها تتوقف بدرجة معينة على نـــوع وتطـــور المعدات والتكنولوجيا والأدوات المساعدة المستخدمة في عمليات التجمـــيع. تستخدم في عمليات التجميع مغدات النقل والروافع المختلفة والمماثلة لتلك المستخدمة في ورش وأقسام الفك. تستخدم في أقسام التجميع أيضاً وبشكل واســـع طاولات التجميع العمومية والخاصة. إن تصميم طاولات التجميع الخاصة يعتمد على مقاييس وشكل وكتلة الأجزاء والوحدات الآلية المجمعة.

كمـــا وتســـتخدم أيضاً في أقسام التجميع بشكل واسع كلّ من مفاتيح الصـــواميل والـــبراغي بأشكالها كافة ، وأدوات من أجل ضبط وموازنة العناصر والأجزاء الآلية،طاولات اختبار من أجل التشغيل الأولي (الترويض- Runing-in) واختبار الأجزاء الآلية والآلات ككل بعد عمليات الصيانة والتجميع. وبشكل عام يمكـــن القول بأنه يتم تحديد المعدات التكنولوجية اللازمة تبعاً للخطة التكنولوجية المعتمدة لعمليات التجميع ولطبيعة أو شكل العناصر المجمعة.

§ 2- تجميع الوصلات الملولبة Threaded connection:

يـــتم تجمـــيع الوصـــلات المقلووظة بواسطة البراغي والمسامير المقلووظة الصـــواميل على اختلاف أشكالها. الأدوات اليدوية الأبسط المستخدمة لهذه الغاية هي المفاتيح الحلقية والكأسية بأنواعها.

تعـــتمد قـــوة شد الوصلات (قوة الربط) الملولبة على شروط عملها. إذا أثـــرت على وصلة تناكبية قوة Q تعمل على زحزحة العنصر وفق التناكب، وإذا

كـــان الـــبرغي لايتعرض لإجهاد قص Shearing stress، فإن قوة شد الوصلة تتحدد بالعلاقة:

$$P = K\dot{Q}/f \qquad (19.1)$$

حيث K- معامل أمان بحدود (K = 1,3 ÷2)

f- معامل الإحتكاك في الوصلة التناكبية.

إذا أثـــرت عـــلى الوصلة قوة Q تعمل على فتح التناكب، فإن قوة شد الوصلة (قوة الربط) تحسب بالعلاقة:

$$P = K\,Q \qquad (19.2)$$

حيث: K- معامل الربط (الشد) ويساوي من أجل الحمولة الثابتة (2÷12.5) ومن أجل الحمولة المتغيرة K = 2.5 ÷ 4.

العزم الأعظمي المؤثر على الوصلة والمتولد بواسطة مفتاح البراغي يجب أن لا يزيد عن القيمة التالية:

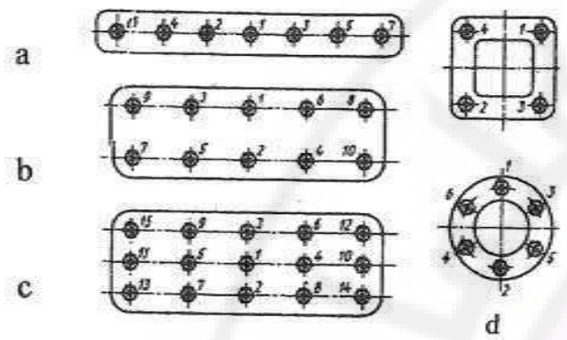
$$M_{max} \le 0{,}1d^3\sigma \qquad (19.3)$$

حيث: d- قطر البرغي أو المسمار المقلووظ المستخدم.

σ - حد المتانة لمعدن البرغي.

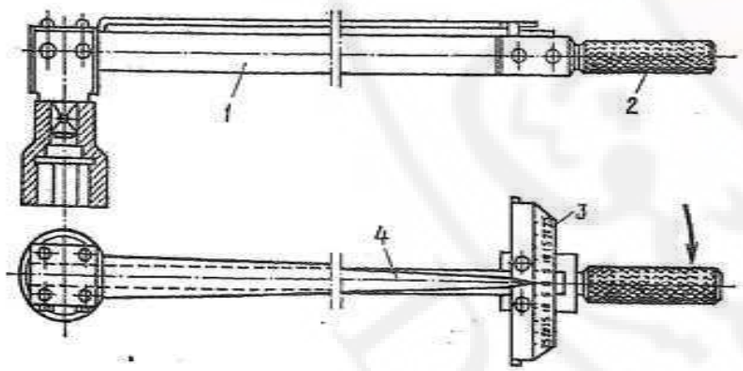
غالبية الوصلات المقلووظة (برغي – صامولة) يتم **شدها بصورة تدريجية عـــلى مرحلتين أو ثلاث مراحل.** بالنسبة للعناصر الميكانيكية المربوطة مع بعضها بواسطة البرغي والصواميل **يجب اتباع تسلسل معين في شد هذه البراغي** بحيث لا ينـــتج عن ذلك تشوه هذه العناصر إذا كانت البراغي موزعة على خط مستقيم أو بشـــكل مســـتطيل كما في الشكل (19.1,a) من الضروري البدء بشد الصامولة (الـــبرغي) الوسطى (رقم 1) ثم بالتناوب على يمينها ويسارها. وإذا كانت البراغي موزعـــة عـــلى محـــيط مربع أو دائرة (شكل 19.1,d) فيجب شد البراغي بشكل

متصـــالب بالنســـبة لمحيط الدائرة. تسلسل الأرقام على الشكل السابق يدل على تسلسل شد الصواميل.



الشكل 19.1 : تسلسل شد صواميل الوصلات المقلوظة.

مـــن أجـــل تأمين العزم المطلوب لشد الصواميل يتم استخدام مفاتيح ربط مجهزة بمقـــياس (دينامومتر) لتبيان قوة شد الصامولة كالمفتاح المبين على الشكل (19.2)، والـــتي يتلخص مبدأ عملها بمايلي: خلال تدوير وشد الصامولة بواسطة القبضة 2 يحصـــل انحناء للذراع 1، وهذا الانحناء يتناسب طرداً مع مقدار القوة المطبقة على القبضة اليدوية 2، وخلال عملية الشد تتحرك الإبرة (السهم) 4 مبينة العزم المطبق على الصامولة من خلال القرص المدرج 3. تتوقف عملية شد الصامولة في اللحظة التي تبين فيها الإبرة الوصول إلى التأشيرة المطلوبة على القرص 3.

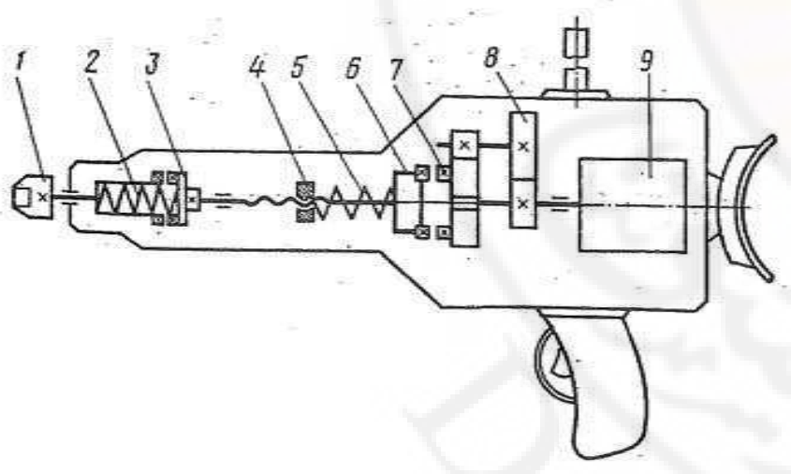


الشكل 19.2 : مفتاح صواميل بمقياس لقوة الشد.

كمـــا وتستخدم من أجل عملية شد الصواميل والبراغي أدوات (مفاتيح) ربط آلية بمحرك كهربائي أو هوائي. تقسم هذه الأدوات المكنة (الآلية) إلى ثلاثة أنواع وذلك وفقاً لمبدأ إعطاء أو تقديم عزم الدوران .

ينسب إلى النوع الأول الأدوات المجهزة بقابض فكي (فارنة فكية) مُحدد لعـــزم الفتل. وإلى النوع الثاني الأدوات ذات التأثير الصدمي- النبضي، أما النوع الثالث فيمثل الأدوات بدون قابض مُحدد(مُقيد).

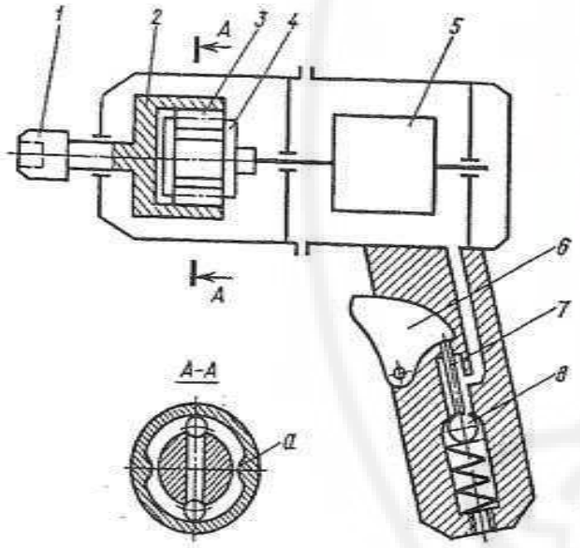
عـــلى الشكل (19.3) مبين أداة شد صواميل مكننة من النوع الأول. يتم تولـــيد عـــزم الفتل من محرك كهربائي لاتزامني 9 وعبر جملة نقل مسننية (مخفض ســـرعة) ينـــتقل إلى فكي القابض (القارنة الكفية) 6 و 7 اللذين يقومان بتحديد العـــزم الحـــدي. تكون القارنة موصولة بتأثير النابض 5. ويتم معايرة قوة ضغط الـــنابض بواسطة الصامولة 4 المتوضعة على عمود الخرج. القارنة 3 تقوم بوظيفة تدوير الرأس العامل 1 لأداة الربط، قبل بداية العمل تكون القارنة 3 في حالة فصل بـــتأثير الـــنابض 2، عند بدء التشغيل وبواسطة الضغط على الآلة يتم التغلب على مقاومة النابض 2 ويتم تعشيق القارنة 3 وبذلك يدور الرأس 1.



الشكل 19.3 : مفتاح آلي كهربائي للصواميل والبراغي.

الـــرأس العامل للأداة قابل للاستبدال بما يناسب شكل ومقاييس الصواميل والمســـامير الجاري شدها حيث يمكن تركيب مفاتيح صواميل مسدسة، ومفكات براغي برأس مشقوق بمقاييس مختلفة.

عـــلى الشكل(19.4) مبين مخطط لأداة آلية تنسب إلى النوع الثاني. عند ضـــغط القطـــاع الدائري، على المحور 7 ومن خلاله على الصمام 8 يدخل الهواء المضـــغوط إلى تجويف القبضة وبعدها إلى داخل المحرك الهوائي الدوراني 5. يتم نقل الحـــركة الدورانـــية من محور المحرك إلى الرأس العامل 1 بواسطة القارنة الصدمية النبضية والمكونة من المدرجة (الطوق) 4 والدلافين الاسطوانية 3.



الشكل 19.4 : مفتاح صواميل من النوع الصدمي – النبضي.

عـــند دوران المدرجة 4 تقوم الدلافين بشكل متكرر بصدم النتوء a على عمود الدوران 2 محققة بذلك دوران الرأس وشد الصامولة (البرغي) .

عملية الشد تستغرق بحدود 6 ÷ 9 sec . تستخدم مفاتيح الربط من النوع الصدمي من أجل شد وصلات مقلوظة (برغي- صامولة) أقطارها تتراوح ما بين 12....42 mm، وبعزم ربط أعظمي حتى 1500 N.m.

أما النوع الثالث من أدوات التجميع الممكنة فيمثل الأدوات الهوائية بدون قابض (قارنة) مُحدد، بحيث يكون المحور الدوار، المار عبر مخفض السرعة، موصول بشكل جاسيء مع عمود الدوران الرئيسي (الجزء المحوري – Spindle) للآداة.

عند استخدام أدوات التجميع الآلية من النوع الأول والثاني فإن عدم الانتظام (عدم التســاوي) النسبي لشد الوصلات المقلوظة هو بحدود (0.18÷ 0.16) ±، أما عند العمل بأدوات النوع الثالث فإن عدم الانتظام يحدد (0.1 ÷ 0.08)±.

عــند شــد البراغي المقلوظة من الطرفين (Stud- برغي عديم الرأس) تستخدم أيضاً الأدوات المناسبة بمحرك هوائي أو كهربائي، حيث يتم تأمين دوران الرأس باتجاهين مختلفين بواسطة قارنتين فكيتين.

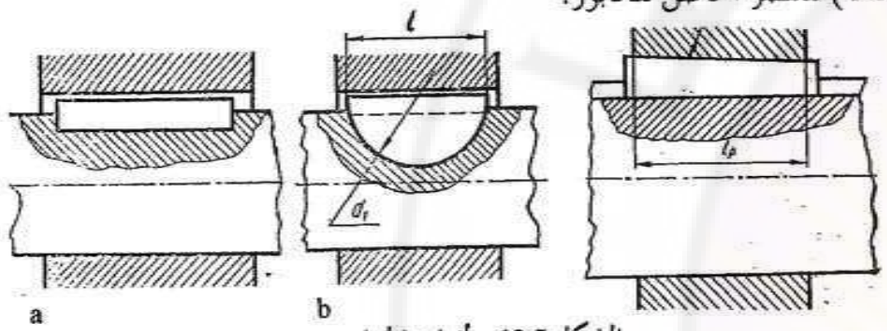
عــند تجميع العناصر الضخمة تستخدم أدوات بعدة رؤوس دوارة، بحيث يتم بآن واحد شد عدة صوامل أو براغي.

إن وزن هــذه الأدوات المســتخدمة في عمليات تجميع الوصلات اللولبية يلعــب دوراً هاماً في اختيار هذه الأداة أو تلك. الأنواع الأكثر انتشاراً هي بأوزان بحــدود 2 ÷ 17 kg. أدوات شد الصواميل ذات الاستطاعة العالية والوزن الكبير توضع على عربة خاصة تتحرك على سكة حديدية.

§ 3- تجميع الوصلات الخابورية والمخددة:

يــتم تجمــيع العناصــر أيضاً باستخدام أنواع مختلفة من الخوابير Keys: موشورية، نصف قرصية(Woodruff keys)واسفينية لتشكل ما يعرف بالوصلات الخابورية، كما في الشكل (19.5).

تؤثر على نوعية عملية التجميع كلّ من صحة توضع مجرى الخابور وأبعاد هـــذا المجـــرى. يـــتم تجميع الخوابير الموشورية والقرصية بتداخل معين بين الخابور والمجـــرى وذلـــك بطـــرق الخـــابور بخفة بواسطة مطرقة نحاسية مع العلم أنه من الضروري وجود خلوص بين السطح العلوي للخابور والمجرى الذي يحتضنه (انظر الشـــكل 19.5). عـــدم وجود هذا الخلوص يمكن أن يسبب تقلقلاً قطرياً (لعب، دقدقة) للعنصر الحاضن للخابور.



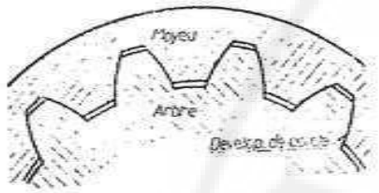
الشكل 19.5 : أنواع الخوابير :

a– موشوري، b– نصف قرصي، c– اسفنيني.

بالنسبة لوصلات الأعمدة المخددة Splined shafts الثابتة يمكن أن نميز نوعين: وصلات مجمعة بتداخل شديد وأخرى بتداخل خفيف. قبل عملية التجميع مـــن ا لضـــروري فحص ومعاينة العناصر المخددة (العمود والجزعة) والتحقق من عدم وجود الحزوز؛ النتوءات أو الخدوش وماشابهها على سطوحها والتي يمكن أن تسبب انحراف أو انحناء العنصر.

عـــند تجمـــيع الوصلات المخددة ذات التداخل الشديد يتم بشكل مسبق تســـخين العنصـــر الحاضن (الجزعة) حتى درجة حرارة $80\text{-}130C^{o}$، وبعد تجميع العناصر بواسطة الكبس يتم التحقق من عدم وجود تقلقل وفق القطر الخارجي أو وفق السطح الجبهي وذلك من خلال وضع العمود في المراكز.

أمـــا عند تجميع الوصلات المخددة بتداخل خفيف لا يلزم تسخينها ويتم التحقق من صحة ونوعية التجميع باختبار العناصر على التقلقل بالإضافة إلى التأكد من عدم تحرك أو هزهزة العنصر على العمود.



الشكل 19.6 : وصلة مخددة (عمود ومسنن).

§ 4- تجميع الوصلات المخروطية:

إن الوصـــلات المخروطـــية المستخدمة بديلاً عن الأسطوانة تحقق توافقاً مركـــزياً دقـــيقاً للعناصر المتزاوجة فيما بينها. ولكن هذا التزاوج شديد الحساسية لانحـــرافات مقدار المخروطية في العناصر المتزاوجة. لذلك عند تجميع الوصلات أو العناصـــر المخروطـــية يـــتم البدء بانتقاء أو اختيار العنصر الحاضن تبعاً لمخروطية العمـــود، تدقيق جودة الوصلة على التأرجح (الاهتزاز) وتبعاً لمقدار الإزواج (Fit) وبين العنصر والعمود.

§ 5- تجميع العناصر بازدواج تداخلي:

مـــن أجل تجميع العناصر بتداخل كبير تستخدم المكابس بأنواعها اللولبية، الهوائـــية والهيدروليكـــية. وفي بعض الحالات يتم تسخين العناصر ومن ثم تجميعها بالكـــبس قـــبل تجمـــيع مثل هذه العناصر من الضروري فحص سطوح العناصر والتخلص من النتوءات والخشونة وتنظيفها بشكل جيد. إذا كان العنصر بين المراد تجمـــيعها مـــن الفولاذ فمن الأنسب دهن سطحيهما بالزيت المعدني قبل تجميعهما بالكـــبس. إن خشونة سطوح العناصر المجمعة تظهر تأثيراً هاماً على جودة عملية

التجميع والوصلة الناتجة. هذه الخشونة يجب ألا تزيد عن Ra= 2.5 ÷ 1.25 µm (مـــيكرون). عند كبس وتجميع عناصر خشونة سطوحها أكبر من ذلك، فإنه من الممكن حصول تناقص في مقدار التداخل مما يسيء لنوعية الإزواج.

يتم تحديد قوة الكبس اللازمة للتجميع بالعلاقة التالية :

$$F = f \pi dL\, p \qquad (N) \qquad (19.4)$$

حيث:

f- معامل الاحتكاك عند التجميع بالكبس ويعتمد على الضغط النوعي، خشونة السطوح، التزييت وغيرها من العوامل؛

d- القطر الاسمي لسطوح التزاوج mm؛

L- طول سطح التزاوج mm؛

p – الضغط على سطوح التماس.

يتم تحديد قيمة كل من f و p من الجداول الخاصة.

يتم اختيار المكبس وفقاً لقوة الكبس مع الأخذ بعين الاعتبار معامل أمان، تؤخذ قيمته بحدود 2 ÷ 1,5.

تســـتخدم طريقة تسخين العنصر الحاضن (مسنن، أو ما شابهه محدد من الداخـــل) أو تـــبريد العنصر المحضون (العمود) قبل التجميع بهدف الحصول على تداخـــل شديد لهذا الإزواج. إن زيادة أو نقصان قطر (بسبب التسخين أو التبريد) السطوح المتزاوجة يحسب بالعلاقة التالية:

$$\Delta d = \delta + i \qquad (\mu m)\,, \qquad (19.5)$$

حيث:

δ - التداخل الأعظمي للوصلة – ميكرون (µm).

i- الخلـــوص الـــذي يحقق إزواجاً حراً (خلوصياً) عند التجميع مقدراً بالميكرون (يؤخذ مساوياً الخلوص الاسمي لإزواج H7/g6).

درجة حرارة التسخين أو التبريد تحسب بالعلاقة:

$$t \geq \Delta d.\ 10^{-3}/(\alpha d) \qquad (19.6)$$

حيث : d: قطر العنصر بـــ (mm)

α:معامل الاستطالة الخطية لمعدن العنصر(coefficient of linear expansion).

بالنســـبة للعناصر الحاضنة الصغيرة ومتوسطة الحجم يتم تسخينها بالكامل في أحـــواض تحـــتوي على الزيت أو الماء الساخن وموصولة بتيار كهربائي عالي الـــتردد. لا ينصـــح بتسخين هذه العناصر لأكثر من $450C^o$. العناصر الكبيرة يتم تسخينها موضعياً.

العناصـــر المخددة المحضونة كالأعمدة وماشابهها يمكن تبريدها في حامض الكربونيك بدرجة حرارة C^o 78-، في الآزوت السائل بدرجة حرارة $195.8C^o$، أو في هواء مميع (سائل) بدرجة حرارة $193C^o$.

عند تجميع العناصر عن طريق التأثير الحراري (تسخين أو تبريد) فإن متانة الوصلة الناتجة تفوق بمقدار (1,5÷2,5) مرة متانة الأزواج H7/n7.

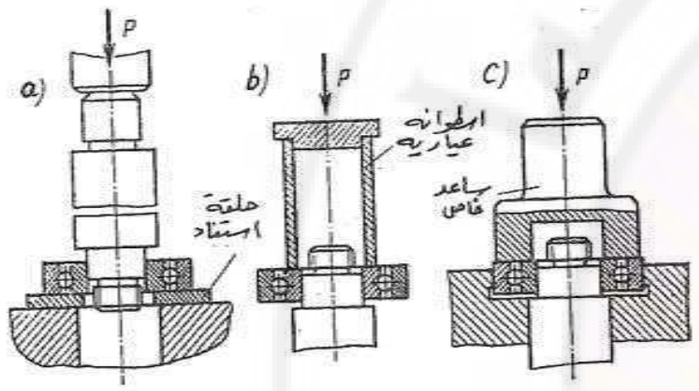
§ 6- تجميع المحامل الدحروجية في الأجزاء الآلية:

قـــبل تركيـــب وتجميع المحامل في أماكنها يتم غسلها في مزيج من البنزين مضافاً إليه زيت معدني بنسبة % 10- 8، ويتم مسح كرسي المحمل ورقبة العمود الـــتي ســـتدخل في المحمل بقطعة قماش نظيفة ومن ثم تزييتها. عند تركيب المحامل الكروية Ball bearing يجب تطبيق قوة محورية منتظمة ومتساوية على محيط حلقة المحمـــل التي يتم تركيبها في العنصر، ولا يجوز إطلاقاً تطبيق هذه القوة على الحلقة الحرة من المحمل أو على الطوق الحاضن للكرات.

على الشكل (19.7) مبين ثلاث طرق لتركيب المحامل الكروية:

a- باســـتخدام حلقـــة تركيب بقطر مناسب، b- باستخدام أسطوانة للتركيب، c- باســـتخدام ذراع أو ساعد خاص من أجل تركيب المحمل في كرسي الاستناد وبنفس الوقت المحمل على العمود.

يتم تركيب المحامل بمساعدة مكابس خاصة، ولا يسمح باستخدام المطارق الفولاذية والدق على حلقات المحمل.

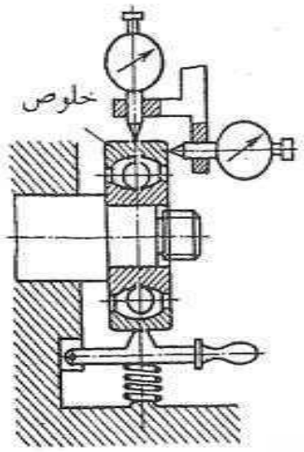


الشكل 19.7 :طرق تركيب المحامل الكروية

مـــن أجـــل تســـهيل عملية كبس وإدخال العمود في المحمل من المناسب تســـخين المحمل لمدة (10÷15) دقيقة في زيت معدني درجة حرارته $80\div100C^{o}$. وكذلك الأمر من أجل كبس المحمل في جسم العنصر (كرسي المحمل) فمن الممكن أيضـــاً تســـخين كرسي المحمل بتيار هواء ساخن أو وضعه في حوض يحتوي على زيت حار.

ومن الممكن أيضاً تبريد المحمل أيضاً حتى درجة C^{o} 75- درجة مئوية.

في حـــال تم تجمـــيع المحامل مع عناصر الآلة بتداخل شديد جداً فإن ذلك يـــؤدي إلى تناقص الخلوص بين حلقات وكريات المحمل أكثر مما هو مسموح به، وهذا يسيء إلى جودة التجميع ولعمل المحمل.



الشكل 19.8: قاعدة اختبار صحة تجميع المحمل.

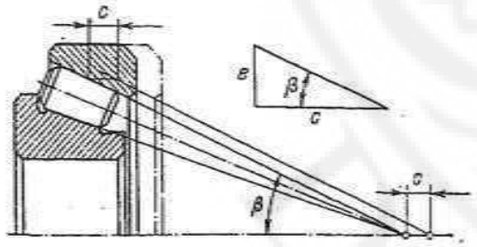
بعـــد كبس المحمل على العمود يتم تدقيق الخلوص القطري والمحوري في المحمـــل بواســـطة مبيِّن مدرج ومثبت خـــاص كما هو على الشكل (19.8)، وكذلك يتم التحقق من سهولة وسلاسة دوران الحلقة الحرة للمحمل.

المحامل الدحروجية المخروطية:

يـــتم تجزئـــتها وتركيب الحلقة الداخلية للمحمل (مع الدحاريج والطوق) عـــلى رقـــبة العمود، وتركب الحلقة الخارجية في الكرسي المخصص لها في جسم الآلة. وخلال عملية التركيب والتجميع لجزأي المحمل من الضروري تأمين خلوص قطـــري محـــدد (e) بينهما، والذي يتم معايرته عن طريق الإزاحة المحورية للحلقة الخارجـــية بمقـــدار C، كما في الشكل (19.9). العلاقة بين الخلوص القطري e والإزاحة المحورية C تتحدد بالعلاقة:

$$e = C.\,tg\,\beta \qquad (19.7)$$

تـــتم معايرة الخلوص عن طريق استبدال طوق المباعدة (جلبة) أو بمساعدة صامولة معايرة.



الشكل 19.9 : تجميع المحامل الدحروجية المخروطية.

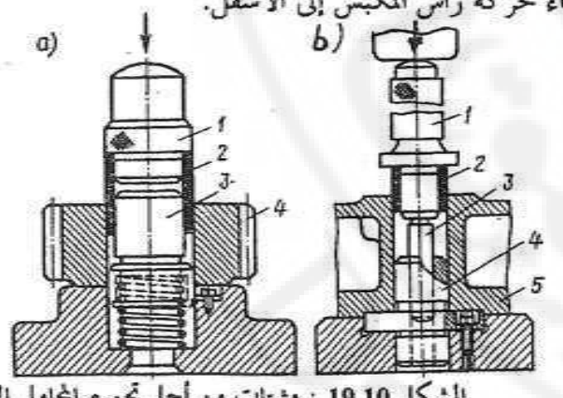
§ 7- تجميع المحامل الانزلاقية :

يمكن تصنيف المحامل الانزلاقية إلى نوعين رئيسيين: محامل كاملة من قطعة واحدة ومحامل مجزأة (من عدة قطع).

بالنسبة للمحامل الكاملة (غير المجزأة) يتم كبسها داخل العنصر في نقطة الاستناد وفق إحدى الإزواجات H7/n6 ، H7/k6 أو H7/m6. ويتم تزييت سطح المحمل من أجل تسهيل تركيبه. إذا تم كبس المحامل الانزلاقية البرونزية بتداخل شديد فإن هذا يسبب تناقص القطر الداخلي للمحمل. لذلك بعد كبس هذه المحامل يتم إجراء عملية توسيع أو معايرة دقيقة لقطرها الداخلي بواسطة كرة عيارية أو بمخلّق عياري.

بالنسبة للجلب (المحامل) المتحدة المحاور من الممكن إجراء خراطة داخلية دقيقة لها بعد كبسها في مواضعها أو أن يتم توسيع كلا الثقبين مباشرة بواسطة موسع ثقوب (مسحل) مجمَّع.

من أجل توجيه الجلبة داخل الثقب بشكل صحيح خلال عملية كبسها، يستخدم إحدى المثبتين المبينين على الشكل 19.10). على الشكل (19.10,a)مبين مثبت من أجل كبس الجلبة 2 داخل المسنن 4. يتم تأمين المركزية الدقيقة بين الجلبة والمسنن بواسطة الماسك أو الدليل 3، الذي يتحرك إلى الأسفل ضاغطاً على النابض أثناء حركة رأس المكبس إلى الأسفل.



الشكل 19.10 : مثبتات من أجل تجميع المحامل الانزلاقية.

عـــلى الشكل (19.10,b) مبين مثبت مجهز بساعد توجيه 3 متمركز في الدعـــام 4. عند حركة رأس المكبس 1 إلى الأسفل يتحرك الساعد 3 مع الجلبة 2 (المحمـــل) إلى الأسفل أيضاً ومحافظاً بدوره على التطابق المحوري بين الجلبة وجسم العنصر 5 الذي تركب فيه.

المحامل الانزلاقية المجزأة:

عـــند تجمـــيع المحامل الانزلاقية المجزأة داخل الأجزاء الآلية من الضروري العمـــل على تحقيق تلامس منتظم ومتماثل لأجزاء المحمل مع سطح كرسي المحمل (المقعـــد Bearing housing) ومـــع سطح رقبة العمود. في الإنتاجين الإفرادي والمتسلســـل الصـــغير عند تجميع المحامل الانزلاقية المجزأة يتم في البداية إجراء بعض عمليات الضبط (الموافقة). في البداية يتم ضبط الجزء السفلي من المحمل بالنسبة إلى كرسيه وبعدها بالنسبة إلى رقبة العمود. والمرحلة الثانية هي ضبط الجزء العلوي من المحمـــل. عند تجميع المحامل الانزلاقية من الضروري تأمين الاحتكاك السائلي داخل هـــذه المحـــامل أثناء العمل، وبالتالي من الضروري وجود خلوص بين رقبة العمود والسطح الداخلي للمحمل الانزلاقي بحيث يمتلئ بالزيت.

مـــن أجـــل المحـــامل الانزلاقـــية سميكة الجدران يؤخذ الخلوص بحدود (0,001÷0,005)D، ومـــن أجـــل المحامل الرقيقة بحدود (0,001÷0,0015)D، حيث D قطر رقبة العمود.

مـــن الضـــروري عند تجميع المحامل تأمين اتحاد المحاور بدقة بين المحملين اللذيـــن يســـتند عليهما عمود معين، ويتم التحقق من اتحاد (مطابقة) هذه المحاور بواسطة شياق عياري خاص بذلك.

§ 8- تجميع عناصر نقل الحركة المسننية:

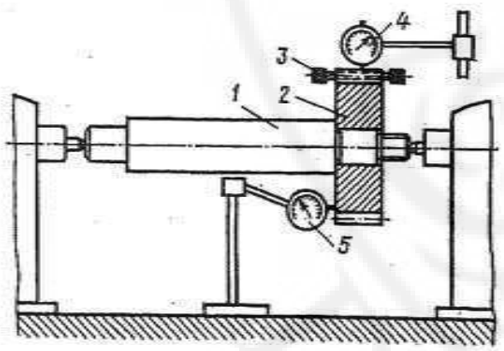
8-1- تجميع المسننات الأسطوانية:

إن عمليـــة تجميع المسننات الأسطوانية (cylindricalgears) تتضمن العمليات الرئيسية التالية:

تركيـــب المســـننات على العمود، تركيب الأعمدة وعليها المسننات على نقـــاط الاســـتناد المخصصة لها داخل جسم الآلة، تدقيق توضع الأعمدة ومعايرة تعشـــيق المسننات مع بعضها. تم تركيب المسننات على الأعمدة بالكبس بمساعدة مكبس خاص مناسب.

الأخطـــاء أو الانحـــرافات الرئيسية التي تظهر أثناء تركيب المسننات على العمـــود هـــي: انحراف محور المسنن بالنسبة للعمود، تقلقل المسنن قطرياً، تلامس خفيف (غير محكم) للمسنن على رقبة العمود.

يـــتم الـــتحقق من وجود تقلقل قطري أو جبهي في المسنن بواسطة مبيّن مدرج كما في الشكل (19.11). يتم تركيب العمود 1 وعليه المسنن 2 في مراكز جهاز الاختبار. يتم وضع عمود التفتيش العياري 3 (مسند) في قاع الأسنان ويتم تدويـــر العمـــود 1 يدوياً، وبواسطة المبين 4 يتم تحديد مقدار الانحراف (التقلقل) القطري على ذروة أسنان المسنن.

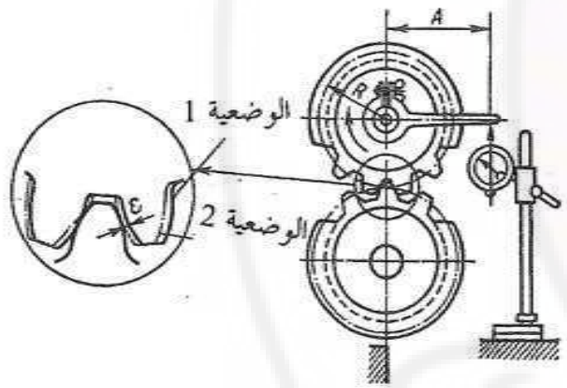


الشكل 19.11 : قاعدة اختبار لتحديد الانحراف القطري والجبهي.

قطر العمود 3 يساوي m 1.68، (حيث m– مودول المسنن) بحيث يحقق تلامس هذا النوع مع الدائرة المحيطة للمسنن.

مـــن أجـــل مسننات وفق الدرجة السابعة للدقة فإن التقلقل (الانحراف) القطري المسموح به بحدود 0,03 – 0,08 mm.

أما التقلقل الجبهي للمسنن فيتحدد بالمبيّن 5. والمقدار المسموح به بحدود 0.4-0.08 mm من أجل 100 mm من قطر المسنن. عند تجميع ومعايرة المسننات المتعشـــقة مع بعضها، من الضروري الحفاظ على وجود خلوص جانبي محدد بين الأســـنان أثـــناء التعشيق وعلى تلامس صحيح بين الأسنان وفق السطوح الجانبية بالإضـــافة إلى تـــأمين خلوص قطري مناسب في قعر (جذر) الأسنان المتعشقة مع بعضها.



الشكل 19.12: معايرة الخلوصات بين الأسنان.

يـــتم قـــياس الخلوصات الجانبية بين أسنان التروس بواسطة مجس خاص (مقياس خلوص clearanvve gauhe) أو مبين مدرج أو بواسطة رقائق رصاصية عيارية. في حال استخدام مجس الخلوص يجب إيقاف إحدى المسننين وضم المسنن

الآخـــر إلـــيه بشـــكل وثيق. في هذه الحالة يجب أن يمر المجس من خلال الخلوص المتشـــكل بين السطوح الجانبية للأسنان. عند استخدام المبين (ndicator)، لمعايرة الخلوص، كما في الشكل (19.12)، يجب إيقاف إحدى المسننين (وليكن السفلي) (ndicator)، وعلى محور المسنن الثاني يتم ربط مؤشر (إبرة) بحيث تقع نهايته الحرة في حالة تماس مع رأس (محور المبين) كما في الشكل (19.12).

الخلوص الجانبي ε يتحدد بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon = \frac{R}{A} N \qquad (19.8)$$

حيث:

R- نصف قطر دائرة الخطوط للمسنن العلوي.

A – طول الذراع من محور المسنن حتى رأس المبين (شكل 19.12).

N- قراءة قرص المبيّن.

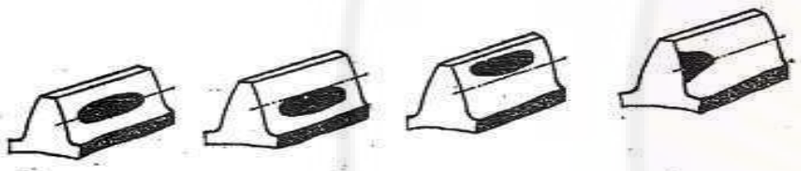
في جمل نقل الحركة المسننية يمكن أن يحصل تلامس غير صحيح بين أسنان المسنّنات نتيجة لعدم تأمين التباعد الدقيق بين مراكز هذه المسننات، أو بسبب عدم الـــتوازي بين المحاور أو ميل المحور وهذا يظهر من خلال توضع بقع التلامس على السطوح الجانبية للأسنان.

مـــن أجل تدقيق صحة التعشيق بين المسننات من خلال بقع التلامس، يتم طـــلاء السطوح الجانبية لأسنان المسنن الصغير بطبقة رقيقة من الدهان، ويتم تدوير المســـنن عـــدة دورات بالاتجاهين. إذا كان التعشيق بين الأسنان نظامياً، فإن بقع الـــتلامس تتوزع في وسط السطح الجانبي لكل سن، كما في الشكل (19.13,a). مـــن أجل المسننات متوسطة الدقة، فإن بقعة التلامس تغطي بحدود (0,45-0,50) من ارتفاع السن و 0,60-0,70K من طوله.

الشـــكل (19.13,b) يـــبين بقعة التلامس تقع تحت دائرة الخطوة عندما يكـــون التـــباعد من بين مراكز المسننات أقل من المطلوب، وعلى العكس عندما يكون التباعد بين المراكز أكبر من البعد المطلوب فإن بقعة التلامس تقع فوق دائرة الخطوة كما في الشكل (19.13,c) .

وفي حـــال وجود ميل في محاور المسننات فإن بقعة التلامس تظهر كما في الشكل (19.13,d)، متراحة عن وسط السطح الجانبي للسن.

وهكـــذا عـــند ملاحظة التوضع غير الصحيح لبقعة التلامس على السطح الجانبي للسن، يمكن الاستدلال على الخطأ الموجود وتصحيحه سواء كان في التباعد المركزي أو التوازي أو ميل المحاور.

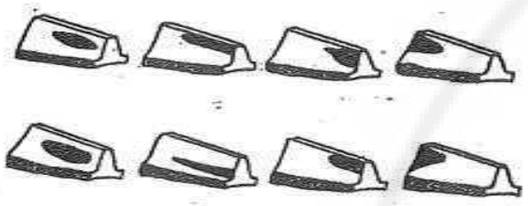


الشكل 19.13: توضع بقع التلامس على سطوح الأسنان المستقيمة

2-8- تجميع المسننات المخروطية:

مســـاحة ســـطح التلامس في المسننات المخروطية (bevel gears) أقل بالمقارنة مع المسننات الأسطوانية (العدلة والمائلة). عند تدقيق سلامة تعشيق أسنان المســـننات المخروطـــية بطـــريقة الدهان المذكورة سابقاً، فإن توضع بقع تلامس السطوح الجانبية للمسننات المخروطية مبين على الشكل (19.14)، المجموعة العليا تمـــثل أسنان المسنن القائد (driver gear) والمجموعة السفلي- أسنان المسنن المقاد (Driven gear). الشـــكل (19.14,a) يمثل حالة التعشيق الصحيح، أما الأشكال

(b , c, d) فتمـــثل حالات للتعشيق غير الصحيح. يتم تأمين الخلوص المطلوب بين السطوح الجانبية للأسنان عن طريق زحزحة كلا المسننين أو أحدهما محورياً.

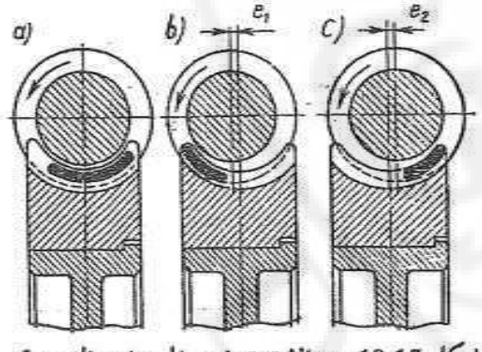


الشكل 19.14 : توضع بقع اللامس على سطوح الأسنان المخروطية

8-3- تجميع جمل نقل الحركة الدورية Worm gears:

مـــن الضروري عند تجميع المسننات الدودية تأمين تلامس صحيح ودقيق بـــين أسنان الدودة والمسنن الدودي، بالإضافة إلى الخلوص الضروري بين الأسنان أثناء التعشيق.

في حالـــة التعشيق السليم بين الدودة والمسنن يجب أن يقع محور الدودة في المستوي المتوسط للمسنن الدودي، وبقعة تلامس الأسنان تتوضع أيضاً في الوسط بشكل متناظر تقريباً بالنسبة لهذا المستوي، كما هو مبين على الشكل (19.15,a).



الشكل 19.15 : حالات تعشيق المسننات الدودية.

أما الشكلين (19.15,b,c) فيمثلان حالتي تعشيق غير صحيح بين الدودة والمسنن، حيـــث تزاح الدودة إلى اليسار بمقدار e_1، أو إلى اليمين بمقدار e_2 وبشكل موافق تزاح بقعة التلامس . التلامس غير الصحيح أثناء تعشيق المسننات الدودية يمكن أن يحصـــل أيضاً كنتيجة للخطأ في البعد المحوري أو عدم تعامد محور الدودة مع محور المسنن الدودي.

يـــتم تحديد الخلوص الجانبي C مقدراً بالميكرون وفقاً لزاوية دوران الدودة عندما يتم تثبيت المسنن وفقاً للعلاقة:

$$C = \varphi m Z_i / 412 \quad (\mu m) \qquad (19.9)$$

حيث

φ – زاوية دوران الدودة مقدرة بالثوان (")

m– المودول (mm)

Z_i– عدد أبواب الدودة.

§ 9- موازنة عناصر وميكانيزمات الآلات:

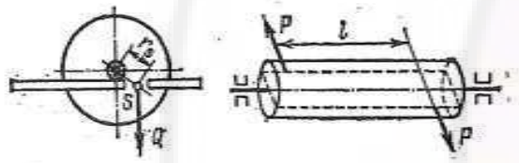
إن عدم توازن (Unbalance) عناصر وميكانيزمات الآلات يمكن أن ينتج بســـبب عـــدم تمـــاثل معادن هذه العناصر أو بسبب الانحرافات في مقاييس هذه العناصـــر، والتي يمكن أن تظهر عند تشغيل هذه العناصر بالضغط أو بالسباكة أو بـــالقطع، كما يمكن أن يظهر عدم التوازن بسبب أخطاء في عملية تجميع الأجزاء والوحدات الآلية.

يمكن تمييز نوعين لحالات عدم توازن العناصر:

عـــدم توازن ستاتيكي وعدم توازن ديناميكي (Dynamic unbalance) في حالـــة عـــدم التوازن الستاتيكي (Static unbalance) يكون مركز الثقل S للعنصر أو الجزء الآلي الذي وزنه Q، مزاحاً بالنسبة لمحور الدوران بمقدار r_s، كما

في الشـــكل (19.16,a). هذا الشكل من عدم التوازن تتميز به العناصر التي قطرها أكبر من طولها (الأقراص).

أمـــا عدم التوازن الديناميكي فيلاحظ في العناصر الدوارة التي طولها أكبر مـــن قطـــرها بشكل واضح. تظهر حالة عدم التوازن الديناميكي للعناصر الدوارة كنتيجة لتأثير الكتلة غير المتوازنة للعنصر الدوار والتي تسبب تشكل مزدوجة القوى P التي تؤثر في مستوي واحد بذراع طوله ℓ كما هو مبين على الشكل(19.16,b) وتجـــدر الإشارة هنا إلى أن العنصر المتوازن دينامكياً يكون متوازناً ستاتيكياً أيضاً، أما العكس فغير صحيح دائماً بالضرورة.



a b

الشكل 19.16 : حالات عدم توازن العناصر.

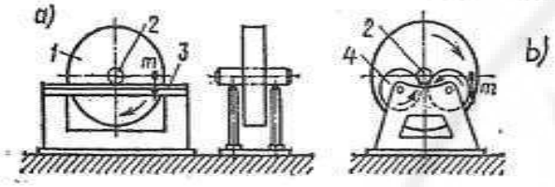
مـــن أجـــل التخلص من عدم التوازن يتم إجراء عملية معايرة أو موازنة (Balance) للعناصـــر، والتي تتضمن تحديد قيمة ومكان عدم التوازن بالإضافة إلى طـــريقة الـــتخلص منه. في العناصر المتوازنة ديناميكياً يكون مجموع عزوم القوى الطـــاردة المركزية للكتل الدوارة حول محور العنصر مساوياً الصفر. يتم قياس عدم التوازن بواحدة (N.m).

الموازنة الستاتيكية :

عـــند إجراء عملية الموازنة الستاتيكية للعناصر والأجزاء الآلية يتم التوصل إلى توحـــيد (جمع) مركز ثقل العنصر أو الجزء الآلي مع محور دورانه. على الشكل (19.17) مبين مخططات أجهزة مستخدمة لإجراء التوازن الستاتيكي للعناصر:

a-موازنة العناصر على المواشير؛

b-موازنة العناصر على الأقراص.



الشكل 19.17 :عمليات التوازن الستاتيكي.

في عمليـــة الموازنـــة باستخدام المواشير يتم تركيب العنصر 1 بشكل متين على المحور 2، والذي يتوضع بدوره على المواشير 3 بشكل أفقي.

في حالـــة عـــدم التوازن سوف يتدحرج المحور 2 مع العنصر على طول الموشـــور 3 حتى يأخذ الجزء الأثقل من العنصر الوضعية الدنيا. في هذه الحالة فإن إضـــافة وتثبيت ثقل محدد m على الجهة المقابلة من العنصر يمكن أن تحقق التوازن والاستقرار له.

موازنـــة العناصر على الأقراص 4 (شكل 19.17,b)تعطي نتائج أكثر دقة حيـــث أن العنصر يدور حول محوره، ولا ينتقل متدحرجاً، والأقراص تتوضع على محامل دحروجية كروية.

الموازنة الديناميكية:

في عمليـــة الموازنـــة الديناميكية يتم العمل على تحقيق تطابق محور دوران العنصر مع محور القصور الذاتي (محور العطالة- Inertia) للمجموعة المعطاة.

يتم في عملية الموازنة الديناميكية للعناصر تحديد كتلة وموضع الأثقال التي يجب إضافتها للعناصر (أو الأجزاء الآلية) المدروسة أو التي يجب نزعها عنها. لذلك يـــتم استخدام ماكينات توازن خاصة ذات تصاميم وموديلات مختلفة، وذلك تبعاً لحجـــم وكتلة العناصر التي يتم موازنتها. مقدار عدم التوازن المسموح به للعناصر يعطى في المراجع التقنية.

§ 10- التشغيل التجريبي واختبار الآلات بعد الصيانة:

بعـــد الانـــتهاء من مختلف أعمال الصيانة وتجميع العناصر والأجزاء الآلية والحصـــول على آلة جاهزة من جديد، يتم عرض الآلة على قسم المراقبة الفنية في منشـــأة الإصـــلاح، وذلـــك من أجل اختبار جودة تنفيذ مختلف عمليات الصيانة والإصـــلاح والتجمـــيع التي تمت على الآلة المعنية. وتجرى على الآلة فترة تشغيل تجريبي بهدف التحقق من سلامة وجودة عمل مختلف ميكانيزمات وعناصر الآلة.

تختـــلف فترة التشغيل التجريبي تبعاً لنوع أعمال الصيانة المنفذة على الآلة، فهـــي بحـــدود 8 ساعات بعد الصيانة الفنية البسيطة و16 ساعة بعد الصيانة الفنية المتوسطة و 24 ساعة بعد أعمال الصيانة الشاملة.

تمـــثل فترة التشغيل التجريبي هذه عملية تشغيل أولي (ترويض أو روداج) للعناصر والأجزاء الميكانيكية الجديدة ذات السطوح المتحاكة فيما بينها بحيث تأخذ هـــذه السطوح التزاوج (التوافق) المناسب فيما بينها خلال هذه الفترة. تتميز هذه الفـــترة من عمل الآلة بانخفاض استطاعتها ومردودها وذلك بسبب استهلاك الجزء الأكبر من استطاعة الآلة للتغلب على قوى الاحتكاك الكبيرة الناشئة بين السطوح الجديـــدة المحـــتكة مـــع بعضـــها وذلك بسبب ارتفاعات الخشونة الميكروية على ســـطوحها والناتجة عن عمليات تشغيل هذه السطوح بالطرق الميكانيكية المعروفة (خراطة، تفريز، جلخ، وغيرها).

ويحدث في الساعات الأولى لعملية التشغيل الأولى اهتراء شديد للسطوح، وهذا يوافق الاهتراء الأولي لهذه السطوح كما بينا في فصل سابق.

عملـــية التشـــغيل الأولي- الـــتجريبي تتم بدون تحميل الآلة، والغاية منها التحقق من سلامة عمل الأجزاء والميكانيزمات كافة، واكتشاف بعض العيوب، إن وجدت والتي تنشأ أحياناً خلال عمليات الإصلاح أو التجميع، بالإضافة إلى جعل العناصـــر والسطوح المختلفة تأخذ الأوضاع المناسبة فيما بينها. خلال هذه العملية يجب الاهتمام بتزييت السطوح العاملة في الآلة كافة.

خـــلال عملـــية التشغيل الأولي هذه يتم في البداية تشغيل الآلة وفق نظام تشـــغيل خفيف (سرعة بطيئة وبدون حمل) ولفترات زمنية قصيرة ثم توقف الآلة.

ويـــتم الانـــتقال إلى أنظمة تشغيل أقسى تدريجياً. ويتم خلال ذلك مراقبة درجة حـــرارة مخـــتلف ميكانيزمات الآلة ومن بينها كراسي التحميل بحيث لا تزيد عن $50\div70C^{o}$ في الأحوال الطبيعية، وكذلك مراقبة صدور أصوات غريبة أو ضجيج أو أحمال صدم في الآلة.

بعـــد الانتهاء من هذه المرحلة يتم إجراء اختبار للآلة في ظروف التشغيل الإنتاجي، حيث يشغل على الآلة عينات إنتاجية مختلفة ووفق أنظمة تشغيل مختلفة. وخلال هذه المرحلة من الاختبار الإنتاجي يتم التحقق من سلامة عمل ميكانيزمات وعناصـــر الآلـــة كافة كما ويتم التحقق من جودة العناصر المنتجة على هذه الآلة خـــلال هـــذه الفترة، بحيث توافق المواصفات المطلوبة لهذه العناصر وفق المعطيات التصميمية.

عـــلى سبيل المثال، إذا كان الحديث عن مخرطة عمومية أجريت لها عملية صـــيانة شاملة، فإننا نقوم بخراطة عينات اسطوانية وفق أنظمة تشغيل مختلفة، ويتم الـــتحقق مـــن دقة المقاييس ودقة الشكل الهندسي لهذه العينات بالإضافة إلى قياس خشـــونة السطوح المشغلة. بالإضافة إلى التحقق من دقة عمل آلية الحركة الرئيسية وآلـــية التغذية وإمكانية تعشيق مختلف سرعات الدوران وسرعات التغذية وحركة مختلف الحوامل والطاولات في الآلة.

ويُجـــرى على الآلة أيضاً اختبار الجساءة (مقاومة التغير) واختبار القدرة عـــند أقصـــى تحميل ممكن للآلة، بحيث لا تستغرق فترة التشغيل وفقاً للاستطاعة العظمى أكثر من 30 دقيقة.

بعد الانتهاء من كافة عمليات الاختبار والتشغيل التجريبي للآلة التي تمت صـــيانتها يتم تسليمها وإعادتها إلى مكان العمل المخصص لها. وتتم عملية التسليم بشـــكل أصولي وفق محضر استلام موقع من رئيس ورشة الصيانة. وتعاد مع الآلة الوثـــائق والمخططات الهندسية كافة التي تم استلامها عند إدخالها للصيانة. وتبقى ورشـــة الصيانة بكافة اختصاصاتها مسؤولة عن دقة وجودة عمل الآلة بعد التسليم لفترة زمنية محددة (فترة كفالة) متفق عليها.

الفصل السابع

أسس تخطيط منشآت الصيانة والإصلاح

المبحث العشرون : المسائل العامة المتعلقة بتخطيط (تصميم) منشآت الصيانة والإصلاح.

المبحث الواحد والعشرون: مزايا أقسام الإنتاجين الرئيسي والمساعد

المبحث الثاني والعشرون: تركيب الأبنية الإنتاجية والمخطط العام لمنشآت الصيانة والإصلاح.

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المبحث العشرون

المسائل العامة المتعلقة بتخطيط (تصميم) منشآت الصيانة والإصلاح.

§ 1- مهمة تخطيط أو تصميم المنشآت:

إن عمليـــة تخطيط أو تصميم منشآت الصيانة والإصلاح تنفذ على أساس المهمة التي تجمع الجهة صاحبة المشروع بالمشاركة مع الشركة أو المؤسسة المصممة للمشروع (الدراسة للمشروع) وذلك بما يتوافق مع أفاق ومخطط التطور المستقبلي لهذا القطاع. إن الغاية من مسألة التخطيط هذه هي تحديد الإمكانية التقنية (الفنية) والجـــدوى الاقتصادية Economical effectiveness لعملية إنشائه، أو إعادة بناء منشأة الصيانة المدروسة في المكان المحدد وخلال فترة زمنية محددة.

إن عملية تخطيط أو تصميم منشأة الصيانة يجب أن تتضمن المعطيات التالية:

أســـس ومسوغات عملية التصميم؛ مكان إقامة المنشأة؛ خصائص ومواصفات المنـــتج (طبـــيعة الأعمـــال التي يمكن القيام بها) بالإضافة إلى الطاقة الإنتاجية Productivity للمنشـــأة ؛ مصادر تزويد المنشأة بالعناصر والمعدات المطلوب صـــيانتها وإصـــلاحها، مصـــادر تزويد المنشأة بباقي الموارد اللازمة؛ وسائط ومعـــدات النقل اللازمة؛ شروط وطرق تصفية أو تنقية المياه الصناعية الناتجة؛ العمليات التكنولوجية الأساسية والمعدات اللازمة؛ حجم رأس المال الموظف في المشـــروع والمؤشـــرات التقنـــية- الاقتصـــادية الرئيسية للمنشأة بشكل عام؛ العلاقات الإنتاجية مع المؤسسات (المنشآت) الأخرى؛ مراحل تخطيط المنشآت؛

الـــزمن الـــلازم للبناء؛ اسم المؤسسة الدارسة للمشروع (المنشأة) والجهة التي ستقوم بالتنفيذ.

في الـــنهاية يـــتم تصـــديق الدراسة والمخططات الخاصة بالمنشأة من قبل الجهات الإدارية والفنية المختصة.

§ 2- مراحل تخطيط منشآت الصيانة والإصلاح:

إن عملـــية إعداد التصميمات اللازمة لمنشأة الصيانة والإصلاح يمكن أن تتم على مرحلتين:

1- إعداد التصميم التقني (الفني) للمنشأة،

2- إعداد مخططات (رسومات) التشغيل.

أو أن تـــتم عملـــية الإعداد على مرحلة واحدة تتمثل بإعداد التصميمات التقنية اللازمة للمنشأة وذلك عند دمج التصميمات التقنية مع مخططات التشغيل.

- التصميم التقني (الفني) Technical design:

يـــتم إعـــداد التصميم الفني للمنشأة بالاعتماد على وظيفة أو مهمة هذه المنشأة ويتضمن مايلي:

- المســـتندات والوثائق اللازمة وتشمل المعطيات التالية: تزويد المنشأة بـــالآلات المطلوب صيانتها والمواد اللازمة والطاقة والمياه وغيرها من الموارد.
- الخطط التكنولوجية والمعدات اللازمة.
- وسائط ومعدات النقل ومخطط مسارات وتيارات النقل داخل المنشأة.
- تنظيم عملية الإنتاج.
- الخطة العامة للمنشأة.
- الحلول المعمارية والإنشائية للمباني الرئيسية.

- تنظيم عمليات البناء والزمن اللازم لذلك.
- تكلفة عمليات البناء.
- المؤشرات التقنية – الاقتصادية للمنشأة.

– مخطط التشغيل Working drawing:

يـــتم وضـــع مخططات التشغيل على أساس مهمة تخطيط المنشأة من أجل التخطـــيط أحـــادي المرحلة، أو على أساس التصميم الفني في حالة التخطيط ثنائي المرحلة.

يـــتم إعـــداد مخططات التشغيل بهدف تدقيق وتفصيل الحلول المعتمدة في التصميم الفني للمنشأة.

§ 3– البرنامج الإنتاجي وصعوبة العمل:

البرنامج الإنتاجي Productive programme لمنشآت الصيانة يتحدد تبعاً لمسميات وعدد العناصر والأجزاء والآلات التي يتم صيانتها.

ويـــتم التعبير عنه بعدد وحدات الصيانة وبالنقود اللازمة (التكلفة)، عند إعـــداد برنامج الإنتاج من الضروري تنسيق (ربط) عمل المنشأة الجاري تصميمها مع عمل المنشآت الأخرى.

إذا تضمن البرنامج الإنتاجي لمؤسسة الصيانة عدة أنواع مختلفة من الآلات يتم حساب البرنامج بطريقة تحويل أو نسب الآلات المتشابهة (ذات النوع الواحد) في عمليـــة الصـــيانة إلى آلة محددة. كمثال على هذه الآلة وكأساس للقياس (الآلة الممـــثله) يمكـــن أن نأخذ الجرار ماركة T100M، حيث صعوبة عمليات الصيانة الكليـــة لـــــه بحدود 790 ساعة. في هذه الحالة البرنامج الإنتاجي N (مقداراً بعد القطع) يتحدد بالعلاقة:

$$N = \sum_{i=1}^{n} K_m N_i \qquad (20.1)$$

حيث: n- عدد أنواع (ماركات) الآلات التي تم صيانتها (أو إصلاحها).

K_{ni}- معامل تحويل (نسب) صعوبة صيانة الآلة المعنية إلى صعوبة صيانة الآلة المماثلة (الجرار ماركة (T100M).

N_i- عدد الآلات الجاري صيانتها من النوع نفسه.

البرنامج السنوي لصعوبة عمليات الصيانة (مقدراً بالساعات) يتحدد بالعلاقة:

$$T_n = \sum_{i=1}^{n} T_i N_i \qquad (20.2)$$

حيث: n- عدد أنواع الآلات التي تم صيانتها (أو إصلاحها).

T_i- الـــزمن المعياري (النورم) اللازم من أجل عملية صيانة شاملة للآلة ذات النوع أو الطراز i مقدراً بالساعة .

N_i- عدد الآلات التي تم صيانتها من الماركة i .

يـــتم تحديـــد أو اعـــتماد الزمن المعياري (الزمن النظامي) لعملية الصيانة الشاملة بالاعتماد على عمل المؤسسات المتطورة ذات الاستطاعة المماثلة. من أجل تحديـــد الـــبرنامج السنوي يمكن استخدام أيضاً الأزمنة المعيارية لعمليات الصيانة المختـــلفة المبيـــنة في الجداول والمراجع المتخصصة. ويتم تصحيح أو اختصار هذه الأزمنة مع الأخذ بعين الاعتبار معاملي تصحيح اثنين:

- المعـــامل K_O الذي يأخذ بعين الاعتبار تناقص الزمن المعياري تبعاً لزيادة حجم الإنتاج وإدخال تكنولوجيا أكثر تطوراً في الاستخدام.
- والمعامل K_B الذي يأخذ بعين الاعتبار المراجعة المنهجية للزمن المعياري (للنورم الزمني).

المعـــامل $K_O=1$ إذا تم في ا لمنشأة صيانة حتى مئة آلة متماثلة في السنة الواحدة، و $K_O=0.85$ في حال تم صيانة أكثر من مئة آلة متماثلة في السنة.

المعامل K_B يؤخذ بحدود $K_B= 1.20 - 1.25$

في هـــذه الحالة يحدد مقدار اختصار (تسريع) المعيار الزمني T_K في الصيانة الشاملة للآلة بالعلاقة :

$$T_K = T_P K_O / K_B \qquad (20.3)$$

حيث: T_P – الـــزمن المعـــياري الذي ينصح به لعملية الصيانة الشاملة للآلة المعنية والمبين في الجداول والمراجع المختصة.

§ 4– بنية منشأة الصيانة والإصلاح:

إن بنية أو تركيب منشأة الصيانة يتحدد تبعاً للبرنامج الإنتاجي لهذه المنشأة ولحجم الإنتاج. وكما هو معلوم، فإن عدد العاملين في منشآت الصيانة يكون على الغالـــب غـــير كبير، لذلك يتم تنظيم العمل داخل المنشأة عادة دون تقسيمها إلى أقســـام. أما من أجل مؤسسات الصيانة الكبيرة نسبياً والتي يزيد عدد العاملين فيها على مئة شخص فمن الممكن والمفيد تشكيل أقسام متخصصة داخلها.

الإنـــتاج (أو العمـــل) الرئيســـي في أقسام الصيانة والإصلاح يتكون من الأعمال التالية:

غســـيل خارجي للآلة، فك أجزاء وعناصر الآلة، تنظيف وغسيل الأجزاء والعناصر المفكوكة، كشف العيوب ومواضع الخلل، إجراء عمليات البرادة اللازمة للعناصـــر، تجميع الأجزاء والوحدات الآلية المختلفة واختبارها، تجميع كامل للآلة، وفي النهاية إجراء الاختبارات اللازمة للآلة وطلاؤها إذا لزم ذلك.

أمـــا الإنـــتاج المساعد فيتكون من قسم الميكانيك الرئيسي وقسم العدة والأدوات المختلفة.

يدخل في تكوين منشآة الصيانة أيضاً معدات النقل والتخزين، مخبر، محطة تحويل كهربائي، ضاغط هوائي وغيرها من الخدمات واللوازم. عند تخطيط منشآت الصيانة من الضروري معرفة نظام (أسلوب) العمل (Mode of operation) الذي سيتبع في المنشأة بدقة بالإضافة إلى أزمنة التشغيل.

العمـــل في أقسام الفك والتجميع يكون عادة بوردية واحدة، أما الأقسام الخاصـــة بتعمير (ترميم) العناصر فغالباً ما تعمل بورديتين يومياً. وهناك أقسام أيضاً يكون عملها مستمراً بثلاث ورديات دون انقطاع مثل الأقسام الخاصة بالمعالجات الحـــرارية وعملـــيات الغلفنة Galvanography. وفي حال كان البرنامج الإنتاجي كـــبيراً جـــداً يمكن أن تعمل أقسام الفك والتجميع بورديتين يومياً، حيث تعادل الوردية 8 ساعات وسطياً.

وفقـــاً لـــنظام التشـــغيل المعطى للمنشأة و أقسامها كافة يمكن حساب معدلات أزمنة العمل. وهنا يتم التمييز بين معدل الزمن الاسمي والفعلي (الحقيقي).

معدل زمن العمل الاسمي السنوي F_H مقدراً بالساعات يتحدد بالعلاقة:

$$F_h = \phi_d\, t_{cm} - t_c\, d_n \qquad (20.4)$$

حيث : ϕ_d — عدد أيام العمل في السنة.

t_{cm}–زمن الوردية (ساعة).

t_c– مقدار اختصار زمن وردية العمل في الأيام التي تسبق بعض الأعياد والمناسبات الأخرى.

d_n– عدد أيام الأعياد الرسمية في السنة.

يـــتم حساب معدل زمن العمل الفعلي السنوي بشكل منفصل وذلك من أجل تحديد عدد عمال الإنتاج ولتحديد المعدات اللازمة وعدد المراكز الوظيفية.

معدل زمن العمل الفعلي السنوي F_d يتحدد بالعلاقة التالية:

$$F_d = \beta\,[\,F_h - (d_{ot} + d_c)]\quad , \qquad \text{(ساعة)} \qquad (20.5)$$

حيث: d_{ot}- عدد أيام الإجازة (العطلة).

d_c- عدد أيام الجمعة ضمن فترة الإجازة.

β- معـــامل يأخذ بعين الاعتبار ضياع الزمن (العطل) لأسباب وأعذار مختلفة مثل المرض وما شابهه، $\beta = 0{,}96 - 0{,}97$

معـــدل زمن العمل الفعلي السنوي للعمال بمختلف الاختصاصات يتكون وسطياً مـــن: 1909 ساعات لعمال آلات التشغيل والتسوية والبرادة والنجارين، 1893 ساعة لعمال المعالجات الحرارية والغلفنة والكهربائيين وعمال الغسيل، 1853 ساعة لعمال اللحام والحدادين وعمال تجهيز البطاريات، 1610 ساعات لعمال الدهان.

معـــدل زمـــن العمـــل الفعلي السنوي للمعدات ($F_{d.e}$) مقدراً بالساعات يحسب بالعلاقة التالية:

$$F_{d.m} = F_h.S.\eta_o \qquad (20.6)$$

حيث: S- عدد ورديات العمل في اليوم

η_o - معامل استخدام المعدات ويساوي من أجل آلات التشغيل $\eta_o = 0{,}9 \div 0{,}95$، ومن أجل معدات اللحام $\eta_o = 0{,}8 \div 0{,}85$.

معـــدل زمن العمل الفعلي السنوي لمكان العمل (لموقع التشغيل) ($F_{d.m}$) مقدراً بالساعات أيضاً يحسب بالعلاقة:

$$F_{d.m} = F_h.\,S\,.\,m \qquad (20.7)$$

حيث:

m- عدد العاملين في آن واحد مكان العمل.

§ 5- تحديد تعداد العاملين والمعدات اللازمة وعدد مواقع التشغيل:

يمكن تقسيم العاملين في منشأة الصيانة والإصلاح إلى مايلي:

عمال رئيسيين ومساعدين، تقنيين وفنيين، عناصر إداريين.

عمال الإنتاج الرئيسي:

هـــم العمـــال اللذيـــن يقومـــون بشكل مباشر بتنفيذ مختلف العمليات التكنولوجية. ويمكن حساب عددهم بالعلاقة:

$$N = T_K / F_d \qquad (20.8)$$

حيث: T_K- حجـــم العمل الكلي وفق البرنامج الإنتاجي للمنشأة والذي يعطى بالعلاقة (20.3) مقدراً بالساعة.

F_d- معدل زمن العمل الفعلي لعامل واحد خلال فترة حسابية محددة (سنة واحدة) مقدراً بالساعة .

إن تحديـــد عدد العاملين وفقاً لاختصاصاتهم المهنية يتم بالتوافق مع النسبة المئوية التي يشكلها الحجم الكلي لعمل معين (اختصاص معين) بالنسبة إلى الأعمال المنفذة على الآلات كافة التي يتم صيانتها داخل المنشأة. على سبيل المثال عند تنفيذ أعمال الصيانة اللازمة لحفارة مجنـــزرة، فإن زمن مختلف العمليات اللازمة لصيانتها يعطـــى كنسبة مئوية من الزمن الكلي المعادل لـــ 100% ، وهو كمايلي: غسيل خارجي 0,2%، أعمال الفك والفرز 8%، غسيل وتنظيف القطع المفكوكة 1,2%، تحديـــد العـــيوب وتصنيف القطع اعتماداً على ذلك 1.6%، إعادة تجهيز العناصر بحدود 2%، وهكذا..

أما بالنسبة للعمال المساعدين فهم: عمال النقل، عمال القسم الميكانيكي الرئيسي، عمـــال أقســـام العـــدة وشحذ أدوات القطع وما شابهها، عناصر مراقبة الجودة، الحمالين وغيرهم من العمال.

يؤخـــذ عدد العمال المساعدين في منشآت الصيانة الكبيرة بحدود (15-18%) من عدد العمال الرئيسيين في المنشأة.

عدد التقنين والفنيين من مهندسين ومساعدي مهندسين ومن في حكمهم يؤخذ أيضاً بحدود (7-9%) بالنسبة لعدد العمال الرئيسيين والمساعدين.

عدد مواقع التشغيل (Working positions) يحسب بالعلاقة:

$$N_{W.P} = T_m / F_{d.m} \qquad (20.9)$$

حيث: T_m- حجم العمل السنوي في موقع التشغيل المدروس مقدراً بالساعة،

$F_{d.m}$- معدل زمن العمل الفعلي السنوي لموقع تشغيل واحد مقدراً بالساعة (العلاقة 20.7).

يتم تحديد المعدات (Equipments) المختلفة اللازمة لمنشأة الصيانة بما يتوافق مع الخطة التكنولوجية لعمليات الصيانة والإصلاح داخل المنشأة.

عدد الأنواع المستقلة للمعدات N_e يحسب وفق العلاقة :

$$N_e = \sum T_e / F_{d.m} \qquad (20.10)$$

حيث: $\sum T_e$- حجم العمل الكلي الموافق لنوع الآلة المدروسة (آلة تشغيل، أو لحام أو غيرها) مقدراً بالساعة،

$F_{d.e}$- معدل زمن العمل الفعلي لآلة واحدة من المعدات المدروسة (انظر العلاقة 20.6) مقدراً بالساعة .

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المبحث الواحد والعشرون

مزايا تخطيط أقسام الإنتاجين الرئيسي والمساعد

§ 1- حساب مساحة أقسام الإنتاج الرئيسي:

يمكن تقسيم المساحة الكلية لمنشأة الصيانة إلى ثلاثة أجزاء أساسية:

إنتاجية، مساعدة، إدارية وخدمية.

المساحة الإنتاجية للمنشأة هي المساحة المشغولة بالمعدات التكنولوجية للإنتاجين الرئيسي والمساعد، مساحة مواقع التشغيل ومن ضمنها المبخرة، المساحة التي تشغلها معدات النقل المستخدمة داخل المنشأة بالإضافة إلى الممرات بين المعدات.

المساحة المساعدة هي مساحة المستودعات والعنابر والطرق والممرات المؤدية إليها.

يتم تحديد مساحة أقسام الإنتاج الرئيسي بالطرق الثلاث التالية:

1- وفقاً للمساحة المخصصة (اللازمة) لعامل إنتاج واحد في وردية العمل الأطول (عادة الوردية الأولى):

$$F_P = N_W . f_P \qquad (21.1)$$

حيث:

F_P- المساحة الإنتاجية للقسم مقدرة بالمتر المربع،

N_W- عدد عمال الإنتاج في الوردية الأطول (الأولى)،

f_P- المساحة المخصصة لعامل إنتاج واحد.

على سبيل المثال من أجل قسم الغسيل الخارجي f_P= 30-35 m^2، ولقسم الفك f_P= 20-30 m^2، لقسم تحديد الأعطال والعيوب وتصنيف القطع f_P= 15-17 m^2، وهكذا.

2- وفقاً للمساحة المشغولة بالمعدات (equipments) حسب العلاقة

$$F_P = F_e . K_N \quad , \quad m^2 \qquad (21.2)$$

حيث:

F_e- مساحة الأرض المشغولة بالمعدات (m^2)،

K_n- معامل يأخذ بعين الاعتبار مساحة الممرات والمساحات حول المعدات.

على سبيل المثال: من أجل أقسام التشغيل بالبرداة والتسوية وأقسام الإصلاح الكهربائي K_n=3.5، لقسم الفك والتجميع K_n=4.5، لأقسام الغلفنة K_n=5، لأقسام اللحام والمعالجة الحرارية والحدادة K_n=5.5.

عند وضع أو إعداد التصميم الفني يتم تدقيق المساحات الإنتاجية اعتماداً على توزيع المعدات والوظائف داخل القسم مع الأخذ بعين الاعتبار تأمين المسافات النظامية بين مختلف المعدات والآلات وبين المعدات وأجزاء البناء والممرات والمعابر إلى الآلات والمعدات.

إن حساب المساحة الإنتاجية اعتماداً على توزيع المعدات يشكل الطريقة الأكثر دقة.

3- وفقاً للمؤشرات (الدلائل) النوعية المحددة لعملية صيانة وإصلاح واحدة وشاملة للآلة F_K والبرنامج السنوي المختصر N_n، وتعطى بالعلاقة التالية:

$$F_P = f_K . N_n \quad , m^2 \qquad (21.2)$$

هذه الطريقة تستخدم للحسابات التقريبية (التقديرية).

§ 2- قسم الفك والتجميع:

ضمن قسم الفك والتجميع (Assembly) في منشأة الصيانة والإصلاح تدخل الأقسام أو القطاعات التالية: قسم الغسيل الخارجي للآلات والمعدات الجاري صيانتها، قسم الفك، قسم التبخير (تنظيف القطع المفكوكة بالبخار الساخن)، تحديد الأعطال وتصنيفها، إصلاح العناصر وتجهيزها بالكامل، تجميع

الوحدات الآلية واختبارها، تجميع كلي للآلة، تشغيل الآلة واختبار عمليات الصيانة والتجميع.

حســـاب المعـــدات اللازمة لعمليات الغسيل الخارجي للآلات يتم وفق العلاقة التالية:

$$N_m = t_N / (F_h \ S\eta_O) \qquad (21.4)$$

حيث: t- معـــدل الـــزمن الـــنظامي (الزمن المعياري) اللازم لغسيل آلة واحدة (بالساعة)،

N- البرنامج الزمني السنوي للقسم (قطعة)،

F_h- معدل الزمن الاسمي السنوي (علاقة 4-13) لعمل المعدات خلال وردية واحدة (ساعة)،

S- عدد الورديات،

η_O- معـــامل اســـتخدام المعدات Utilization Factor بالنسبة للزمن. من أجل الآلات صندوقية الشكل η_O = 0.8 -0.85، من أجل معدات غسيل القطع القضيبية (المستطيلة) η_O=0.92-0.95

$$N_P = t_1 N / (F_h S m) \qquad (21.5)$$

حيث: t_1- معـــدل الـــزمن الـــنظامي (الزمن المعياري) اللازم لفك آلة واحدة (ساعة)،

m- عدد العاملين بوقت واحد في الموقع.

عـــدد المعـــدات اللازمة لتبخير (التنظيف بالبخار) القطع والعناصر كبيرة الحجم يتحدد بالعلاقة التالية:

$$N_B = t_2 N / (F_h S Z \eta_O) \qquad (21.5)$$

حيث: t_2- الزمن اللازم لتبخير عنصر كبير واحد (ساعة)،

N- عدد القطع أو العناصر الكبيرة المبخرة في عام واحد (قطعة)،

Z- عدد القطع الكبيرة الموضوعة بآن واحد في حوض التبخير.

كمـــا ويـــتم تحديـــد عدد المعدات اللازمة لقسم (قطاع) تحديد العيوب والأعطال في القطع والعناصر المفكوكة وتصنيفها وفق العلاقة (21.5)،

حيث: t_1- تمثل معدل الزمن النظامي اللازم لتحديد عيوب العنصر وتصنيفها.

كما ويمكن أيضاً وفق العلاقة (21.5) حساب عدد مواقع التشغيل اللازمة لإصـــلاح وتجهـــيز العناصر، حيث t_1 تمثل معدل الزمن النظامي (المعياري) اللازم لتجهيز ولضبط ومعايرة العناصر في الجزء الآلي مقدراً بالساعة.

مساحة الأقسام أو القطاعات تتحدد وفق العلاقة (21.2) $F_P = F_e \cdot K_n$، حيـــث تؤخذ قيمة المعامل K_n كما يلي: من أجل قسم التشغيل الخارجي للآلات K_n = 3-4، من أجل قسم الفك K_n = 4 – 4,5، من أجل قسم التبخير K_n = 3,5، لقسم تحديد العيوب K_n=3,5-4،من أجل قسم تجهيز العناصر(الإصلاح)K_n=3-3,5

كمـــا ويـــتم حساب عدد مراكز تجميع الوحدات (الأجزاء) الآلية وفق العلاقة:

$$N_C = \alpha T_C / (F_h S m \eta_C) \qquad (21.7)$$

حيث: α- حجـــم أعمـــال تجمـــيع الوحدات الآلية بالمقارنة مع الحجم الكلي لأعمال التجميع، وتؤخذ كنسبة مئوية (وسطياً α=75%)،

T_C- الزمن الكلي اللازم لمختلف عمليات التجميع (ساعة).

كمـــا ويتم حساب عدد مراكز التجميع الكامل النهائي للآلات (تجميع الوحـــدات والأجزاء الآلية مع بعضها) وفق العلاقة السابقة (21.7) على أن يؤخذ المعـــامل α=0.25، وذلـــك لأن حجم عمليات التجميع النهائي الشامل للآلات يشكل تقريباً 25% من الحجم الكلي لعمليات التجميع.

في معامل أو منشآت الصيانة والإصلاح المتخصصة يتم تجْميع الآلات وفق

الطـريقة التـيارية (تجميع الآلات على خطوط التجميع الآلية). في هذه الحالة يتم حساب عدد مراكز التجميع النهائي للآلات وفق العلاقة:

$$N_{C.l} = T'_C / \tau \qquad (21.8)$$

حيث: T'_C- زمن (أو صعوبة) التجميع الكامل النهائي لآلة واحدة (ساعة)،

τ - ايقاع إنتاج الآلات (ساعة/قطعة) ويحسب العلاقة:

$$\tau = F_d / N \qquad (21.9)$$

حيث: F_d- معـدل زمـن العمل الفعلي (الزمن المعياري) الفعلي لفترة حساب محددة(ساعة)،

N- عدد الآلات الواجب تجميعها في الفترة المحددة نفسها .

يحسب طول خط التجميع (Assembly line) بالعلاقة التالية:

$$L_{a.l} = N_{a.s}\,(l_1 + l_2) + 2l_3 \qquad (21\text{-}10)$$

حيث: $N_{a.s}$- عدد مراكز التجميع Assembly station.

l_1- طول العنصر أو الجزء الآلي الجاري صيانته (m)،

l_2- المسافة بين الآلات المتوضعة على الناقل، وتؤخذ بحدود l_2=0.7-1m،

l_3- طول المحطات (المراكز) الطرفية (m).

يـتم تحديـد مسـاحة القطاع أو قسم التجميع وفق خط التجميع الآلي بالاعـتماد على عرض خط التجميع، والمسافة اللازمة بين الجدار وخط التجميع والـتي تؤخـذ بحدود (١-١,٢m)، وعلى عرض ممرات النقل وهي بحدود (٢-٣m) أيضاً.

§ 3- أقسام تجديد (تعمير) وتحضير العناصر:

في ورشة تجديد (تعمير Reconditioning) وتحضير عناصر الآلات يوجد عدة أقسام أو ورش متخصصة: القسم الميكانيكي، ورشة السباكة، ورشة التعبئة أو

التغطـــية بالـــلحام، ورشة الحدادة، قسم الغلفنة، ورشة التشوهات اللدنة، ورشة النجارة، الورشة الكهربائية وغيرها.

بالإضـــافة إلى ماذكر، يمكن أن توجد في مصانع الإصلاح أقسام إصلاح المحركات وأقسام التشغيل بالطرق الفيزيائية- الإلكترونية وغيرها.

القسم الميكانيكي:

مخصـــص مـــن أجل إجراء عمليات التشغيل الميكانيكي بالقطع للعناصر الخاضـــعة لعمليات التجديد أو الترميم باستخدام ماكينات التشغيل. تتم عمليات التشغيل الميكانيكي بالقطع على هذه العناصر بعد عمليات التعبئة أو التغطية باللحام أو الغلفـــنة أو غيرها، كما ويتم في القسم الميكانيكي تحضير عناصر جديدة بديلة للعناصـــر التالفة. توجد في القسم الميكانيكي ماكينات الخراطة، الفارزات، المثاقب وآلات الجـــلخ وغيرهـــا، وهي تتوضع في خطوط الصيانة بما يوافق تسلسل الخطة التكنولوجية لعملية الصيانة والإصلاح.

عـــدد العمـــال اللازمين لتشغيل مختلف الآلات (قطع، لحام،...) يحسب وفق العلاقة (20.8)، ويحسب عدد ماكينات التشغيل وفق العلاقة (20.10)، حيث ΣT_e تمثل حجم العمل الكلي السنوي على آلات التشغيل مقدراً بالساعة و F_d في العلاقة (20-8) تحسب بالعلاقة (5-20).

يـــتم تحديـــد عـــدد آلات التشغيل اللازمة من كل نوع (مخرطة، فارزة، مثقب..) بما يوافق حجم العمل المطلوب لكل آلة، أو وفق مؤشرات خاصة، بحيث تؤخذ كنسبة مئوية من العدد الكلي لآلات التشغيل المطلوبة كافة كما هو مبين في الجدول (21.1).

بالإضـــافة إلى ماكيـــنات التشغيل الرئيسية يوجد في القسم الميكانيكي ماكينات لشحذ الأدوات والعدة وغير ذلك وهي تشكل 2-3% من مجموع آلات التشغيل.

الجدول (21.1)

نوع آلات التشغيل	(%) من مجموع الآلات
- آلات الخراطة:	
ثقيلة	10-12
متوسطة	20-22
خفيفة	10-12
- آلات البرجية	6-8
- آلات التفريز	8-10
- المثاقب	10-12
- آلات التجويف والخراطة الداخلية	6-8
- آلات التجليخ	10-15
- ماكينات تشغيل المسننات	4-5
- المقاشط وماكينات التخديد	4-6
- أنواع أخرى مختلفة	2-4

قسم التعبئة والتغطية باللحام:

هـذا القسم مخصص من أجل تعبئة سطوح العناصر المتآكلة باللحام، من أجـل لحـام العناصر المعدنية المتضررة، لقص المشغولات، وكذلك من أجل إنجاز عمليات التعبئة باللحام المطلوبة من القسم الميكانيكي.

يـتم إعداد البرنامج الإنتاجي السنوي لهذا القسم بما يوافق أنواع عمليات الـلحام أو التعبـئة والتغطية باللحام وانطلاقاً من حجم عمليات اللحام والتغطية

الكـــلي أو حجم السطح المعالج لعنصر أو آلة واحدة وعدد الآلات أو العناصر التي يتم صيانتها في السنة.

عـــدد المراكـــز لمخـــتلف أنـــواع اللحام والتغطية يتحدد وفق الحالات والعلاقات التالية:

1- من أجل عمليات اللحام اليدوي بالقوس الكهربائي:

$$N_{c.e} = QN \cdot 1000 / (I F_h K \eta_O S) \qquad (21.11)$$

حيث: $N_{c.e}$-عدد مراكز اللحام الكهربائي في الورشة،

Q- كـــتلة المعدن الكلية المستخدمة لتغطية أو تعبئة عناصر آلة واحدة يتم صيانتها (kg)،

I- شدة التيار الكهربائي في ماكينة اللحام المستخدمة (A)،

K- معامل التعبئة، ويساوي من أجل التيار المتناوب K=8.4g/(A.h) (غرام / أمبير ساعة)، وللتيار المستمر 11,9g/A.h،

η_O- معامل استخدام آلات اللحام ويساوي (0.85 -0.80)،

S- عدد الورديات في اليوم.

2- من أجل عمليات اللحام (التعبئة) الغازي:

$$N_{c.g} = QN / (g F_h \eta_O S) \qquad (21.12)$$

حيث: $N_{c.g}$- عدد مراكز اللحام الغازي،

g- كتلة المعدن الكلية المستهلكة باللحام في مركز لحام واحد (kg/h)،

η_O- معامل استخدام آلات اللحام ويؤخذ بحدود 0.7-0.6،

3- مـــن أجـــل عملـــيات التعبـــئة المؤتمتة وبالقوس الاهتزازي تحت طبقة من مساعدات الصهر (Flux):

$$N_{c.B} = FNn / (f F_h \eta_O S) \qquad (21.13)$$

حيث: N_{cB}- عـــدد الوحـــدات (المكـــنات) الخاصـــة بعمليات التعبئة بالقوس الاهتزازي والمؤتمتة،

F- مساحة السطح الكلي الذي يتم تعبئته أو تغطيته في آلة واحدة (cm^2)،

n- عدد طبقات التغطية،

f- مساحة السطح المغطى باللحام خلال ساعة واحدة (cm^2)،

η_O- معامل استخدام آلات اللحام ويؤخذ بحدود 0.75-0.6،

مساحة السطح المغطى خلال ساعة واحدة يحسب بالعلاقة:

$$f = v.\ T \quad , (cm^2) \qquad (21.14)$$

حيث: v- سرعة عملية التغطية (cm/h)،

t- خطوة عملية التغطية (التعبئة) (cm)،

عدد طبقات التغطية اللازمة يتحدد بالعلاقة:

$$N = h_1 / h_2$$

حيث: h_1- سماكة طبقة التغطية الكلية اللازمة للسطح المشغل (mm)،

h_2- سماكـــة طـــبقة تغطـــية واحدة منفذة على الآلة الخاصة بذلك، وهي بحدود h_2=(0.8-2)mm.

حســـاب مساحة قسم اللحام والتعبئة يتم وفق إحدى الطرق الثلاث المشروحة في الفقرة الأولى من هذا الفصل.

كما ويمكن حساب عدد العاملين في هذا القسم وفق العلاقة (8-20).

ورشة الحدادة:

يـــتم فـــيها مختلف عمليات الحدادة والتطريق Forging اللازمة للعناصر الجاري صيانتها. يحسب عدد المطارق اللازمة بالعلاقة:

$$N_{k.m} = Q\ N / (F_h\ g\ \eta_O\ S) \qquad (21.15)$$

حيث:Q- كتلة العناصر التي يتم تشغيلها بالحدادة في آلة واحدة قيد الصيانة (kg) وتحدد وفق المخططات التكنولوجية،

g- الإنتاجية الساعية لمطرقة واحدة أو كور حدادة (فرن) واحد (من أجل مطرقة كتلة الجزء الساقط فيها بحدود 50 kg فإن g = 8 -12 kg/h.

η_o- معامل استخدام المعدات بحدود 0,8-0,9.

من الخبرات والمعطيات العملية في منشآت الصيانة والإصلاح فإن 65-75%من أعمال الحدادة تنجز باستخدام المطارق، 20-25% بالتطريق اليدوي و 8-10% تنجز باستخدام المكابس (المطارق الآلية). يتم اختيار استطاعة المطارق تبعاً لكتلة العناصر المشغلة (المطروقات).

في عمليات التطريق الآلي Hammering بواسطة مطرقة واحدة يستخدم فرن تسخين واحد.

قسم الغلفنة:

يتم تحديد عدد أحواض (مغاطس) التحليل الكهربائي بما يناسب حجم العمل الكلي المطلوب لعمليات التلبيس (التغطية) اللازمة للعناصر قيد الإصلاح، حيث يمكن تلبيس هذه العناصر بطبقة من الكروم، الفولاذ، النحاس وغيرها من المعادن. يتم حساب حجم العمل الكلي انطلاقاً من مساحة سطوح عناصر الآلة الداخلة في الصيانة كافة وفق طريقة التلبيس المذكورة (الغلفنة) مضروبة بالسماكة الوسطية لطبقة التغطية.

عدد الأحواض الرئيسية يتحدد بالعلاقة:

$$N_{eb} = 10\, FN \propto h\, \gamma\, \eta_3 / (I\, F_h\, E\, \eta_1\, \eta_e\, S) \qquad (21.16)$$

حيث:F- سطح العناصر الخاضعة لعملية التغطية بالغلفنة في الآلة الجاري صيانتها ،(dm^2)

α- معامل يأخذ بعين الاعتبار ضياع التيار الكهربائي ويساوي1,7-1,3،

h- السماكة الوسطية لطبقة التغطية (mm)،

γ- الوزن النوعي لمادة التغطية (g/cm^3) – للكروم 7,14، للحديد 7,87،

η_3- معامل يأخذ بعين الاعتبار استمرارية تحميل حوض التلبيس ويساوي 1,06-1,1.

I- شدة التيار الكهربائي المستخدم (A)،

E- المكافئ الكيميائي الكهربائي،

η_t- خرج التيار الكهربائي،

η_e- معامل استخدام سعة الحوض ويساوي (0,7-0,8).

كما توجد في القسم عدة أحواض (مغاطس) مساعدة من أجل التنظيف من الشحم، من أجل الغسيل بالماء الساخن والبارد، من أجل تنظيف سطوح العناصر في محلول حامضي وغيرها من العمليات المشابهة.

يتم تحديد عدد العاملين في قسم الغلفنة اعتماداً على حجم العمل السنوي لعمليات التلبيس بالمعادن مع الأخذ بعين الاعتبار أن يقوم كل عامل على خدمة وتشغيل عدة وحدات آلية في القسم.

§ 4- الإنتاج المساعد في منشأة الصيانة والإصلاح:

يتصل بالإنتاج المساعد في منشآت الصيانة كلٌّ من قسم العدة والأدوات وقسم الميكانيك الرئيسي.

- قسم العدة:

المهمة الأساسية لقسم (أو ورشة) العدة والأدوات هي إصلاح وشحذ أدوات القطع بالإضافة إلى إصلاح وتحضير المثبتات اللازمة. يتكون هذا القسم من ورشة البرادة والتسوية والميكانيك وورشة الشحذ. عدد آلات التشغيل في قسم

العـــدة يؤخذ بحدود 13-15% من مجموع ماكينات التشغيل المستخدمة في الإنتاج الرئيسي.

المســـاحة المخصصـــة لكل آلة بحدود $12m^2$. ويؤخذ عدد عمال آلات التشـــغيل بما يتناسب مع عدد هذه الآلات. عدد العاملين بالبرادة بحدود 30% من العدد الكلي لعمال آلات التشغيل.

عدد ماكينات الشحذ بحدود 5-7% من مجموع آلات التشغيل الموجودة في منشأة الصيانة.

- قسم الميكانيك:

هـــذا القسم مخصص من أجل تخديم آلات التشغيل وصيانتها وإصلاحها، معدات الحدادة والمكابس، آلات النقل والرفع ومعدات الطاقة، بالإضافة إلى صيانة البـــناء والمنشآت المختلفة، والمواصلات داخل المصنع بالإضافة إلى تحضير المعدات البسيطة غير النظامية (ستاندر).

يدخـــل في تكويـــن قســـم الميكانـــيك الرئيسي الورش التالية: الورشة الميكانيكـــية، ورشة الصيانة الكهربائية، ورشة إصلاح البناء (العمال الإنشائيون)، ورشة الضواغط والغلايات، محطة التحويل الكهربائي.

مـــن الممكـــن تحديد عدد العاملين بشكل أكثر دقة طبقاً لمعدلات برامج الصـــيانة الفنية السنوية للمنشأة الجاري تصميمها. بشكل عام يمكن اعتبار أن عدد آلات القسم الميكانيكي الرئيسي تشكل 8% من عدد الآلات الموجودة في المنشأة. عـــدد عمـــال ماكينات التشغيل في القسم يؤخذ بحدود 80-90%من عدد آلات التشـــغيل الموجودة في قسم الميكانيكين وعدد عمال التشغيل بالبرادة بحدود 60% مـــن عدد العاملين على ماكينات التشغيل. تقوم ورشة الصيانة الكهربائية بأعمال صـــيانة وإصـــلاح معـــدات الطاقة الكهربائية وأجهزة الإنارة. عدد عمال ورشة

الكهـــرباء يؤخـــذ بمعـــدل عنصر واحد لكل 100kw من الاستطاعة الكهربائية للمنشأة.

عـــدد عمال صيانة البناء (العمال الإنشائيين) يتحدد تبعاً لمساحة المنشأة، وهو بمعدل (0,6-0,7) شخص لكل $1000m^2$ من المساحة المفيدة للمنشأة.

§ 5- تجهيزات التخزين، النقل الداخلي وأماكن الإدارة والخدمات:

- تجهيزات التخزين:

تتوضـــع في المـــبنى (المجمع) الإنتاجي لمنشأة الصيانة عادة مواقع (أماكن) التخزين التالية:

مســـتودع Storehouse العناصر التي سيتم إصلاحها، مستودع العناصر الخاضعة لعملية الصيانة والإصلاح والتجهيز بالكامل، مستودع قطع الغيار والمواد، مســـتودعات متوســـطة (انتقالـــية) في قسم الفك والتجميع وقسم تحديد وتحضير العناصر، مخزن العدة، مساحات من أجل حفظ معادن القسم الميكانيكي ولتجميع الخردة والنفايات.

إضـــافة إلى المستودعات المذكورة أعلاه يوجد خارج المبنى الإنتاجي عدة مســـتودعات مـــنها: مســـتودعات أو خـــزانات لحفظ الوقود، مستودع لحفظ اسطوانات الأوكسجين واسطوانات الاستيلين وغيرها.

تحسب المساحة التي يشغلها المخزن أو المستودع بالعلاقة التالية:

$$F_S = G\, t_x\, K / q \quad , (m^2) \qquad (21.17)$$

حيث: G- وزن المـــادة (عناصـــر، أجزاء أو وحدات آلية) المارة (الخارجة) عبر المستودع وسطياً في يوم واحد (طن)،

t_x- زمن تخزين المواد المختلفة في المستودع (يوم)،

q- الحمولـــة المسموح بتوضعها على مساحة ($1m^2$) من المستودع مقدرة بالطن/ متر مربع.

K- معـــامل يعـــبر عن نسبة المساحة المشغولة برفوف التخزين إلى المساحة الكلية للمستودع .

الحمولة المسموح بها على أرضية المستودع تتحدد تبعاً لنوع المواد المخزنة بداخلـــه وهـــي تـــتراوح بحدود ($0,3-6T/m^2$). المعامل K=2-3 . مساحة كامل المســـتودعات تشـــكل 5-6% مـــن مساحة الأقسام والقطاعات الإنتاجية لمنشأة الصيانة.

تجهيزات ومعدات النقل داخل المنشأة.

يمكـــن تقسيم معدات النقل المستخدمة داخل منشآت الصيانة والإصلاح إلى نوعـــين: معـــدات ذات تـــأثير متقطع (Discrete action) وأخرى ذات تأثير مســـتمر (Continuous action). معـــدات النقل ذات التأثير المتقطع (الدوري) المســـتخدمة في المجمـــع (المبنى) الإنتاجي هي: عربات رفع وتحميل، روافع جسرية Gantry carne، روافـــع كابولية دوارة Cantilever crane، شاحنات ذات رافعة Crane truck، بالإضـــافة إلى أنـــواع أخـــرى مـــن الـــروافع (Hoist) المختلفة الهيدروليكية والهوائية وغيرها.

أمـــا معدات النقل ذات التأثير المستمر (غير المتقطع) فهي: مختلف أنواع النواقل Conveyer (سيور ناقلة، نواقل حلزونية، نواقل حلزونية وغيرها)، النواقل الدحروجية (بأسطوانات دوارة) المزاريب (Chuts) وغيرها.

يحسب عدد معدات النقل ذات التأثير المتقطع (الدوري) بالعلاقة:

$$N_{TR}= Q_d/P_d \qquad (21.18)$$

حيث: Q_d- مقـــدار الحمـــولات الـــتي يـــتم نقلها في اليوم الواحد بين نقطتين متجاورتين مقدراً بالطن.

P_d- الإنتاجية اليومية لواسطة (آلية) نقل واحدة (طن) وتحسب بالعلاقة:

$$P_d = p \cdot Z \qquad (21.19)$$

حيث: p- إنتاجية آلية النقل خلال دورة تشغيل واحدة (طن)،

Z- عدد دورات التشغيل Working Cycle

يتم حساب عدد دورات التشغيل Z من العلاقة:

$$Z = F_d / T_C \qquad (21.20)$$

حيث: F_d- معـــدل زمن العمل اليومي لآلية النقل (min) (طول فترة عمل الآلية في يوم واحد)،

T_c- طول دورة التشغيل (min).

عـــدد وســـائل النقل المستمر (النواقل المختلفة) اللازمة لنقل الحمولات والعناصر المختلفة بين نقاط ومراكز التشغيل المتجاورة، يتحدد بالعلاقة التالية:

$$N_{tr} = Q_h / P_h \qquad (21.21)$$

حيث: Q_h- مقدار الحمولات التي يتم نقلها خلال ساعة واحدة (طن).

P_h- إنتاجية الناقل خلال ساعة واحدة (طن).

أماكن الإدارة والخدمات:

تشـــكل مـــباني الإدارة والخدمـــة العامة جزءاً هاماً داخل منشأة الصيانة وينســـب إليها: مقر إدارة المنشأة، مكاتب الفنيين والمهندسين، غرف داخل المجمع الإنتاجي لتبديل الملابس، حمامات للغسيل وغيرها من غرف الخدمة اللازمة داخل المنشأة.

تســـحب مساحة مواقع الإدارة Administration والخدمات وفقاً لعدد الأفراد العاملين بشكل دائم داخلها، وتعطى بالعلاقة:

$$F_a = f \cdot n \quad , \quad (m^2) \qquad (21.22)$$

حيث: f- المساحة اللازمة لشخص واحد (من أجل مصمم واحد أو رسام أو فني أو رئيس ورشة $f= 6-7\ m^2$، لمستخدم واحد $f= 5\ m^2$، غرفة رئيس القسم بحدود $f=10-12\ m^2$)،

n- عدد العاملين.

مساحة غرفة تبديل الملابس تحسب بمعدل $0,75-0,8\ m^2$ لكل عامل. كما يتم حساب مساحة دورات المياه وفقاً لعدد العاملين في الوردية الأكبر وبمعدل مغسلة واحدة لكل عشرة أفراد ودوش واحد مساحته ($2-2,25\ m^2$) لكل خمسة أفراد.

المبحث الثاني والعشرون
تركيب الأبنية الإنتاجية والمخطط العام
لمنشآت الصيانة والإصلاح

§ 1- معلومات أساسية حول تركيب الأبنية:

إن تركيـــب أو ترتيـــب مكان منشأة الصيانة يتمثل بوضع مخطط توزيع عـــلمي وســـليم للأقســـام والقطاعات الإنتاجية والمخازن والمستودعات المختلفة بالإضـــافة إلى بـــاقي أقســـام ومـــباني المنشأة، بحيث يحقق هذا التوزيع العلاقات التكنولوجـــية المناسبة بين الأقسام الإنتاجية المختلفة وخطوط نقل للمواد والعناصر أقصـــر مـــا يمكـــن، مع مراعاة الشروط والمعدلات الإنشائية الصحيحة للمنشأة بالإضـــافة إلى الشـــروط الصحية المناسبة وشروط السلامة المهنية والأمن الصناعي للعاملين كافة داخل منشأة الصيانة، والتخلص من الآثار البيئية السلبية لهذه المنشأة على المنطقة.

قـــبل الـــبدء بعملية الإنشاء والتركيب يتم تحديد المساحة الكلية اللازمة للمبنى (المجمع) الإنتاجي للمنشأة.

تـــتكون مســـاحة المبنى الإنتاجي من مجموع مساحات أقسام الإنتاجين الرئيســـي والمســـاعد، المخابـــر، المستودعات المختلفة بالإضافة إلى أقسام الإدارة والخدمات، وجميعها مضروبة بمعامل K = 1,10-1,12.

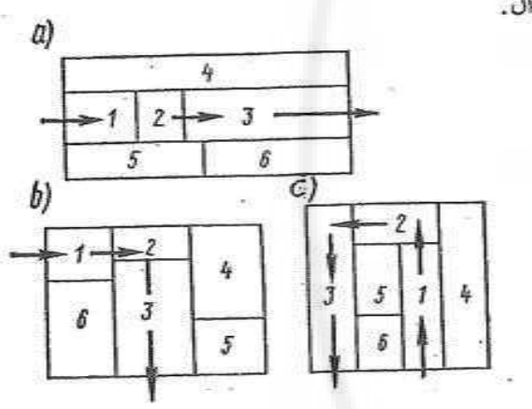
إن إدخال المعامل K في حساب المساحة وزيادتها بمقدار 10-12% هو أمر ضروري من أجل تأمين ممر رئيسي داخل المبنى بعرض 3,5-4m. تبعاً لشكل حركة

العناصـــر القاعدية الأساسية (هياكل أو أبدان الآلات). يمكن تمييز ثلاثة مخططات تكنولوجية لتوضع نقاط الصيانة مبينة على الشكل (22.1):

- خطية مستقيمة كما في الشكل (22.1,a).
- تشكيلي كما في الشكل (22.1,b,c).

الأرقام المبنية على الشكل (22.1) تمثل أقسام الصيانة كما يلي:

١- قســـم الفـــك والغسيل، 2- قسم تجديد عيوب العناصر وتصنيفها، 3- صـــيانة وإصـــلاح العناصر القاعدية (الهياكل) والتجميع الكامل (العمومي)، 4- إصـــلاح عناصر الآلات، 5- صيانة وإصلاح الأجزاء والوحدات الآلية، 6- إصلاح الكابينة والأبدان.



الشكل 1-22 : مخطط توضع أقسام الصيانة والإصلاح

إن توضـــع أقســـام أو ورش الصيانة بشكل خطي مستقيم (شكل 22.1,a) يسمح بوصـــول العناصـــر الجســـمية إلى قسم التجميع الكامل (3) بدون أية عوائق أو صعوبات. السلبيات الأساسية لمخطط التوضع الخطي هي:

a) يأخذ البناء شكلاً طولياً واضحاً مما يزيد من محيطه وبالتالي ترتفع التكلفة.

b) يزداد طول مسارات النقل.

c) تظهر صعوبات في تأمين موقع إصلاح الأبدان والكابينة (6).

من أجل المباني التي تتوضع فيها ورش الصيانة وفقاً للمخططات المبنية على الشـــكل (22.1,b,c) يكـــون المحيط الخارجي للمبنى أقل، ومسارات النقل اقصر، بالإضـــافة إلى أن توضـــع أو توزيـــع ورش صيانة الأبدان والكابينة يكون أبسط وأسهل. ولكن توضع القسم أو القطاع الخاص بإصلاح العناصر القاعدية وفقاً لهذه المخططـــات يزيد من صعوبة حركة هذه العناصر بعد إصلاحها إلى نقطة التجميع الكامل (النهائي) وذلك بسبب عدم وجود إمكانية لحركة خطية مستقيمة.

يؤخـــذ طـــول البناء عادة من مضاعفات العدد ستة والمسافة بين الأعمدة الخارجية للبناء (6) أو (12) متراً. يتم اختيار عرض البناء تبعاً لأبعاد وعدد المجازات (الفتحات Bay) المكونة للبناء. يتم اختيار عرض المجازات وفقاً للمقاييس المعيارية بحدود 12، 15، 18، 21 و 24 متر.

عـــلى الشـــكل (22.2) مبين مثال تركيب وتوزيع قطاعات وأقسام المبنى الإنتاجي لمصنع متخصص بإصلاح الحفارات Excavator، حيث:

1- قســـم الغســـيل الخـــارجي، 2- قسم إصلاح المعدات الكهربائية، 3- مكان لتخديم قسم الفك، 4 و 5- المرافق الصحية ودورات المياه، 6- قسم فك الآلة إلى مجموعـــات أو وحدات آلية، 7- قسم فك المجموعات الآلية (علبة السرعة مثلاً)، 8- قســـم التنظيف بالبخار، 9- مساحة لتجميع الخردة Scrap، 10- قسم مراقبة الجـــودة، 11- قســـم تجهيز العناصر، 12- مستودع القسم11، 13- قسم تجميع الوحـــدات الآلية، 14- مكان لتخديم قسم التجميع، 15- مستودع قسم التجميع، 16- ورشـــة الدهـــان، 17- قسم الغلفنة، 18- قسم الحدادة، 19- قسم المعالجة الحرارية، 20- قسم عمليات اللحام، 21- مستودع العناصر التي سيتم إصلاحها، 22- مســـتودع قطـــع التبديل، 23- مساحة مخصصة لتوضع المعادن، 24- مكان خدمـــي (مســـاعد) لقســـم تجديد وتحضير العناصر، 25- قسم التشغيل بالبرادة،

26- مستودع لأقسام تجديد وتحضير العناصر، 27- ورشة شحذ الأدوات، 28- مستودع توزيع العدة، 29- القسم الميكانيكي الرئيسي، 30- مستودع القسم الميكانيكي الرئيسي، 31- مكان خدمي لصالح قسم الميكانيك الرئيسي، 32- مستودع قسم العدة، 33- مكان خدمي لقسم العدة والأدوات، 35- مخبر، 36- مكان خدمات (دورات مياه وماشابهها)، 37- مقصف (بوفيه)، 38- قسم التنجيد، 39- ورشة النجارة، 40- ورشة السنكرة وإصلاح المبردات، 41- غرف استراحة، 43- إصلاح العجلات، 44- قسم التجميع الشامل (الكلي).

تتم عمليات التجميع الشامل أو الكلي للحفارات على إحدى خطين ناقلين A و B حيث: A-خط تجميع الحفارات ذات الإطارات،

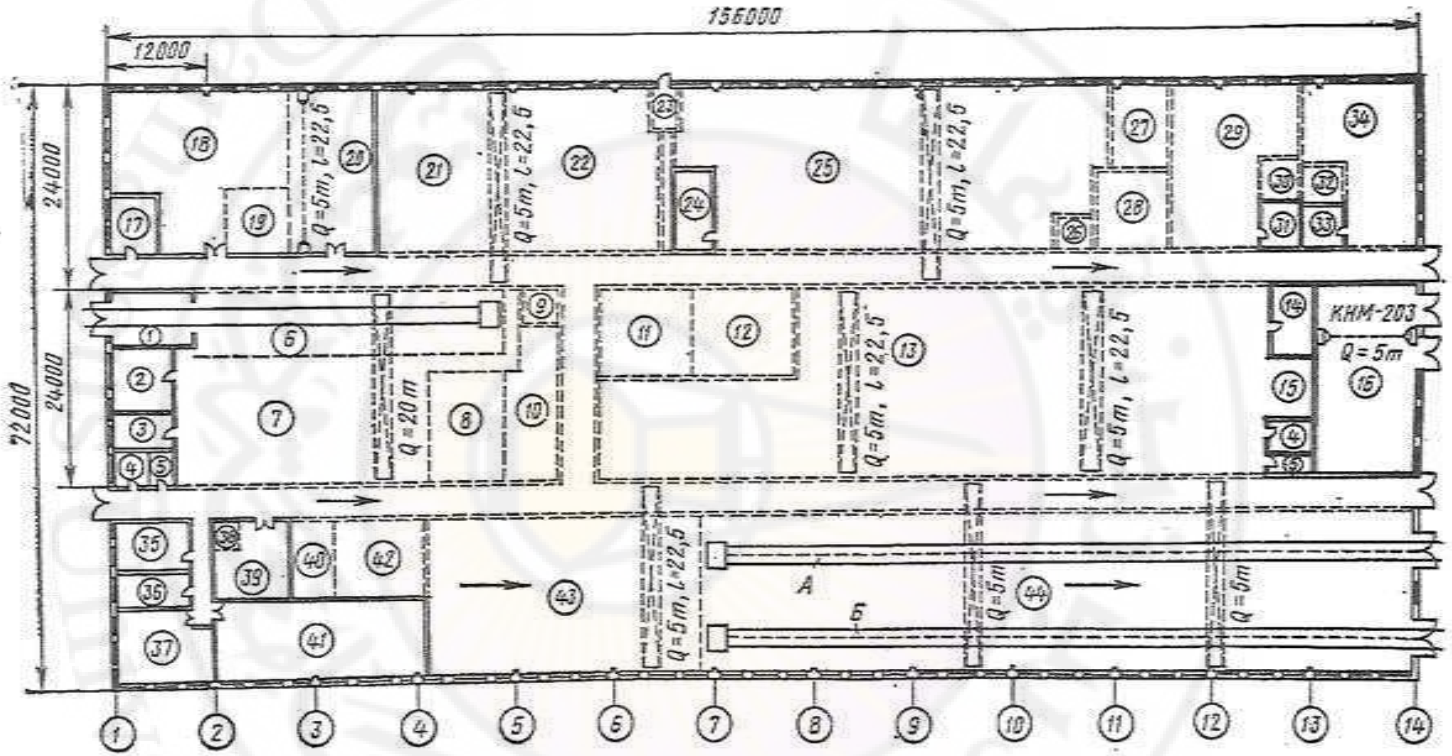
B-خط تجميع الحفارات المجنزرة.

§ 2- المخطط العام:

المخطط العام لمنشأة أو معمل لصيانة وإصلاح الآلات هو عبارة عن مخطط تفصيلي يبين توزيع مختلف المباني والمنشآت، الساحات، المساحات الخضراء، والأسوار ومختلف المكونات والمواقع الأخرى الداخلة ضمن المساحة الكلية (حرم) لهذه المنشأة.

عند إعداد المخطط العام من الضروري الالتزام بالمعايير النظامية (النورمات) المعتمدة في هذا المجال وترك المسافات اللازمة بين المباني والمنشآت لمكافحة خطر نشوء الحرائق، بالإضافة إلى تجنب وجود تيارات نقل متعاكسة داخل المعمل.

إن تنظيم وتنسيق مباني وقطاعات المنشأة يجب أن يأخذ بعين الاعتبار توضع واتجاه شوارع النقل المحيطة بالمنشأة ويكون منسجماً معها بما يضمن الدخول إليها (والخروج منها) بأيسر الطرق، كما ويجب أن يكون منسجماً مع المخطط العمراني للمناطق المجاورة للمنشأة.



الشكل 22.2 : مخطط المبنى (المجمع) الإنتاجي لصيانة وإصلاح الحفارات.

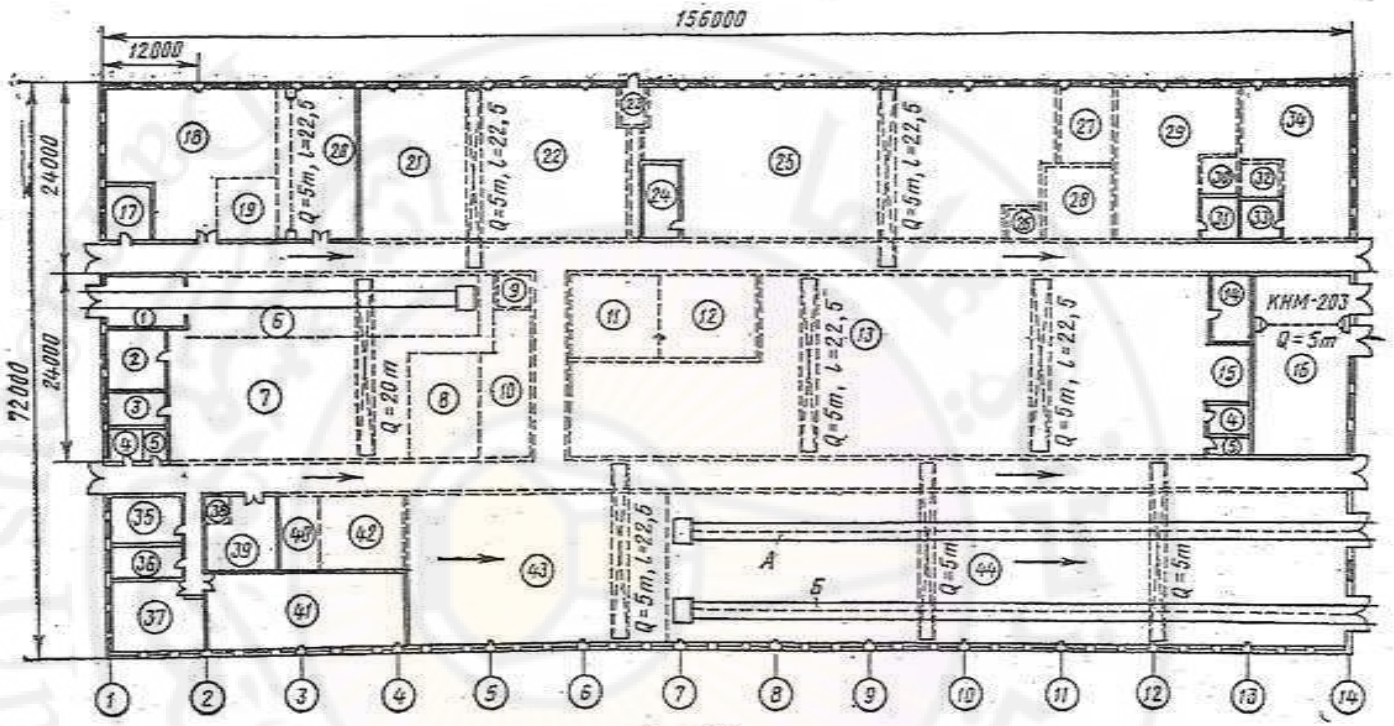
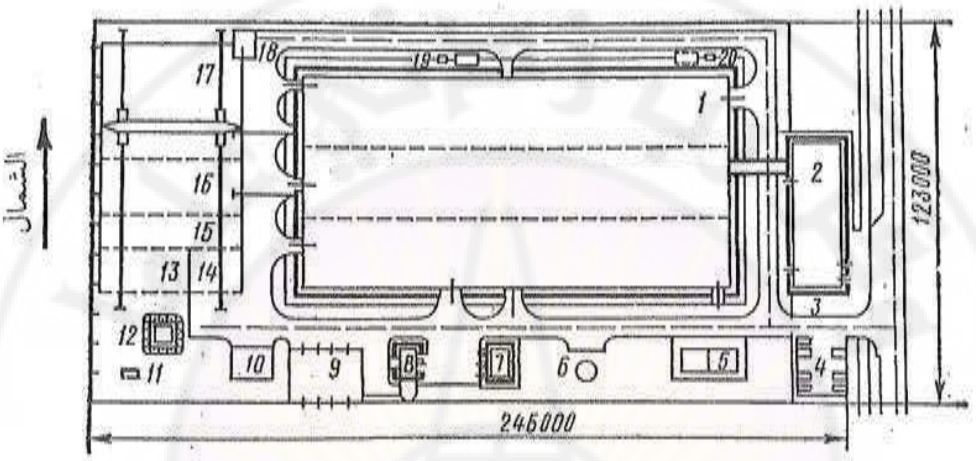


Рис. 19.2

تابع الشكل 22.2

يتم رسم المخطط العام عادة بمقياس (scale) 1:500 أو 1:200 مع إظهار اتجاه الرياح السائدة في هذه المنطقة على المخطط.

على الشكل (22.3) مبين مثال لمخطط عام لمنشأة صيانة وإصلاح.



الشكل 22.3: مخطط عام لمنشأة صيانة وإصلاح

على المخطط العام للمنشأة المبين على الشكل (22.3) نلاحظ المباني والأقسام والقطاعات التالية:

1- المجمع (المبنى) الرئيسي للمنشأة، 2- المبنى الإداري والخدمي، 3- مظلة لوقوف وسائط نقل خاصة كالدراجات، 4- موقف للسيارات والحافلات، 5- ملعب رياضي، 6- خزان لمكافحة الحريق، 7- مستودع اسطوانات الأوكسجين والإستلين، 8- مستودع أو خزان المواد النفطية، 9- مظلة لحفظ المواد والأجزاء الآلية، 10- ساحة لاختبار وتجريب الآلات، 11- برج تبريد، 12- خزان مياه، 13 و 17- ساحة مكشوفة لتجميع حفظ المعادن (13)، لحفظ الحاويات وتجميع السنفايات (14)، للأعمال الخارجية (15)، لتجميع وحفظ الآلات التي تم إصلاحها

(16)، والآلات الجـــازي إصـــلاحها (17)، 18- حـــوض لترســـيب الأوساخ، 20-.خزان مازوت.

يـــتم تقيـــيم (تقديـــر) المخطط العام اعتماداً على مؤشرين اثنين: معامل التشييد أو البناء (معامل التعمير) K_C ومعامل استخدام المساحة K_T، كما يلي:

$$K_C = F_C / F_O \quad \text{و} \quad K_T = F_u / F_O \qquad (22.1)$$

حيث: F_C- مجمـــوع مساحات البنية المختلفة والمنشآت والمستودعات والأرصـــفة الخاصة بعمليات التحميل والتفريغ، خزانات لحفظ السوائل المختلفة، المســـتودعات المكشـــوفة والساحات من أجل الأعمال الخارجية والمجهزة بمعدات الرفع والتحميل (الروافع).

F_O- المساحة الكلية للمنشأة.

F_u- المســـاحة المســـتخدمة من الأرض والتي تتضمن، بالإضافة إلى مساحة البناء، مســـاحة المســـتودعات المكشوفة غير المجهزة بالروافع، مساحة الطرقات والممرات المختلفة ومن ضمنها المجهزة بخطوط سكك حديدية بالإضافة إلى الأرضيات المغطاة بطبقة من الإسفلت أو البيتون أو ما شساهها .

المســـاحة الترابـــية المتبقية من أرض المنشآة لا تدخل في حساب المساحة المستخدمة F_u.

معامل التشييد يقع بحدود $K_c = 0,25 \div 0,35$

ومعامل استخدام المساحة بحدود $K_c = 0,55 \div 0,75$

الفصل الثامن

تكنولوجيا صيانة وتجديد عناصر الآلات

المبحث الثالث والعشرون : تجديد وإصلاح عناصر الآلات بوساطة اللحام والتغطية السطحية باللحام

المبحث الرابع والعشرون: بخ المعدن المنصهر وترسيب مساحيق المعادن

المبحث الخامس والعشرون : التغطية السطحية بالغلفنة وبالمواد البلاستيكية

المبحث السادس والعشرون : تجديد عناصر الآلات بالمعالجة الميكانيكية

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثامن

تكنولوجيا صيانة وتجديد عناصر الآلات

§ – تصنيف طرائق تجديد (تعمير) عناصر الآلات:

تم في الوقت الحاضر إعداد العشرات من الطرائق والأساليب المختلفة والمستخدمة في عمليات تجديد (تعمير أو ترميم Reconditioning) عناصر وأجزاء الآلات، بحيث تعاد لهذه العناصر والآلات خصائصها الفنية والاستثمارية المطلوبة مما يسمح بإدخالها من جديد في عملية الإنتاج.

إن اختيار الطريقة الأنسب لتحديد هذا العنصر أو ذاك يتم بالاعتماد على تحليل الشروط الفنية والاقتصادية والتنظيمية لعملية التحديد مع الأخذ بعين الاعتبار تصميم هذا العنصر وظروف عمله.

يمكن تصنيف الطرائق المستخدمة في عمليات تجديد وإصلاح عناصر وأجزاء الآلات كمايلي:

اللحام، التغطية السطحية بواسطة اللحام (التعبئة باللحام)، بخ المعدن المنصهر، ترسيب مساحيق المعادن، التغطية بالغلفنة، صب المعدن المنصهر (التزويد بالمعدن المنصهر)، الانفعال (التشوه) اللدن للعناصر على

البـــارد أو عـــلى الساخن، تغطية سطح العناصر بطبقة من البوليمرات، اســـتخدام الأبعاد الإصلاحية للعناصر، المعالجة الحرارية، والكيمياحرارية للعناصر، التشغيل الميكانيكي بالقطع وغيرها العديد من الطرق الأخرى.

وسوف نتعرف على غالبية هذه الطرائق في الأبحاث اللاحقة.

المبحث الثالث والعشرون

تجديد وإصلاح عناصر الآلات باللحام

والتغطية السطحية باللحام

§ 1- أشكال عمليات اللحام:

إن أشـــكال عملـــيات اللحام المختلفة في إصلاح وتجديد عناصر وأجزاء الآلات تشكل واحدة من أكثر الطرق استخداماً في هذا المجال، حيث يتم بواسطة اللحام ترميم وتجديد حوالي 70% من مختلف العناصر الجاري إصلاحها.

إن التنوع الكبير في الشكل والحجم والتركيب الكيميائي للعناصر المطلوب لحامها، تطلب استخدام طرق وأساليب تكنولوجية ومعدات لحام مختلفة. وكما هو معلوم فإن طرق اللحام يمكن تقسيمها بشكل رئيسي إلى:

- اللحام بالقوس الكهربائي Arc Welding.
- اللحام الغازي Oxyacetylene gas Welding.
- اللحام التناكبي الومضي Flash butt.
- اللحام النقطي Spot welding.
- لحام المقاومة.
- اللحام الليزري.

يمكـــن أن تـــتم عمليات اللحام الغازي أو القوسي إما بشكل يدوي أو بشـــكل آلي (اتوماتـــيكي)، وضمن هذين النوعين الرئيسين لعمليات اللحام يمكن اســـتخدام معـــدات وطرق تكنولوجية وماكينات بلحام مختلفة التصاميم والمقاييس والاستطاعة وذلك حسب مجال العمل ونوع وحجم القطع الجاري لحاملها.

وقـــد درست طرق اللحام المختلفة في مقررات أخرى بالتفصيل، وسوف نتـــناول هنا باختصار دراسة هذه الطرق مع التركيز على استخدام عمليات اللحام في تجديد وإصلاح عناصر الآلات المطلوبة.

§ 2- اللحام بالقوس الكهربائي: Arc Welding

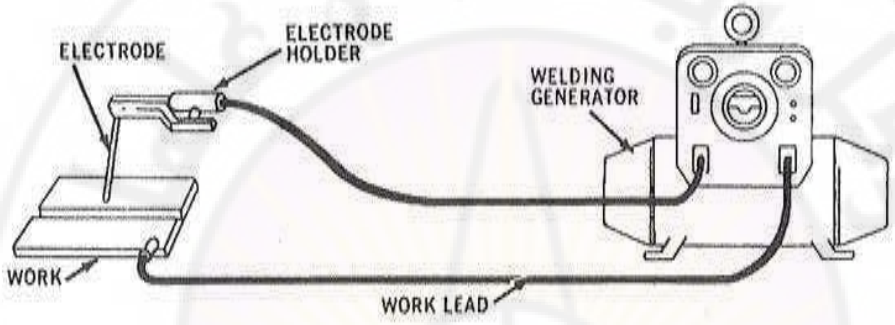
تستخدم عمليات اللحام بالقوس الكهربائي بشكل واسع من أجل إصلاح الكســـور والشقوق في العناصر والأجسام المعدنية وربط القطع المعدنية مع بعضها بشكل محكم. وفي هذه الحالة تستخدم درجة الحرارة العالية (3500÷15000C°) الناتجة عن القوس الكهربائي المتولد في الفجوة الهوائية بين قضيب اللحام (الالكترود Electrode) وبين القطعة الملحومة، لصهر معدن الالكترود (أو سلك معدني آخر) وترسيبه في مكان الشق أو الكسر.

وهـــذه الالكـــترودات (على شكل قضبان أو لفات) تصنَّع وفق مقاييس ومواصـــفات متـــنوعة جـــداً، ويمكـــن أن يضاف إلى معدن الالكترود المنصهر (المســـتهلك) الكثير من العناصر السبائكة مثل الكروم والمنغنيز وغيرها وذلك من أجل إكساب الدرزة اللحام (seam welding) المتانة أو القساوة ومقاومة الاهتراء وغيرها من الخصائص الميكانيكية المطلوبة حسب شروط عمل العنصر.

تغلف أسلاك اللحام عادة بمواد تغطية (electrode coating) تحترق أثناء عمليـــة الـــلحام وتشـــكل حجـــاب غازي يحمي منطقة اللحام من الأكسجين والنـــتروجين الموجـــود في الهواء، وكذلك يعمل غلاف سلك اللحام على تكوين طـــبقة رقيقة من الخبث (Slag) على سطح الدرزة اللحامية تعمل على امتصاص العناصر الضارة من أكاسيد ونترات وغيرها ويعطي خواص ميكانيكية جيدة ويمنع الفراغات في معدن اللحام بالإضافة إلى جعل سطح اللحام نظيفاً وناعماً ومنتظماً، ويساعد على تحقيق توازن القوس الكهربائي.

عملية اللحام بالقوس الكهربائي إما أن تكون بشكل يدوي أو بشكل آلي في عمليات اللحام اليدوي تستخدم التجهيزات المبينة على الشكل (1-23) والمكونة من مولدة اللحام Welding generator ماسك الالكترود electrode holder، وكابلات توصيل معزولة.

وقد تم في السنوات الماضية تطوير عمليات اللحام بالقوس الكهربائي بشكل كبير، من حيث مكننة وأتمتة هذه العملية.



الشكل (1- 23) مخطط اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي.

يتم اختيار قطر قضيب اللحام تبعاً لسماكة العناصر المطلوبة لحاملها ولمقاييس الدرزة اللحامية المطلوبة (أو مقاييس الفجوة المطلوب ملؤها باللحام). عند اللحام على السطوح الأفقية تستخدم قضبان لحام بأقطار حتى d=5mm. عند لحام عناصر بسماكة تصل إلى 4mm يتم اختيار قطر قضيب اللحام مساوياً لسماكة القطعة.

شدة التيار المستخدم في اللحام تتحدد تبعاً لقطر قضيب اللحام ولكثافة التيار المسموح بها (وهي بحدود $10\text{-}20\ A/mm^2$). من أجل قطر الإلكترود بحدود d=3-6mm، يمكن تحديد شدة التيار وفق العلاقة:

$$I = m \cdot d \ , \qquad (A) \qquad (23\text{-}1)$$

حيث : m– معامل يقع بحدود: (60- 35).

d– قطر قضيب اللحام (الالكترود – mm).

§ 3– اللحام الغازي : Oxyacetylene gas Welding

تتلخص عملية اللحام الغازي بصهر حواف الأجزاء الملحومة والمادة المرسبة (قضيب اللحام) بالحرارة الناتجة عن احتراق مزيج غازي مكون من غازي الاستيلين والأكسجين (أو غاز الهيدروجين أو الغاز الطبيعي مع الأكسجين).

يتم الحصول على غاز الاستيلين C_2H_2 في مولدات خاصة عن طريق تفاعل كربيد الكالسيوم مع الماء ويعبأ في اسطوانات فولاذية خاصة تحت الضغط.

كما ويتم الحصول على الأكسجين النقي اللازم من الهواء الجوي حيث يبرَّد ويضغط في أسطوانات فولاذية بضغط يصل إلى $150 \ kg/cm^2$ ليتحول إلى سائل.

يتم تقدير كمية الاستلين المستهلكة في عملية اللحام وفق العلاقة:

$$M = S\,R \ , \qquad (m^3/h) \qquad (23\text{-}2)$$

حيث S – سماكة العنصر الملحوم (mm)،

R– معامل يصف الاستهلاك النوعي للاستيلين من أجل(1mm) من سماكة العنصر (من أجل حديد الصب R = 0.11 +0.14، من أجل الفولاذ R = 0.1-0.12، من أجل الألمنيوم R=0.06 – 0.1، من أجل النحاس الأصفر R = 0.12-0.13).

استهلاك الأكسجين أكثر بحدود 10-20% من أجل استهلاك الأستلين.

إن نوعية الوصلات اللحامية الغازية تتعلق بدرجة كبيرة بتكنولوجيا عملية اللحام الغازي وبارامترات ونظام اللحام المستخدم.

يـــتم داخـــل بـــوري اللحام الموصول باسطوانتي الأكسجين والاستيلين بوســـاطة خراطيم مطاطية، يتم مزج غازي الأكسجين والاستلين وخروجهما من فوهة (فالة) بوري اللحام للحصول على لهب اللحام Flame.

يـــتم اختـــيار البارامترات الأساسية لنظام اللحام تبعاً لنوع المادة الملحومة ولسماكتها. ومن هنا يجب تحديد شدة اللهب المطلوبة، وشكل اللهب، نوع وقطر معـــدن سلك الترسيب (قضيب اللحام) والتكنولوجيا المستخدمة في عملية اللحام. إذا كانت سماكة المادة الملحومة بحدود حتى (6-8mm) فيكفي درزة لحامية بشوط واحد، وبسماكة حتى 10mm يلزم طبقتين من اللحام وهكذا.

عـــند لحام العناصر الفوذلاية السميكة ينصح بتسخين القطعة قبل اللحام حـــتى درجـــة حرارة 250-300C° أو تسخين موضعي لمكان اللحام حتى درجة 650-700C°.

مـــن أجـــل الحصول على وصلة لحامية ذات متانة وجودة عاليتين ينصح بتغطية الدرزة اللحامية والتبريد البطيء لها.

تخـــتلف تكنولوجيا عملية اللحام الغازي أو اللحام بالقوس الكهربائي تبعاً لمادة العناصر الملحومة (فولاذ، حديد صب، ألمنيوم.....).

§ 4- تكنولوجيا لحام حديد الصب (الفونت):

تحدث داخل حديد الصب (الفونت) خلال فترة تسخينه وتبريده تحولات بنيوية مختلفة ذات تأثير هام على خواصه المختلفة، وتؤثر بالتالي على اختيار الطريقة المناســـبة لعملية اللحام. عند التسخين حتى درجة حرارة 500C° أو أكثر تبدأ في حديـــد الصـــب عملية تفكك السمنتيت ($Fe_3C \rightarrow 3Fe+C$). إن درجة تفكك السمنتيت تعتمد على درجة حرارة التسخين وزمنه، وكذلك على تركيب المعدن.

في حديـــد الصـــب الحاوي على نسبة مرتفعة من الكربون تحدث عملية التفكك بشكل شديد وسريع.

تـــتم عمليات لحام وتعبئة العناصر من حديد الصب باللحام بعد تسخين هـــذه العناصر بالكامل في أفران خاصة أو إجراء عملية تسخين موضعي في منطقة اللحام للعناصر الجسمية الكبيرة المحضَّرة من حديد الصب.

عملـــيات اللحام على الساخن كافة تتم بتسخين هذه العناصر حتى درجة حرارة 680C° أو أكثر.

إن البنية الكيميائية للمعدن تملك تأثيراً كبيراً على عملية لحامه.

الوصـــلات اللحامية للعناصر المحضرة من حديد الصب يجب أن تتمتع بمجموعة من الخصائص وتلبي المتطلبات التالية:

- **إمكانية تشغيلها بقلم قطع عادي.**
- **متانة درزة اللحام يجب أن لاتقل عن متانة المعدن الملحوم،**
- **يجب أن تكون منطقة التأثير الحراري حول الدرزة أقل ما يمكن،**
- **انتظام وتماثل متانة الوصلة،**
- **تمـــاثل البنـــية الكيميائـــية والتركيب بين سلك اللحام المستخدم والعنصر الملحوم.**

يمكن بشكل عام التمييز بين نوعين من عمليات لحام حديد الصب : لحام على الساخن، ولحام على البارد.

A- لحام حديد الصب على الساخن:

في هذه الحالة يتم تسخين القطع المطلوب لحامها بشكل مسبق في أفران خاصة أو بأية طريقة أخرى حتى درجة حرارة بحدود 650-680C°.

عمليات اللحام على الساخن تتم في أحواض خاصة معزولة حرارياً، ومن الضـــروري ألا تنخفض درجة حرارة العناصر خلال فترة اللحام عن 500C° مما يؤخـــر عمليـــة تبلور وتبريد المعدن المنصهر في الدرزة اللحامية، ويحسن من البنية البلورية ومواصفات هذه الدرزة. إضافة إلى ذلك فإن تسخين العنصر يساعد على تحرره من الاجهادات الداخلية المتشكلة خلال عملية تحضيره (بالسباكة) أو بسبب ظـــروف الاســـتثمار. عملية التسخين قبل اللحام يمكن أن تتم للعنصر بالكامل أو تســـخين موضـــعي في منطقة اللحام بواسطة اللهب الناتج عن شعلة رأس اللحام الغازي.

تتم عملية اللحام وفق التسلسل التالي: تنظيف وتهيئة مكان العطل (الشق أو الكسر)، تعبئة مكان التشققات وأسنان الشرار بالبودرة المانعة للتأكسد، إدخال القطعة إلى الفرن وتحميتها بصورة تدريجية وبمعدل (150÷250C°) في الساعة حتى درجـــة 680C° ومـــن ثم إجراء عملية اللحام أو ترسيب المعدن في مكان العطل، وكما بيّنا يجب الحفاظ على درجة حرارة القطعة الملحومة التي لا تقل عن 500C° درجـــة مئوية. وبعد انتهاء عملية اللحام يتم تسخين العنصر من جديد حتى درجة الحرارة 650-680C°، وبعد ذلك تتم عملية تبريد بطيء وتدريجي للعنصر (للوصلة اللحامـــية) وبســـرعة 50-60C° درجة مئوية في الساعة، مما يكسب درزة اللحام مواصفات ميكانيكية عالية.

ويجـــب الإشارة هنا إلى أن عملية اللحام يجب أن تتم باستخدام مركبات الحمايـــة (مساعدات الصهر Flux) والتي تلعب دوراً هاماً في عملية اللحام ويتمثل بما يلي: تحمي المعدن المنصهر من الأكسدة ومن التفاعل مع نتروجين الهواء، تمتص الأكاســـيد الضارة المتشكلة خلال عملية اللحام وترسبها في طبقة الخبث المتشكلة فوق الدرزة اللحامية، تزيد عن سيولة الخبث Slag وتمنع الفراغات والمسامات في

معـــدن الـــلحام وتزيد من اتزان القوس الكهربائي وتحقق انتظاماً لسطح وحواف اللحام.

مســـاعدات الصـــهر المستخدمة في لحام القوس الكهربائي هي عبارة عن مساحيق معدنية أو غير معدنية حبيبية تبلغ قياساتها 0.25-0.40 mm.

تشكل مساعدات الصهر بانصهارها كرة غازية خبيثة فوق منطقة القوس، وتـــتحول بعد انتهاء عملية اللحام إلى قشرة يدخل في تركيبها الأكاسيد والكبريت والفوسفور ويمكن نزعها بسهولة بالطرق الخفيف عليها.

مســـاعدات الصهر يمكن أن تكون منصهرة أو غير منصهرة. المساعدات المنصـــهرة تحضّر من أكاسيد وأملاح المعادن، أما المساعدات غير المنصهرة فتحضّر من المواد السيراميكية.

ينصـــح باستخدام طريقة اللحام على الساخن وذلك بالتسخين الموضعي بواسطة لهب شعلة الأكسجين والأستلين عند إصلاح وترميم الشقوق والكسور في أجســـام المحركات وماشابهها من العناصر الجسمية المصنعة من حديد الصب وعند وجود الشقوق في أعصاب أو أضلاع التقوية.

من أجل عملية لحام الشقوق في العناصر الجسمية المصنعة من حديد الصب يتم تنفيذ العمليات التالية:

- يتم تشكيل شطفة على حواف الشق بزاوية 70-80C°،
- تنظيف السطح بشكل جيد من الأوساخ والشحوم والزيوت،
- تســـخين موضـــعي لمـــنطقة اللحام بواسطة لهب شعلة الأكسجين-الاستيلين حتى درجة حرارة بحدود 900-950C°.
- يتم ملء مكان الشق والشطفة المشكلة بمادة مساعدة للصهر (مركب حماية مانع للتأكسد)،

- بواسطة اللهب يتم تسخين طرف السلك النحاسي الأصفر المستخدم في عملية اللحام وتقريبه من بداية الشق حتى ينصهر السلك ويتجمع داخل الشطفة المشكلة حول الشق مشكلاً الدرزة اللحامية. ومن حين لآخر يجب تغطيس نهاية سلك اللحام في مادة مساعدة الصهر.
- بعد انتهاء عملية اللحام وتغطية كامل الشق بالدرزة اللحامية من النحاس الأصفر يتم إبعاد رأس اللحام (اللهب) عن العنصر، ويتم تغطية الدرزة اللحامية برقائق أو ألواح من الأسبستوس (الحرير الصخري Asbestos) من أجل تحقيق عملية تبريد بطيء للمعدن.

إن الاختيار الصحيح لدرجة حرارة تسخين العنصر يساعد في الحصول على درزة لحامية كثيفة ومتناسقة على كامل السطح المراد تغطيته. في حين أن التسخين لدرجة حرارة أعلى من اللازم يؤدي إلى تشكل أكسيد الزنك على شكل طبقة بيضاء رقيقة حول درزة اللحام، أما درجة حرارة التسخين المنخفضة فتؤدي إلى تشكل حبيبات من النحاس الأصفر داخل الدرزة اللحامية.

B- لحام حديد الصب على البارد:

في هذه الحالة لا يخضع العنصر المطلوب لحامه وإصلاحه للتسخين، وفي هذه الحالة يكون حوض المعدن المنصهر المتشكل في منطقة اللحام، ذا حجم صغير نسبياً ويتجمد بسرعة.

في بعض الحالات يسمح بتسخين العنصر إلى درجة حرارة لا تزيد عن 400C°، وذلك من أجل التخلص من الإجهادات الداخلية داخل العنصر.

إن بساطة وسهولة عملية لحام حديد الصب على البارد (أو بوجود تسخين موضعي غير شديد) يعطي لهذه الطريق مجال استخدام واسع بالمقارنة بطرق اللحام على الساخن.

يـــتم تحديـــد سماكة (ارتفاع) الدرزة اللحامية تبعاً لنظام اللحام المستخدم وفقاً للعلاقة التالية:

$$h = R\sqrt[3]{I^4 / V_c U^2} \qquad (23\text{-}3)$$

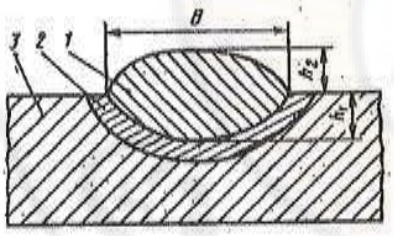
حيث: R- معامل،

I- شدة التيار الكهربائي (A)،

V_c- سرعة اللحام (mm/min)

U- التوتر (الفولطية) الكهربائي (V- فولط).

إن سماكـــة أو ارتفـــاع الدرزة اللحامية h يمثل مجموع عمق تغلغل درزة الـــلحام داخـــل جسم العنصر h_1 والارتفاع h_2 لتقوية الدرزة ($h = h_1 + h_2$)، حســـب مـــا هو مبين على الشكل (2-23). إن الارتفاع h ليس واحداً لمختلف الكترودات (قضبان) اللحام المغلفة بطبقات تغطية (حماية) مختلفة، ويقع عادة بحدود $h = 4 \div 7$ mm.



الشكل (2- 23) مقطع عرضي في الدرزة اللحامية.

1- معدن الدرزة (الترسيب)، 2- منطقة التأثير الحراري، 3- منطقة غير متأثرة من المعدن الأصلي. B- عرض الدرزة اللحامية. h- ارتفاع درزة اللحام.

من أجل تقييم أو تقدير أثر مكونات مادة (قضيب اللحام) تستخدم النسبة h_1/h_2.

إن مـــواد القضـــبان الحاوية على نسبة عالية من الأكسجين (على شكل أكاسيد معادن أو نترات) من أجل الدرزات اللحامية ذات النسبة $h_1/h_2 > 1.75$ تســـاعد عـــلى تحول الإلكترود المعدني إلى قطرات صغيرة منصهرة وتساعد على زيادة تشكل الغازات. إن معدن العنصر المعالج يقع تحت تأثير درجة الحرارة العالية

للهب أو قوس اللحام وهذا يؤدي إلى بعض التحولات البنيوية للمنطقة القريبة من مكـــان الـــلحام التي تعرف بمنطقة التأثر الحراري (المنطقة 2 على الشكل 2-23)، وهذا يوافق انصهار عميق لمعدن العنصر.

بالنسبة لمواد القضبان الحاوية على مواد مؤكسدة فعالة (غرافيت، منغنيز ، ســـليكون وماشـــابهها) ومن أجل $h_1/h_2<1.5$، فإن هذا يؤدي إلى تقليل انصهار المعدن الأصلي المعالج .

تستخدم عمليات اللحام على البارد غالباً من أجل إصلاح ولحام الشقوق والثقوب في جدران العناصر الجسمية الرقيقة وذات الحجوم الكبيرة نسبياً والمصنعة من حديد الصب، والتي تتطلب عمليات تشغيل ميكانيكي بالقطع بعد اللحام.

إن الاختبارات الهيدروليكية المجراة على العناصر بعد إجراء عمليات اللحام للـــتخلص من الشقوق والثقوب، تظهر أنه في منطقة اللحام يمكن أن ترشح كمية قليلة من الرطوبة (النداوة). يمكن تفسير ذلك بأنه عند لحام حديد الصب (وخاصة عـــلى البارد) يمكن أن تظهر في الدرزة اللحامية بعض المسامات الدقيقة. من أجل التخلص من هذا العيب تستخدم الطرق التالية:

- تطـــريق الدرزة اللحامية بمطرقة هوائية (مكبس) عدة طرقات خفيفة، وهذا بدوره يقلل من تشكل الإجهادات الداخلية داخلها.
- زيـــادة كثافة الدرزة (منع التسرب) بواسطة مسحوق معدني، يعمل عـــلى ســـد الثقوب والمسامات في العنصر كافة. حيث يملأ تجويف العنصـــر بمحلـــول من الزجاج المائي والبودرة المعدنية وتحت الضغط 600-700 k.Pa ودرجة حرارة $80\text{-}100C^{o}$، وعند ظهور هذا المزيج مـــن خـــلال الشـــق أو المســـامات في الـــدرزة يخفض الضغط إلى

300 K.Pa، تستمر هذه العملية حتى يتوقف تسرب هذا المزيج من خلال مسامات الدرزة اللحامية.

- تحت ضغط 400-700 K.Pa يتم تمرير محلول من كلوريد الأمونيوم (كلوريد النشادر Ammonium)، حيث يتم في هذه الحالة سد المسامات والثقوب كافة بإحكام بنواتج الصدأ الشديد (التآكل Corrosion).

ترسيب طبقة من البوليمرات المناسبة فوق الدرزة اللحامية. هذه الطريقة يمكن أن تستخدم بنجاح في ورش الإصلاح بعد اللحام بالقوس الكهربائي على البارد، على سبيل المثال بعد لحام جدار قميص التبريد لكتلة الاسطوانات في محركات الاحتراق الداخلي.

§ 5- لحام الألمنيوم وخلائطه:

إن لحام العناصر المحضرة من الألمنيوم أو من خلائط الألمنيوم على درجة من الصعوبة، وهذا مرتبط بتشكل طبقة رقيقة من أكسيد الألمنيوم Al_2O_3 المقاوم للانصهار على سطح العنصر، حيث أن درجة انصهار هذا الأكسيد مرتفعة جداً وهي بحدود 2050C°.

هذه الطبقة الرقيقة من الأكاسيد تعيق التحام العناصر الملحومة مع بعضها، مع العلم أن درجة حرارة انصهار الألمنيوم هي بحدود 658C°.

إن معامل التمدد الطولي (Coefficient of liner expansion) للألمنيوم أكثر بمرتين، ومعامل التوصيل الحراري Thermal Conductivity أكثر بثلاث مرات من قيم هذه البارامترات لمعدن الفولاذ، وهذا ما يسبب حدوث تشوهات كبيرة للعناصر الملحومة.

يـــتم لحـــام العناصر من الألمنيوم وخلائطه بالقوس الكهربائي أو باللحام الغـــازي عـــلى حد سواء وباستخدام الكترودات معدنية منصهرة أو غرافيتية غير منصـــهرة وذلك في وسط خامل (غير فعّال). يمكن أن تتم عملية اللحام يدوياً أو آلياً.

في عمليـــات اللحام اليدوي يتم استخدام الكترودات معدنية مغلفة بطبقة حمايـــة خاصـــة. وتتم عملية اللحام في وسط خامل عن طريق تغذية منطقة اللحام بتيار من غاز الأرغون الذي يحمي الدرزة اللحامية من أكسجين ونتروجين الهواء.

الطريقة الأفضل لعملية اللحام هي اللحام مع تطبيق حقل مغناطيسي طولي عـــلى الإلكترود وذلك بمساعدة ملف كهربائي لولبي يتوضع على حملاج (بوري) الـــلحام. هذا الحقل المغناطيسي يؤدي إلى اهتزاز الإلكترود ومعدن حوض اللحام، وهـــذا بـــدوره يسبب تغيير مخطط أو آلية تبلور المعدن المنصهر ويشتت أكاسيد الألمنيوم، ويقلل قابلية الدرزة اللحامية لظهور الشقوق فيها بحدود 30-50%.

وتســـتخدم في الصـــناعة أيضـــاً عمليات لحام خلائط الألمنيوم بالقوس الأرغوني باستخدام الكترودات غير منصهرة من التنغستين، ويستخدم للترسيب في منطقة اللحام قضبان من خلائط الألمنيوم تناسب وتماثل المادة الملحومة.

يســـتعمل في عمليات اللحام بالقوس الأرغوني بوري لحام خاص (حملاج أو مشعل) يقوم بإمساك الكترود التنغستين وتوصيل التيار إليه وتوجيه تيار من غاز الأرغـــون الواقي إلى منطقة اللحام. ولايتطلب اللحام بالقوس الأرغوني استعمال مـــواد تغطية (Flux)، ويحقق خواص ميكانيكية عالية للحام وذات مقاومة عالية للصدأ، من السهل مكننته.

ويبين الجدول (1-23) أنظمة (بارمترات) لحام الألمنيوم بالقوس الأرغوني.

الجدول (1-23) نظام اللحام بالقوس الأرغوني لخلائط الألمنيوم وبالكترود من التنغستين.

سماكة العنصر الملحوم (mm)	قطر (mm)		شدة تيار اللحام (A)	استهلاك الأرغون L/min	توتر التيار (V)
	الإلكترود	فوهة بوري اللحام			
1	1	5	45-55	4-5	22-24
2	1-2	5-7	70-85	7-8	22-24
3	3	5-9	100-120	8-9	22-24
4	4	12-16	170-200	8-9	22-24
5	5	14-18	180-200	9-10	22-24
6	5	14-18	220-240	9-10	20-22
7-10	5	14-18	240-280	10-12	20-22

مساعدات الصهر الخاصة وأغلفة الإلكترودات (مكونات الخبث Flux) المستخدمة في عمليات لحام الألمنيوم وخلائطه تحتوي على أملاح فلور أو كلوريد الصوديوم، البوتاسيوم، الكالسيوم. ولا يستخدم هنا الزجاج السائل للتأثير على الألمنيوم. وفي الجدول (2-23) مبين تركيب خمسة أنواع من مكونات مساعدات الصهر المستخدمة في عمليات اللحام الغازي وبالقوس الكهربائي للألمنيوم وخلائطه.

الجدول (2-23) مكونات مساعدات الصهور (مكونات الخبث) (كنسبة مئوية %) المستخدمة في عمليات اللحام الغازي والقوسي للألمنيوم.

مكونات مساعدات الصهر	نسبة العناصر %				
	1	2	3	4	5
كلوريد الصوديوم	20	-	45	28	33
كلوريد البوتاسيوم	50	50	30	50	45
فلور الصوديوم	-	50	-	8	3.5
فلور البوتاسيوم	10	-	15	-	-
كلوريد الليثيوم	-	-	10	14	15
فلور الليثيوم	-	-	-	-	3.5
كلور الباريوم	20	-	-	-	-

§ 6- التغطية السطحية بواسطة اللحام (التعبئة باللحام) :

إن طـــريقة التغطـــية السطحية باللحام (deposition) تمثل طريقة فعالة وناجحة في مجال تجديد وإصلاح عناصر الآلات المتآكلة وإعادتها إلى حالتها الأولية من حيث الأبعاد والشكل الهندسي.

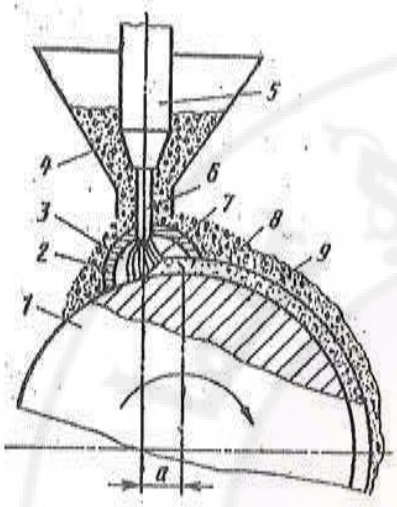
فهـــذه الطـــريقة تساعد على ترسيب طبقة من المعدن فوق سطح العنصر المعـــالج بالســـماكة المناســـبة وبالتركيب الكيميائي المطلوب بحيث تحقق القساوة (hardness) ومقاومـــة الاهـــتراء Wear resistance المطلوبتين للعنصر. ومن الضـــروري في غالبية الحالات إجراء عمليات التشغيل الميكانيكي بالقطع (خراطه- تفريـــز- قشط ...) للسطح الذي تمت تغطيته بالترسيب من أجل الحصول على دقة الأبعاد والشكل الهندسي والنعومة المناسبة لهذا السطح.

في عملـــية التغطية السطحية باللحام تستخدم أساليب وطرائق تكنولوجية مختـــلفة: الترسيب (التغطية) تحت طبقة من الفلكس، الترسيب المحجوب بغاز ثاني أوكسيد الكربون، التغطية السطحية بأسلاك (قضبان) من المساحيق بدون استخدام مواد الحماية والتغطية وغيرها الكثير باستخدام مختلف طرائق اللحام.

6-1 الترسيب الأوتوماتيكي تحت طبقة من الفلكس:

خـــلال عملية ترسيب المعدن هذه يتم تغذية منطقة اشتعال القوس بطبقة مـــن الفلكـــس الســـائب (سريع الانهيار)، والذي يتكون من حبيبات ناعمة غير متماســـكة، كما في الشكل (3-23). تحت تأثير درجة الحرارة العالية ينصهر جزءاً من مادة التغطية (الفلكس) مشكلة حول منطقة القوس قشرة (غلاف) تعمل على حماية المعدن المنصهر من تأثير الأكسجين والنتروجين (الآزوت) الموجود في الهواء. بعـــد ذلـــك عـــندما يزاح القوس الكهربائي يتصلب المعدن المنصهر مع الفلكس مشـــكلاً على سطح المعدن قشرة من الخبث (Slag) القصيف. أما طبقة الفلكس

التي لم تنصهر يمكن استخدامها ثانية في عملية التغطية. تستخدم عمليات ترسيب المعدن تحت طبقة من الفلكس بشكل واسع في عمليات إصلاح وتجديد عناصر محركات السيارات والجرارات والمعدات والآلات الزراعية وغيرها من الآلات.



الشكل (3- 23) مخطط عملية الترسيب الأتوماتيكي للمعدن تحت طبقة من الفلكس، حيث: 1- العنصر المعالج، 2- قشرة من الفلكس المائع، 3- قشرة مرنة، 4- قادوس الفلكس، 5- منفث، 6- الكترود، 7- القوس الكهربائي، 8- قشرة من الخبث، 9- طبقة المعدن المرسب، a- مقدار انزياح رأس الالكترود.

إن عملية الترسيب الأتوماتيكي تعتبر فعالة وناجحة عندما تكون سماكة الطبقة اللازم ترسيبها أكثر من 3mm، على سبيل المثال، عند إجراء عمليات الترسيب على عناصر نقل الحركة في الجرارات والآلات الزراعية، كراسي المحامل، الأعمدة، المداحل والدحاريج وغيرها.

إن تشوهات العنصر المعالج تزداد كلما كان عمق الطبقة المنصهرة من العنصر بسبب الحرارة، أكبر، وهذا شيء غير مرغوب فيه.

إن العامل الرئيسي الأكثر تأثيراً على عمق الإنصهار هو شدة التيار الكهربائي. يعطى عمق الانصهار h بالعلاقة التالية:

$$h = K\sqrt[3]{I^4 / V_H U^2} \qquad (23\text{-}4)$$

حيث: I- شدة التيار الكهربائي (A)،

V_H- سرعة عملية الترسيب – (mm/min)،

U- التوتر الكهربائي بالفولط (V).

كذلك فإن التوضع النسبي بين الالكترود والعنصر هو من العوامل المؤثرة على عمق الصهر. كما أن عمق الصهر يتناقص بزيادة الطول الحر للالكترود.

إن نوعية المعدن المستخدم للترسيب ومقاومته للاهتراء Wear Resistance تعتمد على نوعية وماركة الإلكترود، الفلكس المستخدم (مواد التغطية) وعلى نظام الترسيب.

من أجل ترسيب الفولاذ منخفض الكربون والفولاذ منخفض السبائكية تستخدم الكترودات (قضبان) من الفولاذ منخفض الكربون (ماركة CB-08 و CB-08A) (حسب العيارية الروسية).

كما بينا سابقاً فإن مواد التغطية (الفلكس – Flux) المستخدمة لحماية المعدن المنصهر من الأكسدة، هي إما مواد قابلة للانصهار أو مواد خزفية (سيراميكية) أو على شكل فلكس مركب (خليط).

خلال عملية الترسيب يمكن أن تظهر بعض العيوب مثل:

a- عدم انتظام عرض وارتفاع طبقة المعدن المرسبة وذلك بسبب اهتراء فوهة رأس اللحام.

b- زيادة كبيرة في الطول الحر للاكترود.

c- تدفق شديد (فيضان) للمعدن بسبب الزيادة الشديدة في شدة التيار الكهربائي، أو بسبب الإزاحة غير الكافية لذروة الاكترودات.

d- وجود المسامات في طبقة المعدن المرسبة وذلك بسبب ارتفاع رطوبة الفلكس المستخدم (حيث يجب تجفيف الفلكس في درجة حرارة بحدود 250-300C° ولمدة تتراوح 1.5-1 ساعة).

c- عدم استقرار أو توازن القوس الكهربائي وذلك بسبب التلامس غير الموثوق (غير المتين).

إن جـــودة عملية تعمير (تجديد) وإصلاح العناصر تتأثر بشكل كبير بنظام عملية الترسيب وفي الجدول (3-23) مبين أنظمة الترسيب المستخدمة.

الجدول (3-23) علاقة نظام الترسيب المستخدم بقطر العنصر المعالج (الجاري إصلاحه).

قطر العنصر المعالج (mm)	قطر الالكترود (mm) قضيب الترسيب	إزاحة الذروة (mm)	خطوة الترسيب (mm)	شدة التيار الكهربائي (A)	السرعة m/h	
					تغذية قضيب الترسيب (اللحام)	الترسيب
50-60	1,6	2-4	3	140-150	75-80	16-24
61-75	1,6	3-4	3,5	170-180	110-115	15-28
76-100	2	5-7	7,5	180-200	125-130	16-32
101-200	2-3	8-10	5,6	220-250	160-170	16-32
201-300	2-3	10-15	6,7	250-280	180-190	16-36

6-2 التغطية السطحية بقضبان من المساحيق المعدنية:

إن اســـتخدام قضبان أو أسلاك محضرة من المساحيق في عمليات ترسيب المعادن على عناصر الآلات بغية تجديدها وإصلاحها أعطت نتائج جيدة. يدخل في تركيـــب هذه القضبان سبائك الحديد والكروم، سبائك الحديد والتيتانيوم، سبائك الحديد والمنغنيز، بالإضافة إلى مساحيق (بودرة) من الحديد والجرافييت.

عمليـــة الترسيب يمكن أن تتم تحت طبقة من الفلكس أو في وسط حماية غـــازي (غاز ثاني أكسيد الكربون)، ولكن عند إدخال بعض المركبات المناسبة في تركيب هذه القضبان، يمكن إجراء عملية الترسيب دون استخدام الفلكس أو الغاز لحماية المعدن المنصهر.

يـــتم تحضـــير هذه القضبان بواسطة السحب Drawing على ماكينات خاصـــة. المـــادة الأساسية المستخدمة في عملية تحضير هذه القضبان هي عبارة عن شـــريط مـــن الفولاذ منخفض الكربون Low Carbon Steel ومسحوق معدني يحتوي على العناصر المطلوبة والمناسبة.

يستخدم نوعان رئيسيان من قضبان المساحيق في عملية الترسيب:

a- قضبان للترسيب تحت طبقة الفلكس،

b- قضبان للترسيب بالقوس المكشوف بدون أية حماية إضافية.

إن طرطشـــة مادة الإلكترود المنصهرة، خلال عملية الترسيب باستخدام قضبان المساحيق، تتناقص عند استخدام منبع كهربائي بتيار مستمر وتوتر منخفض (20-21 v).

إن استخدام قضبان المساحيق في عمليات الترسيب وتحديد عناصر الآلات المتآكلة يساعد على تخفيض استهلاك قضبان اللحام (مواد الترسيب). فعلى سبيل المـــثال، من أجل الحصول على 1kg من المعدن المرسب يتم استهلاك 1.6 kg من الإلكترودات العادية، أما عند الترسيب باستخدام قضبان المساحيق وتحت طبقة من الفلكس أو بالقوس المكشوف فيلزم بحدود (1.15-1.25) من القضبان .

مـــن أجل غالبية أنواع وماركات قضبان المساحيق المذكورة أعلاه، فإن معـــامل الترســـيب Deposition Coefficient بحدود (13-15g/(A.h (غرام/ آمـــبير.ســـاعة)، أي أن قيمة هذا المعامل هي أكبر بكثير من قيمته عند الترسيب باستخدام إلكترودات عادية.

تـــتم عملية ترسيب قضبان المساحيق هذه باستخدام تيار كهربائي مستمر ذي قطبـــية عكســـية. إن قطر الإلكترود (قضيب الترسيب) المستخدم يعتمد على سماكـــة طـــبقة المعدن المطلوب ترسيبها فوق العنصر، بالإضافة إلى مقدار التسامح

التشـــغيلي (الطـــبقة الزائدة (Machining allowance) اللازم لعملية التشغيل الميكانـــيكي بعد الترسيب وهي بحدود mm,(0.8-1.5) من كل جهة. كما ويتم اختـــيار شـــدة التـــيار الكهـــربائي تـــبعاً لسرعة عملية الترسيب وقطر القضيب (الالكترود) المستخدم.

على الجدول (4-24) مبين أنظمة ترسيب أسلاك وشرائط المساحيق المعدنية.

الجدول (4-23) أنظمة الترسيب التي ينصح بها في عمليات ترسيب قضبان وشرائط المساحيق.

نوع عملية الترسيب	سرعة الترسيب (m/h)	التوتر (V)	شدة التيار (A)	ماركة المادة المرسبة (قضبان وشرائط المساحيق)
تحت طبقة فلكس ماركة AH200	15-30	28-36	700-1000	PL-17(10×20C3P4), TYNƏC 108-75
بالقوس المكشوف	20-50	28-34		
تحت طبقة فلكس ماركة ΠH – 348 A	15-40	28-36	600-1000	PL126(20×2P2m), TYNƏC 107-75
بالقوس المكشوف	45-60	28-34		
تحت طبقة فلكس ماركة AH-200	17-23	32-34	700-750	OL 101(y30×25H3C3) Ty 48-19-43-73
بالقوس المكشوف	40-45	28-30		

6-3 ترسيب المعدن المحجوب (المحمي) بالغازات الواقية:

تقسم الغازات المستخدمة لحماية منطقة ترسيب المعدن باللحام إلى نوعين رئيسيين:

a–غـــازات قابلـــة للـــتفاعل مع المعدن مثل الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون والآزوت).

b– غازات خاملة (غير نشطة كيميائياً) مثل الآرجون والهيليوم.

ويحظى غاز ثاني أكسيد الكربون والآرغون بأوسع انتشار في هذا المجال.

الأرغـــون هو غاز غير قابل للاشتعال أو الانفجار، يتم الحصول عليه من الهواء بواسطة التبريد الشديد ويحفظ وينقل في اسطوانات وهو في الحالة الغازية.

أمـــا غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 فهو غاز شفاف ذو رائحة ضعيفة. يمكن الحصول على غاز ثاني أكسيد الكربون من الغازات الناتجة عن تحميص الجير أو احـــتراق الكوك في أفران خاصة أو من غازات التخمير أو من الغازات الطبيعية للمناجم. ويتحول ثاني أكسيد الكربون تحت الضغط إلى سائل.

إن غـــاز ثـــاني أكسيد الكربون السائل عبارة عن سائل شفاف، يعبأ في أسطوانات فولاذية.

ترسيب المعدن المحجوب بغاز ثاني أكسيد الكربون:

هـــذه الطـــريقة تختلف بدرجة كبيرة جداً عن باقي الطرق المستخدمة في تجديـــد وإصـــلاح عناصـــر الآلات باللحام، حيث لا يلزم استخدام أي نوع من مركـــبات الحماية أو التغطية (الفلكس)، كذلك فإن الإلكترودات المستخدمة هي من النوع العادي (غير المغلف بأية طبقة من مركبات الحماية).

إن القـــوس الكهربائي المتشكل بين الإلكترود والعنصر المعالج يشتعل تحت تيار غازي مندفع ويعمل على طرد أو إبعاد الهواء الجوي عن منطقة اللحام ويحمي المعدن المنصهر من تأثير الأكسجين والنتروجين الموجود في الهواء.

إن عمليـــة الترســـيب الأتوماتـــيكي للمعادن في وسط غازي من ثاني أكسيد الكربون تتمتع بالمزايا والأفضليات التالية:

a-في هـــذه العمليـــة لا توجد أية نواتج أو مفرزات ضارة بالصحة ولا تتشكل قشرة الخبث على سطح المعدن؛

b-إن القـــوس غـــير المغطـــى بطبقة الفلكس يسمح بمراقبة هذه العملية وتصحيحها عند اللزوم؛

c-كذلـــك تسمح بإجراء عملية الترسيب في أية وضعية للسطح المعالج، حيث لا يلزم أن يكون السطح أفقياً من أجل توضع مواد التغطية.

d-يمكن أتمتة عملية الترسيب المنفذة على العناصر الصغيرة نسبياً.

في عملية التغطية بالترسيب هذه تستخدم المواد التالية:

CB-0.8G2C ؛ CB12×13 ، CB-06×19H9T ،CB-18×MA، وقضبان مساحيق معدنية ماركة وغيرها.

يتم دفع غاز ثاني أكسيد الكربون من أسطوانة فولاذية خاصة عبر خرطوم مطـــاطي إلى رأس منفث (فوهة) ومنه إلى منطقة اللحام، بحيث يحيط بقوس اللحام من جميع الجهات ويعمل على طرد الهواء الجوي من منطقة اللحام.

بالنســـبة لســـرعة تغذيـــة قضـــيب اللحام فهي تعتمد على شدة التيار الكهـــربائي، ويـــتم تحديدهـــا بحيث لا تحدث خلال عملية الترسيب عملية قصر (تقصير) للدارة الكهربائية وتقطع للقوس. يتم تحديد سرعة الترسيب اعتماداً على سماكـــة طـــبقة المعدن المرسبة وعلى نوعية أو طبيعة تشكل الطبقة المرسبة. عملية ترسيب القضبان تتم وفق خطوه (2.5-3mm).

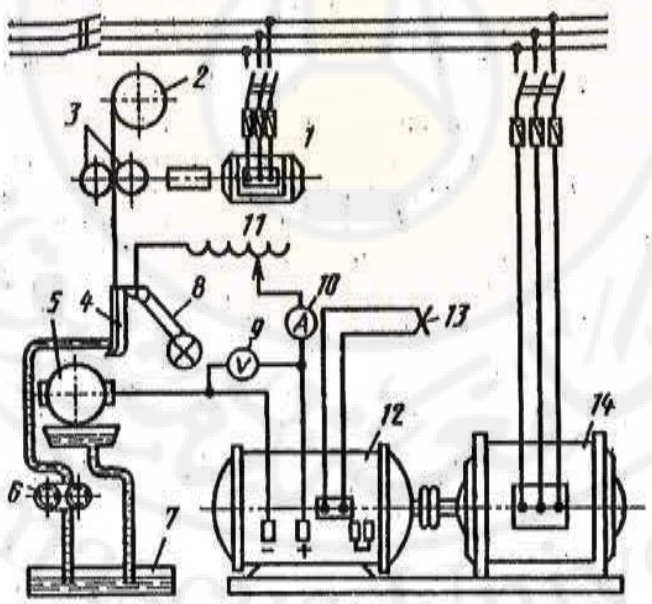
إن قســـاوة المعـــدن المرسَبة فوق العنصر المعالج تعتمد على نوعية وماركة قضيب اللحام (الإلكترود) المستخدم للترسيب وتقع بحدود 200-300HB.

6-4 الترسيب بالقوس الاهتزازي:

الترســـيب بـــالقوس الاهـــتزازي (المهتز) هو شكل من أشكال عمليات الترسيب (اللحام) بالقوس الكهربائي باستخدام الكترود معدني. تتم عملية ترسيب

المعـــدن أثناء اهتزاز الالكترود وبوجود تغذية التبريد Cooling Liquid إلى طبقة المعدن المرسبة.

عـــلى الشكل (4-23) مبين المخطط المبدئي لآلية ترسيب قوسية اهتزازية تحـــتوي على مولد اهتزازات Vibration generator كهروميكانيكي، والأرقام المبينة على الشكل ترمز إلى مايلي: 1- محرك الآلية الخاصة بتغذية قضيب الترسيب، 2- بكـــرة قضبان الترسيب، 3- دحاريج من أجل تغذية القضيب، 4- فوهة أو منفـــث الـــرأس، 5- العنصر الجاري معالجته بالترسيب، 6- مضخة من أجل دفع ســـائل التبريد إلى منطقة الترسيب، 7- خزان سائل التبريد مع حوض للترسيب، 8- ذراع توصـــيل مولـــد الاهـــتزازات الميكانيكي، 9- مقياس التوتر الكهربائي (الفولطـــية)، 10- مقـــياس آمـــبير، 11- ملف حثي (ملف خانق)، 12- مولد كهربائي، 13- مغيّر مقاومة المولد، 14- محرك كهربائي.



الشكل (4- 23) المخطط المبدئي لآلية ترسيب قوسية اهتزازية.

يثبت على عربة المخرطة (careg) رأس ترسيب (طراز OKC-6569 أو OKC-1252) ومن أجل تغذية القوس الكهربائي يستخدم منبع تيار مستمر.

يوضع العنصر المعالج بين ذنبتي المخرطة ويدور بسرعة بطيئة. ويتقدم من السطح المعالج للعنصر قضيب الترسيب بمساعدة الدحاريج (الدلافين) 3 وعبر فوهة الرأس (المنفذ) 4 الذي يقوم بحركة اهتزازية (ترددية). يحصل رأس الترسيب 4 أو المنفث على حركته الاهتزازية من ميكانيزم مرفقي (لامركزي) يتصل معه بواسطة ذراع التوصيل 8. وبسبب ذلك فإن الرأس 4 يلامس سطح العنصر المعالج بشكل دوري ويترسب عليه بتأثير عملية تفريغ كهربائي (Electrical discharge) نبضي واردة من المولد.

بتأثير مولد الاهتزازات فإن فوهة الرأس 4 (المنفث) مع القضيب تهتز بتردد قدره 110 Hz وسعة اهتزاز تتراوح عملياً بحدود 1.8-3.2 mm.

إن اهتزاز الإلكترود خلال عملية الترسيب يضمن استقرار العملية وذلك بسبب التحريض المتكرر لعملية التفريغ القوسي. بفضل اهتزاز الإلكترود فإن عملية الترسيب يمكن أن تتم بتوتر كهربائي منخفض (12-18 فولت).

سائل التبريد المستخدم، والذي يدفع فوق المعدن المرسب، يعمل على حمايته من الأكسدة، وهو عبارة عن محلول مائي لملح الصوديوم بنسبة 4-6%.

إن درجة ونوعية التحام (اتحاد) المعدن المرسب مع معدن العنصر الأصلي يعتمد على عدة عوامل، أهمها:

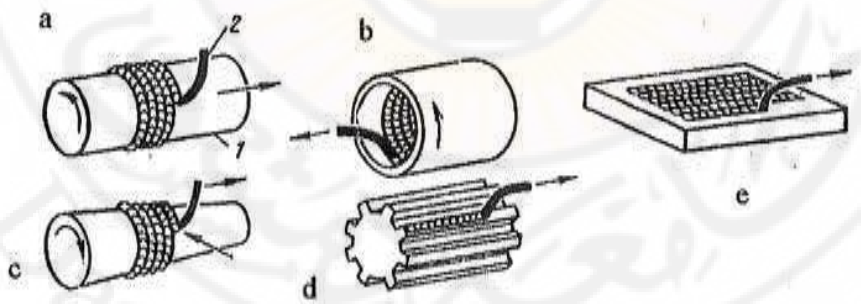
قطبية التيار الكهربائي، خطوة ترسيب المعدن وهي عبارة عن مقدار تغذية طاولة آلة التشغيل خلال دورة واحدة، زاوية تغذية أو توضع الإلكترود بالنسبة للعنصر، درجة تنظيف وتحضير سطح العنصر قبل الترسيب، سماكة الطبقة المرسبة وغيرها من العوامل.

يمكـــن الحصول على لحام ذي جودة ونوعية عالية باستخدام لحام عكسي القطبـــية (الإلكترود موصول على القطب الموجب والعنصر إلى القطب السالب). خطوة الترسيب المناسبة هي 2.3-2.8 mm/r، زاوية مثل الالكترود بالنسبة للعنصر بحدود 15-30 درجة.

ســـرعة تغذيـــة الإلكـــترود يجب أن لا تزيد عن 1.65 m/min، سرعة الترسيب بحدود 0.5-0.65 m/min، سماكة طبقة الترسيب التي تحقق أفضل التحام وامتزاج مع معدن العنصر الأصلي هي 2.5 mm.

تعـــتمد بنـــية وقساوة طبقة المعدن المرسبة على التركيب الكيميائي لمعدن الإلكترود وكمية سائل التبريد. المؤشر الأساسي لمتانة العنصر المعالج بالترسيب هو التعـــب (الكلال)، والذي يعتمد على ثلاثة بارامترات أساسية: كمية سائل التبريد المدفوع إلى منطقة الترسيب، خطوة الترسيب وسرعة الترسيب.

إن تكنولوجيا الترسيب القوسي الاهتزازي تتناول تحديد وإصلاح العناصر ذات الســـطوح الإسطوانية والمخروطية الداخلية والخارجية بالإضافة إلى السطوح المستوية، وذلك كما هو مبين على الشكل (5-23).



الشكل (5- 23) مخطط الترسيب الاهتزازي للسطوح الاسطوانية المتآكلة الخارجية (a) والداخلية (b)، وللسطوح المخروطية الخارجية (c) والأعمدة المحددة (d)، وللسطوح المستوية (e).

مـــن أجل الترسيب فوق السطوح الاسطوانية الداخلية للعناصر يتم توضع (تركيـــب) رأس الترسيب على آلة التشغيل (المخرطة) بحيث يتطابق مستوى فوهة الـــرأس مع محور العنصر المعالج. وفي هذه الحالة يقوم العنصر بحركة دورانية ورأس الترســـيب يقـــوم بحـــركة تقدمية خطية. ويتم الترسيب فوق السطوح المخروطية (شكل 23-5,c) بحيث يكون دخول قضيب الترسيب من الجانب بالنسبة للعنصر. ويـــتم إعطاء الحركة العرضية اللازمة للرأس بشكل يدوي. من أجل الترسيب على الســـطوح المســـتوية يتم وضعها بشكل أفقي وتثبيتها، أما رأس الترسيب فيتحرك بشكل يوازي محور العنصر (شكل23-5,e). سماكة طبقة ترسيب واحدة تبعاً لنظام الترسيب يقع بحدود mm(3-0.5).

ومـــن أجـــل سماكـــات ترسيب أكثر من ذلك يمكن تنفيذ عدة طبقات للحصول على السماكة المطلوبة للمعدن.

يـــتم تحديـــد سرعة الترسيب (m/min) تبعاً لعدد دورات العنصر أثناء الترسيب والتي تتحدد بالعلاقة:

$$n = 250\frac{d^2 V_f \eta}{SDh}, \quad r.p.m \qquad (23\text{-}4)$$

حيث d- قطر قضيب الترسيب (الالكترود)، mm؛

V_f- سرعة تغذية القضيب، mm/min ؛

S- خطوة الترسيب، mm/r؛

D- قطر العنصر المعالج، mm؛

h- سماكة الطبقة المرسبة mm؛

η- معامل الترسيب ويقع بحدود (η= 0.85-0.980).

مـــن الممكن أيضاً إجراء عملية الترسيب بالقوس الاهتزازي (المهتز) تحت طبقة من الفلكس، وهذه العملية لها العديد من الميزات:

a) تعطي إمكانية ترسيب المعدن فوق الجزء المتآكل فقط من العنصر، وهذا يقلل من صعوبة عمليات التشغيل الميكانيكي اللاحقة.

b) الحصول على طبقة معدن خالية من المسامات والشقوق؛

c) التشوه الحراري للعنصر يكون بحدوده الدنيا؛

d) منطقة التأثير الحراري في العنصر أقل ما يمكن.

نظام الترسيب المثالي يتحقق بالبارامترات: توتر كهربائي 28-30 فولت وشدة التيار 70-75 آمبير (قطر قضيب الترسيب 1.6 mm) وسرعة تغذية القضيب 1.3 m/min وسرعة الترسيب (0.5-0.6) m/min وسعة اهتزاز رأس الترسيب (2- 1.8).

إن سلبية عملية الترسيب بالقوس الاهتزازي تتمثل بتناقص مقاومة التعب للعناصر المعالجة بحدود 40%. لذلك يتطلب الأمر أحياناً إجراء معالجة حرارية heat treatment للعناصر لإكسابها المتانة التعبية المطلوبة.

الطريقة الأكثر بساطة وسهلة التحقيق لتقليل الإجهادات في العناصر ورفع متانة التعب هي طريقة التمتين السطحي عن طريق دحرجة (Spinning) السطح المعالج بالدلافين بعد عملية التشغيل الميكانيكي الانهائي للعنصر.

توجد أسباب عديدة تؤثر على عملية الترسيب ويمكن أن تؤثر سلبياً مسببة أخطاء أو تشوهات مختلفة، ونبين فيما يلي بعض الحالات:

- **فعلى سبيل المثال، إن عدم التمازج الجيد بين المعدن المرسب مع المعدن الأصلي** للعنصر يحدث بسبب صغر خطوة عملية الترسيب (أقل من 1.1 mm/r) وبسبب انخفاض التوتر الكهربائي (أقل من 12 فولت).

- **الطرطشة الشديد لمعدن الالكترود المنصهر** أثناء اللحام يمكن أن تحدث بسبب عدم كفاية تحريض (حث Induction) دارة اللحام، وبسبب التوضع الزاوي غير

الصحيح لرأس الترسيب بالنسبة للعنصر المعالج، وبسبب تدفق سائل التبريد إلى القوس مباشرة.

- **التشكل غير المناسب أو السيء للطبقة المرسبة:** (عدم انتظام سماكة الطبقة وماشابه) وعدم استقرار عملية الترسيب بشكل عام يمكن أن يكون نتيجة لضعف شدة التيار الكهربائي أو التحريض الشديد لدارة اللحام، أو بسبب التوضع الزاوي غير الصحيح لرأس الترسيب بالنسبة للعنصر، وكذلك يمكن أن يحدث ذلك إذا كانت تغذية سائل التبريد قريبة جداً من القوس الكهربائي.

- **إن تشكل الفجوات الغازية والمسامات داخل طبقة المعدن المرسبة** يمكن أن يحدث نتيجة لتوضع الرأس بزاوية غير مناسبة بالنسبة للعنصر، وبسبب الاهتزاز غير الصحيح للإلكترود وكذلك نتيجة لوجود بعض الأوساخ والشوائب على قضيب الترسيب.

- **تشكل الشقوق داخل الطبقة المرسبة:** يحدث عند ترسيب قضبان لحام من الفولاذ عالي الكربون المرن وبوجود تغذية لسائل التبريد. من أجل الحد من تشكل وحجم الشقوق في المعدن المرسب يتم تغذية سائل التبريد إلى مكان مجاور لمنطقة الترسيب ويبعد عنها بحدود (20-40 mm) بالإضافة إلى التقليل من غزارة هذا السائل.

المبحث الرابع والعشرون
تجديد عناصر الآلات بواسطة بخ المعادن
وترسيب مساحيق المعادن

§ 1- تغطية سطوح العناصر بطريقة بخ المعدن المنصهر:

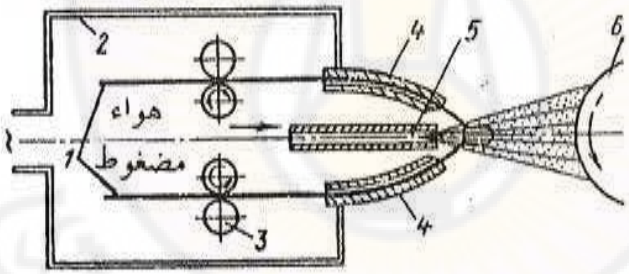
إن عملية البخ (رش) المعدني (Metabolizing Process) هي واحدة من أكثر الطرق انتشاراً واستخداماً في مجال تجديد وإصلاح عناصر الآلات، ومن أجل الحصول على طبقة تغطية معدنية لهذه العناصر، وذلك عن طريق بخ المعدن المنصهر على سطح العنصر المعالج.

إن جوهر هذه العملية يتمثل ببخ المعدن المنصهر [بواسطة القوس الكهربائي (بخ معدني قوسي) أو باشتعال غازي الاستيلين والأكسجين (بخ معدني غازي)] تحت تأثير تيار من الهواء المضغوط (ضغط الهواء بحدود 0.6 Mpa) على سطح العنصر المراد إصلاحه، وذلك من أجل الحصول على طبقة تغطية جديدة لهذا السطح للتخلص من الاهتراءات والتشوهات المختلفة الناتجة عن الاستثمار.

عملية البخ المعدني باستخدام القوس الكهربائي (البخ المعدني القوسي) تتم بواسطة جهاز خاص بذلك على شكل رشاش للمعدن مبين رسم تخطيطي له على الشكل (1-24)، وهو يعمل على الشكل التالي: بمساعدة دلافين السحب (3) يتم تغذية قضيبين معدنيين (1) وفق الموجهات المستدقة (4) الموصولة بدورها بتيار كهربائي. القوس الكهربائي المتولد بين القضيبين يعمل على صهر المعدن. والوقت بنفسه يتم دفع تيار هوائي مضغوط (0.6 Mpa) من خلال الفوهة 5 إلى منطقة القوس الكهربائي .

إن السرعة الكبيرة لجزيئات المعدن المنصهر والمدفوعة بتيار الهواء (السرعة بحدود 120-300 m/secc) ولفترة زمنية قصير جداً (تقدر بأجزاء مئوية أو ألفية من الثانية) تسبب في لحظة تصادمها مع العنصر المعالج (6) تشوهاً لدناً له، بحيث يحصل ترابط هذه الجزيئات مع بعضها ومع سطح العنصر المعالج. إن عملية الترسيب المتتابع للمعدن المنصهر وفق هذه الطريقة يساعد في الحصول على طبقة تغطية سطح العنصر تتراوح سماكتها مابين عدة ميكرونات وحتى 10 mm أو أكثر. في الأحوال المادية سماكة هذه الطبقة بحدود (1-1.5 mm) للمعادن ذات درجة الانصهار المرتفعة وبحدود 2.5-3 mm للمعادن ذات درجة الانصهار المنخفضة .

إن عمليات بخ المعدن المنصهر يمكن أن تنقسم تبعاً لطريقة صهر معدن الترسيب إلى قوسي، غازي (باللهب)، بالترددات العالية وبالبلازما.



الشكل (1-24) رسم تخطيطي لعملية بخ المعدن حيث:

1- قضبان اللحام (الكترود) ، 2- أسلاك توصيل بالجهد الكهربائي، 3- دلافين سحب، 4- موجهات، 5- فوهة (منفث)، 6- العنصر المعالج.

عند إجراء عمليات تجديد (ترميم) وإصلاح عناصر الآلات وفق طريقة بخ المعدن المنصهر يتم استعادة الأبعاد المتآكلة لعناصر الآلات (عنق أعمدة الدوران والمحاور لمختلف الآلات والمعدات، وكراسي تحميل أو مساند هذه المحاور) حيث

يـــزداد بذلـــك القطر الخارجي للعناصر ويتناقص قطر الثقوب وكراسي التحميل والجلب وغيرها.

يتم في هذه العملية ترسيب طبقة تغطية معدنية خلائطية (سبائكية) وذلك نتيجة لصهر اثنين أو ثلاثة من المعادن المختلفة في الوقت نفسه.

مـــثل هذه التغطية المعدنية للعناصر تتميز بمقاومة عالية للاحتكاك (High Anti friction) وتستخدم بديلاً عن سبائك البابيت Babbitt والبرونز. المقاومة للاهـــتراء. نظراً لمسامية هذه الطبقة المشكلة على سطح العنصر، يمكن أن يتسرب إلى داخلها كمية بسيطة من الزيت، وهذا يحقق تزييتاً ذاتياً لسطح هذا العنصر أثناء العمـــل، ويحســـن من ظروف استخدامه، ويحقق فترة استثمار أطول لهذا العنصر وبدون تزييت.

إن عملية البخ المعدني بوجود القوس الكهربائي لاقت الانتشار الأوسع في عمليات إصلاح عناصر الآلات والمعدات.

إن جـــزءاً غير كبير من هذه الأعمال ينفذ باستخدام رؤوس الرش المحمولة يدويـــاً والقوس الكهربائي اليدوي. أما الانتشار الأوسع والأكثر إنتاجية لعمليات التغطـــية بالبخ المعدني فهي تتم باستخدام رؤوس الرش الآلية ويمكننة هذه العملية بالكامل، حيث توجد أنواع وتصاميم مختلفة لهذه الرؤوس الآلية، ومبين خصائصها التصميمة والتقنية ومجالات استخدام كل منها في المراجع المختصة.

في عمليات تجديد وإصلاح سطوح العناصر ذات الإزواحات الثابتة (غير المتحركة نسبياً) يتم استخدام قضبان من الفولاذ منخفض الكربون ماركة St. 08, 10, 15, 20. أمـــا بالنســـبة للعناصر ذات الازواحات (التوافقات) المتحركة فيما بينها فيستخدم قضبان من الفولاذ عالي الكربون ماركة St. y7 , y7A, y8, y10 ، وذلك من أجل تغطية سطوح هذه العناصر بطبقة ذات مقاومة اهتراء عالية.

مـــن عمليات البخ المعدن غير الممكننة (اليدوية) باستخدام رشاش ماركة (M-3A) تستخدم للترسيب قضبان من الفولاذ عالي الكربون قطرها أكثر من 2.5 mm، بحيث يتم مسبقاً تسخينها في فرن كهربائي حتى درجة حرارة 760 C°.

الجـــدول (1-24) يـــبين نوعـــية القضبان المستخدمة في عملية البخ تبعاً لمختلف العمليات ونوع السطوح المعالجة.

الجدول (1-24) نوعية مواد القضبان المعدنية التي ينصح بها في عمليات البخ المعدني من أجل مختلف العمليات والسطوح.

مادة القضيب	نوع العملية
فولاذ ماركة: St.0.8,10,15,20	تغطـــية سطوح العناصر ذات ازواجات الثابتة
فولاذ ماركة st, 45, y7, y7A, y8, y8A, y10 قضبان ماركة Hn-30×13 , Hn-40	مـــن أجل الحصول على تغطية مقاومة للاهتراء
فولاذ سبائكي (كروم ونيكل)	مـــن أجـــل تغطية سطوح العناصر التي تعمل بدرجات حرارة عالية
موادســـبائكية تحتوي % على : ألمنيوم 50% ورصـــاص 50% وفولاذ 75% ونحاس أصفر 25% ونحاس 75% و 25% رصاص	تجديد وإصلاح المحامل الإنزلاقية
نحاس أصفر LC59-1	تغطية بطبقة مقاومة للاحتكاك
الزنك	مـــن أجـــل معالجة الشقوق والفجوات والتلبـــيس بطـــبقة مقاومة للصدأ، في العناصر من حديد الصب
الخلائط: AMZ , AMG, AD	مـــن أجـــل معالجة الشقوق في العناصر المحضرة من خلائط الألمنيوم

عـــند بـــخ طبقة المعدن المنصهر على سطح العنصر المعالج، ترتفع درجة حـــرارته حتى الدرجة 50-70C°، وهذا لا يسبب أية تغييرات بنيوية في معدن هذا العنصـــر، أي أن الخصائص الميكانيكية لا تتغير، وبفضل ذلك من الممكن (تلبيس) سطوح العناصر بطبقة التغطية المناسبة مهما كانت مادة العناصر: معدن، بلاستيك، خشب، مطاط ومما شابهها. إن عملية البخ المعدني تحقق درجة قساوة Hardness عالية لطبقة المعدن المبخوخة على سطح العنصر مما يزيد من فترة خدمة (عمر) هذه العناصر. من الممكن استخدام أنواع مختلفة من المعادن والسبائك في عملية التغطية بالـــبخ. عـــلى ســـبيل المـــثال، يمكن استخدام قضبان سبائكية ثنائية من الألمنيوم والرصـــاص وهذا يسمح بالاستعاضة عن معدني البابيت (babbitt) والبرونز الغالي الـــثمن بالإضافة إلى الزيادة الكبيرة في عمر (فترة خدمة) المحامل والعناصر المشابهة المعالجة وفقاً لذلك.

(البابيـــت هو معدن يتصف بمقاومته العالية للاهتراء والاحتكاك تحضر منه سطوح كراسي التحميل وماشابهها من العناصر).

لكـــن مـــن الضروري معرفة أن تلبيس سطوح العناصر بطبقة تغطية عن طريق البخ لا يزيد من متانة هذه العناصر.

عند تجديد وبخ العناصر التي تعمل تحت تأثير حمولات ديناميكية، وكذلك العناصر التي تعمل بالاحتكاك بدون استخدام مواد التزييت (احتكاك جاف Dry Friction)، مـــن الضـــروري الانتباه إلى حقيقة أن التحام أو التصاق طبقة المعدن المبخوخة مع المعدن الأصلي للعنصر لا يتم بدرجة تامة أو كافية. وهذا ما يحد من كفاءة واستخدام هذه العناصر في مثل هذه الشروط.

إن الحصـــول عـــلى طبقات تغطية ذات نوعية عالية يتم فقط من خلال الاختـــيار الصحيح والدقيق جداً لنظام عملية البخ بشكل عام والتحضير الجيد جداً لسطوح العناصر المطلوب تغطيتها بطريقة بخ المعدن.

أثـــناء تحضـــير ســـطوح العناصر من أجل بخها بالمعدن يتم تنفيذ عدة عمليات مستقلة وفق التسلسل الآتي:

a) تنظيف العناصر من الأوساخ والطبقات المتشكلة على سطوحها، ومن الأكاسيد والشحوم والرطوبة ومن الصدأ.

b) إجـــراء عملية التشغيل الميكانيكي التحضيري للسطح (تشغيل بالقطع) من أجل تصحيح التشوهات في الشكل الهندسي للعنصر.

c) تشكيل الخشونة المناسبة على سطح العنصر والتي من شأنها أن تزيد من تماسك أو التحام طبقة المعدن المبخوخة مع العنصر.

d)تغطية وحماية سطوح العناصر المجاورة (أو بعض أجزاء من سطح العنصر نفسه) التي لا يلزم بخها بطبقة المعدن.

إن تشـــكيل الخشـــونة المناسبة على سطوح العناصر الواجب بخها يتم وفق الطرق التالية:

على ماكينة خراطة وقلووظة يتم قطع (تشكيل) قلووظ مقطوع (مشقوق) عـــلى سطح العنصر الأسطواني بواسطة قلم قلووظة طويل، ويتم تثبيته على الآلة بحيـــث يكون رأس القطع أخفض من محور العنصر بمقدار (3-6 mm). يتم تشغيل القلووظ بسرعة (cutting Speed) بحدود 8-10 m/min وعمق قطع (Cutting depth) 0.6-0.8 mm وبدون استخدام سائل التبريد.

ويتم التشغيل بمرور واحد (شوط واحد) للقلم على سطح العنصر. خطوة القلـــووظ تقـــع بحـــدود (0.9-1.3mm)، أما من أجل المواد اللينة فتؤخذ بحدود

(1.1-1.3mm) إن اهـــتزاز قـــلم القطـــع أثناء عملية التشغيل يؤدي إلى تشكل الخشونة المطلوبة على سطح العنصر المشغل.

من أجل تأمين خروج قلم القطع من السطح الجاري قلووظته يتم تشكيل مجرى أسطواني عند نهايته بعمق أكبر من عمق القلووظ بحدود 0.2-0.3 mm.

كمـــا بيـــنا سابقاً، إن عملية بخ المعدن المنصهر تسبب رفع درجة حرارة العنصـــر المعالج قليلاً. إذا تم اختيار نظام عملية الترسيب بشكل صحيح ومن أجل سماكـــة طبقة التغطية بحدود 0.5-0.7mm فإن درجة حرارة هذه الطبقة تصل إلى 70C°، ومـــن أجل سماكة طبقة التغطية 2-3mm أو أكثر فإن درجة حرارة هذه الطـــبقة تصل إلى 100-150C°. من أجل التقليل من التأثير الحراري ومن ارتفاع حـــرارة طـــبقة التغطية، يتم بخ المعدن بطبقات رقيقة جداً وعلى قطاعات صغيرة منفصـــلة. على سبيل المثال منن أجل عنق (رقبة) الأعمدة بقطر 150mm وبطول كبير لهذا العنق، يتم من خلال مرور واحد لرأس الرش تغطية سطح مساحته ليس أكثر من mm^2(800-1000).

يـــتم الضبط والتحكم بقساوة طبقة التغطية عن طريق اختيار مادة المعدن المبخوخ أو نظام التبريد المستخدم خلال عملية التغطية.

إن تكنولوجـــية (الخطـــة التكنولوجية) عملية ترسيب طبقة تغطية معدن بطريقة البخ تختلف تبعاً لشكل العناصر المعالجة. بالنسبة للسطوح المستوية للعناصر غالباً ما تتم عملية التغطية يدوياً.

عـــند تغطية السطوح المستوية للعناصر بطريقة رش المعدن المنصهر تظهر عـــدة صعوبات ومشاكل، تعتبر بالدرجة الأولى نتيجة لتشكل الاجهادات المتبقية الشـــادة (إجهـــادات داخلية Residual Stress)، والتي تعمل على نزع أو فصل طبقة التغطية عن العنصر.

عـــندما تكـــون سماكة التغطية أكثر من 0.3mm يمكن أن يحصل نزع أو فصل لطبقة التغطية على حدود السطح المستوي المعالج .

إن معالجة وتحضير سطوح العناصر المستوية قبل رشها بطبقة التغطية تتمثل بتنظـــيف هذه السطوح بشكل جيد ومن ثم تشغيل بحارٍ قليلة العمق عليها بواسطة ماكينات القشط أو تشكيل الخشونة المطلوبة على السطح بطرق معالجة كهربائية. وبالنســـبة للسطوح الأسطوانية للعناصر غير الكبيرة يتم تشكيل مجرى لولبي على سطوحها بواسطة ماكينات الخراطة.

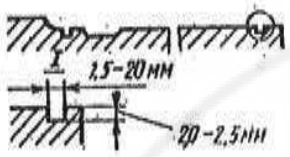
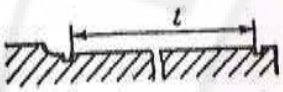
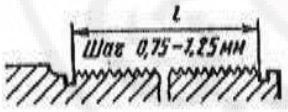
المجـــاري المشكلة على سطوح العناصر يجب أن تتوضع بشكل متعامد مع اتجاه تأثير القوى المؤثرة على السطح.

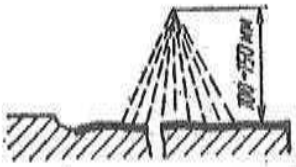
بالنسبة للعناصر ذات الشكل المعقد والسطوح غير المنتظمة يتم قذفها بتيار مضـــغوط من الرمل الكوارتزي الجاف، قياس حبيباته بحدود 1.5-2mm، وذلك لتشـــكيل الخشـــونة المطلوبة على سطوح هذه العناصر والضرورية لتماسك طبقة التغطية مع سطح العنصر .

تسلسل العمليات التكنولوجية Technological operation اللازمة من أجل إجراء عملية بخ المعدن المنصهر على السطح الخارجي لرقبة عمود، مبين على الجـــدول (2-24). من أجل الحصول على طبقة تغطية ذات نوعية عالية فإن تيار المعـــدن المـــبخوخ يجـــب أن يكون عمودياً على سطح العنصر المعالج، وأن تكون المسافة بين فوهة الرشاش وسطح العنصر بحدود (150-200)mm.

بعـــد إنجاز عملية البخ المعدني يحتاج العنصر المعالج إلى التشغيل الميكانيكي الإنهـــائي بالقطع (خراطة، تفريز، جلخ،..)، وذلك للحصول على الأبعاد النهائية المطلوبـــة للعنصر ودرجة الخشونة اللازمة لسطوحه، بالإضافة إلى الشكل الهندسي الصحيح.

الجدول (2- 24) تسلسل العمليات التكنولوجية عند بخ السطح لرقبة عمود بالمعدن المنصهر.

طريقة التحضير	العملية التكنولوجية	رسم تخطيطي
بواسطة قلم فصل، ودون استخدام سائل التبريد	خراطة مجاري على نهايات رقبة العمود من أجل خروج قلم القطع عن قطع القلووظ. تشكيل الحواف والشفاه من أجل حماية نهايات وجوانب طبقة التغطية من التقشر والتنقير.	
بقلم خراطة طولية وبدون استخدام سائل تبريد	خراطة عنق العمود بالكامل من أجل التخلص من عدم استواء وتشوه السطح المشغل، بحيث تكون سماكة الطبقة الواجب ترسيبها على سطح العنصر أقل ما يمكن (بحدود 0,7-0,1 mm من كل جهة).	 l- طول السطح المشغل
يستخدم قلم قلووظة عادية بزاوية أمامية $\gamma=0°$ يثبت رأس القلم انخفض من محور العمود بمقدار 4-5mm. يتم قطع القلووظ بشوط واحد للقلم وبسرعة قطع منخفضة، وبدون استخدام سائل تبريد	تشكيل قلووظ على كامل الطول l لعنق العمود، وذلك من أجل الحصول على خشونة كبيرة لسطح عنق العمود، مما يساعد في الحصول على التحام والتصاق وثيق بين الطبقة المبخوخة والمعدن الأصلي لرقبة العمود.	

سرعة دوران العمود بحدود 20-60 r.p. المسافة بين فوهة رأس البخ وسطح العنصر 100-150mm تسامح التشغيل اللازم للتشغيل الميكانيكي بحدود 0.6-1 mm من أجل الخراطة، و 0.4-0.6 mm من أجل التجليخ (من جهة واحدة).	إجراء عملية بخ المعدن من أجل الحصول على طبقة التغطية والتوصيل إلى القطر المطلوب لعنق العمود من الأخذ بعين الاعتبار تسامح التشغيل اللازم للتشغيل الميكانيكي للسطح لاحقاً	
تتم عملية الخراطة باستخدام أقلام مزودة بلقم كربيدية رأسها مقوس حيث .ρ=3mm تتم عملية الخراطة والتجليخ مع استخدام سوائل مستحلبات) التبريد المناسبة.	إجراء عمليات الخراطة والتجليخ اللازمة على طبقة التغطية من أجل الحصول على الأبعاد والخشونة اللازمة لعنق العمود المعالج.	

إن عمليات تجديد وإصلاح عناصر الآلات بطريقة البخ المعدني تودي إلى تلوث الهواء الجوي المحيط بالغبار وبأبخرة المعدن المنصهر بالإضافة إلى تأثير الغازات الناتجة عن القوس الكهربائي أو عن شعلة المزيج الغازي (استلين وأكسجين)، بالإضافة إلى الضجيج الناتج عن المعدات والآلات المستخدمة في المراحل التكنولوجية لهذه العملية كافة.

لذلك وفقاً لمتطلبات نظام الأمن الصناعي عند استخدام آلات ومعدات بخ المعدن، من الضروري تأمين نظام التهوية الجيد في الورش والأماكن المغلقة وفي مواقع العمل كافـــة. في الأحوال العادية يتكون نظام التهوية من أجهزة سحب (شفط) للهواء تتوضـــع في كل موقع عمل. وعلى العاملين ارتداء النظارات الواقية ذات العدسات العاتمة من أجل حماية أعينهم من الأشعة الضارة الناتجة عن القوس الكهربائي.

§ 2- ترسيب مساحيق المعادن بواسطة لهب اللحام الغازي:

2-1 طرق التغطية بمساحيق المعادن:

إن مـــبدأ عملـــية ترسيب طبقة من مساحيق المعادن على سطوح العناصر بواســـطة لهب أو شعلة اللحام الغازي (الحملاج- Torch flame) يتمثل بإجراء عملية تلدين Plasticization للمسحوق المعدني بواسطة درجات الحرارة العالية، الـــناتجة عـــن اشتعال غازي الاستلين والأكسجين في بوري اللحام، وترسيب هذا المعـــدن عـــلى سطح العنصر المعالج بواسطة تيار غازي مضغوط. يجب أن يخضع ســـطح العنصـــر المـــراد تغطيـــته لمعالجة تحضيرية قبل إجراء عملية الترسيب عليه (التغطية).

إن هذه العملية تتمتع بعدة مزايا هي:

a- الإنتاجية المرتفعة لهذه التغطية،

b- موضعية عملية الترسيب (أي يمكن الترسيب في مكان محدد من سطح العنصر)،

c- لا توجد تأثيرات كبيرة أو هامة على المعدن الأصلي للعنصر،

d- إمكانية إجراء عملية التغطية للعناصر ذات الأبعاد الكبيرة.

e- لا توجـــد أيـــة محاذير حول اتحاد معادن مواد التغطية والمعدن الأصلي للعنصـــر، وهـــذا يسمح بتحديد وإصلاح أشكال ومسميات كثيرة من عناصر الآلات ذات السطوح المتآكلة.

تســـتخدم عـــدة طرق مختلفة من أجل ترسيب مساحيق المعادن بواسطة اللهب الغـــازي، وذلـــك تبعاً لوظيفة ومادة العنصر المعالج، شروط عمل واستثمار هذا العنصر، وتبعاً لشكل وطبيعة التلامس بين السطوح المتزاوجة فيما بينها، هي:

1- رش مسحوق المعدن المنصهر بواسطة اللهب الغازي دون أي صهر موضعي لاحقـــاً . تســـتخدم هـــذه الطريقة من أجل تحديد عناصر الآلات التي يبلغ عمق الاهتراء على سطوحها 2mm من جهة واحدة بدون حصول تشويه أو انفعال أو تغـــير في بنـــية المعـــدن الأصلي، وهذه العناصر يجب ألا تتعرض أثناء الاستخدام لأحمال الصدم، أو الحمولات المتغيرة الاتجاه أو لدرجات الحرارة العالية.

2- رش مســـحوق المعدن المنصهر باللهب الغازي مترافق بالوقت نفسه بصهر موضـــعي. تستخدم هذه الطريقة لتحديد عناصر الآلات المهترئة سطوحها بشكل موضعي حتى mm 5-3، والتي تعمل تحت تأثير الحمولات متغيرة الاتجاه وحمولات الصدم والمحضرة من حديد الصب الرمادي Cast-iron، الفولاذ الإنشائي وغيرها.

3- رش مســـحوق المعـــدن المنصهر باللهب الغازي مع صهر موضعي لاحقاً. تســـتخدم هذه الطريقة من أجل تحديد وإصلاح العناصر على شكل أعمدة، البالغ الاهـــتراء على سطوحها حتى mm 2.5 من جهة واحدة، والعناصر ذات المقاومة العالية للصدأ ولدرجات الحرارة العالية.

الخطـــة التكنولوجـــية لعملية بخ وترسيب مساحيق المعادن على سطوح العناصر المتآكلة تتكون من ثلاث مراحل، هي:

a) تسخين سطح العنصر حتى 200-250C° درجة مئوية.

b)طـــلاء أو تلبـــيس السطح المعالج بطبقة أولية Precaution تشكل الأساس لترسيب طبقة التغطية الأساسية.

c) ترســـيب طبقة التغطية الأساسية، والتي تساعد في الحصول على طبقة تغطية سطحية بالمواصفات الفيزيائية والميكانيكية المطلوبة.

العوامـــل الأساســـية المؤثرة على متانة التصاق (التحام) طبقة التغطية مع المعدن الأصلي للعنصر هي:

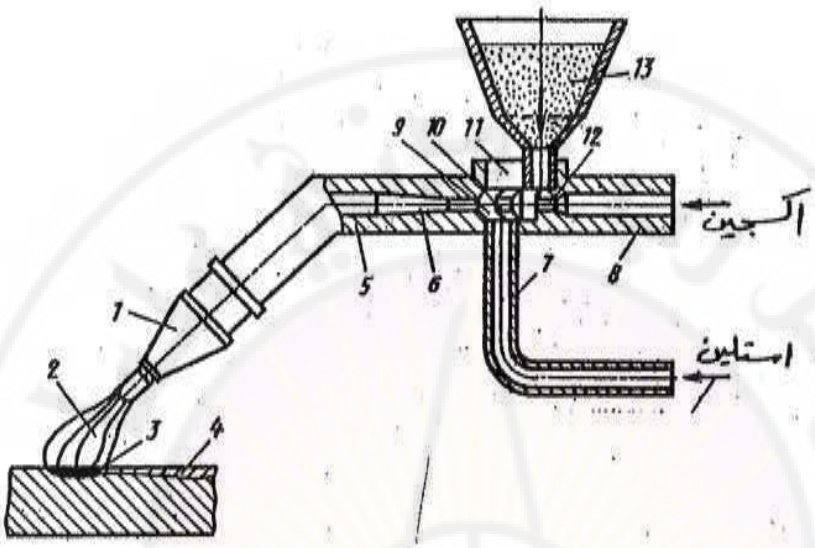
- طريقة تحضير سطح العنصر والمواد الحاكة المستخدمة في ذلك،
- بارمترات عملية التشغيل،
- زمن الثبات بعد التشغيل،
- وجود تسخين مسبق (تحضيري) للعنصر أم لا،
- استخدام طبقة تغطية أولية (طبقة أساس Precoat)
- طريقة رش (ترذيذ) المعدن،
- شدة اللهب،
- بارامترات عملية رش المعدن،
- مكونات المادة المستخدمة في عملية التغطية.

2-2 الأجهزة المستخدمة من أجل عملية بخ وترسيب مساحيق المعادن:

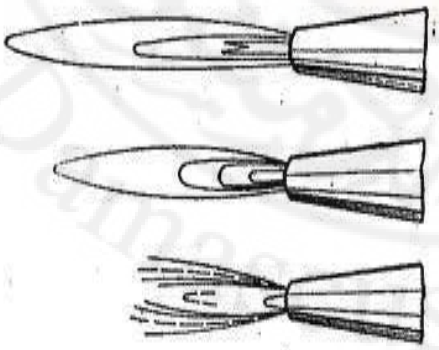
التصـــميم (التركيـــب) الأساسي للأجهزة المستخدمة في عملية الرش والحراقات (المشـــعل- Burner) اللازمة لصهر المعدن هي مبنية على المعدات المستخدمة في عملـــية اللحام الغازي (رأس اللحام الغازي أو ما يسمى الحملاج). وهذه الرؤوس لها تصاميم ومقاييس عديدة مختلفة مبينة في المراجع العلمية الخاصة.

عـــلى الشكل (2-24) مبين رسم تخطيطي ومقطع في رأس اللحام الغازي الـــذي يقوم بمزج غاز الاستلين مع الأكسجين في حجرة خاصة.(9) ودفع المزيج

عـــبر القـــناة (6) إلى فوهة (منفث) الرأس (1) حيث يحترق ويشكل اللهب (2) المستخدم في عملية صهر بودرة المعدن المبخوخة.



الشكل (2- 24) مقطع في رأس اللحام الغازي: 1- الفوهة أو المنفث، 2-لهب اللحام، 3- حوض اللحام، 4-طبقة المعدن المرسبة، 5- ماسورة، 6- قناة، 7- قناة تغذية الاستلين، 8 - قناة تغذية الاكسجين، 9- حجرة مزج، 10و12- حاقن، 11- حجرة الخلط، 13- مسحوق.



الشكل (3- 24) لهب اللحام الغازي:
a- لهب مكربن ،
b- لهب طبيعي ،
c- لهب مؤكسد

إن قوة وشكل لهب اللحام welding flame يعتمد على تصميم وشكل فوهة رأس اللحام وعلى نسبة المزيج كما هو مبين على الشكل (3-24) والجدول (3-24).

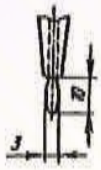
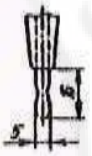
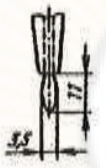
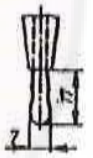
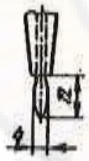
من الممكن تقسيم رؤوس اللحام الغازي (الحملاج) وفقاً لعدة طرق واعتبارات:

- تقسيم رؤوس اللحام، وفقاً لطريقة تغذية غاز الأكسجين والغاز المشتعل إلى حجرة المزج إلى: رؤوس بحاقن ورؤوس بدون حاقن.
- وفقاً لنوع غاز الاشتعال المستخدم إلى: رؤوس لغاز الاستيلين وأخرى لغازات احتراق بديله (الغاز الطبيعي أو غيره).
- وفقاً لمجال الاستخدام إلى: رؤوس عمومية (من أجل اللحام وترسيب المعادن) ورؤوس خاصة تستخدم فقط من عملية محددة.
- وفقاً لقوة أو شد اللهب الذي تعطيه إلى: رؤوس ذات لهب ضعيف جداً (استهلاك حتى 70لتر/ساعة)، ذات لهب شديد (حتى 7000 لتر/ساعة)، ذات لهب ضعيف (حتى 700 لتر/ ساعة)، ذات لهب متوسط (حتى 2500 لتر/ساعة).
- وفقاً لطريقة الاستخدام إلى رؤوس يدوية ورؤوس آلية.

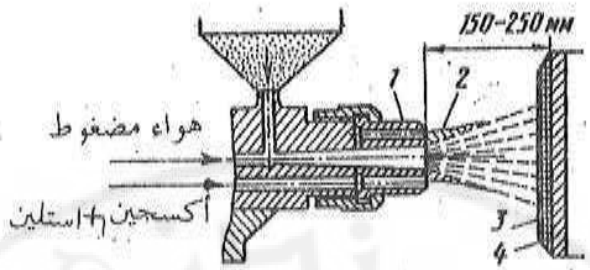
إن الأجهزة والرؤوس المستخدمة من أجل رش وصهر مساحيق المعادن فوق سطوح العناصر تختلف عن تلك المستخدمة في عمليات اللحام الغازي العادي من حيث مبدأ العمل والتصميم. حيث يلحق مع هذه الأجهزة والرؤوس قادوس (قمع- Hopper) يحتوي على مسحوق المادة التي سيتم ترسيبها، والغاية أو المهمة الأساسية لهذه الأجهزة تتمثل بتغذية المسحوق إلى قلب اللهب (الشعلة).

تبعاً لطريقة تغذية المسحوق من القادوس (المغذي) يمكن التمييز بين نوعين من معدات بخ مساحيق المعادن.

الجدول(3- 24) أشكال فوهات رؤوس اللحام.

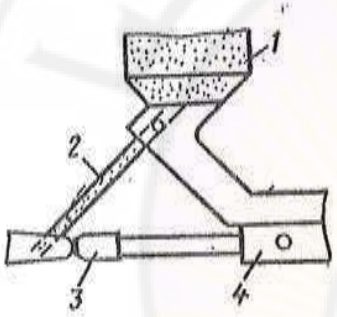
رقم الرأس	استهلاك الإسطين Dm^3/h	قطر قناة الفوهة mm	شكل اللهب	رقم الرأس	استهلاك الإسطين Dm^3/h	قطر قناة الفوهة mm	شكل اللهب
1	150	1,0		5	1000	2,5	
2	250	1,3		6	1700	3,0	
3	400	1,6		7	2500	3,5	
4	500	2,0					

في أجهـــزة بـــخ وترسيب مساحيق المعادن الحاوية على حقان يتم تغذية المســـحوق من القادوس وعبر صمام إلى القناة المركزية لرأس البخ، وتحت تأثير تيار مـــن الهـــواء المضغوط يتم دفع هذا المسحوق عبر فوهة أو منفث الرأس إلى قلب اللهب كما هو مبين على الشكل (4- 24).



الشكل (4- 24) مخطط لجهاز بخ مساحيق المعادن بواسطة تيار هوائي: 1- فوهة أو منفث الرأس، 2- اللهب (الشعلة)، 3- طبقة التغطية، 4- طبقة أساس.

إن ميزة أجهزة الرش أو البخ، ذات التغذية غير المباشرة للمسحوق، كما في الشكل (5-24)، هي أن الفوهة 3 (منفث) لرأس البخ متعددة القنوات، بحيث يمر من خلال هذه القنوات المزيج الغازي ($C_2H_2+O_2$) المتشكل داخل حجرة مزج خاصة داخل الرأس

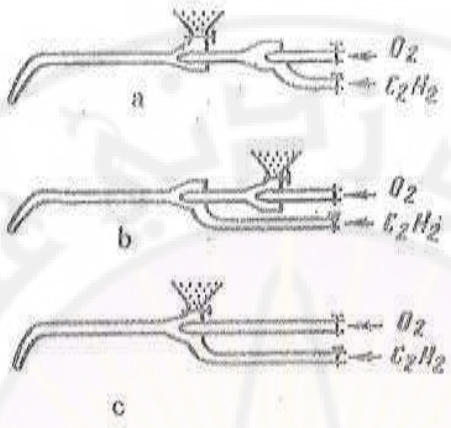


الشكل (5- 24) جهاز بخ بتغذية غير مباشرة للمسحوق.

(انظر الشكل 2-24). ويتم تغذية المسحوق من الحوض (1) إلى مركز الشعلة من الأعلى بواسطة قناة التغذية (2) وفق مبدأ الثقالة.

إن الصعوبة الرئيسية في تصميم رؤوس وأجهزة البخ عموماً تتمثل بتأمين التخلخل Rarefaction المناسب داخل قناة تغذية المسحوق من الحوض (القادوس)، (هذا التخلخل هو الذي يؤمن عملية سحب المسحوق من الحوض) مع مراعاة والتزام شروط الأمن، أي من الضروري عدم السماح بحصول ارتداد عكسي للشعلة باتجاه الحوض بسبب هذا التخلخل الداخلي.

يبين الشكل (6-24) رسومات تخطيطية لمختلف رؤوس وأجهزة البخ وطريقة خلط المسحوق مع المزيج القابل للاشتعال.



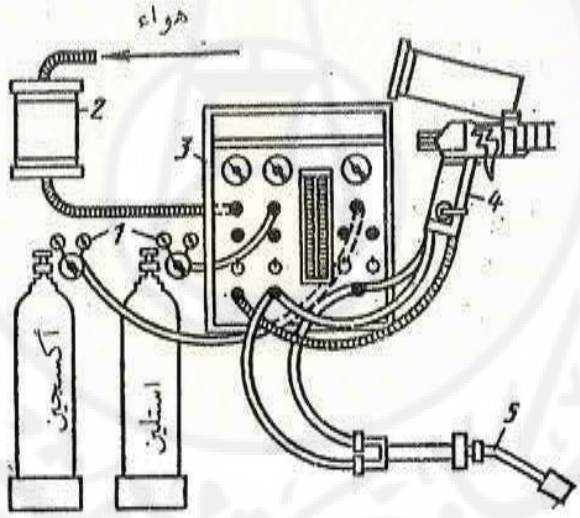
الشكل (6- 24) طرائق خلط المسحوق مع المزيج الغازي:
a و b– حقن تدريجي على مرحلتين، c– حقن مركب.

في رؤوس البخ ذات الضغط المتساوي (شكل 6,a–) يكون حوض المسحوق غير محمي من الارتداد (الصدم) العكسي للشعلة، وكذلك من غير الممكن إطلاقاً تأمين التخلخل الكافي داخل قناة الحوض في حال كان ضغط الإستلين في الحدود الاعتيادية.

بالنسبة للرأس الذي يعمل وفق مخطط الحقن المركب (شكل6,a-24) يتم سحب (شفط) المسحوق وغاز الإستلين بواسطة حاقن الأكسجين، ويتم حماية حوض المسحوق من الارتداد العكسي للشعلة بواسطة صمام حماية من النوع الغشائي.

على الشكل (7-24) مبين رسم تخطيطي لوحدة (آلية) بخ وترسيب مساحيق المعدن ماركة YIITP-1-78M (روسية المنشأ) تستخدم على الغالب من أجل ترسيب طبقات تغطية من الخلائط القاسية (نيكل – كروم- بروم) والتي تؤمن من طبقات تغطية غير مسامية وملتحمة بشكل متين مع سطح المعدن الأصلي، تتمتع بمقاومة اهتراء (wear) عالية وثبات ضد الصدأ (التآكل Corrosion) والتفتت وعدم تشكل الفقاعات بداخلها ومقاومة للتأثيرات الحرارية.

طبقة التغطية يمكن تشكيلها (أو بخها) على عناصر من الفولاذ، حديد الصب، الألمنيوم، البرونز وغيرها من العناصر.



الشكل (7- 24) مخطط وحدة بخ ماركة YIITP-1-78M،
حيث:1– منظم الضغط، 2– فلتر هوائي، 3– لوحة القيادة، 4– فرد رش حراري،
5– رأس بخ من أجل الصهر الموضعي للخلائط القاسية.

تـــتكون الآلية المبينة على الشكل (7-24) من لوحة قيادة وتحكم 3، فرد (مسدس) بخ حراري 4 ومثبت لربطه على طاولة ماكينة الخراطة.

بواســـطة لوحة القيادة يمكن معايرة نظام التشغيل بواسطة مقاييس ضغط (Manometer) تعمـــل عـــلى ضـــبط وتنظيم استهلاك المزيج الغازي، ومعايرة الصمامات العكسية وغيرها من العناصر التي توفر الأمن والسلامة المهنية واستقرار عمل فرد البخ.

Damascus University

المبحث الخامس والعشرون

تجديد العناصر بواسطة التغطية السطحية بالغلفنة وبالمواد البلاستيكية والغراء

§ 1- مفاهيم عامة :

تستخدم عمليات تغطية سطوح العناصر بطبقات من المعادن والخلائط واللدائن بشكل واسع من أجل إصلاح هذه العناصر والتخلص من الاهتراء والتآكل والتشوهات المختلفة الناتجة عن الاستثمار، وكذلك من أجل إكساب هذه العناصر طبقة حماية سطحية ومقاومة الاهتراء والاحتكاك مما يزيد في فترة خدمتها، وكذلك من أجل تصحيح أبعاد وشكل هذه العناصر.

من الممكن أن تكون المادة المستخدمة في عملية التغطية هي مادة العنصر الأصلي نفسه، أو أن تكون من مادة مختلفة تماماً، وكذلك يمكن إجراء التغطية بطبقة واحدة، أو بعدة طبقات متماثلة أو من مواد مختلفة.

يتم اختيار طريقة ترسيب طبقة التغطية المناسبة على سطح العنصر بما يتناسب ويحقق المواصفات والخصائص المطلوبة لهذا العنصر بعد إجراء عملية التغطية. كذلك إن اختيار نوعية ومواصفات طبقة التغطية يعتمد على شروط استخدام هذا العنصر وطبيعة القوى المؤثرة عليه (منتظمة، متغيرة، تلامسية، صدم أو غير ذلك).

عند إجراء عملية ترسيب لطبقات معدنية على سطح العنصر بطريقة الغلفنة (الطلاء الكهربائي- Electroplating) من الممكن الاستغناء عن عملية التشغيل الميكانيكي بعد ذلك. حيث أن عملية التغطية هذه تنسب إلى عمليات التغطية القياسية الدقيقة التي تسمح بالحصول على أبعاد دقيقة للطبقة السطحية.

عـــلى سبيل المثال من الممكن الحصول على طبقة تغطية من الكروم سماكتها حتى 0.2mm على سطح العناصر الأسطوانية.

وتتصف هذه الطبقة بالانتظام والتساوي على كل سطح العنصر والدقة في الأبعـــاد المطلوبـــة. مقدار الخطأ أو الانحراف Deviation في سماكة هذه الطبقة لا يتجاوز (0.01 ÷0.02)mm.

إن صـــحة اختـــيار واســـتخدام التغطية المناسبة من أجل تجديد وإصلاح العناصر تعتمد على أزمنة خدمة هذه العناصر والفعالية الاقتصادية لهذه العملية.

حيـــث أن الخصـــائص التي يمكن الحصول عليها من أجل تغطيات مختلفة للعناصـــر، غير متماثلة. إن طرق التغطية التي تستخدم وتناسب ظروف استخدام معينة، يمكن أن تكون غير مناسبة لظروف استخدام مختلفة.

يمكـــن الحصول على طبقة تغطية ذات تركيب كيميائي وخصائص محدده باستخدام طرق التغطية الكهربائية (الغلفنة)، وذلك من أجل تغطية وتجديد العناصر الفولاذيـــة أو العناصر من المعادن الأخرى. هذه التغطيات تحقق بالإضافة إلى تقوية وزيـــادة أبعـــاد السطوح، فهي تؤمن: قساوة سطحية مرتفعة دون إجراء معالجة حرارية للعناصر، تشابه في خصائص الطبقة السطحية للعناصر.

تســـتخدم عملـــيات التغطية الكهربائية (الغلفنة) من أجل زيادة مقاومة الـــتآكل في العناصـــر، وتحسين خصائص وشروط الاحتكاك، ومن أجل غايات الزخرفة والتزيين للعناصر.

إنّ عمليات التغطية الكهربائية الأكثر استخداماً هي التالية: الغلفنة(الطلاء) بالكروم، الطلاء بالحديد، الطلاء بالنيكل، الطلاء بالنحاس، الطلاء بالزنك، الطلاء بالكادميوم وغيرها. كذلك تستخدم في التغطية خلائط معدنية مختلفة.

الطرق الأكثر استخداماً من أجل تمتين وتجديد (Reconditioning) عناصر الآلات وتصحيح مقاييسها هي طريقة الطلاء (التغطية) بالكروم والطلاء بالحديد. كذلك يمكن أن يستخدم الطلاء بالنيكل أو باستخدام خلائط معدنية مختلفة وذلك من أجل تمتين سطوح العناصر فقط.

تستخدم عملية التغطية بالكروم من أجل زيادة مقاومة الاهتراء، القساوة ودرجة الثبات الكيميائي (مقاومة تأثير الأملاح والحموض وغيرها)، ومن أجل تجديد وتصحيح أبعاد السطوح المتآكلة والمهترئة للعناصر، وكذلك من أجل زخرفة وتزيين بعض العناصر.

إن عمليات ترسيب الكروم تختلف من حيث الشكل الخارجي وتبعاً للخصائص الفيزيائية والميكانيكية. من أجل تحسين متانة التصاق طبقات التغطية من الكروم مع سطوح العناصر والحصول على طبقة تغطية مقاومة كيميائياً، يتم عادة ترسيب الكروم على طبقة أساس (طبقة أولية) من معادن أخرى. الطلاء الكهربائي أو الغلفنة بالحديد (والفولاذ)تستخدم بشكل رئيسي من أجل تجديد واستعادة (تصحيح) أبعاد عناصر الآلات المهترئة. قساوة الطبقة الحديدية هذه يمكن أن تتحمل ضغوط 8000 Mpa أو أكثر. يمكن أن تخضع العناصر بعد ترسيب الطبقة الحديدية عليها للمعالجة الحرارية المناسبة.

§ 2- الطلاء الكهربائي (الغلفنة) بالكروم :

يتصف معدن الكروم بمقاومته العالية للاهتراء والصدأ وبقساوته المرتفعة (700-800HB) وبمقاومته لدرجات الحرارة العالية حيث درجة انصهاره حوالي 1700°C.

كذلك يمتاز بمقاومته الجيدة لتأثير الأملاح والأحماض، وهذا ما يفسر سبب استخدامه الواسع.

يمكن التمييز بين الأنواع أو الأشكال التالية لعملية الغلفنة بالكروم:
طلاء بالكروم مقاوم للصدأ (التآكل)، طلاء بالكروم مقاوم للاهتراء، طلاء بالكروم مسامي وطلاء لغايات تجميلية (تزييني).

يمكن تصنيف العناصر المعالج بترسيب الكروم إلى ثلاث مجموعات رئيسية تختلف فيما بينها بشروط الاستخدام وبأنظمة الترسيب المستخدمة والتي تكسب طبقات التغطية خصائص مختلفة.

المجموعة الأولى: تشمل عناصر الآلات التي يتم تغطيتها بالكروم بهدف تصحيح أبعادها وتحقيق ازدواجات تداخلية أو انتقالية فيما بينها.

المجموعة الثانية: تتضمن عناصر الآلات التي تعمل بالاحتكاك وفق ضغوط وسرعات محيطية متوسطة ومنخفضة القيمة، وتحت تأثير حمولات ثابتة أو متغيرة. تنسب إلى مثل هذه العناصر الأعمدة، المكابس (Piston)، الاسطوانات، الكباسات Plunger، أدوات القياس وكثير غيرها.

المجموعة الثالثة: تشمل عناصر الآلات التي تعمل تحت تأثير ضغوط عالية وحمولات (قوى) كبيرة جداً ومتغيرة الإشارة أو الاتجاه. حيث أن هذه العناصر وظروف استخدامها تتطلب متانة التحام عالية لطبقة الكروم مع سطح العنصر الأصلي.

يتم الحصول على طبقة التغطية بالكروم بواسطة أحواض معالجة (غلفنة) خاصة يتم فيها ترسيب الكروم (الموجود على شكل محلول مائي، على سطح العنصر نتيجة لمرور تيار كهربائي Electrec current من خلال هذا المحلول (أنظر الشكل 1-25).

إن نوعية طبقة التغطية تعتمد بالأساس على خواص المحلول الكهربائي للكروم (الألكتروليت- Electrolyte)، كثافة التيار الكهربائي Current density A/cm^2، درجة حرارة المحلول الكهربائي وشدة تحريكه داخل الحوض.

إن تغيير أي من هذه البارامترات المذكورة أو زمن عملية المعالجة يؤدي إلى الحصول على طبقات تغطية بسماكات مختلفة وبخواص فيزيائية- ميكانيكية مختلفة.

تعتمد هذه العملية على قوانين التحليل الكهربائي، وذلك بإمرار تيار كهربائي مستمر ذي شدة محددة من خلال محلول كهربائي (ناقل للكهرباء) يحتوي على الكروم، مما يسبب تشرد هذا المحلول وتجمع الشوارد على الأقطاب.

تتم عملية التغطية الكهربائية بالكروم وفق التسلسل التالية:

1- تنظيف سطوح العناصر من الزيوت والشحوم الأوساخ بواسطة البترين أو الكيروسين أو بمواد تنظيف خاصة،

2-تنشيف العناصر بعد التنظيف بتيار هواء جاف مضغوط،

3-معاينة أو فحص خارجي للعناصر من أجل إظهار العيوب والتشوهات،

4- إزالة طبقة الكروم القديمة عن سطوح العناصر. بالنسبة للعناصر المحضره من النحاس الأصفر والبرونز يتم إزالة طبقة الكروم عنها باستخدام محلول من حامض الهيدروكلوريك (الكلوريك) بنسبة 20-25% وبدرجة حرارة 18-25°C درجة مئوية، أما للعناصر الفولاذية فيستخدم محلول يحتوي على الصودا الكاوية بنسبة 10-15%، وبدرجة حرارة 18-25°C مئوية وتيار كهربائي كثافته 10-15A/sm² (آمبير /ديسيمتر مربع)،

5- غسيل العناصر بتيار ماء بارد، وثم بماء ساخن حرارته 70-80 درجة مئوية،

6-تنظيف وتجفيف بهواء جاف مضغوط أو بقطعة قماش نظيفة،

7-الكشف المغناطيسي عن الشقوق على سطوح العناصر،

8-خراطة دقيقة أو تجليخ للعنصر من أجل الحصول على الشكل الصحيح للعنصر.

9-التحقق من جودة عملية التشغيل بالقطع،

10- عـــزل العناصر وأدوات (مثبتات) التعليق بمواد خاصة مثل : طبقة رقيقة من الكلوروفينـــيل أو الورنـــيش النتروســـيلولوزي أو الغراء (الصمغ) مارة AK-20 وغيرها، والثقوب يمكن أن تغلق بقطع رصاصية،

11- قـــص أو إزالة طبقة العزل عن الجزء المراد تلبيسه بالكروم من سطح العنصر وتنظيف السطح بورق سنفرة ناعم،

12-تثبيـــت العناصـــر على أدوات التعليق المناسبة (مثبتات) فوق حوض المعالجة وبالشكل الصحيح الذي يضمن ترسب طبقة التغطية على كامل السطح،

13-تركيب وتوصيل المصعد-Anode (القطب الموجب)،

14-إزالـــة الشـــحم عن العناصر، عن طريق تنظيفها بالكلس أو بمحلول قلوي، يحـــتوي عـــلى نـــترات الفوســـفات بتركـــيز 40-50g/ℓ، الصـــودا الكاوية 10-12g/ℓ، زجـــاج مـــائي ســـائل 25-35g/ℓ وبدرجة حرارة للمحلول 60-70°C درجة مئوية،

15-غسيل بتيار جار من الماء الدافئ،

16-تنظيف كيميائي لسطح المعدن خلال فترة (0.1-0.25) دقيقة في محلول حمض الكبريت درجة حرارته 18-25°C درجة مئوية،

17- غسيل بتيار ماء بارد،

18-تغطيس القطع المراد تلبيسها بالكروم في الحوض الذي يحتوي على محلول مائي ناقل للكهرباء من الأندريد الكرومي CrO_3 (Anhydride- أكسيد الكروم) بمعدل 100 غرام /لتر وحمض الكبريت النقي بتركيز 2-3g/ℓ وإضافات أخرى، وعند إمـــرار تـــيار كهـــربائي مستمر Dtrect current في المحلول يحصل تشرد لأكسيد

الكروم ليعطي شوارد الكروم الموجبة Cr^{+} التي تتجه لتترسب على القطب السالب (المهبط Cathode) بحيث تتعادل كهربائياً. والقطب السالب في هذه الحالة هو العنصر المراد تغطيته بالكروم. تستمر هذه العملية حتى الوصول إلى السماكة المطلوبة لطبقة التغطية على سطح العنصر المعالج (القطب السالب) وهي بحدود 0.1mm من جهة واحدة. والشكل (1-25) يبين رسم تخطيطي لحوض التغطية الكهربائية،

19-رفع العناصر من الحوض وغسيلها بالماء المقطر فوق الحوض،

20- غسيل العناصر في تيار ماء جارٍ بارد،

21-غسيل العناصر لمدة (1-0.5) دقيقة في محلول متعادل يحتوي على 3-5% من حامض الكربونيك وبدرجة حرارة 25-18 درجة مئوية،

22-غسيل العناصر بتيار جارٍ من الماء البارد، وبعدها بالماء الساخن،

23-تجفيف العناصر في فرن كهربائي درجة حرارته 120-130°C درجة مئوية، أو بتيار هواء جاف ونظيف،

24-قياس وفحص للعناصر بعد فكها من أدوات التعليق وإزالة طبقة العزل،

25-إجراء معالجة حرارية بدرجة حرارة 200-250°C وتستمر بحدود 3-2 ساعة، وذلك من أجل التخلص من الهيدروجين.

26- تجليخ العناصر من أجل الوصول إلى أبعادها المطلوبة بدقة.

27-فحص نهائي وتدقيق جودة طبقة الكروم ودقة الأبعاد النهائية للعنصر،

يستخدم في عمليات إصلاح وتجديد بعض عناصر الآلات أيضاً الكروم العاتم، وذلك بترسيبه كهربائياً على سطوح العناصر التي تعمل تحت ظروف الاحتكاك الشديد، مثل أساور المكابس في المحركات وما شابهها. وتتم هذه العملية بالتسلسل السابق الذكر نفسه. يختلف الكروم العاتم عن الكروم اللامع بوجود مسامات

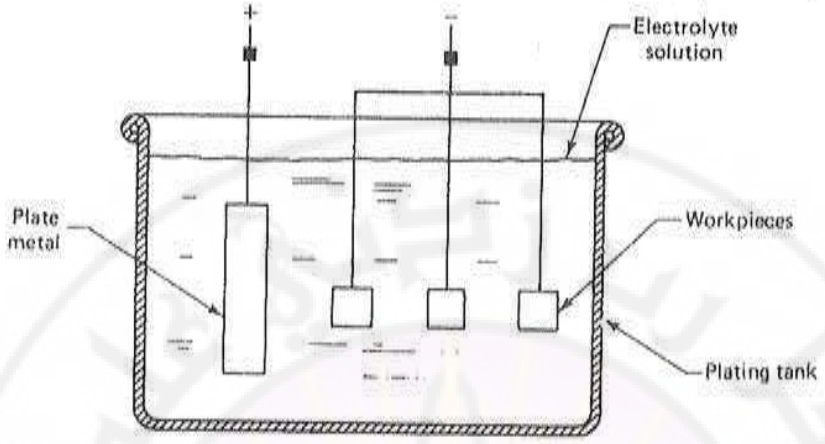
مـــيكروية ونـــتوءات دقيقة جداً على سطحه مما يجعله قادراً على احتواء جزيئات الزيـــت عـــلى سطحه، وهذا ما يكسبه مقاومة عالية للاهتراء والصدأ ولدرجات الحرارة العالية.

الجدول (1-25) يبين مكونات المحلول الكهروكيميائي (الألكتروليت) وأنظمة التغطية بالكروم.

مكونات المحلول وأنظمة عمليات التغطية	كمية المواد في المحلول (غرام / ليتر)					
	1	2	3	4	5	6
اندريد كرومي CrO_3	120	200	300	225	350	380
	150	250	350	300	400	420
حمض الكبريت	1.2	2	3	-	2.5	-
	1.5	2.5	3.5	-	3	
سترنشيوم كبريتي	-	-	-	5.5	-	-
	-	-	-	6.5	-	
الصودا الكاوية (هيدروكسيد الصوديوم	-	-	-	-	40-60	-
كبريتات الكوبالت		-	-	-	-	18-20
كربونات الكالسيوم	-	-	-	-	-	60-75
درجة حرارة المحلولن ^oC	50-65	40-60	40-50	50-65	16-25	18-52
كثافة التيار الكهربائي (A/dcm^2) آمبير/ديسمتر مربع)	30-100	20-60	15-30	40-100	20-80	100-300

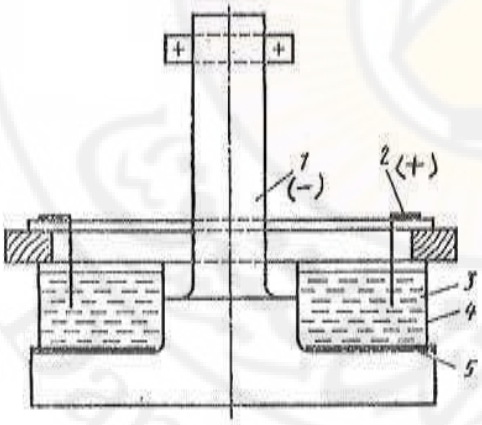
يوجد نوعان من أحواض التحليل الكهروكيميائي (الغلفنة) أحواض ثابتة وأحواض متـــنقلة (محمولة). من أجل تغطية العناصر كبيرة الحجم والمقاييس من غير المناسب اســـتخدام الأحـــواض الثابتة، وإنما تستخدم أحواض محمولة (متنقلة) كالمبينة على

الشكل (2-25). في هذه الأحواض لا يتم تغطيس العناصر المطلوب تلبيسها بطبقة الكروم، وإنما يتم إلحاق (إدخال) الحوض إلى العنصر.



شكل (1-25) رسم تخطيطي لحوض تغطية بطريقة الطلاء الكهربائي.

إن هذه الطريقة لترسيب الكروم تعتبر فعالة وناجحة بشكل خاص عندما يراد تغطية السطح الداخلي للعناصر (اسطوانات، تجاويف مختلفة)، بحيث يتم استخدام هذا التجويف من العنصر من أجل وضع المحلول الكهربائي (الالكتروليت) بداخله.

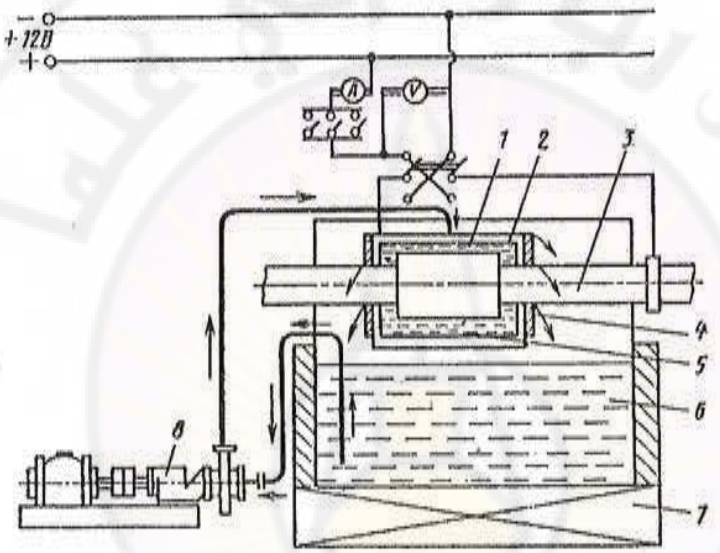


الشكل (2-25) عملية الطلاء بالكروم في حوض مستقل: 1- العنصر، 2- المصعد (القطب الموجب)، 3- المحلول، 4- الحوض

يتم تحضير هذه الأحواض المتنقلة من الفولاذ أو من مواد ذات مقاومة كيميائية (لا تتأثر بالأملاح والأحماض وماشابهها).

والشـــكل (3-25) يبين مخطط يستخدم من أجل إجراء عملية تغطية موضعية بطبقة مـــن الكروم للعمود 3 الذي يوضع داخل حوض الترسيب 5 ويوصل مع القطب السالب لمولدة التيار المستمر، ليشمل بذلك المهبط Cothode.

تـتم الـــتغذية بتيار مستمر من المحلول بواسطة المضخة 8 من المحلول الكيميائي 6 الموجود في الحوض الكبير.



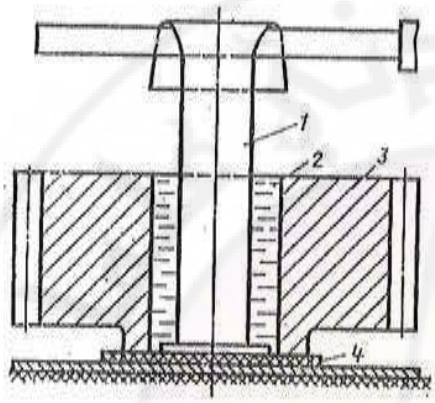
الشكل (3- 25) مخطط لمجموعة تغطية موضعية بالكروم وباسطة تيار مدفوع من المحلول الكيميائي: 1– المصعد، 2– ميكانيزم للحفاظ على سوية المحلول، 3– العمود المعالَج، 5–الحوض، 6– المحلول، 7– سخّان، 8– مضخة كهربائية.

والشكل (4-25) يبين عملية الغلفنة للسطح الداخلي لمسنن 3 بحيث يمكن اســـتخدام هذا السطح (الثقب) كحوض يوضع فيه المحلول الكيميائي المستخدم. يوضـــع العنصر على صفيحة مطاطية 4 (تعمل كمانعة تسرب) وبالقرب من فتحة تصـــريف مـــن أجل التخلص من سوائل الغسيل والتبريد. يوضع في وسط ثقب

المسنن قضيب من الرصاص ليشكل المصعد، بينما العنصر (المسنن 3) المعالج يشكل المهبط (القطب السالب).

يؤخذ قطر المصعد بحدود (0.7-0.5) من قطر الثقب المعالج.

تتم تغذية أحواض التحليل المتنقلة بالتيار الكهربائي المستمر من مولدات كهربائية ذات جهد منخفض متنقلة.



الشكل (4- 25) مخطط التغطية بالكروم للسطوح الداخلية للعناصر (ثقب المسنن):

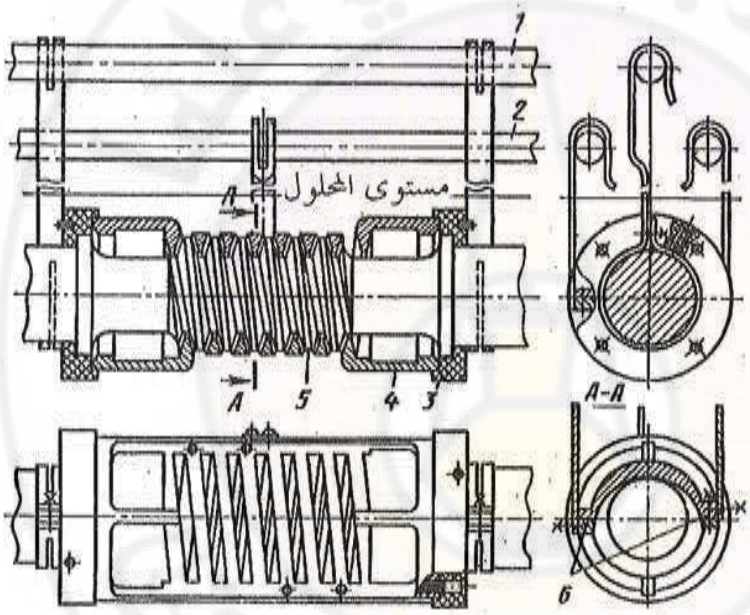
1- المصعد، 2- المحلول، 3- العنصر المعالج، 4- صفيحة مطاطية.

تستخدم تصاميم مختلفة لأجهزة التعليق والمثبتات المستخدمة لتعليق العناصر المراد تغطيتها وتغطيسها في المحلول الكيميائي. وذلك بما يتناسب مع تصميم وشكل هذه العناصر. على سبيل المثال على الشكل (5-25) مبين تصميم لمثبت يستخدم لتثبيت الدودة- Worm على حامل خاص من أجل تغطيسها في المحلول الكرومي وتغطيتها بطبقة من الكروم.

بالنسبة لعناصر الآلات التي تتعرض سطوحها لقوى احتكاك كبيرة وللاهتراء يتم تلبيسها بطبقة من الكروم المسامي العاتم الذي يتمتع بخاصية امتصاص جزيئات دقيقة من الزيت على سطحه مما يحسن من شروط الاحتكاك ويقلل من الاهتراء.

كما بينا سابقاً أن التكوين الأساسي للمحلول المستخدم في عملية الطلاء الكهربائي بالكروم هو أكسيد الكروم (الأندريد الكرومي) CrO_3 وحمض

الكبريت H_2SO_4 مع الماء (انظر الجدول 1-). النسبة الوزنية لهذه العناصر من أجل التغطية بالكروم المسامي هي بحدود CRO_3/H_2SO_4=95-120، أي أن كتلة حمض الكبريت تساوي وسطياً 1/100 من كتلة أكسيد الكروم. درجة مسامية طبقة التغطية هذه تعتمد بدرجة كبيرة على درجة حرارة المحلول وكثافة التيار الكهربائي. عند زيادة درجة الحرارة تتناقص المسامية في طبقة الكروم الناتجة وشبكة القنوات الدقيقة على السطح تصبح نادرة الوجود.



الشكل (5- 25) مثبت خاص من أجل تغطية الدودة بالكروم:

1- عارضة مهبطية، 2- عارضة مصعدية (قطب موجب)، 3- قرص من البلاستيك الفينيلي الصلد، 4- المصعد، 5- الدودة، 6- شريحة توصيل.

بعد الانتهاء من عملية الغلفنة يمكن أن يحتاج العنصر المعالج إلى عملية تشغيل ميكانيكي إنهائي ودقيق (تجليخ دقيق) من أجل الحصول على أبعاد السطح المعالج بالدقة المطلوبة. إن اختيار الطريقة المناسبة لعملية التغطية بالكروم ونظام

الترسيب المستخدم يعتمد على شروط استخدام العناصر (القوى والاجهادات والتأثيرات المختلفة التي تتعرض لها هذه العناصر). فعلى سبيل المثال، من الأنسب استخدام الكروم المسامي لتغطية حلقات مكابس الأسطوانات.

إن التغيير الدوري لاتجاه التيار المستمر في عمليات الترسيب الكهربائي يؤدي بشكل ملموس وجوهري إلى تغير بعض خصائص التغطية. ولكن من الخصائص المميزة لعملية التغطية بالكروم مع استخدام طريقة عكس التيار الكهربائي، هي إمكانية الحصول على طبقة تغطية بسماكة 300 ميكرون أو أكثر وباجهادات داخلية منخفضة.

تتم عملية التغطية بالكروم باستخدام نظام التشغيل التالي: درجة حرارة المحلول 50-60C° درجة مئوية، كثافة التيار $60\text{-}120A/dcm^2$ (أمبير ديسمتر مربع)، عند التغيرات الدورية لاتجاه التيار الكهربائي يستخدم في عملية الغلفنة محلول يحتوي 200-250 g/l اندريد كرومي CrO_3، حمض الكبريت 2-2.5 g/l H_2SO_4.

وعند عكس التيار الكهربائي تنخفض بشكل ملموس الإجهادات الداخلية في تلك الحالات التي يتم فيها اختيار نظام الترسيب المناسب لطبقة تغطية قليلة المسامية. إن عملية عكس التيار تسمح بتسريع عملية ترسيب الكروم على العنصر بحدود (2-1.5) مرة بالمقارنة مع أنظمة الترسيب العادية.

إن تقوية وتمتين عناصر الآلات بواسطة الكروم، وذلك باستخدام محلول كهربائي كرومي متين (قوي) وكثافة عالية للتيار المستخدم في التحليل يساعد في الحصول على طبقات تغطية ذات نوعية عالية وسماكة كبيرة نسبياً. في هذه الحالة يتم تسريع عملية التغطية بمقدار (10-6) مرات بالمقارنة مع عمليات التغطية الاعتيادية بالكروم. كذلك فإن درجة انتظام سماكة طبقة التغطية ومقاومتها

للاهـــتراء في حالة استخدام محلول متين أكثر منها في حالة استخدام محلول كرومي عـــادي أو غـــير متين. إن استخدام هذه المحاليل المتينة فعّال بدرجة كبيرة من أجل تقوية وتغطية السطوح الداخلية للعناصر.

تســـتخدم في عملـــيات تجديد وإصلاح سطوح عناصر الآلات بالغلفنة، تستخدم كذلك عمليات التغطية متعددة الطبقات، حيث يتم بشكل متتابع ترسيب عدة طبقات من معادن مختلفة على سطح العنصر. تستخدم عمليات التغطية متعددة الطبقات من أجل زيادة متانة التصاق طبقة التغطية مع سطح العنصر، الحصول على انـــتظام أكثر لسماكة طبقة الترسيب على سطوح العناصر ذات الأشكال المعقدة، الحمايـــة من تأثير الوسط الفعال كيميائياً، الحصول على بنية ميكروية أفضل بطبقة التغطية بالإضافة إلى زيادة مقاومة الاهتراء.

تســـتخدم عـــادة طـــبقات تغطية متعددة من النحاس، النيكل والكروم، وكحالـــة خاصة لعمليات التغطية متعددة الطبقات، تستخدم عملية التغطية ثنائية الطـــبقة بالكروم. حيث يتم بشكل متتابع ترسيب طبقتين من الكروم على سطح العنصـــر، بخصائص ومواصفات مختلفة. إذا كان من الضروري حماية سطح العنصر مـــن الصدأ (التآكل – Corrosion) وبالوقت نفسه زيادة مقاومة الاهتراء ، فيتم ترســـيب طبقتين من الكروم: الطبقة الأولى (الدنيا) من الكروم غير المسامي العاتم، أما الطبقة العلوية من الكروم اللميع. سماكة طبقة الكروم الأولى 15 ميكرون، فيتم ترسيبها بدرجة 70 C° درجة مئوية، وكثافة التيار $30\ A/dcm^2$. بعد ذلك يتم نقل العنصر (بدون غسله) إلى حوض ترسيب آخر درجة حرارة المحلول فيه أقل، حيث يـــتم ترســـيب الطبقة الثانية من الكروم اللميع (البراق) المقاوم للاهتراء فوق طبقة الكـــروم العاتم. سماكة الطبقة العلوية 35 ميكروناً أو أكثر. درجة حرارة المحلول في الحوض الثاني 50C° درجة مئوية، وكثافة التيار $50\ A/dcm^2$.

تركيز المحلول في الحوضين متماثل: 250 g/l من الأندريد الكرومي CrO_3 و 2.5 g/l من حمض الكبريت sulfuric acid H_2SO_4 .

§ 3- التغطية الكهربائية بواسطة الحديد.

في عمليات التغطية بطبقة من الحديد، كما في مختلف عمليات التغطية الكهروكيميائية، فإن خصائص ومواصفات طبقة المعدن المتشكلة على سطح العنصر بالتحليل الكهربائي تعتمد على مكونات المحلول الكهروكيميائي (الالكتروليت) المستخدم ونظام عملية التحليل (شدة التيار، درجة حرارة المحلول وغيرها).

إن طبقة التغطية الحديدية المتشكلة نتيجة لعملية التحليل الكهربائي لمحلول كلوريدي Chloride، تحتوي في تركيبها الكيميائي على (99,99% كنسبة مئوية) pjn حديد، كربون 0.0001، كبريت، 0.001، فوسفات 0.0002. إن إضافة بعض المواد إلى المحلول الكهربائي يزيد من نسبة الكربون ويرفع قساوة طبقة التغطية المتشكلة.

تتم عملية التغطية الكهربائية بطبقة حديدية باستخدام أقطاب فولاذية قابلة للذوبان (Consumable Steel electrode)، وأقطاب غير قابلة للذوبان (للانحلال) من الكربون Non consumable carbon electrode.

في حال استخدام أقطاب غير قابلة للذوبان في العملية، من الضروري إجراء عملية ضبط ومعايرة منتظمة ومستمرة لمكونات وتركيز المحلول الكيميائي المستخدم، وذلك بسبب تشرد واستهلاك مادة الحديد في عملية التغطية، وبالتالي تناقص درجة تركيز الحديد في المحلول باستمرار، مما يؤثر لاحقاً على كفاءة وسرعة عملية التحليل الكهربائي والتغطية.

إن طبقة التغطية الحديدية التي يتم الحصول عليها بعملية التحليل الكهربائي لمحلول كلوريدي عالي التركيز ودرجة حرارته عادية (حوالي 20 درجة مئوية) وباستخدام تيار كهربائي ذي كثافة مرتفعة بحدود A/dcm^2 10-12، تتصف بأنها طبقة لدنة متينة وذات بنية حبيبة دقيقة (ناعمة).

في حال إجراء عملية التغطية باستخدام محاليل كبريتية حامضية، فإن هذا يؤدي إلى الحصول على طبقات تغطية قصيفة (هشة – Brittle) وذات بنية كريستالية كبيرة. من الممكن الحصول على طبقة تغطية حديدية لدنة ومتينة باستخدام أحواض المحاليل الكبريتية وذلك عند استخدام تيار ذو كثافة منخفضة بحدود a/dcm^2 0.1-0.2 وبدرجة حرارة عالية.

إن هشاشة طبقة التغطية الحديدية ناتجة عن امتصاص الحديد للهيدروجين الناتج عن تشرد المحلول.

إن طبقة التغطية الحديدية التي يتم الحصول عليها بعملية التحليل الكهربائي لمحلول كهروكيميائي كلوريدي درجة حرارته 100C° درجة مئوية، تحتوي فقط على 0.002-0.003% هيدروجين . أما طبقة التغطية الناتجة عن استخدام محلول حامضي كبريتي درجة حرارته 18C° درجة مئوية، فإنها تحتوي على 0.085% هيدروجين.

إن قساوة الطبقة المرسبة تعتمد على تركيب المحلول الكهربائي المستخدم وعلى نظام عملية الترسيب. في حال استخدام محلول كهربائي كلوريدي فإن قساوة الطبقة الناتجة تقع بحدود HB 400-100، أما عند استخدام محلول حامضي كبريتي فإن القساوة تقع بحدود HB 300-200.

إن قساوة الطبقة الحديدية ترتفع بزيادة تركيز المحلول الكلوريدي المستخدم وتركيز الحمض الملحي، وكذلك بزيادة كثافة التيار الكهربائي وبخفض

درجـــة حرارة المحلول (هذا في حال استخدام محلول كهربائي كلوريدي في عملية الغلفـــنة). إن درجـــة حرارة المحلول تظهر التأثير الأكبر والأهم على قساوة طبقة التغطية المرسبة على سطح العنصر.

وهكـــذا عـــند اســـتخدام محلول كلوريدي يحتوي على كلوريد الحديد $FeCL_2$ بتركـــيز 400g/l، كلوريد الصوديوم NaCL بتركيز 10 g/l وحمض كلور الماء HCL بتركيز 1 g/l، فعند تخفيض درجة حرارة المحلول. بحدود 10C° درجات مـــئوية، تـــزداد قساوة الطبقة المتشكلة بحدود HB 60-40 (وحدة قساوة). عند الاســـتمرار بخفـــض درجة حرارة المحلول حتى 75C° درجة مئوية، ترتفع قساوة الطـــبقة حـــتى 300HB. ولكن يجب الأخذ بعين الاعتبار أن خفض درجة حرارة المحلـــول تؤدي إلى زيادة قصافة أو هشاشة الطبقة المتشكلة وارتفاع نسبة احتوائها على الهيدروجين بالوقت نفسه. إن تسخين العناصر بعد انتهاء عملية التغطية يؤدي إلى تـــناقص هشاشتها وكمية الهيدروجين فيها. مع العلم أن تسخين العناصر حتى 500-600C° درجـــة مئوية يؤدي إلى تناقص قساوة الطبقة الحديدية المرسبة على سطوحها بحدود 40-45%.

تتصف عملية الترسيب الكهربائي للحديد بظهور إجهادات داخلية كبيرة داخـــل الطـــبقة المرسبة. وتتعلق شدة الإجهادات الداخلية المتشكلة بدرجة حرارة المحلـــول وكثافة التيار الكهربائي المستخدم. عند استخدام محلول كلوريدي درجة حـــرارته 95C° درجة مئوية وكثافة التيار الكهربائي A/dcm^2 5 فإن الإجهادات الداخلية طبقة الحديد المتشكلة بحدود 150 MPa(ميغاباسكال). بزيادة كثافة التيار حتى A/dcm^2 20 تزداد الإجهادات الداخلية إلى 370 Mpa (ميغا باسكال).

إن حـــد المـــتانة Ultimate strength لطبقة التغطية الحديدية الناتجة عن تحلـــيل محلـــول (الكتروليت) كلوريدي تقع بحدود 350-450 MPa، والاستطالة النســـبية بحدود 5-10%، وهما تعتمدان بشكل رئيسي على شروط عملية التحليل الكهربائي.

الزمن اللازم (t) لإنجاز عملية التغطية الكهربائية بالحديد تحسب بالعلاقة:

$$t = \delta\, \rho\, (CD_K\, \eta)\,, \qquad (25\text{-}1)$$ (ساعة)

حيث: δ- سماكة طبقة الحديد المرسبة (mm)،

ρ- كثافة الحديد g/cm^3 ،

C- المكافئ الكهربائي الكيميائي (A-h)/ g) (غرام/أمبير. ساعة)،

η- خرج التيار الكهربائية (كنسبة مئوية -%).

ونـــبين فيما يلي تسلسل العمليات التكنولوجية المتبعة في عملية التغطية الكهربائية بالحديد:

1- تنظيف سطوح العناصر من الأوساخ والزيوت.

2- تشغيل ميكانيكي لسطوح العناصر.

3- غسيل العناصر بمحاليل عضوية.

4- تنشيف وتجفيف.

5- عزل السطوح التي لايتوجب ترسيب طبقة معدنية عليها بالمواد المناسبة.

6- تعليق وتركيب العناصر على المثبتات المناسبة.

7- تنظيف العناصر من بقايا الشحوم.

8- غسيل بالماء الساخن درجة حرارته 70-80 درجة مئوية.

9- غسيل بالماء البارد.

10- تنظيف سطح العناصر في مغطس حامضي (يحتوي 30% حمض الكبريت).

11- غسيل بالماء البارد.

12- غسيل بماء ساخن حرارته C° 50-60 درجة مئوية.

13-تغطيس العناصر في المحلول وإجراء عملية الغلفنة (تغطية سطوح العناصر عن طريقة ترسيب ذرات الحديد على سطوحها).

14- غسيل العناصر بماء ساخن حرارته C° 70-80 درجة مئوية.

15- فك العناصر عن المثبت (الحامل) ونزع طبقة العزل.

16- التحقق من جودة طبقة التغطية.

17- إجراء عملية التشغيل الميكانيكي إذا لزم ذلك.

تصنيف المحاليل الكهربائية (الالكتروليت) المستخدمة في عمليات التغطية بالحديد تبعاً لتركيبها الكيميائي إلى: محاليل كبريتية، محاليل كلوريدية (كلورية)، ومحاليل مختلطة وغيرها. بينما تصنف تبعاً لطريقة الاستخدام إلى محاليل باردة ومحاليل ساخنة، والجدول (2-25) يبين أنواع ومكونات المحاليل الكهربائية المستخدمة في عملية التغطية بالحديد بالغلفنة، وأنظمة التشغيل الكهربائية المستخدمة في عملية التغطية بالحديد بالغلفنة، وأنظمة التشغيل المستخدمة في ذلك.

إن عملية التغطية بالحديد باستخدام محاليل كهربائية باردة تتم باستخدام تيار كهربائي ذي كثافة منخفضة. سرعة ترسيب المعدن في هذه المحاليل لا تزيد عن 100-130 ميكرون/ساعة. أما في المحاليل الكهربائية الساخنة التي تصل درجة حرارتها إلى C° 50-105 درجة مئوية فإن عملية الطلاء الكهربائي (الغلفنة) تتم باستخدام تيار كهربائي مرتفع الكثافة (A/dcm^2 10-20)، وفي هذه الحالة تزداد سرعة ترسيب المعدن على العنصر بشكل كبير.

الجدول (2- 25) مكونات المحاليل الكهربائية وأنظمة عمليات التغطية الكهربائية بالحديد

مكونات المحلول وأنظمة عمليات التغطية بالحديد	كمية المواد في المحلول (غرام/ليتر)					
	1	2	3	4	5	6
كولريد الحديد $FeCl_2$	200	300	600	-	400	150
	250	350	680	-	600	200
كبريتات الحديد	-	-	-	300	-	200
كلور الصديوم NaCL	100	-	-	150	-	-
حمض الهيدروجين كلوريك	-	-	-	0.4	-	-
(حمض كلور الماء)	-	-	-	0.7	-	-
الحموضة – PH	0.8	0.8	0.8	-	0.5	0.6
	1.2	1.2	1.5	-	1.3	1.1
درجة حرارة المحلول (C°)	70-80	70-80	70-80	95-98	20-50	30-50
كثافة التيار A/dmc^2	20-40	20-50	20-60	10-15	10-30	20-25
خرج التيار (%)	85-92	85-95	85-95	90	85-92	85-92

في عمليات تجديد وإصلاح عناصر الآلات ومن أجل استعادة مقاييس العناصر، حيث يتطلب الحصول على طبقة تغطية سميكة نسبياً، غالباً ما يستخدم في عملية الغلفنة محلول كهربائي كلوريدي يحتوي على (غرام/ليتر): كلوريد الحديد 200-250 g/l، كلور المنغنيز 50-70، حمض الهيدروكلوريك Hydrocloric acid (حمض كلور الماء) (0.8-1).

أما نظام عملية الترسيب المستخدم فهو: درجة حرارة المحلول C° 55-65 درجة مئوية، كثافة التيار الكهربائي (Current density) A/dcm^2 25-35. ومن الضروري تصفية المحلول كل أسبوع للتخلص من الرواسب المختلفة.

في عمليات إصلاح وتجديد سطوح عناصر الآلات المتآكلة تظهر أحياناً ضرورة نزع طبقة الحديد المرسبة سابقاً والمشوهة (فيها عيوب) عن سطح العنصر.

مـــن أجل ذلك يستخدم محلول كيميائي يحتوي على (كنسبة مئوية %): كلوريد الحديد 3، حمض الهيدروكلوريك (حمض كلور الماء)، ماء 94. وبدرجة حرارة هذا المحلول حوالي C° 90-60 درجة مئوية. أو يستخدم محلول آخر يحتوي على حامض الأوكســـاليك 25، بروكســـيد (فـــوق أكســـيد) الهـــيدروجين 13، حـــامض الهـــيدروكلوريك 0.1 والباقي من المحلول ماء (تقريباً 62%). بعد ذلك يتم تعريض العنصر لمعالجة أنودية (مصعدية) في محلول يحتوي 30% من حمض الكبريت .

المحلـــول الكهروكيمـــيائي الكبريتي المستخدم في عمليات التغطية بالحديد وبدون تسخين للمحلول يحتوي على (غرام/ليتر):أول كبريتات الحديد 200-180، درجـــة حـــرارة المحلول C° 20-18 درجة مئوية، كثافة التيار الكهربائي المستخدم A/dcm^2 0.1-0.15.

أمـــا المحالـــيل الكهروكيميائية الكبريتية الساخنة فتتكون من المواد التالية (غـــرام/ليتر): كبريتات الحديد 150، كبريتات الصوديوم 100، حمض الكبريت1. نظـــام عملـــية الترســـيب: درجة حرارة المحلول 70-60 درجة مئوية، كثافة التيار الكهربائي A/dcm^2 10-5، درجة حموضة المحلول PH (2.5-2.4).

إن التذبذب الشديد في درجة حرارة المحلول أثناء عمليات التغطية بالحديد في المحالـــيل الســـاخنة، يمكن أن تسبب تذبذباً في الإجهادات الداخلية في الطبقة المرســـبة. وهـــذا ما يسبب تصدعاً أو تشققاً وانسلاخاً في طبقة التغطية. لذلك في عملـــيات التغطية الكهربائية لسطوح العناصر لا يسمح أبداً بتذبذب درجة الحرارة أكـــثر من C° 2± درجة مئوية. إن تذبذب كثافة التيار الكهربائي تؤثر بدرجة أقل مـــن درجـــة الحرارة على مواصفات ونوعية طبقة التغطية الناتجة. ولكن من غير المـــرغوب فـــيه أن يكون هناك تذبذب كبير في كثافة التيار. ولكن من الضروري

تجنب انقطاع التيار الكهربائي أثناء عملية التحليل الكهربائي وترسيب طبقة المعدن.

§ 4- الطلاء (التغطية) الكيميائي بالنيكل.

تستخدم عمليات التغطية الكيميائية بالنيكل في عمليات إصلاح وتجديد إصلاح عناصر الآلات المتآكلة والمهترئة، وذلك من خلال تغطيتها بطبقة متساوية السماكة من النيكل. تستخدم هذه الطريقة من أجل تغطية عناصر من الفولاذ، النحاس، النحاس الأصفر، النيكل والألمنيوم.

إن عملية التغطية الكيميائية بطبقة من النيكل Sheet of nickel تقوم على أساس اختزال (Reduction – خفض درجة الأكسدة أو ما يسمى بالإرجاع) شوارد النيكل بواسطة الهيبوفوسفات (تحت الفوسفات).

نتيجة للتفاعل على سطح العناصر المعالجة يتم ترسيب طبقة تغطية من النيكل والفوسفات على سطوح هذه العناصر. نسبة احتواء هذه الطبقات على الفوسفات تعتمد على تكنولوجية عملية التغطية، وهي تتراوح بحدود %(13-5).

نتيجة للبنية المجهرية الدقيقة للطبقات التغطية من النيكل والفوسفات، فإن قساوة الطبقة السطحية بحدود MPa 5000-3500، ويمكن أن تزداد مع زيادة نسبة الفوسفات في طبقة التغطية. عند تسخين العناصر المغطاة بمثل هذه الطبقات حتى درجة حرارة C° 400-250 درجة مئوية فإن قساوتها تزداد حتى 1200 HB.

كذلك إن المعالجة الحرارية للعناصر تحسن وتزيد من متانة التصاق أو التحام طبقة التغطية مع سطح العنصر الأصلي. فعلى سبيل المثال، هذه المتانة تساوي تقريباً 35MPa بعد عملية الترسيب، وإذا تم تسخين العنصر إلى C°250-200 درجة مئوية خلال min 60-40، فإنها تزداد إلى 280 MPa.

تـــتم عمليات التغطية الكيميائية لسطوح عناصر الآلات والقطع المختلفة بطـــبقة من النيكل باستخدام محاليل قلوية Alkaline solution أو محاليل حامضية Acid solution. تتمـــيز المحاليل القوية بمؤشرات اقتصادية وفنية أفضل بالمقارنة مع المحالـــيل الحامضية. من أجل الحفاظ على درجة تركيز هذه المحاليل وفعاليتها، من الضـــروري باستمرار وبصورة منتظمة إضافة بعض المركبات إلى المحلول من أجل التعويض عن العناصر المستهلكة في عملية الترسيب، وهذا ما يساعد على استخدام هـــذه المحاليل لفترات زمنية طويلة. إن سرعة عملية الترسيب الكيميائي للنيكل في وسط هذه المحاليل يمكن أن تكون ثابتة وتصل إلى حدود (12-10) ميكرون/ساعة.

إن عملـــية ترسيب النيكل على سطوح العناصر تعتمد بدرجة كبيرة على رجـــة حموضـــة Acidity المحلول الكيميائي (الالكتروليت) المستخدم). إن عملية الترســـيب لشوارد النيكل والفوسفات تتم بصورة طبيعية إذا كانت درجة حموضة الوسط بحدود PH 6.5-4.5، أو درجة القلوية بحدود PH 9-7.

عـــلى ســـبيل المثال، عندما تكون درجة حموضة المحلول 2PH فإن عملية ترسيب النيكل لاتتوقف، ولكن سطح المعدن يتحطم ويتضرر بتأثير المحلول (يتحفر بـــتأثير الحوامض). من أجل التركيز PH 9.5 يتم الحصول على طبقة ترسيب ذات نوعـــية سيئة، كذلك فإن سرعة عملية اختزال (إرجاع) النيكل تعتمد أيضاً على درجة PH، وهي ليست ثابتة وإنما تتغير بتغير هذا الموشر .

التدقيق والتجربة العلمية أظهرت أنه عند الطلاء الكيميائي بالنيكل في وسط حامضـــي فإن عدم انتظام سماكة طبقة التغطية (من أجل سماكة عامة Mm 30-15 ميكرون) يقع بحدود (1-0.5) ميكرون، أي يشكل تقريباً 3% من سماكة الطبقة.

إن عملـــية الطـــلاء الكيميائي بالنيكل لسطوح العناصر تختلف عن عملية الطلاء (التغطية) الكهربائي بالنيكل (الغلفنة)، بأن العملية الأولى تترافق بالاستهلاك

(الـــنفاذ) الســـريع للمحلول الكيميائي المستخدم وبتناقص شديد في سرعة عملية الترسيب لذرات النيكل على سطح العنصر.

في عملـــيات الترسيب الكهربائي للمعدن (الغلفنة) على سطوح العناصر يـــبقى تركـــيز العناصـــر داخل المحلول (الالكتروليت) ثابتاً، وهذا على حساب الانحـــلال المستمر (الذوبان) للمصاعد (الأقطاب الموجبة – Anodes). لذلك من الضـــروري في عمليات الطلاء الكيميائي بالنيكل وتصحيح وضبط تركيز المحاليل داخل الحوض كل ساعة بإضافة العناصر اللازمة.

يمكـــن الـــتحكم بســـرعة عملية ترسيب النيكل وذلك باستخدام محاليل حامضـــية أو قلوية ذات تراكيب ومكونات مختلفة وكذلك عن طريق تغيير درجة حـــرارة المحاليل. في المحاليل القلوية تعتمد سرعة عملية الترسيب بدرجة كبيرة على درجـــة حـــرارة المحلول. وبشكل عام، إن سرعة عملية الطلاء بالنيكل في المحاليل الحامضية أعلى بقليل منها في المحاليل القلوية.

مـــن الممكـــن الحفاظ عملياً على سرعة ترسيب ثابتة للنكيل باستخدام المحاليل القلوية وذلك عن طريق التعويض المستمر للمحلول بالمواد اللازمة بحيث يتم الحفاظ على تركيب ثابت تقريباً لهذه المواد في المحلول. ويتم معايرة وضبط محتوى العناصـــر داخـــل المحلـــول القلـــوي عن طريق الإضافة الدورية لأملاح النيكل، الهيبوفوسفات (تحت الفوسفات) ومحلول الأمونيا (غاز النشادر) وذلك وفق نسب محـــددة لكـــل عنصر. من الضروري الحفاظ على معدل الحموضة PJ (أو القلوية) داخل المحلول بحدود PH 8.5-8.7.

§ 5– استخدام المواد البلاستيكية والمواد اللاصقة:

تســـتخدم المـــواد البلاستيكية (اللدائن Plastic materials) في عمليات الإصلاح على شكل طبقات تغطية رقيقة على سطوح العناصر المهترئة، وذلك من

أجـــل استعادة الأبعاد الصحيحة والدقيقة لهذه العناصر، ولزيادة مقاومتها للاهتراء Wear resistant، ولتحسين درجة إحكام السد ومنع التسرب وبالوقت نفسه فإن طبقة التغطية البلاستيكية تقلل من الضوضاء والضجيج الناتج عن احتكاك سطوح العناصـــر فيما بينها وتزيد من مقاومتها للتآكل Corrosion risistance. إن هذه الطبقة البلاستيكية الرقيقة على سطح العنصر لا تؤثر متانته عملياً.

يـــتم ترســـيب البلاســـتيك على سطوح العناصر بالصب تحت الضغط، بالكـــبس على الساخن (تشكيل على الساخن)، بواسطة القوى الطاردة المركزية، الدوامية وغيرها.

5-1 اللدائن الأكريليكية Acrylic Plastic:

تســـتخدم بشكل واسع في عمليات تجديد وإصلاح عناصر الآلات المواد البلاستيكية الأكريلييكة التي تحتوي الراتنج (القطران) الأكريليكي كمواد رابطة.

ينســـب إلى المـــواد البلاستيكية الأكريليكية: البلاستيك الايبوكسيدي-الاكريليكي Cxэ-2 و Cxэ-3 وغيرها.

هـــذه اللدائن الحرارية سريعة التصلب يتم الحصول عليها بمزج المساحيق والســـوائل. وهـــذه الكـــتلة المحضرة ذات القوام اللزج، تتصلب بدون تسخين أو ضـــغط. تستخدم هذه المواد البلاستيكية في تجديد (ترميم) سطوح العناصر المهترئة مـــن أجـــل تصـــحيح واستعادة الأبعاد الصحيحة لهذه العناصر وتغطية الخدوش والشـــقوق. باستخدام طبقات التغطية البلاستيكية يتم إصلاح وتجديد: المواجهات الدائـــرية Voircular ways في ماكينات التشغيل، موجهات العربات (الطاولات) في المخـــارط، الفـــارزات، ماكينات قطع الأسنان وغيرها من ماكينات التشغيل، أســـافين الضبط وبعض عناصر الأجهزة والمعدات والمكابس. كما وتستخدم هذه المـــواد مـــن أجل إصلاح محامل أعمدة دوران الرؤوس البرجية Turret head في

المخارط البرجية Turret lathes، ثقب الذنبة الخلفية في المخارط وماشاهها، أسنان الصواميل ولوالب التغذية في آلات التشغيل، أجزاء المضخات الهيدروليكية، عناصر الميكانـــيزمات الانزلاقية وغيرها من عناصر ومعدات قطع المعادن وآلات التشغيل والاسطوانات الهيدروليكية وغيرها.

إن طبقات التغطية البلاستيكية المتصلبة هذه مقاومة للاهتراء وتعمل بشكل جيد في الازواجات من حديد الصب، الفولاذ، البرونز. ومعامل الاحتكاك في مثل هـــذه الازواجـــات بـــدون وجود مواد تزييت 0.18-0.20، أما باستخدام سوائل التزييـــت والتزليق المناسبة يتناقص معامل الاحتكاك إلى 0.143. هذه اللدائن ذات درجة ثابتة كيميائية مرتفعة، فهي لا تتأثر بمختلف المواد القلوية، البنزين، التربنتين، المياه العذبة والمياه المالحة البحرية، ولا بالزيوت النباتية أو المعدنية. ويمكن إزالة هذه الطـــبقة عـــلى سطوح العناصر بالتسخين حتى الدرجة 150-200C° درجة مئوية وبعدها بالحرق النار، أو تزال بالتشغيل بالقطع.

إن لزوجة Stickiness هذه المواد البلاستيكية تتغير تبعاً لنوع المواد الداخلة في تكوينها. من أجل ذلك يضاف الخليطة البلاستيكية (المسحوق) بعض مساحيق المـــواد المعدنية وغير المعدنية والمواد الليفية والحشوات من مواد معدنية وغير معدنية أيضاً.

مـــن أجل تحسين الخصائص الاستثمارية لطبقة التغطية البلاستيكية (تقليل معامل الاحتكاك وزيادة مقاومة الاهتراء) يضاف إلى البلاستيك مسحوق الغرافيت (بنسبة لا تتجاوز 10% من وزنه) ولكن يجب الانتباه إلى أن إضافة الغرافيت يسيء إلى خاصـــية الالتصـــاق والالـــتحام بين جزيئات البلاستيك. تستخدم هذه المواد البلاســـتيكية من أجل تجديد وإصلاح موجهات آلات التشغيل الكبيرة والعملاقة، حيـــث يمكن تغطيتها بطبقة سماكتها تصل إلى أكثر من 2mm، وهذه التغطية يمكن

أن تتم على مرحلتين. باستخدام محلول البلاستيك Cxə-3، Cxə-2 يغطى السطح المراد معالجته بطبقة أساس تتمتع بدرجة التصاق والتحام عظمى.

عـــند بلمرة Polymeruzation الاكريليت لا يُسمح بتشكل الفقاعات أو الانتفاخات أو أية عيوب أخرى على سطح طبقة الأساس.

بعـــد انـــتهاء بلمرة طبقة الأساس على سطح العنصر يتم صب (ترسيب) طـــبقة البلاســـتيك الرئيسية (العاملة) والتي تحتوي في تركيبها على المواد اللازمة والمقاومة للاحتكاك وبالنسب المطلوبة. وفقاً لهذه الطريقة يتم الحصول على التحام كامل وجيد للطبقة البلاستيكية الثانية مع الطبقة الأولى.

يتم تحضير محلول البلاستيك، الذي سوف يستخدم لتغطية سطح العنصر، مباشرة قبل استخدامه. لذلك يجب معرفة النسبة الصحيحة بين المسحوق والسائل اللازمـــين لذلك تبعاً لحجم ومقاييس العنصر أو السطح المراد تغطيته، أو الثقب أو السطح المراد ملؤه بالمزيج. كلما كان الشق أطول و أضيق وجب أن يكون المزيج أكثر سيولة.

بشـــكل عـــام ينصح بالنسب التالية للمسحوق والسائل: 1/0.75، 1/1، 1./1.5، 1/2. بـــزيادة كمية السائل في المحلول يزداد كلٌ من انكماش وزمن تجمد (تصلب) البلاستيك.

يوضـــع كـــلٌ من المسحوق والسائل في وعاء زجاجي، خزفي أو فولاذي نظيف، ويتم تحريك المزيج بعناية ودقة بشكل دوراني وباتجاه واحد لمدة 2-1 دقيقة حـــتى يتم انتفاخ المسحوق في السائل وتشكيل كتلة لزجة متجانسة (لبنية القوام). بعد ذلك يصبح هذا المزيج من ACT-T والبوتاكريل جاهزاً للاستعمال.

مزيج المواد الاكريليتية Cxə-3 و Cxə-2 يتم تغطيته ويترك لفترة 25-10 دقيقة تبعاً لدرجة حرارة الوسط المحيط، بعد ذلك يصبح المزيج جاهزاً للاستخدام.

الطبقة المتصلبة من الأكريليت Cxэ-3 أو Cxэ-2 يمكن عند الضرورة إزالتها بتسخين العنصر إلى 160-170C° درجة مئوية ، أو بطريقة ميكانيكية يتم تغطية سطح العنصر بالبلاستيك بالسكب الحر لهذا المزيج أو يدوياً باستخدام فرشاة أو أداة مناسبة (مسطرين صغير).

خشونة سطوح العناصر بعد تغطيتها بالبلاستيك (ACT-A والبوتاكريل) تقع بحدود R_z=40-320μm، ومن أجل المواد الأكريليتية Cxэ-3 و Cxэ-2 R_z= 10-80 μm.

من الضروري قبل التغطية تنظيف سطوح العناصر من المواد الدهنية بشكل دقيق بواسطة البنزين، الأستون، أو غيرها من المحاليل، ثم تجفف لمدة (10-15) دقيقة.

بعض أجزاء سطح العنصر التي لا يتوجب تغطيتها بمحلول البلاستيك يتم دهنها أو تغطيتها بطبقة من الشمع المعدني (البرافين)، السيليكون، صابون الغسيل أو يتم دهن هذه السطوح بمسحوق الغرافيت. وبذلك تتشكل على سطح العنصر طبقة فاصلة رقيقة جداً تمنع التصاق البلاستيك على سطح العنصر.

من الضروري تثبيت العناصر أثناء تغطيتها من أجل الحصول على شكل صحيح للسطوح المعالجة. التصلب الكامل لطبقات التغطية البلاستيكية السميكة نسبياً يتم خلال (5-12) ساعة. وبخفض درجة الحرارة فإن عملية التصلب تتباطأ أكثر.

من أجل كميات كبيرة من البوتكريل في المزيج يتم صب المزيج على مراحل متعددة الطبقات. وفي هذه الحالة يحصل التصاق جيد بين الطبقتين السابقة واللاحقة. مزيج المسحوق والسائل يحضر بكميات محددة (على دفعات)، ليس لأكثر من 200 غرام كل مرة.

تترافق عملية تصلب البلاستيك بطرح (بانطلاق) حرارة كبيرة، لذلك عند صب كميات كبيرة من محلول البلاستيك من الضروري تأمين خروج أو تصريف جيدٍ للحرارة.

بالنسبة لطبقة البلاستيك المتصلبة يمكن تشغيلها جيداً بالقطع (خراطة، تجليخ وتلميع).

يتم تجديد وإصلاح عناصر الآلات باستخدام البلاستيك الأكريليكي وفق العمليات التكنولوجية التالية على التسلسل:

1- تجديد أو استعادة الدقة الهندسية للعناصر القاعدية (آبدان آلات التشغيل، الفرش، الطاولات وماشابهها) .

2- تحضير سطوح العناصر المطلوب تغطيتها بالبلاستيك وذلك بتشغيلها بالخراطة أو القشط أو ما شابهها من أجل الحصول على الفجوة اللازمة لملئها بالبلاستيك وهي بسماكة 2.5-3 mm تقريباً .

3- تنظيف السطوح المطلوب تغطيتها من بقايا الزيوت والشحوم والأوساخ وتجفيفها بعد ذلك جيداً .

4- إحكام السد فيما بين السطوح المتزاوجة مع بعضها والمطلوب إصلاحها بواسطة مواد لدنة مناسبة (بلاستيلين) وتشكيل قمع منن أجل صب البلاستيك من خلاله .

5-صب البلاستيك السائل من خلال القمع في الشق أو الفراغ بين السطوح المتزاوجة (المتقابلة) .

6- اختبار نظام تصلب البلاستيك، أي تحديد الزمن اللازم لتصلب البلاستيك تبعاً لدرجة حرارة الوسط المحيط .

7- إزالة النتوءات والزوائد البلاستيكية إن وجدت .

8- التحقق من جودة السطح الناتج .

9- تشغيل السطوح التشكيلية (إذا لزم الأمر) وتشكيل قنوات التزييت .

إن التحضير الجيد للسطوح قبل التغطية له تأثير هام على نوعية طبقة التغطية الناتجة وعلى الجهد وحجم العمل المطلوب لعملية الإصلاح بالكامل.

تجديد المحامل الانزلاقية Reconditioning the plain bearing :

إذا كان اهتراء المحمل ليس شديداً، يمكن ترميم وإصلاح سطحه بالتشحيم العادي. السطح الداخلي للمحمل يمكن تنظيفه بورق سنفرة ناعم. ثم ينظف السطح بشكل جيد جداً من الزيوت والشحوم وما شابهها، ثم يغطى بطبقة رقيقة منتظمة ذات تركيب ايبوكسدي (ايبوكسي). بعد تصلب هذه الطبقة البلاستيكية يمكن تشغيلها على ماكينة خراطة دقيقة لضبط شكل وقطر السطح الداخلي للمحمل.

تتم عملية تجديد (ترميم) السطوح الداخلية للمحامل الانزلاقية بتغطيتها بطبقة بلاستيكية تحتوي في تركيبها (نسب وزنية): راتنج (قطران) ايبوكسيدي Д-6д (100)، مسحوق غرافيت (30)، بولي ايتلين البوليامين (10). كذلك يستخدم في تجديد سطوح المحامل الانزلاقية مواد مقاومة للاحتكاك ТС-52د، تحتوي في تركيبها كنسب وزنية: راتنج ايبوكسدي 100، بوليي إيثلين البوليامين 10، غرافيت (80-50)، ثيوكول (مطاط صناعي) (25) مارشليت (100-80) وبعض الإضافات الأخرى.

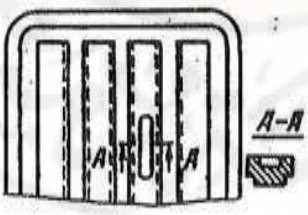
يتمتع البلاستيك بشكل عام بخصائص نوعية جيدة فيمام يخص مقاومة الاحتكاك، المرونة، مقاومة الرطوبة (صامد ضد الرطوبة) بالإضافة إلى أنه لا يتحلل (لا ينحل) بالبنزين، الكاز والزيوت. معامل الاحتكاك Friction Coefficient بين عنصرين فولاذيين وبدون استخدام مواد التزييت 0.02.

يتمتع البلاستيك بخاصية الالتصاق أو الالتحاق الشديد مع المعدن وهذا ما يسمح باستخدام طبقات التغطية البلاستيكية (ذات التركيب الايبوكسيدي) بنجاح في عمليات تجديد وترميم سطوح المحامل الانزلاقية.

إصلاح وترميم الخدوش والتثلمات:

كنتيجة للاستخدام الطويل للآلات والمعدات وماكينات التشغيل تظهر على سطوح تركيب وضبط الطاولات بعض الخدوش والتثلمات والحزوز الدقيقة. من أجل ترميم سطوح هذه الطاولات تستخدم طريقة سد (ملء) المناطق المتضررة من السطح بواسطة شرائح أو ألواح صغيرة (شريطة) تثبت بواسطة غراء ايبوكسيدي (مادة لاصقة) كما هو مبين على الشكل (6-25).

يتم تحضير هذه الشرائح أو الألواح الصغيرة من مادة العنصر المطلوب إصلاحه نفسه. سماكة هذه الشريحة يجب أن تكون أكبر من عمق الأخدود (المجرى) المشكل على سطح العنصر بمقدار mm 2-1. يتم تنظيف السطوح المتقابلة للشريحة والأخدود بشكل جيد وتدهن بطبقة رقيقة من الغراء الايبوكسيدي المناسب. توضع هذه الشريحة ضمن المجرى وتضغط بقوة لتشكل ضغطاً قدره 0.8MPa. وبعد تصلب البلاستيك (الغراء) بشكل جيد يتم تسوية (ضبط) سطح الشريحة على سطح الطاولة .



الشكل (6-25) ترميم (تجديد) سطح طاولة آلة التشغيل بطريقة لصق شرائح معدنية في مكان العيوب بواسطة غراء ايبوكسيدي.

من أجل التخلص من الخدوش والخزوز على سطوح موجهات آلات التشغيل يستخدم كذلك عجينة ايبوكسيدية من التركيب نفسه، حيث يمكن استخدامها أيضاً من أجل ترميم الشقوق في العناصر الجسمية. يتم تنظيف السطوح في مكان وجود العيوب (شقوق- خدوش،..) بواسطة أداة قشط خاصة أو بواسطة قرص جلخ وبعدها ينظف السطح بعناية بواسطة مادة مذيبة للزيوت والشحوم ويجفف بشكل جيد. بعد تبخر المادة المذيبة وجفاف السطح يتم تغطيته بالعجينة وتسوية سماكة هذه المادة على السطح بواسطة مشحاف خاص. بعد تصلب العجينة على السطح يمكن تسويتها بالمقشطة.

ترميم وإصلاح الشقوق:

يتم ترميم الشقوق في العناصر الجسمية للآلات والمعدات بوساطة البلاستيك الايبوكسيدي عندما يكون مقدار الضرر الذي لحق بالعنصر قليلاً أو عندما يلزم إصلاح إحكام السد (منع التسرب) في جسم الآلة.

يتم تحضير مكان الشق بتشكيل شطفة على شكل حرف V على جانبيه (كما في عمليات اللحام) بعرض mm 10-8، وعلى نهايتي الشق يتم حفر ثقبين بقطر mm 3.5-3. ويتم تنظيف منطقة الشق بالأسيتون أو بالكحول ويترك لمدة min 15-10 بحيث يتبخر سائل التنظيف ويجف السطح وبعدها يوضع على سطح العنصر في منطقة الشق مادة عجينية يدخل في تركيبها المواد التالية (كنسب وزنية): راتنج ايبوكسيدي 6-ЭД (100)، بولي إيتلين البوليامين 10، مسحوق الحديد 100. من أجل إعطاء المادة الموضوعة في مكان الشق لون المعدن الأصلي نفسه يمكن إضافة صبغة أو بعض الإضافات إلى العجينة. بعد الانتهاء من ترميم وإصلاح الشق وتصلب المادة، يتم تنعيم وتسوية هذه الوصلة (الدرزة) بالمبرد.

تجديد بطانات (قمصان) الاسطوانات العاملة:

تشـــكل الاســـطوانات الجزء الأساسي في الأجهزة الهيدروليكية والهوائية وغالباً ما يكون الجزء العامل في هذه الاسطوانات عن شكل بطانة داخلية (قميص) مـــن الفولاذ. وتتعرض لاهتراء شديد بسبب الاستخدام الطويل لهذه الأجهزة. من أجل ترميم هذه الاسطوانات واستعادة الأبعاد الأولية التصميمية لسطوحها المهترئة يـــتم تغطيتها بطبقة من البلاستيك . قبل ذلك يتم خراطة السطح الداخلي العامل للأســـطوانة (البطانة) بشكل دقيق من أجل التخلص من الاهتراء واستعادة الشكل الصـــحيح للاسطوانة من الداخل. بعد ذلك يتم تنظيف هذا السطح بشكل جيد بمحلـــول مناسب (كيروسين،..) ويترك حتى يجف تماماً. بعدها يغلق إحدى جانبي الأســـطوانة بشـــكل محكم بغطاء مناسب ويسكب داخلها بلاستيك سائل بكمية مناسبة وبعدها تغلق الجهة الثانية للأسطوانة بإحكام.

تحســـب كمية المعدن Q (مقدرة بالغرام) اللازمة لتغطية قميص الأسطوانة الهيدروليكية من الداخل واستعادة أبعادها، بالعلاقة التالية:

$$Q = C \pi v d t l \quad , \quad (g) \qquad (25\text{-}2)$$

حيث: C- معامل يأخذ بعين الاعتبار انكماش البلاستيك عند التصلب، C=1.4،

v- كثافة البلاستيك ، (g/cm^3)؛

d- القطر الوسطي لطبقة البلاستيك، (cm)؛

l- طول قميص الاسطوانة، (cm).

بعد إحكام سد طرفي الأسطوانة، يتم وضعها بين ذنبتي (مراكز) المخرطة. عـــندما تـــدور الآلة والاسطوانة يندفع البلاستيك السائل باتجاه السطح الداخلي للأســـطوانة بـــتأثير القوة الطاردة المركزية المتشكلة بفعل الدوران، ونتيجة لذلك يتشـــكل على السطح الداخلي لقميص الأسطوانة طبقة تغطية بلاستيكية متساوية

السماكة. بعد التصلب الكامل لطبقة البلاستيك يتم وقف دوران المخرطة والأسطوانة.

من الممكن سكب البلاستيك المنصهر داخل الأسطوانة بعد تركيبها على المخرطة، وذلك من خلال ثقب الغطاء.

يتم تحديد سرعة دوران الجزء المحوري Spidle بالعلاقة:

$$N = 9000 / \sqrt{d} \quad , \quad (r.p.m) \qquad (25\text{-}3)$$

حيث: d- القطر الداخلي لبطانة (قميص) الأسطوانة المطلوب إصلاحه، (cm).

من أجل إكساب هذه الطبقة البلاستيكية مقاومة الاحتكاك يستخدم في تجديد وإصلاح القميص الداخلي للأسطوانة الراتنج (القطران) الايبوكسيدي مضافاً إليه مسحوق الغرافيت، وكمساعد على التصلب يضاف بولي ايتليين البوليامين.

5-2 البلاستيك متعدد الأميدات (البولي أميد) Poly amide Plastic:

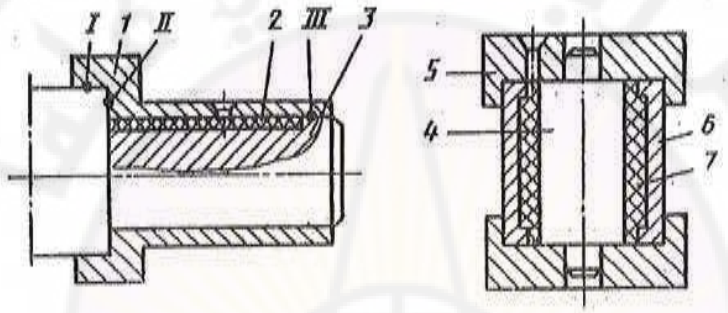
إن استخدام البلاستيك أو اللدائن من نوع البولي أميد في عمليات تغطية وتجديد سطوح عناصر الآلات ممكن وفق الشروط التالية:

تستخدم طبقات التغطية هذه لتجديد سطوح العناصر المتزاوجة (المتقابلة) والمحضرة وفق الدرجة الثامنة للدقة (IT-8) أو بدقة أقل، والتي تعمل في درجات حرارة لا تزيد عن 80°C درجة مئوية، وسرعة انزلاق حتى 0.5 m/sec، وبضغط حتى 1.5 MPa.

إن استخدام هذه المواد لا يسمح بالحصول على خشونة للطبقة المرسبة على سطوح العناصر بحدود Ra = 25÷30 μm، وذلك بسبب تغيير مقاييس هذه السطوح بسبب قابلية هذه المواد لامتصاص الرطوبة. من أجل ترسيب طبقة التغطية البلاستيكية على سطح العنصر يتم تحضير قالب مناسب Mould يتوضع وفق

سطوح العنصر المطلوب تغطيته، كما هو مبين على الشكل (7-25). هذه السطوح يمكن أن تكون أسطوانية الشكل (السطوح I و III)،أو مستوية جبهية كالسطح I.

مـــن أجل تأمين خروج الهواء من الفراغ الداخلي (بين العنصر والقالب) يـــترك خلوص دقيق (شق) بين أجزاء القالب بعرض 0.02-0.04mm أحياناً، وفي بعض الحالات الخاصة يشكل في القالب ثقب بقطر 0.2-0.3mm من اجل تصريف الهواء من داخل القالب إلى الخارج.



(a (b

الشكل (7-25) – مخطط ترسيب طبقة بلاستيكية على سطوح العناصر بواسطة القوالب:
a و b– عمود وجلبة يراد ترميم سطوحهما، I و II و III– سطوح العمود، 1– قالب ، 2 و7– طبقات التغطية، 3- العمود ، 4 و5– أجزاء القالب، 6– الجلبة.

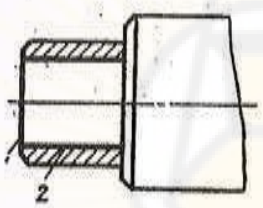
قـــبل إجـــراء عملية التغطية يجب تحضير السطوح المطلوب تغطيته بتشغيله بالقطع وإزالة طبقة معدنية منه بسماكة مناسبة من أجل ترسيب البلاستيك مكانها. سماكة هـــذه الطـــبقة المقطوعـــة من سطوح العنصر يجب أن تكون متساوية على كافة الســـطوح المـــراد تغطيتها في العنصر، وذلك من أجل تأمين تبريد منتظم وتصلب مـــتماثل للبلاســـتيك عـــلى كافة سطوح هذا العنصر. وفي حال عدم تحقق هذا الشـــرط، حيث يحصل تقلص غير منتظم للبلاستيك خلال تبريده، فإن هذا يسيء إلى الخواص الميكانيكية لطبقة التغطية ويقلل من دقة الأبعاد الناتجة.

بسبب انخفاض الناقلية (التوصيل) الحرارية Heat Conduction للبلاستيك يجب أن تكون سماكة طبقة البلاستيك على سطح العنصر أقل ما يمكن.

5-3 استخدام الغراء في عمليات الإصلاح:

واحـــدة مـــن الطرق الشائعة الاستخدام لتجديد وإصلاح عنق الأعمدة الـــدوارة المهـــترئة والمحـــامل هي تلبيس هذه الأجزاء جلبة رقيقة الجدار وتثبيتها باستخدام بعض المواد اللاصقة (الغراء) المناسبة.

على سبيل المثال، من أجل ترميم (تجديد) السطوح المتقابلة للمحمل وعنق العمود يتم خراطة حلقة المحمل من الداخل بمقدار قليل بحيث يتم التخلص من آثار الإهتراء والخدوش، ويتم لصق جلبة رقيقة الجدار من نفس المعدن على عنق العمود كما في الشكل (8-25).



الشكل (8-25) – تجديد عنق العمود بواسطة الجلبة:1– عنق العمود ؛ 2– الجلبة.

القطر الخارجي للجلبة المستخدمة يجب أن يساوي القطر الداخلي للمحمل.

قبل تركيب الجلبة على العمود يتم خراطة عنق العمود المهترئ، بحيث يتم إزالـــة طبقة منه تساوي سماكة جدار الجلبة المستخدمة (ليس أقل من 2mm). بعد ذلـــك يتم تنظيف سطحي عنق العمود والجلبة من الداخل بشكل جيد وتجفيفهما، ثم يدهنا بطبقة رقيقة من الغراء المناسب، بحيث يكون كافياً لملئ الخلوص بين عنق العمـــود والجلبة. تضغط الجلبة محورياً من أجل تركيبها على عنق العمود ولا يجوز تدويرها حتى لا تتشكل في داخل الوصلة فقاعات هوائية.

بعـــد جفاف الغراء بشكل كامل يتم الحصول على تثبيت متين لهذه الجلبة على عنق العمود، بحيث لا يلزم استخدام آية وسيلة ربط إضافية (برغي، غاطس، مثلاً) بينهما.

إصلاح القوابض– Clutches:

خـــلال الاســـتخدام الطويل للقوابض الاحتكاكية Friction Clutches (أجهـــزة فصل – وصل احتكاكية) يحصل اهتراء شديد للسطوح العاملة في هذه القوابـــض. عـــند إصلاح هذه القوابض ومن أجل استعادة قابلية الفصل والوصل بشـــكل سلس وآمن يتم بشكل رئيسي استبدال مادة التغطية الاحتكاكية (البطانة الاحتكاكية) المثبتة على القرص المعدني للقابض.

من أجل إصلاح أقراص القوابض تستخدم مواد ذات تركيب ايبوكسيدي (ايبوكســـي). مـــن أجل تحقيق ذلك يتم تثقيب القرص الفولاذي بعدد كبير من الـــثقوب قطرها mm 4-3. بعدها يتم تنظيف سطوح هذا القرص بشكل جيد من الـــزيوت والشـــحوم وغيرها من الأوساخ ويجفف. بعدها يتم تركيب القرص في مثبـــت خـــاص ويدهـــن من الجانبين بطبقة رقيقة من البلاستيك، سماكتها بحدود 1-2mm. عمليـــة تجمـــد وتصلب البلاستيك يمكن أن تتم في الهواء الطلق، أو في ترموستات ذو درجة حرارة ثابتة، على حد سواء.

البلاســـتيك الاحتكاكي المستخدم كبطانة احتكاكية للقوابض، يحضر من راتـــنج (قطـــران) ايبوكســـيدي، ويحتوي على المواد التالية (كمية وزنية): راتنج ايبوكســـيدي 100، بـــولي ايـــتلين البوليامين 10، ديبوتيل فتالت 20، ألياف من الصوف الصخري (اسبستوس) 65، غرافيت 50، كربيد السيليكون 45، مسحوق القصـــدير 15. هـــذه المـــواد على شكل مساحيق (كربيد السليكون، الغرافيت والقصـــدير) تخلـــط مـــع بعضـــها بشكل جيد ويتم سحقها (دقها) مع الصوف

الصـــخري في جرن (هاون) حتى الحصول على مزيج ناعم متجانس. يضاف على المزيج الناتج الراتنج الأيبوكسيدي، مواد ملينة ومواد تساعد على التصلب، ويحرك هذا المزيج ثانية بشكل جيد.

الأقـــراص الاحتكاكـــية للقوابض ذات البطانات البلاستيكية من الجانبين تعمل بشكل جيد عند التعشيق مع أقراص فولاذية مقابلة لها.

إن اســـتخدام البلاستيك الاحتكاكي بديلاً عن المواد الاحتكاكية العادية يسمح بزيادة مدة خدمة (عمر) السطوح الاحتكاكية للقابض بعدة مرات.

إصلاح وتجديد الموجهات:

أثناء استخدام ماكينات التشغيل وماكينات الأخشاب يحصل اهتراء شديد في موجهات فرش الآلة Ways of bed machine وغيرها من العناصر التي تتحرك بالنســـبة إلى بعضها بحركات خطية مستقيمة. إن اهتراء موجهات آلات التشغيل يؤثـــر بشـــكل شـــديد على دقة العناصر المشغلة على هذه الآلات. وكما تظهر التجارب والخبرة العملية في مجال الإصلاح، فإن تكاليف تجديد وإصلاح موجهات التشغيل تشكل وسطياً 30-40% من مجموع تكاليف إصلاح الآلة.

يســـتخدم في الوقت الحاضر في عمليات إصلاح الموجهات المستوية الغراء الايبوكســـيدي. وهـــذا ما يسمح بإجراء عملية الإصلاح بسرعة ووثوقية عالية، حيث يتم في البداية قشط سطوح هذه الموجهات في مكان الاهتراء أو التشوه ويتم تحضـــير شرائح معدنية مناسبة، أبعادها تماثل أبعاد السطح الذي تم قشطه (كما هو مـــبين عـــلى الشكل 6-25). يتم تنظيف سطح الموجه والشريحة بشكل جيد من الشحوم والزيوت وتجفف، ثم يدهن سطح الموجه في مكان القشط والشريحة بطبقة رقـــيقة مـــن الغراء الايبوكسيدي وتوضع الشريحة في المجرى المخصص على الموجه وتضـــغط بقوة ويثبت طرفيها بواسطة اثنين من الأوتاد تم زرعها مسبقاً في الموجه

(Dowel). وعـــند جفـــاف المادة اللاصقة بشكل نهائي نحصل على التصاق جيد وآمـــن لهذه الشرائح على سطح الموجه. الأوتاد المستخدمة لتثبيت نهايتي الشريحة تدهـــن بالغراء وتثبت بشكل مسبق في الموجه داخل ثقوب محضرة لهذه الغاية وفق الأزواج H11/h11.

مـــن أجـــل الحصول على التصاق جيد ومتين لكامل سطح الشريحة على الموجه يوضع عليها حمولة مناسبة حتى تجف بالكامل. وبعدها يمكن إجراء التشغيل الـــلازم لهذه الشرائح. إذا لزم الأمر إجراء عملية إصلاح للمرة الثانية لنفس المكان يجـــب إزالـــة الشريحة المهترئة، وتنظيف السطح بشكل جيد جداً من بقايا الغراء السابق، ويلصق من جديد شريحة (أو شرائح) جديدة لا تقل سماكتها عن 6mm.

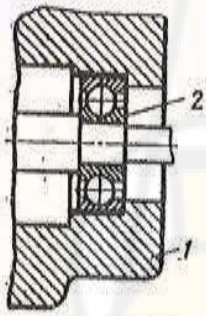
إن استخدام هذه الطريق في الإصلاح والغراء الايبوكسيدي تسمح بتثبيت شـــرائح سماكـــتها بحـــدود 2-3mm بشـــكل عام ومن أي مادة أو معدن مقاوم للاحـــتكاك. أي يمكـــن تحضـــير الشرائح من حديد الصب، البرونز، البلاستيك السرقائقي (تكستوليت) وغيرها من المواد. يستخدم في هذه العملية غراء يحتوي في تركيـــبه المواد التالية (كنسب وزنية): راتنج ايبوكسيدي 6-ЭД(100)،بولي ايتلين البوليامين (10)، ديبوتيل فتالت (20)، اسمنت بورتلاندي -400(40). أو نوع آخر من الغراء يحتوي على : راتنج ايبوكسيدي 5-///(100)، ثيوكول سائل (20) وهو نوع من المطاط الصناعي، بولي ايتلين البوليامين (10)، دقيق السيلكا (10).

هـــذا الغراء الايبوكسيدي يتمتع بدرجة ثبات ومقاومة جيدة ضد الزيوت المعدنـــية، البنـــزين، الكاز (الكيروسين) ولا يتأكسد بأوكسجين الهواء الجوي ولا يـــنحل بالمـــاء. يجـــف ويتصلب بالكامل في درجة حرارة $15\text{-}30C^{o}$ درجة مئوية وخلال 25-30 ساعة. وإذا تم تسخين الوصلة حتى درجة $60C^{o}$ مئوية يتناقص زمن التصلب إلى 8 ساعات.

– تجديد سطوح استناد المحامل الدحروجية والجلب:

عند تركيب المحامل الدحروجية في الثقوب المخصصة لها داخل جسم الآلة يحصل تشوه كلاً من المحمل والثقب (كرسي المحمل) الذي يوضع بداخله المحمل.

لذلك عند استبدال المحمل المهترئ بآخر جديد، فإن السطوح المتزاوجة بين المحمل الجديد والثقب لايمكن أن تحقق الأزواج المطلوب بينهما، وإنما يوجد خلوص. لذلك يستخدم الغراء الايبوكسيدي من أجل تجديد سطوح استناد المحمل وتأمين الأزواج المطلوب بين السطح الخارجي للمحمل والثقب المخصص له، وقبل ذلك يجب تنظيف هذه السطوح بشكل جيد من بقايا الزيوت والشحوم. بعد جفاف هذه السطوح يتم طلاء سطح الثقب بطبقة من الغراء الايبوكسيدي المناسب، ويركب المحمل داخل الثقب بعناية كما هو مبين على الشكل (9-25).



الشكل (9-25) تركيب المحمل في الكرسي المخصص له بالآلة

كذلك يمكن استخدام الغراء لتركيب الجلب والمحامل الانزلاقية. عند تركيب الجلب في الثقوب المخصصة لها داخل جسم الآلة يمكن أن تتشوه لذلك فإن تركيب هذه الجلب باستخدام الغراء يؤمن الدقة في التركيب والمحورية بين العناصر المجمعة.

إن استخدام الغراء الإيبوكسيدي في عمليات تجديد سطوح كراسي المحامل الدحروجية والجلب (المحامل الانزلاقية) يبسط عملية الإصلاح وتجميع أجزاء الآلة. وبمساعدة الغراء يتم التخلص من أخطاء التشغيل (المسموح بها) لسطوح استناد العناصر.

المبحث السادس والعشرون

تجديد عناصر الآلات بالمعالجة الميكانيكية

(التشوه اللدن، التعبئة بالمعدن المنصهر، الأبعاد الإصلاحية)

§ 1- التشوه اللدن Plastic Deformation:

واحـــدة من أكثر الطرق انتشاراً والمستخدمة في تجديد (ترميم) وإصلاح عناصـــر الآلات، هي تلك المبنية على أساس إحداث تشوه (انفعال) لدن للعناصر المهترئة، ومن ثم إجراء التشغيل الميكانيكي المناسب إذا لزم الأمر لذلك.

إن إجـــراء عمليـــة التشـــوه اللدن للعناصر من أجل تصحيح شكلها وأبعادهـــا، يمكن أن تتم على البارد Cool deformation أو بعد تسخين هذه العناصـــر لدرجـــة حـــرارة معيـــنة (تشـــوه لدن على الساخن Hot plastic deformation.

كما هو معلوم إذا أثرت قوة خارجية External Force على عنصر معين، فـــإن هذا العنصر يتشوه تبعاً لطبيعة وقيمة واتجاه هذه القوة المؤثرة عن العنصر فإنه يســـتعيد بشكل جزئي شكله وأبعاده السابقة، أما التشوه المتبقي في شكل وأبعاد هـــذا العنصـــر بعد نزع القوة الخارجية المؤثرة عليه،فيمثل التشوه اللدن Plastic deformation الحاصل لهذا العنصر نتيجة لتطبيق قوة خارجية عليه.

عـــن طريق التشوه اللدن للعناصر يمكن: التخلص من عيوب أو تشوهات الشـــكل الهندســـي Form defect (الـــتقعر، الانبعاج، الالتواء،...)، تغيير أبعاد الســـطوح المـــتزاوجة المهترئة للعناصر (زيادة أقطار الجلب المهترئة)، بالإضافة إلى استخدام هذه الطريقة من أجل زيادة متانة العناصر (النوابض المصلدة على البارد)

ولتقليل خشونة السطوح المشغلة بالقطع عن طريق دحرجة Knurling عنق الأعمدة بالدحاريج بدلاً من تجليخها.

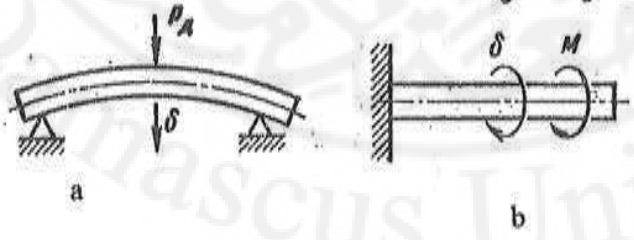
هذه الطريقة مبنية على أساس إعادة التوزع القسري الموضعي لمعدن العنصر، بحث لا تتطلب عملية تصحيح أو تقويم شكل وأبعاد العنصر إلى معدن إضافي من أجل إحداث التشوه اللدن على العنصر يلزم قوة تولد ضغطاً يزيد عن 500-800 MPa .

وبشكل عام إن قيمة القوة المطبقة على العنصر تعتمد على تركيب وبنية المعدن وخصائصه الميكانيكية وعلى نوع المعالجة الحرارية التي خضع لها.

في كثير من الحالات يتم تسخين العناصر قبل تطبيق القوة عليها، وهذا يقلل بدرجة كبيرة قيمة القوة اللازمة لإحداث التشوه اللدن المطلوب في العنصر.

على سبيل المثال، إذا تم تسخين العنصر الفولاذي حتى درجة 900C° مئوية، فإن الضغط اللازم تطبيقه على العنصر ينخفض إلى 50-60 MPa تقريباً.

إن تسخين العناصر يودي إلى تغيير بنيتها والخواص الميكانيكية للمعدن. لذلك بعد إحداث التشوه اللدن المطلوب للعناصر تجرى لها المعالجة الحرارية والمعالجة الكيميا-حرارية المطلوبة. يتم تسخين العناصر المصنعة من الفولاذ السبائكي والفولاذ المتوسط والمرتفع الكربون . درجة حرارة التسخين المثالية Optium Heating Dgree للعناصر بحيث لا يحدث أي شقوق هي بحدود 800-1100C° درجة مئوية.



الشكل (1- 26) مخططات تصحيح تشوهات العناصر : a- المنحنية، b- المفتولة

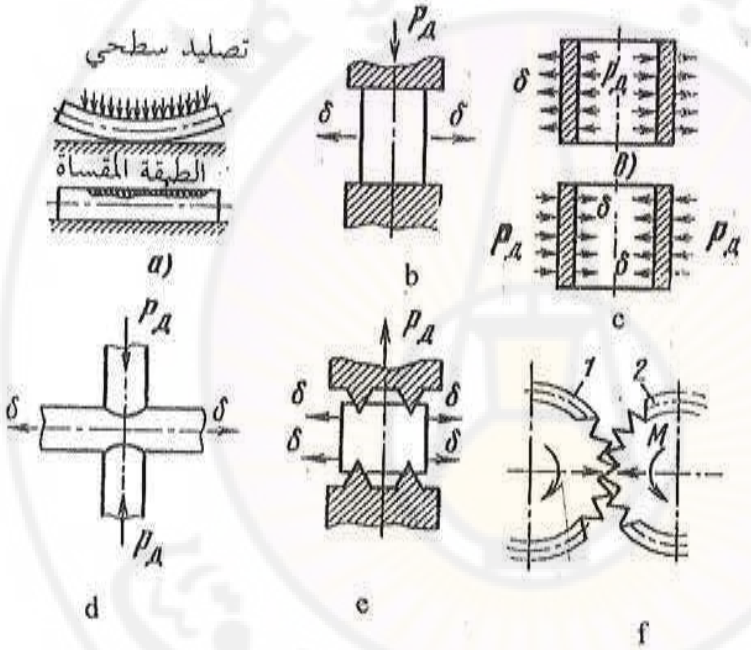
الشكل (1-26) يبين مخططات لتقويم (تصحيح) تشوهات العناصر بالانحناء Bending (a) والفتل Torsion (b). اتجاه تأثير القوى الخارجية P والعزم M يتطابق مع اتجاه التشوه δ المطلوب إحداثه في العنصر كما في الشكل (1-26).

إن استخدام طرائق التشوه على البارد لا تعطي دائماً النتائج المطلوبة، حيث أنه يمكن أن تظهر في المعدن إجهادات داخلية Enternal Stress نتيجة لعملية التصليد على البارد Cold-work hardening للعنصر ، وهذه الإجهادات تضاف إلى الإجهادات المتبقية المحفوظة داخل العنصر. يمكن التخلص من هذه الظاهرة باستخدام طريقة التشوه اللدن على الساخن، بحيث يتم تسخين العناصر المطلوب تصحيحها إلى درجة حرارة 600-900C° مئوية. فعلى سبيل المثال يستخدم لهب اللحام الغازي (الحملاج) من أجل التسخين الموضعي للعناصر في مكان التشوه الأعظمي للعنصر حتى الدرجة C° 900، حيث يتم التسخين من جهة التحدب. اجهادات الشد Tensile stress الناتجة عن عملية التسخين تسبب تقويم (تعديل) أو تصحيح شكل العنصر.

يتم تقويم شكل العناصر باستخدام المكابس Press والمرفاع Jack، والشكل (2-26) يبين مخططات وأساليب مختلفة من أجل تصحيح التشوهات الحاصلة للعناصر نتيجة للاستثمار. يمكن التوصل إلى نتائج جيدة في عملية تقويم العناصر (على سبيل المثال، الأعمدة المرفقية أو النوابض) بواسطة التصليد (التقسية) السطحي على البارد (الشكل 2-26,a) التي تؤثر على العنصر بإجهادات ضاغطة Compressive stress يتطابق اتجاهها مع اتجاه القوة المطبقة على السطح.

تطـــبق هذه القوة على شكل صدم باستخدام مطارق (مكابس) هوائية أو يدوية أحياناً. المطرقة اليدوية بحدود kg 2-1. يثبت على مقدمة المطرقة أو المكبس الهوائي Pemumatic hammer دحروج كروي مقسى.

دقة عملية التقويم هذه عن طريق التصليد على البارد تصل إلى mm 0.02 من أجل كل متر واحد من طول العمود.



الشكل (2-26) مخططات تقويم أو تصحيح شكل وأبعاد العناصر بالضغط.

عملية التطريق المبينة على الشكل (2-26,b) تساعد زيادة قطر (أو عرض) العنصـــر عـــلى حساب بعض التناقص في طوله. تستخدم هذه الطريقة في إصلاح العناصر على شكل حلب أو أصابع مصنعة من المعادن الملونة. اتجاه القوة الخارجية P يجب أن يكون عامودياً على اتجاه التشوه δ المطلوب إحداثه في العنصر.

قـــبل إجـــراء عملية التطريق يجب إغلاق (حشو) قنوات وثقوب التزييت بشوات فولاذية مناسبة حتى لا تنغلق هذه القنوات أثناء التطريق.

العناصـــر الأسطوانية على شكل جلب أو أعمدة مجوفة (كما في الشكل 26-2,) يمكـــن توسيع قطرها الداخلي والخارجي عن طريق دفع دحروج كروي Ba أو سنبك بداخلها، بحيث يكون قطره أكبر من قطر الثقب بقليل. الدحروج السنبك من الفولاذ الكرومي ماركة XBIقساوته بحدود 63-65 HRC.

وبشكل عكسي يمكن بواسطة الضغط باتجاه المركز (شكل 26-2,b) تقليل أبعاد الداخلية والخارجية للعناصر المحضرة من المعادن الملونة. يتم حشر هذه الجلبة داخل قالب مناسب، بحيث توجد مخروطية بحدود 7-8° درجات داخله.

ثم تـــتم عملية معايرة الجلبة في قالب آخر مخروطية أكبر. بعد ضغط القطر الخـــارجي للجلـــبة يحصل تشوه وتجعد على سطحها الداخلي مما يستدعي إجراء عملية خراطة داخلية إنهائية أو سحل.

وفقـــاً للشكل (26-2,e) يمكن بالضغط زيادة طول العنصر على حساب نقاص المقطع العرضي موضعياً.

مخطـــط الضـــغط المبين على الشكل (26-2,f) يساعد على زيادة الأبعاد الخارجـــية للعنصر على حساب تشوهه في جزء محدد منه. وفقاً لهذه الطريقة يمكن تمديد واستعادة قابلية العمل للسطوح المحززة والمخدذة للأعمدة. بواسطة دحروج دلفين) حاد يتم دلفنة (دحرجة) الحزوز أو المجاري وفق محورها الطولي مما يسبب زيادة عرضها بحدود 1.5-2mm . قطر الدحروج المستخدم 60mm، ونصف قطر ـــرأس الحاد حوالي 0.4mm. القوة المطبقة على الآداة (الدحروج) بحدود 2-2.5 Kl (كيلو نيوتن).

عملية التخريش المبينة على الشكل (26-2, g) مبنية على أساس إزاحة جزء مـــن المعدن عن السطح المهترئ للعنصر، بواسطة أداة مناسبة (على شكل دحاريج كـــروية أو دلفينية) مما يساعد على زيادة قطر العنصر المعالج بحدود 0.3-0.4 mm. يتم إجراء عملية التخريش هذه للعناصر بدون معالجتها حرارياً.

1-1 التشغيل الكهروميكانيكي للعناصر:

واحدة من الطرق المتبعة في تحديد وإصلاح عناصر الآلات بواسطة التشوه اللدن لهذه العناصر تعتمد على تسخين العنصر اصطناعياً في مكان التشوه بواسطة التيار الكهربائي.

أثـــناء عملية الخراطة العادية تتولد كمية من الحرارة Q_1 نتيجة لعملية قطع المعدن (التشوه) وبسبب الاحتكاك. هذه الحرارة تحسب بالعلاقة :

$$Q_1 = P_Z \cdot V/4270 \quad \text{، (جول)} \qquad (26\text{-}1)$$

حيث: Q_1- كمية الحرارة الناتجة عن قطع المعدن والاحتكاك مقدرة بالجول (J)؛

P_Z – قوة القطع مقدرة بالنيوتن (n)؛

V- سرعة القطع (m/min)؛

مثال 1:

في عملـــية خـــراطة بسرعة قطع V=600 m/min إذا كانت قوة القطع P_Z=200(n) نيوتن فإن كمية الحرارة الناتجة في الثانية في منطقة القطع تساوي:

$$Q_1 = \frac{200 \times 600}{4270 \times 60} \approx 0.5 \quad (J)$$

إذا تم وصـــل قلم القطع والعنصر بدارة تيار كهربائي ذو توتر منخفض، ســـوف تتشكل بذلك في منطقة القطع كمية من الحرارة، تحسب كميتها بالعلاقة التالية:

$$Q_2 = 0.24 I^2 R t \quad ; \quad (J) \qquad (26\text{-}2)$$

حيث : I- شدة التيار الكهربائي (A).

R- مقاومة الدارة الكهربائية (أوم).

t- الزمن (sec).

الشكل (3-26) يبين مخطط التشغيل أو المعالجة الكهروميكانيكية للعناصر (تسخين كهربائي أثناء عملية التشغيل بالقطع).

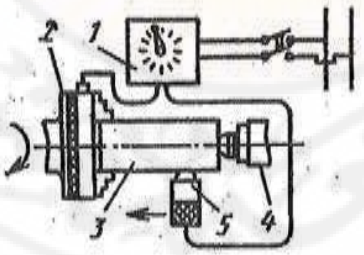
مثال 2:

في عمليـــة تشغيل كهروميكانيكي باستخدام تيار كهربائي شدته 500A، والمقاومة الكهربائية في منطقة القطع 0,1 أوم. بذلك فإن كمية الحرارة المتشكلة في ثانية واحدة في منطقة القطع تساوي:

$$Q_2 = 0.24 \times (500)^2 \times 0.02 \times 1 = 1200 \text{ J}$$

كمية الحرارة الكلية المتشكلة في منطقة القطع تساوي Q، حيث:

$$Q = Q_1 + Q_2 = \frac{P_z V}{4270} + 0.24 I^2 R t \quad ; \quad (J) \qquad (26\text{-}3)$$



الشكل (3- 26) مخطط التشغيل الكهروميكانيكي،

حيث:1- محول، 2- ظرف المخرطة، 3- العنصر المشغل، 4- الغراب الخلفي، 5- آداة القطع.

في مـــنطقة القطع يسخن المعدن إلى C° 830-800 درجة مئوية. مثل هذا التسخين يزيد من خواص اللدونة للمعدن ويسهل عملية القطع.

يســـتخدم في عملية التسخين محول كهربائي Transformer .بملف ثانوي Secondary winding يمكـــن أن يتلقى تيار كهربائي شدته حتى A 1000 وبتوتر منخفض 2-0,2 فولت.

إن هـــذه الطـــريقة تساعد على تشغيل العناصر المقساة والعناصر المغطاة سطوحها بطبقة من الخلائط القاسية (الكربيدية وماشبهها).

إن ســـطوح العناصـــر المشغلة وفق هذه الطريقة الكهروميكانيكية تتمتع بمقاومـــة اهتراء wear resistance أكبر من تلك العناصر المماثلة والمشغلة بالطريقة العاديـــة (بدون تسخين كهربائي). كذلك فإن استخدام الطريقة الكهروميكانيكية لتشغيل العناصر تحسن البنية الميكروية للسطح.

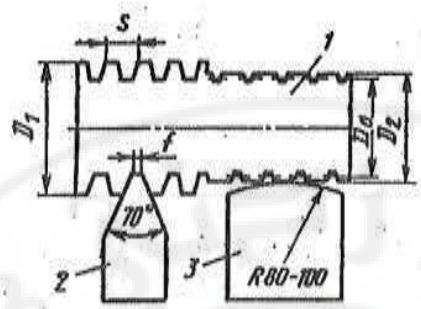
بالنسبة للسطوح التي سيتم تشغيلها وفق طريقة المعالجة الكهروميكانيكية المشروحة أعلاه باستخدام أقلام قطع ذات رأس مدور (نصف قطر استدارة الرأس ρ)، يمكـــن بشـــكل مســـبق صقل (تمليس Smothing) هذه السطوح التي سيتم خراطتها.

عملية الصقل أو التنعيم الميكانيكي هذه تزيد من قساوة الطبقة السطحية، بينما يتناقص قطر العنصر بمقدار 0,02-0,03mm. عملية الصقل الكهروميكانيكي للعناصر يمكن أن تكون في كثير من الحالات بديلاً عن جلخها.

تســـتخدم طـــريقة المعالجـــة (التشغيل) الكهروميكانيكية من أجل تجديد وإصلاح العناصر والوصلات الثابتة، حيث تتكون هذه الطريقة من عمليتين (كما هو مبين على الشكل 4-26):

- فلطحة المعدن Heading باستخدام الأداة 2.

- تمليس وصقل البروزات المتشكلة بالعملية السابقة بواسطة الأداة 3 حتى الوصل إلى القطر المطلوب D_2 للعنصر.



الشكل (4- 26) مخطط عملية الفلطحة والصقل الكهروميكانيكي للعناصر والوصلات الثابتة من أجل تجديدها وإصلاحها، حيث: 1– العنصر، 2– لقمة الفلطحة، 3– لقمة الصقل، D_0– قطر العنصر المهترئ، D_1– قطر العنصر بعد الفلطحة، D_2– قطر العنصر بعد الصقل.

كما هو مبين على الشكل (4-26) تتم عملية فلطحة السطح المهترئ (تشوه لدن) باستخدام آداة تشكيل كربيدية (لقمه) قاسية 2 (حيث يتم تشكيل لولب خطوته S) زاوية الرأس فيها $\theta = 70°$. التغذية S يجب أن تكون أكبر بثلاث مرات من رأس الأداة f ($S = 3\ f$). بعد إجراء عملية الفلطحة هذه يزداد قطر العنصر المهترئ والمطلوب إصلاحه ليصبح D_1، حيث D_0 هو قطر العنصر المهترئ قبل عملية الفلطحة.

بعد ذلك تتم عملية تمليس وصقل البروزات التي تشكلت على السطح بواسطة الآداة (3)، والتي رأسها بقوس كبير (R=80-100 mm). وعرض هذه اللقمة أكبر من مقدار التغذية بحدود (3-5) مرات. بعد عملية الصقل يتم الوصول إلى القطر D_2 المطلوب للعنصر المعالج. هذه العملية تساعد في زيادة قساوة سطح التماس للعناصر وتزيد من مقاومة الاهتراء لهذه الوصلات المعالجة.

§ 2- تجديد عناصر الآلات بواسطة التعبئة بالمعدن المنصهر:

عند تجديد سطوح عناصر الآلات التي تعرضت سطوحها لإهتراء شديد أو عند تصحيح العيوب والتشوهات الموضعية الكبيرة في المسبوكات Casting، تستخدم طريقة الملء (التعبئة) بالمعدن المنصهر Fillting (صب المعدن المنصهر). من أجل الحصول على اتصال أو التصاق متين بين المعدن المصبوب وسطح العنصر الأصلي يجب تسخين العناصر المعالجة بالطريقة المناسبة.

في هذه العملية يتم تسخين العناصر بقوس كهربائي ذو إلكترود كربوني، أو بشعلة غاز الاستلين أو بالتسخين الحثي (التحريض Induction heatying). أما المعدن المستخدم في عملية الملء فيتم صهره بشكل مستقل في أفران صهر ويسكب من البوتقة بمساعدة آلية خاصة.

يتم اختيار معدن الملء بما يوافق معدن العنصر الأصلي. وبالنسبة لفرن الصهر يمكن أن يكون ذو بطانة حامضية أو أسية (قاعدية).

من الممكن تعبئة سطوح العناصر المهترئة بالمعدن أو الخلائط المختلفة. من أجل تجديد وإصلاح دفعات كبيرة من العناصر المشوهة تستخدم أفران صهر ومجمعات خاصة للمعدن المنصهر مع مثبتات مختلفة، حيث يتم بشكل دوري توصيل المعدن المنصهر من الفرن إلى المجمع، ومنه يتم تغذية المعدن المصهر بشكل متواصل إلى العناصر المعالجة.

إن عملية التعبئة بالمعدن المنصهر تعتبر مناسبة ومفيدة من أجل تجديد وإصلاح العناصر كبيرة الحجم أو الدفعات الكبيرة من العناصر الصغيرة المتماثلة. إن هذه الطريقة في الإصلاح تتميز بإنتاجيتها العالية والنوعية الجيدة.

يتم تجديد العناصر مثل الجلب (Bushing)، المحامل الإنزلاقية، الاسطوانات وما شابهها عن طريق الصب بالطرد المركزي للمعدن المنصهر. يتم وفق طريقة

الطـــرد المركـــزي صب العناصر المجوفة من المعادن الملونة والخلائط الحديدية، التي تتمـــتع بدرجة انصهار منخفضة نسبياً. هذه العملية ممكنة بشرط أن تكون درجة انصـــهار معـــدن العنصر المعالج أعلى من درجة انصهار المعدن المستخدم في عملية التعبئة.

يـــتم تسخين العناصر وصهر معدن التعبئة باستخدام أفران كهربائية ذات تردد مرتفع أو غيرها من الأفران.

عند تسخين العناصر داخل الأفران بدون وجود وسط حماية تحصل عملية أكســـدة شديدة لسطوح هذه العناصر، لذلك من الضروري عند ترسيب طبقة من المعدن المنصهر على سطوح الجلب والأسطوانات ترك تسامح تشغيلي مناسب يتم إزالته فيما بعد من أجل التخلص من القشرة الأكسيدية.

يـــتم الحصول على متانة التصاق بين المعدن وسطح العنصر وتوزع منتظم عـــلى كامل السطح عن طريق الاختيار الصحيح لسرعة دوران العنصر أثناء عملية صب المعدن وتجمده بداخله تبعاً لقطر هذا العنصر.

الخطـــة التكنولوجية لعملية تعبئة سطوح الجلب وماشابهها تتألف من العمليات التالية:

1- خرطة سطح الجلبة والسطح الجبهي .

2- تحضير الأغطية المناسبة من أجل إحكام إغلاق السطوح الجانبية للجلبة .

3- إغلاق أو تغطية الجلبة من جهة واحدة .

4- تنظيف ميكانيكي وكيميائي للجلبة .

5- إدخال الكمية المناسبة من المعدن (الخليطة) إلى داخل الجلبة .

6- إحكام إغلاق الجلبة من الجهة الثانية، مع ضرورة الحفاظ على ثقوب دقيقة في مركز الغطاء من أجل تأمين خروج الغازات .

7- تسـخين الجلبة حتى يحصل انصهار للمعدن أو الخليطة المستخدمة (على سبيل المثال يتم تسخين البرونز حتى درجة حرارة 1050-1070C° درجة مئوية) .

8- تركيب الجلبة في ظرف المخرطة أو أي مثبت آخر دوار .

9- تدويـر الجلبة مع ظرف المخرطة وفق عدد دورات يتناسب مع القطر الداخلي للجلبة حسب ماهو مبين في الجدول أدناه:

القطر الداخلي للجلبة (mm)	80	160	200	250	320
عدد الدورات (r.p.m)	700	600	550	500	450

يستمر دوران الجلبة بحدود (3-5) دقائق.

10- تبريد المشغولة بتيار من الهواء المضغوط حتى درجة الحراة°C 750 -700 .

11- رفع المشغولة عن الآلة وتركها لتبرد بشكل نهائي في الهواء الطلق حتى درجة الحرارة العادية .

12- نزع الأغطية عن المشغولة (الجلبة) .

13- إجراء خراطة داخلية إنهائية لسطح الجلبة من الداخل وفق القطر المناسب .

14- إجراء خراطة سطحية للجلبة إذا لزم الأمر .

15- خراطة السطوح الجبهية (الجانبية) بشكل نهائي على القياس المطلوب .

16- تشكيل قنوات ومجاريُ التزييت في الجلبة .

مـن أجـل تحضير جلب Bushing من معدنين اثنين يلزم جهاز تسخين (فـرن) درجة حرارته تصل إلى 1200-1300C° درجة مئوية، مثبت مناسب من أجـل تدويـر المشـغولة الساخنة، جهاز لحام من أجل لحام الأغطية على جانبي المشغولة. وتستخدم عادة ماكينة الخراطة Lathe من أجل تدوير المشغولة التي تثبت بواسطة ظرف ثلاثي الفكوك على عمود الدوران (الجزء المحوري) في المخرطة.

يغطـــس الســـطح الداخلي للجلبة في محلول من حامض الهيدروكلوريك (حمض كلور الماء) تركيزه 10%، وتغسل بعدها بالماء الساخن. يستخدم من أجل تحضـــير الجلب مواسير (أنابيب) فولاذية سميكة الجدران وغير ملحومة، مطروقات فولاذية أو مسبوكات.

يمكـــن زيادة وتحسين متانة التصاق (التحام) طبقة التغطية المصبوبة بالطرد المركزي مع السطح الداخلي للجلبة بواسطة تشكيل قلووظ على السطح الداخلي للجلبة قبل صب المعدن.

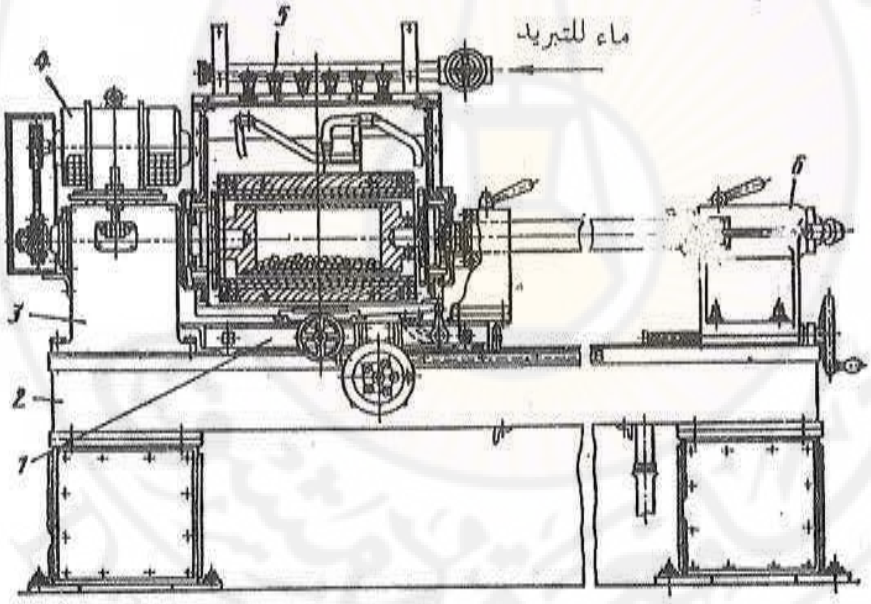
تتكون مجموعات (منظومة) صب الجلب بالطرد المركزي من آلية مناسبة مـــن أجـــل تدويـــر الجلبة (مخرطة) وفرن صهر كهربائي ليس كبيراً. العناصر أو الوحـــدات الأساسية في هذه المنظومة هي: ميكانيزم تدوير، مزراب Chute (قناة) مـــن أجل تغذية المعدن المنصهر إلى داخل الجلبة، لولب من أجل تحريك المزراب، غطـــاء أو غلاف مجهز بنافذة للمراقبة، وذلك من أجل سلامة وحماية العاملين من طرطشة المعدن المنصهر.

مـــن أجل صب المعدن يتم تدوير الفرن حول محوري ارتكاز مجوفين، يمر من خلالهما القطبين الكهربائيين Electrodes والمثبتين بواسطة مثبتات خاصة، ويتم تبريدها بالماء.

المواصـــفات الفنـــية للأفـــران الكهربائية هي: السعة 10 كيلوغرام، قطر الالكترود 40mm، شدة التيار الكهربائي 540 A، التوتر56 فولط، الاستطاعة 30 Kw (كـــيلوواط)، الزمن اللازم لانصهار البرونز 20-30min، طول الجلب المعالجة بهذه الطريقة بحدود 50-80mm، إنتاجية هذه المنظومة (3-5) جلب في الساعة.

مخطـــط المـــنظومة أو المجموعـــة المستخدمة من أجل تعبئة (صب) الجلب بالطـــرد المركزي مبين على الشكل (5-26)، وذلك باستخدام تيار كهربائي عالي

الـــتردد مـــن أجل التسخين. على فرش الآلة 2 يتوضع الغراب الأمامي 3 الثابت، العربة المتزلقة 1، الغراب الخلفي المتحرك 6 ومحرك كهربائي4. على السطح العلوي للفـــرش مشـــكلة موجهات فولاذية. المنظومة مجهزة بمجموعة تبريد مائي 5. يتم تسخين الجلبة المطلوب تعبئة سطحها بالمعدن المنصهر بواسطة ملف تحريضي ثنائي اللفات متصل مع مولد كهربائي Electric Generator استطاعته 100 kw بتردد للتيار 8000 هرتز (Hz). الغراب الخلفي والملف والعربة Carriage يمكن أن تتحرك وفـــق موجهـــات الفرش. أثناء عملية صب المعدن وتعبئة سطح الجلبة يجب تغطية العربة وما عليها من أجل الحماية من طرطشة المعدن المنصهر.



الشكل (5-26) منظومة آلية من أجل تعبئة سطوح الجلب بالمعدن المنصهر بواسطة الطرد المركزي وباستخدام تيارات كهربائية عالية التردد للتسخين.

يـــتم تعبئة كمية من الشحنة أو الخلطة المعدنية داخل الجلبة بحيث تكون كافـــية للحصول على طبقة التغطية بالسماكة المطلوبة. ويتم إحكام سد الجلبة من الجانـــبين بالأغطـــية المناسبة، ثم يتم تركيب الجلبة بين المركزين الأمامي والخلفي للآلة.

يـــتم تحريك العربة ومعها الملف التحريضي إلى الجلبة وبعدها يوصل التيار الكهـــربائي. بعد أن تنصهر الشحنة المعدنية داخل الجلبة يتم تدوير الجزء المحوري للآلـــة بالســـرعة المناسبة، حيث يتم اختيار سرعة دوران الجلبة (دورة/دقيقة) تبعاً لقطرها، كما بينا سابقاً. بفعل قوة الطرد المركزي تتوزع كتلة المعدن المصهر على كامل السطح الداخلي للجلبة مشكلة طبقة متساوية السماكة وموزعة بانتظام على كامل السطح الداخلي للجلبة.

المـــنظومة المبيـــنة على الشكل (5-26) تؤمن سرعات دوران للعناصر تقع بحـــدود r.p.m 700-2600. يســـتمر تدوير الجلبة على الآلة حتى تنخفض درجة حـــرارة المعدن إلى الدرجة C° 700 مئوية. وبعدها يمكن رفع المشغولة (الجلبة) عن الآلـــة وتركها تبرد في الهواء الطلق، حيث يمكن بعدها إجراء التشغيل الميكانيكي اللازم للمشغولة.

– تجديد حلقات المحامل:

يمكن التوصل إلى مواصفات نوعية عالية للطبقة المرسبة وذلك عن تحضير هـــذه الحلقات والجلب بطريقة التشكيل السائلي. وفقاً لهذه الطريقة يتم الحصول عـــلى تســـامح تشغيل (طبقة زائدة) أصغري لعمليات التشغيل الميكانيكي بالقطع اللاحقة (حوالي $2\,Z_{imin} = 0.25\text{-}0.35$ mm) وعلى سطح احتكاك جيد مع مجاري التزييـــت اللازمـــة. تستخدم هذه الطريقة بشكل واسع في تجديد حلقات المحامل

وتغطيـــتها بطبقة (Shell Lining) من معدن البابيت Babbite من أجل إكساب سطوحها العاملة مقاومة احتكاك مرتفعة .

(البابيـــت هو عبارة عن خليطة معدنية تتميز بمقاومتها العالية للاحتكاك، يســـتخدم مـــن أجـــل طـــلاء وتغطية السطوح العاملة في المحامل وما شابهها من العناصر).

عند تجديد السطوح العاملة للمحامل يتم نزع طبقة معدنية رقيقة عن هذه الســـطوح، ثم توضـــع هـــذه الحلقات في مثبت خاص من أجل ضغط وتصحيح التشـــوهات، بعدهـــا تنزع عن المثبت ويتم تعبئتها بالبابيت. بعد ذلك يتم خراطة السطح بشكل نهائي ودقيق من أجل ضبط الأبعاد بدقة.

هـــذه الطريقة يمكن أن تستخدم من أجل تجديد وإصلاح حلقات المحامل من البرونز، وذلك باستخدام ماركات مختلفة من مادة البابيت.

– تجديد موجهات آلات التشغيل:

يتم تجديد وترميم موجهات آلات التشغيل المهترئة بعدة طرق:

التغطـــية باللحام، التعبئة السطحية بالمواد المناسبة، أو تثبيت شرائح معدنية مناسبة من مواد مقاومة للاحتكاك على السطح المهترئ، وهي طرق درسنا بعضها في أبحاث سابقة.

من أجل تجديد الموجهات بطريقة التعبئة السطحية تستخدم خلائط الزنك المقاومة للاحتكاك ماركة ЦАМ10-5 والتي تحتوي في تركيبها: 10% ألمنيوم، 5% نحـــاس والباقي زنك. هذه الخليطة تتمتع بخواص فيزيائية ميكانيكية جيدة وبدرجة انصهار منخفضة ويمكن أن تستخدم في مختلف الشروط والظروف الإنتاجية.

الخلـــيطة ЦАМ10-5 تـــتحمل ضغوط تصل إلى 20MPa (ميغاباسكال) وسرعة انزلاق تصل حتى 7 m/sec.

يمكـــن تحسين الخصائص الفيزيائية الميكانيكية وخاصية مقاومة الاحتكاك للخليطة بأن يتم تشكيلها (تطريقها) بدرجة حرارة C° 300-200 درجة مئوية.

مـــن الضـــروري تنظيف السطوح المطلوب تعبئتها أولاً بشكل جيد من الأوساخ والزيوت والشحوم وذلك بواسطة لهب اللحام الغازي، ثم تنظف بواسطة محلول حامضي (حمض الكبريت أو حمض كلور الماء) تركيزه 10-20%.

يـــتم صهر السبيكة ЦАМ10-5 داخل بوتقة خاصة ، يتم تسخينها داخل الفـــرن أو الكـــور. درجة انصهار هذه السبيكة حوالي 400C° درجة مئوية. قبل صـــب المعدن يتم تنظيفه من الخبث Slage الذي يطفو على سطحه. وعند صب المعدن المنصهر على السطح المعالج يجب الآخذ بعين الاعتبار مقدار انكماش المعدن عند التبريد بالإضافة إلى تسامح التشغيل الميكانيكي اللازم.

يـــتم تجديد وترميم موجهات آلات التشغيل المهترئة باستخدام الخليطة ЦАМ10-5 وفق العمليات التكنولوجية التالية على التسلسل:

1- تنظيف السطوح المهترئة للموجهات المطلوب إصلاحها .

2- تشكيل مجاري على السطح وثقوب قطرها حوالي12mm وبعمق 10-15 mm، بحيث تتوضع هذه الثقوب وفق التوزيع الشطرنجي وبخطوة 50-80 mm .

3- يـــتم إحاطـــة (تحديد) السطح المعالج بالطبقات ومحددات القياس المناسبة تبعاً لشكل الموجهات، المصنعة من النحاس أو الغرافيت أو غيرها من المواد المناسبة .

4- صب المعدن المنصهر على السطح المعالج .

5- التشـــغيل الميكانـــيكي الإنهائي للموجهات المشكلة من أجل إعطائها المقاييس المناسبة بدقة .

من الممكن أيضاً استخدام مواد وخلائط درجة انصهارها أعلى، في عملية تشغيل الموجهات وماشابهها، على سبيل المثال، الخليطة ЦАМ 30-5 .

§ 3- تجديد العناصر بطريقة الأبعاد الإصلاحية:

إن استخدام طريقة التشغيل الميكانيكي بالقطع لسطوح العناصر المهترئة بغية التوصل إلى أبعاد إصلاحية جديدة لهذه العناصر تمثل واحدة من طرق المعالجة الميكانيكية المستخدمة بشكل واسع في ورش الصيانة والإصلاح.

إن جوهر هذه الطريقة يتلخص بإزالة طبقة رقيقة من المعدن عن السطح العامل المهترئ للعنصر المطلوب إصلاحه وذلك من أجل التوصل إلى شكل هندسي صحيح للعنصر وبأبعاد جديدة.

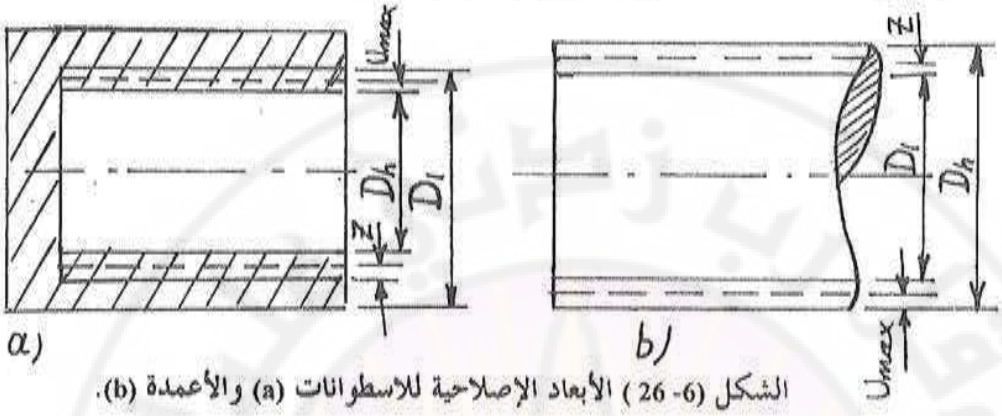
إن هذه العملية تؤدي إلى تغيير الأبعاد الأساسية العاملة للقطعة، وهذا ما يغير من طبيعة الإزدواج بين هذه القطعة والعناصر الأخرى المجمعة والمتزاوجة معها داخل الجزء الآلي. لذلك من الضروري تأمين قطع جديدة وذات أبعاد جديدة (أبعاد إصلاحية) توافق الأبعاد الجديدة للقطعة المعالجة بحيث يتم تأمين الأزواج المطلوب بين هذه القطع عند تجميعها مع بعضها البعض في الجزء الآلي.

يتم تحديد الأبعاد الإصلاحية المناسبة للعناصر المعالجة بهذه الطريقة إنطلاقاً من قيمة الإهتراء الحدي Limiting wear المسموح به للسطح المعالج. تستخدم هذه الطريقة بشكل أساسي في تحديد وإصلاح السطوح الأسطوانية الداخلية والخارجية مثل اسطوانات محركات الاحتراق الداخلي الاسطوانات الهيدروليكية، نقاط استناد (عنق) الأعمدة المرفقية وماشابهها.

على الشكل (6-26) نبين طريقة المعالجة بالأبعاد الإصلاحية لسطح الاسطوانة (a) وللعمود (b). إذا رمزنا إلى البعد الأساسي الأولي للسطح المعالج D_{II}، وكان الاهتراء الأعظمي المسموح به لهذا السطح U_{max}، ومقدار تسامح التشغيل الميكانيكي لسطح هذا العنصر يساوي 2Z من الجانبين (عمق القطع Z=t)، فعند

ذلك يمكن تحديد البعد الإصلاحي D_1 لهذا العنصر بعد المعالجة الميكانيكية بالعلاقة التالية:

$$D_1 = D_h \pm 2\,(U_{max} + Z) \qquad (26\text{-}4)$$



الشكل (6- 26) الأبعاد الإصلاحية للاسطوانات (a) والأعمدة (b).

تؤخـــذ الإشارة (+) في العلاقة السابقة من أجل الاسطوانات (الثقوب)، والإشارة (−) للأعمدة.

إن المقـــدار $\Delta = 2\,(U + Z)$ يمـــثل الفرق بين القطر الأولي للعنصر والبعد الإصلاحي الجديد D_1 ، أي :

$$D_1 = D_h \pm \Delta \qquad ; \qquad (26\text{-}5)$$

من الممكن أن يوجد للعنصر أكثر من بعد إصلاحي واحد $(D_1 , D_2,..., D_n)$ وإن عدد الأبعاد الإصلاحية للقطعة يتحدد انطلاقاً من شروط المتانة للسطح المعالج ومن الـــبعد الإصلاحي النهائي الممكن. إذا كان البعد الإصلاحي النهائي D_n فهو يمثل بالنسبة للعمود بعداً أصغرياً $(D'_n = D_{min})$، وللثقب بعداً أعظمياً $D''_n = D_{max}$. وبالتالي فإن عدد الأبعاد الإصلاحية لعنصر معين يساوي:

للأعمدة : $$n = \frac{D_h - D'_n}{\Delta} \qquad (26\text{-}6)$$

وللثقوب: $$n = \frac{D''_n - D_h}{\Delta} \qquad (26\text{-}7)$$

إن هـــذه الطـــريقة لاقـــت انتشارا واسعاً في إصلاح وتجديد اسطوانات محركات الاحتراق الداخلي وماشبهها من العناصر وذلك للإيجابيات والمحاسن التي تتمتع بها ومنها:

1- ســـهولة تنفـــيذ عملـــيات الإصلاح على عناصر ذات قيمة مرتفعة مثل كتلة الإسطوانات، عمود المرفق (الكرنك) وغيرها .

2- انخفاض تكاليف عملية الإصلاح نسبياً .

3- توفـــر آلات التشـــغيل الحديثة والدقيقة (مخارط – مجالخ،...) مما يسهل عملية الوصول إلى أبعاد إصلاحية مناسبة للعنصر .

إلى جانب الإيجابيات فإن لهذه الطريقة عدة سلبيات أهمها:

1- انخفاض قساوة السطح الناتج، مما يقلل من مقاومته للاهتراء .

2- ارتفاع قيمة الضغط على السطح المعالج .

3- تعـــذر الوصول إلى الازواج الدقيق المتبادل بين السطوح المعالجة عند تجميعها من جديد .

4- ضـــرورة حفظ كمية من القطع ذات النوع الواحد، وبأبعاد إصلاحية متعددة .

مـــن أجـــل الوصـــول إلى الأبعاد الإصلاحية لسطوح العناصر يتم إجراء واحدة أو أكثر من عمليات التشغيل الإنهائي بالقطع: خراطة، تفريز، تجليخ....

§ 4- طرق ذات آفاق مستقبلية واسعة لتجديد العناصر:

مـــع هـــذا التنوع الكبير للطرق والأساليب المتبعة لتجديد عناصر الآلات المعطوبـــة في أقســـام الصيانة والإصلاح، والتي تعرفنا على عدد لا بأس به منها في الأبحـــاث الســـابقة، لا يزال البحث والتجريب مستمراً لإيجاد طرق جديدة أكثر تكنولوجيةً وإنتاجيةً وتؤمن مواصفات نوعية ممتازة للعنصر أو السطح المعالج.

من الطرق ذات الآفاق الواسعة والواعدة في هذا المجال:

- طريقة ترسيب طبقات من مساحيق المعادن بواسطة الانفجار (الصعق)؛
- الرش أو الطلاء البلازمي لمساحيق المواد المركبة.

4-1 ترسيب طبقة تغطية من مساحيق المعادن بواسطة التفجير الغازي:

هـذه الطريقة مبنية على استخدام الطاقة (القدرة – Energy) الناتجة عن تفجير (صعق) Detonation الغازات. وفقاً لهذه الطريقة يتم ترسيب مسحوق المعدن على سطح العنصر نتيجة لانفجار Explosion مزيج غازي الاستيلين والأكسجين، والذي يؤمن لجزيئات المسحوق سرعة تقدر بحوالي800-900 m/sec. ويتم تأمين متانة التحام جزيئات المسحوق مع سطح العنصر بواسطة اللحام الميكروي Miniature Welding.

يتم تشكيل خليط من المسحوق والغاز داخل حجرة خاصة، حيث يتم تغذية المسحوق إلى داخل هذه الحجرة Chamber بواسطة تيار مندفع من الآزوت، ويتم انفجار هذا الخليط داخل الحجرة.

تتكون المساحيق المستخدمة من: كربيد التنغستين وكربيد التيتانيوم، أكسيد الألومنيوم وأكسيد الكروم ومن المعادن: الكروم، الكوبالت، التيتانيوم والتنغستين. كل عملية تفجير أو صعق تستمر لمدة 0,23 ثانية يتشكل بنتيجتها طبقة سماكتها 0,007 mm. يمكن التوصل إلى سماكة طبقة تغطية بحدود 0,02-0,4 mm عن طريق إجراء التغطية متعددة الطبقات. طبقة التغطية المتشكلة من هذه المساحيق ذات قساوة مرتفعة ومقاومة اهتراء مرتفعة جداً، وهي ذات مواصفات استثمارية ممتازة ومتانة التحام عالية ومسامية منخفضة.

الميزة الأساسية لهذه الطريقة هي التسخين المعتدل (المتوسط) للعنصر المشغل، حيث لا يتجاوز 250C° درجة مئوية.

الإمكانيات التكنولوجية لطريقة التغطية بواسطة التفحير تسمح بترسيب طبقات التغطية على السطوح الأسطوانية من الخارج والتي يصل قطرها إلى 1000mm، وعلى السطوح الأسطوانية الداخلية (الثقوب) التي أقطارها أكبر من 15 mm، وعلى السطوح المستوية وذات الأشكال المعقدة.

إن استخدام هذه الطريقة في تجديد وتغطية سطوح العناصر يشكل طريقة ناجحة وذات فعالية مرتفعة بالنسبة للعناصر التي تتعرض لضغوط شديدة ودرجات حرارة مرتفعة واهتراء شديد وفي وسط فعال من حيث التآكل (الصدأ).

على سبيل المثال، يتم ترسيب طبقة تغطية، بطريقة انفجار المزيج الغازي، من المواد والخلائط القاسية جداً (خلائط كربيدية) والمحضرة من الفولاذ الكرومي ماركة X12M، على السطوح العاملة للطبعات وقوالب التشكيل. طبقة التغطية المتشكلة تتميز بمقاومة عالية للاهتراء وقدرتها على تحمل قوى وأحمال الصدم.

قبل معالجة السطوح بهذه الطريقة، من الضروري تنظيفها بشكل جيد وتشكيل الخشونة المناسبة على هذه السطوح مما يساعد على التصاق جزيئات المعدن المبخوخ على سطح العنصر بشكل متين. يمكن تشكيل الخشونة (تخشين السطح) عن طريق قذف هذه السطوح بحبيبات من مواد حاكة بواسطة الهواء المضغوط.

بعد انتهاء عملية ترسيب مساحيق المواد على شكل طبقة تغطية صلدة لسطح العنصر يجرى لهذا السطح عملية تجليخ إضافية دقيقة أو تلميع (صقل) بالمواد والمعاجين الخاصة.

إن هذه الطريقة ممكنة التحقيق من وجهة النظر التكنولوجية وفعالة اقتصادياً في عمليات الإنتاج.

4-2 الرش البلازمي لمساحيق المعادن:

إن عمليـــة تغطية أو طلاء العناصر بطبقة تغطية عن طريق الرش البلازمي لمساحيق المواد والمكونة من مواد صلدة (قاسية) ذات درجة انصهار مرتفعة ومادة رابطـــة منخفضة درجة الانصهار، قد لاقت انتشاراً واسعاً في مجال تحديد عناصر الآلات في مختلف المجالات التقنية.

إن الخواص الاستثمارية لطبقات التغطية البلازمية تعتمد بشكل مباشر على الخـــواص الفيزيائـــية- الميكانيكية لمساحيق المواد المستخدمة، البارامترات الحرارية والديناميكية- الغازية للبلازما وعلى درجة ونوعية تحضير السطح قبل الرش.

تســـتخدم طبقات التغطية البلازمية من أجل الحصول على طبقات مقاومة للاهـــتراء فـــوق السطوح العاملة المتآكلة والمعرضة للاحتكاك، يتم اختيار تكوين المركـــبات (المساحيق) المستخدمة انطلاقاً من معرفة شروط عمل سطوح العناصر، ومـــن ضمنها الأخذ بعين الاعتبار إمكانية تصريف الحرارة وخواص مواد سطوح التزاوج بين العناصر.

تســـتخدم طـــريقة البخ البلازمي من أجل الحصول على طبقة تغطية على الســـطوح المهترئة للعناصر من نوع: الأعمدة، رقبة (نقاط استناد) الأعمدة المرفقية (الكرنك)، كتلة محركات الاحتراق الداخلي وماشابهها.

إن جوهـــر هذه الطريقة يتمثل في قذف السطح المعالج (على سبيل المثال، مراكز الاستناد، شياقات ماكينات النسخ الهيدروليكية، درافيل التشكيل، شياقات واذرع الكبس وغيرها) بجزيئات المسحوق المسخنة حتى الحالة اللدنة.

يـــتم تـــأمين الحـــرارة اللازمة والطاقة الحركية لجزيئات المسحوق بطرق بلازمـــية (وذلك عن طريق إدخال أو دمج مساحيق المواد في تيار البلازما) وطرق

تعتمد على اللهب الناتج عن احتراق الغازات (وذلك بإدخال المساحيق ضمن المزيج الغازي).

تستخدم في عمليات الرش البلازمي مساحيق خلائط النيكل، الكروم، البورون، السيليسيوم، بدرجة حرارة أثناء الترسيب 1050C° درجة مئوية، وحجم حبيبات المسحوق بحدود 21-150µm (ميكرون). قساوة الطبقة الناتجة تقع بحدود 35-63 HRC.

سلبيات هذه الطريقة في معالجة وتغطية سطوح العناصر تتمثل بانخفاض متانة التصاق هذه الطبقة مع السطح الأصلي للعنصر، مسامية كبيرة لطبقة التغطية، طبقة التغطية الناتجة عن البخ البلازمي لا تتمتع بخاصية حماية سطح العنصر من الأكسدة.

من أجل الحد من هذه السلبيات وزيادة متانة التصاق الطبقة مع سطح العنصر، وزيادة مقاومتها لدرجات الحرارة ولتأثير الأوساط المؤكسدة، يتم تشكيل طبقة التغطية على سطح العنصر بواسطة بخ مساحيق المواد، وبعدها يتم تعريض السطح المعالج لعملية نتردة (معالجة بالآزوت) بآية طريقة من طرق المعالجة بالآزوت المعروفة، وذلك حتى تتشكل طبقة متوسطة نتريدية.

نظراً لكون طبقة التغطية المتشكلة مسامية، فهي لا تعيق انتشار ذرات الآزوت باتجاه سطح العنصر. وعلى العكس من ذلك، على حساب تقويم (تعزيز) عمليات الامتصاص والامتزاز تتسرع عملية إشباع السطح بالآزوت وتتشكل نتريدات العناصر الداخلة في تكوين معدن الحماية عليه، وهي: الحديد، الكروم، التنغستين، التيتانيوم، الألمنيوم، وغيرها.

إن الطبقة المتوسطة النتريدية المتشكلة تؤمن أيضاً مقاومة تآكل جيدة (مقاومة صدأ Anti- corrosion) للسطح المحمي.

تطبيقات عملية

حتى ترسخ المعلومات العلمية والفنية الواردة في هذا المقرر، في ذهن الطالب، فإنه مطالب (بإشراف مدرسي القسم العملي للمقرر) تنفيذ ما يأتي:

1- يزور الطالب (ويفضل أن يتم ذلك على شكل مجموعات طلابية) إحدى المؤسسات الصناعية المتوزعة في ساحات القطر، وبالتعاون مع مسؤولي الإنتاج والصيانة في المؤسسة الصناعية المعنية، يتم تحديد أحد الأقسام الإنتاجية (وربما يكون هناك أكثر من قسم في هذه المؤسسة)، الذي تظهر فيه صعوبات فنية مختلفة، وتأتي التوقفات وأعطال الآلات في طليعتها، والتي تؤدي إلى حدوث خلل في عمل كل من الآلات الإنتاجية وخطوط الإنتاج. وتكون النتيجة تدني نسب الإنتاج والتخلف في تطبيق الخطة الإنتاجية السنوية المقررة. وفي هذا الحال يُطلب:

a- تحديد الصعوبات الإنتاجية وأعطال كل من الآلات وخطوط الإنتاج الظاهرة في القسم الإنتاجي المعني، وتأثيرات ذلك على العملية الإنتاجية.

b- تحديد الإجراءات المتخذة للتخلص من الصعوبات والأعطال، على أن يتم التركيز بشكل خاص على الصيانة المستخدمة وأساليبها، والتي تُعد أسلوباً فعالاً للتخلص (أو للتخفيف) من هذه الصعوبات والأعطال.

c- إذا وجد الطالب بأن الإجراءات الصيانية المتخذة غير فعالة، فيطلب منه اقتراح أساليب جديدة أكثر فعالية، ويفضل أن يتم إعلام مسؤولي الصيانة بهذه الأساليب المستحدثة، كما يتقدم الطالب بمقترحات لتطوير القسم المعني.

وفي النهاية يعد الطالب تقريراً عملياً وعلمياً (موضحاً بالرسوم التفصيلية والتطبيقات العملية) متضمناً خلاصة ما توصل إليه الطالب عند معالجته الفقرات السابقة، ويكون حجم التقرير بحدود (15-20) صفحة.

2- يُكلف الطالب (ويمكن أن تشكل مجموعة طلابية صغيرة حسب حجم الموضوع) بأحد موضوعات الصيانة، ليكتب فيه ويشرح مضامينه، وتتم المعالجة عن طريق الاستعانة بأحدث المراجع العلمية ذات الصلة بالموضوع، ويُفضل النفاذ من خلال شبكات المعلومات للحصول على عناوين مختلفة، حيث يتم من خلالها الحصول على المعلومات العلمية والهندسية المطلوبة .

3- يُفضل خلال الفصل الدراسي (أو العام الدراسي) إجراء اختبارات شفهية أو كتابية، حتى يتابع الطالب المعلومات الصيانية والهندسية التي تُلقى من قبل المحاضر، بشكل تدريجي خلال الفترة التي تُلقى فيها المحاضرات النظرية، على اعتبار أن المتابعة تعتبر وسيلة فعالة لهضم المعلومات واستيعابها .

Damascus University

قائمة المراجع

1- هيربرت ويانكي. عمليات التصنيع- الولايات المتحدة الأمريكية، 1998.

2- مولوديك ن.ف.، زينكين أ.س. تحديد أجزاء الآلات. دار بناء الآلات، موسكو- 1989.

3-غيلبرغ ب.ت.، بيكيليس غ.د. استخدام ا لمواد البلاستيكية والغراء في إصلاح المعدات. دار بناء الآلات، موسكو 1981.

4 - مولوديك ن. ف، لانغريت ب.أ. وآخرين. تجديد عناصر الآلات. كييف – 1985.

5- بوليفوي س.ن.، يفديكيموف ف.د. تقسية المعادن. دار بناء الآلات، موسكو، 1986.

6- نصائح وإرشادات حول استخدام وسائل الغسيل من أجل تنظيف الآلات والعناصر عند إصلاحها. موسكو، 1984.

7- رودوينكو ب. أ، غورخوف ف.أ. وآخرين. رفع نوعية عملية تجديد عناصر الآلات. كييف، 1987.

8-أدبيات المتلقي الدولي الأول للتشغيل والصيانة في البلدان العربية، بيروت 10-13 حزيران 2002 م.

9-أدبيات ندوة صيانة المنشآت الهندسية، حلب 11-12 تشرين الأول 2003 م.

10 -WWW. Abb. Com, "Reliability- centered Maintenance- a contribution Toward cost Redduction" 2001.

11-أدبيات ندوة صيانة المنشآت الهندسية –فرع نقابة المهندسين بحلب وجامعة حلب، حلب 25-24 أيلول 2002 م.

12- د. عبد الكريم حمامي، م. زهير السراج. التشغيل والصيانة (إدارة – تخطيط – تنظيم).

13- د. سليمان السغبيني، د. ناظم سعود. التنظيم والتخطيط والإدارة الصناعية، منشورات جامعة حلب، 1993م.

14-A. Kelly and M. J. Harris –Mangement of industrial maintenance, London, 1989.

15- دراسات وبحوث ندوة "تحسين كفاءة الصيانة الصناعية في المنشآت المتوسطة والصغيرة بدول الخليج العربية "دبي، شباط 1987 م.

16- أدبيات المستلقى الدولي الثاني للتشغيل والصيانة في البلدان العربية، بيروت 2004م.

17- John H. Zenger, Mangement Secrets to Achive More with Less. Original Edition Copyright – MC Graw- Hill 1997.

18- لود تشينكو آ. آ. الخدمة التقنية وإصلاح السيارات، موسكو، ترانسبورت، 1990.

19- د. حسين باقر رحمه الله، التآكل، منشورات الجامعة الأدرنية، عمان 1996 م.

20 –M.G. Fontana, Corosion Engineering, Me Graw- Hill, 1986.

21- فوروبيف ل. ن. تكنولوجيا بناء الآلات وإصلاح الآلات، دار المدرسة العليا، موسكو 2001 م.

22- أسس إصلاح الآلات، بإشراف بيتروف يو. ن موسكو 2000 م.

23 – Dick Jeffrey. Principles of machine and maintenance, 1991.

المصطلحات العلمية – إنكليزي/ عربي

A

Alloying	الإشابة
Availability	وقت الآلة المصنع به (المستفادية)
Autonomous Maintenance program	برنامج الصيانة الذاتية
Ageing	التصليد بمرور الزمن
Air bubble	فقاعة غازية
Automatic welding	اللحام المؤتمت
Anti – corrosion	إبعاد التآكل
Arc metallizing	ترذيذ المعدن القوسي
Acid resistance	مقاومة الحموض
Anodic pickling	معالجة السطح آنودياً
Air – tightness	إحكام السد

B

Blunt	تثلم (إدارة القطع)
Breakdown repair	الإصلاح خارج الخطة بسبب الطوارئ
Brazing	اللحام بالنحاس الأصفر

C

Correction	التصحيح
Cycle of machining	دورة التشغيل
Cavitation erosion	الاهتراء الفجوي
Conditional based Maintenance (CBM)	الصيانة حسب الحالة (الصيانة الظرفية)
Corrective Maintenance (CM)	الصيانة التصحيحية

Cycle of repair	الدورة الإصلاحية
Compouned Maintenance	تعقد الصيانة
Continuous improvement	التطوير المستمر
Computerized Maintenance Mangement system	نظام إدارة الصيانة المؤتمتة
Combination ED/EC machinimg	التشغيل الآنودي – الميكانيكي
Coating	التغطية
Carburizing	الكربنة
Chromium plating	التلبيس بالكروم
Catalyst	عامل محفز
Compressional moulding	التشكيل الانضغاطي بالقالب
D	
Dispersion	تشتت (الأبعاد مثلاً)
Damage	ضرر
Detective Maintenance	الصيانة الاستكشافية
Deferred Maintenance	الصيانة المؤجلة
Overall equipment effectiveness	الفعالية الكلية للتجهيزات
Defect cards	بطاقة العطل
Definition of Reliability	فعالية الوثوقية
Deoxidation	إزالة الأكسدة
Degreasing	التوسخ الدهني
E	
Economical effect	الفعالية الاقتصادية
Electronic Data processing (EDP)	معالجة البيانات إلكترونياً

Early Equipment Mangement (EEM)	الإدارة المبكرة للتجهيزات
Checking	الفحص
Equipment life	فترة حياة التجهيزات
Equipment Reliabilty	وتوقية المعدات
Electrophysical machining	التشغيل الكهروفيزيائي
Electrochemical machining	التشغيل الكهروكيميائي
Electrolytic deposition	التلبيس بالمحلول الكهربائي
Epoxy resin	القطران الإيبوكسيدي
Electroless nickel plating	التغطية الكيميائية بالنيكل
Electromechanical processing	التشغيل الكهروميكانيكي
Electric- Spark machining	التشغيل بالشرارة الكهربائية
Eddy current	التيار الدوامي

F

Failure finding tasks	مهام إيجاد العطل
Functional checks	الفحوصات الوظيفية
Falure developme... period	فترة تطور العطل
Flame spraying	الترسيب بمساعدة الشعلة الغازية
Filler metal	معدن التعبئة
Flux	مساعد الصهر
Failure based Maintenance (FBM)	الصيانة حسب العطل
Functional Maintenance	الصيانة الوظيفية
Fitness to work	الملاءمة للاستعمال

	G
Geometric accuracy	الدقة الهندسية
Granulation	تحبيب
	H
Heat stability	الاستقرار الحراري
	I
Inspection- quality control department	قسم المراقبة التقنية
Integrated mangement of Maintenance	الإدارة المتكاملة للصيانة
Identifieation of equipments	الهوية الذاتية للتجهيزات
Ionization	تأين
Induction hardening	التقسية بالتيارات العالية
	J
Job satisfaetion	الرضى الوظيفي
	L
Linear wear	الاهتراء الخطي
Lead screw	محور الجر (آلة التشغيل)
	M
Maintainability	قابلية الإصلاح (للآلات)
Malfunction	سوء الأداء
Minor Maintenance	الصيانة الثانوية
Major Maintenance	الصيانة الأساسية
Medium repair	الإصلاح (الصيانة) المتوسط
Modernization	عمليات التحديث
Metal electro-spraying	ترذيذ المعدن كهربائياً

Mechanization	المكننة
Macrocrack	الشق الميكروي
Mean-time between failures	متوسط الزمن حتى التعطل

N

Noise	ضوضاء
Nick	حز
Non- failure operation	عدم التعطل

O

Operating area	المساحة الإنتاجية
Operational main	الصيانة التشغيلية
Offsehedule-unscheduled-Main.	الإصلاح حسب الحاجة
Overall Repaie, OR	الإصلاح (الصيانة) الشامل
Ongoing training programs	برامج التدريب المستمر
Overall machine efficiency	المردود العام للآلة
Outside services and contract	الخدمات الخارجية والعقود
Operation cycle	دورة التشغيل

P

Preventive inspection	الفحص الدوقائي
Periodic scheduled repair	إصلاح مخطط دوري
Preventive system	النظام الوقائي
Planned Maintenance	الصيانة المخططة
Proactive Maintenance	الصيانة الاستباقية
Predictive Maintenance	الصيانة التوقعية أو التنبؤية

Performance efficiency	كفاءة الأداء
Preparation stage	مرحلة الإعداد
Planning and scheduling	التخطيط والجدولة
Polymeric materials	المواد البوليميرية
Pitting	التنقر
Penetration depth	عمق التغلغل
Powdered wire	قضيب المساحيق
Plasma spraying process	ترذيذ المعدن بالبلازما
Plasma generator	مولد البلازما
Porous chroming	الترسيب الكرومي المسامي
Q	
Quality of product	نوعية المنتج
R	
Rarefaction	التخلخلة
Reliability centered Maintenance	الصيانة المعتمدة على تحاليل الوثوقية
Replacement Maintenance	الصيانة التبديلية
Running-routine- repait (RR)	الصيانة (الإصلاح) المتوسط
Reconditioning	عمليات التجديد
Reduce manufacturing cost	خفض كلفة التصنيع
Rate of Quality	نسبة الجودة (للمنتج)
Reliability of Maintenance planning	الوثوقية عند التخطيط للصيانة
Restoration	تجديد، ترميم
Reversing polarity	القطبية المعاكسة

Rigid- Vinyl plastic	الفينيل –الصلب البلاستيكي
Run- down	التوقف عن العمل
Resonance	طنين
Reliability index	عامل الوثوقية

S

Servicing	الخدمة التقنية
Semifinished item	سلعة نصف مصنعة
Slurry	ملاط رقيق القوام
Sprinkling	طرطشة (للسوائل)
Serviceability	صلاحية الاستخدام
Service life	مدة خدمة الآلة
Scratch	خدش
Scheduled repair (SR)	الإصلاح المبرمج
Sense of ownership and belonging	روح الانتماء لدى العاملين
Scheduled Main- program	برنامج الصيانة المخططة
Scheduler	المجدول
Surfacing	التغطية السطحية
Soldering	اللحام بالقصدير
Submerged arc welding	اللحام القوسي المغمور
Sputtering	الرشرشة
Surface tension	التوتر السطحي
Shrinkage factor	عامل الانكماش

Short- circuited arc surfacing	التغطية بقوس مهتز
Stuffing	حشو وإغلاق
Straightening	التقويم
T	
Tool life	فترة العمر (لأداة القطع)
Toleranee zone	مجال التسامح
Total produetion Main. (TPM)	الصيانة الكلية المنتجة
Thermoplastiec	بلاستيك يلدن بالحرارة
Thermosetting	بلاستيك يصلد بالتسخين
Thermal emission	الانبعاث الحراري
U	
Use based Main.	الصيانة حسب الاستعمال
Universal Main. Standards (UMS)	معايير الصيانة الشاملة
Unplanned Main	الصيانة غير المخططة
V	
Vibration monitoring	مراقبة الاهتزاز
Vulcanization	التصليد بالمطاطا والكبريت
Vartex spraying	الترسيب الدوامي
W	
Workability	قابلية التشغيل
Comparative wear resistance	مقاومة الاهتراء النسبية

اللجنة العلمية : الأستاذ الدكتور محمد غانم
الأستاذ الدكتور معتز جاويش
الأستاذ الدكتور غسان حداد

المدقق اللغوي : الدكتورة هدى صحناوي

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University