اختيار المواد واختبارها

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University



السنة : الخامسة

القسم : هندسة التصميم الميكانيكي

الاختصاص : علم المواد

منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

اختيار المواد واختبارها

الدكتور المهندس
عصام موسى
أستاذ في قسم هندسة التصميم الميكانيكي

الدكتور المهندس
محمد فتحي محمد غنمه
مدرس في قسم هندسة التصميم الميكانيكي

جامعة دمشق
١٤٣٦-١٤٣٧ هـ
٢٠١٤-٢٠١٥ م

الفهرس

المقدمة	١٩
الباب الأول: اختيار المواد	٢٣
الفصل الأول: أسس اختيار المواد المعدنية	٢٥
١ – ١ – مقدمة	٢٥
١ – ٢ – مواد التصنيع	٢٥
١ – ٢ –١ – تبويب المواد	٢٥
١ – ٢ –٢ – خواص مواد التصنيع	٢٥
١ – ٢ –٣ – الحديد والفولاذ	٢٦
١ – ٢ –٣ –١ – تصنيف الفونت وخواصه	٢٦
١ – ٢ –٣ –٢ – تصنيف الفولاذ	٢٧
١ – ٢ –٣ –٣ – التحولات التي تطرأ على الفولاذ في أثناء التسخين والتبريد	٣٠
١ – ٢ –٣ –٤ – العناصر الداخلة في تركيب الفولاذ	٣٣
١ – ٢ –٣ –٥ – العيوب الموجودة في الفولاذ والتي تصحح بالمعالجة الحرارية	٣٧
الفصل الثاني: الترميز القياسي لاختيار المعادن	٣٩
٢ – ١ – مقدمة	٣٩
٢ – ٢ – الترميز القياسي لاختيار المعادن الحديدية	٣٩
٢–٢–١ – المعطيات في قسم التحضير	٣٩
٢–٢–٢ – المعطيات في قسم التركيب	٣٩
٢–٢–٣ – الرموز (المعطيات) في قسم المعالجة	٤١
٢–٣ – خواص واستخدامات الفولاذ	٤٢
٢–٣–١ – فولاذ الإنشاءات (الفولاذالكربوني)	٤٣
٢–٣–٢ – فولاذ سهل القطع (الأوتوماتيك)	٤٤
٢–٣–٣ – فولاذ التصليد الغلافي	٤٤

٢-٣-٤- فولاذ التطبيع	٤٥
٢-٣-٥- فولاذ النتردة	٤٥
٢-٣-٦- فولاذ النوابض	٤٥
٢-٣-٧- الفولاذ الخاص	٤٦
٢-٣-٨- ألواح الفولاذ (الصاج)	٤٦
٢-٣-٩- فولاذ العدة	٤٧
٢-٣-١٠- فولاذ العدة اللاسبائكي (الفولاذ الكربوني)	٤٧
٢-٣-١١- فولاذ العدة السبائكي منخفض نسبة الخلط	٤٨
٢-٣-١٢- فولاذ العدة السبائكي عالي نسب الخلط	٤٨
٢-٤- الترميز القياسي لاختيار المعادن اللاحديدية	٤٩
٢-٤-١- أمثلة للترميز القياسي لسبائك المعادن اللاحديدية الثقيلة	٥٠
٢-٤-٢- المعادن الخفيفة	٥١
٢-٤-٣- أمثلة على الترميز القياسي لاختيار المعادن اللاحديدية	٥٢
الفصل الثالث: اختيار المواد	**٥٣**
٣-١- مقدمة	٥٣
٣-٢- أسلوب اختيار المادة المناسبة	٥٤
٣-٣- عوامل اختيار المادة	٥٥
٣-٤- مخططات اختيار المواد	٥٧
٣-٥- إظهار مواصفات المواد	٥٨
٣-٦- مخطط الكثافة - معامل يونغ المخطط (١)	٦٣
٣-٧- مخطط الكثافة - قوة الشد - المخطط (٢)	٦٦
٣-٨- مخطط الكثافة - مقاومة الانكسار المخطط (٣)	٦٨
٣-٩- مخطط قوة الشد - المعامل - المخطط (٤)	٦٨
٣-١٠- الملخص والنتائج	٦٩
الباب الثاني: مواد التصنيع	**٧١**
الفصل الأول: مواد التصنيع اللامعدنية	**٧٣**
١-١- الفحم والبترول	٧٣
١-٢- الجلد الطبيعي	٧٣

١-٣- المنسوجات	٧٣
١-٤- الزجاج	٧٣
١-٤-١- تصنيع الزجاج	٧٣
١-٤-٢- أنواع الزجاج	٧٤
١-٤-٣- الخصائص الميكانيكية للزجاج	٧٥
١-٥- الأسبستوس	٧٥
١-٦- الأخشاب (الخشب)	٧٥
١-٦-١- مكونات الأخشاب	٧٥
١-٦-٢- الصفات العامة للأخشاب	٧٦
١-٦-٣- أنواع الأخشاب	٧٧
١-٦-٤- تجفيف الأخشاب	٧٨
١-٦-٥- الخواص الهندسية للأخشاب	٧٨
١-٦-٦- عيوب الأخشاب	٨٠
١-٦-٧- الأخشاب الصناعية	٨١
١-٧- صناعة الورق	٨١
الفصل الثاني: دراسات متقدمة في علم المواد	**٨٣**
٢-١- مفاهيم أساسية	٨٣
٢-١-١- ما المقصود بكلمة النانو	٨٣
٢-١-٢- علم النانو	٨٣
٢-١-٣- تكنولوجيا النانو	٨٣
٢-١-٤- المواد النانونية	٨٣
٢-١-٥- مصادر المواد النانوية	٨٤
٢-٢- خواص المواد النانوية	٨٥
٢-٢-١- الخواص الميكانيكية	٨٥
٢-٢-٢- الخواص الكهربائية	٨٥
٢-٢-٣- الخواص المغناطيسية	٨٥
٢-٢-٤- الخواص الكيميائية	٨٦
٢-٢-٥- الخواص البصرية	٨٦

٢-٢-٦- الخواص الفيزيائية	٨٦
٢-٣- الطرائق المستخدمة في تحضير وإنتاج المواد النانومترية	٨٦
٢-٣-١- الطريقة الأولى طريقة من الأعلى إلى الأسفل (top-down)	٨٧
٢-٣-٢- الطريقة الثانية طريقة من الأسفل إلى الأعلى (Bottom-up)	٨٧
٢-٤- أشكال مواد النانو	٨٧
٢-٥- الأجهزة المستخدمة لإنتاج المواد النانوية	٨٧
٢-٦- تطبيقات تكنولوجيا النانو على المواد غير العضوية	٨٩
٢-٧- أنابيب النانو الكربونية وحيدة الطبقة	٩٠
٢-٨- قضبان النانو	٩١
٢-٩- بلورات النانو	٩٤
٢-١٠- البلورات الكمية	٩٦
الفصل الثالث: الخلائط الحافظة للذاكرة	**١٠٥**
٣-١- مقدمة	١٠٥
٣-٢- أهم الخصائص العامة للتحولات المارتنسيتية	١٠٥
٣-٣- أنواع الخلائط الحافظة للذاكرة	١٠٦
٣-٤- مزايا الخلائط الحافظة للذاكرة	١٠٦
٣-٥- تطبيقات الخلائط الحافظة للذاكرة	١٠٧
٣-٦- كيف تعمل الخلائط الحافظة للذاكرة؟	١٠٧
٣-٧- مزايا ومساوئ الخلائط الحافظة للذاكرة	١١٠
٣-٨- تطبيقات الخلائط الحافظة للذاكرة	١١٢
الباب الثالث: الاختبارات الميكانيكية (الاتلافية) للمواد	**١١٧**
الفصل الأول: الاختبارات الاتلافية للمواد	**١١٩**
١ - ١ - مقدمة	١١٩
١-٢- الاختبارات الستاتيكية	١١٩
١-٢-١- اختبار الشد	١١٩
١-٢-٢- اختبار القساوة الستاتيكية	١٢٢
١-٣- الاختبارات الديناميكية	١٢٣
١-٣-١- اختبار الصدم	١٢٣

١-٣-٢- اختبار التعب	١٢٦
١-٤- الاختبارات في ظروف مغايرة للظروف العادية	١٣٢
١-٤-١- تأثير ارتفاع درجات الحرارة في الخواص الميكانيكية للمعادن	١٣٣
١-٤-٢- المفهوم الأساسي للزحف في المعادن	١٣٤
١-٤-٣- مخطط الزحف للمعادن	١٣٥
١-٤-٤- تعيين حد الزحف للمعدن	١٣٧
الباب الرابع: الاختبارات اللاإتلافية	**١٣٩**
الفصل الأول: مدخل إلى التقييم اللاإتلافي	**١٤١**
١ - ١ - مقدمة	١٤١
١-٢- عناصر الاختبارات اللاإتلافية	١٤٢
١-٣- تاريخ التحليل اللاإتلافي	١٤٣
١-٤- اختيار طريقة مفيدة للتقييم اللاإتلافي	١٤٣
١-٤-١- كشف و تقييم الخلل	١٤٦
١-٤-٢-كشف و تقييم التسرب	١٤٧
١-٤-٣- قياس الأبعاد وتقييمها	١٤٨
١-٤-٤- تحديد الموضع وتقييمه	١٤٨
١-٤-٥- توصيف البنية الماكروية والبنية المجهرية و تحديد التركيب الكيميائي	١٤٨
١-٤-٦- تقدير الخواص الفيزيائية والميكانيكية	١٤٨
١-٤-٧- تحديد الإجهادات والانفعالات والاستجابة الديناميكية و تحليل الأثر	١٤٨
١ - ٥ - فوائد الفحوصات اللاإتلافية	١٤٩
١ - ٦ - طرائق الاختبارات اللاإتلافية	١٥٢
١-٦-١- طريقة الاختبار البصري Visual Method	١٥٣
١-٦-٢-طريقة السؤال النافذة Liquid Penetrant Method	١٥٣
١-٦-٣-طريقة الدقائق المغناطيسية Magnetic Particles Method	١٥٣
١-٦-٤- طريقة التيارات الدوامة Eddy Current Method	١٥٣
١-٦-٥-طريقة الأمواج فوق الصوتية Ultrasonic method	١٥٤
١-٦-٦-طريقة التصوير الشعاعي Radiography Method	١٥٤
١-٧- الكودات والمعايير Codes and standards	١٥٤

١-٧-١- مفاهيم أساسية وتعاريف ١٥٤

١-٧-٢-الهيئات والمنظمات التي تصدر المواصفات والكودات الخاصة بالاختبارات اللاإتلافية ١٥٦

١-٧-٣-المواصفات الخاصة بتأهيل وترخيص العاملين في الاختبارات اللاإتلافية ١٥٦

١ - ٨ — ضمان جودة الاختبارات اللاإتلافية ١٥٦

١-٨-١ إجراءات الاختبار ١٥٧

١-٨-٢ مفتشو الاختبار ١٥٨

١-٨-٢-١ المستوى الأول ١٥٨

١-٨-٢-٢ المستوى الثاني ١٥٨

١-٨-٢-٣ المستوى الثالث ١٥٩

١-٨-٣- أجهزة الاختبار ١٥٩

١-٩- التأهيل والترخيص في الاختبارات اللاإتلافية Qualification and Certification ١٦٠

الفصل الثاني: عيوب المواد **١٦٥**

٢-١- مقدمة ١٦٥

٢-٢- أنواع العيوب حسب توضعها ١٦٥

٢-٣-تصنيف العيوب حسب منشأها ١٦٦

٢-٤-عيوب الملحومات ١٦٧

٢-٥- عيوب المصبوبات Casting defects ١٨٢

٢-٦- العيوب الناتجة عن عمليات التشغيل النهائية ١٨٧

٢-٧- العيوب الناتجة عن الاستخدام ١٨٩

الفصل الثالث: الاختبار البصري **١٩٣**

٣-١- مقدمة ١٩٣

٣-٢- مزايا الاختبار بطريقة الفحص البصري ١٩٤

٣-٣- مساوئ وحدود الاختبار بطريقة الفحص البصري ١٩٤

٣-٤- الفحص البصري المباشر ١٩٤

٣-٥- مساعدات الرؤيا Visual testing aids ١٩٥

٣-٥-١- العدسات المكبرة ١٩٦

٣-٥-٢- مكشاف الثقوب Borescopes ١٩٦

٣-٥-٣- أجهزة الرؤيا الإلكترونية Electronic testing aids tools ١٩٧

٣-٦- إجراءات الفحص البصري	١٩٧
الفصل الرابع: طريقة الاختبار بالسوائل النفوذة	**١٩٩**
٤-١-مقدمة	١٩٩
٤- ٢- مزايا طريقة الاختبار بالسوائل النافذة	٢٠٠
٤- ٣- مساوئ وحدود طريقة الاختبار بالسوائل النافذة	٢٠٠
٤- ٤- مفاهيم عامة في التوتر السطحي و الخاصية الشعرية	٢٠١
٤- ٥ - كشف الأعطال باستخدام الخاصية الشعرية	٢٠٤
٤-٦- طريقة الاختبار	٢٠٤
٤-٧- إجراءات الاختبار بطريقة السوائل النفوذة	٢٠٨
٤-٨- تجهيزات الاختبار بطريقة السوائل النفوذة	٢١٦
الفصل الخامس: طريقة الاختبار بالجسيمات المغناطيسية	**٢١٩**
٥-١- مقدمة	٢١٩
٥-٢- مزايا طريقة الاختبار بالدقائق المغناطيسية	٢١٩
٥-٣- مساوئ وحدود طريقة الاختبار بالدقائق المغناطيسية	٢١٩
٥-٤- مبادئ ومفاهيم في المغناطيسية	٢٢٠
٥-٤-١- نظرية المغنطة	٢٢٠
٥-٤-٢- الحقول المغناطيسية	٢٢٠
٥-٤-٣- خطوط القوة المغناطيسية	٢٢١
٥-٤-٤- شعاع الحقل	٢٢٢
٥-٤-٥- الأقطاب المتتالية	٢٢٢
٥-٤-٦- تشوه المجال المغناطيسي	٢٢٢
٥-٤-٧- مجال التدفق المغناطيسي	٢٢٢
٥-٤-٨- الأجسام المغناطيسية	٢٢٣
٥-٤-٩- الكهرباء والمغناطيسية	٢٢٤
٥-٤-١٠- السيالة المغناطيسية	٢٢٤
٥-٤-١١- كثافة التدفق	٢٢٤
٥-٤-١٢- السماحية المغناطيسية	٢٢٥
٥-٤-١٣- الممانعة المغناطيسية	٢٢٥

٥-٤-١٤- المغناطيسية المتبقية	٢٢٥
٥-٤-١٥- القوة المغناطيسية القسرية	٢٢٥
٥-٤-١٦- منحني التخلف المغناطيسي	٢٢٥
٥-٤-١٧- توزع المجال في النواقل المغناطيسية واللامغناطيسية	٢٢٨
٥-٤-١٨- خصائص التيارات المغناطيسية	٢٢٨
٥-٤-١٩- خصائص النفوذية	٢٢٨
٥-٤-٢٠- ظاهرة إزالة التمغنط	٢٢٨
٥-٥- طرائق المغنطة	٢٣٠
٥-٦- الجسيمات المغناطيسية	٢٣٢
٥-٧- آلية الاختبار بطريقة الجسيمات المغناطيسية	٢٣٤
٥-٨- تحليل الإشارات المتشكلة	٢٣٦
٥-٩- التجهيزات المستخدمة	٢٣٦
٥-١٠- حساسية الطريقة	٢٣٨
الفصل السادس: طريقة بالأمواج فوق الصوتية	**٢٣٩**
٦-١- مقدمة	٢٣٩
٦-٢- مزايا طريقة الاختبار بالأمواج فوق الصوتية	٢٤٠
٦-٣- مساوئ وحدود طريقة الاختبار بالأمواج فوق الصوتية	٢٤٠
٦-٤- تطبيقات طريقة الاختبار بالأمواج فوق الصوتية	٢٤٠
٦-٥- لمحة تاريخية عن طريقة الاختبار بالأمواج فوق الصوتية	٢٤١
٦-٦- مبادئ ومفاهيم في الصوت	٢٤٢
٦-٦-١- الاهتزازات	٢٤٢
٦-٦-٢- الطيف الصوتي	٢٤٣
٦-٦-٣- الطول الموجي	٢٤٣
٦-٦-٤- التردد الموجي	٢٤٣
٦-٦-٥- الممانعة الصوتية	٢٤٣
٦-٦-٦- الأمواج فوق الصوتية	٢٤٤
٦-٦-٧- سرعة الموجة	٢٤٥
٦-٦-٨- سلوك الأمواج فوق الصوتية	٢٤٦

٦-٦-٩- حزمة الأمواج فوق الصوتية	٢٤٨
٦-٦-١٠- توهين الأمواج فوق الصوتية	٢٤٩
٦-٧- تقنيات الاختبار بالأمواج فوق الصوتية	٢٥٠
٦-٧-١- تقنية صدى النبضة Pulse-Echo Technique	٢٥٠
٦-٧-٢- تقنية المرسل – المستقبل Transmitter and Receiver	٢٥٢
٦-٧-٣- تقنية النبضات النافذة	٢٥٢
٦-٧-٤- تقنية الطنين (الرنين)	٢٥٢
٦-٨- أشكال ونماذج بث حزمة الأمواج فوق الصوتية	٢٥٣
٦-٨-١- نموذج بث الحزمة العمودية	٢٥٣
٦-٨-٢- نموذج بث الحزمة الزاوي	٢٥٤
٦-٩- أجهزة الكشف عن العيوب بالأمواج فوق الصوتية Ultrasonic Flew Detectors	٢٥٥
٦-٩-١- تمثيل المسح A– (A – Scan Representation)	٢٥٥
٦-٩-٢- تمثيل المسح B – (B – Scan Representation)	٢٥٥
٦-٩-٣- تمثيل المسح C – (C – Scan Representation)	٢٥٥
الفصل السابع: طريقة الاختبار بالتصوير الإشعاعي	**٢٥٧**
٧-١- مقدمة	٢٥٧
٧-٢- مزايا طريقة الاختبار بالتصوير الإشعاعي	٢٥٩
٧-٣- مساوئ حدود طريقة الاختبار بالتصوير الإشعاعي	٢٥٩
٧-٤- مبادئ في فيزياء الإشعاع	٢٦٠
٧-٤-١- الذرة	٢٥٩
٧-٤-٢- تركيب المادة	٢٥٩
٧-٤-٣- المدارات الإلكترونية	٢٦٠
٧-٤-٤- العدد الذري	٢٦٠
٧-٤-٥- العدد الكتلي	٢٦٠
٧-٤-٦- النظائر	٢٦١
٧-٤-٧- النشاط الإشعاعي	٢٦١
٧-٤-٨- التأين	٢٦٢
٧-٤-٩-توهين الإشعاعات	٢٦٢

٧-٤-١٠-شدة المنابع الإشعاعية	٢٦٣
٧-٤-١١-النشاط الإشعاعي النوعي	٢٦٤
٧-٤-١٢-أثر الأشعة على النسج الحية	٢٦٤
٧-٤-١٣-عمر النصف للنشاط الإشعاعي	٢٦٦
٧-٤-١٤-عمر النصف البيولوجي	٢٦٧
٧-٤-١٥-عمر النصف الفعال	٢٦٧
٧-٤-١٦-معامل التأثير الإشعاعي البيولوجي	٢٦٧
٧-٤-١٧-معايير التعرض الإشعاعي	٢٦٧
٧-٤-١٨-الجرعة البيولوجية	٢٦٨
٧-٤-١٩-معدل الجرعة	٢٦٨
٧-٤-٢٠-طاقة الأشعة	٢٦٩
٧-٤-٢١-التدريع والوقاية من الإشعاع	٢٧٠
٧-٤-٢٢-إنتاج النظائر المشعة	٢٧١
٧-٤-٢٣- الخصائص الأساسية للأشعة السينية وأشعة غاما	٢٧١
٧-٤-١٦-سماكة حجب النصف	٢٧١
٧-٥- إجراءات الاختبار بالتصوير الإشعاعي باستخدام الأشعة السينية	٢٧٢
٧-٦- تقنيات التصوير الإشعاعي	٢٧٢
٧-٦-١- التصوير الإشعاعي باستخدام أشعة γ	٢٧٢
٧-٦-٢- التصوير الإشعاعي باستخدام أشعة X	٢٧٤
٧-٧- الحساسية في التصوير الإشعاعي	٢٧٦
٧-٧-١- التباين	٢٧٦
٧-٧-٢- التحديد	٢٧٧
٧-٧-٣- عدم الحدة المتأصل	٢٧٧
٧-٧-٤- التبعثر الإشعاعي	٢٧٧
٧-٧-٥- عدم الحدة الهندسي	٢٧٨
٧-٧-٦- تشوه أبعاد العينة على الصورة الإشعاعية	٢٨٠
٧-٧-٧- تأثير الشكل الهندسي للعينة على جودة الصورة الإشعاعية	٢٨٠
٧-٧-٨- تأثير البنية الحبيبية لفلم التصوير على جودة الصورة الإشعاعية	٢٨١

٧-٨- المواد والتجهيزات المستخدمة في التصوير الإشعاعي الصناعي	٢٨١
٧-٩- المنابع المشعة	٢٨٢
٧- ١٠- أفلام التصوير الإشعاعي وطريقة معالجة الأفلام كيميائياً	٢٨٢
٧- ١١- مواد وتجهيزات التحميض والإظهار	٢٨٤
٧-١٢- الصفائح	٢٨٧
٧-١٣- حوامل الأفلام المرنة والصلبة	٢٨٩
٧-١٤- مؤشرات جودة الخيال	٢٨٩
٧-١٥- المرشحات	٢٩١
٧-١٦- أقنعة الامتصاص	٢٩١
٧-١٧- أجهزة قياس الإشعاع المستخدمة في التصوير الإشعاعي الصناعي	٢٩٢
الفصل الثامن: طريقة الاختبار بالتيارات الإعصارية	**٢٩٣**
٨-١- مقدمة	٢٩٣
٨-٢- تطبيقات طريقة التيارات الدوامة	٢٩٤
٨-٣- مزايا طريقة الاختبار بالتيارات الدوامة	٢٩٦
٨-٤- مساوئ وحدود طريقة الاختبار بالتيارات الدوامة	٢٩٦
الفصل التاسع: قياس الانفعالات باستخدام حساسات الانفعال	**٢٩٧**
٩-١- مقدمة	٢٩٧
٩-٢- أساليب قياس الانفعال	٢٩٧
٩-٣- مبدأ القياس	٢٩٨
٩-٤- بنية الحساسات وأشكالها	٢٩٩
٩-٥- تطبيقات واستخدامات حساسات الانفعال	٣٠١
٩-٦- طريقة تثبيت حساسات الانفعال	٣٠٢
٩-٧- الحساسات المتعددة (الوريدات)	٣٠٤
الفصل العاشر: التصوير الحراري	**٣٠٩**
١٠-١- مفاهيم أساسية في الأشعة تحت الحمراء والتصوير الحراري	٣٠٩
١٠-٢- ميزات التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء	٣١٢
١٠-٣- حدود التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء	٣١٣
١٠-٤- تقنيات التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء	٣١٣

١٠-٥- تطبيقات التصوير الحراري	٣١٣
الفصل الحادي عشر: تطبيقات عملية في الاختبار اللاإتلافي للعيوب	**٣١٩**
١١-١- مقدمة	٣١٩
١١-٢- الاندفاعاتBurst	٣٢٠
١١-٣- الكسور الباردةCold Shuts	٣٢٢
١١-٤-الشقوق السطحية الشرائحية (البراغي والمسامير) Fillet Cracks (Bolts)	٣٢٤
١١-٥-الشقوق الناتجة عن التجليخGrinning Cracks	٣٢٦
١١-٦-الشقوق الملتويةConvolution Cracks	٣٢٨
١١-٧-شقوق مناطق التأثر الحراري Heat-Affected Zone Cracking	٣٣٠
١١-٨- الكسور والتمزقات الساخنة Heat-Treat Cracks	٣٣٢
١١-٩- الشقوق الناتجة عن التقلصات السطحية Surface Shrink Cracks	٣٣٤
١١-١٠- التشققات اللولبية Thread Cracks	٣٣٦
١١-١١- التآكل بين الحبيباتTubing Cracks	٣٣٨
١١-١٢- القشور الهيدروجينيةHydrogen Flake	٣٤٠
١١-١٣- التقصف الهيدروجينيHydrogen Embrittlement	٣٤٢
١١-١٤- الشوائبInclusion	٣٤٤
١١-١٥- الشوائب في غير الملحومات Inclusion	٣٤٦
١١-١٦- نقص النفاذيةLack of Penetration	٣٤٨
١١-١٧- الترقق (العيوب الممتدة بشكل سطحي) Lamination	٣٥٠
١١-١٨- التجعد والتحزيزLaps and Seams	٣٥٢
١١-١٩- التجعد والتحزيز في المطروقاتLaps and Seams	٣٥٤
١١-٢٠- التقلصات الميكروية الشعرية Micro Shrinkage	٣٥٦
١١-٢١- المسامية الناتجة عن انحباس الغازاتGas Porosity	٣٥٨
١١-٢٢- المسامية الناتجة عن عدم الانصهار الكاملUnfused Porosity	٣٦٠
١١-٢٣- العيوب الناتجة عن التآكل والإجهاداتStress Corrosion	٣٦٢
١١-٢٤- العيوب الناتجة في الأنابيب الهيدروليكية Hydraulic Tubing	٣٦٤
١١-٢٥- التجفيف الناتج عن السحب Mandrel Drag	٣٦٦
١١-٢٦- العيوب الحاصلة في أشباه الموصلاتSemiconductors	٣٦٨

١١-٢٧- التمزقات الساخنةHot Tears	٣٧٠
١١-٢٨- الشقوق الأنبوبية Intergranular Corrosion	٣٧٢
المراجع	**٣٧٥**

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مقدمة

يشهد العالم اليوم تطوراً متسارعاً في مجال علم المواد وخاصةً علم المعادن وخلائطها المستخدمة في مجالات الصناعة المختلفة، فالمواد سواءً منها المعدنية وغير المعدنية كانت وما زالت الشغل الشاغل للإنسان منذ أن وجد على سطح الأرض، فقد كان وما زال يبحث في هذه المواد وخواصها ومجالات استخدامها ومع هذا التقدم الهائل في علم المواد وأنواعها كان لابد من الاهتمام أيضاً باختيار المادة أو المواد المناسبة للمنشأة أو الجهاز أو الآلة المعدة لعدة اعتبارات مهمة، نسمي عناصر الاختيار وبتحقيقها أو التوفيق بينها تستطيع المنشأة أو الجهاز بأداء الدور المطلوب له على أحسن وجه .

وعلى الرغم من توافر البيانات وكثرة المصادر عن المواد إلا أن عملية اختيار المادة المناسبة ليست عملية سهلة نظراً لتداخل العديد من الخواص عند الاختيار وكذلك لاختلاف ظروف التشغيل وارتباطها بالخواص المختلفة لهذه المواد وتتداخل العوامل المختلفة للخواص من مقاومة ميكانيكية و مقاومة تآكل وخواص حرارية وكهربائية وغيرها، فلذلك يجب على من يقوم بعملية اختيار المادة المناسبة أن يكون على فهم عميق بخواص المواد وعلى دراية ومعرفة بتأثيرها وبتصرفاتها تحت الظروف المختلفة أثناء عملية الإستثمار .

ولا بد هنا أن نذكر بأن الخطأ في إتخاذ القرار الصحيح باختيار المادة المناسبة واختبارها والتحقق من خواصها وصلاحيتها يمكن أن يسبب الكثير من الكوارث التي تصاحب إنهيار المادة أثناء الإستثمار وتؤدي إلى وفاة العشرات وإصابة الآلاف من الناس إضافة إلى خسائر مادية كبيرة.

حيث يتضح من ذلك الأهمية الكبرى في إتخاذ القرار الصحيح عند اختيار المادة المناسبة للهدف الذي تستخدم لأجله واختبارها للتحقق من خواصها وصلاحيتها في أثناء عمليات التصنيع هذه المادة وبعدها.

وضع هذا الكتاب لتغطية مفردات مقرر اختيار المواد واختبارها لطلاب السنة الخامسة (شعبة علم المواد) في قسم هندسة التصميم الميكانيكي (كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية) جامعة دمشق ويتألف هذا الكتاب من أربعة أبواب

الباب الأول اختيار المواد

يتألف هذا الباب من ثلاثة فصول مرتبة وفقاً لطبيعة عمليات وأسس اختيار المواد والتعرف على الترميز القياسي لاختيار المعادن الحديدية واللاحديدية وذلك لأهميتها للصناعة، كما تضمن هذا الباب فصلا خاصاً لاستعراض أهم مخططات اختيار المواد والتي تظهر العلاقة بين الخواص المختلفة للمواد وطبيعة هذه المواد من خلال تقسيم مجال تلك المخططات إلى عدة حقول يمثل كل منها نمطاً أو عائلة ما من المواد إنطلاقاً من اختلاف خواصها وفي بعض الأحيان تتداخل الحقول مع بعضها ولكن دائماً يكون لها نطاق خاص ضمن كل مخطط.

الباب الثاني مواد التصنيع

يتألف هذا الباب من ثلاثة فصول خصص الأول للتعريف بمواد التصنيع اللامعدنية والثاني للتعرف على المواد النانومترية وخواصها وأشكالها وطرائق الحصول عليها والتطبيقات المهمة للنانوتكلوجي، وأما الفصل الثالث فقد تعرض للخلائط الحافظة للذاكرة وأنواعها وكيفية عملها وتطبيقاتها المهمة.

الباب الثالث الاختبارات الميكانيكية (الإتلافية) للمواد

ويتكون من فصل واحد يغطي مراجعة سريعة للاختبارات الميكانيكية (الإتلافية) للمواد نظراً لتطرق مقررات سابقة لهذا النمط من الاختبارات إلا أنه تم التركيز على عملية اختيار عينات الاختبار اللازمة للتحقق من خواص المواد، والتوسع ببعض الاختبارات ذات الأهمية الخاصة كالتعب والزحف.

الباب الرابع الاختبارات اللاإتلافية للمواد .

تم التوسع شيئاً ما في هذا الباب نظراً لأهميته في مختلف أشكال الصناعات يتألف هذا الباب من أحد عشر فصلا ثمانية فصول استهلت بمدخل عام إلى التقييم اللاإتلافي تلاه عرض سريع لعيوب المواد وقد شملت الفصول اللاحقة على عرض مفصل لطرائق الاختبار اللاإتلافي

الأساسية مفهومها وتقانتها ومجالات استخدامها وإجراءات الاختبار الاختبار البصري، طريقة الاختبار بالسوائل النفوذة، طريقة الاختبار بالجسيمات المغناطيسية، طريقة بالأمواج فوق الصوتية، طريقة الاختبار بالتصوير الإشعاعي، طريقة الاختبار بالتيارات الإعصارية، قياس الانفعالات باستخدام حساسات الانفعال، طريقة التصوير الحراري، واختتم هذا الباب ببعض التطبيقات العملية في الاختبار اللاإتلافي للعيوب الشهيرة.

نود أن نذكر طالبنا العزيز في مقدمة هذا الكتاب أن السنوات الأخيرة تميزت بطفرة علمية كبيرة في مجال علم المواد وغيرها من العلوم الأخرى، وكلما اكتشفت مادة جديدة تنوعت طرائق البحث فيها وتعددت مجالات استخدامها وظهرت مشكلات لم تكن معروفة تتطلب البحث عن خواص أخرى جديدة، لهذا فإن هناك بعض مخططات الاختيار وطرائق الاختيار وبعض المواد الحيوية لم نتطرق لها لعدم إمكانية التوسع حسب الساعات المقررة لهذا المقرر تاركين للطالب تطوير معرفته عندما تستدعي الضرورة لذلك.

نأمل أن نكون قد قدمنا إلى كل من طلابنا والعاملين في هذا المجال ومكتباتنا العلمية ما هو مفيد وأن يحقق هذا الكتاب الفائدة العلمية والعملية المرجوة.

الدكتور المهندس
محمد فتحي غنمه

الأستاذ الدكتور المهندس
عصام موسى

الباب الأول

اختيار المواد

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

أسس اختيار المواد المعدنية

١ – ١ – مقدمة :

عند اختيار المادة يجب معرفة الوظيفة والغرض المراد من هذه المادة لتكون مناسبة لحل مشكلة معينة، ويمكن توصيف المتطلبات الأساسية عند اختيار المواد بالأسئلة التالية:

١. ما هو المطلوب من خواص المادة ؟
٢. لأي مجال سوف تستخدم هذه المادة.
٣. ما هو المطلوب من تشغيل المادة وقيمة تغير خواصها ؟
٤. ما هو سعر المادة ؟

وبذلك يتبين لنا مما سبق الإجابة الضرورية لحل أي مشكلة معينة والاختيار الأمثل للمواد المناسبة.

مقياس اختيار المادة:

عند اختيار المواد المطلوب استخدامها لبعض المجالات يجب الأخذ بالحسبان أن هذه المواد مناسبة وتعطي الحل الأمثل لتشغيل وتصنيع القطعة المطلوبة وتلبي هذه المادة الشروط والظروف الاستثمارية والتصميمية الموضوعة لها.

١ – ٢ – مواد التصنيع:

١ – ٢ –١ – تبويب المواد :

تمر المواد الموجودة في الطبيعة مثل الحديد الخام والخشب وزيت البترول بمراحل معالجة متعددة ومختلفة قبل أن تصبح عناصر صالحة للتصنيع مثل الفولاذ – حديد الزهر – سبائك الألمنيوم واللدائن، التي يمكن استخدامها في صناعة وتجهيز الآلات والآليات والأجهزة المختلفة وتسمى المواد التي تستهلك في عمليات تصنيع وتشغيل المواد المذكورة بالمواد المساعدة ومنها مواد التبريد والتزليق والوقود ومواد التجليخ....الخ ويمكن تقسيم المواد الصناعية وفقاً لما هو مبين بالشكل ١–١ وأما المواد المساعدة فتقسم إلى: مواد اللحام – مواد التنظيف – مواد التصليد – محاليل التبريد – مواد التجليخ والتلميع– مواد التشحيم– الوقود.....الخ

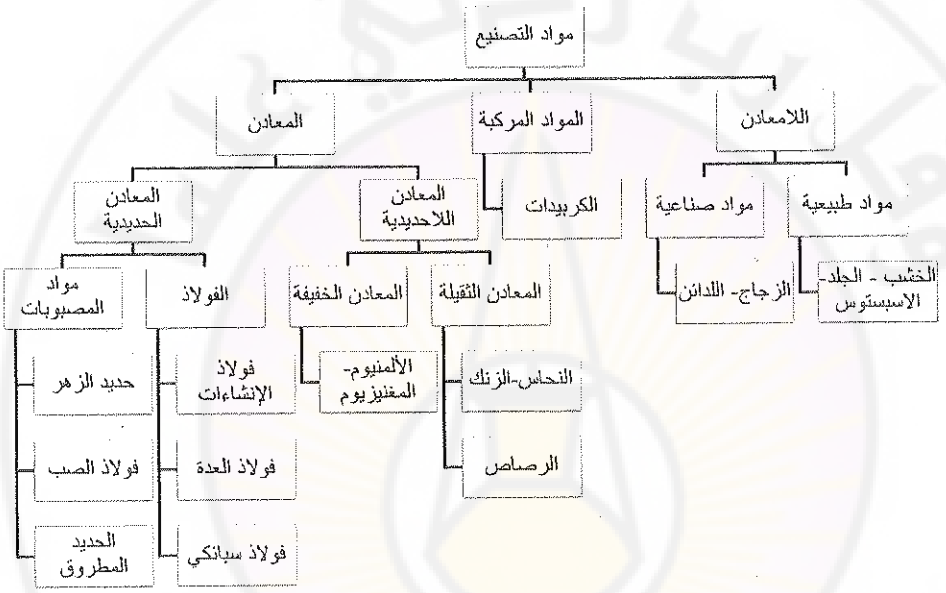
١ – ٢ –٢ – خواص مواد التصنيع :

يتم اختيار مواد التصنيع بحسب خواصها الفيزيائية والتكنولوجية والكيميائية .

١. الخواص الفيزيائية: هي قابلية المادة لتوصيل الحرارة والكهرباء، ونقطة الانصهار والمتانة، والصلادة والمرونة والكثافة وتُحدد هذه الخواص مجالات استخدام أي مادة تصنيع.

٢. الخواص الفنية (التكنولوجية) : هي التي تحدد التباينات المختلفة في سلوك هذه المواد في أثناء عملية التصنيع. (التكنولوجيا: هو العلم الذي يختص باستخلاص وتشغيل المواد صناعياً). وتبعاً لذلك هناك مواد تصنيع قابلة للصب والتشكيل والتشغيل بالقطع.....الخ.

٣. الخواص الكيميائية: هي مقاومة التآكل وقابلية الاحتراق ودرجة السمية ويمكن تغيير خواص المواد بصورة أساسية عن طريق خلطها بمواد أخرى (أي تكوين سبائك).



الشكل ١-١ مواد التصنيع

١ - ٢ -٣ - الحديد والفولاذ :

يمكن اكتساب حديد الزهر والفولاذ خواصاً ومواصفات جديدة تتناسب مع أغراض استخداماتها المختلفة بواسطة الطرق المختلفة لتحضيرها وتصنيعها أو بصب سبائك منها أو معالجتها حرارياً وبذلك يصبح حديد الزهر والفولاذ من أهم المواد المستخدمة على نطاق واسع في جميع مستويات الصناعة والتكنولوجيا.

١ - ٢ -٣ -١- تصنيف الفونت وخواصه:

يلقى الفونت سابقاً وفي الوقت الحاضر استخداماً واسع النطاق في مجالات الصناعة المختلفة، ويعود ذلك إلى سهولة التحضير والكلفة غير المرتفعة للقطع المصنعة منه، بالإضافة إلى الخواص الميكانيكية الجيدة ومقاومته للتآكل وكما يمكن استخدامه في الإنشاءات التي تخضع لتأثير إجهادات متغيرة ودرجات حرارية عالية.....الخ

الفونت سبيكة من الحديد والكربون فهي تحوي على أكثر من (2% C) كربون وحتى (5% Si) بالإضافة إلى كمية محدودة من المنغنيز أما عنصر الكبريت والفوسفور فتوجدان في الفونت على شكل شوائب ويدخل في تركيب الفونت السبائكي بالإضافة لهذا كله بعض العناصر الأخرى مثل الكروم والنيكل والموليبدنيوم وغيرها التي تُكسب هذا الفونت مزايا خاصة.

يكون الكربون في الفونت إما متحداً مع الحديد ومشكلاً ما يسمى السمنتيت (Fe3C) أو على شكل بنية بلورية حرة (الغرافيت)، ويعد الكربون والسيليسيوم والألمنيوم والنحاس والنيكل وغيرها من العناصر التي تساعد على تشكل الغرافيت، إذ تتحد هذه العناصر مع الحديد وتشكل محاليل صلبة.

إن وجود السمنتيت في الفونت يضفي على مكسر الأخير لوناً ناصعاً، لهذا يسمى الفونت في هذه الحالة الفونت الأبيض، ويضفي الغرافيت على مكسر الفونت لوناً رمادياً ويسمى الفونت في هذه الحالة الفونت الرمادي.

يمكن تصنيف الفونت حسب البنية البلورية إلى المجموعات التالية:

- الفونت الأبيض: ويكون فيه كل الكربون متحداً مع الحديد على شكل سمنتيت.
- الفونت الرمادي: ويكون فيه الكربون على هيئة غرافيت صفائحي.
- الفونت عالي المتانة: ويكون فيه الكربون على شكل غرافيت كروي.
- الفونت المطروق: ويكون فيه الغرافيت على شكل أزهار القطن.

يلقى الفونت الأبيض استخداماً محدوداً وذلك لأن السمنتيت الموجود في بنيته يجعل الفونت عالي القساوة وقصيفاً (هشاً).

أما الفونت الرمادي فهو سبيكة مؤلفة من ثلاثة عناصر ($Si-Fe-C$) وتحتوي هذه السبيكة على المنغنيز والفوسفور والكبريت على شكل شوائب.

وأكثر أنواع الفونت الرمادي استخداماً في الصناعة هو الفونت الذي يحتوي على الكربون ($2.4-3.8\%C$) فإذا زادت نسبة الكربون على هذا الحد فإن ذلك يؤثر سلباً في الخواص الميكانيكية للفونت.

وأفضل الخواص السبائكية لهذا الفونت إذا كانت نسبة الكربون فيه لا تقل عن (2.4%).

١ - ٢ -٣ -٢- تصنيف الفولاذ:

لكي نستطيع تصنيع أجزاء الآلات والآليات الفولاذية، ذات مواصفات مناسبة للشروط الاستثمارية وتحقق أفضل المعايير للاستخدام لابد من الاهتمام بما يلي:

١. الاختيار الصحيح لنوع الفولاذ حسب الاستخدام.
٢. المعالجة الحرارية المناسبة والناجحة للفولاذ لإعطائه الخواص المناسبة.
٣. المعالجة الميكانيكية والطلاءات المختلفة المناسبة لإعطاء الفولاذ الخواص الأفضل.

ويعد الأمر الأول أساسياً وشديد الأهمية، ولا يمكن النجاح في عملية المعالجة الحرارية دون معرفة نوع الفولاذ الذي نستخدمه. ولبناء صناعة ناجحة ومتطورة لابد من ثقافة فنية في معرفة أنواع وأصناف الفولاذ المتوافرة في الأسواق العالمية.

وتعد معرفة كل نوع من أنواع الفولاذ عملية صعبة لأن البلدان المصنعة للفولاذ كثيرة ولكل بلد نظامه الخاص في الترميز للفولاذ.

إذا حاولنا إحصاء أصناف الفولاذ المصنعة في دليل الفولاذ الألماني المسمى (Key to Steel) نجد أنه هناك أكثر من ألفي صنف، ولكل شركة مصنعة تسمية خاصة. ولذلك وللإحاطة بالموضوع لابد في البداية من معرفة التصنيف العام للفولاذ.

يصنيف الفولاذ بطريقتين أساسيتين:

١. حسب التركيب الكيميائي

٢. حسب الاستخدام

يصنف الفولاذ حسب التركيب الكيميائي كما هو مبين بالشكل ١-٢

أما التصنيف حسب الاستخدام فهو كالتالي:

١. فولاذ إنشاءات عام – فولاذ غير قابل للتقسية- فولاذ قابل للنتردة- فولاذ سهل القطع .

٢. فولاذ قابل للمعالجة الحرارية – فولاذ المحامل الكروية والبلحية (رولمانات).

٣. فولاذ النوابض – فولاذ قابل للتقسية السطحية – فولاذ يسحب على البارد

٤. فولاذ متين في درجات الحرارة تحت الصفر- فولاذ أوعية الضغط- فولاذ إنشاءات مقاوم للحرارة.

٥. فولاذ إنشاءات ناعم الحبيبات – فولاذ إنشاءات ناعم الحبيبات مقاوم للعوامل الجوية.

٦. فولاذ أدوات كربوني – فولاذ سريع القطع.

٧. فولاذ أدوات عامل في درجات الحرارة العادية.

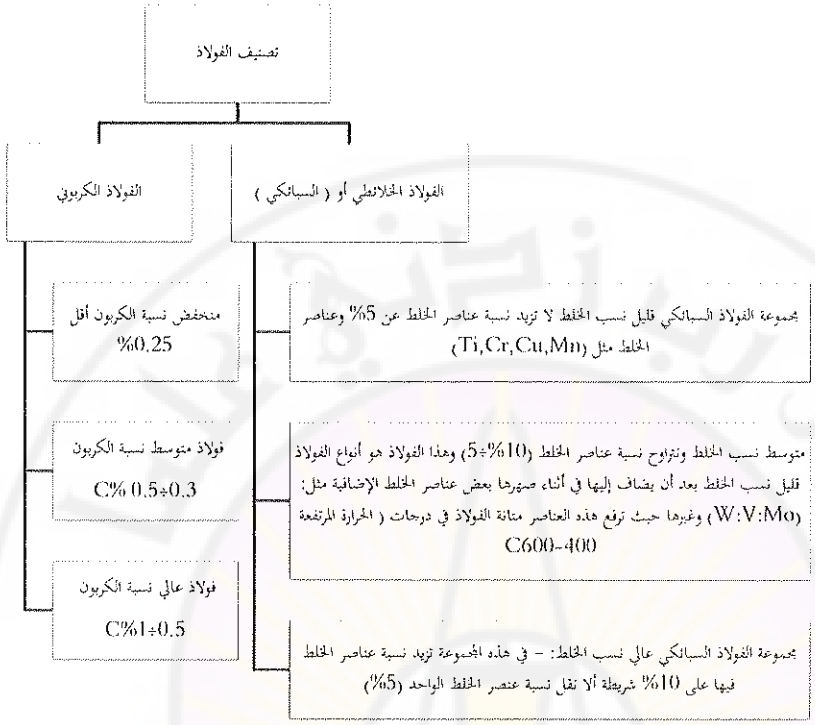
٨. فولاذ أدوات عامل في درجات الحرارة العالية.

٩. فولاذ صمامات – خلائط فولاذية مقاومة لدرجات الحرارة العالية- فولاذ غير مغناطيسي – فولاذ مقاوم للحرارة.

١٠. فولاذ مقاوم للصدأ (ستانلس ستيل).

١١. فولاذ صب مقاوم للتآكل الكيميائي والحموض والحرارة.

١٢. مواد تعبئة للحام الفولاذ الخلائطي العالي الخلائطية.



الشكل ١-٢ تصنيف الفولاذ حسب التركيب الكيميائي

يفيد التصنيف حسب التركيب الكيميائي في معرفة خواص الفولاذ والمعالجة الحرارية المناسبة، أما التصنيف حسب الاستخدام فإنه يسهل اختيار صنف الفولاذ المناسب لعملية التصنيع. في الدول الصناعية للفولاذ مراجع موحدة لأصناف الفولاذ حسب الاستخدام (مثل مفتاح الفولاذ Key to Steel) وأطلس الفولاذ الاسترالي والغوست الروسي وغيرهما. ويمكن بسهولة البحث في مثل هذه المراجع عن الفولاذ حسب الاستخدام – حيث تتسلسل الأصناف للفولاذ ضمن مجموعات تناسب عمليات الاستخدام في الصناعة ويذكر تركيب كل صنف ومواصفاته الفيزيائية والميكانيكية والمعالجة الحرارية المناسبة له.

ما هو الفولاذ : يتألف الفولاذ بشكل عام من بلورات لها أشكال هندسية معينة تتوزع فيها ذرات الحديد والكربون وبقية العناصر الموجودة في الفولاذ ويكون عدد هذه البلورات كبيراً، حيث أبعادها تتراوح ($0.001 \div 1mm$) وحسب ظروف التجمد فإن هذه البلورات تنمو وتتصادم وتفقد شكلها المنتظم. وتسمى حبيبات وممكن أن ترى بالمجهر . وان ما يحدث لهذه الحبيبات في أثناء التسخين والتبريد والتشكيل هو سبب الخواص التي يتمتع بها الفولاذ وهي هدف المعالجات الحرارية.

وكما هو معروف عندما يكون المعدن المصهور (سائلاً) لا توجد بلورات ولكن عند التبريد تبدأ البلورات بالتشكل حول بذور التبلور ضمن المعدن السائل وتستمر بالنمو حتى يتجمد المعدن بشكل كامل. إذا كان التبريد بطيئاً يتشكل عندها عدد صغير من البلورات، وبالتالي نحصل على حبيبات ضخمة ويسمى الفولاذ (غليظ الحبيبات) أما إذا كانت سرعة التبريد كبيرة فيتشكل عدد كبير من البلورات؛ وبالتالي تكون الحبيبات ناعمة صغيرة الحجم.

ولحجم الحبيبات تأثير كبير على الخواص الميكانيكية للفولاذ وكقاعدة عامة فإن حجم الحبيبات الكبير يسيء لخواص الفولاذ ويجعله قليل القابلية للتشكيل.

أهم الخواص الميكانيكية للفولاذ:

لا بد أن نشير إلى الخواص الميكانيكية للفولاذ التي يجب على كل متعامل مع الفولاذ معرفتها وذلك باختصار شديد وأهمها:

١. متانة الشد: هي قوة الشد التي يتحطم المعدن عند تطبيقها على عينة قياسية (وتعبر عن مقاومة المعدن لأحمال الشد) وتقاس ($N/mm^2, Kg/mm^2, MPa$).

٢. متانة الخضوع: هي القوة التي تبدأ عندها عينة المعدن القياسية بالاستطالة، وتقاس ($N/mm^2, Kg/mm^2, MPa$).

٣. متانة الصدم: هي القوة التي تسبب تحطم عينة قياسية من المعدن عند صدمها بسرعة معينة (تعبر عن مقاومة المعدن للكسر بتأثير أحمال الصدم) تقاس بالجول أو كغ.م

٤. الاستطالة النسبية : هي أقصى استطالة يمكن الحصول عليها بشد عينة قياسية حتى التحطم (تعبر عن لدونة المعدن وقابليته للتشكيل) وتقاس بالنسبة المئوية لزيادة الطول. (%).

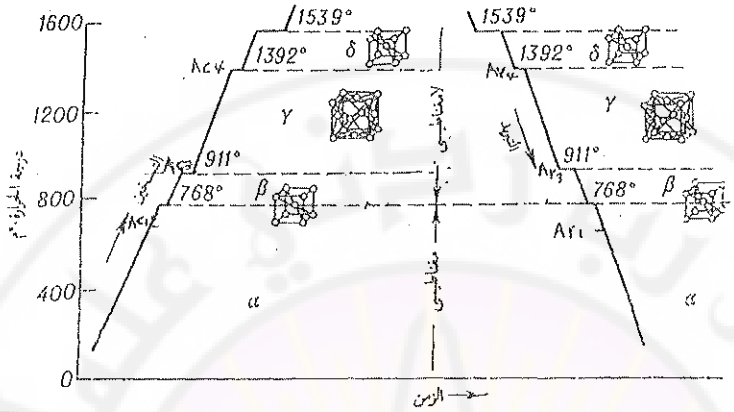
٥. القساوة: هي مقاومة المعدن للخدش أو انغراس الأجسام الأخرى فيه (تعبر عن مقاومة المعدن للتآكل)، وتقاس بالعديد من الواحدات (برنيل HB، فيكرز HV، روكريل بي HRB، روكويل سي HRC)

١ – ٢ –٣ –٣– التحولات التي تطرأ على الفولاذ في أثناء التسخين والتبريد:

إن هذا الموضوع واسع ويحاجة لمستوى كاف من المعرفة في علم المعادن وقراءة المخططات، وقد ورد في المقررات السابقة هذا الموضوع بشكل مفصل؛ ولكن لأهميته سنبسط ونختصر بقدر الإمكان لفهم آلية التحولات والتأثيرات التي تطرأ على الفولاذ عند التسخين والتبريد لكل صنف من الفولاذ ومن ثم المعالجات الحرارية الممكنة.

تأخذ البلورات في مجال درجات الحرارة (1392÷1539 C°) شكلاً يدعى دلتا (δ) وفي المجال (911÷1392C°) تأخذ شكل غاما (γ) وتحت الدرجة (911C°) تأخذ الشكل (β) وباستمرار التبريد

تحافظ البلورات على هذا الشكل مع انكماش في أبعاد البلورات ويسمى هذا الحديد حديد ألفا (α)، تختلف الأشكال البلورية السابقة عن بعضها بعضاً في الأبعاد وتوزع ذرات الحديد والفحم داخلها (كما يظهر في الشكل (١-٣) وكذلك قابليتها لإذابة الكربون.



الشكل (١-٣) التغيرات التي تطرأ على بلورات الحديد النقي في أثناء التسخين والتبريد

تسمى درجات الحرارة التي تحدث عندها هذه التحولات بدرجات الحرارة الحرجة للتحول وهي للحديد النقي:

وتسمى النقاط السابقة A_1، A_3، A_4 بالنقاط الحرجة للتحول، ونضيف إليها نقطة مهمة هي نقطة التحول المغناطيسية وعندها تظهر الخواص المغناطيسية للحديد في أثناء التبريد وتختفي في أثناء التسخين، وتقع هذه النقطة عند الدرجة (٧٦٠)م

عند التسخين	وعند التبريد هي نفسها ولكن نستبدل الحرف c ب-- r
$AC_1 = 727C^\circ$	$Ar_1 = 727C^\circ$
$AC_3 = 911C^\circ$	$Ar_3 = 911C^\circ$
$AC_4 = 1392C^\circ$	$Ar_4 = 1392C^\circ$

إن التحولات السابقة هي للحديد النقي، فما هي التحولات التي تطرأ على الفولاذ ؟

الفولاذ كما أصبحنا نعلم هو خليط من الحديد والكربون وبعض المواد الشائبة، ولذلك فإن التغيرات التي تطرأ على بللورات الحديد المكونة للفولاذ هي التي تنتج التغيرات التي تطرأ على هذا الفولاذ، ونعلم أيضاً أن نسبة الكربون تتغير في الفولاذ حتى تصل إلى 2%، وتؤثر هذه النسبة على درجات التحول الحرجة A_1، A_3، A_4 وكذلك بنية خليط الحديد والفحم والتي تسمى طور.

يوضح (الشكل المبسط ١-٤) التحولات التي تطرأ على الفولاذ في أثناء التبريد أو التسخين (في حدود المعالجة الحرارية).

يبين الخط الأفقي نسبة الكربون في الفولاذ ويمثل الخط الشاقولي درجات الحرارة. نلاحظ عند نسبة الكربون 0 أي حديد نقي أن درجات الحرارة الحرجة $AC_1 = 727\ C^o$ عند النقطة P، و $AC_3 = 911C^o$ عند النقطة G والنقطة AC_4 غير موضحة لأنها أعلى من مجال المعالجات الحرارية.

كلما ازدادت نسبة الكربون تنخفض درجة التحول الحرجة AC_3 حتى نصل للنسبة ٠,٨% كربون، ويمثل ذلك الخط GS أي أنه يمثل درجات الحرارة الحرجة AC_3 لنسب مختلفة من الكربون (٠,٨-٠) %، ثم تعود درجة الحرارة للارتفاع بعد النسبة 0.8%C وهذا يمثله الخط SE ولكن لا تسمى درجات الحرارة الحرجة الواقعة عليه AC_3 بل ACm وهذا متفق عليه عالمياً، النتيجة أن الخط GSE يمثل درجات الحرارة الحرجة للتحول من طور إلى آخر، الطور فوق الخط GSE له بنية متجانسة ويسمى طور الأوستينيت وهو ليس سائلاً بل جامداً ولكن البلورات تكون في هذه الحرارة العالية محلولة ضمن هذا الطور، وبالتبريد تحت الخط GSE يحدث تحول طوري ويبدأ التبلور. إذا كانت نسبة الكربون أقل من 0.8% يبدأ تشكل ما يسمى الفريت، وإذا كانت النسبة أعلى من 0.8% يبدأ تشكل ما يسمى السمنتيت وتنتهي هذه التحولات عند درجة الحرارة الحرجة $AC_1 = 727C^o$ والتي لها القيمة نفسها مهما كانت نسبة الكربون ويمثل ذلك الخط الأفقي PK تحت الخط PK يصل الفولاذ إلى البنية النهائية وهي حسب نسبة الكربون:

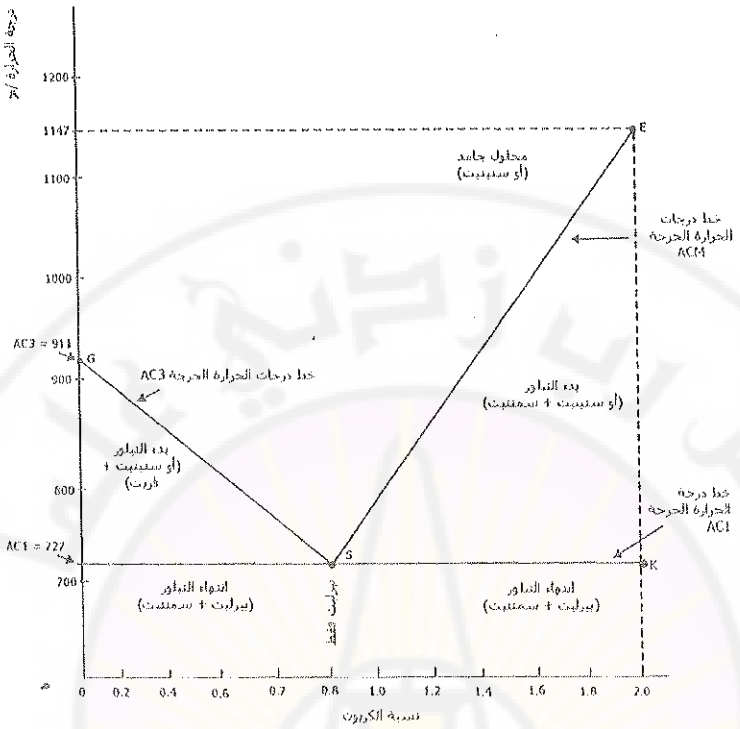
$0 \div 0.8\%C$	فريت + برليت
$0.8\%C$	برليت
$0.8 \div 2\%C$	برليت+ سمنتيت

ونستطيع معرفة خواص الفولاذ من الأشكال الثلاثة المذكورة سابقاً عبر معرفة خواص هذه البنيات حسب الجدول ١-١

جدول ١-١ خواص الفولاذ حسب البنية

	القساوة /برينيل	المتانة كغ/مم٢	الاستطالة النسبية	مقاومة الصدم كغ/م٢
الفريت	١٨٠-٨٠	٨٥-٣٠	% (٥٠-١٢)	٢٠
البيرليت	١٨٠	٨٥	% (١٢)	

أما السمنتيت فقساوته (٨٠٠-٧٠٠) برينيل ومتانته ومقاومته للصدم منخفضة، واستطالته النسبية شبه معدومة أي غير قابل للتشكيل. إذن يكون الفولاذ حتى 0.8%C قاسياً غير قابل للتشكيل إلا بحدود ضيقة وقليل المقاومة للصدمات، إذن بإمكاننا معرفة خواص الفولاذ من نسبة الكربون فيه.



الشكل ١-٤ التحولات التي تطرأ على الفولاذ في أثناء التسخين أو التبريد حسب نسبة الكربون

يفيدنا المخطط (الشكل ١-٤) في أمرين أولاً: معرفة درجات حرارة بدء وانتهاء التحول (الدرجات الحرجة للتحول) إذا عرفنا نسبة الكربون في الفولاذ، ويفيدنا هذا في المعالجات الحرارية لاختيار درجات حرارة التسخين المناسبة، وثانياً معرفة بنية الفولاذ النهائية حسب نسبة الكربون وبالتالي خواص هذا الفولاذ.

١ - ٢ -٣ -٤ - العناصر الداخلة في تركيب الفولاذ:

لمعرفة المزيد عن خواص الفولاذ المتوقعة حسب تركيبه لابد من معرفة تأثير العناصر الداخلة في تركيبه على هذه الخواص، ومن الجدير بالذكر أن من هذه العناصر ما هو موجود دائماً في الفولاذ ولا يمكن التخلص منه نهائياً وهي:

العناصر الضارة الموجودة بشكل دائم في الفولاذ:

١. الكبريت (S) : يشكل مع الحديد مركباً سهل الانصهار ويسبب قابلية الكسر للفولاذ عند تسخينه للدرجة ($1000 \div 1100\ C^{\circ}$) ويقلل قابلية اللحام ومقاومة التآكل ويجب ألا تزيد نسبته عن ($0.035 \div 0.06\%$) ويضاف المنغنيز للحد من تأثير الكبريت.

١٠. النيتروجين (N) تحدثنا عن مضار الآزوت (النيتروجين) كعنصر موجود في الفولاذ ونضيف إليها أنه يسبب القصافة عند الحرارة الزرقاء (°C 350÷300) ولكنه يستخدم للمعالجة السطحية للفولاذ لأنه يشكل كربيدات قاسية متينة.

١١. النيوبيوم (Nb)+ الكولومبيوم (Cb) + التانتاليوم (Ta): هذه العناصر من الصعب أن تكون متفرقة وتوجد معاً وتستخدم لرفع المقاومة الكيميائية للفولاذ المقاوم للمواد الكيميائية ولرفع متانة الفولاذ الأوستينيتي في درجات الحرارة العالية ولذلك تستخدم لفولاذ المراجل، كما وترفع هذه العناصر مقاومة الزحف.

١٢. النيكل (Ni) : يستخدم لرفع مقاومة التثلم للفولاذ الإنشائي حتى في درجات الحرارة المنخفضة. أما بالنسبة للأنواع الأخرى فإنه يرفع الصلابة للفولاذ غير نافذ التقسية في درجات الحرارة العادية والدرجات التي تحت الصفر. كما ويخفض درجات التحول الحرجة للفولاذ ويقاوم للصدأ خاصة مع الكروم. ويرفع متانة الفولاذ الأوستينيتي في درجات الحرارة فوق (°C 600) . ووجوده بنسب عالية يقلل التمدد الحراري.

١٣. الرصاص (Pb): عند إضافته للفولاذ السهل القطع بكمية (0.5%÷0.2) فإنه يساعد في الحصول على سطوح نظيفة لماعة عند استخدام الآلات القاطعة ويكون الرايش قصير فهو إذن يحسن قابلية التشغيل.

١٤. الكبريت (S) : عنصر ضار كما ذكرنا سابقاً ولكنه يضاف بنسبة حتى (0.4%) للفولاذ المشغل على الآلات الأتوماتيكية لأنه يقلل الاحتكاك مع أداة القطع مما يزيد من عمرها ويساعد في تشكيل رايش قصير.

١٥. السيلينيوم (Se) : يضاف للفولاذ السهل القطع ليؤدي نفس دور الكبريت ولكنه يقلل مقاومة التآكل أكثر من الكبريت.

١٦. السليسليوم (Si) عنصر دائم الوجود في الفولاذ ويضاف لزيادة مقاومة التآكل بالاحتكاك. وهو مرجع جيد ويزيد مرونة الفولاذ كثيراً؛ لذلك يستخدم لفولاذ النوابض كما يرفع المقاومة للحموض، لكن وجوده بنسب عالية يقلل قابلية التشكيل بالتطريق وبنسب أكثر من (12%) يعطي قساوة عالية وقصافة مرتفعة تؤدي إلى عدم إمكانية تشكيل وتشغيل الفولاذ إلا بالجلخ.

١٧. التيتانيوم (Ti) مرجع قوي وشره التفاعل مع الأكسجين، الآزوت، الكبريت والكربون. ويستخدم أيضاً كمنعم للحبيبات (عنصر تعديل) ويزيد مقاومة تحطم الزحف حيث يشكل نتريدات قاسية.

١٨. الفاناديوم (V) ينعم بنية الفولاذ الحبيبية (عنصر تعديل)، ويشكل الكربيدات التي تتميز بقساوة عالية وبالتالي يزيد مقاومة التآكل بالاحتكاك. كما يعطي أفضل متانة في درجات الحرارة العالية.

ويستخدم لأصناف الفولاذ (فولاذ القطع السريع HSS- فولاذ التشكيل على الساخن - الفولاذ المقاوم للزحف) ويقلل من الحساسية للتسخين المفرط في أثناء المراجعة، ويزيد مقاومة الهيدروجين المضغوط. كما أنه يعزز قابلية اللحام للفولاذ المعالج حرارياً، ويقسى الفولاذ المحتوي على الفاناديوم بالهواء.

١٩. الفولفرام + التنغستين (W): يشكل الفولفرام كربيدات قاسية جداً ويحسن الصلابة ويمنع نمو الحبيبات. أما التنغستين فيزيد المتانة، في درجات الحرارة العالية ويزيد مقاومة التآكل في درجة الحرارة الحمراء وفاعلية أدوات القطع في هذه الدرجة. ولذلك يستخدم في الفولاذ السريع القطع HSS، وفولاذ أدوات التشكيل على الساخن، والفولاذ المقاوم للزحف، والفولاذ الشديد القساوة كما أنه يقاوم التقشر.

٢٠. الزركونيوم (Zr) مشكل للكربيدات القاسية، ويضاف للتخلص من الأوكسجين والآزوت والكبريت. إذ يستخدم للتخلص التام من الأوكسجين في الفولاذ السهل القطع، وفولاذ المحامل (الرولمانات) ويمنع القصافة في الدرجة الحمراء. والزركونيوم يزيد عمر الموصلات الحرارية.

الآن إذا عرفت ماركة فولاذ ما، أصبح من السهل معرفة تركيبه، فهو إما أن يكون مذكوراً إلى جانب الرمز أو أرجع إلى جداول التصنيف الآنفة الذكر، وحسب العناصر الداخلة في تركيبه ونسبها أستطيع تكوين فكرة جيدة عن جودة هذا الفولاذ ومجال استخدامه المناسب وقابليته للتشكيل والتشغيل والمعالجة الحرارية.

١ - ٢ - ٣ - ٥ - العيوب الموجودة في الفولاذ والتي تصحح بالمعالجة الحرارية :

١. الحبيبات الكبيرة الحجم:

عند تسخين الفولاذ إلى مجال التحول الأوستينيتي فإن الحبيبات تبدأ بالنمو، وكلما زادت درجة الحرارة وزمن الإبقاء في مجال التحول الأوستينيتي كلما زاد حجم الحبيبات، ونحصل بعد التبريد على الفولاذ كبير الحبيبات ولكن هذا يسيء إلى خواص الفولاذ حيث تقل متانة الخضوع ومتانة الشد والاستطالة النسبية وتقل متانة الصدم بشكل حاد، بالإضافة إلى أن الفولاذ الكبير الحبيبات قليل القابلية للتشكيل على البارد (درفلة، سحب، بلص.....الخ).

٢. عدم التجانس البلوري

يجعل خواص الفولاذ غير متساوية في كل أجزاء الفولاذي مما ينتج خواصاً غير متوقعة ونقاط ضعف في مناطق غير معروفة وهذا خطير.

٣. الإجهادات الداخلية

قد يكون منشأ الإجهادات الداخلية حرارياً، أي بسبب عدم التجانس الحراري في أثناء التبريد، كما أن هذا يحدث أحياناً بسبب اللحام، وقد يكون منشأ الإجهادات ميكانيكياً بسبب عمليات التصنيع الجارية على الأجزاء الفولاذية، مما يجعل هذه الأجزاء في حالة تحميل دائم ويؤدي إلى تشوهات في الشكل وتشققات وخاصة في الأجزاء المتغيرة المقطع بشدة.

٤. التشوه البلوري بسبب التشكيل على البارد

في أثناء التشكيل على البارد (طرق، درفة، سحب،.....الخ) البللورات في اتجاه معين، وتتحطم، وبعد مقدار معين من التشكيل على البارد يفقد المعدن لدونته ويصبح قاسياً غير قابل لمزيد من التشكيل وهذا ما نلاحظه في أثناء البلص لصفيحة معدنية، فعند البدء يحدث البلص بشكل عادي ونلاحظ على مقياس ضغط المكبس أن قوة البلص تبدأ قليلة ثم ترتفع لدرجة معينة ثم ترتفع بشدة، وقد تظهر تجعيدات على معدن الصفيحة وسبب ذلك أن البللورات كلما انزاحت عن بعضها فإن قوى الترابط تقاوم الانزياح حتى تصل إلى درجة لا يعود لديها مجال للانزياح، وإذا بالغنا في زيادة قوة التشكيل يتحطم المعدن وفي حالة الصفيحة التي ذكرناها كمثال فإنها تتشقق، ويمكن حل هذه المشكلة بالمعالجة الحرارية.

٥. القساوة الزائدة

قد توجد أحياناً قساوة غير مرغوب فيها سببها ظرف الحصول على المادة الخام الفولاذية، وهذا ما يجعل تشغيلها على آلات التشغيل صعباً ويمكن للمعالجة الحرارية التغلب على هذه المشكلة.

الفصل الثاني

الترميز القياسي لاختيار المعادن

٢-١- مقدمة:

تنتج المواد الصناعية عالمياً ضمن مواصفات ومعطيات محددة حيث يتم التعبير على هذه المواصفات والمعطيات للمواد المصنعة برموز تساعد على التعبير والتفاهم بين المنتج والتاجر والمستهلك. وسنحاول في هذا الفصل التعرف على الترميز القياسي لاختيار المعادن الحديدية واللاحديدية والمستخدمة بشكل كبير في جميع المجالات الصناعية.

٢-٢- الترميز القياسي لاختيار المعادن الحديدية

لقد تم في المواصفة الألمانية (Din17006) تحديد التسميات الرمزية لمواد التصنيع من الحديد والفولاذ التي يمكن بواسطتها التعبير عن مواصفات مواد التصنيع الحديدية من حيث نوع التصنيع والتركيب الكيميائي وحالة المعالجة الحرارية والخواص. وتستخدم لهذا الغرض أرقام وحروف أبجدية يتحدد معناها من موضعها وترتيب ورودها في التسمية الرمزية لمادة التصنيع. وتتكون التسمية الرمزية الكاملة لمادة ما في قسم التصنيع وقسم التركيب وقسم المعالجة. إلا أنه يكفي للتعبير عن مادة التصنيع في معظم الأحوال استخدام قسم التركيب فقط، الذي يجب أن يكون موجوداً في كل حالة. ويمكن أن نكتب بيانات عن نوع التصنيع قبله وأن نكتب بعده ما يدل على نوع المعالجة له.

٢-٢-١- المعطيات في قسم التحضير:

يعبر قسم التحضير عن هذه المعادن بحروف أبجدية تدل على نوع الصهر للمنتج مثال ذلك: B= فولاذ بسمر، T= فولاذ توماس، E= فولاذ كهربائي

وبالإضافة إلى ذلك يمكن ذكر بيانات عن الخواص الخاصة لمادة التصنيع مثال على ذلك: S = قابل للحام بالصهر. R = مصبوب تخميد، A = صامد للتعتق، وتعطى حروف أخرى نوع المصبوبات مثال ذلك: GG = حديد زهر، GS = فولاذ صب، GT = فولاذ طروق، GGG = حديدزهر ذو الغرافيت الكروي وله خواص شبيهة بخواص الفولاذ.

٢-٢-٢- المعطيات في قسم التركيب:

يعطى هنا مواصفات تركيب للمعدن وخواصه الميكانيكية ودرجة الجودة لأنواع المعدن وخاصة الفولاذ تميز المواد الإضافية برموزها الكيميائية، فإذا تعددت هذه المواد في الفولاذ، تكتب رموزها بالترتيب التنازلي لنسب وجودها وتبدأ التسميات الرمزية لأنواع فولاذ الإنشاءات العام بالرمز (St- فولاذ) تليها بيانات عن

مقاومة الشد للفولاذ المذكور، وتبدأ التسمية الرمزية لأنواع الفولاذ اللاسبائكي والتي يجب معالجتها حرارياً بالحروف (C- الكربون)، يليه الحرف K في أنواع الفولاذ ذات درجة عالية من النقاء (CK)، ولا تكتب هذه الحروف في حالة الفولاذ السبائكي (الخلائطي) ولتمييز أنواع الفولاذ السبائكي عالي نسب الخلط يكتب الحرف (x) قبل قسم التركيب أي في بداية الرمز وفي أنواع فولاذ الإنشاءات العام يعطى الرقم المكتوب بعد الرمز (St) القيمة الصغرى لمقاومة الشد لهذا الفولاذ مقدرة بالكيلوغرام/مم٢، ومثال على ذلك تعني التسمية الرمزية St-42- فولاذ إنشاءات بمقاومة شد قدرها ٤٢ كغ/مم٢ على الأقل.

يدل الرقم الأول في التسمية الرمزية لأنواع الفولاذ اللاسبائكي والمخصصة لنوع معين من المعالجة الحرارية وكذلك أنواع الفولاذ السبائكي على نسبة الكربون فيها، مثال ذلك (C45) أو (34CrMo4) وتكتب الأرقام التعريفية للنسب المئوية للإضافات السبائكية مجتمعة خلف رموزها الكيميائية، وذلك بنفس الترتيب الذي تكتب به الرموز نفسها، على أن تترك مسافات بين الأرقام التعريفية في حالة تعددها. ولكي تكون التسمية الرمزية قصيرة بقدر الإمكان، تعطى غالباً الأرقام التعريفية لمادة أو مادتين سبيكتين فقط.

ولكي تكون الأرقام التعريفية للنسب المئوية للإضافات السبائكية أعداد صحيحة فقط، تضرب النسب الوزنية لها في (4 أو 10 أو 100) حسب جدول رقم (٢-١)، وللحصول على النسب المئوية الحقيقية للإضافات السبائكية من البيانات الواردة في رمز السبيكة مرة أخرى، يقسم الرقم التعريفي على (4 أو 10 أو 100). مثال على ذلك يحتوي الفولاذ 15Cr3 على (0.15/100 = 0.15% كربون، 3/4= 75% كروم.

جدول رقم (٢-١) مضروبات الإضافات السبائكية

4	10	100
كروم Cr	ألمنيوم Al	كربون C
كوبالت Co	نحاس Cu	فوسفور P
منغنيز Mn	موليبدنم Mo	كبريت S
نيكل Ni	تانتالوم Ta	آزوت N
سليكون Si	تيتانيوم Ti	
تنجستين W	فناديوم V	

وتعتبر أنواع الفولاذ التي تحتوي على أكثر من 5% من الإضافات السبائكية، سبيكة متوسطة أو عالية الخلط ولترميزها يضاف الحرف X إلى قسم التركيب. بعد ذلك تعني الأرقام الموجودة في التسمية الرمزية

النسبة المئوية الحقيقية للإضافات السبائكية، ما عدا الكربون التي تعطى نسبته المئوية مضروبة في 100 وبهذا يحتوي الفولاذ (X5CrNiMo1812 على 5/100 = 0.05% كربون و 18 % كروم و12% نيكل ونسبته غير معطاة من الموليبدنم طبقاً لنشرة الحديد والفولاذ رقم (63-320) تمثل الرموز الكيميائية للإضافات السبائكية في حالة أنواع فولاذ السرعات العالية، وتكتب النسب الوزنية للإضافات السبائكية خلف الحرف (S- فولاذ السرعات العالية) مفصولة عن بعضها بشرطة وصل، بالترتيب التالي: التنجستين -- الموليبدنم- الفناديوم- ثم الكوبالت في حالة وجوده(.Sw-Mo-V-Co). ولا تعطى النسب المئوية للكربون والكروم في رمز السبيكة. وتبلغ نسبة الخير في أنواع فولاذ السرعات العالية من 3.8 ÷ 4.5% ويحتوي فولاذ السرعات العالية (S12-1-4-5) على الإضافات السبائكية التالية: 12% تنجستين، 1% موليبدنم، 4 % فاناديوم، 5% كوبالت، كما يحتوي الفولاذ (S18-0-1) على 18% تنجستين، صفر% موليبدنم، و 1% فاناديوم). وبالإضافة إلى ذلك يحتوي كلا النوعين على نحو 4% كروم.

في مواد المصبوبات مثل حديد الزهر والزهر الطروق وفولاذ الصب للاستخدامات العامة، تدل الأرقام المكتوبة خلف رمز المصبوب على القيمة الصغرى لمقاومة الشد ومقدرة بالكيلوغرام /مم٢. ويكون GG-25 هو رمز حديد الزهر بمقاومة شد صغرى 25 كغ/مم٢. (GS60) هو رمز فولاذ الصب بمقاومة شد صغرى 60 كغ/مم٢. وفي فولاذ الصب المقاوم للحرارة يعطى التركيب الكيميائي بعد رمز المصبوب، فيعني الرمز للمصبوب (GS-17CrMo55) فولاذ صب يحتوي 0.17 % كربون، 1.25% كروم، 0.5% موليبدنم.

٢-٢-٣- الرموز (المعطيات) في قسم المعالجة:

في قسم المعالجة الموجود ضمن رمز مادة التصنيع تستخدم حروف أبجدية للتعبير عن نوع المعالجة الحرارية: (E= تصليد غلافي، N= معادلة حرارية، V= تطبيع حراري) نوع التشكيل (K= تشكيل على البارد) أو حالة انجاز السطح في ألواح الصاج الدقيق (g= صقيل، m= معتم، r = خشن). ويوضح الجدول (2.2) على أمثلة مدلولات الحروف حسب موضعها. في التسمية الرمزية لمادة التصنيع.

ويعني الحرف W فولاذ عدة غير سبائكي. وتعني الأرقام المتعددة الحدود، المكتوبة بعد الحروف الأبجدية، على مقاومة الشد الناتجة عن المعالجة: فيعني الرقم 70 في الرمز (C35V70) أن متانة الشد الصغرى بعد التطبيع تبلغ 70 كغ/ مم٢.

تدل الأرقام الأحادية الحدود في رموز أنواع فولاذ العدة اللاسبائكي على درجة نقاء معينة. فتدل الرموز (3W,2W,1W) على فولاذ عدة برتب جودة أولى وثانية وثالثة على الترتيب، مع ملاحظة أن كلما صغرت رتبة الجودة كان الفولاذ أجود. وتميز أنواع فولاذ العدة للأغراض الخاصة بالرمز WS وتعطي رتب

الجودة على أساس نوع تحضير الفولاذ المقصود في المصنع. وتختلف أنواع الفولاذ عن بعضها باختلاف نسبة الفوسفور والكبريت فيها، وفي حساسيتها للتسخين الزائد عند التصليد.

والجدول (2-2) يوضح أمثلة على الترميز القياسي للمواد الحديدية والفولاذية لعدة أنواع من الفولاذ.

٢-٣- خواص واستخدامات الفولاذ:

يمكن تصنيف الأنواع العديدة للفولاذ المستخدمة في الصناعة والتكنولوجيا إلى مجموعتين رئيسيتين هما فولاذ الإنشاءات وفولاذ العدة. وتصنف هاتان المجموعتان بدورهما إلى فولاذ كربوني وفولاذ سبائكي كما ورد في الفصل الأول، وبشكل عام تحتوي أنواع الفولاذ اللاسبيكي (كربوني) على نسبة الكربون تتراوح من 0.06 ÷ 1.0 % كربون وكميات ضئيلة من المنغنيز، السيليكون، الفوسفور، والكبريت. والى جانب نفس نسبة الكربون تصل نسبة الإضافات السبائكية في أنواع الفولاذ السبائكي منخفض نسبة الخلط إلى 5% أما في أنواع الفولاذ السبائكي عالي نسب الخلط فتتراوح نسبة الكربون فيها من 0.03 إلى 2.2 % ونسبة الإضافات السبائكية من 5 إلى 45 % ولا يمكن في جميع الحالات وضع حد فاصل تماماً بين الأنواع المختلفة للفولاذ.

جدول (٢-٢) أمثلة للترميز القياسي للمواد الحديدية والفولاذية

الرمز	التسمية وتوضيح الرمز
أنواع الفولاذ اللاسبائكي (الكربوني)	
St37	فولاذ إنشاءات عام، مقاومته الصغرى 37 كغ/مم٢ -،
MuSt50-2	فولاذ سيمنز- مارتن مصبوب دون تخمير مقاومته الصغرى 50 كغ/مم٢ برتبة الجود 2
C15E	فولاذ تصليد غلافي يحتوي على 0.15 % كربون مصلد غلافياً
C35V70	فولاذ تطبيع يحتوي على 0.35 % كربون مطبع الى مقاومة شد /70 مم٢
CK45N	فولاذ تطبيع يحتوي على 0.45 % كربون به قليل من الفوسفور والكبريت، معادل حرارياً
C110W1	فولاذ عدة يحتوي 1.1 % كربون رتبة الجودة 1
أنواع الفولاذ السبائكي منخفض نسبة الخلط	
42CrMo4V120	فولاذ تطبيع يحتوي على 0.42 % كربون و 1% كروم، ونسبة غير معطاة من المولبيدن تطبع إلى مقاومة شد قدرها 120 كغ/مم٢

الرمز	التسمية وتوضيح الرمز
65Si7K180	فولاذ نوابض، يحتوي على 0.65% كربون، 1.75 % سيليكون مصلد بالتشكيل على البارد إلى مقاومة شد صغرى 180 كغ/مم٢
105MnCr4	فولاذ عدة يحتوي على 1.05 % كربون و1% منغنيز ونسبة غير معطاة من الكروم.
أنواع الفولاذ السبائكي عالي نسبة الخلط	
X10CrNi188	فولاذ لا يصدأ يحتوي على 0.1 % كربون و18 % كروم و8 % نيكل.
JX75WCrV184	فولاذ السرعات العالية مصهور في فرن الحث الكهربائي يحتوي على 0.75% كربون و18% تنجستين و4 % كروم ونسبة غير معطاة من الفاناديوم.
S10-4-2-10	فولاذ سرعات عالية يحتوي على 10 % تنجستين و4 % موليبدن و2 % فاناديوم و10 % كوبالت.
مواد المصبوبات	
GG-25	حديد زهر مصبوب مقاومة الشد 25 كغ/مم٢
GS-38	فولاذ صب مقاومته الصغرى للشد 38 كغ/مم٢ مع ضمان قابلية الثني
GS-22Mo4	فولاذ صب مقاوم للحرارة يحتوي على 0.22 % كربون و4 % موليبدن.

٢-٣-١- فولاذ الإنشاءات (الفولاذالكربوني):

يقصد بفولاذ الإنشاءات أنواع الفولاذ المستخدمة للأغراض الإنشائية أو لصناعة أجزاء الآلات بجميع أنواعها. وتبلغ نسبة فولاذ الإنشاءات أكثر من ٩٠% من مجموع الإنتاج العالمي للفولاذ.

أنواع فولاذ الإنشاءات العام يعطي بالمواصفة الألمانية، (DIN17100) عبارة عن أنواع من الفولاذ الكربوني (اللاسبائكي) حيث تؤدي مقاومة الشد لها الدور الحاسم في استخدامها، ومثال على ذلك (St50)، وتزداد مقاومة الشد بزيادة نسبة الكربون في الفولاذ، إلا أن ذلك يؤدي إلى انخفاض الانفعال (الاستطالة)، أي أن يصبح الفولاذ أكثر تقصفاً، وتتضاءل قابليته للتشكيل على البارد وعلى الساخن وللحام بالصهر وللتشغيل بالقطع.

للفولاذ (St34) بنسبة كربون 0.17 % مقاومة الشد تتراوح من 34 إلى 42 كغ/مم٢ وانفعال قدره 28% وفي مقابل ذلك فإن للفولاذ St70 بنسبة كربون 0,5 % مقاومة الشد تتراوح من 70 إلى 85 كغ/مم٢ وانفعالاً قدره 10 % فقط وتتوقف قابلية الاستخدام للفولاذ إلى جانب مقاومة الشد على نوع الصب (مثلاً مع التخمير) والخواص الخاصة، مثل القابلية للتشكيل على البارد وعلى الساخن أو القابلية الجيدة

للحام بالانصهار. لذا يتم توريد الفولاذ في ٣ رتب للجودة. وتخصص أنواع الفولاذ من الرتبة الأولى مثل (St42) للمتطلبات العامة. ولا تعطى رتبة الجودة في هذه الحالة. وتخصص أنواع الفولاذ من الرتبة الثانية (مثل St42-2) للمتطلبات الأعلى.

وتكون أنواع الفولاذ من الرتبة الثالثة (مثل St42-3) مصبوبة بتخميد خاص دائماً، ومخصصة للمتطلبات الخاصة. وبصفة عامة لا يحتاج الأمر لإجراء أية معالجة حرارية لأنواع الفولاذ الواردة في المواصفة الألمانية (DiN17100)، إلا أنه يتم في حالات خاصة إزالة الاجهادات أو معادلتها حرارياً.

ويتم توريد أنواع فولاذ الإنشاءات بحالة التشكيل على البارد أو الساخن أو كمطروقات، ويستخدم في الهندسة الميكانيكية لصناعة المحاور، الأعمدة، التروس .....الخ وفي الانشاءات البنائية كفولاذ الاسمنت المسلح وللجسور.

٢-٣-٢- فولاذ سهل القطع (الأوتوماتيك).

يتم تشغيل أنواع فولاذ سهل القطع غالباً على المخارط الآلية وتحتوي أنواع فولاذ سهل القطع على (0.07 إلى 0.12 %) كربون، و(0.18 إلى 0.4 %) سيليكون، وكما تضاف من (0.15 إلى 0.3 %) رصاص للحصول على تقصفية قطع جيدة وأسطح صقيلة. ويمكن التعرف على هذه الفصيلة من أنواع الفولاذ بالمواصفة الألمانية رقم (DIN1651).

وتقوم مصانع الفولاذ بتوريد فولاذ الأوتوماتيك على الساخن أو كفولاذ صقيل مبروم أو مربع أو سداسي أو مسطح.

٢-٣-٣- فولاذ التصليد الغلافي

تستخدم أنواع فولاذ التصليد الغلافي (DIN17210) في تجهيز المشغولات ذات الأسطح الصلدة المقاومة للتآكل الاحتكاكي وقلب (عاس) محافظ على المرونة، مثال على ذلك الأعمدة والتروس، وأجراء التحكم والتوجيه وغيرها من الأجزاء المعرضة للإجهاد بالتآكل الاحتكاكي، وتحصل المشغولات على أسطح صلبة بالتغليف أي بكربنة الطبقة السطحية ثم تصليدها. ولكي يبقى قلب القطعة عاساً، فانه لا يجوز أن تزيد نسبة الكربون في فولاذ التصليد الغلافي عن 0.2 % وتعتبر أنواع فولاذ التصليد الغلافي اللاسبائكية مثل Ck15,CK10 وكذلك جميع أنواع فولاذ التصليد الغلافي السبائكية مثل (15Cr3) أو (17CrNiM06) من الأنواع المكررة، التي تمتاز نسبياً عن أنواع الفولاذ الجيد مثل C10 و C15 بتجانس البنية وضآلة نسبة الكبريت والفوسفور. ويجب ألا تقل صلادة روكويل لأسطح المشغولات المصلدة غلافياً عن (HRC =50) وبإجراء معالجات حرارية خاصة، يمكن أن تبلغ متانة الشد لقلب المشغولة لأنواع فولاذ التصليد الغلافي اللاسبائكي من (42 الى 65) كغ/مم٢، ولأنواع فولاذ التصليد الغلافي السبائكي من (60 إلى 145) كغ/مم٢.

٢-٣-٤- فولاذ التطبيع:

أي الفولاذ المصلد والمتبوع بمراجعة بدرجة حرارة من (500 ÷700) م٥ ويمكن التعرف على هذه الأنواع بالمواصفة الألمانية (DIN17200). حيث تتمتع هذه الأنواع من الفولاذ على مقاومة عالية للشد ومقاومة عالية للصدم. وتصلح هذه الأنواع من الفولاذ للأجزاء المعرضة لإجهادات صدمية ودفعية مثل أعمدة المرافق والأعمدة اللامركزية وأعمدة المحاور للمركبات.....الخ. وتتراوح نسبة الكربون في أنواع فولاذ التطبيع من (0.2) إلى (0.6)% ومن أمثلة فولاذ التطبيع : C22، CK60، 42CrM04 وتتوقف خواص المتانة لأنواع فولاذ التطبيع على التركيب الكيميائي وحالة المعالجة الحرارية لها (G= تليدين ليين، N = معادلة V = تطبيع) وكذلك على درجة حرارة المراجعة ومساحة المقطع للمشغولات.

عند طلب توريد فولاذ التطبيع فإنه يجب كتابة الرقم الدال على حالة المعالجة الحرارية، التي يجب أن يورّد الفولاذ بها. مثال ذلك: (C45G، 34Cr4N، 30CrNiM08v) بارتفاع درجة حرارة المراجعة تقل مقاومة الشد، إلا أن الانفعال يرتفع. فإذا روجع الفولاذ 34CrNimo6v إلى $500^{\circ}C$ تكون مقاومة 140كغ/مم٢ والانفعال 9% وإذا روجع إلى $600^{\circ}C$ تكون مقاومة الشد 95 كغ/مم٢ والانفعال 16% ونظراً إلى أنواع الفولاذ اللاسبائكي لا تتصلد حتى القلب، تصل مقاومة الشد للمشغولات المصنوعة من C35V ذات أقطار أكبر من 40 مم٢ إلى 65 كغ/مم٢ إلا أنها تصل في المشغولات ذات أقطار أقل من 16مم الى 80 كغ/مم٢.

٢-٣-٥- فولاذ النتردة:

نحصل على المشغولات المصنوعة من أنواع فولاذ النتردة بالمواصفة رقم (DiN17211) على صلادة (قساوة) سطحية عالية بإضافة آزوت أو نتروجين إلى أسطحها وتخلط هذه الأنواع بالكروم والألمنيوم والموليبدنم مثال ذلك: (31CrM012) أو (34CrALNi7) وتستخدم أنواع فولاذ النتردة في أعمدة التجليخ السريعة ومحددات أجهزة القياس الدقيق.....الخ. وتطبع أنواع فولاذ النتردة قبل نتردها لرفع متانة قلب المشغولة. وتصل قيمة القساوة السطحية لفولاذ النتردة (HRC= 67)

٢-٣-٦- فولاذ النوابض:

يمكن التعرف عليها بالمواصفة رقم (DIN17220 – 17225) ويجب أن تكون هذه الأنواع مرنة ومقاومة للكلال، وذات مقاومة عالية للشد. ولا تتوقف هذه الخواص على تركيب الفولاذ فقط، وإنما يمكن أيضاً تغييرها بصورة محدودة بواسطة المعالجة الحرارية والتشكيل على البارد للأغراض العامة وفي الصناعات الهندسية الميكانيكية.

تستخدم أنواع فولاذ النوابض السبائكي واللاسبائكي مثل: C67، 55Si7، 58CrV4. وتكون أنواع فولاذ النوابض المقاومة للحرارة المستخدمة في صناعة الصمامات لمحركات الاحتراق، سبائكية دائماً مثل

30WCrV197 وتحتفظ هذه الأنواع بخواص المتانة الجيدة لها حتى درجة الحرارة 500°C ويمكن أن تبلغ مقاومة الشد للأسلاك المصنوعة من أنواع فولاذ النوابض غير القابل للصدأ (X12CrNi177 و X5CrNiMol810 وبأقطار أقل من 0.5\مم، بالسحب على البارد دون تصليد أو مراجعة، إلى 190 كغ/مم٢. وتقسم أسلاك النوابض المستديرة المقطع طبقاً للمواصفة الألمانية (DiN2076) إلى رتب دقة المقاسات A و B وC حيث يكون الانحراف السماحي عن القطر الاسمي لأسلاك الرتبة A أكبر ما يمكن ولأسلاك الرتبة C أصغر ما يمكن.

٢-٣-٧- الفولاذ الخاص:

تستخدم أنواع الفولاذ المقاوم لدرجات الحرارة العالية كما في المراحل البخارية وأجهزة تحميص البخار وريش التوربينات البخارية والغازية وكذلك صمامات محركات الاحتراق الداخلي، لاحتفاظها بخواص المتانة حتى (600C^0) ومقاومتها لتكون قشوراً أكسيدية حتى (800C^0).

أنواع الفولاذ المستخدمة لأنابيب الفولاذ الساخن مثل 14CrMo4، وذات قابلية للحام وفولاذ الصمامات على نسب الخلط (السبائكي) مثل (X45CrNiw1513) و (X45CrNiSi1910) المقاومين للتآكل الاحتكاكي والصامدة للتآكل الكيميائي في درجات الحرارة حتى (700C°) . أما أنواع الفولاذ عديم الصدأ مثل (X3CrNi1810 أو X10CrNiMoTi18)، فإنها لا تصدأ عند تعرضها للرطوبة الهواء والماء ومعظم الأحماض والقلويات، ولذا فإنها تستخدم في الأوعية والمستودعات وخطوط الأنابيب وأجزاء الآلات من جميع الأنواع في الصناعات الكيميائية، وصناعات الأغذية والحلويات.

أنواع الفولاذ عديم الصدأ صالحة للتشغيل بالقطع أو دون قطع، وللحام بالانصهار ويتميز الفولاذ (X8CrNi1221) بقابليته الجيدة للسحب العميق والتلميع، كما أنه غير قابل للمغنطة ويستخدم لصناعة أغلفة الساعات وأدوات المائدة الغذائية والزخرفة.

٢-٣-٨- ألواح الفولاذ (الصاج)

تنقسم ألواح الفولاذ إلى ألواح بالغة الدقة وألواح بيضاء وكذلك ألواح دقيقة ومتوسطة وسميكة وألواح المراحل وتصنع الألواح غالباً من أنواع فولاذ الإنشاءات العام. إلا أنها تصنع أيضاً من أنواع فولاذ التصليد الغلافي أو فولاذ التطبيع أو فولاذ عديم الصدأ وتصنع الألواح متناهية الدقة والألواح البيضاء التي تتضمنها المواصفة الألمانية DIN1616 من أنواع الفولاذ الكربوني (اللاسبائكي البنية بسماكة أقل من 0.5 مم. وتحوي رموز ألواح الصاج المتناهية الدقة بيانات عن نطاق الصلادة ومظهر السطح. ويميز نطاق القساوة (الصلادة) بالحروف A، B، C، D بحيث يدل الحرف A على أقل صلادة والحرف D على أكبر صلادة. أما مظهر السطح الخارجي فيعبر عنه بالرمز W1 للنخب الأول W2 للنخب الثاني و W3 للنخب البالغ الدقة مثال على ذلك: مظهر سطحي من النخب الأول W1 والصلادة B بالرمز: (B-W1) وتحتوي رموز

الألواح البيضاء بالإضافة إلى ما سبق بشأن الألواح متناهية الدقة، بيانات عن نوع التكسية وسمك الكسوة القصديرية فيعني الرمز (AF-24-W2) مثلاً لوحاً أبيض بنطاق صلادة (A) وكسوة قصديرية مجهزة بالصهر (قصدرة باللهب) قدرها 24 غ/مم٢ ومظهراً سطحياً من النخب الثاني.

تستخدم ألواح الصاج الدقيق المحددة في المواصفة (DiN1623) للتشكيل بالكبس (السحب العميق، النقش،.....الخ). والمتبوع بتهذيب سطحي مثل الطلاء أو الغلفنة). ولتنظيم هذه المتطلبات الخاصة فقد تمت معايرة ألواح الصاج بحسب رتبة الجودة ونوع السطح ومظهر السطح.

وتميز رتب الجودة حسب المواصفة كالآتي: St10 = جودة أساسية، St12 = جودة السحب، St13 = جودة السحب العميق، St14 = جودة السحب العميق الخاصة.

وتصنف أنواع السطوح إلى 01 = ألواح مخمدة في الصناديق دون إزالة قشور الأكسيد، 02 = ألواح مجهزة بمعادلة حرارية دون إزالة قشور الأكسيد، 0.3 = ألواح دون قشور أكسيدية، 40 = ألواح بأسطح محسنة، 0.5 = ألواح بأسطح ممتازة. أما مظهر السطح فيمكن أن يكون: g= صقيل، m = معتم، r= خشن. وبالإضافة إلى ذلك يعطى غالباً نوع الصهر ونوع الصب للفولاذ. أمثلة:

- Tst1001 = صاج دقيق من فولاذ توماس برتبة جودة أساسية وأكسدة السطح غير مزالة.
- Rst1304g = صاج دقيق من الفولاذ المصبوب بتخميد برتبة جودة السحب العميق وسطح ناعم محسن.
- Rst37-203 = صاج دقيق من الفولاذ المصبوب المخمد، مجموعة الجودة 02 ومقاومة الشد 37 كغ/مم٢ وأكسدة السطح مزالة.

٢-٣-٩- فولاذ العدة:

تستخدم أنواع فولاذ العدة لتشكيل مواد التصنيع الأخرى بالقطع أو دون قطع. ويميز فولاذ العدة طبقاً لتركيبه إلى لاسبائكي وسبائكي منخفض وعالي نسب الخلط. ويصنف فولاذ العدة بحسب نوع وسيط التقسية إلى مصلد بالماء أو بالزيت أو بالهواء وبحسب نوع الاستخدام (درجة حرارة التشغيل) إلى فولاذ تشغيل على الساخن وفولاذ تشغيل على البارد. وتتراوح نسبة الكربون في فولاذ العدة اللاسبائكي والسبائكي منخفض نسبة الخلط من 0.5 إلى 1.5 % كما يمكن أن تصل نسبة الكربون في فولاذ العدة السبائكي عالي نسبة الخلط إلى 2.2%. تقدم المواصفة الألمانية (DiN17006) تعاريف وتسميات لجميع أنواع فولاذ العدة.

٢-٣-١٠- فولاذ العدة اللاسبائكي (الفولاذ الكربوني)

تؤدي نسبة الكربون (0.5 ÷ 1.5 %) كربون الدور الحاسم في استخدامات أنواع فولاذ العدة اللاسبائكي.فترتفع صلادة (قساوة) الفولاذ بزيادة نسبة الكربون فيه. ويصلد فولاذ العدة اللاسبائكي عادة

في C^{o}(850 – 760) ، ويراجع بحسب الغرض من استخدامه إلى 200 ولغاية C^{o}300. فالفولاذ (C150W1) هو فولاذ عدة لا سبائكي والتابع للمواصفة الألمانية DiN17006 ويستخدم هذا الفولاذ في صناعة شفرات المناشير وعدد التوربينات، أما الفولاذ (C110W1) فيصلح لصناعة عدد التشغيل، بسبب قابليته الجيدة للتصليد. ويصلح الفولاذ C90W2 لصناعة عدد القص والكبس البسيطة، كما تصنع الأزاميل والمطارق من الفولاذ C75W3، والمقصات والبلط.....الخ. من الفولاذ (C55WS).

٢-٣-١١- فولاذ العدة السبائكي منخفض نسبة الخلط:

تصل النسبة الكلية للإضافات السبائكية لفولاذ العدة السبائكي منخفض نسب الخلط، وهي الكروم والتنغستين والنيكل والموليبدنم والفاناديوم إلى 5 % وتكون درجة حرارة التصليد لها من C^{o}(850 – 780) ودرجة حرارة التشكيل على الساخن (الحدادة) C^{o}(1100 – 900) إلا أنه يجب مراعاة تعليمات المعالجة الحرارية للشركات الصانعة لكل حالة. وتسمح هذه الأنواع باستخدام سرعات تشغيل بالقطع أكبر من نظائرها في أنواع فولاذ العدة اللاسبائكي وتحافظ على صلادتها وصمودها لقوة القطع حتى C^{o}400. وتصلح أنواع فولاذ العدة السبائكي منخفض نسبة الخلط لصناعة عدد القص والتخريم والاسطمبات، وقوالب الصب بالضغط والحقن والكبس وكذلك أجهزة القياس. يمتاز الفولاذ (105WCrmn64) بصموده لقوة القطع، ويستعمل لصناعة المثاقب وعدد قطع البراغي وعدد القص. ويصلح الفولاذ (145WV13) لصناعة عدد تشغيل التوربينات ذات الأسنان الدقيقة، ويمكن أن تصل قساوته مقدرة بوحدات روكويل (67=HRC).

٢-٣-١٢- فولاذ العدة السبائكي عالي نسب الخلط:

تدخل في نطاق أنواع فولاذ العدة السبائكي عالي نسب الخلط جميع أنواع فولاذ السرعات العالية للتشغيل بالقطع وأنواع فولاذ التشغيل على الساخن المستخدمة لقوالب التشكيل بالحدادة واسطمبات الكبس.

يسمح فولاذ السرعات العالية بسرعات قطع تفوق بكثير تلك المسموح بها في الفولاذ السبائكي منخفض نسب الخلط. كما تصل درجة حرارة التشغيل إلى C^{o}550 وتبلغ درجة حرارة التصليد C^{o}(1320 – 1180) ودرجة حرارة المراجعة C^{o}(950 – 530). وتتزايد صلادة الفولاذ نتيجة المراجعة إلى هذه الدرجات العالية. فمثلاً تبلغ صلادة روكويل للفولاذ X80WCoCr185 (رمزه طبقاً لنشرة الحديد والفولاذ (S18-1-2-5) بعد التصليد HRC = 63 ترتفع إلى (HRC = 66) بعد المراجعة إلى 750^{0} C. ويصلح هذا الفولاذ بصفة خاصة في أعمال التخشين بسرعات قطع عالية.

٢-٤- الترميز القياسي لاختبار المعادن اللاحديدية:

المعادن اللاحديدية ضرورية لتجهيز منتجات كثيرة في صناعات تشغيل المعادن، وهي تنقسم إلى معادن ثقيلة وأخرى خفيفة. والمعادن الثقيلة هي التي تزيد كثافتها عن 5 كغ/دسم٣، بينما تعد المعادن التي تصل كثافتها إلى 5 كغ/دسم٣ من المعادن الخفيفة وأهم المعادن الثقيلة النحاس، القصدير، الرصاص، النيكل، الكروم، التنجستين، الموليبدنم، الكوبالت، المنغنيز، الأنتمون. وكذلك المعادن الثمينة كالفضة والذهب والبلاتين. وأهم المعادن الخفيفة المستخدمة الألمنيوم والمغنسيوم والتيتانيوم والبريليوم.

في العيارية الألمانية للمعادن النقية DiN1700 تذكر درجة نقاء المعدن في أكثر الأحيان بعد رمزه الكيميائي فيعني الرمز Zn99,99 مثلاً الزنك النقي بنسبة ٩٩,٩٩% أما النحاس فيرمز لنسبة النقاء بحروف أبجدية من A إلى f، حيث يكون النحاس f-Cu أكثر نقاء من النحاس A-Cu. ويصنف النحاس الالكتروليتي (E-Cu) وفقاً للموصلية الكهربائية فقط، وتميز أنواع النحاس الخالية من الأوكسجين بإضافة الحرف S إلى رمز النحاس، مثال ذلك (Sf-Cu)، وهو نحاس خال من الأكسجين ودرجة نقائه ٩٩,٩٩% (في المائة). وتصنف سبائك المعادن اللاحديدية إلى سبائك صب وسبائك طروقة، فتكون لسبائك الصب الخواص المناسبة لأسلوب الصب في كل حالة، ولذا فإنها تصلح لتجهيز المصبوبات. وتسمح السبائك الطروقة بتشكيلها جيداً دون قطع، على الساخن وعلى البارد وتصنع منها القضبان والأسلاك وألواح الصاج والأنابيب .....الخ. ويتم ترميز سبائك المعادن اللاحديدية باسم المعدن ذي الأكبر نسبة فيها - المعدن الأساسي - ورمز إضافي يدل على نوع السبيكة، كسبيكة طروقة أو سبيكة صب، مثال على ذلك سبائك الألمنيوم المصبوبة وسبائك النيكل الطروقة، ووفقاً للمواصفات الحديثة تسمى سبائك النحاس باسم المعدن الأساسي مضافاً إليه اسم مادة أو مادتين داخلتين في السبيكة مثل سبيكة النحاس/ القصدير أو سبيكة النحاس/النيكل/الزنك. وعند كتابة رموز سبائك المعادن اللاحديدية وفقاً للمواصفة الألمانية DIN1700، تكتب أولاً الحروف الأبجدية المعبرة عن أسلوب التحضير ومجال الاستخدام وبعد شرطة فاصلة صغيرة تكتب بيانات تركيب السبيكة ويترك بعدها فراغ تليه الحروف والأرقام المعبرة عن الخواص المميزة وطرق المعالجة وتستخدم الحروف الأبجدية التالية للتعبير عن أسلوب التحضير ومجال الاستعمال:

- G= صب، -GK = الصب في قوالب دائمة.
- GC = الصب المستمر، -GD = صب بالضغط
- GZ = صب بالطرد المركزي
- Lg = سبيكة محامل (وفقاً للمواصفة DiN1703)
- L = سبيكة لحام قصدير ولحام مونة
- S = سبيكة لحام.

أما في حالة السبائك الطروقة فلا تذكر الحروف الأبجدية الخاصة بأسلوب التحضير ومجال الاستخدام. وفي قسم التركيب لمعظم سبائك المعادن اللاحديدية يرد أولاً الرمز الكيميائي للمعدن الأساسي دون تحديد النسبة المئوية، يلي ذلك الرموز الكيميائية للمكونات المعدنية السبائكية مع تحديد نسبها المئوية. فالرمز (G-ZnAl4Cu1) مثلاً يدل على سبيكة من الزنك النقي الذي يحتوي على 4 % ألمنيوم، و1 % نحاس، والباقي Zn أما نسبتا خلط المعدنين الثاني والثالث فيمكن إسقاطهما اختصاراً لطول الرمز كما هي الحال في (CuNi10Fe) أو في (NiFe16CuMo). كذلك يجري تطبيق هذه القاعـــدة في رموز النحاس الأصفر والبرونز وجميع سبائك النحاس الأخرى بحيث يصبح الرمز مفهوماً عالمياً. فرمز النحاس الأصفر مثلاً الذي يحتوي على 63 % نحاس و37 % من الزنك هـــو (CuZn37). ورمـــز البرونز الذي يحتوي على 92 % من النحاس و8 % من القصدير هو (CuSn8) ورمز الفضة الألمانية وهي خليط من 62 % من النحاس و18 % من النيكل و20% من الزنك هو (CuNI18Zn20).

ملاحظة: في المعادن اللاحديدية وسبائكها تذكر النسب المئوية لمكوناتها السبائكية بأعداد صـــحيحة. وإذا وجب تحديد مواصفات خاصة في الرمز، كذكر مقاومة الشد الصغرى مثلاً، أمكن حينئذ إضافتها في ختام الرمز. ففي السبيكة (CuAL8F50) تكون مقاومة الشد الصغرى 50\كغ/مم٢. وبدلاً من مقاومة الشد الصغرى يمكن أيضاً ذكر درجات الصلادة أو طرق المعالجة، مثل W = لين، H = صلد، P = مقولـــب بالكلبس، g = ملدّن، Wa= مصلدعلى الساخن، Ka = مصلد على البارد.

٢-٤-١- أمثلة للترميز القياسي لسبائك المعادن اللاحديدية الثقيلة:

أ) سبائك النحاس الطروقة حسب المواصفة DiN17660

١. CuZn40Pb21 سبيكة النحاس والزنك (النحاس الأصفر) وتحتوي على 58 % نحاس، 40 % زنك، 2 % رصاص. تتمتع بقابلية للتشكيل بالقطع بصورة جيدة.

٢. CuZn40 سبيكة نحاس زنك (النحاس الأصفر تحتوي علـــى 60 % نحـــاس، و40 % زنك، وتتمتع قابلية التشكيل على البارد والساخن.

٣. CuZn30F43 سبيكة نحاس- زنك تحتوي على 70 % نحاس، و30 % زنك، ومتانـــة الشد 43 كغ/مم٢.

ب) سبائك النحاس المصبوبة حسب المواصفة الألمانية (DiN1705):

١. - (G-CuZn35) سبيكة نحاس/زنك مصبوب (نحاس أصفر مصبوب) وتحتوي على 65 % نحاس و 35 % زنك.

٢. - (GD-CuZn39AL) سبيكة نحاس/زنك المصبوبة بالضغط وتحتوي على 60% نحاس و39% زنك و1 % ألمنيوم.

٣. - (G-CuSn12) سبيكة نحاس/قصدير (مصبوبة البرونز القصدير المصبوب)، وتحتوي على 88 % نحاس و 12 % قصدير وهي مقاومة للتآكل الاحتكاكي.

٤. - (G-CuPb15Sn10) سبيكة نحاس/ رصاص/ قصدير (البرونز الرصاصي القصديري المصبوب) ويحتوي على 75 % نحاس و15 % رصاص و 10 % قصدير.

ت) سبائك الزنك النقي المصبوبة حسب المواصفة (Din1743)

١. (G-ZnAL4Cu) سبيكة الزنك النقي المصبوبة تحتوي على 95 % زنك و4 % ألمنيوم و1 % نحاس وتستخدم للمحامل والتروس الدودية.

٢. (GD-ZnAL4) سبيكة الزنك النقي المصبوبة بالضغط وتحتوي على 96 % زنك و4 % ألمنيوم.

ث) د- سبائك النيكل الطروقة حسب المواصفة Din17742

١. (NiMo16Cr) سبيكة من النيكل/مولينيدن/كروم وتحتوي على 83 % نيكل و16 % موليبدنيوم و1 % كروم وهي صمودة للتآكل الكيميائي.

٢. (Nife16 Cu4Mo3) سبيكة نيكلية تحتوي على 77% نيكل و 16 % حديد و4 % نحاس و3 % موليبدنيوم وتستخدم لأجهزة القياس الكهربائية.

ج) سبائك اللحام اللين والصلد حسب المواصفة DiN1707

١. (L-PbSn25Sb) سبيكة اللحام اللين – الرصاص والقصدير وتحتوي على 74 % رصاص و25 % قصدير و1 % أنتيمون درجة حرارة الشغل (٢٥٧ مْ)

٢. (SCu) سبيكة نحاس للحام الصلد النحاسي الخالي من الأكسجين ويحتوي على 99.99 % نحاس، درجة حرارة التشغيل (١١٠٠مْ)

٢-٤-٢- المعادن الخفيفة:

١. الألمنيوم (AL): يصنف الألمنيوم وفق المواصفة Din1712 الى الألمنيوم النقي جداً (AL99.99) والنقي (AL99.9) أو (AL99.8- AL99.5.. AL98. ووفقاً للمواصفة (DiN788-1790) يمكن ذكر المتانة فمثلاً يدل الرمز AL98F18 على ألمنيوم نسبة نقاوته 98 % ومقاومة الشد 18 كغ/مم٢. والرمز AL99h على ألمنيوم نقاوته 99 % بصلادة السحب. يستخدم الألمنيوم في مجالات كثيرة بسبب وزنه الخفيف وسعره المعتدل ومقاومته العالية للتآكل الكيميائي وقابليته للتشكيل بطرق عديدة. ويستخدم الألمنيوم النقي جداً في تصنيع عاكسات الضوء والأجسام المضيئة وقطع غيار السيارات والصناعات الكيميائية والغذائية وغيرها.

٢. سبائك الألمنيوم: يخلط الألمنيوم بالدرجة الأولى مع المنغنيز والنحاس والسيليكون والزنك والرصاص والمغنيسيوم، سبائك الألمنيوم والنحاس ذات متانة عالية، إلا أنها أقل صمـوداً للتآكل الكيميائي من سبائك الألمنيوم الخالية من النحاس. الألمنيوم وسبائكه جيدة القابلية للتشكيل بالقطع ودون قطع. وكما يمكن تشغيله بسرعات قطع كبيرة.

يميز وفقاً للمواصفة DiN1725 بين سبائك الألمنيوم المصبوبة والطروقة. حيث يسرد في الرمز المختصر للسبيكة أولاً رمز المعدن الرئيسي تليه رموز المكونات السبائكية الأخرى الى الرمز المختصر. فتذكر النسب المئوية للمكونات السبائكية التي يؤدي وجودها دوراً هاماً في تحديد خواص معينة للسبيكة بعد الرمز الكيميائي لكل منها مباشرة. ويمكن وفقاً للمواصفتين DiN1788 -Din1790 إضافة البيانات الدالة على المتانة في نهاية الرمز المختصر للسبيكة. حيث يسبق رمز سبيكة الألمنيوم المصبوبة في قالب رملي بالحرف G، والمصبوبة في قالب معدني دائم GK والمصبوبة تحت الضغط بالحرفين (GD) ولبيان الصلادة في المشغولات تضاف للرموز الحروف التي تدل على نوعية الصلادة. مثال ذلك:

Wa ⇔ مصلد على الساخن، Ka ⇔ مصلد على البارد، Ta ⇔ على مصلد جزئياً.

٢-٤-٣- أمثلة على الترميز القياسي لاختيار المعادن اللاحديدية:

١. ALMg7F34 سبيكة طروقة من الألمنيوم/مغنسيوم تحتوي على 7 % مغنيسيوم و93 % ألمنيوم ومقاومة الشد 34 كغ/مم٢.

٢. ALMgSi1 سبيكة طروقة من الألمنيوم والمغنيسيوم والسيليكون ذات ١% سيليكون.

٣. ALCuSimn سبيكة من الألمنيوم والنحاس والسيليكون ذات اضافات من المنغنيز.

٤. G-ALSi10MgWa سبيكة مصبوبة في القوالب الرملية من الألمنيوم والسيليكون والمغنيسيوم ذات 10 % سيليكون و1 % منغنيز والباقي ألمنيوم مصلد بالتعتيق على الساخن.

٥. GK-ALSi5MgKa سبيكة مصبوبة في القوالب الدائمة من الألمنيوم والسيليكون والمغنيسيوم ذات 5 % سيليكون مصلدة على البارد.

ملاحظة: يتم ترميز المغنيسيوم والمعادن الخفيفة الأخرى بنفس الأسلوب المتبع لسبائك الألمنيوم.

الفصل الثالث

اختيار المواد

٣-١- مقدمة:

إن جميع المنشآت والأجهزة -كبرت أو صغرت المستخدمة في مجالات الحياة كافة يدخل في تركيبها وبنائها مادة أو عدة مواد مختلفة .ويخضع اختيار المادة المناسبة للمنشأة لعدة اعتبارات مهمة تسمى عناصر الاختيار وبتحقيقها أو التوفيق بينها تستطيع المنشأة أو الجهاز أداء الدور المطلوب على أحسن وجه، وعلى من يقوم بهذا العمل من فهم عميق لخواص المواد وعلى دراية ومعرفة بكل ما يتعلق بتصرفاتها تحت الظروف المختلفة مستنيراً بما يلي:

- استخدام المعلومات والبيانات في الكتب والمراجع العلمية الخاصة بعلم المواد وهندستها.
- إجراء بعض الاختبارات والفحوص المخبرية على عينات من المواد المراد استخدامها للتحقق من خواصها.
- استخدام المادة أو بعض المواد واستعمالها تحت ظروف عمل مشابهة لظروف خدمتها وتبيان كيفية تصرف هذه المادة تحت هذه الظروف ومن ثم الحكم عليها من واقع النتائج.

وعلى الرغم من توافر البيانات وكثرة المصادر عن المواد إلا أن عملية الاختيار ليست سهلة وليست عملية بسيطة نظراً لتداخل العديد من الخواص عند الاختيار، وكذلك لاختلاف ظروف التشغيل وارتباطه بالخواص المختلفة لهذه المواد، وتتداخل العوامل المختلفة للخواص من مقاومة ميكانيك ومقاومة تآكل وخواص حرارية وكهربائية وغيرها، ويصبح الأمر في النهاية قائماً على أساس الموازنة بين عامل وآخر حيث يجب اختيار الأنسب لكل غرض .ولابد هنا من أن نذكر بأن الخطأ في اتخاذ القرار الصحيح باختيار المادة المناسبة يمكن أن يسبب الكثير من المشكلات الخطيرة وأهمها:

- الكوارث التي تصاحب انهيار المادة حيث تؤدي إلى وفاة العشرات وإصابة الآلاف من الناس.
- خسائر مادية ناجمة عن الانهيارات
- تعطيل الإنتاج في فترة الاصلاح والصيانة
- توقف التقدم العلمي أحياناً

يتضح من ذلك الأهمية الكبرى في اتخاذ القرار الصحيح عند اختيار المادة المناسبة للهدف الذي تستخدم لأجله.

٣-٢- أسلوب اختيار المادة المناسبة

هناك العديد من الطرق المختلفة في كيفية اختيار المادة المناسبة لتوافق الغرض منها، وهناك شبه اتفاق بين جميع العاملين في هذا المجال والذين اكتسبوا خبرات واسعة على مر التجارب والزمن على أن يتم الاختيار من خلال الخطوات الرئيسية التالية:

١- تحليل المشكلة إلى عناصرها الأولية

٢- تقديم الحلول المختلفة لتلك المشكلة

٣- تقويم الحلول المختلفة المقترحة.

٤- اتخاذ القرار على ضوء تقويم الحلول المختلفة للمشكلة بتطبيق هذه الخطوات على عملية اختيار المادة المناسبة، وتصبح خطوات الاختيار بالصورة التالية:

- تحليل ظروف العمل التي ستتعرض لها المادة، وبناء عليه يتم تحديد نوعية الأوساط المختلطة بالمادة (غازات، أحماض، ...الخ) والأحمال المتوقعة (قيمة ونوعاً - إذا كانت شد -ضغط ، أو أحمالاً متكررة ...الخ) وظروف العمل (درجات الحرارة والأجواء المحيطة ..وغيرها).
- بناء على ما جاء في الخطوة السابقة يتم تحديد المادة المناسبة لتلك الظروف
- إعادة تقويم المواد المختارة بالنظر إلى العوامل المؤثرة الأخرى: التكلفة - توافر المادة في الشركة أو في السوق المحلي أوالصعوبات التي قد تنشأ عند استيرادها إضافة إلى إمكانية التشغيل أو التشكيل المناسب لتلك المواد.
- اتخاذ القرار النهائي باختيار أنسب مادة تلائم ظروف العمل ومتطلباته.

وبنتيجة الاستعراض السابق لظروف اختيار مادة لتطبيق معين حيث يقع على عاتق المهندس وضع توصيف واضح عن الظروف التي ستعمل فيها المادة والأجواء المحيطة بها، كما يجب أن يحدد ردود الأفعال المطلوبة من المادة تحت ظروف العمل أو ما قد يطرأ أو يستجد على ظروف العمل والتشغيل في المستقبل.

وكما يقع عليه مسؤولية مقارنة ردود الأفعال المطلوبة في ظروف العمل، مع خواص المواد المختلفة وبعدها يختار المهندس المادة أو المواد التي تتوافر فيها الشروط التالية :

١- أفضل مطابقة بين خواصها وردود الفعل المطلوبة في حقل العمل.

٢- أفضل المواد موائمة بين العوامل المختلفة المؤثرة عليها، ويساعد كثيراً على عملية الاختيار توافر التفكير الهندسي لدى الشخص القائم بهذا العمل، وكما تؤدي الخبرة دورا في غاية الأهمية في هذا المجال.

ويمكن تلخيص عملية الاختيار من خلال الشكلين (٣-١) و (٣-٢).

٣-٣- عوامل اختيار المادة:

إن اختيار مادة لغرض ما ليست عملية سهلة، ولكنها معقدة نظراً لأن الاختيار لا يتم بتأثير عامل واحد، ولكن هناك عدد كثير من العوامل التي تدخل في اختيار المادة، وأحياناً قد تتعارض العوامل التي يحدد على أساسها اختيار المادة الواحدة مع الأخرى، ولذلك يقوم الاختيار في النهاية على أساس التوازن بين العوامل المختلفة المؤثرة والوصول إلى حل مناسب لجميع العوامل.

يمكن إيجاز العوامل التي تتحكم في اختيار المادة المناسبة للجهاز أو المنشأة على النحو التالي:

١- ظروف العمل: الخواص الميكانيكية والكيميائية للمادة، وفي بعض الأحوال الخواص الكهربائية والحرارية وغيرها.

٢- متطلبات التشغيل: أي ظروف وخطوات العمل والتشغيل.

٣- الكمية المطلوبة من القطعة.

٤- تكلفة القطعة.

٥- توافر المادة ووجودها.

٦- خواص معينة أخرى مطلوب توافرها.

يوضح جدول (٣-١) أهم العوامل التي تدخل في اختيار المادة للأهداف المطلوبة.

- هناك علاقة رئيسية أو تداخل رئيسي بين اختيار المادة، وبين عمليات الإنتاج وكذلك مراحل التصميم، فاختيار المادة وكيفية إنتاجها لابد من النظر إليها في المراحل الأولية من التصميم.
- ويجب أن يكون كل من مهندس التصميم، ومهندس علم المواد على معرفة ودراية واسعتين بالغرض الذي ستستخدم من أجله المادة، ومصادر المادة وإمكانات تشكيلها، وكذلك تكلفة الوحدة، ولهذا ينصح دائماً أن تكون مسؤولية اختيار المواد لفريق عمل مكون من مهندس التصميم ومهندس علم المواد، ومهندس الإنتاج وكذلك ممثل عن قسم المشتريات.
- يمكن عند اختيار المادة لأي تطبيق أن نأخذ في البداية الخواص الميكانيكية المطلوبة لنقطة انطلاق وهي دلالة جيدة على مدى ملائمة المادة للغرض المطلوب من أجله، والظروف المحيطة بالعمل.

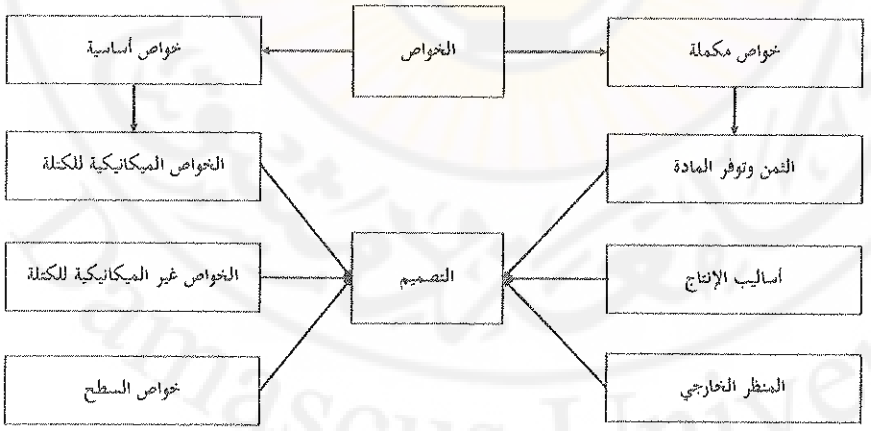
ظروف العمل:

- لكي يؤدي أي جزء من الآلة أو المنشأة الغرض المطلوب فيه بكفاءة، فلا بد من أن تتوافر فيه الخواص الميكانيكية من حيث المقاومة والمطيلية والصلابة، ومقاومة الصدمات والثبات، وإضافة

إلى تلك المواصفات العامة فلا بد من توافر بعض الشروط الخاصة مثل درجة التوصيل الكهربائي والخواص المغناطيسية أو معامل التوصيل الحراري، ومقاومة الزحف ومقاومة التعب، ومقاومة التآكل وقد ورد تفصيل هذه الخواص في السنوات الدراسية السابقة وخاصة في مقررات علم المواد.



شكل (٣-١) خطوات اختيار المادة المطلوبة لتطبيق معين



شكل (٣-٢) كيفية توزيع الخواص المختلفة في اختيار المادة المناسبة لتصميم معين

جدول (٣-١) أهم العوامل المؤثرة في اختيار المواد للتطبيقات المختلفة

الخاصية	نوع العمل
الثمن (التكلفة) مدى توافر المادة	عوامل اقتصادية
معامل المرونة إجهاد الخضوع -- مقاومة الشد الصلادة -مقاومة التعب مقاومة الزحف	خواص ميكانيكية
ثبات الأبعاد الخواص الحرارية + الضوئية الخواص الكهربائية والمغناطيسية	خواص فيزيائية وخواص الحجم
مقاومة الأكسدة والتآكل مقاومة الاحتكاك والحت	خواص كيميائية وخواص السطح
سهولة التصنيع والتشكيل والوصل بين الأجزاء وتشطيب السطوح	هندسة الإنتاج
الشكل الخارجي والملمس	خواص زخرفية

٣-٤- مخططات اختيار المواد:

الأداء الأدنى لمواصفات المواد :نحن بحاجة لطريقة لمراقبة المواصفات من أجل الإحساس بامتلاك قيم الأداء الأدنى من المواصفات . خاصية واحدة يمكن إظهارها كسلسلة في لائحة أو كعمود في جدول ولكن من النادر أن يكون أداء المكونات يعتمد فقط على خاصية واحدة فهو عادة مزيج من عدة مواصفات وهي تتعلق كما نعتقد بنسبة قوة الشد إلى الوزن النوعي $\sigma f / \rho$ أو نسبة العسو إلى الوزن النوعي E/ρ والتي تدخل في تصميم الوزن الخفيف وهذا يطرح فكرة رسم خاصية واحدة مقابل الأخرى . رسم المجالات الرئيسية يتم لكل صنف من المواد والمجالات الفرعية يتم لكل مادة على حدة.

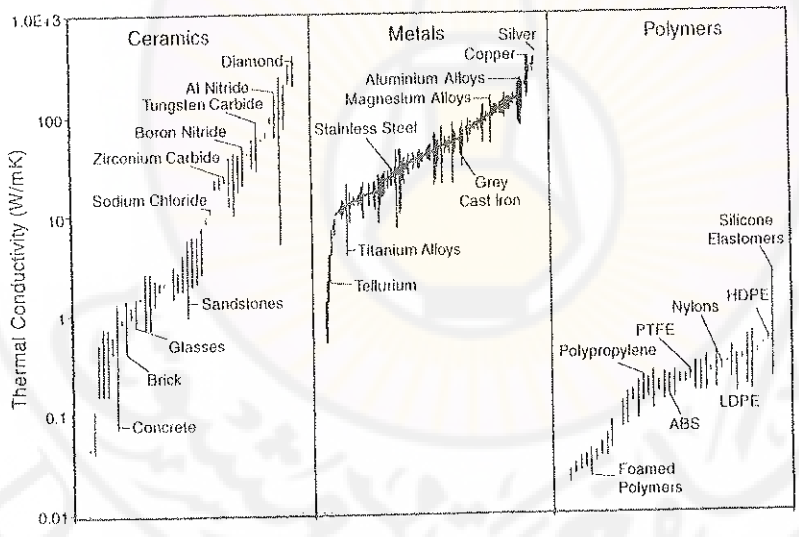
إن مخططات النتائج مساعدة في عدة طرق وتقدم معلومات وفيرة ومضغوطة ويمكن الرجوع إليها وهي تظهر العلاقة بين خواص المواد التي تساعد في تدقيق وتقييم البيانات وهي تقدم نفسها كتقنية لأداء مثالي والذي سيكون الخطوة الأولى لإجراء اختبار المواد.

٣-٥- إظهار مواصفات المواد:

إن خواص المواد الهندسية لها مجال واسع من القيم يمكن لهذا المجال أن يكون كبيراً حيث إن الكثير من الخواص لها قيم كبيرة تتراوح بين بعض أو عشرات أو أكثر، لإظهار ذلك على المخططات وكمثال على ذلك المخطط الموضح في الشكل (٣-٣) من أجل الناقلية الحرارية.

حيث كل عمود يمثل مادة واحدة و طول العمود يظهر مجالاً الناقلية لتلك المادة بأشكالها المختلفة.

إن المواد مفصولة عن بعضها بالتصنيف .كل صنف يظهر مجال من الخواص حيث إن المعادن لها ناقلية عالية والبوليمرات لها ناقلية منخفضة والمواد السيراميكية لها مجال عريض من المنخفض إلى المرتفع، هناك معلومات أكثر معروضة بطريقة أخرى لرسم الخواص تظهر في شرح المخطط على الشكل (٣-٤) وهنا خاصية واحدة المعامل (E بهذه الحالة) ترسم على المحور الشاقولي وعلى المحور الأفقي (الكثافة ρ) بمقياس لوغاريتمي . إن مجال المحاور يتم اختياره ليشمل كل المواد من الإسفنج الخفيف والرقيق إلى المعادن الثقيلة والصلبة وبالتالي وجد أن البيانات للمواد المعطاة (البوليمرات على سبيل المثال) تجتمع مع بعضها على المخطط . إن المجال الخاص لصنف واحد من المواد (في كل الحالات) هو أصغر من المجال الكامل لهذه الخاصة.



الشكل ٣-٣ مخطط – قضبان (أعمدة) يظهر الناقلية الحرارية من اجل ثلاثة أنواع من المواد الصلبة . كل عمود يظهر مجال الناقلية التي تملكه المادة وبعض منها تم تسميته

البيانات لصنف واحد يمكن إرفاقها في منحني الخواص كما يظهر الشكل حيث يشمل المنحني كافة مواد الصنف .وبطريقة مساعدة لرسم البيانات يمكن بواسطة اختيار المحاور ومقياس الرسم بشكل مناسب إضافة معلومات أكثر . إن سرعة الصوت في الأجسام الصلبة يعتمد على المعامل E والكثافة ρ وبالتالي سرعة الموجة على المحور الطولي v على سبيل المثال هي:

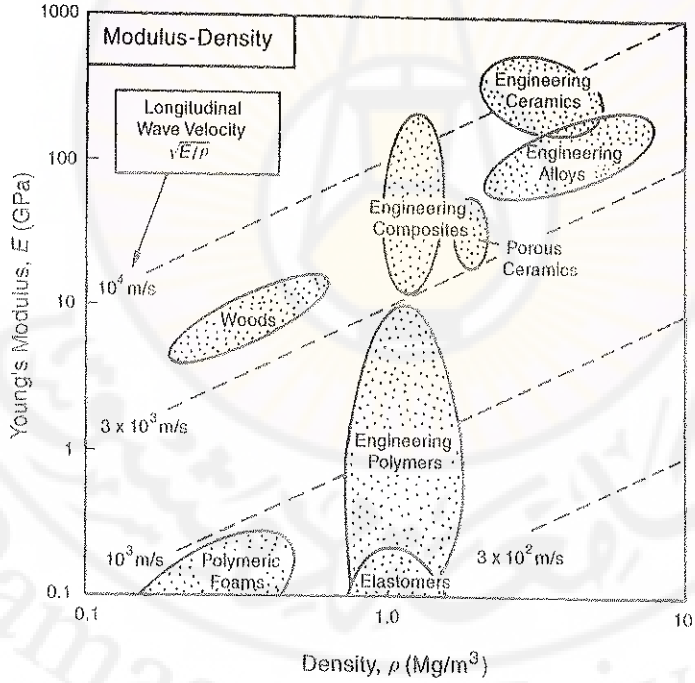
$$v = \left(\frac{E}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}}$$

أو بأخذ اللوغاريتم:

$$\log E = \log \rho + 2 \log v$$

من أجل قيمة ثابتة للسرعة v فإن هذه المعادلة ترسم كخط مستقيم للميل /1/ في الشكل ٣-٤ هذا يسمح لنا بإضافة تناسب لسرعة الموجة الثابتة إلى المخطط وهناك عائلة من الخطوط المتوازية القطرية تربط المواد التي موجاتها الطولية تسير بنفس السرعة .

من بين المواصفات الميكانيكية والحرارية هناك /18/ منها ذات أهمية أولى من أجل وصف المادة و التصميم الهندسي وهي مدرجة بالجدول (٣-٢) وتتضمن الكثافة والمعامل وقوة الشد والعسو والناقلية الحرارية والتقلص والتمدد وغيرها. إن المخططات تظهر البيانات لهذه الخواص من أجل الأنواع التسعة للمواد المدرجة في الجدول (٣-٣).



الشكل ٣-٤ فكرة مخطط خاصية المادة : معامل يونغ E مرسوم مقابل الكثافة ρ بمقياس لوغارتمي . كل صنف من المواد يحتل جزء من المخطط . إن المجال اللوغارتمي يسمح لنا برسم سرعة طول الموجة الطولية كمجموعة خطوط متوازية

جدول ٢-٣ خواص مواد التصميم وواحداتها

النوع	الخاصية	الرمز	الواحدة
عامة	التكلفة	C_m	$Kg/\$$
	الكثافة	ρ	Kg/m^3
ميكانيكية	معامل المرونة (يونغ، القص، تغير الحجم)	$E،G،K$	GPa
	قوة الشد (الخضوع، الأعظمي، الانكسار)	σf	MPa
	العسو	Gc	KJ/m^2
	مقاومة الانكسار	K_{ic}	$MPa\,m^{1/2}$
	القدرة على امتصاص الصدمات	η	—
	حد استمرار التعب	σe	MPa
حرارية	الناقلية الحرارية	λ	W/mK
	الانبعاث الحراري	a	m^2/s
	حرارة محددة	Cp	J/KgK
	نقطة السيولة (الذوبان)	Tm	K
	درجة حرارة التحمد	Tg	K
	معامل التمدد الحراري	a	K^{-1}
	مقاومة الصدمة الحرارية	ΔT	K
	مقاومة الزحف	—	—
الاختراء	ثابت الاختراء	K_A	MPa^{-1}
التآكل	معدل التآكل	K	$mm/year$
الأكسدة	ثابت معدل تكافئ	Kp	m^2/s

الجدول ٣-٣ أصناف المواد ومواد كل صنف

الصنف	المواد	الاسم المختصر
الخلائط الهندسية (المعادن والخلائط الهندسية)	خلائط الالمنيوم	كافة الخلائط
	خلائط النحاس	خلائطCu
	خلائط الرصاص	خلائط الرصاص
	خلائط المنغنيز	خلائطMg
	خلائط المولبيدوم	خلائطMo
	خلائط النيكل	خلائطNi
	الفولاذ	الفولاذ
	خلائط القصدير	خلائط القصدير
	خلائط التيتانيوم	خلائطTi
	خلائط التنغستين	خلائطW
	خلائط التوتياء	خلائطZn
البوليمرات الهندسية (اللدنة الحرارية والحرارية الهندسية)	الايبوكسي	EP
	الميلامين	MEL
	بولي كربون	PC
	البوليستيرات	PEST
	البولي ايثلين ذو الكثافة العالية	HDPE
	البولي ايثلين ذو الكثافة المنخفضة	LDPE
	بولي فورم الدهيد	PF
	بولي ميثل ميثاكرليات	PMMA
	بولي بروبولين	PP
	بولي تترا فلورثيلين	PMMA
	بولي فينيل كلوريد	PP
		PTFE
		PVC
المواد السيراميكية الهندسية (السيراميك الناعم القادر على تطبيق حمولات المساند)	الومينا	Al2O3
	الماس	C
	السيالون	السيالون
	كربيد السيليكون	SiC
	نتريد السيليكون	Si3N4
		ZrO2

الصنف	المواد	الاسم المختصر
	زركونيا	
المواد المركبة الهندسية (التطبيقات العملية الهندسية المركبة)	البوليمر المقوى بألياف الكربون البوليمر المقوى بألياف زجاجية البوليمر المقوى بألياف الكافلار	CFRP GFRP KFRP
المواد السيراميكية المسامية (المواد السيراميكية التقليدية والإسمنت و الصخور و المعادن	الآجر الإسمنت الصخور العامة إسمنت مسلح بورسلان فخار	الآجر الإسمنت الصخور العامة إسمنت مسلح Pcln Pot
الزجاج (الزجاج السيليكي العادي)	الزجاج البورسيليكاتي زجاج الصودا السيليكا	B- زجاج Na- زجاج SiO2
الأخشاب	رماد بلزا خشب الصنوبر خشب البلوط خشب الزان منتجات خشبية	رماد بلزا خشب الصنوبر خشب البلوط خشب الزان أخشاب
المواد المرنة (المطاط الطبيعي والصناعي)	المطاط الطبيعي مطاط البيوتل القاسي بولي اورثيناس مطاط السيلكون مطاط البيوتل الطري	المطاط الطبيعي البيوتل القاسي PU السيلكون البيوتل الطري
إسفنجيات البوليمر البوليمر الإسفنجي الهندسي	الفلين البوليستر بولي استرين بولي ايريثان	الفلين PEST PS PU

تمييز المواد المركبة عن الإسفنجيات وعن الأخشاب وبالتالي كلها في الأغلب مواد مركبة، وبواسطة تمييز المواد السيراميكية الهندسية ذات قوة الشد العالية (مثل كربيدات السيليكون) عن المواد السيراميكية ذات قوة الشد المنخفضة (مثل القرميد) وبواسطة تمييز المواد المرنة (مثل المطاط)، من البوليمرات الصلبة (مثل النايلون) ضمن كل صنف يتم رسم البيانات لتمثيل مجموعة المواد المختارة من أجل قياس المجال الكلي لسلوك هذا الصنف ويشمل المواد الأكثر استخداماً وانتشاراً وبهذه الطريقة يكون المنحني الخاص بالبيانات ليس فقط من أجل المواد المدرجة بالجدول (٣-٢) ولكن لكافة عناصر الصنف أيضاً.

إن المخططات التي تتبع هذه الطريقة تظهر مجالاً للقيم لكل خاصة في كل مادة . في بعض الأحيان يكون المجال ضيقاً حيث معامل النحاس على سبيل المثال يختلف بعدة أجزاء بالمئة عن قيمته الحقيقية وهذا يتأثر بنقائه وبنيته وما إلى ذلك . في بعض الأحيان يكون المجال عريضاً حيث قوة الشد لسيراميك الأليومينا يمكن أن يختلف كثيراً متأثراً بالمسامية وحجم الحبيبات وما إلى ذلك . المعالجة الحرارية والتشغيل الميكانيكي له تأثير واضح على إجهاد الخضوع والعسو للمعادن.

التبلور ودرجة الترابط الكيميائي يؤثر بشكل كبير على معامل البوليمرات وما إلى ذلك.

إن مواصفات البنية المجهرية تبدو وكأنها فقاعات ممتدة ضمن المنحني على المخطط . الفقاعات تتضمن المجال القياسي لقيم الخواص لمادة مفردة والمنحنيات (الخطوط الأعرض) تتضمن الفقاعات للصنف.

٣-٦- مخطط الكثافة - معامل يونغ المخطط (١):

إن معامل يونغ والكثافة هي خواص مألوفة .الفولاذ صلب والمطاط مرن وهذه تأثيرات المعاملات (معامل يونغ) الرصاص ثقيل والفلين خفيف وهذه تأثيرات الكثافة. الشكل (٣-٥) يظهر المجال الكامل لمعامل يونغ /E/والكثافة / ρ / للمواد الهندسية.

إن بيانات عناصر صنف محدد من المواد تجتمع مع بعضها ويمكن أن تنضم بمنحني واحد (الخط العريض)

إن نفس منحني الصنف تظهر على كل الأشكال . هذا يرتبط بالعنوان الرئيسي للجدول (٣-٢)

كثافة الأجسام الصلبة تعتمد على ثلاثة عوامل : الوزن الذري للذرات وحجمها وطريقة توضعها.

إن قياس الذرات لا يختلف كثيراً وأغلبها لها حجم ضمن عامل الاثنين لـ $2\times10^{-29}m^3$

إن نسبة التوضع (الترابط) أيضاً لا تختلف كثيراً جداً- عامل الاثنين أكثر أو أقل :- الترابط المغلق يعطي نسبة ترابط 0.74 وللشبكات المفتوحة (مثل الهيكل الشبكي لمكعب الألماس) حوالي 0.34 توسع الكثافة يأتي بشكل أساسي من الوزن الذري من /1/ للهيدروجين إلى /238/ لليورانيوم.

المعادن كثيفة لأنها مصنوعة من ذرات ثقيلة ومتوضعة بشكل مكثف، البوليمرات لها كثافة منخفضة لأنها مصنوعة من الكربون) الوزن الذري (/12/ والهيدروجين في الشبكات الثنائية أو الثلاثية الأبعاد.

المواد السيراميكية أغلبها لها كثافة أدنى من المعادن إذ إنها تحتوي ذرات خفيفة من /C/ و /O/ و . /N/ حتى الذرات الأخف تتوضع في طريقة مفتوحة وتعطي للأجسام الصلبة كثافة حوالي1 ملغ/م٣.

المواد ذات الكثافة الأدنى من ذلك هي الإسفنجيات وهي المواد المصنوعة من خلايا تحتوي على نسبة مسامية كبيرة. إن معامل أغلب هذه المواد يعتمد على عاملين أساسيين : صلادة الرابطة وكثافة الروابط في واحدة المساحة.

إن الرابطة الكيميائية هي كالنابض لها ثابت النابض) /S/ الواحدة (N/m معامل يونغ /E/ هو تقريبا

$$E = \frac{S}{r_0}$$

حيث r_0 هو قياس الذرة r_0 (هو حجم الذرة الرئيسي أو الحجم الأيوني). المجال العريض للمعامل يحدث بشكل كبير بواسطة مجال قيم./S/ إن الرابطة المشتركة قوية) S=20-200 N/m)

إن الرابطة المعدنية والأيونية أقل بقليل. S=15-100 N/m الماس له معامل عال جداً لأن ذرة الكربون صغيرة تعطي رابطة عالية وترتبط الذرات مع بعضها بواسطة روابط قوية. (S=200 N/m)

المعادن لها معامل عالٍ؛ لأن التجمع القريب يعطي كثافة ترابط عالية والروابط قوية جداً ولكن ليس بقوة روابط الماس.

البوليمرات تحتوي روابط قوية مثل الماس وروابط هيدروجينية ضعيفة (S=0.5-2 N/m) وهي أضعف روابط و تتمدد عندما يتغير شكل البوليمرات وتعطي معاملاً منخفضاً.

ولكن حتى الذرات الكبيرة($r_0 = 3\times10^{-10} m$) ترتبط مع بعضها بروابط ضعيفة (S=0.5 N/m) و لها معامل تقريباً

$$E = \frac{0.5}{3\times10^{-10}} \approx 1GPa$$

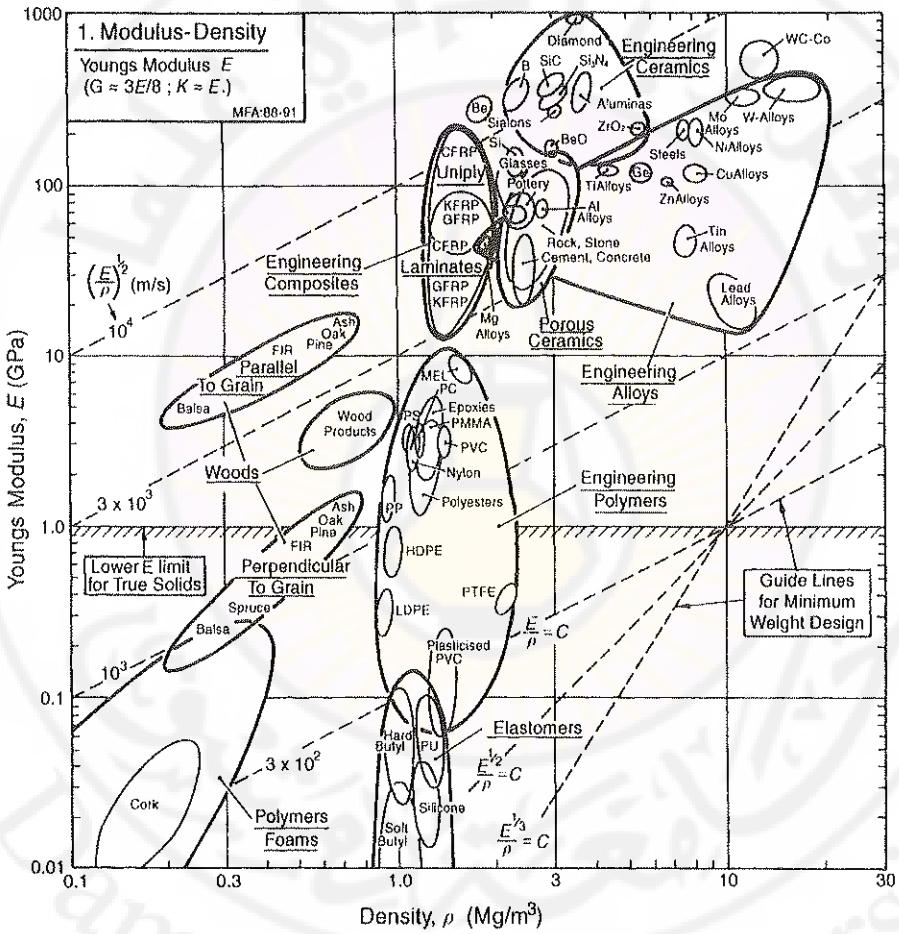
هذا هو الحد الأدنى للمواد الصلبة الحقيقية . يظهر المخطط أن هناك بعض المواد لها معامل أدنى من ذلك : وهي إما إسفنجيات أو لدائن.

اللدائن لها / E / منخفض بسبب أن الرابطة الثانوية الضعيفة قد تفككت (درجة حرارة تجمدها /Tg/ أدنى من درجة حرارة الغرفة) وتبقى فقط قوى صغيرة جداً (ألتروبية) تربط بين الجزيئات بسلسلة طويلة متشابكة مع بعضها والإسفنجيات لها معامل صغير جداً لأن جدران الخلايا تنحني (مولدة انخلاعات كبيرة) عندما يتم تحميل المادة.

يظهر المخطط أن معامل المواد الهندسية يتضاعف لخمس عشرات من 0.01 ميغا باسكال (الإسفنجيات ذات كثافة منخفضة) إلى 1000 ميغا باسكال (الألماس).

إن الكثافة تتمدد بعامل من أقل من 0.1 حتى $20Mg/m^3$ وهذا ضروري من أجل إيضاح العلاقة بين خواص أصناف المواد (ويمكن الحصول بشكل تقريبي على معامل القص G بواسطة 3E/8 ومعامل تغير الحجم Kبواسطة E لكافة المواد باستثناء اللدائن) والتي G=E/3 و K>>E مما يسمح باستخدام المخطط لها أيضاً.

إن المقياس اللوغارتمي يسمح بإظهار معلومات أكثر.إن السرعة للأمواج المرنة في المواد وتردد الاهتزاز الطبيعي للمكونات المصنوعة منها تتناسب مع $(E/\rho)^{1/2}$ والمقدار بحد ذاته $(E/\rho)^{1/2}$ هو سرعة الأمواج الطولية في قضيب رفيع من المادة.



الشكل ٣-٥ معامل يونغ .E مع الكثافة **ρ** المنحنيات باللون الغامق تتضمن بيانات لصنف معطى من المواد. المستقيمات المحورية تظهر سرعة طول الموجة الطولية. خطوط التوجيه للثوابت $\mathbf{E^{1/2}/\rho}$، $\mathbf{E/\rho}$ و $\mathbf{E^{1/3}/\rho}$ تسمح باختيار المواد ذات التصميم الأقل تشوهاً والأخف وزناً.

إن خط التناسب للثابت $(E/\rho)^{1/2}$ يرسم على المخطط باسم سرعة الأمواج الطولية وهو يتغير من 50م/ثا كأدنى قيمة (اللدائن الطرية) إلى أكبر من 4_{10} م/ثا (المواد السيراميكية الملساء).

لاحظنا أن الألمنيوم والزجاج بسبب كثافتهما المنخفضة تنقل الأمواج بسرعة كبيرة رغم معاملها المنخفض وقد نتوقع أن سرعة الصوت في الإسفنجيات منخفضة بسبب المعامل المنخفض ولكن عادة ما يتم تعويض الكثافة المنخفضة . في الخشب بالمقطع العرضي للألياف منخفضة ولكن في المقطع الطولي هي مرتفعة – وكذلك بالنسبة للفولاذ – وهذه الحقيقة يتم استخدامها عند تصميم الآلات الموسيقية.

يساعد المخطط في المشاكل العامة في اختيار المواد ليتم تطبيقها حين يجب تخفيض الوزن.

٣-٧- مخطط الكثافة – قوة الشد – المخطط (٢):

إن معامل المواد الصلبة هو مقدار محدد بشكل جيد بقيم دقيقة أما قوة الشد غير محددة وهي ظاهرة بالرسم مع الكثافة ρ في الشكل (٣-٦)

إن كلمة " قوة الشد " من أجل المعادن والبوليمرات هي قوة شد الخضوع، ولكن بما أن مجال المواد يتضمن تلك التي تم تشغيلها فإن المجال يمتد من بداية قوة الخضوع البدائية حتى قوة الشد القصوى ومن أجل اغلب الأغراض العملية هي نفسها في الشد والضغط. من أجل المواد السيراميكية القصيفة فإن قوة الشد هنا هي قوة شد الانهيار في الضغط وليس نفسها للشد. والتي تكون /15-10/ مرة أصغر.

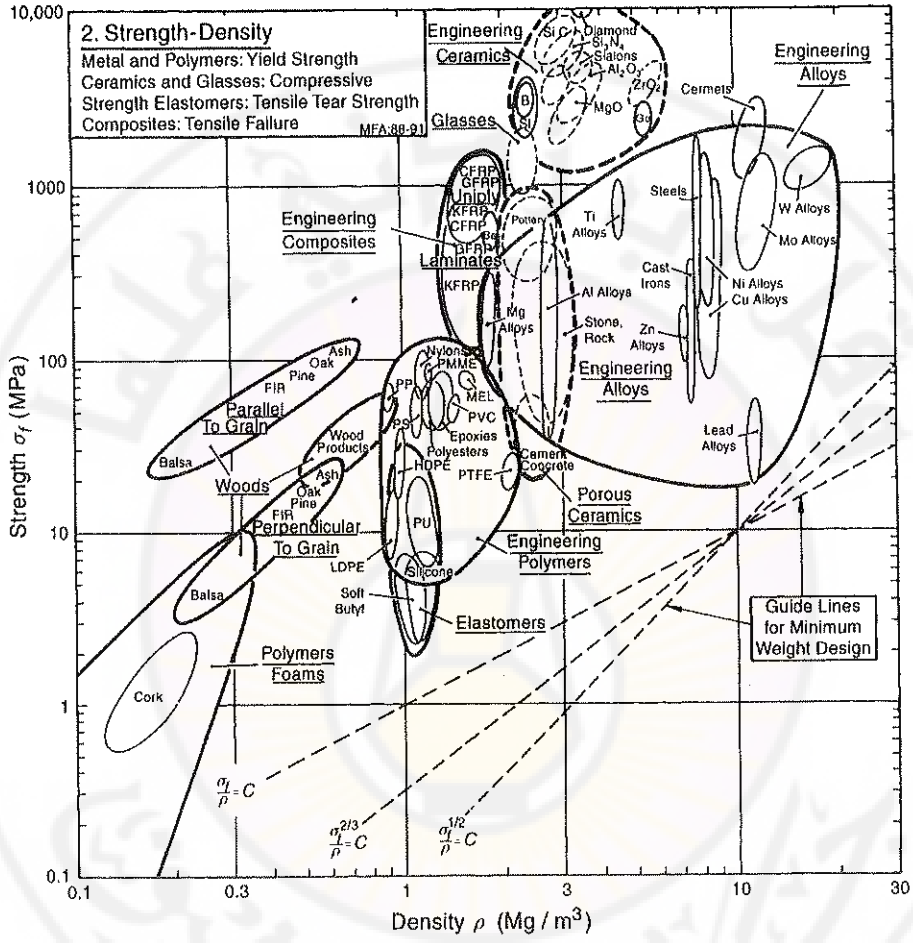
إن منحنيات المواد القصيفة ظاهرة كخطوط منكسرة فقط للتذكرة .من أجل اللدائن فإن قوة الشد تعني قوة شد التمزق . من أجل المواد المركبة هي أيضاً (قوة شد الانهيار) قوة شد الضغط يمكن أن تكون أقل من ذلك بـ 30% بسبب تحدب الفيبر)

سوف نستخدم الرمز σ_f من أجل كل ذلك ورغم اختلاف آليات الانهيار بينها.

إن الامتداد العمودي الملحوظ لفقاعات الشد لمادة مستقلة تعكس المجال الواسع والمتسبب من درجة الخلائط والتقسية وحجم الحبيبات والمسامية وما إلى ذلك، وكما في السابق إن بنود الصنف مع بعضها يمكن إرفاقها في منحنٍ (خط عريض) وكل منها يحتل مساحة من المواصفات على المخطط.

إن مجال قوة الشد للمواد الهندسية يشابه مجال المعامل ويمتد بحوالي خمس عشرات من القيمة الدنيا $0.1MPa$ (الإسفنجيات المستخدمة في التحزيم وأنظمة امتصاص الطاقة) إلى $10^4 MPa$ (قوة شد الماس المستخدم في مكابس السندان الألماسية) . إن المبدأ الوحيد الهام في فهم هذا المجال العريض هو مقاومة البنية الشبكية أو إجهاد بيريل: المقاومة الذاتية للبنية الشبكية للقص اللدن . إن القص اللدن في البنية الشبكية يتضمن حركة الانخلاعات . حيث إن هذه الانخلاعات تكون أنعمبالنسبة للمعادن؛ لأن الرابطة المعدنية غير

الثابتة تقوم بمنع حركة الانخلاعات بشكل خفيف أما بالنسبة للمواد السيراميكية تكون قاسية، لأن الرابطة الأيونية متماسكة وثابتة (والتي يجب أن تكسر وتُعاد للتشكل عند قص البنية الشبكية) تقوم بكبح الانخلاعات في مكانها.



الشكل ٣-٦ قوة الشد σ_f مع الكثافة (ρ قوة خضوع للمعادن والبوليمرات وقوة ضغط للمواد السيراميكية وقوة تمزق للمواد اللدنة وقوة شد للمواد المركبة) دلائل التصميم للثوابت $\sigma_f/\rho, \sigma_f^{2/3}/\rho$ و $\sigma_f^{1/2}/\rho$ تستخدم في تصميم حد الخضوع والوزن الادنى

عندما تكون مقاومة البنية الشبكية) منخفضة فإن المادة يمكن أن تصبح أمتن عبر إدخال عوائق ليحدث الانزلاق في المعادن عبر إضافة عناصر خلائطية أو جزيئات وحدود حبيبات وحتى انخلاعات أخرى " التصليد" وفي البوليمرات عبر التشابك العرضي أو عبر تنسيق السلاسل وبالتالي يكون الترابط القوي . من

ناحية أخرى إن مقاومة البنية الشبكية العالية والتقسية الإضافية تكون أحياناً غير ضرورية- وتكون المشكلة هنا في إخماد (إيقاف) الانكسار (الانهيار)

إن الاستخدام الضروري للمخطط هو في اختيار المواد في التصميم المرن وذي الوزن الخفيف .دلائل الاستخدام الموضحة من أجل اختيار المواد في التصميم للوزن الأقل للأعمدة والجوائز والصفائح ومن أجل التصميم عند حد الخضوع لحركة المكونات والذي عنده تصبح القوى الداخلية أمرا ضرورياً .

٣-٨- مخطط الكثافة – مقاومة الانكسار المخطط (٣):

إن زيادة قوة شد اللدونة في المادة هو شيءجيد فقط عندما تبقى لدنة ولا تتعرض لانكسار سريع .إن مقاومة اتساع الشق تقاس بمقاومة الانكسار k_{1c} وترسم مع الكثافة بالشكل /3.7/ إن المجال كبير من /0.01/ حتى أكثر من $100\ MPa.m^{1/2}$ في النهاية الصغرى في هذا المجال تكون المواد القصيفة والتي عندما يتم تحميلها تبقى مرنة حتى الانكسار، لذلك فإن آلات القطع المرن الخطي تعمل بشكل جيد ومقاومة الانكسار فيها تكون خاصية جيدة . في النهاية العظمى تقع المواد ذات القساوة العالية وكلها تظهر لدونة بديلة قبل انهيارها لذلك فإن قيم k_{1c} هي تقريباً مشتقة من تكامل /J/ الحرج (Jc) وقياسات فتح الشق الحرج(δ_c) ((بكتابة $k_{1c} = (EJ_c)^{1/2}$على سبيل المثال) .وهذا يساعد في إعطاء مراتب للمواد.

يظهر الشكل السبب الوحيد لسيطرة المعادن في هندسة علم المواد، كلها على الأغلب تملك قيمة لـ k_{1c} فوق $20\ MPa.m^{1/2}$ والقيمة عادة يشار إليها بالقيمة الأدنى للتصميم المناسب.

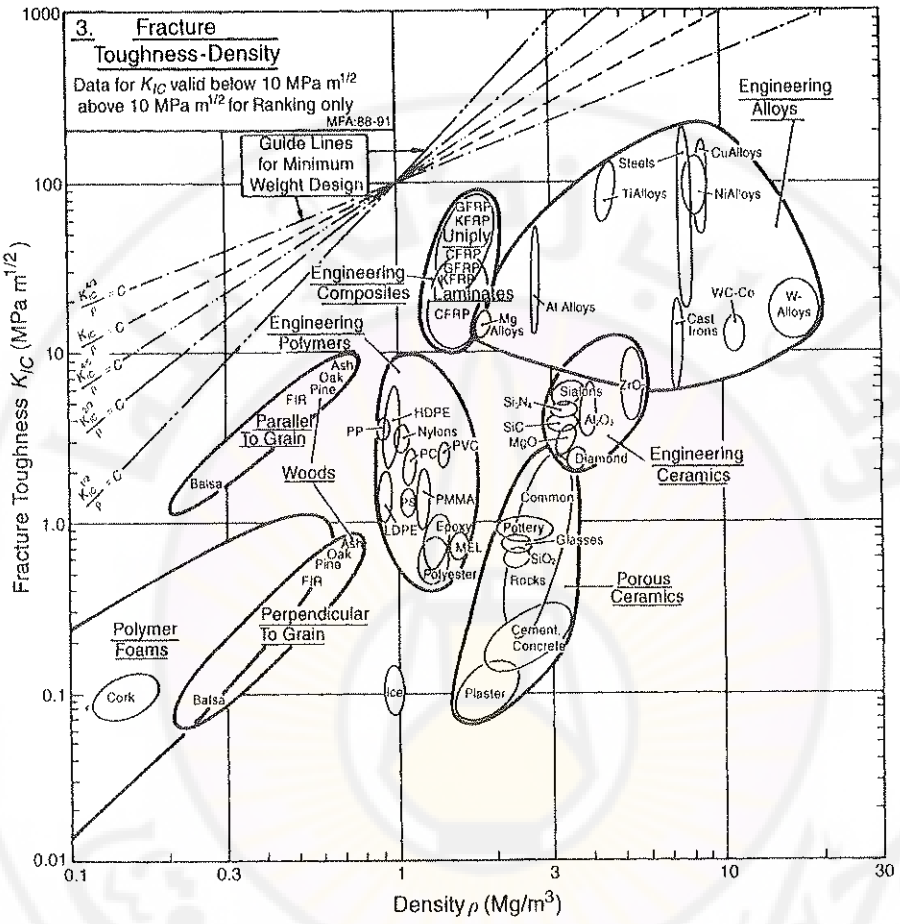
٣-٩ مخطط قوة الشد – المعامل – المخطط (٤):

إن الفولاذ ذا قوة الشد العالية يصنع منه نوابض جيدة وكذلك المطاط يقوم بذلك. فكيف إذاً تكون هاتان المادتان المختلفتان مناسبتين لنفس المهمة ؟ هذا السؤال وغيره تم الإجابة عليها عبر الشكل (٣-٨) وهو الأكثر نفعاً من بين كل المخططات.

وهو يظهر معامل يونغ E مرسوم مع قوة الشد . σ_f إن التصنيفات على قوة الشد هي نفسها كما في السابق وهذا يعني أنها قوة خضوع للمعادن والبوليمرات وقوة انهيار للسيراميك وقوة انقطاع (تمزق) للدائن المرنة وقوة شد للمواد المركبة والخشب.

إن الرمز σ_f يستخدم لها جميعاً . إن مجالات المتغيرات أيضاً هي نفسها .إن قيمة انفعال الانهيار σ_f / E (يعني الانفعال الذي تصبح فيه المادة مرنة خطية) يبدو كعائلة الخطوط المتوازية خطياً. لندقق هذا أولاً . البوليمرات الهندسية لها انفعال انهيار كبير بين 0.01و 0.1 والقيم للمعادن تكون على الأقل من عوامل /10/ وأصغر. حتى المواد السيراميكية بالضغط ليست قوية وفي الشد تكون أضعف (بعامل أكبر من /10/ إلى /15/

مرة) أما المواد المركبة والخشب تكون بمجال 0.01 وهي جيدة مثل أفضل المعادن، المواد اللدنة المرنة وبسبب معاملها الاستثنائي المنخفض لها قيم σ_f / E أكبر من أي صنف آخر من المواد 0.1 إلى 10

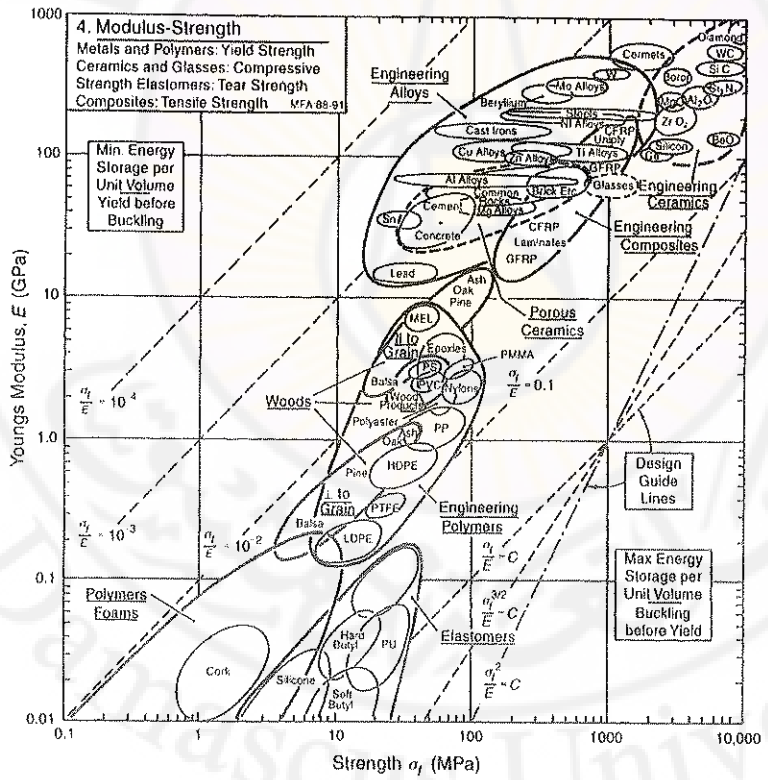


الشكل ٣-٧ المخطط ٣ مقاومة الانكسار k_{1c} وترسم مع الكثافة ρ ، دلائل التصميم للثوابت k_{1c} و الخ، تساعد في تصميم حد الانكسار للوزن الادنى.

٣-١٠- الملخص والنتائج:

تلخص المخططات المعلومات بطريقة بسيطة ومضغوطة وسهلة الوصول وتظهر مجال أي خاصية معطاة بشكل سهل الوصول للمصمم وتحدد صنف المادة المشتركة في قطاعات هذا المجال . بواسطة اختيار المحاور بطريقة معقولة يمكن إظهار معلومات أكثر : مخطط المعامل E مقابل الكثافة ρ يظهر سرعة طول الموجة الطولية $(E/\rho)^{1/2}$ ومخطط مقاومة الانهيار K_{1C} مقابل المعامل E يظهر طاقة سطح الانكسار G_{1c}.

إن معظم مواصفات المخططات هي الطريقة التي فيها تجتمع مكونات صنف المادة مع بعضها .على الرغم من المجال الواسع للمعامل والكثافة المشتركة مع المعادن(على سبيل المثال) فإنها تحتل حقلاً يميزها عن البوليمرات او عن تلك للمواد السيراميكية أو عن المواد المركبة . كذلك هو الحال بالنسبة للقوة وبقية المواصفات وفي بعض الأحيان تتداخل الحقول مع بعضها، ولكن دائماً يكون لها مكان مميز ضمن المخطط .مكان الحقول وعلاقتها يمكن أن تفهم في شروط فيزيائية بسيطة : طبيعة الترابط ،تكدس الكثافة، مقاومة البنية الشبكية وأنظمة الاهتزاز للبنية (بحد ذاتها وظيفة للترابط والتكدس) وهلم جراً .قد يبدو شاذاً أن هناك حركة خفيفة تحدث للبنية المجهرية في تحديد المواصفات .ولكن تظهر المخططات بشكل واضح أن فرق الترتيب الأول بين خواص المواد له منشأه في كتلة الذرات وهو طبيعة القوى الداخلية الذرية وهندسة التوضع للخلائط والمعالجة الحرارية والتشغيل الميكانيكي كلها تؤثر على البنية المجهرية للمواد ومن خلال ذلك تعطي المواصفات والخواص المتعددة والعلاقات المتعددة بين هذه الخواص لتحديد استخدام المواد وتحسين التصميم باختيار المواد المناسبة.



الشكل ٣-٨ المخطط ٤ معامل يونغ E مرسوم مع قوة الشد σ_f دلائل التصميم تساعد في اختيار المواد من اجل النوابض،نصلة السكين ،المحاور،الصفائح المسامية والمفصلات.

الباب الثاني

مواد التصنيع

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

مواد التصنيع اللامعدنية

١-١- الفحم والبترول:

أهم مصدرين للطاقة، بالإضافة إلى كونهما من أهم الخامات المستخدمة في الصناعات الكيميائية.

١-٢- الجلد الطبيعي:

يحصل على الجلد الطبيعي بدبغ جلود الحيوانات ويكون الجلد المخصص للأعمال الفنية مدبوغاً بمواد دبغ نباتية أو بمادة شبكة الكروم (أخضر الكروم).

ويمكن التعرف على الجلد المدبوغ بمواد نباتية من اللون البني لسطح مقطعة، أما الجلد المدبوغ بشبه الكروم فله مقطع رمادي أزرق أو رمادي مائل إلى الخضرة. ويصبح الجلد المدبوغ بمادة نباتية صلداً متقصفاً عند تعرضه لدرجات حرارة أعلى من ($60C^o$) في حين أنه يتحمل الجلد المدبوغ بالشبه الكرومية درجات حرارة تصل إلى ($90C^o$)، وهو قليل التأثر بالرطوبة.

يستخدم الجلد بشكل رئيسي في الصناعات الميكانيكية كصناعة سيور نقل الحركة وموانع التسرب ويفضل استخدام الجلد الكرومي لمادة أحكام وأطواق منع التسرب.

١-٣- المنسوجات:

تصنع المنسوجات من الألياف مثل الغزل والخيوط والأنسجة، والألياف الصناعية والمسماة بالألياف الكيميائية مثل البولستر وغيره، وتكون هذه الألياف أقل تأثراً بالماء والأحماض والقلويات من الألياف الطبيعية كالقطن والحرير والقنب. وتستخدم المنسوجات في الصناعة كسيور مسطحة وغيرها.

١-٤- الزجاج:

يستعمل الزجاج بسبب خواصه الممتازة بكثرة في أغراض الصناعة والبناء والبحث العلمي. وهو صلد شفاف ضئيل التأثر بالأحماض والقلويات وموصل سيء للحرارة والكهرباء (عازل) وعيبه الأكبر هو حساسيته للصدمات.

١-٤-١- تصنيع الزجاج:

يصنع الزجاج عادة من السيليكات المصهورة عند درجة حرارة عالية مع بعض الإضافات الأخرى ويبرد إلى حالته الصلبة دون أن يمر بحالة التبلور كما في المعادن. فلذلك نجد كل أنواع الزجاج تكون في حالتها الطبيعية غير بلورية. ويتمتع الزجاج بثلاث خصائص هامة هي: القساوة والشفافية والمقاومة الكيميائية تجعل

منه مادة لا غنى عنها في جميع المجالات الصناعية. وتصل درجة انصهار الزجاج العادي إلى نحو ($1493C^{o}$)، أما درجة الحرارة التي يفقد عندها هذا الزجاج خواصه العجينية ويتجمد فهي نحو ($594C^{o}$) وتختلف درجات الحرارة آنفة الذكر باختلاف تركيب الخلطة الزجاجية. وتتألف خلطة الزجاج بصفة عامة من السليكا ومواد قلوية وبعض العناصر المثبتة مثل الكلس والرصاص والباريوم. فمثلاً يتكون زجاج الأواني والألواح الزجاجية وزجاج النوافذ من مجموعة من الأكاسيد التالية: (Sio_2 و Al_2o_3 و Cao و Na_2o) أما الزجاج الليفي فإن تركيبه يشبه تركيب العادي مضافاً إليه بعض الأكاسيد مثل: (B_2O_3 و Zno و K_2o و As_2o_3 و Pbo) وأما الزجاج الملون فيشبه تركيبه أيضاً تركيب الزجاج العادي إلا أن الأكاسيد المضافة في هذه الحالة هي: أكاسيد الحديد والنحاس والكوبالت والكروم.

١-٤-٢- أنواع الزجاج:

تتعدد أنواع الزجاج وذلك تبعاً لتركيبه ومجالات استخدامه ونورد فيما يلي أهم أنواع الزجاج شائعة الاستخدام:

١. زجاج النوافذ: وتتكون خليطته من الصودا والكلس والسليكا. ويصنع بعدة سماكات.
٢. الزجاج العاكس: وهو الزجاج المطلي بطلاء عاكس، وتختلف نفاذية الأشعة الضوئية عبر هذا الزجاج باختلاف نوع الطلاء المستعمل وتتراوح بين ٨ ÷ ٥٠ %.
٣. الزجاج البورسيليكي: وهو من أقدم أنواع الزجاج ويتمتع بمقاومة عالية للحرارة والصدمات، ويستخدم في صناعة المصابيح والأواني المخبرية وأدوات المطبخ وغيرها.
٤. الزجاج الألومين سيليكي: يشبه في تركيبه الزجاج البورسيليكي مع بعض الإضافات ويتحمل هذا الزجاج درجات الحرارة العالية، ويستعمل في صناعة المصابيح وكعناصر مقاومة في الدارات الإلكترونية.
٥. ألواح الزجاج المصقول: تصنع هذه الألواح بسماكات مختلفة ويتم صقلها من الوجهين، وتختلف درجة الصقل تبعاً للغرض المطلوب.
٦. زجاج الأمان: ويتألف من طبقتين من الألواح الزجاجية يتم لصقها ببعضها بواسطة طبقة عضوية خاصة. ويصنع بسماكات مختلفة ويستعمل لنوافذ الغرف الهامة كالبنوك.
٧. الزجاج المقسى: يتمتع هذا الزجاج بمتانة ميكانيكية عالية ويتم الحصول على هذه المتانة بإجراء التبريد السريع للسطوح.
٨. الزجاج الشريطي: وهو الزجاج الذي مدت بداخله أسلاك دقيقة جداً من الحديد. وله مقاومة أكبر من الزجاج العادي تعادل بمرة ونصف. وعند تعرضه للكسر لا يتحطم كالزجاج العادي إلى قطع صغيرة، ويتحمل هذا الزجاج الصدمات ودرجات الحرارة العالية.

١-٤-٣- الخصائص الميكانيكية للزجاج:

لا يتغير شكل الزجاج عند ضغطه أو صدمه على اختلاف المعادن فهو إذن جسم صلب ولكنه هش سريع الكسر والتحطم كما هو معروف ومن أهم الخصائص الميكانيكية للزجاج هي:

١. المتانة عند السحب: لا تتأثر هذه الخاصة كثيراً بالتركيب الكيميائي لكنها تتأثر بالسطح الخارجي وبالتالي تنقص لدى احتواء الزجاج على العيوب كوجود انقطاعات، فقاعات غازية أو رمال غير متفاعلة..... وتتراوح قيمة المتانة عند السحب(N/mm^2 14-5)

٢. المتانة عند الضغط: تتأثر هذه المتانة بالتركيب الكيمائي للزجاج وتزداد بازدياد نسبة أكسيد الكالسيوم وأكسيد المغنيزيوم وأكسيد الباريوم وأكسيد الألمنيوم وأكسيد الرصاص، وتتراوح قيمة المتانة عند الضغط (N/mm^2 120÷60) وتصل حتى (N/mm^2 230) في زجاج الكوارتز.

٣. القساوة: إن الزجاج جسم صلب أقسى من كثير من المعادن وتتراوح قساوته حسب سلّم ماوس (8÷7) ولكنه يجب الحيطة والحذر عند التصنيع وعند تصميم الآلات؛ لأن الزجاج حديث الصنع يخدش نفسه وبالتالي يجب منع الزجاج أن يلامس بعضه بعد التشكيل لأن ذلك يؤدي إلى ظهور العيوب بالإضافة إلى إضعاف المقاومة الميكانيكية.

١-٥- الأسبستوس:

مادة مقاومة للاحتراق وتأثير الأحماض. ويمكن غزل الأسبستوس، الذي نشأ في الطبيعة على مر الزمن من المعدنيات مثل سليكات الكوارتز الطبيعية، كخيوط القنب أو القطن، وتصنيعه إلى ثياب مقاومة للحريق وحشوات موانع التسرب المقاومة للحرارة الأسبستوس موصل سيء للحرارة والكهرباء، كما أنه يلتصق بسهولة بمواد أخرى كالمطاط مكوناً مادة إحكام مثل (جوانات الآلات) ومع الإسمنت مكوناً ألواح الإسمنت الاسبستي التي تستعمل كأغطية سقفية.

١-٦- الأخشاب: (الخشب)

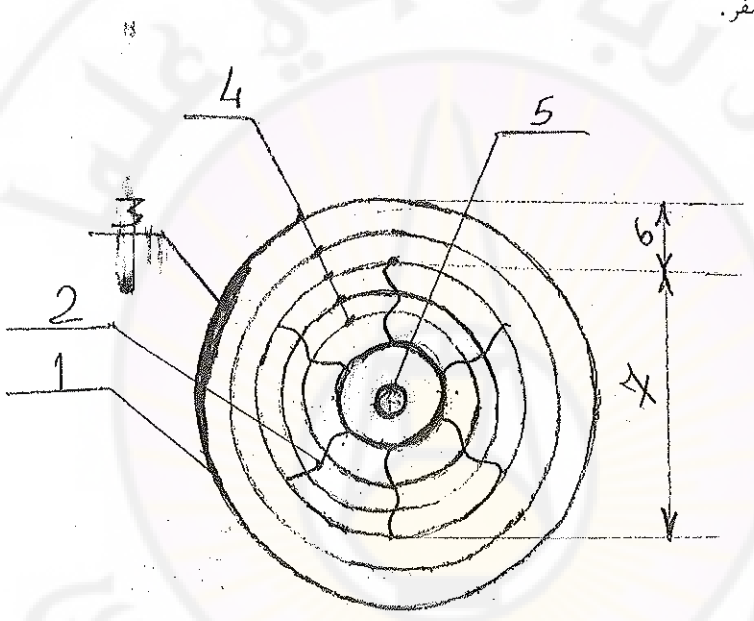
١-٦-١- مكونات الأخشاب:

الخشب أقدم مواد التصنيع ومواد البناء عرفها الإنسان ومازال يستعمل في صناعات مختلفة وفي بناء بعض الإنشاءات وهو مادة عضوية تتألف بشكل رئيسي من مادة السليلوز (من ٥٠ إلى ٦٠%) تقريباً ومادة الخشبية من (٢٠ إلى ٣٠%) ومن الراتنج وبعض المعدنيات والمواد الدبغية والدهنية.

والخشب مادة غير متجانسة وله خواص متباينة تحددها درجة النمو والأرض والعمر ونسبة الرطوبة فيه وقد تصل من (٦÷١٠٠%)

يظهر في القطاع العرضي لجذع الشجرة شكل (١-١) اللب (قناة العصارة الغذائية)، وأشعة اللب، خشب القلب والخشب اللباني)، (اللحاء والقشرة). ويمكن تحديد عمر الخشب بشكل تقريبي بمساعدة الحلقات السنوية الظاهرة في المقطع بوضوح.

يتغير معدل النمو للشجرة في المناطق المعتدلة بشكل واسع حسب فصول السنة. فالنمو في الربيع يكون سريعاً وفي الصيف، وفي أوائل الخريف يكون أقل سرعة. وفي أواخر الخريف والشتاء يكون معدل النمو مساوياً للصفر.



الشكل ١-١ قطاع عرضي لجذع شجرة

١- القشرة، ٢- أشعة اللب، ٣- اللحاء، ٤- الحلقات السنوية، ٥- اللب، ٦- خشب لباني، ٧- خشب القلب.

١-٦-٢- الصفات العامة للأخشاب:

- الخشب يمتص ويفقد الماء والخشب المجفف يكون خفيفاً ويتمدد بالرطوبة.
- يمتاز الخشب بخاصيته القليلة في نقل الصوت والحرارة والكهرباء.
- الخشب لا يصدأ حتى ولو غمر تحت مياه البحر ومقاوم للأحماض الخفيفة.
- الخشب يمتص الصدمات والاهتزازات أفضل من أي مادة أخرى.
- الخشب لا يتبلور مثلما يحدث في معظم المعادن.

- طبيعة ألفاف الخشب تسهل عملية دهانه وتلميعه، وتشكيله بلصقه مع آخر.
- الخشب كأي مادة عضوية يتعرض للعض والحشرات الثاقبة.
- الخشب مادة قابلة للاشتعال فعندما يحترق تخرج منه غازات يتفحم عند درجة حرارة (٢٧٥ م°)
- يمتاز الخشب بعدد من الخواص الطبيعية والميكانيكية ليس فقط داخل الأنواع بل أيضاً داخل النوع الواحد، وكذلك حتى داخل العينات من قطعة لأخرى في أجزاء مختلفة منه. وهذا الاختلاف يعود إلى الظروف البيئية في أثناء النمو والتخزين، وإلى ترتيب الخلايا المكونة لمادة الخشب وارتباطها ببعضها بعضاً وشكلها وحجمها.

١-٦-٣- أنواع الأخشاب:

أهم أنواع الأخشاب المستعملة:

تقسم الأخشاب إلى ثلاثة أقسام: لينة وصلبة ومتوسطة. وأحياناً يمتلك نوع واحد منها اللين والصلب وهذا يعود إلى الظروف البيئية لوقت الإنماء وعلى كثافة النوع. فكلما زادت الكثافة زادت الصلابة وزاد الوزن أيضاً وكلما عمرت الشجرة كان خشبها أكثر صلادة وكذلك التي تنمو ببطء فعملية البذرة والزمان والمكان عوامل رئيسية تحدد لون الشجر ووزنه وصلاته وغيرها:

الأخشاب اللينة:

١) الخشب الاسكتلندي: المصدر: انكلترا- شمال أوربا- الدول الاسكندناقية. اللون أبيض مائل للصفار، خواصه: العمل به سهل جداً يستعمل لجميع أنواع النجارة: أبواب، شبابيك.....الخ.

٢) الخشب الكندي: لونه أبيض أو أصفر- المصدر كندا، الولايات المتحدة، خواصه: يعد من الأخشاب الجيدة ويستعمل للقوالب والأبواب.....الخ.

٣) الخشب الاعتيادي: المصدر أوربا وشمال روسيا، اللون بني فاتح المائل إلى ذهبي، خواصه: يعد أثقل الأخشاب اللينة وذا صلابة ومتانة جيدة، ويستعمل في عمل الأثاث المنزلي وتحت قضبان السكك الحديدية.

الأخشاب الصلبة:

١) خشب الجوز: المصدر: أمريكا- إفريقيا- استراليا- اليابان – تركيا. اللون البني المحمر والجوزي. خواصه: قوي صلب، العمل به سهل ويأخذ الأصباغ والتلوين بصورة جيدة ويستعمل في صناعة الأثاث والديكور، وصنع العربات ووسائل النقل.

٢) البلوط: المصدر أوربا- أمريكا- اليابان- استراليا. الوزن النوعي: الجاف 0.7 – 1.0 غ/سم٣، الخواص: متين ويتقبل الأصباغ. ويستعمل في البناء وصنع القوارب والعربات والعجلات والموبيليا الفاخرة.

٣) الزان: المصدر: أوربا- كندا- أمريكا، الوزن النوعي: 0.66 ÷ 0.83 غ/سم٣ خواصه: ذو ألياف متماسكة يقاوم الرطوبة والماء. ويستعمل في المفروشات والقوالب.

١-٦-٤- تجفيف الأخشاب:

الأخشاب الجيدة تكون جافة وليست يابسة كلياً وتبلغ نسبة الرطوبة بحدود ١٢% لذلك فإن الرطوبة في الأخشاب من المواصفات السلبية والخشب الجيد يباع بالمتر المكعب، والخشب الرديء يباع بالوزن وليس بالحجم. يتم تجفيف الأخشاب إما طبيعياً أو صناعياً في غرف مسخنة أو في أفران لغرض خفض أو إزالة الرطوبة منه. ومن طرق التجفيف الطبيعي ينشر الخشب معرضاً للشمس في الهواء. وتصل نسبة الرطوبة المجففة بهذه الطريقة من ٦-٧ % والأخشاب المجففة طبيعياً في الهواء الجوي هي أنسب أنواع الأخشاب لمعظم أشغال النجارة. ولتجفيف الخشب عدة مزايا منها:

١. يزيد مقاومة الخشب للأمراض الفطرية.
٢. يقلل الوزن وبالتالي تكاليف النقل.
٣. يقلل تعرض الخشب لهجوم الحشرات.
٤. يقلل العيوب من التفاف وتشققات.
٥. يزيد صلابة ومتانة الخشب ويحسن قابلية للدهان.

١-٦-٥- الخواص الهندسية للأخشاب:

١. **الخواص الحرارية للأخشاب:**

يتوقف توصيل الخشب للحرارة على ثلاثة عوامل هي:

- ✓ اتجاه الألياف أي اتجاه الحرارة بالنسبة لمحور ترتيب الألياف.
- ✓ المحتوى الحراري في الخشب.
- ✓ الثقل النوعي للخشب.

وأهم الخواص الحرارية للخشب:

أ) **التوصيل الحراري:** المعروف أن الخشب والمواد السيللوزية الأخرى ضعيفة في توصيلها ونقلها للحرارة عكس ما هي الحالة في المعادن وهذا راجع للمسامية بها، لذلك تستخدم الأخشاب كعازل للتوصيل الحراري في المباني والمنشآت ويختلف التوصيل الحراري تبعاً لتغير اتجاه الحرارة مع اتجاه الألياف في الخشب وإلى كثافة الخشب وإلى العيوب الموجودة به وأيضاً إلى المحتوى الرطوبي وبشكل عام التوصيل الحراري في الخشب في أي اتجاه عادة يكون أكثر بمقدار يزيد (٤٠%) أي بمقدار الثلث تقريباً للخشب الرطب عنه في حالة الخشب الجاف.

ب) **التمدد الحراري:** تكون قيم التمدد الحراري للخشب قليلة ومحدودة للغاية بمقارنته بمعظم المواد الأخرى بنتيجة التغيرات الحرارية.

ت) **قيمة الاحتراق:** إذا كان مصدر الأكسجين غير محدود تصل قيمة الاحتراق في الخشب إلى (273C°) وتعتمد سرعة الاشتعال على معدل تجميع الحرارة على سطح الخشب ويؤثر على هذا المعدل عدة عوامل منها وأهمها حجم قطعة الخشب ومعدل فقد الحرارة من سطح الخشب إلى الداخل ووجود زوائد وحواف رفيعة بارزة أيضاً.

٢. الخواص الكهربائية للخشب:

الخشب الجاف أجود مادة عازلة وتوجد هناك عدة عوامل تؤثر على المقاومة النوعية وبالتالي التحكم بالسلوك الكهربائي للأخشاب وأهمها:

١- الرطوبة النسبية.

٢- درجة الحرارة.

٣- الثقل النوعي للأخشاب.

٤- اتجاه الألياف.

وبشكل عام كلما زادت نسبة الرطوبة في الخشب قلت المقاومة النوعية وزاد التوصيل الكهربائي. وتعد الأخشاب ذات الثقل النوعي العالي أكثر مقاومة لمرور التيار الكهربائي من الأخشاب ذات الثقل النوعي المنخفض.

٣. الخواص الصوتية في الخشب:

يعد الخشب المادة الفريدة من نوعها التي تستخدم لصناعة الآلات الموسيقية. فإذا طُرقت قطعة من الخشب بمطرقة فإن قطعة الخشب تعطي اهتزازات ذات تردد صوتي وهذا الاهتزاز يعطي موجات صوتية في الهواء المحيط، لذلك فالصوت موجة وبالتالي فإن خواصه الفيزيائية كما يلي: طول الموجة L ، وسرعة الصوت V والتردد F وعندما يتحول الصوت وينتقل بسرعة محددة فإن العلاقة تصبح كالتالي: $V = L.F\, m/\sec$ فالخشب يمكنه أن يهتز ويحدث صوتاً إذا عرض لقوى خارجية لإحداث هذا الاهتزاز وإن مدى وسعة الاهتزاز تعتمد على التردد والقوى المؤثرة وتتأثر سرعة الصوت بنوع الخشب والرطوبة النسبية وعرض الحلقات.

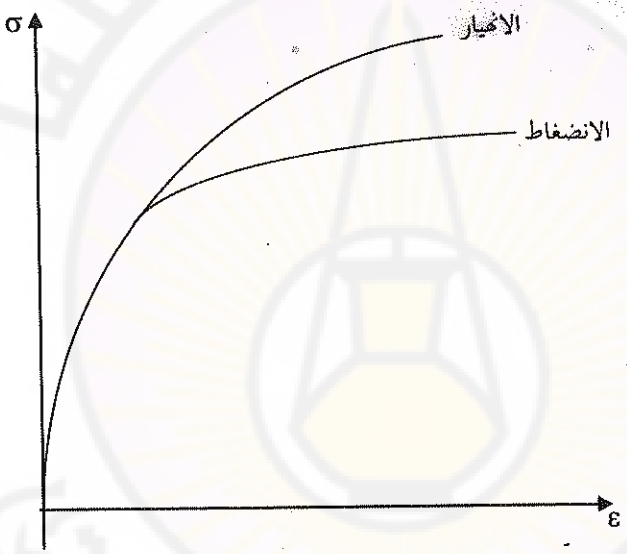
٤. الخواص الميكانيكية للخشب:

تتأثر الخواص الميكانيكية للخشب بعدة عوامل، فمثلاً تبين التجارب المخبرية أن إجهاد الأمان العملي أصغر بكثير من الإجهاد الأعظمي في ألواح الخشب الإنشائية. وأحد العوامل التي لها تأثير كبير في مقاومة الخشب هو تجذعه، فمقاومة الخشب لقوى الشد والضغط وفق الاتجاه الموازي للتجذع تكون أكبر بكثير من

مقاومته لهذه القوى وفق الاتجاه العمودي للتجذع. كما أن مقاومة الخشب لقوى القص على طول التجذع أقل بكثير من مقاومته لقوى الشد والضغط، لهذا يجب أخذه هذه الحقيقة بالحسبان عند دراسة مقاومة الجيزان (الجوائز الخشبية)

قوة الشد والانضغاط والانحناء للخشب تكون تقريباً متساوية ولكن حد المرونة يكون نسبياً أقل في حالة الانضغاط عنه في حالة الشد كما هو موضح في الشكل (١-٢). حيث يأخذ طاقة أكبر حتى تصل إلى نقطة الانهيار ويعد صلباً أو ذا طاقة تحمل للكسر.

أما الخشب الذي ينكسر فجأة بعد تعرضه للانحناء والثني، يعد هشاً وخاصة عند تعرضه للصدم. وبشكل عام إن سلوك الأخشاب تجاه مؤثرات القوى الخارجية المؤثرة عليها يعتمد على فترة التحميل ودرجة الحرارة. وقد وضعت نماذج رياضية عديدة لوصف السلوك للأخشاب في حالتي السلوك المرن واللزج.



الشكل ١-٢ منحنى الاجهاد- الانفعال للخشب

١-٦-٦- عيوب الأخشاب:

للأخشاب ميزات كثيرة لا يمكن حصرها، خدمت الإنسان منذ أن أوجده الله على هذه الأرض ولا تزال تخدمه ولا يمكن الاستعاضة عنها مهما بلغت المواد المصنعة وجودها ومع كل هذا يوجد بعض العيوب للأخشاب وأهمها ما يلي:

١- عدم انتظام مقطع الجذع: (الجذع مسلوب) ويحدث ذلك لعدم انتظام نمو الشجرة.

٢- الجذع الملتوي: يكون جزء من الجذع أو كله ملتوياً

٣- النمو بشكل انبعاج: وفي هذه الحالة يكون لب الشجرة قد نما بعيداً عن محور الشجرة ويكون شكل مقطع الشجرة بشكل قطع ناقص.

٤- النمو الحلزوني.

٥- شقوق ونتوءات الصقيع: تحدث نتيجة موجات البرد القارص.

٦- الشقوق الموسمية: تنشأ من الجفاف السريع وتكون بمقاسات مختلفة.

٧- الشقوق الحلقية والقلبية: تتعرض الشجرة لقوى عنيفة قبل قطعها نتيجة هزات الرياح والعواصف فتنتج عنها شقوق نصف قطرية تتجه من القلب إلى القشرة وشقوق أخرى حلقية في اتجاه الحلقات السنوية.

٨- العقد: تنمو العقد الكبيرة والصغيرة مع الأخشاب.

١-٦-٧- الأخشاب الصناعية:

إن العيوب التي ذكرت حركت الإنسان للاستفادة من الخشب ذي العيوب فأخذ يحول شكله ويصنعه بشكل آخر لكي يستفيد منه أكثر. وهناك أنواع عديدة من ألواح الخشب المصنع مثل ألواح الخشب المضغوط المصنوعة من النشارة وألواح الخشب المعاكس وألواح مصنوعة من مزيج من كسر الخشب والإسمنت وغيرها من الألواح وصناعة الورق مع إضافات أخرى لا مجال لذكرها.

١-٧- صناعة الورق:

أول من اخترع الورق من الخشب هم الصينيون في سنة ١٠٥م وكانت صناعة يدوية حيث أخذت بعض سيقان الأشجار من منطقة اللحاء وكان على الأغلب في شجر التوت وغيرها، ثم قطعت وغمرت بالماء لمدة أسبوعين لكي تلين هذه القطع ثم قطعت مرة أخرى إلى أصغر من القطع الأولى، ووضعت تحت مدقات خشبية ويضاف لها الماء بين الحين والحين حتى يطحن جيداً وتصبح عجينة وتخزن في وعاء ويضاف لها ماء وغراء، ثم تسكب على قطع صلبة مستوية وتغرس هذه العجينة بالشكل الذي يحدد سمك الورق وقوة تماسكه ثم تجفف بواسطة الشمس ويحصل على الورق أحياناً بإضافة بعض المواد لها مثل طليها بالبيض.

الورق القديم شبيه بالورق الحالي تقريباً والفرق أن عمل العجينة لا يكون بالتعامل الكيميائي كما في السابق حيث أدخلت المواد الكيميائية حديثاً لتسهيل عملية تحويل الأخشاب إلى عجينة بصورة أسرع كما أن المواد الأولية قد ازدادت في الصناعة الورقية الحديثة مثل العنب والقصب والحشائش والقش والألياف النباتية الأخرى.

تعلم العرب صناعة الورق عن الصين بعد فتح العرب مدينة سمرقند عام ٧٠٤م ثم أدخل العرب صناعة الورق في مناطق عديدة من الأقاليم الإسلامية عام ٧٩٥م وأنشئ أول معمل للورق في بغداد. وللعرب الفضل في إدخال صناعة الورق من النباتات والأقمشة البالية وهذا النوع من الورق هو أجود الأنواع

وأكثرها مقاومة لعوامل الزمن وخاصة الورق المصنوع من القماش القطني. وصارت مدينة بغداد مركزاً لصناعة الورق حتى بلغ عدد المعامل ما يقارب المائة معمل.

كان اختراع الطباعة الميكانيكية محفزاً لازدهار صناعة الورق آلياً في العالم وانتشرت صناعة الكتاب في العالم حيث بدأت في القرن الخامس عشر وسار هذا التقدم العلمي والتكنولوجي وأصبحت الطباعة صناعة ومغذيها الورق. والورق الذي يحوي (١٠٠%) سليلوز تقريباً ذو اللون الأبيض يستعمل لطباعة الكتب والمجلات الفاخرة. وكلما زادت نشارة الخشب في المادة الأولية تقل جودة الورق. وأقل الأنواع جودة هو ورق الجرائد الذي يحتوي على (١٥÷٣٠%) من السيليلوز والباقي من نشارة الخشب، ويستخدم أيضاً في صناعة النشرات المؤقتة والكتب ذات الاستعمال الوقتي أو القليل. وهذا يعود إلى وجود مادة الكنين الذي يتأكسد بسهولة بوجود الأكسجين ووجود الضوء حيث تتكون عيوب لونية باصفرار الورق ثم يميل إلى اللون البني بعدئذ وتزداد بذلك المادة الحامضية في تكوينه وبذلك يصبح هشاً ويتكسر بسهولة ويتفتت. الأخشاب تحتوي على العموم (٧٠ %) سليلوز والباقي من الكنين (٣٠ %). وفي حالة الحصول على ورق جيد من الخشب فيمكن التخلص من الكنين من الخشب، وتبقى كمية السيليلوز عالية وهذا ما نراه في الورق الجيد (المستديم) وهذا الورق يحتوي على نسبة لا تقل عن (٩٠%) من السيليلوز، وهذا السيليلوز لا يتفتت بعد صناعته.

الورق المنتج يحتوي على نسبة ضئيلة من الحموضة أو القلويات مثل كربونات الكالسيوم أو المغنيسيوم وزيادة هذه المواد لها تأثير على جودة الورق في أثناء صناعته.

العجينة الورقية هي عملية استخلاص الألياف السيليلوزية من المواد الأخرى الرابطة لها أو الملتصقة بها، وتوجد بشكل عام ثلاث طرائق لاستخلاص هذه الألياف وهي:

١. الطريقة الميكانيكية.
٢. الطريقة النصف كيميائية.
٣. الطريقة الكيميائية.

والطريقة الكيميائية هي المنتشرة في العالم في الوقت الحاضر، وتتم بثلاثة أساليب هي:

أ) الطبخ الحامضي: حيث تستخدم الأكاسيد الحامضية مثل بايسلفايت الصوديوم أو المغنيسيوم وتكون الحامضية بحدود (٣÷٦).

ب) الطبخ القاعدي: باستخدام الصودا الكاوية مع كبريتيد الصوديوم $(NaOH + Na_2S)$ وأثبتت هذه الطريقة جدارتها وذلك لمحافظتها على مكانة الألياف وجودة الإنتاج.

ت) الطبخ المتعادل: باستخدام سلفايت الصوديوم مع كربونات الصوديوم.

الفصل الثاني

المواد النانومترية

٢-١- مفاهيم أساسية:

٢-١-١- ما المقصود بكلمة النانو:

هي في الأصل كلمة يونانية تعني القزم، وتستعمل في مجال العلوم للتعبير عن الجزء من المليار من وحدة القياس، فمثلاً نانو ثانية وحدة لقياس الزمن وكذلك يعني أن نانومتراً الذي يختصر بالحروف اللاتينية بـ (nm) وهو يعادل قياس صف مكون من 13 ذرة من ذرات غاز الهيدروجين في حال وضعت متراصة بعضها بجوار بعض، وتستخدم هذه الوحدة للتعبير عن أبعاد أقطار ومقاييس ذرات وجزيئات المواد والمركبات والخلايا والجسيمات المجهرية مثل البكتريا والفيروسات، إذا أردنا قياس قطر شعرة واحدة من شعر الإنسان فسوف نجد أنه يتراوح بين $(60000-120000)[nm]$ بينما يبلغ قطر كرة من كريات الدم الحمراء $2500[nm]$ وبكتريا الكوليرا $1000[nm]$ ويعادل النانومتر 1 على مليار (أي 10^{-9}) من المتر.

٢-١-٢- علم النانو:

يقصد بعلم النانو ذلك العلم الذي يعتني بدراسة وتوصيف مواد النانو، وتعيين خواصها وخصالها الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية، مع دراسة الظواهر الناجمة عن تصغير أحجام الحبيبات، وتأثيرها في الخواص المختلفة للمادة، وذلك بواسطة أجهزة التوصيف المتقدمة.

٢-١-٣- تكنولوجيا النانو:

يمكن تعريف تكنولوجيا النانو على أنها تلك التكنولوجيا المتقدمة، القائمة على تفهم ودراسة العلوم القانونية تفهماً عقلانياً مع مقدرة التكنولوجيا على تخليق مواد النانو، والسيطرة على هويتها التركيبية والتحكم في بنيتها الداخلية وإعادة هيكلة ترتيب الذرات والجزئيات المكونة لها، بهدف إنتاج مواد قانونية تحمل خواصاً فريدة وجديدة، تختلف تماماً عن خواص المواد التقليدية كبيرة الحجم.

٢-١-٤- المواد النانونية:

هي تلك الفئة من المواد المتقدمة، التي يمكن تحضيرها معملياً أو صناعياً بحيث تتراوح أبعادها من $(0.1\div100[nm])$ حيث تتوافر بها صفات وخصال شديدة التميز، لا يمكن أن توجد مجتمعة في المواد التقليدية، وتعد هذه المواد مواد البناء للقرن الحادي والعشرين، والركن المهم في تكنولوجياته.

لا شك أن تلك الصفات والخواص غير المسبوقة، قد أهلت المواد النانوية لاعتلاء قمة هرم المواد الجديدة وأصبحت قاسماً مشتركاً في الصناعات والتطبيقات المختلفة.

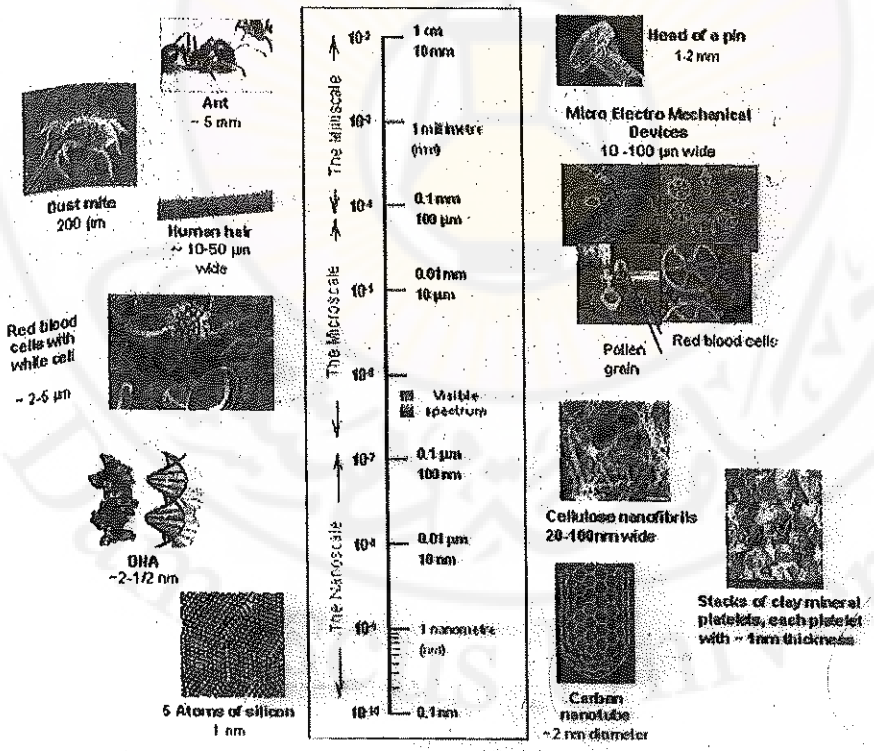
٢-١-٥- مصادر المواد النانوية:

تعد جميع أنواع المواد التقليدية مثل:

١. المواد الفلزية (Metals).
٢. أشباه الموصلات (Semiconductors).
٣. الزجاج (Glass).
٤. السيراميك(Ceramic).
٥. البوليمرات (Polymers).

بمثابة المصادر الأولية التي يمكن استخدامها للحصول على المواد النانوية، ويمتد نطاق المواد النانونية من المواد غير العضوية (Inorganic Materials) إلى المواد العضوية (Organic Materials).

والشكل (٢-١) يمثل أبعاد بعض المواد الطبيعية، والمواد التي صنعها الإنسان وفق مقياس النانومتر والميكرومتر.



شكل (٢-١) أبعاد بعض المواد الطبيعية والمواد المصنعة وفق مقياسي النانومتر والميكرومتر.

٢-٢- خواص المواد النانوية:

تتمتع المواد النانوية بالعديد من الخواص الفردية التي تجعلها في طليعة ومقدمة المواد المتقدمة المستخدمة في التطبيقات التكنولوجية عالية التقانة.

ومن أبرز هذه الخواص:

٢-٢-١- الخواص الميكانيكية:

إن تصغير مقاييس المواد الهادف إلى إنتاج حبيبات نانوية الأبعاد، يؤثر بالإيجاب على كل خواص المادة ويميزها عن مثيلاتها من المواد المناظرة، التي لها نفس التركيب الكيميائي، وتأتي الخواص الميكانيكية على رأس القائمة من تلك الخواص المستفيدة من صغر أحجام الحبيبات.

على سبيل المثال:

ترتفع قيم الصلادة Hardness للمواد الفلزية وسبائكها، وكذلك تزداد مقاومتها Strength لمواجهة اجهادات الأحمال المختلفة المطبقة عليها، ويؤدي تصغير مقاييس حبيبات المواد السيراميكية إلى إكسابها مزيداً من المتانة Toughness وهي صفة لا توجد في المواد السيراميكية المعروفة بقصافتها ومقاومتها للتشكيل، وقد أتى ذلك كله من خلال تصغير حبيبات المادة إلى ما دون (10nm) وقد فتحت تلك الأبحاث وغيرها الباب على مصراعيه أمام فئات جديدة من المواد النانوية، لتوظف في مجالات متنوعة مثل مجال عدد القطع الحادة وأدوات الحفر فائقة الصلادة والمتانة، المستخدمة في حفر آبار البترول والمياه وفي مجال تغطية الأسطح المعرضة للصدأ والتآكل.

وعلى سبيل المثال أيضاً:

تستخدم حبيبات كربيد التيتانيوم وكربيد التنغستين في تصنيع عدد أدوات القطع والحفر، المستخدمة في تقطيع الأجسام شديدة الصلابة والتعامل مع الصخور عالية الصلادة، وذلك بدلاً من استخدام مادة الماس الأسود مرتفعة الثمن، والذي تنخفض خواصه عن خواص هذه المادة النانوية الجديدة.

٢-٢-٢- الخواص الكهربائية:

يؤثر صغر الحبيبات على قدرتها الفائقة على التوصيل الكهربائي، وتستخدم في صناعة أجهزة الحساسات الدقيقة والشرائح الإلكترونية، وتستخدم بكثافة في مكونات الهواتف الخليوية والحاسبات، لأنها خفيفة الوزن وعالية المواصفات ومنخفضة التكلفة.

٢-٢-٣- الخواص المغناطيسية:

تعتمد قوة المغناطيس اعتماداً كلياً على مقاييس أبعاد حبيبات المادة المصنوع منها هذا المغناطيس، فكلما صغرت الحبيبات زادت قوة المغناطيس وفعاليته وشدته، وتعد المواد النانوية أهم مصدر للمغانط فائقة الشدة

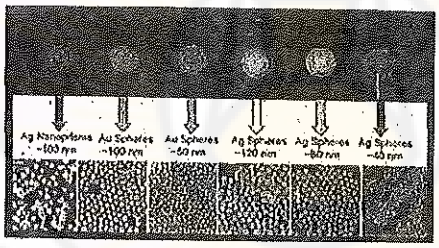
المستخدمة في المولدات الكهربائية الضخمة ومحركات السفن والبواخر العملاقة، وتستخدم في أجهزة الرنين المغناطيسي.

٢-٢-٤- الخواص الكيميائية:

الزيادة الكبيرة في مساحة أسطح الحبيبات النانوية، تؤدي إلى زيادة في النشاط الكيميائي، بسبب وجود عدد ضخم من ذرات المادة على أوجه أسطحها الخارجية، وهذان العاملان يؤثران بشكل كبير في زيادة النشاط الكيميائي، مما يضع المواد النانوية على رأس قائمة المواد المرغوب في استخدامها بالتطبيقات الكيميائية المختلفة، حيث تتفاعل الحبيبات النانوية بقوة مع الغازات السامة والضارة عند حرق الوقود الأحفوري (النفط) مما يرشحها لأن تؤدي الدور الأهم والرئيسي في الحد من التلوث البيئي.

٢-٢-٥- الخواص البصرية:

تختلف خواص المواد النانوية البصرية عن نظائرها من المواد التقليدية كبيرة الحبيبات، حيث تتغير الخواص البصرية للمادة، ومنها التشتيت أو التكسير الضوئي لسطح المادة، فإن اللون المعروف لحبيبات الذهب النقي التي تزيد أقطارها عن (200nm) هو اللون الذهبي الأصفر لكن عندما تصبح أقل من (20nm) تصبح عديمة اللون، أي شفافة، ومع زيادة تصغير الحبيبات تظهر ألوان مختلفة من الأخضر إلى البرتقالي ثم الأحمر، كما هو مبين في الشكل (٢-٢).



الشكل (٢-٢) تغير الخواص البصرية بزيادة تصغير الحبيبات.

٢-٢-٦- الخواص الفيزيائية:

تتأثر قيمة درجة حرارة انصهار المادة بتصغير أبعاد حبيباتها، فإن درجة الحرارة التي يتحول عندها فلز الذهب النقي من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة، تعرف بنقطة الانصهار هي $1064C^{o}$ حيث تكون هناك علاقة طردية بين أبعاد الحبيبات ودرجة الانصهار، حيث تتناقص بتناقص أبعاد تلك الحبيبات تناقصاً ملحوظاً لتصل إلى نحو $500c^{\circ}$ عند وصول أقطار الحبيبات إلى نحو $1.35[nm]$

٢-٣- الطرائق المستخدمة في تحضير وإنتاج المواد النانومترية:

هناك طرائق لتصنيع المواد النانومترية وقد تم تصنيفها إلى طريقتين رئيسيتين، يندرج تحت كل منهما عدد لانهائي من طرائق التصنيع وهما:

٢-٣-١- الطريقة الأولى: طريقة من الأعلى إلى الأسفل (top-down):

حيث تبدأ من مادة كبيرة حتى تصل إلى الشكل والحجم المطلوب، وتقوم على تكسير المواد الكبيرة وتحويلها إلى مواد ذات بعد نانومتري باستخدام بعض التقنيات كالطحن الميكانيكي (milling) أو الحك (الحفر) (etching) أو وسائل كيميائية، مثل بعض الأحماض، وأصغر حجم يمكن الوصول إليه بحدود (100)نانومترية.

٢-٣-٢- الطريقة الثانية: طريقة من الأسفل إلى الأعلى (Bottom-up):

وهي معاكسة تماماً للطريقة السابقة، حيث تبدأ انطلاقاً من الذرات أو الجزيئات، ليتم فصلها عن بعضها ثم تجميعها لتصل إلى مرتبة النانو والحجم والشكل المطلوب، باستخدام التفاعلات الكيميائية أو باستخدام طريقة تبادل المواد (أي مادة تتشكل منها مادة أخرى). وهذه الطريقة هي الأساس والأكثر استعمالاً في علم البنى النانومترية أو ما يسمى بعلم العناقيد.

٢-٤- أشكال مواد النانو:

من الممكن بناء وتصميم مواد النانو على هيئة أشكال مختلفة ومتعددة منها ما يلي:

١. **أنابيب النانو**: عبارة عن أنابيب مجوفة، يبلغ قطر كل أنبوبة أقل من $100\ [nm]$، وقد يصل طولها آلاف النانومترات.

٢. **جزيئات (حبيبات) النانو**: وهي على عدة أشكال ويكون أحد أبعادها أقل من $100\ [nm]$، فقد تكون على شكل كروي أو مكعب.

٣. **الأغشية والرقائق النانونية**: وهي عبارة عن طبقة رقيقة من مادة معينة،يبلغ سمكها أقل من $100\ [nm]$، أما طولها وعرضها فقد يكون بالميكروميتر، وتستخدم في أشباه الموصلات مثل السيليكون وسبائك الذهب.

٤. **النانو المركب (مركب من مواد النانو)**: وينتج من عملية توزيع أو انتشار مواد النانو داخل مواد عادية على سبيل المثال: يتم توزيع ونشر أنابيب الكربون النانونية داخل بعض المواد البلاستيكية، ليتم الحصول على نانو مركب له خصائص فائقة.

٢-٥- الأجهزة المستخدمة لإنتاج المواد النانوية:

١) الميكروسكوبات الإلكترونية:

رجوعاً إلى قدرة العين البشرية للإنسان، مهما بلغت شدة إبصارها، فهي لا تستطيع تمييز وتحديد الأشياء التي تقل عن $1[mm]$ أي $1000000\ [nm]$ بدقة ووضوح كامل.

وحتى الميكروسكوبات الضوئية، التي تقل قوة التكبير فيها عن 1000 مرة، تقف عاجزة أمام تحديد مثل هذه الجسيمات متضائلة الحجم، حيث لا تستطيع تحديد أبعاد الأجسام النانوية التي تقل عن $200\ [nm]$، لذا لم يكن غريباً أن يتم اختراع وسائل ميكروسكوبية متقدمة (الميكروسكوبات الإلكترونية) وتعظيم قدرتها في تكبير الأشياء حيث وصلت الآن إلى نحو 1200000 مرة، وذلك من أجل رصد وتوصيف المواد النانوية وتستطيع تكبير الأشياء الصغيرة جداً، مثل الذرات وتجعلها كهدف واضح لمستخدمي هذه الأجهزة. وعلى الرغم من أنه يمكن استخدام طرق مساعدة وسريعة مثل الأشعة السينية X-ray، غير أن هذه الطريقة التقليدية غير مؤهلة لتحديد الخواص المتعلقة بمقاييس الأبعاد الذرية، وكيفية توزع الذرات داخل الشبكة البلورية للمادة.

لذا تعد الميكروسكوبات الإلكترونية السلاح الأول الذي يلزم توافره في أي معمل من معامل النانوتكنولوجي والذي من دونه لا نستطيع تعيين خواص مهمة ورئيسية لها. وتستخدم شعاعاً عالي الطاقة من الإلكترونات بدلاً من الضوء المستخدم في الميكروسكوبات الضوئية وذلك بهدف تعظيم قدرتها في تكبير الأشياء صغيرة الأحجام والمقاييس.

ومن أنواع الميكروسكوبات الإلكترونية:

١. **الميكروسكوب الماسح الإلكتروني:** Scanning Electron Microscope (SEM)

يستخدم الميكروسكوب الماسح الإلكتروني في تحليل وتعيين خواص أسطح العينات السميكة أو الرقيقة من المادة، ومعرفة شكلها والقيام بتحديد مقاييس أبعادها الخارجية، ويتيح هذا الميكروسكوب قوة تكبير تتراوح عادة بين عشر مرات ونصف مليون مرة وفقاً لنوع الجهاز ودقته وخبرة المستخدم لهذا الجهاز، ومن خلال بعض الإضافات يتمكن هذا الميكروسكوب من تحديد العناصر الداخلة في تركيب العينة ونسبها بدقة جيدة.

٢. **الميكروسكوب النافذ الإلكتروني:** Transmission Electron Microscope (TEM)

يستخدم الميكروسكوب النافذ الإلكتروني شأنه شأن الميكروسكوب الماسح الإلكتروني، حيث يستخدم شعاعاً من الإلكترونيات لفحص واختبار العينات ويتميز الميكروسكوب النافذ الإلكتروني بمقدرته على اختراق العينة التي توضع في مسار الشعاع الإلكتروني القادم من المصدر والنفاذ من خلالها مسقطاً صورتها أفقياً ولضمان نفاذ الشعاع الإلكتروني بنجاح من خلال العينة تعالج من أجل جعلها رقيقة، وله قدرة تكبير تصل إلى مليون مرة مع دقة متناهية تتراوح من $(0.1 \div 0.2)[nm]$ في فحص البنية الداخلية للمادة، وترتيب الذرات داخل شبكتها البلورية ويعد الميكروسكوب النافذ الإلكتروني، الأداة القوية للنانو تكنولوجي في فحص المواد

النانوية، وتعيين مقاييس أبعادها وشكلها المورفولوجي، وتعيين فصيلة انتمائها البلـــوري، كمـــا يوظف هذا النوع في تعيين بعض الخواص الفيزيائية للمادة، مثل نقطة الانصهار، الصلادة، مقاومة الإجهادات، الموصلية الكهربائية ونشاطها الكيميائي، ويمكنه تعيين العناصر الداخلية في تركيـــب المادة النانوية، وتحديد نسبة وجودها بدقة عالية وذلك عن طريق تجهيزها بوحدات طاقة التشتت الطيفي للأشعة السينية.

٢-٦- تطبيقات تكنولوجيا النانو على المواد غير العضوية:

١- التطبيقات ذات الاتجاه الواحد في المجال النانومتري:

الطبقات الرقيقة جداً أو ما يسمى بالأغشية، والأسطح، والطبقات -- المواد النانومترية الأحادية الاتجاه مثل الطبقات الرقيقة جداً والسطوح الهندسية قد تم تطويرها واستخدامها في مجالات تصنيع الأجهزة الإلكترونية والهندسية والكيميائية. كما أصبحت عملية السيطرة والتحكم في سماكات الطبقات المنتجة الرقيقة جـــداً والتي تقترب سماكتها من المستوى الذري عملية بسيطة، وحيث يمكن أيضاً التحكم بنعومة الأسطح المطلوبة من خلال تطبيق العلم النانومتري.

٢- التطبيقات ثنائية الاتجاه في المجال النانومتري:

ولّدت المواد النانومترية مثل الأنابيب والأسلاك اهتماماً كبيراً في الصناعات الهندسية والبحوث العلميـــة في السنوات الأخيرة وخاصة خواصها الميكانيكية والإلكترونية.

١. **الأنابيب النانومترية الكربونية (CNTS)** : تم اكتشاف الأنابيب النانومترية الكربونية في عام ١٩٩١ وهي عبارة عن أنابيب ممتدة لصفائح ملفوفة، وهناك نوعان من الأنابيـــب النانومتريـــة الكربونية- الأنبوب المفرد (أنبوب وحيد) أو الأنبوب المتعدد (عدة أنابيب متحـــدة المركـــز)، ويتراوح قطر كل من النموذجين بين عدة نانومترات أي لغاية (40) نانومتر وطول يصـــل إلى عدة ميكرونات. وقد اتخذت الأنابيب النانومترية الكربونية دوراً هاماً في علم المواد النانومتريـــة وذلك بسبب خواصها الكيميائية والفيزيائية الجديدة، ومن أهم ما يميـــز الأنابيـــب النانومتريـــة الكربونية هي الصلابة الميكانيكية حيث تبلغ صلابتها كالألماس، ومرنة حول محورها وتعتبر نواقل جيدة للتيار الكهربائي والتوصيل الحراري- هذه الخواص تجعل منها مواد متعددة الاستعمالات: كاستخدامها في صناعة الطائرات والمركبات الفضائية والاتصالات ونظام عدســـات الكـــاميرا بالهواتف المحمولة وغيرها.

٢. **الأنابيب النانومترية اللاعضوية**: هي مواد تعتمد على مركب قابل للانفصال مثـــل كربيتيـــد المولبيدم، وتمتلك هذه الأنابيب النانومترية اللاعضوية خواصاً تزيتية عالية ومقاومة لتأثير موجـــة

الاهتزاز وفاعلية محفزة وقدرة عالية على الاتحاد مع الليثيوم والهيدروجين وهذا ما يدعم مدى واسع من التطبيقات مثل محفزة للتفاعلات الكيميائية أو كمخزنات للطاقة.

٣. **الأسلاك النانومترية:** هي عبارة عن أسلاك ناعمة جداً قطرها قد يقل عن نانومتر واحد وبأطوال مختلفة أو يمكن القول أنها صفوف خطية من النقاط. وتصنع هذه الأسلاك من مدى واسع من المواد. ويمكن صناعتها من السيليكون ونتريد الجاليوم وفوسفيد الأنديوم وتظهر هذه الأسلاك خواصاً بصرية ومغناطيسية وكهربائية رائعة (على سبيل المثال، فإن أسلاك السليكا النانومترية تكسر أشعة الضوء بزوايا صغيرة جداً). تستخدم الأسلاك النانومترية في التطبيقات التي تتطلب تخزين البيانات عالية الكثافة كما في الرؤوس القارئة المغناطيسية وفي الأدوات النانومترية الإلكترونية والإلكتروبصرية. يتم تحضير هذه الأسلاك اعتماداً على تقنيات النمو المتطور والتي تتضمن عمليات التجميع الذاتي – حيث تقوم الذرات بترتيب نفسها طبيعياً على السطوح المدرجة.

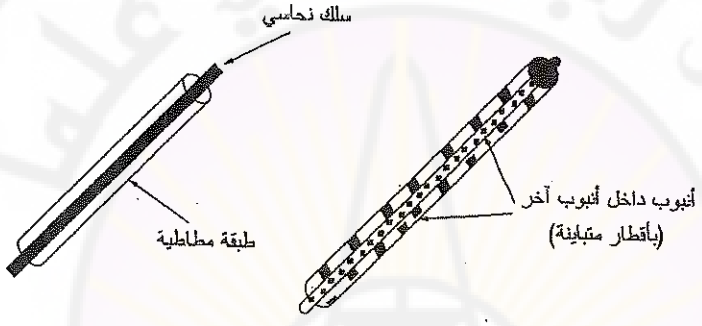
٤. **الألياف النانومترية:** تم اكتشاف العديد من أشكالها كالألياف السداسية والحلزونية والألياف الشبيهة بحبة القمح. وقد لاقت هذه الأشكال اهتماماً كبيراً في التطبيقات الصناعية، إن الجزء الجانبي لليف نانوي أنبوبي له شكل سداسي، وليس أسطوانياً. ومن أشهر الألياف النانوية تلك المصنوعة من ذرات البولميرات. إن نسبة مساحة السطح إلى الحجم كبيرة في حالة الألياف النانوية، كما للأنابيب النانوية، حيث عدد ذرات السطح كبير مقارناً بالعدد الكلي، وهذا يكسب تلك الألياف خواصاً ميكانيكية مميزة كالصلابة ومقاومة للشد وغيرها. حيث يتم استخدامها كمرشحات في تنقية السوائل أو الغازات وفي زراعة الأعضاء وغيرها.

٢-٧- أنابيب النانو الكربونية وحيدة الطبقة:

منذ عصور نجح العلماء في اكتشاف الكثير من الأشياء الموجودة في الطبيعة بفضل ابتكار الأدوات العلمية الجديدة والدقيقة. وفي ضوء هذا، كانت تكنولوجيا النانو نتاج الأبحاث المباشرة أو التطبيقية.

ويرى كثير من الباحثين أن استخدامات تكنولوجيا النانو تفوق إلى حد بعيد استخدامات كرات الكربون (الفلورينات). وتجدر الإشارة هنا إلى أن الأبحاث التي تتناول الخصائص الارتباطية التي تميز أنابيب النانو الكربونية وحيدة الطبقة تعد غاية في الأهمية نظراً لأنها تتيح الفرصة للتعرف على بنيتها الأساسية وكيفية حدوث التفاعلات عند مستوى النانو. وعليه، فإن استيعاب كيمياء أنابيب النانو الكربونية وحيدة الطبقة في تكوين مركبات فلزية للتحكم في كيمياء انتقاء المواقع خلال عملية التصنيع.

وقد اهتم الباحثون بالتعرف على أسلوب تخليق أنابيب كربونية طويلة ومتماثلة. وقد توصل العلماء بأن هناك إمكانية كبيرة لتغيير الأساليب التقليدية لانتقال الطاقة عن طريق أنابيب الكربون. ووجد أن هذه الأنابيب يمكن أن توصل الكهرباء بكفاءة عالية اعتماداً على جزء من وزن الأسلاك المعدنية دون التضحية بقوة المادة ومتانتها، حيث من المتوقع أن يتمكن العلماء من إدخال أنبوب داخل آخر لتكوين سلك له طبقة خارجية عازلة وطبقة داخلية موصلة. ونظراً لأن خواص أنابيب الكربون تعتمد على الحجم، يمكن تعديل القطر وباقي الأبعاد. وعلى عكس المواد كبيرة الحجم، فإن الخواص هنا غير مرتبطة ببعضها كيميائياً، وإنما ما يربطها ببعضها بعضاً الهندسة الفيزيائية. يوضح الشكل (٥-٥) مقارنة بين وضع أنبوب كربوني داخل آخر والسلك النحاسي العادي.



شكل (٢-٣) مقارنة استخدام أنابيب الكربون كأسلاك ذات قدرة فائقة على توصيل الكهرباء وسلك نحاسي عادي.

٢-٨- قضبان النانو:

تتكون قضبان النانو (Nano-rods) من السليكون وبعض المعادن (مثل التيتانيوم والقصدير والزنك) وأشباه موصلات ومواد عازلة أخرى. وحسب المادة الأولية المستخدمة، فإن هذه القضبان متناهية الحجم تتميز باختلاف خصائصها الإلكترونية والبصرية والميكانيكية والتي تستغل في العديد من التطبيقات كالإلكترونيات والمجسمات والمكونات البصرية ووحدات العرض المرئي والمركبات المتبلمرة وأجهزة وحدات التشغيل.

تتكون قضبان النانو عادةً في مرحلة البخار (مثل التبخر والتكثيف) أو خلال التفاعلات الكيميائية الرطبة (التي تتم في الماء). ومع هذا، يمكن تخليقها صناعياً على طبقات هلامية تحتية باستخدام ترسيبات الهجرة الكهربائية (ويتم ذلك عن طريق سحب مزيج من المواد خلال مادة هلامية في وجود تيار كهربائي) ودرجة حرارة مرتفعة لازمة لعملية التبلور.

بعد تكوّن هذه القضبان النانوية، يمكن أن تتجمع من تلقاء نفسها، لتتحول في النهاية إلى مواد نانو وتراكيب أكبر تتميز بسطحها ذي القدرة الفائقة على التفاعل.

a- مساحة السطح:

-في حقيقة الأمر، قد تجد نفسك قادراً على تقسيم كتلة المعدن لتحصل في النهاية على15-10 قطعة منها.

b-ميكانيكا الكم

كلما تضاءل حجم الأجسام، تغيرت الميكانيكا الفراغية التي تتحكم في قوانين " نيوتن " والجاذبية. وهنا، تتولى ميكانيكا الكم السيطرة.

ميكانيكا الكم: هي نظرية فيزيائية تتناول الخصائص الجوهرية للمادة عند مستويات متناهية الصغر. وتتحرك العديد من جسيمات وتراكيب النانو حسب هذه القوانين النظرية.

اكتشف العلماء آثار المواد متناهية الصغر التي لا تظهر عند العمل مع المواد كبيرة الحجم. لهذا السبب، نجد الجميع يهتم بتكنولوجيا النانو، إذ إنها تتيح فرصة علمية جديدة تماماً.

وهناك مثال مأخوذ من عالم الأحياء والفيزياء. ففي منتصف تسعينيات القرن الماضي، أخذ الباحثون جسيمات سليكا كروية فائقة الضآلة (وهي تشبه حبيبات الرمل ولكنها أصغر حجما) والتي يتراوح قطرها ما بين٢٠ إلى ٣٠ نانومتر، ثم أضافوا إليها طبقة من جسيمات الذهب متناهية الصغر. سميت السليكا المغلفة بطبقة من الذهب باسم الطبقة البلورية النانوية (nanoshell).

وجدير بالذكر أنه يمكن التحكم في حجم لب الطبقة البلورية وسمك عنصر الذهب. وقد وجد الباحثون أن الطبقة البلورية حين تعكس الضوء، يتغير لونها مع تغير حجمها. فمعامل الانعكاس يصير باللون الأحمر أو البنفسجي أو الأخضر حسب سمك الطبقة وحجمها.

إذا تم تخليق الطبقة البلورية النانوية بشكل سليم، فستمتص حبيبات الذهب الأشعة تحت الحمراء. وهذا اكتشاف مهم آخر في مجال علم النانو .بما أن الأشعة تحت الحمراء قادرة على اختراق الأنسجة بعمق ٥ بوصة تقريباً. وقد فتح هذا المجال أمام العديد من التطبيقات الطبية في مختلف التخصصات. وخاصة باكتشاف الأمراض الخبيثة والقضاء عليها باستخدام تكنولوجيا النانو.

c- التصنيع:

تتيح تكنولوجيا النانو ابتكار وسائل جديدة للتصنيع. ففي مستهل القرن العشرين، كان تصميم الدوائر الكهربائية والمواد الدقيقة أمراً غاية في الصعوبة والتعقيد ويتطلب دقة متناهية في معامل فائقة النظافة. ومع هذا لم يكن المنتج النهائي بالكمال المتوقع منه.

حاول العلماء والمهندسون اقتحام عالم تكنولوجيا النانو بهدف تصميم آلات تتميز بصغر حجمها وسرعة أدائها وتتمتع بقدرة تخزينية عالية. يسمى هذا النوع من التصنيع بطريقة التصنيع من أعلى لأسفل، ويعني البدء باستخدام مواد تتميز بحجمها الكبير لتكوين أجهزة بالغة الصغر. وذلك أشبه بعمل النحات الذي يبدأ

عمله بتشكيل تمثال مستخدماً كتلة كبيرة من المرمر. هذا ما تقوم به تكنولوجيا النانو إلى حد ما في عالم التصنيع. فالعلماء يستغلون الذرات الموجودة بالفعل في الطبيعة (كصور أساسية من المادة)، ثم يقومون بتحريكها مكونين أشكالاً مفيدة يمكن استخدامها تتيح لنا تكنولوجيا النانو في العصر الحالي تخليق المواد من الصفر، أي تخليق المواد جزيئاً بعد جزيء أو ذرة بعد ذرة.

d- المنتجات:

ليست كل استخدامات تكنولوجيا النانو تقتصر على الاستخدام في المستقبل فحسب، إذ تعمل جهات التصنيع في الوقت الحالي على تطوير المنتجات القديمة باستخدام خصائص تكنولوجيا النانو الجديدة التي تتعدى خصائص المواد كبيرة الحجم. يستطيع العلماء إطالة فترة صلاحية المنتجات وقدرتها على التحمل عن طريق التحكم في المواد على المستوى الجزيئي.

إن العديد من المنتجات الموجودة في الأسواق اليوم تعتمد على تكنولوجيا النانو أو تحتوي على جسيمات النانو. فعلى سبيل المثال، لم يعد لون كريمات الوقاية من الشمس أبيض كي لا يصبح شكل مستخدمه مضحكاً، وإنما صارت تنتج اليوم بلون شفاف ويمكن رشها على البشرة. تتكون هذه الكريمات من مواد كيميائية بالغة الصغر (ثاني أكسيد التيتانيوم وأكسيد الزنك) تعمل مساحة سطحها على انحراف الأشعة فوق البنفسجية الضارة. وهي تقوم بالعمل نفسه التي كانت المنتجات الأولى تقوم به، ولكنها لا تشتت الضوء المرئي وليس لها اللون الأبيض اللامع.

وثمة أمثلة أخرى لمواد النانو، منها: السليكا متناهية الصغرالمستخدمة كحشو للأسنان، وفتائل النانو المستخدمة في صناعة الأقمشة المقاومة للبقع. وجدير بالذكر أن إحدى الشركات الغربية التي أنتجت من قبل أقمشة سراويل معتمدة على تكنولوجيا النانو قد قامت بابتكار طبقات طلائية تلتصق بالأقمشة عند مستوى دون الميكرو (أو الميكرو متر)، الأمر الذي أدى إلى تقليل كمية المواد الكيميائية اللازمة لتنظيف الأقمشة وجعل جميع ألياف القماش قادرة على مقاومة البقع. هذا، ويستعين أكثر من ٨٠ مصنعاً للغزل والنسيج في جميع أنحاء العالم بتكنولوجيا النانو في تصنيع أقمشة أو قطع أثاث تحمل أسماء علامات تجارية عالمية.

إن الفائدة العظيمة التي تعود على الإنسان من استخدام الأقمشة المعالجة بتكنولوجيا النانو هي أن الأقمشة تصبح مقاومة للبقع النافذة. وبالتالي، فبدلاً من محاولة إزالة البقع بعد أن يمتصها القماش، يمكن منع البقع من الالتصاق بألياف القماش من البداية. قد يؤدي ذلك في المستقبل إلى الاستغناء عن غسالات الملابس تماماً.

ثمة منتج مترلي جديد يحافظ على نظافة أسطح الأثاث. يستعين هذا المنتج بثاني أكسيد التيتانيوم متناهي الصغر. تماماً مثل كريمات الشمس الجديدة، ويحفز عملية تحلل المواد العضوية. بمعنى آخر، يساعد هذا المنتج على عدم التصاق الأتربة والغبار بالنوافذ وأسطح الأثاث. إن النوافذ وزجاج السيارات الأمامي وحتى

عدسات النظارات يمكن معالجتها بتكنولوجيا النانو الجديدة باستخدام المنتجات المقاومة لالتصاق الأتربة والتي ستقوم بمهمة التنظيف الذاتي، مما سيوفر على المرء بذل الجهد ويتيح له الفرصة للاستمتاع أكثر بوقته. تقودنا هندسة الأسطح والطبقات فائقة الصغر إلى تصنيع منتجات تتمتع بخصائص ميكانيكية وترطيبية (تخفض التوتر السطحي للسائل) وحرارية وبيولوجية وإلكترونية وبصرية وكيميائية أفضل بكثير من الماضي، ومن هذه الخصائص ما ندرجه في القائمة التالية:

- تجنب الخلل الذي قد يصيب الآلات والمعدات نتيجة لكثرة التشغيل.
- وقاية المواد الضعيفة (البوليمرات والأخشاب والمنسوجات)
- إنتاج أنواع من الطلاء مقاومة لالتصاق الأوساخ.
- إنتاج أغشية تقوم بعملية التنظيف الذاتي للمنسوجات والخزفيات.
- وقاية الآلات والمعدات من التآكل.
- مقاومة التوربينات والمحركات للحرارة.
- عزل حراري بالنسبة للمعدات ومواد البناء.
- زراعة أنسجة متوافقة بيولوجياً (لا يرفضها الجسم).
- إنتاج ضمادات للجروح وأدوات طبية مقاومة للبكتريا.
- مكونات غاية في الصغر تستخدم في الترانزستور.
- ابتكار ذاكرة تخزينية للبيانات وبحسات مقاومة للمغنطة.
- نوافذ فوتوكرومية وكهروكرومية.
- شاشات عاكسة للأشعة.
- خلايا شمسية تتميز بصغر حجمها ودقة أدائها.

٢-٩- بلورات النانو

إن بلورات النانو (Nano-crystals) عبارة عن كتل ذرية متراكمة. وهي تتسم بكبر حجمها عن الجزيئات (إذ يبلغ قطرها ١٠ نانومتر تقريباً)، حيث إنها ليست بحجم المواد الكبيرة. وعلى الرغم من تغير الخواص الفيزيائية والكيميائية لبلورات النانو، فإن من أهم فوائدها التي تميزها عن المواد الكبيرة هو أن حجمها وسطحها يمكن التحكم فيه بدقة بالغة، وكذلك الحال مع خصائصها، ومثال على ذلك البلورات الكمية (وهي نوع من أنواع بلورات النانو). يستطيع العلماء التحكم في شحنة بلورات النانو وتفكيك تركيبها البلوري، بل والتحكم كذلك في نقطة انصهارها.

نجح العلماء في تخليق بلورات النانو بإضافة مساحيق شبه موصلة إلى أغشية غروية يطلق عليها المنشطات السطحية (المنشط السطحي أو Surfactant) هو عامل خافض للتوتر السطحي). وقد نجح هذا الفريق

في تخليق مزيج من البلورات باستخدام مجموعة مختلفة من هذه المواد. تتمثل فائدة المنشطات السطحية في قدرتها على التفاعل مع المساحيق شبه الموصلة لإنتاج بلورات نانو متفاوتة الأشكال (كالقضبان بدلاً من الكرات).

المنشط السطحي (مثل المنظفات) هو مادة تضاف إلى سائل لزيادة خصائص الانتشار عن طريق تقليل توتر السطح.

يفتح هذا الأسلوب في تخليق بلورات النانو شبه الموصلة في شكل قضبان ثنائية الأبعاد الطريق أمام العديد من التطبيقات، كما يبين مدى أهمية التحكم في نمو البلورات عند تغيير الحجم أو الشكل. وعلى الرغم من صعوبة تغيير الشكل، فإنه لمن الممكن أن يؤدي تفاعل الذرات مع العديد من المنشطات السطحية فتستطيل وتأخذ شكلاً له أوجه كالقضيب لاستغلال مساحة السطح بأكملها.

يوضح الشكل (٢-٤) بلورات النانو.

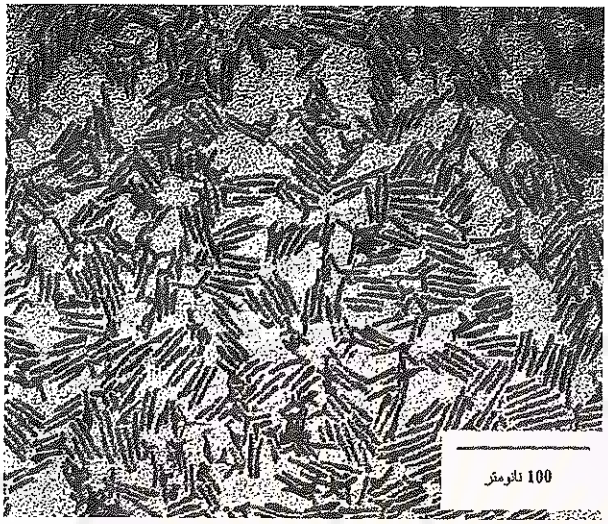


شكل (٢-٤) جسيمات الكوارتز البلورية بمقياس النانو

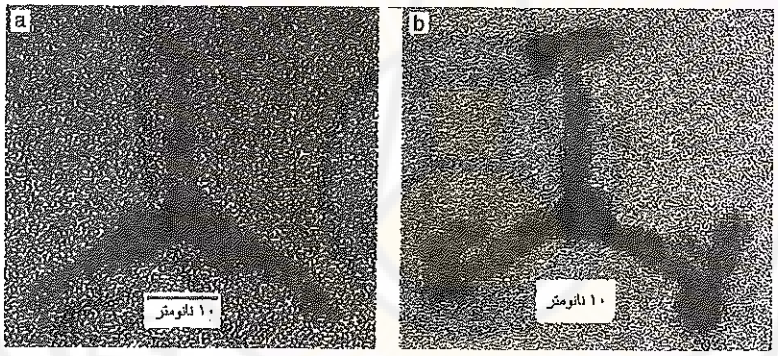
أظهرت الأبحاث العلمية أن الفجوة بين طاقتي الانبعاث والامتصاص كبيرة في حالة بلورات النانو القضبية عنها في حالة بلورات النانو الكروية. وبالتالي، من شأن هذا التطبيق أن يسهم في تطوير الصمامات الثنائية الباعثة للضوء (LEDS) في حين كانت عملية إعادة امتصاص الضوء في الماضي تمثل مشكلة كبيرة. وبما أنه يمكن تجميع قضبان النانو ورصها إلى جوار بعضها بعضاً -انظر الشكل (٢-٥)- فهي تستطيع كذلك العمل بنجاح مع الصمامات الثنائية الباعثة للضوء وفي الخلايا الفولتية الضوئية.

إضافة إلى هذا، يمكن تغيير ظروف تخليق بلورات النانو ومعدلات نموها لتأخذ شكل قطرات المياه أو رؤوس الأسهم. ويبين الشكل (٢-٦) شكل بلورات نانو رباعية الأطراف. وعلى الرغم من عدم وجود استخدامات لهذه الأشكال في وقتنا الراهن، فستكون لها فائدة كبيرة في المستقبل. فمثلاً، نظراً لأن بلورات

النانو رباعية الأطراف تعتمد دائماً على ثلاثة أذرع مع إطالة الذراع الرابعة، فقد اقترح بعضهم استخدامها كموصلات لإلكترونيات النانو الجديدة.



شكل (٢-٥) تكوين قضبان النانو



شكل (٢-٦) بلورات نانو رباعية الأطراف.

٢-١٠- البلورات الكمية:

البلورات الكمية (quantum dots) عبارة عن جسيمات نانو شبه موصلة تقوم بحبس الإلكترونات في مساحات صغيرة. وهي تحتوي على شحنة واحدة وتنبعث منها ألوان ضوئية متباينة حسب حجمها ومستويات الطاقة الخاصة بها. تتأثر مستويات الطاقة بتغيير الحجم والشكل وجهد الشحنة. وجدير بالذكر أن تباعد مستويات الطاقة والألوان يرتبطان ببعضهما بعضاً (فهما يبدوان بلون معين نظراً لأن الطاقة المنبعثة لها طول موجي مرتبط بهما في الجزء المرئي من الطيف). يؤدي تغيير حجم البلورات الكمية إلى تغيير تباعد مستويات الطاقة، الأمر الذي يؤثر بدوره على اللون المرئي للمحاليل. ويعتبر تغير اللون المرتبط بتغير حجم الجسيم خاصية تنفرد بها تكنولوجيا النانو.

البلورات الكمية عبارة عن بلورات نانو شبه موصلة وغير عضوية، حجمها الإجمالي يقل عن أو يساوي ١٠ نانو متر.

كما يحدث في حالة الذرات، يمكن دراسة مستويات طاقة البلورات الكمية باستخدام أساليب التنظير الطيفي المتقدمة. وبسبب الخواص البصرية التي تميز البلورات الكمية، لا يمكن للعين المجردة أن ترى الأحجام المتباينة لهذه البلورات (ونسبة امتصاص ألوانها أو طولها الموجي)، بيد أنه يسهل رؤية لون محلولها.

على الرغم من أن تركيب البلورات الكمية يمثل أهمية كبيرة، فإن لونها مرتبط بحجمها. فكلما كبر حجم البلورة، ظهر تألقها أكثر ناحية اللون الأحمر من طيف الطول الموجي للضوء. وكلما صغر حجمها، كان ظهورها باللون الأزرق. وهذا مرتبط بظاهرة تباعد مستويات الطاقة التي تحدثنا عنها منذ قليل. ويرى بعض الباحثين أن شكل البلورات الكمية يتحكم كذلك في لونها. إلا أن ذلك لم يتأكد بعد.

- **العلامات البيولوجية**

من التطبيقات الأخرى المتقدمة التي تعتمد على البلورات الكمية إمكانية استخدام علامات الفلورة (علامات التألق) الصناعية لاكتشاف الأورام بالاعتماد على التنظير الطيفي التألقي في أثناء إجراء العمليات الجراحية.

سبق وأوضحنا أنه من اليسير التحكم في البلورات الكمية وتعديل شكلها. ويؤدي الحجم هنا دوراً مهما. فكلما زاد حجم البلورة واقتربت من اللون الأحمر (في الطيف الضوئي)، قلت فرصة تعديل الخصائص الكمية. وكلما صغر حجمها، سهل إلى حد ما استغلال التغيرات الكمية.

يعتمد الباحثون الصيادلة والأطباء على تعديل خصائص البلورات الكمية عند التصنيف البيولوجي لتكون بمثابة علامات بيولوجية (مثل الأجسام المضادة الملتصقة ببروتينات معينة). حين يمتص الغشاء الخلوي البلورات الكمية، تصبح هذه البلورات قادرة على تصنيف بعض الأجزاء داخل الخلية. بل والأفضل من ذلك أن لمعان ألوان البلورات الكمية لا يزول مع مرور الزمن، الأمر الذي من شأنه تحسين التصوير الفلوري لمساعدة الباحثين في تحليل الخلايا والكشف عن أسرارها.

علاوة على ما سبق، يمكن استخدام بلورات النانو لتكون بمثابة مجسات أو مسابير وعائية مهمتها تصوير الأوعية ونقل الدواء اليها. ويجدر أن نذكر هنا أن فريقاً من العلماء في مجال الهندسة الحيوية قد قام بالبحث في استخدامات البلورات الكمية داخل الكائن الحي. وأثبتت أبحاث هذا الفريق أن بلورات النانو المستقرة والقابلة للتعديل إذا غلفت بطبقة من الببتيد موجهة للرئة، يمكن استخدامها في استهداف أنسجة الرئة بالدواء المجرب. كما أن هناك نوعين آخرين من الببتيدات نجحا في تحريك بلورات النانو باتجاه الأوعية الدموية والليمفاوية لأحد الأورام. إن كل هذه الاكتشافات تجعل العلاج بالأدوية الموجهة باستخدام جسيمات النانو أمراً ممكناً.

من الواضح أن التقدم في مجال التصوير بتكنولوجيا النانو من شأنه إحداث تطور حقيقي في تشخيص الأمراض وعلاجها. فيمكن تركيب أجهزة تنبعث منها الأشعة فوق البنفسجية عند طرف مسبار ليفي بصري لعلاج الأعضاء الداخلية التالفة باستخدام الأشعة فوق البنفسجية المباشرة. ثمة أجهزة أخرى تعتمد على الأشعة فوق البنفسجية يمكن استعمالها في التطبيقات البيئية مثل المواد المتفاعلة التي تدمر الكائنات العضوية الملوثة أو تقضي على النفايات العضوية السامة.

- أدوات التحليل:

تعتبر أدوات التحليل كذلك غاية في الأهمية عند الحصول على مواد نانو ذات خصائص دقيقة (مثل مكونات أجهزة الكومبيوتر). وعلى الرغم من أن العلماء قد درسوا مصفوفة بلورات النانو باستخدام ميكروسكوبات التصوير الذري التي تقوم بمسح الأسطح فإن هناك وسائل أخرى كثيرة يمكن الاستعانة بها. نجح بعض الباحثين في ابتكار وسائل تصوير جديدة فائقة الحساسية. على سبيل المثال، تمكن ميكروسكوب الأنجستروم الواحد (ميكروسكوب One Angstrom والمعروف اختصاراً باسم OAM) من تحقيق أعلى درجة دقة وضوح لمواد النانو وتساوي ٠,٨ أنجستروم (أو يمكن القول أنها أقل من أو تساوي ٠,١ نانومتر).

تستطيع درجة دقة الوضوح التي يحققها ميكروسكوب الأنجستروم الواحد أن تعرض الأجزاء المختلفة ببلورات النانو المتعددة في صورة واضحة ثلاثية الأبعاد. إضافة إلى هذا، فهذا الميكروسكوب قادر على توضيح الصور السيئة التي تلتقطها الميكروسكوبات العادية بدرجة دقة وضوح عادية. وبذلك، يمكن التوصل إلى اكتشاف المزيد من المعلومات عن العينة باستخدام الكمبيوتر عن طريق الجمع بين عدة صور مختلفة للعينة نفسها والتي يلتقطها هذا الميكروسكوب. بمعنى آخر، يستطيع هذا الميكروسكوب توضيح أدق تفاصيل الصورة.

- الإحصاء الكمي

تعتبر البلورات الكمية قفزة تكنولوجية هائلة بالنسبة لعملية الإحصاء الكمي المعتمد على أجهزة الكمبيوتر (quantum computing) للأجسام الصلبة.فعن طريق توجيه جهد كهربائي إلى كابل إلكترود اللحام، يمكن التحكم في تدفق الإلكترونات عبر البلورات الكمية، مما سيسهل على العلماء عملية قياس الدوران الإلكتروني والخصائص المرتبطة به. وعليه، قد يأتي يوم نتمكن فيه من تخزين البيانات وإجراء الحسابات اعتماداً على الظواهر والخصائص الكمية.

على عكس الأجهزة الإلكترونية التي تعتمد على شحنات الإلكترونيات في نقل الإشارات، يعتمد الإحصاء الكمي المعتمد على أجهزة الكمبيوترعلى الدوران الإلكتروني أو استقطاب الضوء. الأمر الذي يسرع من تنفيذ العمليات وتقليل الفاقد من الطاقة في نظم الكمبيوتر.

السبائك

استطاع المهندسون وعلماء المواد منذ أمد بعيد إنتاج السبائك التي تتميز بالصلابة الشديدة، وذلك قبل اكتشافهم لتركيب المادة. في البداية، تتعرض المكونات المعدنية المختلفة للحرارة حتى تنصهر وتمتزج معاً ، ثم تترك السبائك لعدة أيام حتى تبرد وتتصلد مكونة سبيكة أكثر صلابة ومتانة.

جدير بالذكر أن التصلد بالترسيب (تصلد يحدث بسبب ترسيب مكون ما من محلول متجمد زائد التشبع) يعد غاية في الأهمية في صناعة الطائرات. وقد أثبتت التجارب في العصر الحديث أن المحرك الذي اعتمد عليه العلماء سابقاً في الطيران كان مصنوعاً من عنصري النحاس والألمنيوم المصلدين بالترسيب قبل شيوع استخدام هذه السبائك في الطائرات بسبع سنوات.

وعلى الرغم من أن هذه المواد المترسبة لا يزيد حجمها عن بضعة نانومترات، فإن تركيبها البلوري، وشكلها وطريقتها في تصليد السبيكة يمكن رؤيته تحت الميكروسكوب الإلكتروني النافذ (TEM) وبالتحليل الشامل من خلال أجهزة الكمبيوتر.

استعان الباحثون بخصائص هذه الجسيمات بالغة الصغر في اختراع سبيكة جديدة من الألمنيوم والنحاس الأحمر والجرمانيوم والسليكون لاستخدامها في صناعة الطائرات والسيارات.

هذا، وتتمتع السبيكة الجديدة بكثافة توزيع أكبر لمواد مترسبة غاية في الدقة ذات تركيبين مختلفين. تتميز السبيكة الجديدة عن الألمنيوم ٢٢١٩ بكونها أكثر متانة واستقراراً، كما أنها أكثر كفاءة عنه فيما يتعلق بالطاقة.

قام العلماء بفحص التركيب الذري لمواد النانو المضافة إلى الأجسام الصلبة باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني، الأمر الذي مكنهم من تجميع كمية كبيرة من المعلومات المتعلقة بكيفية التحكم في المواد عند مستوى النانو.

مركبات النانو

تمثل المواد والعمليات التي تستخدم لفصل جسيمات النانو في المواد اللدائنية أو المعدنية أو الخزفية جزءاً مهماً من تكنولوجيا مركبات النانو. ويتمثل أكبر استخدام لها في تكوين مركبات حبيبية بأبعاد قريبة من مقياس النانو، محققة بذلك متانة أكبر بسبب الزيادة الكبيرة في مساحة السطح.

تمتزج بعض جسيمات النانو الطفيلية بغيرها من المواد لتكوين مركبات النانو. وتتألف هذه الجسيمات الطفلية من المونموريونيت (المونموريونيت أو montmorillonite هي معادن طينية لينة من السيليكات تنتفخ عند امتصاصها السوائل)، وتستخدم لتلوين الورق وفي مستحضرات التجميل. إضافة إلى ما سبق، يعتمد الباحثون على هذه الأنواع المعدلة من المعادن الطينية عند إنتاج مركبات النانو.

مركبات النانو عبارة عن مجموعة جديدة من المواد المعدلة التي تتألف من مواد نانو طفلية منقاة بدرجة عالية يتم مزجها لتكوين مزيج المواد اللدائنية أو الخزفية.

تتيح أدوات وتقنيات تكنولوجيا النانو المتقدمة – بالإضافة إلى أساليب معالجة تراكيب النانو والجزيئات المنفردة وتنشيطها- الفرصة أمام علماء المادة لاكتشاف الكثير من الإمكانيات. وما زال هناك المزيد من الاكتشافات المهمة التي سيتمكن الإنسان إلى التوصل إليها باستخدام المواد المهجنة أو مركبات النانو (بالمزج بين الأنظمة البيولوجية والحيوية وغير العضوية المختلفة في بناء واحد متكامل)، إن مركبات النانو تستعين بجسيمات النانو الطفلية لزيادة متانة الأجسام وصلابتها. لهذا السبب، استخدمت هذه التقنية في صناعة هياكل السيارات وسلالم صعود عربات الشحن.

حلقات النانو الذهبية

أثبت الباحثون أنه عند تشكيل حلقة ذهبية بنصف قطر يبلغ نحو ٦٠ نانومتر، فإنها تكتسب خصائص مميزة تجعلها أداة مفيدة لإجراء التحارب عند مستوى النانو. وتمثل هذه التحارب أهمية كبيرة بالنسبة للكيمياء الحيوية والشركات الدوائية عند إنتاج دواء جديد.

تعتبر جسيمات النانو الفلزية غاية في الأهمية، حيث أنها تقوم بامتصاص وإصدار أنواع معينة من الأشعة الضوئية بكفاءة عالية، حسب حجم الجسيم وشكله. في الآونة الأخيرة، أكد العلماء أن حلقات النانو الذهبية تتسم بخصائص بصرية وكهرومغناطيسية مميزة يمكن تعديلها بتغيير النسبة بين نصف قطر الحلقة وسمك الجدار.

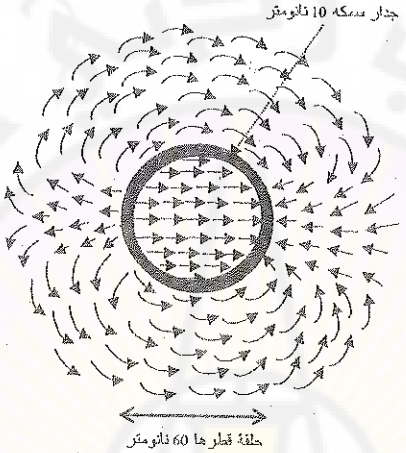
حين تسلط الأشعة الضوئية على حلقة النانو الذهبية، ينتج عن ذلك مجال كهرومغناطيسي اهتزازي قوي (تحت الأشعة تحت الحمراء القريبة) داخل الحلقة وحولها.

حين تسلط الأشعة الضوئية على الحلقة، فإنها تقوم بذلك باستثارة إلكترونات الفلز مكونة موجة تتذبذب بشكل معين حسب الطول الموجي للضوء وخصائصه الهندسية. ولتوضيح الصورة في الأذهان، تخيل الرياح وهي تصطدم بسطح بحيرة صغيرة، ستجد أن حركة الأمواج فيها تعتمد على سرعة الرياح وحجم البحيرة وشكلها.

هذا، وقد نجح العلماء في التوصل إلى طريقة لتحقيق التزامن بين حركة الإلكترونات والطاقة الضوئية المسلطة، كي يهز الاثنان بالطول الموجي نفسه.

نتيجة لهذا الاهتزاز، يتولد مجال كهرومغناطيسي قوي يتذبذب داخل تجويف الحلقة. يبين الشكل (٢-٧) مجالاً كهرومغناطيسياً داخل الحلقة وحولها يبلغ نصف قطره ٦٠ نانومتر، في حين يصل سمك الجدار إلى ١٠ نانومتر. تشير الأسهم إلى اتجاه المجال الذي يتولد عن الإلكترونات المستثارة.

يعمل المجال الكهرومغناطيسي داخل الحلقة في الجزء الخاص بالأشعة تحت الحمراء القريبة للطيف الكهرومغناطيس. يمكن بعد ذلك استخدام تجويف الحلقة كوعاء لاختبار الجزئيات بشعاع ضوئي يقوي إشارات الأشعة تحت الحمراء. على سبيل المثال إن الباحثين يدرسون بروتينات الأنظمة الحيوية وتفاعلاتها الكيميائية عن طريق معالجتها باستخدام أشعة الليزر وتسجيل حجم الأشعة الضوئية الممتصة والمنبعثة عند ترددات معينة. فإذا قام الباحثون بإجراء مثل هذه التجارب داخل حلقة النانو، لاستطاعوا التقاط إشارات الأشعة تحت الحمراء بشكل أفضل وكذلك الحصول على معلومات دقيقة واضحة.



الشكل (٢-٧) يولد الشعاع الضوئي مجالاً كهرومغناطيسياً مهتزاً قوياً داخل حلقة النانو.

التركيب الذاتي

استطاع فريق من الباحثين تخليق حلقات النانو صناعياً باستخدام جسيمات الكوبالت متناهية الصغر. يبلغ عرض حلقات النانو أقل من ١٠٠ نانو متر لذلك، تقوم هذه الحلقات بتخزين المعلومات المغناطيسية عند درجة حرارة الغرفة. ولكن الأهم من ذلك أنه من الممكن تكوين هذه الحلقات عن طريق التركيب الذاتي. تتحد جسيمات الكوبالت الدقيقة مكونة مجموعة من الحلقات التي تعمل بمثابة قطع مغناطيس صغيرة الحجم لها قطب شمالي وآخر جنوبي عند اقترابها من بعضها بعضاً . إضافة إلى ذلك فإن المغناطيسية التي تتولد عند تكوين حلقات النانو تؤدي إلى ظهور مجال مغناطيسي يسمى التدفق المغناطيسي . وعلى الرغم من تكون تدفق مغناطيسي قوي داخل الحلقات نفسها ناتج عن القطبين المغناطيسين للجسيم يكون التأثير المغناطيسي الكلي معدوماً خارج الحلقة بعد أن تكون الجسيمات حلقات النانو .

معنى ذلك أن الحلقات المغناطيسية يمكن أن تعمل وحدات ذاكرة في الأجهزة لتقوم بتخزين المعلومات على المدى الطويل وتخزين معلومات ذاكرة الوصول العشوائي (RAM) تتسم هذه الحلقات بوجود مجال مغناطيسي يتحرك للأمام وللخلف مثل عقارب الساعة فيخزن المعلومات الثنائية .وقد أظهرت التجارب

الأولية أن الحالات المغناطيسية لحلقات النانو يمكن التحكم فيها. فعند استخدام مجال مغناطيسي، يمكن تحريك وحدة بت من حلقات النانو للأمام وللخلف بين ١و٠. بعد ذلك، ربما يؤدي ربط حلقات النانو بأسلاك النانو الموصلة للكهرباء إلى زيادة التطبيقات المعتمدة على تخزين البيانات.

طبقات النانو الذكية

إن تغليف كرات التنس بطبقات النانو يمنع تسرب الهواء الموجود بداخلها، الأمر الذي يجعل كرة التنس صالحة للاستخدام فترة أطول بستة أضعاف من الكرات التي تستخدم مواد غرائية أخرى. كما تفيد طبقات النانو كثيراً في عملية حفظ المواد.

صار استعمال الطبقات المكونة من مواد النانو الطفلية وجسيمات النانو من الأمور الشائعة في جميع التطبيقات، بداية من كرات التنس والدراجات وحتى السيارات. تقوم هذه الطبقات بتحسين قوة الارتداد وتقوية الأجزاء التي تتأثر بشدة وجعل الأسطح مقاومة للخدش.

مجالات الدفاع والفضاء

لعملية التكسية بطبقات النانو العديد من الاستخدامات في مجالي الدفاع والفضاء. ومن هذه الاستخدامات:

- ✓ تحسين قدرة المكونات بمختلف أنواعها على التحمل وزيادة الاعتماد عليها وتطوير أدائها.
- ✓ مقاومة التآكل والانزلاق والبلى بصفة عامة
- ✓ تحسين جودة السطح.
- ✓ مقاومة التآكل الناتج عن التنقل والتقشر والتأكسد وارتفاع الحرارة.

يقوم العلماء بتخليق العديد من طبقات النانو متعددة الاستعمالات لاستخدامها في تطبيقات الفضاء الجوي (الأرض والفضاء المحيط بها)، مما سيوفر حماية ضد التآكل لأنها مواد لا تضر بالبيئة. كما أنه من المتوقع أن تكون لديها القدرة على اكتشاف عيوب التآكل والأعطال الميكانيكية التي تصيب سطح الطائرة، وكذلك، مقاومة العيوب الفيزيائية والكيميائية، وتحسين القدرة على الالتحام والترابط والمحافظة على بقاء قطع الغيار المعدنية لأطول فترة ممكنة. علاوة على ما سبق، يقوم الباحثون بدراسة مواد النانو التي تمتاز بخفة الوزن والمتانة والاستقرار الحراري لاستخدامها في محركات الطائرات.

أما في مجال الدفاع، فيمكن القول أن ما يعيب المستحلبات العادية هو كونها صناعة تحتاج إلى عمالة كثيفة وتضر العاملين بها، إذ لابد من أن يستخدم العامل يده في دهان المركبة لإخفاء العيب الذي أصيبت به. نتيجة لذلك، خصصت وزارة الدفاع الأمريكية مبلغ ١٠ مليار دولار سنوياً لعلاج المشكلات الناتجة عن التآكل الذي يصيب المركبات (منها ٢ مليون دولار مخصصة لعمليات الدهان والتقشير). وذلك، سوف يصبح من الممكن علاج أسطح المركبات العسكرية إذا أصابها خدش أو تآكل باستخدام طبقات التغطية الذكية التي من الممكن أن تكشف عيوب السطح وتصلحها. وقد يأتي يوم تستطيع فيه هذه المركبات تغيير

لونها على أرض المعركة فتختفي بشكل فوري عن الأعداء. كما سيصعب اكتشاف الدبابات وغيرها من المركبات العسكرية.

يبدأ التحول المعاكس عند درجة الحرارة (AS) وينتهي عند (AF) ويوجد فرق في درجة الحرارة بين التبريد والتسخين كما يوضح الشكل (٢-٨).

حسب شدة الفرق في درجة الحرارة تختلف خصائص التحول ونتائجها الترموميكانيكية..... فعندما يكون الفرق شديداً نسبياً أكبر من $(100k^{\circ})$ حالة معظم الخلائط الحديدية يكون التحول سريعاً جداً، ويؤدي إلى تشكل تشوهات لدنة كبيرة للطور الأم وعندما يكون الفرق صغيراً $(40k - 10)$ حالة معظم الخلائط النحاسية فإن نمو المارتنسيت في أثناء التبريد يحدث بالتدريج. عند درجة حرارة واقعة بين (MS وMF) تكون حدود المجالات مارتنسيت أوستنيت (طور الأم) وهو الطور الأقوى والذي يحدث عند درجات الحرارة الأعلى.

إن أي تعديل في درجة الحرارة في أحد الاتجاهين يؤدي إلى إزاحة حدود المجالات في أحد الاتجاهين بأسلوب عكوس (زيادة المارتنسيت أو زيادة الأوستنيت) وهذا هو السلوك المرن والذي يترافق مع تشوهات مرنة فقط لكل من الطورين.


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثالث

الخلائط الحافظة للذاكرة

٣-١- مقدمة:

تمتلك فئة فريدة من الخلائط المعدنية خواص تمكنها من استعادة شكلها الأصلي عندما تسخن ومن ثم تعود ثانية إلى الشكل المشوه عندما تبرد، تدعى هذه الخلائط باسم: الخلائط الحافظة للذاكرة، وتستطيع هـذه الخلائط أن تستعيد شكلها الأساسي بواسطة عملية تسخين بسيطة يمكن أن يصل فيها التشوه إلى قيمة ٨% في حالة الشد، حيث يرافق عملية التسخين تغير يطرأ على البنية البلورية (مارتسيت إلى أوستنيت) وهذا يحدث بين درجة حرارة التشوه ودرجة حرارة التسخين.

فعندما تكون الخليطة الحافظة للذاكرة في شكلها المارتنسيتي يكون من السهل تشويهها وتحويلها إلى شكل جديد، وعندما تسخن لدرجة حرارة فوق درجة تحولها تعود إلى الطور الأوستنيتي وتستعيد شكلها السابق بالكامل بواسطة قوة تدعى هذه الظاهرة باسم: ظاهرة حفظ الذاكرة. أي أن التحول المارتنسيتي هو السبب في وجود خصائص ترمومرنة غير اعتيادية مثل المرونة العالية.

٣-٢- أهم الخصائص العامة للتحولات المارتنسيتية:

بشكل عام فإن مصطلح التحول المارتنسيتي يعني تحولات تتم في بعض الخلائط ويعرف بأنه تحول بنيوي انزياحي من المرتبة الأولى يولد تشوه متجانس للشبكة البلورية.

المصطلح انزياحي من الدرجة الأولى يعني أن التحول يترافق مع انزياحات بدرجة صغيرة من رتبة (1/100) من البعد الذري ومترابطة من أجل عدد كبير من الذرات وبالتالي لا يوجد أي انتشار للذرات في أثناء التحول والذي يمكن أن يتم بشكل سريع ودون تغيير البعد الذري أو التركيب الكيميائي، تولد هذه الانزياحات تشوهاً متجانساً للشبكة البلورية، مع تغير ضعيف في الحجم .

تكون التحولات المارتنسيتية غير متأثرة بسرعة التبريد أو التسخين، فعند التبريد يبدأ التحول عند درجة حرارة (Ms) وهي درجة الحرارة التي يبدأ عندها الأوستنيت بالتحول إلى مارتنسيت، وينتهي التحول عند درجة حرارة.(MF)

يبدأ التحول المعاكس عند درجة الحرارة (AS) وينتهي عند (AF) وهناك فرق في درجة الحرارة بين التبريد والتسخين كما يوضح الشكل (٣-١).

حسب شدة الفرق في درجة الحرارة تختلف خصائص التحول ونتائجها الترموميكانيكية..... فعندما يكون الفرق شديد نسبياً أكبر من ($100k^o$) حالة معظم الخلائط الحديدية يكون التحول سريعاً جداً،

ويؤدي إلى تشكل تشوهات لدنة كبيرة للطور الأم وعندما يكون الفرق صغيراً ($10-40k^{\circ}$) حالة معظم الخلائط النحاسية فإن نمو المارتنسيت في أثناء التبريد يحدث بالتدريج. عند درجة حرارة واقعة بين (MS وMF) تكون حدود المجالات مارتنسيت/أوستنيت (طور الأم) وهو الطور الأقوى والذي يحدث عند درجات الحرارة الأعلى.

إن أي تعديل في درجة الحرارة في أحد الاتجاهين يؤدي إلى إزاحة حدود المجالات في أحد الاتجاهين بأسلوب عكوس (زيادة المارتنسيت أو زيادة الأوستنيت) وهذا هو السلوك المرن والذي يترافق مع تشوهات مرنة فقط لكل من الطورين.

٣-٣- أنواع الخلائط الحافظة للذاكرة:

تعد الخلائط الحافظة للذاكرة خلائط ذات وظيفة جوهرية خلائط هامة بقدر وظيفتها الفعالة والتي تضمن بشكل رئيسي خواصها العامة بالإضافة إلى الصفات التي تبديها مثل:

١. الانفعالات القابلة للانعكاس مئات المرات.

٢. توليد إجهادات قابلة للاستعادة.

هناك العديد من الخلائط الحافظة للذاكرة وأهمها:

١. (Ni-Ti) (Ni والباقي Ti-55.8) أو (Ni50%، Ti50%) الكثافة $6.5g/cm^3$ تتميز هذه الخليطة بشكل عام كمادة آمنة لاستخدامها كغرسة طبية في جسم الإنسان حيث تمت دراسات كثيرة خارج جسم الإنسان وداخله من أجل معرفة ملائمة هذه الخليطة حيوياً للأنسجة الحية، ودلت الدراسة التي أجريت داخل جسم الإنسان من خلال زرع غرس مصنوعة من خليطة (Ni-Ti) النموذجية وتم استخدام هذه الخليطة في صناعة النابض الحلزوني المستخدم في عمليات القسطرة التي تجرى داخل الأوعية الدموية وغيرها. وبشكل عام تبين بأن خليطة Ni-Ti النموذجية يمكن استخدامها بشكل آمن في معظم التطبيقات الحيوية، في الأوعية الدموية وفي التطبيقات العظمية.

٢. الخلائط النحاسية: هناك عدة خلائط نحاسية تمتلك خاصية حفظ الذاكرة مثل: Cu-Zn، Cu-Zn-Al، Cu-Al-Ni، Cu-Al-Mn حيث تمتلك كل هذه الخلائط بنى وسلوكاً قريبة من بعضها بعضاً ولها استخدامات واسعة.

٣. خلائط الكوبالت – الكروميوم- موليبدين- (Co-Cr-Mo)

٣-٤- مزايا الخلائط الحافظة للذاكرة:

١. الملائمة الحيوية.

٢. خواص ميكانيكية جيدة (المتانة ومقاومة للتآكل).

٣. تطبيقات في مجالات متعددة ومتنوعة.

٣-٥- تطبيقات الخلائط الحافظة للذاكرة:

١. تطبيقات طبية حيوية وأدوات جراحية طبية واسعة المدى.
٢. تطبيقات ايروديناميكية – غطاء الطائرات السيارات.
٣. صمامات البخار.
٤. الترموستات الذاتي (أداة تنظيم درجة الحرارة).
٥. الكمبيوتر المحمول.
٦. هوائي الموبايل.
٧. إطارات النظارات وغيرها.

الكوبالت في أثناء خلطه مع الكروم تزداد مقاومته للتآكل في أغلب المحاليل القلوية والحامضية، وكما أن وجود عنصر الموليبدن في مثل هذه السبائك يفيد في زيادة مقاومة التآكل وخصوصاً تحت شروط التآكل النشطة مثل وجود حمض كلور الماء.

إن من أشهر سبائك الكوبالت المستخدمة في المواد الطبية هي سبيكة كوبالت كروم موليبدن. وتبدي سبائك الكوبالت- نيكل-كروم- موليبدن الطروقة تآكلاً أفضل بقليل من سبائك الكوبالت- كروم- موليبدن المصبوبة. حيث تتفوق الكوبالت – كروم على سبائك الفولاذ المقاوم للصدأ في كل من خواص التعب والحت ولذلك فإن هذه السبائك يفضل استخدامها في عمليات المساند والمفاصل.

هناك نوعان أساسيان من خلائط (كوبالت – كروم- موليبدن)

١. خلائط (كوبالت- كروم- موليبدن) المصبوبة.
٢. خلائط (كوبالت- كروم- موليبدن) المشكلة على الساخن.

وتستخدم هذه الخلائط في صناعة المفاصل الصناعية حيث تتحمل هذه الخلائط إجهادات وحمولات عالية كما في عظام الساق والحوض.

- تمتلك هذه الأنواع من الخلائط على مقاومة للتآكل وخاصة للأوساط الأكالة المهاجمة كالكلوريد.
- تمتلك هذه الخلائط مقاومة للتعب ومن حدوث التشققات من خلال التآكل. وتعد هذه الخلائط غير قصيفة على الإطلاق نظراً لاحتوائها على مقدار 8% من الاستطالة.

٣-٦- كيف تعمل الخلائط الحافظة للذاكرة؟

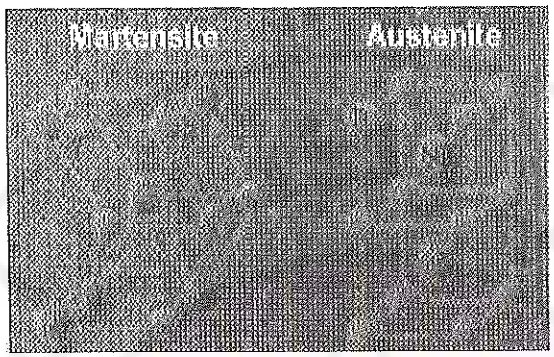
تتميز الخلائط الحافظة للذاكرة بخاصتين مميزتين وهما:

- الخاصية الكاوتشوكية (Pseudo- elasticity)

- خاصية تأثير المواد الحافظة للذاكرة (Shape Memory Effect)

حيث الطوران الموجودان في الخلائط الحافظة للذاكرة هما:

طور المارتنزيت (M) طور الأوستنيت (γ) شكل (٣-١)

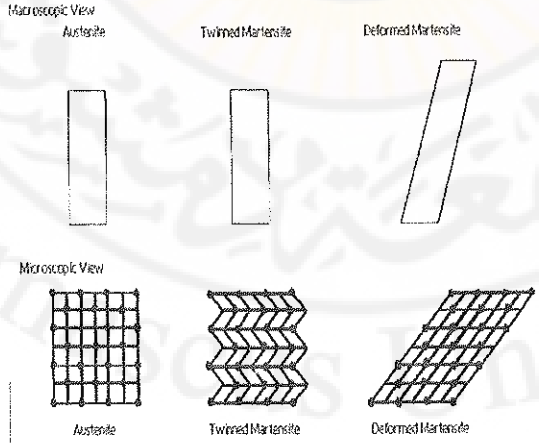


شكل (٣-١) طور الأوستنيت، طور المارتنزيت

يعد طور المارتنزيت طوراً طرياً سهل التشويه في الخلائط الحافظة للذاكرة والتي تعمل عند درجة حرارة منخفضة. الهيكل الجزيئي في هذا الطور يكون مشابهاً للشكل الترسيبي في الوسط البناء.

عند التشويه هذا الطور يأخذ الشكل الآخر المشوه للمارتنزيت المبين على يمين الشكل (٣-١) طور المارتنزيت غير المشوه يكون بنفس حجم طور المارتنزيت المكعب.

يعد طور الأوستنيت (طور الأم) الطور الأقوى في الخلائط الحافظة للذاكرة والذي يحدث عند درجات الحرارة الأعلى، بنية الأوستنيت بنية مكعبة مبينة في الشكل (٣-٢) طور الأوستنيت يمكن رؤيته بالعين المجردة لذلك لا يحدث أي تغير أو تشويه ماكروي (تشويه ميكروي فقط) في حجم أو شكل البنية في الخلائط الحافظة للذاكرة حتى يتشوه المارتنزيت.



شكل (٣-٢) رؤية مجهرية لطوري الخلائط الحافظة للذاكرة

درجات الحرارة التي يبدأ عندها وينتهي الطور بالتشكيل موضحة بالمتغيرات التالية:

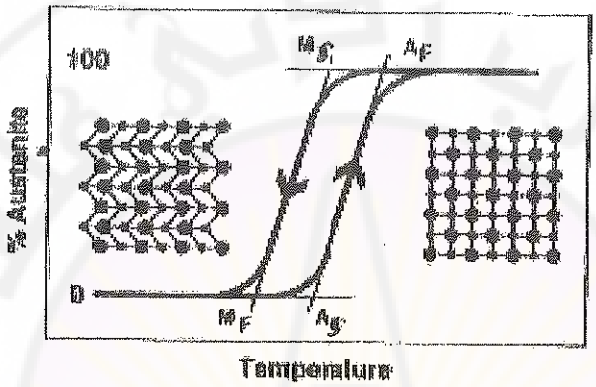
Ms: وهي درجة الحرارة التي يبدأ عندها γ بالتحول إلى M عند بدء التبريد.

Mf: وهي درجة الحرارة التي ينتهي عندها γ بالتحول إلى M عند انتهاء عملية التبريد.

As: وهي درجة الحرارة التي يبدأعندها M بالتحول إلى γ عند بدء التسخين.

AF: وهي درجة الحرارة التي ينتهي عندها M بالتحول إلىγ عند بدء التسخين.

كما يوضح الشكل (٣-٣)



شكل (٣-٣) التحولات الناتجة عن درجة الحرارة للخلائط الحافظة للذاكرة

في أغلب الخلائط الحافظة للذاكرة يكون تغير درجة الحرارة فقط حوالي ١٠ درجات ويكون ضرورياً ليبدأ حدوث هذا التغير.

يطرأ على الخلائط الحافظة للذاكرة تغير في بنيتها البلورية عندما تبرد من درجات الحرارة العالية إلى درجات الحرارة المنخفضة وبالتالي تتحول من طور قاس (γ) إلى طور ضعيف M

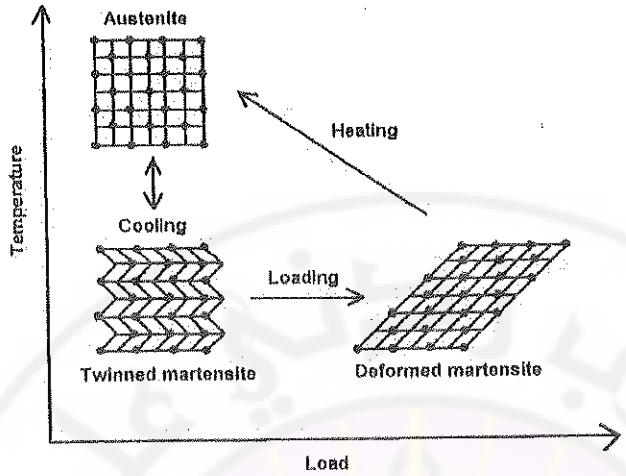
يعتبر الطور الملازم للتحول أساس الخواص الفريدة لتلك الخلائط وبشكل خاص : ظاهرة الحفظ للذاكرة وصفة المرونة العالية (الكاوتشوكية)

- **تأثير خاصية الحفظ للذاكرة:**

تأثير الخليطة الحافظة للذاكرة يتبع لدرجة حرارة الخليطة حيث عند التبريد لدرجة حرارة أخفض من Mf، عند هذه الدرجة ينتهي بالكامل تشكيل المارتنزيت عندئذ يمكن بسهولة تشويه الخليطة.

بعد تشويه الخليطة الحافظة للذاكرة يمكن استعادة الشكل الأصلي ببساطة بواسطة التسخين لدرجة حرارة لغاية Af أو أعلى من ذلك بقليل.

مقدار الحمولة المؤثرة على الخليطة الحافظة للذاكرة يزداد تبعاً لقيم المتغيرات الأربعة حيث إن القيم الابتدائية لهذه المتغيرات أيضاً تتأثر بشكل ملحوظ بتركيب الخليطة (نسب العناصر الموجودة في الخليطة) كما يوضح الشكل (٣-٤).



شكل (٣-٤) تمثيل مجهري لتأثير الأحمال ودرجة الحرارة على الخليطة الحافظة للذاكرة

القوة الدافعة خلف تأثير الخلائط الحافظة للذاكرة ذات الخاصية الكاوتشوكية هو التحولات الطورية . تحول الطور الصلب الثابت المستقر القابل لانعكاس من الأوستنيت إلى المارتنزيت عند التبريد (أو بواسطة التشويه) وكذلك التحول العكسي من طور المارتنزيت إلى الأوستنيت بواسطة التسخين (أو عند إزالة التشويه).

- خاصية المرونة العالية : (Pseudo- elasticity)

يطلق على هذه الخاصية أيضاً اسم: الخاصية الكاوتشوكية (المطاطية) Super elasticity

وهي خاصية تصف سلوك التشويه غير الخطي المستعاد لخلائط Ni-Ti وذلك عند درجات حرارة أعلى من Af

تنشأ هذه الخاصية نتيجة تحول طور الماتنزيت بواسطة التحميل وعند إزالة الحمولة تعود الخليطة إلى وضعها الأصلي.

يستعاد الشكل الأصلي عندما يكون الانفعال أعلى من 6% عندما يتجاوز التشويه 6% انفعال فإن المادة يمكن أن تتمدد أيضاً من خلال التشويه المرن الخطي بواسطة إجهاد المارتنزيت، عندما يكون الانفعال الكلي لغاية 8% يغطي الشكل الأصلي بالكامل كما يوضح الشكل (٣-٥).

٣-٧- مزايا ومساوئ الخلائط الحافظة للذاكرة:

للخلائط الحافظة للذاكرة مزايا عديدة منها:

١- الملائمة الحيوية

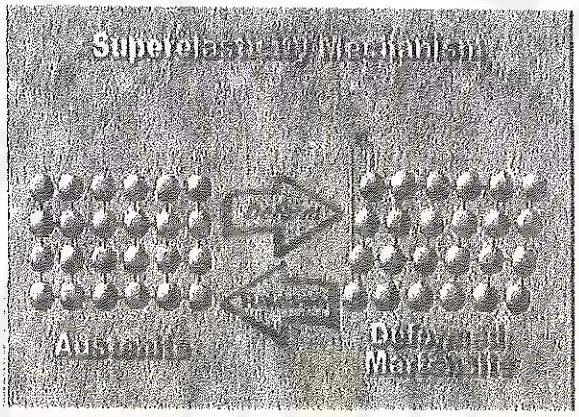
٢- خواص ميكانيكية جيدة (المتانة ومقاومة التآكل)

٣- تطبيقات في مجالات متعددة ومتنوعة

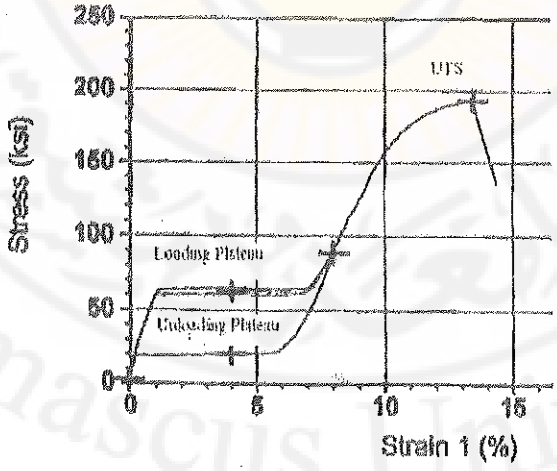
وبالرغم من الميزات السابقة الموجودة في الخلائط الحافظة للذاكرة إلا أن هناك بعض الصعوبات فيها والتي يجب التغلب عليها قبل استخدامها:

١- خصائص تعب سيئة: هذا يعني أنه تحت نفس ظروف الحمل (شد- الانحناء- الضغط) فإن عنصر الفولاذ المقاوم للصدأ ممكن أن يعيش لأكثر من ألف سنة مقارنة مع عنصر حافظ للذاكرة.

٢- تعد هذه الخلائط غالية الثمن نسبياً (صناعتها وآلية استخدامها تتطلب تقنيات عالية) مقارنة مع غيرها من المواد مثل الفولاذ والألمنيوم.



نموذج ذري يبين الخاصية الكاوتشوكية



شكل (٣-٥) تمثيل خاصية المرونة- منحني (إجهاد- انفعال) لخليطة Ni-Ti

٣-٨- تطبيقات الخلائط الحافظة للذاكرة:

إن الخواص الفريدة التي تتميز بها الخلائط الحافظة للذاكرة تسمح بإمكانية استخدامها في تقنيات التطبيقات القابلة للتطوير، تتضمن التطبيقات التالية:

- ✓ تطبيقات طبية حيوية مقص الشريان أدوات جراحية طبية واسعة المدى
- ✓ تطبيقات ايروديناميكية غطاء الطائرات السيارات
- ✓ تطبيقات مترلية
- ✓ تطبيقات أخرى واسعة المدى وتتضمن :
- ✓ صمامات البخار
- ✓ الترموستات الذاتي (أداة لتنظيم درجة الحرارة)
- ✓ كومبيوتر مصغر
- ✓ هوائي الموبايل
- ✓ إطارات النظارات.
- ✓ مخمدات (مثبطات الاهتزاز)

فيما يلي دراسة حول بعض التطبيقات الطبية الحيوية :

تتميز خليطة Ni-Ti بخواص عالية جعلتها تدخل في مجال الهندسة الحيوية والتطبيقات الطبية وتتضمن هذه التطبيقات كل شيء بدءاً من الأدوات الجراحية الطبية وصولاً إلى الغرس الدائمة الثابتة كما تتضمن غرس الأوعية الدموية.

بشكل خاص هناك جهازان طبيان مصنوعان من خليطة Ni-Ti وهما جهازان ناجحان:

١. Simon NitionalFilter
٢. Mitek (R)bone suture anchor

الجهاز الأول شبيه بالمظلة يستخدم بشكل فعال ويقوم بوظيفته في منع تخثر الدم عن طريق تأثير الخليطة الحافظة للذاكرة، تم تطوير هذا الجهاز في السبعينيات وهو حالياً يغرس في آلاف المرضى ويقوم بعمله بنجاح.

الجهاز الثاني وهو مثبتات غرس العظم التي أحدثت ثورة في مجال الجراحة العظمية حيث إنه يؤمن:

١. الأمان والسلامة في الاستخدام
٢. الارتباط الثابت للأوتار والمفاصل والأنسجة الطرية الأخرى للعظم.

في بداية إنتاج هذا الجهاز تم استخدامه في الثمانينيات لأجل جراحة الأكتاف، تتضمن ٢٥ تطبيقاً جراحياً عظمياً.

من الخواص المميزة لخليطة Ni-Ti التي سمحت باستخدامها في التطبيقات الطبية هي:

- الملائمة الحيوية الممتازة.
- المقاومة العالية للتآكل.
- النيكل في هذه الخليطة يرتبط كيميائياً مع التيتانيوم برابطة معدنية قوية بحيث إن خطر رد الفعل حتى في المريض الحساس للنيكل يكون منخفضاً جداً.

تطبيقات عظمية Orthopedic Application

دلت الأبحاث الجديدة : أن الخلائط المعدنية التي تكون حافظة لذاكرتها يمكن أن تساعد في معالجة وتحسين كسور العظام السيئة جداً.

خلائط حافظة للذاكرة تساعد في شفاء الكسور بسرعة عندما يعيد الطبيب بناء كسور الساق والذراع يستخدم بشكل طبيعي سلك فولاذي مقاوم للصدأ لا يحتفظ دائماً بشكله بمعنى أن العظام ممكن أن تتحرك وتبتعد عن مكانها الطبيعي وبالتالي تسوء حالة المريض أكثر فأكثر.

بعد عدة دراسات وأبحاث قامت في جامعة Ohio State حول خليطة Ni-Ti تم التوصل إلى النتائج التالية:

١. Nitinol خليطة Ni-Ti تملك خواص تمكنها من مساعدة العظام المكسورة في الشفاء بسرعة.
٢. وجد أيضاً بأن سلكاً مصنوعاً من خليطة Ni-Ti يمكنها أن تحتفظ بالوضعية التي توضع فيها إلى حد ما أفضل من سلك الفولاذ المقاوم للصدأ.
٣. عند تسخين خليطة Ni-Ti الحافظة للذاكرة تبين بأنها تتمدد قبل أن تغطي (تلف) العضو العظمي المصاب، عندما تسخن الخليطة مرة ثانية فإنها تحاول أن تعود لشكلها الأصلي مرة ثانية كما أنها تبذل ضغطاً ذا قيمة ثابتة على العظام المكسورة على بعضها بعضاً.

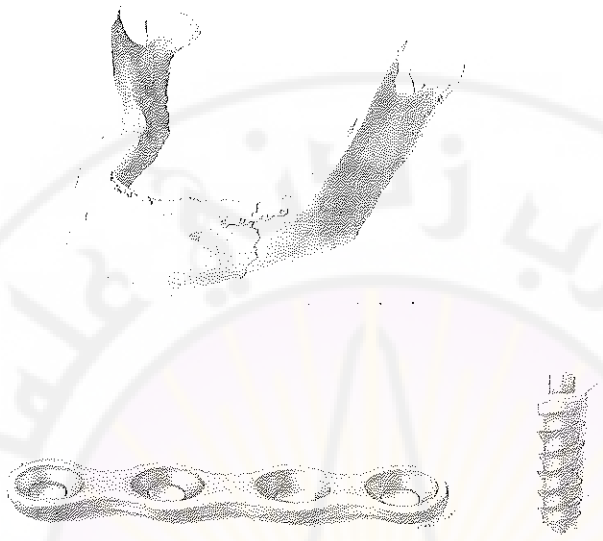
في هذا البحث استخدم الفريق أنابيب أسطوانية الشكل لتمثيل العظام والتي تمكنها من الحركة لتمثيل آلية الشفاء وملاحظة ما الذي يحدث خلال ستة أسابيع شفاء كسر العظم المتمزق.

٤. سلك الفولاذ المقاوم للصدأ كان غير قابل للمعالجة أو بمعنى آخر غير قادر على التكيف مع حركة العظم، وبسرعة أوقف ضغط العظام على بعضها بعضاً، فيما إذا افترضنا أننا استخدمنا خليطة حافظة للذاكرة فإنها وبكل بساطة تسمح بحركة العظام وبالتالي شفاء العظام المنهارة بسرعة أكبر.
٥. الفولاذ المقاوم للصدأ يحتفظ بموضعه بشكله كما هو حيث وضع في حين إن خلائط حافظة للذاكرة تندفع قطع العظم المنهارة نحو بعضها بعضاً بفضل خواصها الحافظة للذاكرة.

الصفائح العظمية Orthopedic Plates :

تعد الصفائح العظمية أدوات جراحية تستخدم في مساعدة الأشخاص المصابين في ترميم العظام المكسورة والمنهارة، وغالباً ما تطبق الصفائح العظمية في الكسور التي تحدث في مناطق الوجه مثل الأنف والفك أو في تجويف العين.

حالياً توجد تجهيزات osteotomy تصنع بشكل رئيسي من التيتانيوم والفولاذ المقاوم للصدأ صفيحة عظمية تقليدية مستخدمة في إصلاح فك مكسور شكل (٣-٦).



شكل (٣-٦) صفيحة عظمية مستخدمة في اصلاح فك مكسور.

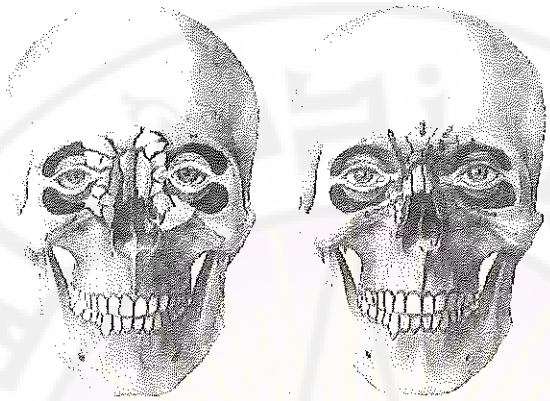
في البداية يتهيأ الكسور ومن ثم يعاد تنضيد العظام المكسورة جراحياً إلى وضعها المناسب بعد ذلك تركب الصفيحة على العظام المكسورة لتمسك بها في مكان حيث يشفى العظم تماماً. أثبتت هذه الطريقة نجاحها وقد كانت مفيدة في معالجة جميع أنواع الكسور، على أي حال ما تزال هناك الكثير من المشاكل والمخاطر. بعد التوضع الأولي للصفيحة على الكسر أو الجزء المنهار فإن العظام تضغط على بعضها بعضاً وتمسك ببعضها بعضاً بواسطة ضغط خفيف بعض الشيء والذي يساعد في تسريع عملية شفاء العظم.

-الصفائح العظمية يمكنها أيضاً أن تستخدم خلائط حافظة للذاكرة وبشكل خاص خليطة Ni-Ti حيث تستخدم صفيحة عظمية مصنوعة من خليطة مؤلفة من النيكل والتيتانيوم، تملك هذه الخليطة درجة حرارة التحول حوالي Af أكبر بكثير من 15 C° الطبيب الجراح يتبع نفس إجراء كما لو أنه يستخدم صفيحة عظمية تقليدية.

في البداية تبرد الصفائح Ni-Ti إلى ما دون درجة التحول، بعد ذلك توضع في مكان الكسر كما لو أنها تشبه صفائح التيتانيوم. عندما يسخن الجسم فإن صفيحة Ni-Ti تقوم بمحاولة تطبيق ضغط على الكسر مساعد معزز لعملية شفاء العظم المكسور بشكل أكبر بكثير مقارنة مع خليطة (الفولاذ المقاوم للصدأ والتيتانيوم) هذا الضغط المطبق المنتظم الثابت المستقر يساعد في عملية الشفاء بسرعة كما أنه يخفف زمن الشفاء إلى أقصر زمن ممكن. على الرغم من ذلك مازالت هناك مشاكل لابد أن تؤخذ بالحسبان مثل أن

تصبح هذه الخليطة أمراً عادياً كغيرها من الخلائط- تصميم الصفائح من أجل استعماله كمية مخصصة من الضغط- الكسور تعد صعوبة فائقة الأهمية والتي يجب التغلب عليها.

مثال: حول كيف يمكن إعادة ترميم كسور الوجه السيئة المحطمة بشكل كامل وإعادة بنائها بواسطة صفائح عظمية من خليطة Ni-Ti كما يوضح الشكل (٣-٧).



شكل (٣-٧) حول كيف يمكن إعادة ترميم كسور الوجه السيئة المحطمة بشكل كامل وإعادة بنائها بواسطة صفائح عظمية من خليطة Ni-Ti

تطبيقات طبية خاصة بتقويم الأسنان Orthodontic Applications:

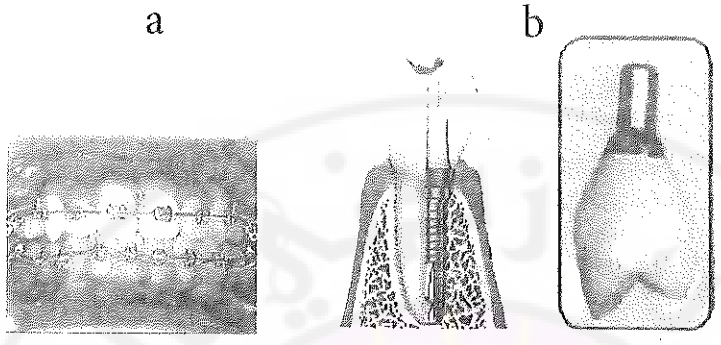
كما تستخدم خلطة Ni-Ti في تطبيقات الأسلاك الموجهة المستخدمة في تقويم الأسنان سلكاً خاصاً بتقويم الأسنان Orthodontic wire مصنوع من خليطة Ni-Ti النموذجية: يمتلك هذا السلك قوة ثبات تمكن استخدامه في التطبيقات السنية التي يتم فيها تثبيت الأسنان مع أدنى ألم ممكن للمريض شكل (٣-٨-a).

يعتمد هذا التطبيق بشكل خاص على خاصية المرونة التي تمتلكها هذه الخلائط فعندما ينحرف السلك لسبب ما فإن مرونته العالية تسمح له بالعودة إلى شكله الأصلي من خلال بذل القليل من القوة الثابتة على صف الأسنان، ينتج عن هذا ألم بسيط وفعالية أكبر وتأثير على حركة الأسنان بسرعة أكبر.

تطبق الخلائط الحافظة للذاكرة في صناعة جذور الأسنان الاصطناعية حيث إن تأثيرها الحافظ للذاكرة يمكنها من تخطي مراحل وعمليات صغيرة كثيرة، بالإضافة إلى ذلك فهي تملك صفات مميزة مناسبة لمثل هذه التطبيقات الحيوية نظراً إلى الملائمة الحيوية التي تتمتع بها هذه الخلائط.

فيما يلي توضيح لغرس يتم زرعه في عظم الفك العلوي أو السفلي، الذي يسمح بتشكيل رابطة مع العظم حيث أغلب الغرس السنية المستخدمة سابقاً تكون على شكل برغي مصنوع من التيتانيوم النقي على شكل أسطوانة والذي يقوم مقام جذور الأسنان والجسور، فقد تبين بأنه لا يوجد رد فعل سلبي في الأنسجة ورفض لمثل هذا الغرس أو ردود أفعال تجاه الحساسية شكل (٣-٨-b).

إحدى أكثر المواد شهرة وأوسعها استخداماً في هذا المجال هي المواد الحافظة للذاكرة والتي تكون عرضة لتشويه رئيسي قاس ومن ثم عندما تعالج بالحرارة تعود بشكل سريع لتأخذ شكلها الأصلي.



شكل (٣-٨) تطبيقات الخليطة الحافظة للذاكرة Ni-Ti في تقويم وغرس الأسنان

a- أسلاك لتقويم الأسنان، b- غرس جذور الأسنان.

من أكثر الخلائط التي تستخدم في هذا المجال هي خليطة Ni-Ti التي تتميز بقدرتها ومهارتها في التحول من الشكل المضغوط إلى الشكل المتوسع ، هذه الصفة المميزة فيها جعلتها مفيدة جداً في التطبيقات الجراحية. حيث تعد هذه الخلائط من أهم المواد الذكية الأكثر شيوعاً وأهمها فقد أحدثت ثورة كبيرة في عالم الهندسة الحيوية خلال العقود الماضية. لقبت بالمواد الذكية نسبة إلى التفاعل مع بيئتها واستجابتها إلى التغيرات الحاصلة في درجة الحرارة والرطوبة.

بشكل خاص يستخدم هذا النوع من الخلائط في استبدال الأعضاء المصابة بصناعة النابض الحلزوني الذي يعمل على الاحتفاظ بالشرايين (الأوعية الدموية) مفتوحة عند إصابتها بنوع من إعاقة لمرور الدم فيها لسبب ما تخثر الدم والجلطات التي هي السبب الرئيسي للموت فقد جاءت هذه المواد لتحل هذه المشكلة من خلال خواصها الفريدة التي تجعلها تكيف لتأخذ شكلاً معيناً تقوم من خلالها بحل مشكلة حيوية ما.

تطبيقات طبية أخرى: أنابيب القثطرة- مقابض وأدوات ذات استخدامات طبية خاصة في العمليات الجراحية.

قد سمحت المرونة الزائدة لخليطة Ni-Ti باستخدامها بشكل أكبر من الفولاذ المقاوم للصدأ أو خاصة في صناعة أسلاك موجهة طبية جراحية صغيرة وأنابيب تستطيع المرور خلال طرق متعرجة داخل جسم الإنسان وتبقى مستقيمة ورفيعة.

بشكل عام تبدي الخلائط الحافظة للذاكرة خواص وظيفية هامة وفرص نادرة في العديد من المجالات الصناعية ونشاطات علمية كثيرة، وفي المستقبل القريب يتوقع حدوث نجاحات جديدة متوقعة في ميادين مختلفة خاصة في تقانة تشغيل وتطوير الخلائط الحافظة للذاكرة.

الباب الثالث

الاختبارات الميكانيكية (الإتلافية) للمواد

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

الاختبارات الإتلافية للمواد

١-١- مقدمة:

إن المواد المستعملة في الإنشاءات الهندسية سواءً كانت معدنية أم غير معدنية يجب أن تتمتع بعدد من الخواص المختلفة بحيث نستطيع اختيار المادة المناسبة لكل غرض من أغراض التصنيع، وبحيث تتناسب خواصها مع العمل الذي يجب أن تؤديه. وأهم الاختبارات الميكانيكية (الإتلافية) التي تجرى للتعرف والتأكد من خواص المواد اللازمة للتصنيع ولأغراض أخرى، حسب طبيعة القوى أو الأحمال المطبقة على عينات الاختبار من جهة وحسب ظروف التحميل من جهة أخرى وذلك على النحو التالي:

١- الاختبارات الستاتيكية: وتكون القوى المؤثرة المستعملة في هذه الاختبارات إما ثابتة أو متغيرة ببطء شديد.

٢- الاختبارات الديناميكية: وتكون القوى المؤثرة في عينات الاختبار في هذه المجموعة هي قوى متغيرة باستمرار أو أن تطبيق القوة يتم بسرعة كبيرة جداً.

٣- الاختبارات في ظروف مغايرة للظروف الطبيعية (العادية) وتتم هذه الاختبارات في درجات حرارة مرتفعة أو منخفضة أما القوى المؤثرة فيمكن أن تكون ذات طبيعة استاتيكية أو ديناميكية.

١-٢- الاختبارات الستاتيكية:

وأهم هذه الاختبارات هي: الشد، الضغط، الانحناء، الفتل، القص، وقياس القساوة السطحية.

١-٢-١- اختبار الشد:

هو إخضاع عينة ذات أبعاد معروفة حسب المواصفات العالمية إلى حمل شد ستاتيكي أحادي المحور مع مراقبة سلوك العينة من لحظة بدء تطبيق الحمل وحتى الانهيار (الانكسار) ويعد اختبار الشد من أهم الاختبارات الميكانيكية للقطع المعدنية والوصلات بسائر أنواعها وذلك لكثرة القيم القياسية المستنتجة من هذا الاختبار وأهمية هذه القيم في الحسابات التصميمية، واعتماد جزء كبير من هذه القيم كمواصفات قياسية في تحديد جودة المعدن أو المادة أو الوصلة.

عند إجراء اختبار الشد يرسم مخطط الإجهاد – الانفعال (σ — ε) لعينات الاختبار كما يوضح الشكل (١-١) حيث يلاحظ أن منحنى الإجهاد- الانفعال يمر بمرحلتين متميزتين عن بعضهما وهما مرحلتا المرونة واللدونة.

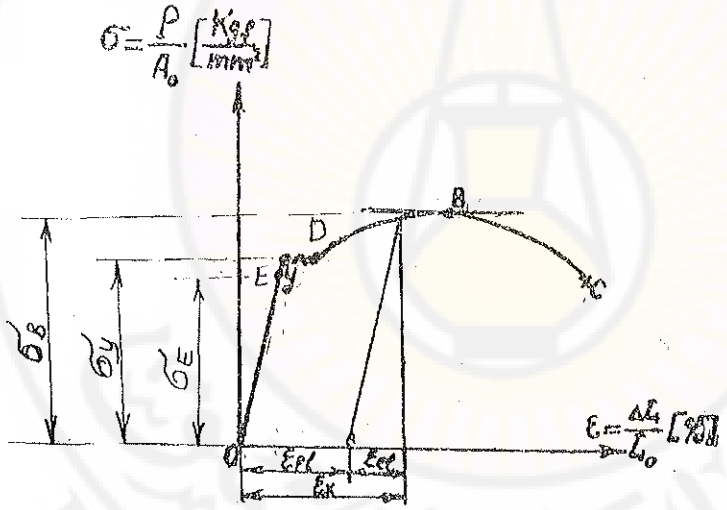
σ_E يمثل الإجهاد من O إلى E هو حد المرونة والمادة في هذه الحالة تحتفظ بخواصها المرنة أي بشكلها الأولي بعد رفع الحمل عنها. وبالنسبة للفولاذ الإنشائي (رقم 3) فإن حد المرونة يساوي σ_E=2100 Kg\cm^2 وعند زيادة الحمل إلى النقطة C يبدأ التشوه للعينة أي بداية حد الخضوع أي بداية المرحلة الثانية ولغاية النقطة D ويسمى هذا القسم الأفقي (CD) بمساحة الخضوع. وللفولاذ الإنشائي رقم (٣) فإن حد الخضوع يساوي σ_y=2400 Kg\cm^2 ويصل الإجهاد إلى أقصى مقدار له في النقطة B والذي يسمى بحد المقاومة (متانة الشد) ويساوي حد مقاومة الفولاذ الإنشائي: σ_B=4000÷5000 Kg\cm حيث:

$$\sigma_y=\frac{P}{A} \quad , \quad \varepsilon\frac{\Delta l}{l_0}$$

P الحمل (Kg)

A مساحة المقطع الأصلي للعينة

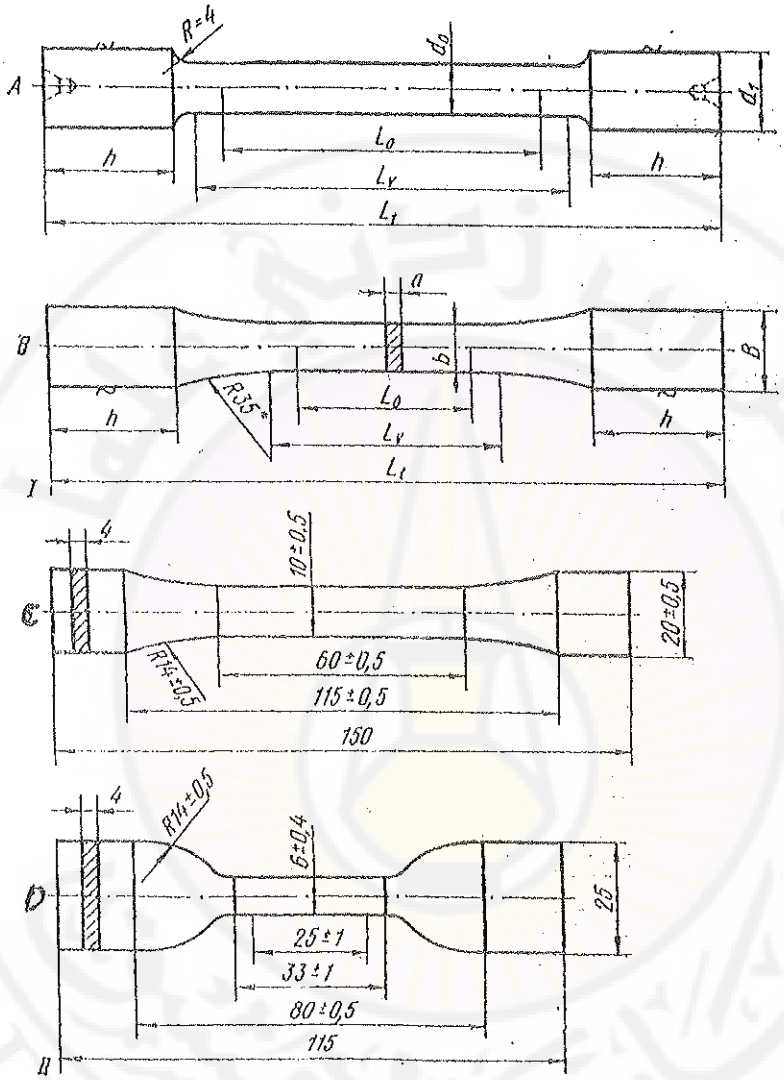
l_0 الطول الأصلي للعينة



شكل ٣-١ مخطط الإجهاد والانفعال للفولاذ اللين

اختيار عينات الشد:

تستخدم لاختبار الشد عينات نظامية اتفق على شكلها وأبعادها دولياً وعلى سبيل المثال طبقاً للمواصفة الألمانية (DiN50125) وذلك لأن الدقة في اختيار عينات الشد وإعدادها بشكل صحيح يؤثران بشكل واضح في دقة النتائج التي نحصل عليها من هذا الاختبار. ويجب الاعتماد في اختيار عينة الشد على ثلاثة أسس رئيسية وهي:



شكل (١-٢) عينات اختبار الشد وفقاً للمواصفة (Din50125)

(A)عينة اختبار مستديرة حيث (do) قطراً للعينة.

(B)عينة مسطحة (مستطيلة المقطع) حيث (a) سماكة العينة، (b) عرض العينة.

(C و D) عينات اختبار للمواد البوليميرية.

١- يجب أن تكون العينة معدة من المادة نفسها المراد اختبارها وأن تكون سطوحها نظيفة وناعمة وذلك حتى لا يكون للخدوش أو الحزوز أو العيوب السطحية الأخرى دور في النتائج العلمية التي نحصل عليها.

٢- يجب ألا تحقق عينة الشد وجود حالة الإجهاد السطحي أو الانفعال السطحي في أثناء الاختبار.

٣- إذا لم تتوافر الأدلة التي نستطيع أن نختبر عليها عينات نظامية فإنه يتم اختيار عينات وفق المواصفات المعتمدة وذلك حتى يكون هناك إمكان للمقارنة.

يوضح الشكل (١-٢) الشكل العام للعينات المستخدمة في اختبار الشد وكما هو واضح من الشكل فإن مقطع العينة يكون إما دائرياً أو مستطيلاً أو مربعاً. وأهمها:

١- المستديرة ولها نوعان القصير والطويل ويمكن حساب الطول الفعال للقياس للعينات القصيرة ويساوي $L_o = 5.65\sqrt{A_o} = 5d_o$

-أما بالنسبة للعينات الطويلة: $L_o = 11.3\sqrt{A_o} = 10d_o$

- طول الاختبار $L_y = L_o + d_o$

$$d_1 = 1.2d_o$$

$$h = 2d_o + 10m$$

٢- المستطيلة المقطع (المسطحة)

العينات القصيرة: $L_o = 5.65\sqrt{A_o} = 5b$

العينات الطويلة: $L_o = 11.3\sqrt{A_o} = 10b$

$$B = 1.2b + 3(mm)$$

$$L_y = L_o + b$$

$$h = 2b + 10mm$$

١-٢-٢- اختبار القساوة الستاتيكية

يعد اختبار القساوة من أهم الاختبارات، وذلك لسهولة إجراء هذا الاختبار ولعدم الحاجة لصنع عينات اختبار خاصة من جهة ولأهمية قيم القساوة الناتجة في عمليات المقارنة وفي بعض الحسابات التصميمية من جهة أخرى. وتشترك أكثر طرق اختبار القساوة الستاتيكية بالمبدأ العام، حيث يتم وضع الأداة أو الجسم القاسي فوق السطح المستوي للقطعة المختبرة ثم يحمل بقوة معينة، وبعد إزالة التحميل يقاس قطر انغماس الجسم في العينة أو أبعاده، ونسبة القوة المطبقة إلى سطح هذا الانغماس تعطي مقدار القساوة رقمياً. وتختلف

طرق قياس القساوة عن بعضها بعضاً بنوع الجسم القاسي المستعمل وشكله ومقدار القوة المطبقة على هذا الجسم، وأهم الطرق المستعملة وعلى نطاق واسع في قياس القساوة هي:

١- طريقة برنيل (HB)

٢- طريقة فيكرز (HV)

٣- طريقة روكويل - برأس كروي HRB - برأس مخروطي HRC

إن اختيار القساوة يعبر عن مقاومة المعدن أو المادة للتآكل بالاحتكاك، ولقد دلت التجارب على أن هناك تناسباً واضحاً في خلائط الفولاذ بين القساوة وحد المتانة.

حيث:

$$\sigma_b = (0.28 \div 0.32)\text{HV}$$

لهذا كثيراً ما يعني قياس القساوة عن اختبار الشد عندما لا تكون الدقة مطلوبة في تقدير حد المتانة للفولاذ.

١-٣- الاختبارات الديناميكية:

اختبار القساوة الديناميكية: تتنوع الطرق الديناميكية لاختبار القساوة وعلى الرغم من تنوعها إلا أنها تأتي في المرتبة الثانية بعد الطرق الستاتيكية وذلك بسبب حدوث أخطاء في القياس في أثناء الاختبار أو بعده. وأهم ما يميز هذه الطرق هو بساطة الأجهزة المستخدمة وسهولة استعمالها والسرعة في إجراء الاختبار. وأكثر الطرق استخداماً وانتشاراً هي طريقة غريفن وطريقة بولدي. حيث توضع المطرقة بشكل عمودي على سطح العينة وبعد تحرير الكرة تحدث الصدمة من قبل الكرة على سطح العينة. وبعد ذلك يقاس قطر الانغماس.

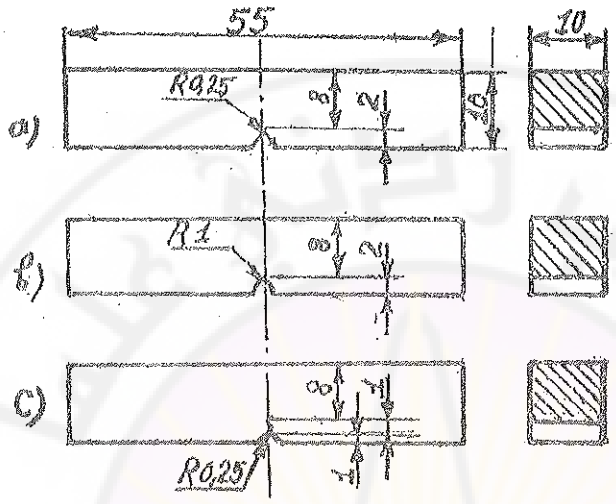
١-٣-١- اختبار الصدم

لدراسة مقدرة المادة على مقاومة الصدم التي يمكن أن تتعرض لها في أثناء الاستثمار. والهدف منه تعيين المتانة الصدمية لعينات قياسية تحتوي على حزوز (أثلام) صنعت مسبقاً بالطرق الميكانيكية المعروفة. ويستعمل لإجراء هذا الاختبار آلة صدم- حيث يتم توجيه الصدمة على عينة الاختبار بواسطة مطرقة نواسية ذات ثقل (G) ومرفوعة إلى ارتفاع أولي (h) وتترك المطرقة تهبط بفضل ثقلها.

اختيار العينات المستخدمة في اختبار الصدم طبقاً للمواصفة (DIN50115). يتنوع شكل العينات في اختبار الصدم، ولكنه أكثر العينات شيوعاً هي:

- نموذج تشاربي وتكون أبعاد العينة مساوية $(10\times10\times55)mm$ وتحتوي على حز بشكل (V) يبلغ عمقه (2mm) ونصف قطر تحدب سطحه الداخلي $(R=0.25mm)$ شكل a-3.1
- نموذج ايزود (IZOD) وتكون أبعاد العينة مساوية $(10\times10\times55)mm$ وتحتوي على حز بشكل (U) ويبلغ عمقه (2mm) ونصف قطر تحدب سطحه الداخلي R=1mm شكل (b-3.1)

- النموذج الحديث: وتكون أبعاد العينة $mm(55\times10\times10)$ وتحتوي على حز بشكل (V) يبلغ عمقه (1mm) ونصف قطر تحدب سطحه الداخلي $(R=0.25mm)$ شكل c-3.1



الشكل ١-٣ نماذج العينات المستخدمة في اختبار الصدم.

إن إنماء التشقق التعبي في النموذج الثالث يعني جعل نصف قطر تحدب الحز على عمق (2mm) مساوياً للصفر، وبهذا الشكل نتخلص عملياً من العمل النوعي المصروف حتى لحظة ظهور التشقق.

مجالات استخدام نتائج اختبار الصدم:

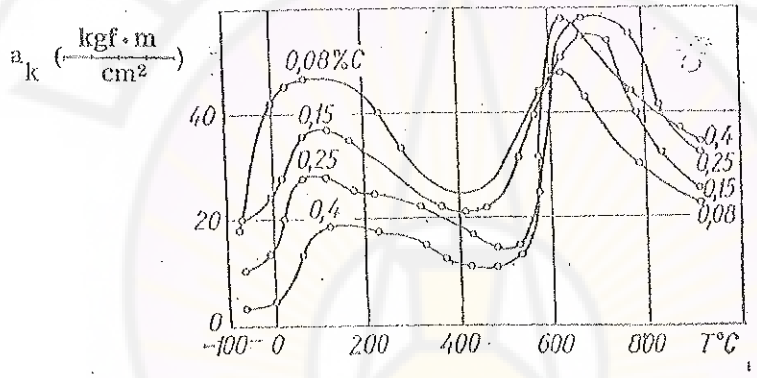
على الرغم من كثرة استخدام اختبار الصدم في تقويم مقاومة الصدم عند المواد المختلفة، وعلى الرغم من توافر قيم كثيرة لمتانة الصدم لأي مادة أو معدن وفي درجات حرارة اختبار مختلفة، إلا أن هـذه القيم لم تدخل في أي من الحسابات التصميمية حتى هذا التاريخ. ويقتصر استخدام هذا النوع من الاختبارات الديناميكية والقيم الناتجة عنه على ما يلي:

١- في المفاضلة بين معدن وآخر أو مادة وأخرى وذلك عند تصنيع قطعة في آلة ما أو تصميم إنشاء يمكن أن تتعرض قطعة في أثناء عملها لظروف مشابهة لظروف الاختبار.

٢- اختبار مدى حساسية المادة وانخفاض قدرتها على تحمل الصدمات عند وجود حزوز أو شقوق على سطح المادة، حيث أن هذه الحزوز أو الشقوق تسبب تركيزاً في الإجهادات بالقرب من النهاية الحادة للحز أو التشقق وتجعل الإجهادات إجهادات مركبة ثلاثية المحاور. ويتم اختبار ذلك بصنع عينات نظامية معدة وفق المواصفات المعروفة من المادة المختبرة أو

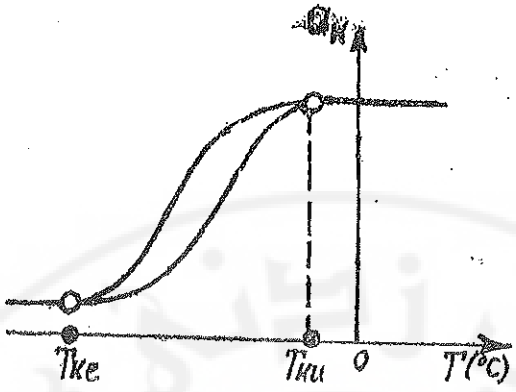
بضع عينات تحتوي على أثلام أو حزوز ذات أشكال وأبعاد مماثلة لتلك الموجودة في القطعة المعرضة للاستخدام.

٣- اختبار مدى صلاحية المادة للاستعمال في صنع قطع الآلات أو عناصر الإنشاءات التي تعمل في درجات الحرارة المرتفعة أو السالبة. فلقد تبين أن قيم متانة الصدم تعد أساساً في عملية قبول أو رفض المادة التي ستستخدم في قطع الآلات أو عناصر الإنشاءات التي تتعرض لأحمال ديناميكية وتستغل في درجات حرارة معينة. فمثلاً يجب ألا تقل متانة الصدم عن $8 \div 10 kgf.m/cm^2$ وذلك لجميع أنواع الفولاذ التي تستعمل في درجة الحرارة العادية وتتعرض لأحمال ديناميكية. أما عند ارتفاع درجة الحرارة إلى مجال معين أو عند انخفاضها إلى مجال معين آخر فإن بعض أنواع الفولاذ الكربوني (مثلاً) تفقد لدونتها جزئياً أو كلياً.



الشكل ١-٤ متانة الصدم للفولاذ الكربوني منخفض نسبة الكربون في درجات الحرارة المرتفعة والسالبة

يبين الشكل ١-٤ أن الفولاذ الكربوني منخفض نسبة الكربون يفقد جزءاً من لدونته في المجال الحراري ما بين ($200 \div 550C°$) انخفاض قيم متانة الصدم عنده، وفي درجات الحرارة السالبة فإن هذا الفولاذ يفقد لدونته بالتدريج كلما انخفضت درجة الحرارة حتى يصبح هشاً عند درجة حرارة معينة وتصبح قيم متانة الصدم منخفضة جداً (انظر الشكل ١-٥) وعلى هذا الأساس فإن الهدف من اختبارات الصدم في درجات الحرارة السالبة للمعادن والخلائط المعدنية ينحصر بصفة عامة في تحديد درجة الحرارة (TKu) التي تبدأ عندها لدونة المعدن بالتناقص ودرجة أخرى (TKe) تصل عندها اللدونة إلى الحد الأدنى وتصبح المادة هشة وتنكسر دون انفعال لدن يذكر (الشكل ١-٥). وتعد طريقة الكسر بالصدم هذه أفضل طرق الاختبار وأسرعها لإيجاد هاتين النقطتين، حيث يصنع عدد من العينات المتماثلة من المادة وتبرد كل منها إلى درجة حرارة معينة وفي حوض خاص ثم ترفع وتصدم في آلة الصدم. والزمن الذي يستغرقه رفع العينة من حوض التبريد ووضعها على الحامل الخاص في الآلة وصدمها، صغير بشكل لا يسمح بارتفاع يذكر في درجات حرارة العينة.



الشكل ١-٥ علاقة متانة الصدم بدرجة حرارة الاختبار

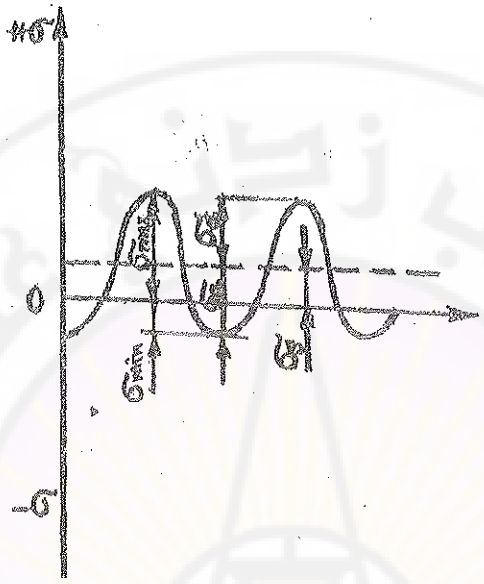
١-٣-٢- اختبار التعب

إن الإجهادات التي تتعرض لها قطع الآلات والإنشاءات بمختلف أنواعها أشكالاً نادراً ما تكون مجرد إجهادات ستاتيكية بسيطة بل غالباً ما تكون هذه لإجهادات متغيرة في أثناء العمل في النوع أو المقدار أو في كليهما معاً. وقد تبين أن بعض قطع الآلات المعرضة لإجهادات متغيرة المقدار غالباً ما تنكسر بعد فترة من العمل تتعلق بالحدود التي تتغير ضمنها هذه الإجهادات، وعلى الرغم من كون أكبر هذه الإجهادات لا يتجاوز حد المرونة للمادة المصنوعة منها هذه القطع. ولقد سميت هذه الظاهرة بالتعب.

إن أول من اهتم بظاهرة التعب العالم الألماني أوغست فولر A.Wohler كان ذلك في النصف الثاني من القرن الماضي عندما بدأ يلاحظ أن بعض محاور عجلات القاطرات والمصممة بعامل أمان كبير بالنسبة لمقاومتها للشد، لا تلبث بعد فترة معينة من العمل أن تنكسر دون أن تترك أثراً واضحاً للانفعال اللدن. وقد أثبت فولر من خلال العديد من التجارب التي أجراها على مواد مختلفة أن لكل مادة من المواد المستعملة في الإنشاءات المعدنية حداً معيناً من الإجهادات المتغيرة أو الديناميكية تستطيع المادة تحمله وتحمل مادونه من الإجهادات دون أن تنكسر أي دون أن تتعب، وسمي هذا الإجهاد حد التعب أو حد الصمود لكونه الحد الفاصل بين التعب والصمود، فمادون هذا الحد من الإجهادات، تستطيع المادة تحمله إلى اللانهاية من عدد مرات التحميل أو الإجهاد، ومافوق هذا الحد سوف يسبب للمادة تعباً وانكساراً وذلك بعد عدد من مرات التحميل يتعلق بمقدار الإجهاد.

والغاية الأساسية من اختبارات التعب هي من جهة معرفة حد الصمود للمادة المعينة ومن جهة أخرى معرفة عمر القطعة المصنوعة من هذه المادة فيما لو حمّلت بإجهاد ما أكبر من حد الصمود، وكل هذه القيم يتم الحصول عليها بسهولة بإنشاء ما يسمى منحني فولر للمادة. لذلك فإن الهدف الرئيسي من اختبارات التعب غالباً ما يكون هو إنشاء هذا المنحني.

وقبل أن نبدأ بدراسة طريقة فولر وكيفية إنشاء منحني فولر تجريبياً لا بد من التعرف على أنواع الإجهادات الترددية التي تؤدي عادة إلى تعب المادة وأنواع الآلات التي تقوم بتوليد هذه الأنواع المختلفة من الإجهادات الترددية.



الشكل ١-٦ مزايا الإجهادات الترددية الأساسية

الإجهادات الترددية:

تعرّف الإجهادات الترددية على أنها الإجهادات الدورية التي تتبدل قيمها بين حد أعظمي وحد أصغري، ويكون هذا التبدل إما منتظماً أو عشوائياً ويوضح الشكل (٣-٦) المزايا الأساسية للإجهاد الترددي وذلك عندما يكون تغير هذا الإجهاد تغيراً منتظماً،حيث يمكننا من هذا الشكل أن نستنتج معنى القيم التالية:

σ_{max} - المقدار الجبري لأكبر إجهاد ترددي خلال دورة التحميل الواحدة.

σ_{min} - المقدار الجبري لأصغر إجهاد ترددي خلال دورة التحميل الواحدة.

σ_S - وهي نصف مجموع σ_{max} و σ_{min} حيث: $\sigma_S = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$

وتدعى القيمة الوسطى للإجهاد الترددي (أو إجهاد الشد الوسطي).

σ_a - وهي نصف الفرق بين σ_{max} و σ_{min} حيث: $\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$

وتسمى سعة الإجهاد الترددي.

من هنا نستنتج أن: $\sigma_{min} = \sigma_s - \sigma_a$ و $\sigma_{max} = \sigma_s + \sigma_a$

R وهي النسبة بين σ_{max} و σ_{min} ، حيث يدعى بمعامل اللاتناسق لدورة التحميل.

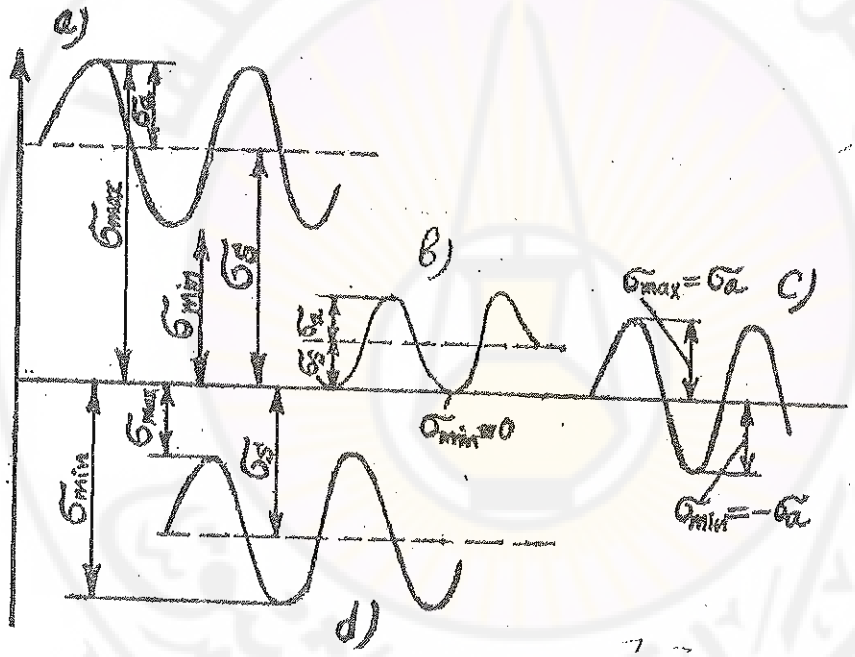
فعندما تكون ($R=-1$) دورة التحميل متناسقة وعندها تكون -انظر الشكل (١-٧-c)-:

$$\sigma_a = \sigma_{max} = \sigma_{min} - \sigma_s = 0$$

وهذا يعني أن دورة التحميل المتناسقة هي الدورة التي يكون فيها الإجهاد الأعظمي والأصغري متساويين بالقيمة المطلقة ولكنهما مختلفتين بالإشارة.

وهناك حالة خاصة من حالات دورة التحميل اللاتناسقية تدعى بدورة التحميل النبضية وذلك عندما يكون الإجهاد الأصغري مساوياً الصفر وعندها يكون σ_{min} -انظر الشكل (١-٧-b)-:

$$\sigma_{min} = 0; R = 0; \sigma_a = \sigma_s = \frac{\sigma_{max}}{2}$$



الشكل ١-7 مزايا الإجهادات الترددية الأساسية

a) دورة تحميل لاتناسقية تتضمن إجهاد شد وسطي، **b**) دورة تحميل نبضية.

c) دورة تحميل متناسقة، **d**) دورة تحميل لاتناسقية تتضمن إجهاد ضغط وسطي

تدعى دورات التحميل التي تتساوى فيها عوامل اللاتناسق بدورات التحميل المتشابهة، وعندها فإن النسبة بين الإجهادات الأعظمية لهذه الدورات تساوي النسبة بين إجهاداتها الوسطى والنسبة بين سعات إجهادها، أي أن: $\frac{\sigma_{max}}{\sigma'_{min}} = \frac{\sigma_s}{\sigma'_s} = \frac{\sigma_a}{\sigma'_a}$

طريقة إنشاء منحني فولر:

يستخدم لإنشاء منحني فولر التجريبي عدد يتراوح بين ٦ و ١٠ عينات من العينات التي تختلف أشكالها وأبعادها باختلاف طريقة الاختبار المستخدمة، وتحمل كل منها بأحمال ترددية بحيث يكون الإجهاد الترددي على العينة الأولى مساوياً: $\sigma_1 = 0.7\sigma_y$ (حيث σ_y الانسياب للمعدن المراد اختباره على التعب). ويتم تسجيل عدد مرات التحميل N_1 حتى لحظة ظهور التشقق التعبي في العينة أو حتى لحظة انكسارها وذلك طبقاً لطريقة الاختبار المتبعة، ثم تحمل العينة الثانية بإجهاد أقل من السابق ويسجل عدد مرات التحميل N_2 . ويستمر إنقاص الإجهاد مع العينات التالية حتى آخر عينة من المجموعة، وتختار خطوات إنقاص الإجهاد على العينات المتتالية بحيث تبقى العينة الأخيرة على الأقل سليمة- أي بحيث تصمد إزاء الإجهادات المعرضة لها. ثم يرسم مخطط بياني يؤخذ على محوره الشاقولي الإجهاد، وعلى محوره الأفقي عدد مرات التحميل والتي تؤخذ عادة بخطوات لوغاريتمية نظراً لكبر الأرقام التي قد نحصل عليها، وتسجل على المخطط النقاط التي يتم عندها ظهور التشقق التعبي (أو انكسار) كل من العينات المختبرة كما في الشكل (١-٨) وبالوصل بين تلك النقاط نحصل على منحني فولر. ويلاحظ أن هذا المنحني يكون شديد الانحدار في بدايته ثم يقل انحداره حتى يتناهى إلى خط أفقي. والخط الأفقي هذا هو حد الصمود للمادة، ويقترب المنحني من الخط الأفقي تقريباً عند، $N = 2.10^6$ لأكثر المعادن والخلائط الفولاذية، لذلك يعد أكبر إجهادا يمكن أن تتحمله القطعة مليوني مرة دون أن يظهر بها تشقق تعبي (أو تنكسر) هو حد الصمود لمادة هذه القطعة.

ومنحني فولر هذا كبير الفائدة حيث يساعد من جهة على معرفة حد الصمود للمادة المعينة ومن جهة أخرى في معرفة عمر القطعة المعرضة لإجهادات ترددية معروفة القيمة، أو بالأحرى في تصميم قطعة ما لتعيش عمراً معيناً أي لتتحمل عدداً معيناً من دورات التحميل، عندئذ تؤخذ قيمة $\log N$ على المحور الأفقي ويرفع منها شاقول حتى يتقاطع مع المنحني، ومن تلك النقطة نرسم خطاً أفقياً فنحصل على قيمة الإجهاد المسموح به.

وجرت العادة على أن يبسط شكل منحني فولر، حيث يرسم الجزء الأول منه على شكل مستقيم أفقي بحيث تكون نقطة تقاطعهما عند $N = 2.10^6$ ولتكن معادلة الخط المائل في هذه الحالة كما يلي:

$$\sigma_a + k \log N = \sigma_f + k \log N_o$$

حيث:

σ_f – حد الصمود.

N_o – عدد مرات التحميل المطابقة لنقطة تقاطع المستقيمين المائل والأفقي (أي أن: $N_o = 2.10^6$

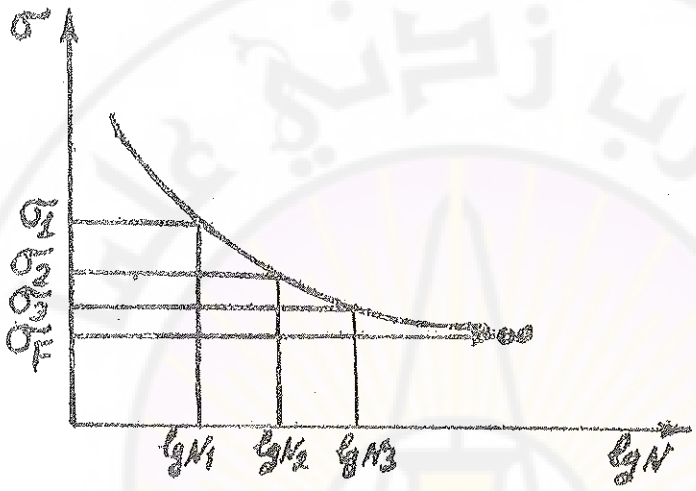
σ_a – الإجهاد الترددي لنقطة ما على المخطط.

N – عدد مرات التحميل الموافقة للإجهاد σ_a

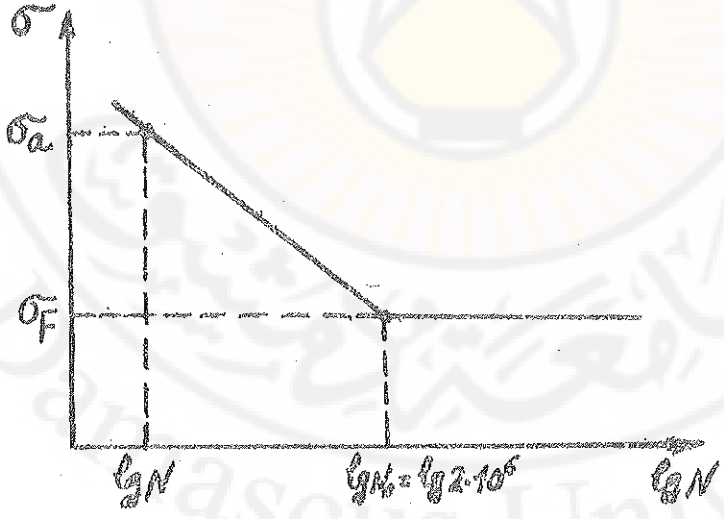
k – معامل يحدد ميل المستقيم على الأفق.

غالباً ما يكون مطلوباً هو تحديد ميل هذا القسم ويحدد بالعلاقة التالية:

$$k = \frac{\sigma_a - \sigma_r}{\log N_o - \log N}$$



الشكل ١-٨منحني فولر



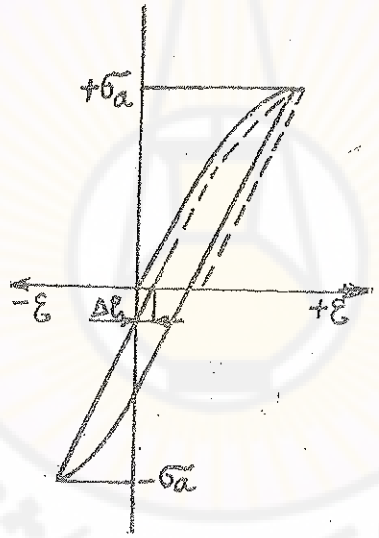
الشكل ١-٩ منحني فولر المبسط

ولا بدأن ننوه هنا إلى أن الخط المائل على الشكل (١-٩) يمثل منحني العمر، بينما يمثل الخط الأفقي حد التعب أو حد الصمود للمادة المختبرة.

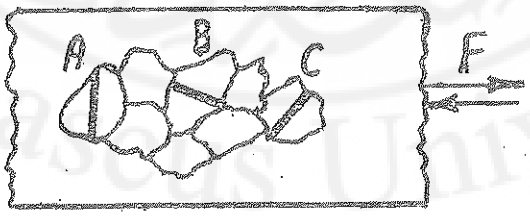
ميكانيزم التعب:

نحن نعلم من خلال دراستنا لعلم مقاومة المواد أن حد المرونة هو أكبر إجهاد يبقى الانفعال عنده انفعالاً مرناً ويعد هذا الحد (تجاوزاً ومن أجل السهولة) مساوياً حد الانسياب، غير أن حد المرونة الفعلي للمادة وبخاصة المقيس على عينة وحيدة البلورة يكون أخفض بكثير من حد الانسياب، والتعب لا يمكن أن يحدث طالما بقيت الإجهادات الترددية واقعة ضمن المجال المرن للمادة، أي أن حد التعب حتماً يجب أن يكون أكبر من حد المرونة للمادة، إذ إنه حتى يتم ظهور التشقق التعبي في مادة ما أو عينة ما يجب أن تستهلك كمية من القدرة تصرفها على تغيير شكلها سواء أكان هذا التغيير في الشكل قابلاً للقياس (في اختبار الشد) أم غير محسوس (في اختبار التعب). فعند تحميل العينة بإجهاد شد – ضغط متكرر بين القيمتين σ_a و σ_a بحيث تكون أكبر من حد المرونة ولكن أصغر من حد الانسياب لمادة العينة، فإن كل دورة تحميل سوف تترك في بعض بلورات العينة انفعالاً لدناً مقداره $\Delta\varepsilon$ (انظر الشكل ١-١٠).

وبتكرار دورات التحميل تتراكم هذه الانفعالات حتى تؤدي في النهاية إلى تصدع هذه البلورات.



الشكل ١-١٠ تراكم الانفعالات اللدنة في العينة المختبرة على التعب بعد كل دورة تحميل



الشكل ١-١١ التباين في مدى تأثير البلورات بإجهادات القص طبقاً لتباين اتجاهات مستويات انزلاق هذه البلورات

ولكي يزداد هذا الأمر وضوحاً، نفترض أن العينة مصنوعة من مادة بلورها ذات مستوى انزلاق وحيد، ولنختر من بلورات هذه العينة البلورات A و B و C انظر الشكل ١-١١، حيث مستوى الانزلاق في البلورة A عمودي على اتجاه القوة ومستوى انزلاق البلورة B يميل بزاوية كيفية على هذا الاتجاه، بينما يشكل مستوى انزلاق البلورة c زاوية مقدارها 45^0 مع اتجاه القوة المطبقة. فعند تطبيق القوة سوف تتولد في البلورات إجهادات قص أو انزلاق و تكون أعظمية في مستوى انزلاق البلورة c ومعدومة تقريباً في مستوى انزلاق A، الأمر الذي يؤدي إلى انزلاق أجزاء البلورة C على بعضهما بعضاً، وبتكرار التحميل يتكرر الانزلاق وتزداد قساوة هذه البلورة بفعل الانزلاق اللدن ولكن لا تزال في الوضع المناسب لتكرار الانزلاق الذي يستمر حتى تستنفذ البلورة C قابليتها للتشكيل اللدن فتتصدع، وبتصدعها يزداد معدل الإجهادات في البلورات الباقية – أي يزداد إجهاد القص في البلورة B إلى حد يستطيع معه جعل هذه البلورة تنهج نهج سابقتها مما يؤدي بالنتيجة إلى تصدعها، وعندئذ تكبر الإجهادات إلى حد لا تستطيع البلورات المشابهة في وضعها للبلورة A من تحملها فتتصدع القطعة بكامل مقطعها. إن انزلاق البلورة C وتصدعها يتعلق إلى حد كبير بنوعية البلورات المحيطة بها ومدى مقاومة هذه البلورات للانزلاق الحاصل، أي أن البلورة C لا تستطيع الانزلاق والتصدع بحرية تامة إلا إذا كانت واقعة على سطح العينة، لذلك فإن أي تصدع سواء أكان تعبياً وغير ذلك يبدأ دائماً من سطح العينة ويمتد باتجاه الداخل.

من خلال النموذج المبسط السابق نستطيع افتراض التصدع التعبي يتم على مرحلتين رئيسيتين:

١- مرحلة وجود تشققات ميكروية صغيرة جداً في بلورات المعدن الأكثر إجهاداً واتحاد هذه التشققات المكروية في تشقق ماكروي له طول معين (لا يتجاوز طوله ١مم) يبدأ من سطح العينة (أو من نقاط تركيز الإجهادات) وبهذا الشكل تنتهي المرحلة الأولى وهي مرحلة ظهور التشقق التعبي.

٢- مرحلة نمو هذا التشقق واستمراره بالنمو إلى حد يصبح معه مقطع القيمة الباقي غير قادر على تحمل الإجهادات الترددية مما يؤدي إلى تصدع المعدن بكامله.

١-٤- الاختبارات في ظروف مغايرة للظروف العادية:

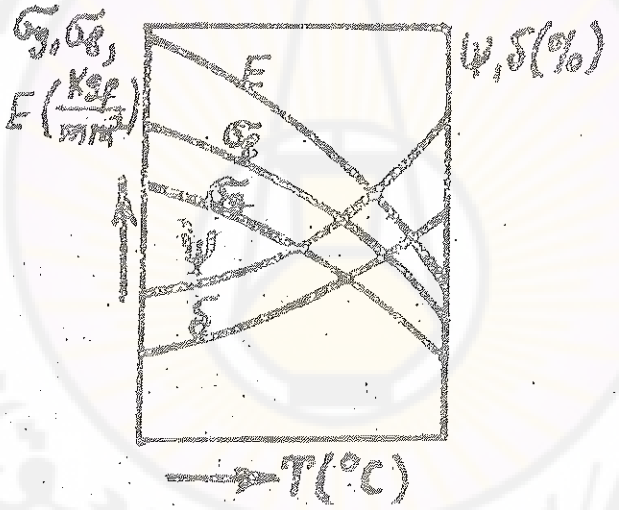
هي مجموعة من الاختبارات التي تجرى لاختبار المعادن في درجات الحرارة السالبة أو في درجات حرارة أعلى من درجات الحرارة العادية.

- يتم اختبار المعادن في درجات الحرارة السالبة وخاصة اختبار الشد بالطريقة نفسها التي يتم فيها عند درجة الحرارة العادية ولكن بعد تزويد آلة الاختبار بحوض تبريد خاص يحتضن العينة ويبردها إلى درجة الحرارة اللازمة للاختبار. أما اختبار الصدم فيجرى على عينات سبق تبريدها في أحواض تبريد مستقلة.

- أما الاختبارات التي تجرى في درجات الحرارة المرتفعة فأهمها اختبار الشد والتعب والزحف. حيث اختبار الشد والتعب يتمان بالطرق نفسها التي درست سابقاً بعد تزويد آلات الاختبار بأفران أنبوبية خاصة تحتضن العينات لتسخينها والمحافظة على درجات حرارتها في أثناء إجراء الاختبار. وسوف نتعرف فيما يلي على اختبار الزحف والذي يمكن عده شكلاً من أشكال اختبارات الشد في درجات الحرارة المرتفعة ولكن يتم التحميل بإجهادات أخفض من حد الخضوع (الانسياب) ولفترة زمنية طويلة.

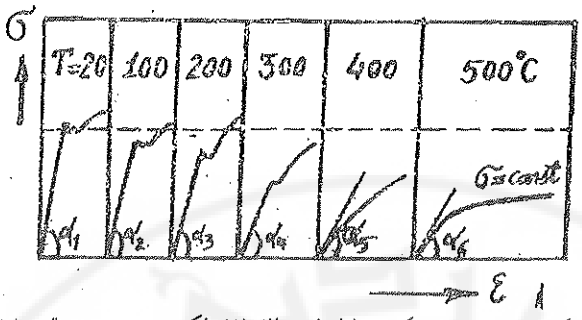
١-٤-١- تأثير ارتفاع درجات الحرارة في الخواص الميكانيكية للمعادن.

- تتغير الخواص الميكانيكية للمعدن عند ارتفاع درجة الحرارة، إذ يؤدي ارتفاع درجة الحرارة بصفة عامة إلى انخفاض قيم حدي المتانة والخضوع للمعدن وازدياد قابليته للتشكيل (أي ازدياد قيم الاستطالة δ والتقاص γ) ويبين الشكل (١-١٢) تأثير درجات الحرارة في قيم هذه الوحدات.



الشكل ١-١٢ تغير الخواص الميكانيكية بتغير درجة حرارته

- وقد لوحظ أن مخطط الشد للفولاذ الكربوني يتغير شكله بتغير درجة الحرارة التي يتم عندها الاختبار على الشد (انظر الشكل ١-١٣) فمن هذا الشكل نلاحظ أن ارتفاع درجة حرارة الاختبار يؤدي إلى انخفاض قيم حد الانسياب. (ممثلاً بالعتبة الأفقية)، حتى إذا أصبحت درجة حرارة الاختبار أعلى من 400 C تزول معالم هذه العتبة الأفقية ويحدث الزحف في المعدن -- أي يستمر الانفعال بالازدياد على الرغم من ثبات قيمة الإجهاد المؤثر في عينة الاختبار.
- ونلاحظ من الشكل (١-١٣) أيضاً أن ازدياد درجة حرارة الاختبار يؤدي إلى نقصان زاوية ميل المستقيم في مخطط الشد. وهذا يعني انخفاض قيم معامل يونغ (E) بازدياد درجة حرارة الاختبار.

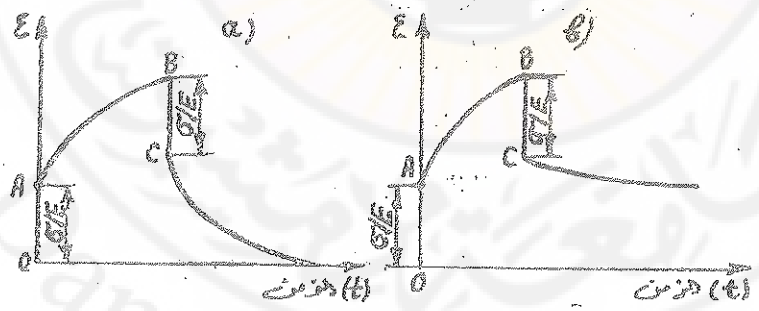


الشكل ١-١٣ تغير شكل مخطط الشد للفولاذ الكربوني بتغير درجة حرارته

١-٤-٢- المفهوم الأساسي للزحف في المعادن:

إذا حدث وتغيرت قيم الإجهادات والانفعالات في معدن ما بمرور الزمن على الرغم من أن قيم الحمل المطبق على المعدن لم تتغير فإن هذه الظاهرة تدعى بالزحف. ويدعى الشق الأول من هذه الظاهرة (أي تغير الانفعالات بمرور الزمن) بالزحف الذاتي، أما الشق الثاني من هذه الظاهرة (تغير الإجهادات بمرور الزمن) فيدعى بالارتخاء.

ويمكن للزحف الذاتي أن يكون مرناً ولدناً. فإذا كان الزحف الذاتي مرناً فإن الانفعالات التي تظهر بمرور الزمن تختفي نهائياً وبمرور الزمن أيضاً وذلك عند زوال الحمل المطبق. أما إذا كان الزحف الذاتي لدناً فإن الانفعالات المرنة تختفي بزوال الحمل المطبق، أما الانفعالات اللدنة فإن قيمها تنخفض ببطء ولكنها لا تزول نهائياً (انظر الشكل ١-١٤) ونود أن ننوه هنا إلى أن الزحف في المعادن يحدث سواءً أكانت الانفعالات التي تظهر في بداية تطبيق الحمل انفعالات مرنة أم لدنة (متبقية).



الشكل ١-١٤ مخطط الزحف الذاتي: a -المرن b- اللدن

أما الشق الثاني من ظاهرة الزحف وهو الارتخاء (ويعني انخفاض قيم الإجهاد حتى ولو بقيت قيم الانفعالات ثابتة) فيمكن تفسيره كما يلي:

لنفرض أنه تم تطبيق قوى شد على عينة ما عند درجة حرارة معينة بحيث كانت الإجهادات الناتجة تقع ضمن مجال المرونة للمعدن عند هذه الدرجة من الحرارة، ولنفرض أن الانفعال الكلي (الانفعال المرن+ الانفعال اللدن) لم يتغير بمرور الزمن، أي أن:

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_p = const.$$

حيث:

ε_e – الانفعال المرن

ε_p – الانفعال اللدن

ولكن قيم الانفعال اللدن تزداد بمرور الزمن وهذا يعني أن قيم الانفعال المرن سوف تنخفض. ونعلم من قانون هوك أن الانفعال المرن ε_e : $\varepsilon_e = \frac{\sigma}{E}$

وبما أن الانفعال الكلي ε لا يتغير بمرور الزمن ويساوي الانفعال الأولي ε_o وما عدا ذلك وفي اللحظات الأولى من تطبيق الحمل يتحقق قانون هوك، أي أن:

$$\varepsilon = \varepsilon_o = \frac{\sigma_o}{E}$$

حيث: σ_o – الإجهاد المؤثر في اللحظات الأولى من تطبيق الحمل.

ومنه نجد أن: $\frac{\sigma_o}{E} = \frac{\sigma}{E} + \varepsilon_p$

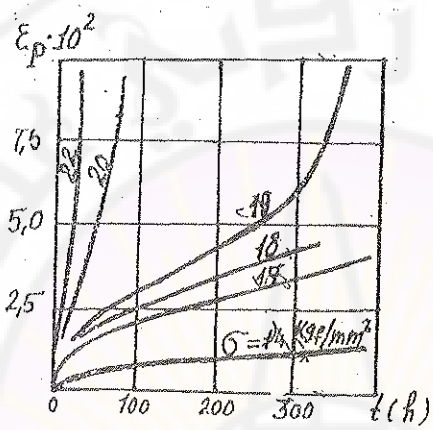
ومن العلاقة السابقة نلاحظ أن ازدياد الانفعالات اللدنة يؤدي باستمرار إلى انخفاض الإجهاد وحدوث الارتخاء.

١-٤-٣- مخطط الزحف للمعادن:

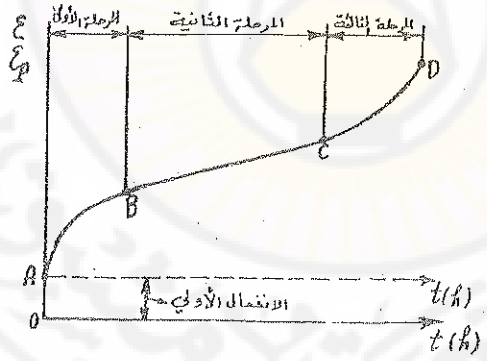
نحن نعلم أنه عند تحميل عينة ما فإن الانفعال يزداد من الصفر وحتى قيمة معينة. والانفعال الذي يظهر عند التحميل يمكن أن يكون مرناً أو أن يكون لدناً وذلك تبعاً لقيمة الحمل المطبق في بداية الاختبار. ولقد بينا آنفاً أن الانفعال في العينة يزداد بمرور الزمن. وجرت العادة على أن تعالج نتائج اختبار الزحف على شكل منحنيات (انظر الشكل ١-١٥) حيث تبين هذه المنحنيات علاقة الانفعال الكلي (أو الانفعال اللدن) بالزمن وذلك عند ثبات كل من قيم الإجهادات المطبقة ودرجة حرارة الاختبار، وتدعى هذه المخططات بمنحنيات الزحف.

يتعلق شكل منحنيات الزحف بقيم الإجهادات المطبقة ودرجة حرارة الاختبار. فعند تطبيق حمل ما على عينة كانت قد سخنت إلى درجة حرارة معينة فإن الانفعال يزداد بسرعة من الصفر وحتى قيمة معينة (الخط الشاقولي OA على الشكل ١-١٦) فإذا كان الإجهاد المطبق يقع ضمن مجال المرونة لمعدن العينة فإن هذا

الانفعال مرن وإذا كانت قيم الإجهاد المطبق تفوق حد المرونة فإن الانفعال الكلي في العينة سوف يـــزداد بالتدريج بمرور الزمن وسوف يكون ازدياده وفق المنحني ABCD (انظر الشكل ١-١٦) وإن مسقط أي نقطة من هذا المنحني على محور العينات يحدد قيم الانفعال الكلي في العينة بعد مرور زمن معين يتحدد على محور السينات. ويتألف هذا الانفعال الكلي ε من الانفعال الأولي في لحظة تطبيق الحمل والانفعال اللـــدن الناتج عن الزحف.



الشكل ١-١٥ منحنيات الزحف للفولاذ عند درجة حرارة 600℃



الشكل ١-١٦ منحني الزحف أو مخطط الزحف

يتم أحياناً رسم منحني الزحف الذي يبين فقط علاقة الانفعال اللدن ε_p (المتشكل نتيجة الزحف) بالزمن، وعندها فإن محور السينات في مخطط الزحف هو الخط المتقطع على الشكل (١-١٦)

- نلاحظ من الشكل (١-١٦) إن ازدياد الانفعال في اختبار الزحف يتم على ثلاث مراحل:
- في المرحلة الأولى (المنحني AB): في البداية يكون الزحف سريعاً نتيجة لتحرك الانخلاعـــات في مستويات الانزلاق وتولد انخلاعات جديدة، غير أن هذه السرعة لا تلبث أن تبدأ بالتناقص عندما

تبدأ هذه الانخلاعات بالالتقاء بالحواجز والعقبات التي تعيق تقدمها وتخفض من سرعتها وتصبح هذه السرعة ثابتة. يعبر ظل زاوية ميل المماس للمنحني ABCD على محور السينات عن سرعة الانفعال اللدن

- في المرحلة الثانية (الخط BC) وتدعى مرحلة الزحف الثابت وهي أهم المراحل وتصبح معها العلاقة بين الانفعال والزمن علاقة خطية.
- في المرحلة الثالثة (المنحني CD): تزداد سرعة الزحف بشكل مستمر ويحدث تصدع العينة في النقطة D.
- وتظهر هذه المرحلة عند بدء تشكل الشقوق أو الشروخ الصغيرة بين البلورات والتي لا تلبث أن تبدأ بالازدياد في العدد والاتساع في الحجم، الأمر الذي يؤدي إلى تناقص في المقطع وازدياد في الإجهاد وبالتالي تسارع الانفعال حتى يتم التصدع، لهذا فإن التصدع الناجم عن الزحف يتم عادة عبر حدود الحبيبات على غرار ما يحدث في التصدع الهش. ونود أن ننوه إلى أن ازدياد قيم كل من الإجهاد المطبق ودرجة حرارة الاختبار على الزحف يؤدي إلى ازدياد سرعة الزحف وبالتالي إلى قصر الفترة الزمنية للمرحلة الثانية.

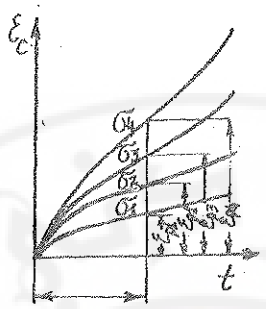
١-٤-٤- تعيين حد الزحف للمعدن:

يعرف حد الزحف للمعدن (σ_ρ) على أنه الإجهاد الذي يسبب انفعالاً لدناً ذا مقدار محدد في المواصفات التقنية للمعدن خلال فترة زمنية معينة. كما يعرف حد الزحف (σ_ρ) للمعدن أحياناً على أنه الإجهاد الذي يسبب سرعة زحف ذات مقدار محدد في المواصفات التقنية للمعدن. فمن التعريف الأول نستنتج أن حد الزحف يتعلق بكل من درجة حرارة الاختبار وسرعة الزحف.

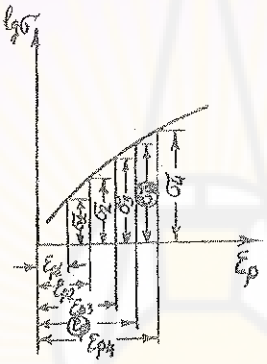
فإذا أردنا تعيين حد الزحف للمعدن بناءً على التعريف الأول – أي انطلاقاً من معرفة مسبقة لمقدار الانفعال اللدن خلال فترة زمنية t، فإننا نرسم شاقولاً يبعد مسافة t عن محور العينات في المخطط المبين على الشكل (١-١٧)، ذلك المخطط الذي يحتوي على مجموعة من منحنيات الزحف تم إيجادها بتطبيق قيم إجهادات مختلفة على عينات من المعدن نفسه وعند درجة الحرارة نفسها. ومن نقاط تقاطع هذا الشاقول مع منحنيات الزحف نوجد قيم الإجهاد σ_1 و σ_2 و σ_3 و σ_4 الموافقة لقيم الانفعال $\varepsilon_{\rho 1}$ و $\varepsilon_{\rho 2}$ و $\varepsilon_{\rho 3}$ و $\varepsilon_{\rho 4}$ بالترتيب وبعد زمن اختبار محدد t. ثم ننقل هذه القيم المستنتجة إلى مخطط آخر مبين على الشكل (١-١٨)، ومن هذا المخطط نستطيع إيجاد حد الزحف على محور العينات بناءً على معرفة مسبقة لقيمة الانفعال على محور السينات.

أما إذا كان المطلوب هو تعيين حد الزحف الموافق لسرعة زحف معروفة المقدار مسبقاً، فإننا نقوم في البداية بإيجاد قيم سرعات الانفعال اللدن الدنيا عند تطبيق إجهادات مختلفة على عينات من المعدن نفسه وعند

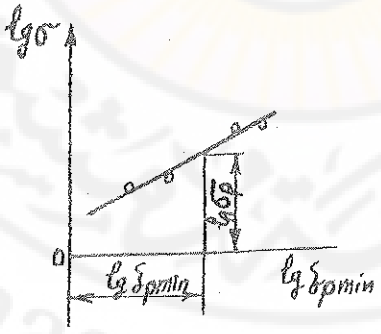
درجة الحرارة نفسها ونرسم المنحني الذي يبين علاقة الإجهاد بسرعة الانفعال اللدن الدنيا، ثم نأخذ على محور السينات مقدار سرعة الزحف المفروضة وعلى محور العينات نوجد مقدار حد الزحف الموافق، كما يوضح الشكل (١-١٩).



الشكل ١-١٧ مجموعة منحنيات الزحف



الشكل ١-١٨ علاقة الإجهاد بالانفعال بعد فترة زمنية محددة من اختبار العينات على الزحف



الشكل ١-١٩ علاقة الإجهاد بسرعة الزحف الدنيا في المعدن

الباب الرابع

الاختبارات اللاإتلافية للمواد

Damascus University



الفصل الأول

مدخل إلى التقييم اللاإتلافي

١ – ١ – مقدمة :

يقول البعض بأن للتقييم اللاإتلافي تاريخ قديم جدا وربما تكون القصة الشهيرة للعالم أرخميدس مع تاج الملك مثالاً جيداً لتوضيح معنى الفحوصات اللاإتلافية حيث استطاع أرخميدس في زمنه أن يحكم بنجاح على نوعية التاج دون أن يتلفه [١] وهذا بالفعل ما يقصد بالفحص اللاإتلافي، حيث يمكن أن تعرف الاختبارات اللاإتلافية على أنها الاختبارات التي تجري على المواد والمنتجات الصناعية بغرض التحري عن العيوب سواء كانت داخلية أم سطحية دون إحداث تلف أو تأثير ضار على مادة المنتج مما قد يعوق استخدامه فيما بعد.

ومن مميزات هذه الاختبارات أنها قابلة للتطبيق خلال جميع مراحل التصنيع أو الإنشاء أو في أثناء التشغيل على حد سواء وذلك دون الحاجة إلى وقف خط الإنتاج أو إعاقة للعمل، وهي بذلك تعد أداة فعالة وهامة لتحقيق كل من سلامة المنتج والمكونات والمنشآت والتجهيزات المختلفة وذلك بهدف التأكيد على أن مادة المنتج خالية من العيوب الضارة والتي تعوق القيام بالوظيفة المطلوبة لكل من المكون أو المنتج أو المنشاة أو التجهيزات.

يضم التقييم اللاإتلافي (Non-Destructive Evaluation) (NDE) العديد من المصطلحات المستخدمة لوصف مختلف الأنشطة والممارسات التي تدخل في هذا المجال: كالاختبار اللاإتلافي (Non-Destructive Testing) (NDT) والتفتيش اللاإتلافي (Non-Destructive Inspection) (NDI) والفحص اللاإتلافي (Non-Destructive Examination (NDEx) ؛ وتشمل هذه الأنشطة كما رأينا الاختبار والتفتيش والفحص والتي تتشابه في أنها تنطوي على البحث أو القياس لشيء ما في الجسم لتحديد بعض خصائصه أو لتحديد ما إذا كان يحتوي على أي من أشكال عدم الانتظام irregularity أو الانقطاع discontinuity أو الخلل flaw. أي إمكانية معرفة الحالة الداخلية للمادة المختبرة من حيث مواضع وأشكال العيوب أو القياس الكمي لبعض خواص العنصر باستخدام طرائق فحص مختلفة دون أن يؤدي ذلك إلى الإضرار بالمادة المختبرة إطلاقا.

---

[١] شك ملك سيراكوس في أن الصائغ الذي صنع له التاج قد غشه، حيث أدخل في التاج خلساً بدلاً من الذهب الخالص، وطلب من أرخميدس أن يبحث له في هذا الموضوع بدون إتلاف التاج. وعندما كان يغتسل في حمام عام، لاحظ أن منسوب الماء ارتفع عندما انغمس في الماء، فخرج عارياً في الشارع يجري ويصيح (أوريكا، أوريكا)؛ أي وجدتها وجدتها، لأنه تحقق من أن هذا الاكتشاف سيحل معضلة التاج. وقد تحقق أرخميدس من أن جسده أصبح أخف وزناً، عندما نزل في الماء، وأن الانخفاض في وزنه يساوي وزن الماء الذي أزاحه، وأيضاً تحقق من أن حجم الماء المزاح يساوي حجم الجسم المغمور. وعندئذ تيقن من إمكانية أن يعرف مكونات التاج دون أن يتلفه؛ وذلك بغمره في الماء، فحجم الماء المزاح بغمر التاج فيه لا بد أن يساوي نفس حجم الماء المزاح بغمر وزن ذهب خالص مساوٍ لوزن التاج. وكانت النتيجة : أن الصائغ فقد رأسه بهذه النظرية.

ويعتمد التطبيق الناجح لهذه الاختبارات بشكل كبير على مهارات المنفذ للاختبار وكذلك دقة التجهيزات المستخدمة، وعليه فإن هذه الاختبارات تجرى عادة من قبل مفتشين مؤهلين وفق المواصفات السائدة.

لقد استطاعت تكنولوجيا الفحوصات اللاإتلافية أن تواكب التقدم السريع في أنظمة الطيران وتطور الصناعة النووية بشكل ملحوظ بحيث استحقت مكانا هاما جدا في الصناعة.

تستخدم مصطلحات: أشكال عدم الانتظام أو الانقطاع أو الخلل للدلالة على كل ماهو موضع شك في عنصر آلي أو تركيبة آلية إلا أن المواصفات أو القواعد المحلية السائدة يمكن أن تعرف مصطلحات أخرى تندرج تحت هذا المفهوم لأن هذه المواصفات أو القواعد هي خلاصة أبحاث ونتائج تجريبية في الغالب، وعليه فإن المصطلح التقييم اللاإتلافي (NDE) جاء ليشمل جميع أنشطة الاختبار NDT و التفتيش NDI والفحص NDEx اللاإتلافي والتي تستخدم لإيجاد وتحديد موقع وحجم الأجسام وعيوبها مما من شأنه السماح للمفتشين اتخاذ القرار حول وجود خلل غير مقبول أو لا ، حيث يطلق على الخلل غير المقبول عادة اسم عيب defect.

١-٢- عناصر الاختبارات اللاإتلافية :

يحتاج إجراء أي اختبار لاإتلافي إلى توافر عدة عناصر هي :

١ – ضرورة توافر مصدر للطاقة ليحدث التأثير اللازم في المادة المراد اختبارها مثل مصدر الطاقة الإشعاعية كما هو الحال في أنبوبة الأشعة السينية بغرض اختراق مادة الجسم المختبر أو استخدام مصدر طاقة كهربائية بغرض إحداث أمواج فوق صوتية كما هو الحال في مجسات جهاز كاشف العيوب بالأمواج فوق الصوتية التي تنتشر في المادة المختبرة وكذلك استخدام مصدر طاقة كهربائية أو مغنطيسية لإحداث تأثير في مادة الجسم المختبر كما هو الحال في أجهزة اختبارات التيارات الدوامية (الإعصارية) أو الاختبارات المغنطيسية.

٢– إحداث تغير في الطاقة المرسلة نتيجة لتأثرها بالخواص الفيزيائية للجسم المختبر وذلك مثلا : نتيجة لاختلاف الخواص الطبيعية أو البنية الداخلية للمادة المختبرة فمثلا :

-تغير شدة الأشعة السينية المستخدمة بسبب وجود الكثافات المختلفة في مكونات مادة الجسم المختبر وذلك خلال سريان الطاقة الإشعاعية.

-تغير أيضاً عند انعكاس الموجات فوق الصوتية على سطوح الانقطاعات أو نتيجة وجود بعض العيوب في الجسم المختبر.

٣– وجود جسم حساس تجاه التغيرات التي تمت على الطاقة والمستخدمة في الاختبارات مثل فيلم التصوير الإشعاعي، أو المجسمات.

٤– تسجيل الإشارات : بشكل قابل للتفسير.مثل تحميض وتثبيت أفلام التصوير الإشعاعي، وإظهار إشارة الأمواج فوق الصوتية على شاشة كاشف العيوب بالأمواج فوق الصوتية.

٥- وجود مراقب : يقرأ ويفسر الإشارات ويحولها إلى معلومات عن خصائص وخواص الجسم المختبر.

٦- يتم تصميم كل نوع من أنواع الاختبارات اللاإتلافية بحيث يعطي إشارة أو علامة (Indication) تدل على وجود عيب معين قد يتعذر أو لا يمكن رؤيته بالعين المجردة في الجسم المختبر.

فعلى سبيل المثال : يمكن أن تكون هذه الإشارات أو العلامات عبارة عن تجمع للحبيبات الممغنطة عند موقع العيب عند إجراء الاختبارات بالحبيبات الممغنطة أو على هيئة إشارات كهربائية تظهر على شاشة الجهاز كاشف العيوب في أثناء الاختبار بالأمواج فوق الصوتية...إلخ.

هذه الإشارات أو العلامات يمكن أن تكون حقيقية وتدل على وجود عيب معين في الجسم المختبر أو تكون إشارات غير حقيقية ولا تدل على عيب معين لكنها تظهر نتيجة اختلاف طبيعي في أي من التركيب البلوري للمادة المختبرة أو الشكل الهندسي الخارجي للجسم المراد اختباره أو تمكّن من تنفيذ مراحل الاختبارات المختلفة.

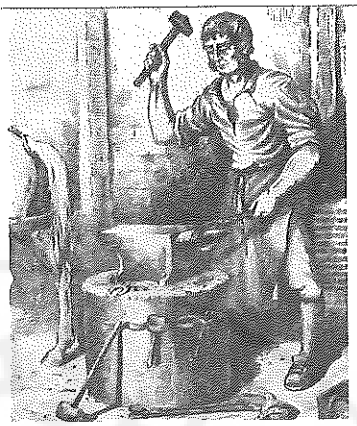
١-٣- تاريخ التحليل اللاإتلافي:

من الصعب بمكان تحديد تاريخ معين يشير بدقة إلى متى بدأ ما نسميه الآن الاختبار اللاإتلافي، في العصور القديمة، كان صوت رنين شفرة السيف الدمشقي مؤشرا على مدى قوة المعدن المصنوع منه السيف، وهي التقنية الصوتية نفسها التي استعملها الحدادون لعشرات السنين (الشكل ١-١) حيث كانوا يستمعون إلى الأصوات المختلفة للمعادن المشكلة وقد استعملت الطريقة نفسها من قبل صناع الأجراس والنواقيس للتحقق من جودتها (الشكل ١-٢)، وفي روما قديماً كان يتم اختبار وجود فراغات تحت طبقات الشوارع القديمة بأن تضرب حجارتها بأعمدة خشبية وثم يتم تتبع تغيرات طبقات الصوت.

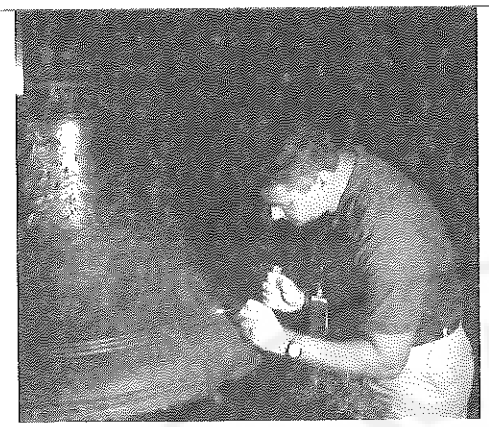
الاختبارات البصرية، وإن لم تكن تعد "رسميا" جزءا من تكنولوجيا الاختبار اللاإتلافي، كانت تستخدم لسنوات عديدة لمجموعة واسعة من التطبيقات، واستخدم استشعار الحرارة لرصد التغيرات الحرارية في المواد. بين الجدول ١-١ التسلسل الزمني لبعض الأحداث الرئيسية التي مر بها تطور الاختبار اللاإتلافي و الأفراد الذين كانوا مسؤولين عن هذه التطورات، بالتأكيد هناك العديد من الأفراد الآخرين الذين قدموا مساهمات كبيرة في نمو الاختبار اللاإتلافي، ولكن يستحيل تسميتهم جميعا.

١-٤- اختيار طريقة مفيدة للتقييم اللاإتلافي:

اختيار طريقة مفيدة للتقييم اللاإتلافي أو مزيج مناسب من أساليب التقييم اللاإتلافي يتطلب أولا فهماً واضحاً للمشكلة التي يتعين حلها، ومن ثم من الضروري دراسة مختلف الاحتمالات الممكنة من أساليب التقييم اللاإتلافي والمناسبة لتقييم المشكلة المدروسة وذلك بحسب المعايير التي سيتم استعراضها لاحقاً في هذا الفصل أو الفصول القادمة ليتم بعد ذلك المفاضلة بين الأساليب الممكنة لاختيار أفضلها للمسألة المدروسة.



الشكل ١-١ الحدادون القدماء



الشكل ١-٢ اختبار الأجراس بواسطة النقر

الجدول ٣-١ التطور التاريخ للاختبار اللاإتلافي

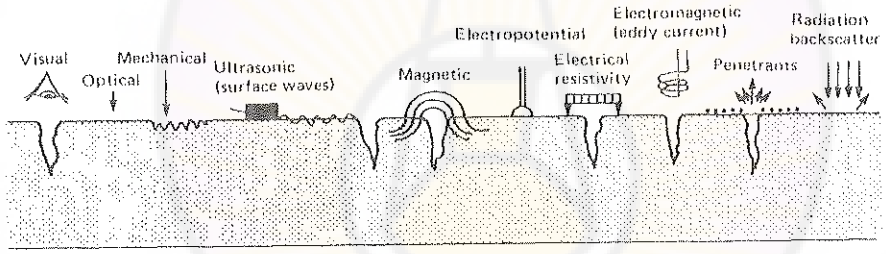
1800	أول المشاهدات بالتصوير الحراري بواسطة وليامس هيرشل مكتشف الأشعة تحت الحمراء
1831	أول اقتفاء كهرمغناطيسي بواسطة ميشيل فارادي
1840	أول صورة أشعة تحت حمراء بواسطة جون ابن هيرشل
1868	أول أشارة للاختبار بالجسيمات المغناطيسية من قبل ساكسبي بإدراك كيف يمكن لاسطوانة ممغنطة أن تؤثر على البوصلة
1879	أو استخدام التيارات الدوامية للكشف عن التغيرات في الناقلية والنفاذية المغناطيسية ودرجة الحرارة بواسطة هوغس
1880–1920	تقنية الطباشير والزيت كبداية للاختبار بالسوائل النفوذة الحالي والتي استخدمت لمحاور السكك الحديدية وجدران المراجل
1895	اكتشاف أشعة X بواسطة رونتجن
1898	اكتشاف الراديوم بواسطة ماري وبيير كوري
1922	التصوير الإشعاعي الصناعي للمعادن والذي طور من قبل ليستير
1927–28	تطوير نظام تتبع التيار الكهربائي واكتشاف الحقل المغناطيسي من قبل الدكتور سبيري و ودراك لفحص خطوط السكك الحديدية
1929	ابتكار فحص الجسيمات المغناطيسية وتجهيزاته من قبل ديفوريست ودوان
1929	إجراء التجارب الأولى التي تستخدم محول طاقة من الكوارتز لتوليد اهتزاز فوق صوتي ضمن المواد من قبل سوكولوف في روسيا
1930	برهان الاستخدام العملي التصوير الإشعاعي الجامي باستخدام الراديوم من قبل الدكتور روبيرت مهل
1935–1940	تطوير تقنية السوائل النفوذة من قبل بيتز و دوان و ديفوريست
1935–1940	تطوير آلة التيارات الدوامية من قبل كنير و فارو زوشلاغ و فيورستير
1940–1944	تطوير طريقة الاختبار فوق الصوتي في الولايات المتحدة من قبل فيرستون
1942	إدخال أول كاشف عيوب فوق صوتي يستخدم استجابة النبضات من قبل سيرول في المملكة المتحدة
1946	تقديم أول وسيلة محمولة لقياس الثخانة بالأمواج فوق الصوتية من قبل برانسون
1950	تقديم طريقة الانبعاث الصوتي كطريقة للاختبار اللاإتلافي من قبل كاسبير
منتصف 1950	تطوير أول وسيلة للاختبار فوق الصوتي بالغمر " المسح B و C " من قبل دونالد اردمان

يجب أن لا يغيب على الذهن أنه لا توجد طريقة واحدة من طرق الاختبارات اللاإتلافية بمقدورها أن تكشف عن جميع الإنقطاعات أو العيوب في الأجسام والمواد المختبرة، وليس صحيحاً القول بأن طريقة ما أفضل من طريقة أخرى، وإنما الصحيح أن طرق الاختبارات اللاإتلافية تكمل بعضها بعضاً في الكشف عن العيوب في المواد والعناصر والمنشآت وبعد إزالة هذه العيوب نضمن إنتاجاً بالجودة المطلوبة لمتطلبات الاستخدام.

سنبين في هذا الفصل الوسائل المختلفة للمقارنة بين طرائق التحليل اللاإتلافي إلا أنه يجب أن لا يغيب عن الذهن أنه ليس هناك نظام عياري للمقارنة لأن النتائج تعتمد اعتمادا كبيرا على التطبيق، لذلك من المفضل تطوير أساليب مقارنة خاصة بحسن مناطق استخدام التحليل اللاإتلافي أو تطبيق التي تستخدمها. إن المصادقة النهائية على أي بروتوكول NDE تعتمد على معايير القبول باستخدام الأنظمة المناسبة للمعايرة.

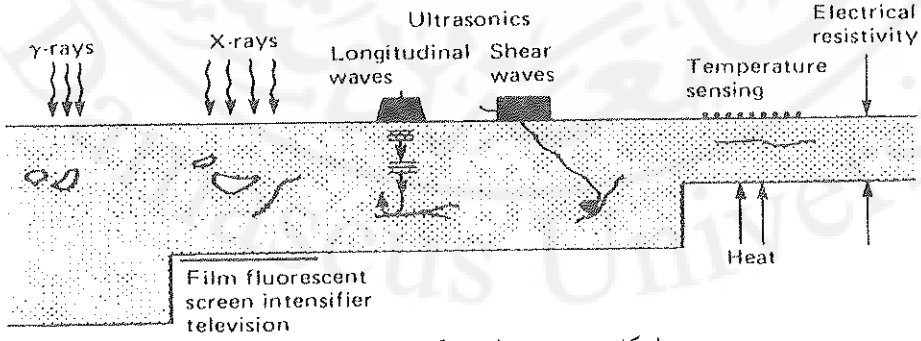
تصنف طرائق الاختبارات اللاإتلافية بحسب طبيعة العيب الممكن اكتشافه إلى ثلاث طرائق :

- طرائق تتحرى عن العيوب السطحية على الجسم المختبر (الشكل ١-٣)، مثل:
  - طريقة الفحص البصري.
  - طريقة الاختبار بالسوائل النافذة.



الشكل ١-٣ اختبار العيوب السطحية

- طرائق تتحرى عن تحت السطحية (الشكل ١-٤)، مثل:
  - طريقة الاختبار بالحبيبات المغنطيسية.
  - طريقة الاختبار بالتيارات الدوامية.



الشكل ١-٤ اختبار العيوب تحت السطحية والداخلية

- طرائق تتحرى عن العيوب في داخل الجسم المختبر (الشكل ١-٤)، مثل:
  - طريقة الاختبار بالتصوير الإشعاعي.
  - طريقة الاختبار بالأمواج فوق الصوتية.

و تصنف أساليب التقييم اللاإتلافي بحسب الهدف منها ضمن تسعة مجالات :

- كشف و تقييم الخلل

Flaw detection and evaluation

- كشف و تقييم التسرب

Leak detection and evaluation

- قياس الأبعاد وتقييمها

Metrology (measurement of dimension) and evaluation

- تحديد الموضع وتقييمه

Location determination and evaluation

- توصيف البنية الماكروية والبنية المجهرية

Structure or microstructure characterization

- تقدير الخواص الفيزيائية والميكانيكية

Estimation of mechanical and physical properties

- تحديد الإجهادات والانفعالات والاستجابة الديناميكية

Stress (strain) and dynamic response determination

- تحليل الأثر

Signature analysis

- تحديد التركيب الكيميائي

Chemical composition determination

بالرغم من أن الكثير من المراجع لا تدرج كل من تحليل الأثر و تحديد التركيب الكيميائي ضمن موضوعات التحليل اللاإتلافي إلى أنه من الضروري التطرق لهما وذلك بهدف التغطية الكاملة في طرح هذا الموضوع وزيادة الفائدة منه. وتجدر الإشارة هنا أنه في معرض الشرح يجب أن نميز بين طريقة وتقنية فعلى سبيل المثال يوصف الاختبار بالأمواج فوق الصوتية (Ultrasonic Testing) على أنه طريقة في حين أنه ضمن هذه الطريقة هناك عدة تقنيات منها الاختبار بالتماس (Contact Testing) والاختبار بالغمر (Immersion Testing).

١-٤-١- كشف و تقييم الخلل:

يعتبر كشف الخلل من أهم جوانب التحليل اللاإتلافي، هناك العديد من التصورات التي يتم على أساسها اختيار طريقة التحليل اللاإتلافي من أهمها تلك المقاربة التي تفترض أن هناك ستة من العوامل الرئيسية فقط التي يعتمد عليها اختيار طريقة التحليل اللاإتلافي وهي:

- أسباب إجراء التحليل اللاإتلافي.
- نوع الخلل المتوقع في الجسم.
- حجم واتجاه الخلل الذي يجعل من الجسم مرفوضا
- موقع الخلل المتوقع في الجسم
- حجم وشكل الجسم
- خصائص المواد التي يتم تقييمها

السؤال الأهم الذي يتعين الإجابة عليه قبل اختيار طريقة التحليل اللاإتلافي هو، ما هي أسباب اختيار إجراء التحليل اللاإتلافي الأمر الذي يمكن أن يعود لأحد الأسباب التالية:

- تحديد ما إذا كان العنصر مقبولاً بعد كل خطوة من خطوات التصنيع، الأمر الذي يطلق عليه التفتيش في أثناء مراحل الإنتاج in-process inspection
- تحديد ما إذا كان العنصر مقبولاً للاستخدام النهائي، الأمر الذي يطلق عليه التفتيش النهائي final inspection
- تحديد ما إذا كانت العنصر الموجود بالفعل في الاستخدام مقبولاً للاستمرار بالخدمة، الأمر الذي يطلق عليه التفتيش في الخدمة in-service inspection

بعد التحقق من مسوغات اختيار التحليل اللاإتلافي ينبغي تحديد أي أشكال الخلل تعد مرفوضة، وموقع الخلل في الجسم، وكذلك ينبغي أيضاً قدر الإمكان تحديد نوع الخلل وحجمه واتجاهه الذي يجعل من الجسم مرفوضا وإن تطلب الأمر إجراء حسابات في الإجهادات أو في التصدع والانهيار. فإذا كان إجراء هذه الحسابات الدقيقة غير متاح اقتصادياً أو لسبب آخر فإنه يجب تقدير نوع الخلل وحجمه واتجاهه الذي يجعل من الجسم مرفوضاً بعد الأخذ بالحسبان عوامل الأمان مناسبة.

نوع الخلل وحجمه واتجاهه الذي يجعل من الجسم مرفوضاً غالبا ما تمليه القواعد أو التوصيات أو المواصفات القياسية، كما هو سائد على سبيل المثال في الولايات المتحدة في توصيات:

- الجمعية الأمريكية للمهندسين الميكانيكيين "قواعد أوعية الضغط"

American Society of Mechanical Engineers – **ASME** - Pressure Vessel Code

- اللجنة التنظيمية النووية في الولايات المتحدة

United States - Nuclear Regulatory Commission - **NRC**

- جمعية اللحام الأمريكية "قواعد المياكل الملحومة"

American Welding Society - **AWS**- Structural Welding Code

١-٤-٢-كشف و تقييم التسرب

بما أن هناك العديد من العناصر التي تعمل تحت الضغط لذا فإن لإجراء اختبار التسرب أهمية بالغة ويستخدم هذا الاختبار تقنيات كثيرة لكل منها مجال تطبيق محدد، يتم اختيارها بعد تحليل دقيق لمختلف العوامل التي توصف هذا النوع من الاختبار.

١-٤-٣- قياس الأبعاد وتقييمها

يعتبر قياس الأبعاد واحداً من أكثر الاختبارات اللاإتلافية استخداماً بالرغم من أنه أحياناً لا يصنّف ضمن الاختبارات الأخرى. إن اختيار نظام قياس مناسب يعتمد على المتطلبات الخاصة للتطبيق المعتبر وعلى خصائص الطرق المختلفة التي يمكن بواسطتها قياس الأبعاد، حيث يمكن قياس الأبعاد بالاستفادة من الأمواج فوق الصوتية والتيارات الدوامية و التفتيش بالليزر ... إلخ.

١-٤-٤- تحديد الوضع وتقييمه

يقع ضمن هذا المصطلح البحث فيما إذا كانت تركيبة آلية تحتوي على الأجزاء المناسبة أم لا، وتعتبر طريقة التصوير الإشعاعي بأشعة X أو بالنترونات الأكثر استخداماً في هذا المجال.

١-٤-٥- توصيف البنية الماكروية والبنية المجهرية و تحديد التركيب الكيميائي.

يتم الاستفادة من تقنيات التحليل اللاإتلافي بتوصيف البنية المجهرية للعناصر الآلية وذلك باستخدام مجاهر خاصة، كما يمكن الجمع مع طريقة أخرى لتحقيق ذلك كما هو ممكن مثلاً من خلال الجمع مع طاقة الانبعاثات فوق الصوتية لفحص البنية المجهرية لحديد الصب الرمادي.

يمكن توصيف البنية المجهرية من خلال تحديد الخواص الفيزيائية أو الميكانيكية باستخدام طرائق الاختبار اللاإتلافي وذلك نظراً للعلاقة مابين البنية المجهرية والخواص والأثر الناتج عن الاختبار.

ويتم تحديد التركيب الكيميائي بواسطة طرائق قياس الطيف والتي يمكن أن تستخدم العديد من التقنيات مثل البلازما و أشعة إكس والأشعة الفوق بنفسجية والأشعة تحت الحمراء.

١-٤-٦- تقدير الخواص الفيزيائية والميكانيكية

يعد التنبؤ بالخواص الميكانيكية والفيزيائية بتقنيات التحليل اللاإتلافي من التطبيقات الجديدة للتحليل اللاإتلافي، حيث تتأثر التيارات الإعصارية والأمواج فوق الصوتية وأشعة إكس التصوير الإشعاعي النتروني والتصوير الطبقي و التصوير الحراري ، بالبنية المجهرية والتي ترتبط بدورها بالخواص الميكانيكية والفيزيائية، ومن جهة أخرى التحليل اللاإتلافي بالأمواج الميكروية يرتبط بخاصية لدونة المواد ، وبذلك فإن تقنيات التحليل اللاإتلافي يمكن أن تقود للتنبؤ بالخواص الميكانيكية والفيزيائية.

١-٤-٧- تحديد الإجهادات والانفعالات والاستجابة الديناميكية و تحليل الأثر

يمكن قياس الانفعالات باستخدام طرق تحسس الانفعالات مثل مقاييس الانفعال أو طريقة المرونة المصورة كما تم تطوير مجموعة من الطرق لقياس الإجهادات المتبقية في المواد مثل انحراف أشعة إكس ، الأمواج فوق الصوتية والتيارات الدوامية ، وأما السلوك الديناميكي يمكن أن يقيم خلال الخدمة الفعلية أو محاكاتها باستخدام طرق تحسس الانفعالات عندما يكون الجسم محملاً ديناميكياً، كما يمكن استخدام مقاييس التسارع أو المحولات الصوتية لتحديد الاستجابة الديناميكية لجسم محمل، هذه الاستجابة تدعى الأثر وتقييم هذا الأثر يدعى تحليل الأثر حيث ترتبط طبيعته بالعديد من الأسباب كالضجيج و الاهتزازات وعدم الاستقرار.

١ – ٥ – فوائد الفحوصات اللاإتلافية :

ما يميز الاختبارات اللاإتلافية كما وجدنا أنها قابلة للتطبيق خلال جميع مراحل التصنيع أو الإنشاء أو التشغيل وبذلك فهي تساهم في زيادة الإنتاجية وقابلية الاستخدام وتوصيف المواد، وكذلك في زيادة الأمان وحماية الممتلكات والبيئة والإنسان من حدوث الكوارث الصناعية والأضرار.

وباعتبار أن الاختبارات اللاإتلافية تجرى على الجسم المستخدم دون اجتزاء أو أخذ عينة منه، فإنه يتم تلافي جميع الشكوك حول وجود اختلاف بين سلوك العينة والجسم، إضافة لما سبق فإن تكاليف الاختبارات اللاإتلافية تعد منخفضة نسبياً وهي تسمح بتنفيذ عدد كبير من الاختبارات مما يدفع المصممين ومهندسي الاختبارات إلى اعتبار القاعدة التالية:

"عندما تسمح الظروف باستخدام طرائق الاختبارات اللاإتلافية و الإتلافية على حد سواء للوقاية من الأخطار وتلافي الخلل والعيوب فإنه يفضل استخدام الاختبارات اللاإتلافية على الاختبارات الإتلافية".

ولقد تطورت الاختبارات اللاإتلافية وتقنياتها لتواكب الحاجة المستمرة إلى تحسين مواصفات وجودة العناصر والمكونات من مصبوبات ومشغولات ومطروقات ووصلات لحامية. وهكذا أصبحت تطبيقاتها واسعة جداً في كافة المجالات الصناعية، كما أنها تعد من أهم طرائق الاختبارات المستخدمة خاصة في المنشآت النووية والصناعات الفضائية والصناعات البتروكيميائية ومحطات توليد والطاقة الكهربائية، إلى ما هنالك من التطبيقات والفعاليات الصناعية وغير الصناعية أيضاً ونذكر على سبيل المثال لا الحصر المجالات التالية:

١ ــ في صناعة المعادن:

حيث يتم فحص المصبوبات المعدنية والمشغولات بالطرق والمنتجات المدلفنة أو المسحوبة كالصفائح والأنابيب وغير ذلك بهدف ضمان جودتها.

٢ ــ في النقل:

كاختبار أجزاء الطائرات وأجزاء المركبات الفضائية قبل إطلاقها وبعد عودتها واختبار عجلات وخطوط السكك الحديدة الخاصة بالقطارات السريعة.

٣ ــ في بناء السفن وتشغيل المعادن:

كاختبار الصفائح الفولاذية ولحاماتها واختبار المواد الداخلة في تصنيعها واختبار الأدوات المعدنية وأجزاء الآلات في أثناء مراحل تصنيعها المختلفة.

٤ ــ في المفاعلات النووية:

حيث يتم اختبار جدران المفاعل وأوعية الضغط وأنابيب البخار في مولدات البخار ومغلفات الوقود النووية الوصلات اللحامية في أنابيب الدارة الأولية والدارة الثانوية.

٥ ــ في الصناعات الكيميائية:

تستخدم بعض طرائق الاختبارات اللاإتلافية في الكشف الدوري على سلامة الأجزاء المتعرضة للتآكل وتحديد المواضع المتطلبة للصيانة.

٦ ــ في العلم والبحث العلمي:

حيث دخلت الاختبارات اللاإتلافية في مجال تحديد البنية الكيميائية للأجسام وفي مجال تحديد الخواص الفيزيائية للمواد.

٧ ــ في الطب:

تستخدم بعض طرائق الاختبارات اللاإتلافية كطريقة التصوير الإشعاعي وطريقة الأمواج فوق الصوتية في فحص وتشخيص الكثير من الحالات المرضية في المستشفيات والعيادات الطبية.

ويمكن توضيح فوائد الاختبارات اللاإتلافية من خلال دورها في المجالات التالية:

١- ضمان سلامة المنتج وبالتالي وثوقيته :

إن مستخدم المنتجات المصنعة يتوقع وهو يشتري هذه المنتجات أنها ستخدمه مدة محددة دون مشاكل أو أعطال. صحيح أن هناك بعض المنتجات المصنعة حالياً تخدم لعقود من الزمن إلا أنه من المفروض لأغلب المنتجات الباقية أن تخدم لفترة معقولة دون أن تتعرض للفشل.

على الرغم من زيادة التعقيدات في الآلات الميكانيكية والكهربائية المستخدمة يومياً، إلا أن المستهلك تعوّد مع مرور السنين أن يحصل على منتجات تخدمه بشكل أفضل ولمدة أطول.

كذلك فقد زادت سرعة وسائط النقل المختلفة من قاطرات وطائرات وسفن، ولكن في المقابل فإن مستخدمي هذه الوسائط لن يقبلوا أبداً أن يصلوا إلى هدفهم متأخرين نتيجة لفشل ميكانيكي.

أما المصانع فقد أصبحت في معظمها مؤتمتة وباتت منتجاتها أكثر وأفضل. وعليه فإن إدارة هذه المصانع تتوقع دائماً أن يستمر عمل الآلات دون توقف لأن الربح هنا يعتمد على هذه الاستمرارية في الإنتاج.

وهكذا نجد أن تعقيدات منتجات الوقت الحاضر والآلات التي تصنعها وتنقلها تتطلب في كل جزء أو مكون وثوقية عالية وهذا ما يمكن توضيحه بالمثال البسيط التالي :

إذا كان منتج ما مكوناً من جزء واحد وكان احتمال فشله قبل أن يخدم المدة المعقولة المقررة له واحد بالألف، فإن هذا الاحتمال يبدو مقبولاً بأن فرصة الفشل منخفضة جداً ولكن إذا كان المنتج مكوناً من ١٠٠ جزء مختلف وكان احتمال فشل كل جزء منها واحد بالألف أيضاً، فإن احتمالات فشل هذا المنتج تصبح واحداً في العشرة. وهكذا فإن مستخدم هذا المنتج لن يكون راضياً إذا فشل لديه واحد من كل عشرة منتجات قبل أوانه. بمعنى أن سلامة الجزء وبالتالي وتوثيقه يجب أن تكون أكبر من الوثوقية المطلوبة للمنتج المجمع. وكمثال لنأخذ المحرك الميكانيكي V8 والمكون من عمود مرفق واحد وثمانية أذرع توصيل

وستة عشر نابضاً صماماً والمئات من الأجزاء الأخرى. فشل أحد هذه الأجزاء نظرياً يمكن أن يجعل المحرك عديم النفع. ولكن ما هو احتمال الفشل الذي يتعرض له صاحب السيارة؟ إن هذا الاحتمال منخفض جداً خلال الحياة الطبيعية للسيارة وهذا عائد بشكل كبير إلى قدرة مهندسي السيارات على التصميم الجيد ومهندسي المعادن على تطوير المواد الصحيحة المناسبة، ومهندسي الإنتاج على سباكة ودرفلة وطرق وتشغيل وتجميع الأجزاء بالشكل الصحيح، وكذلك إلى قدرة مفتشي الاختبارات اللاإتلافية وعناصر مراقبة الجودة على وضع المعايير والتأكد من مطابقة المنتج لها.

٢- منع الحوادث وإنقاذ الأرواح

إن ضمان وثوقية المنتج أمر ضروري كما ذكرنا لأن الناس تتوقع دائماً الأداء الأفضل، وإن كانت هذه الوثوقية ذات نفع مادي مهم إلا أن حماية أرواح الناس بحد ذاتها أسمى وأهم ومن هنا يبرز دور أهمية الاختبارات اللاإتلافية والمستوى العالي لمقدرتها المتوافرة حالياً والتي تجعل فشل أحد أجزاء القطارات عند السرعات العالية، أو فشل احد أجزاء الطائرات عند الهبوط أو الإقلاع أو تسرب الإشعاعات في المفاعلات النووية أمراً نادراً لحدوثه.

كما تفيد قدرة الفحوصات اللاإتلافية في الكشف عن توزع الإجهاد الميكانيكية وإجهاد التعب، في تجنب اختلال التشغيل للمعدات الهامة أو تحطمها وكذلك تخفيض كلف التشغيل والصيانة مما من شأنه تحسين قابلية الخدمة للآلات وتخفيض الهدر الذي قد ينجم عن أي تآكل أو حت.

٣- المساعدة في تصميم المنتج

تساعد الاختبارات اللاإتلافية إلى حد كبير في إعطاء التصميم الأفضل للمنتج. إذ إن تطبيقها على المسبوكات مثلاً يبين للمصمم التغيرات الواجب إجراؤها على التصميم والنموذج لإنتاج مسبوكات أسلم. هذا من ناحية، ومن ناحية أخرى وبعيداً عن اكتشاف الانقطاعات داخل المادة فإن الاختبارات اللاإتلافية تحدد اتجاه ومواضع تركيز وتغير الإجهادات الميكانيكية وبذلك فهي تؤدي دوراً هاماً في تصميم أجزاء أخف وأقوى وأقل تكلفة وأكثر وثوقية.

٤- مراقبة عمليات التصنيع

تطبق معظم طرائق الاختبارات اللاإتلافية للمساعدة في مراقبة عمليات التصنيع وبذلك فهي تحقق فائدة مباشرة للمصنع. وكمثال على ذلك لنأخذ عملية المعالجة الحرارية . يضع اختصاصي المعادن إجراءات المعالجة معتمداً على مادة سليمة ذات تركيب كيميائي معروف. فإذا طبقت إحدى طرائق الاختبارات اللاإتلافية على كل أو جزء من هذه المادة وتبين أن التركيب الكيميائي مختلف أو بعيد جداً عن التركيب المعتبر لدى وضع نظام المعالجة، فإن الإجراءات الموضوعة سوف تفشل في تحقيق المعالجة المطلوبة أو أنها

ستؤدي إلى حدوث التشققات وبهذا يمكن تعديل هذه الإجراءات العملية مما يوفر على المصنع الكثير من الوقت والمال.

٥- تخفيض كلفة التصنيع

تستطيع الاختبارات اللاإتلافية تخفيض كلفة التصنيع عندما تستخدم بشكل مبكر في الكشف عن الخصائص غير المرغوبة والأخطاء في المادة الخام. وبذلك فهي تزيل تكلفة عمليات التشغيل اللاحقة التي يمكن أن تجري على هذه المادة. ومثال على ذلك : فحص القطع الخام قبل عملية الطرق إذ إن وجود شوائب كبيرة أو شروخ في هذه القطع يمكن أن يجعلها مرفوضة وبالتالي فإن إخضاعها لأعمال الطرق من أجل تشكيلها بالشكل المطلوب يصبح أمراً غير ذي جدوى.

و تساعد الفحوصات اللاإتلافية في تحقيق الاستعمال الأمثل للمواد؛ فهي تخفف إلى حد كبير عمليات إعادة التصنيع وتحسين الجودة وتخفض كلف الإنتاج والخدمة كما أنها تساهم في تحسين طرائق الإنتاج وبالتالي فهي تزيد الإنتاجية وترفع مقدار الربح.

كما أن الاختبارات اللاإتلافية يمكن أن توفر تكلفة التصنيع عند تخفيض تكلفة الاختبار ذاته. وذلك باختيار طريقة الاختبار ذات التكلفة الأقل للحصول على المعلومات المرغوبة كمثال على ذلك استبدال طريقة الاختبار بالدقائق المغناطيسية بطريقة الاختبار بالسوائل النافذة لاكتشاف الشروخ أو التصدعات السطحية.

٦- الحفاظ على مستوى جودة متجانس .

يمكن للاختبارات اللاإتلافية أن تساهم في تحسين الجودة، إلا أن وظيفتها الحقيقية تتمثل في مراقبة مستوى الجودة المحدد والمحافظة عليه دون تجاوزه نحو الأحسن أو الأسوأ على حد سواء، وذلك حسب ما ترغبه الإدارة. فإذا أرادت الإدارة أن تكون منتجاتها خالية من العيوب أو ذات سوية محددة من الجودة فإن الاختبارات اللاإتلافية تساعد على تحقيق المطلوب دون زيادة أو نقصان.

١ – ٦ – طرائق الاختبارات اللاإتلافية :

هناك ست طرائق للاختبار اللاإتلافية واسعة الاستخدام هي:

١. طريقة الاختبار البصري	(VT)	Visual and Optical Testing
٢. طريقة الاختبار بالسوائل النافذة	(PT)	Liquid Penetrant Testing
٣. طريقة الاختبار بالدقائق المغنطيسية	(MT)	Magnetic Particle Testing
٤. طريقة الاختبار بالتيارات الإعصارية	(ET)	Eddy Current Testing - Electromagnetic induction
٥. طريقة الاختبار بالأمواج فوق الصوتية	(VT)	Ultrasonic Testing
٦. طريقة الاختبار التصوير الإشعاعي	(VT)	Radiography Testing

بالإضافة للعديد من طرائق الأخرى مثل:

١. طريقة التصوير الحراري – الأشعة تحت الحمراء	(TT)	Thermography
٢. طريقة الأمواج الميكروية	(MWT)	Microwave
٣. طريقة الانبعاث الصوتي	(AT)	Acoustic Emission
٤. اختبار الضغط وكشف التسرب	(LT)	pressure and leak test
٥. اختبار الانفعال	(ST)	Strain test

تمتاز كل طريقة من الطرائق المذكورة أعلاه بمزايا خاصة بها ويعتمد اختيار الطريقة الأكثر ملائمة لاختبار منتج ما بالإضافة إلى خبرة القائم على الاختبار، على مزايا هذه الطرائق وظروف استخدامها وكذلك على العيوب التي يمكن أن تصادف في القطعة المراد اختبارها ويجب أن لا يغيب عن الذهن أن ميزات الاختبارات اللاإتلافية يقابلها سيئات تصادف في كافة طرائق الاختبار والتي لا يمكن غض الطرف عنها وهي تتمثل في حدود إمكانيات الاستخدام والنتائج غير المقنعة في بعض الأحيان.

وفيما يلي نجد شرحاً مبسطاً لبعض طرائق الاختبارات اللاإتلافية المستخدمة في التحري عن العيوب ويوضح المبادئ الأساسية المستخدمة التي تقوم عليها طريقة وخصائص كل منها والتطبيقات الصناعية لهذه الطرائق.

١-٦-١- طريقة الاختبار البصري Visual Method:

تعد طريقة الاختبار البصري من أسهل طرائق الاختبارات اللاإتلافية تطبيقاً وتعد متممة لطرائق الاختبارات اللاإتلافية الأخرى. يتم الاختبار بالعين المجردة أو باستخدام إحدى مساعدات الرؤيا.

١-٦-٢-طريقة السؤال النافذة Liquid Penetrant Method :

يقوم مبدأ هذه الطريقة على وضع سائل نافذ على المادة المراد اختبارها ومراقبة تدفق السائل النافذ من داخل الشقوق إلى خارجها بفعل مادة مظهرة.

١-٦-٣-طريقة الدقائق المغناطيسية Magnetic Particles Method :

يقوم مبدأ هذه الطريقة على انجذاب دقائق من أكاسيد الحديد المغناطيسي إلى المواضع الحاوية على العيوب الواقعة على سطح العينات المختبرة أو بالقرب من سطحها وذلك تحت تأثير حقب مغنطيسي مطبق عليها.

١-٦-٤- طريقة التيارات الدوامة Eddy Current Method :

يقوم مبدأ عمل هذه الطريقة على قياس تغيرات ممانعة مسبار الاختبار عند تغير تدفق التيارات الداومة في المادة المختبرة نتيجة لحدوث تغيرات في خواصها الميكانيكية أو خواصها الكهربائية أو في خواصها المغنطيسية.

١-٦-٥-طريقة الأمواج فوق الصوتية Ultrasonic method :

يقوم مبدأ هذه الطريقة على انعكاس الأمواج فوق الصوتية على السطوح الفاصلة ضمن المادة المختبرة وعلى سطوحها الخارجية.

١-٦-٦-طريقة التصوير الشعاعي Radiography Method :

يقوم مبدأ هذه الطريقة على قياس معدل زيادة أو نقصان امتصاص الأشعة الساقطة على الأجزاء المختلفة من المادة المختبرة.

وتتناول الفصول التالية من هذا الباب وصفاً تفصيلياً لتقنيات هذا الاختبار.

١-٧- الكودات والمعايير Codes and standards

إن من أهم ما يميز التحليل اللاإتلافي هو تغطيته الكاملة من خلال المعايير والمواصفات والتوصيات الدولية المختلفة لذا سنركز في هذه الفقرة على توضيح بعض المفاهيم الخاصة بالتوصيف والمعايرة لطرائق الاختبار أو التحليل اللاإتلافي.

١-٧-١- مفاهيم أساسية وتعاريف:

المعايرة Standardization :

هي تثبيت محددات عملية التصنيع للحفاظ على مواصفات ثابتة للمنتج.

المعايير standards :

وهي وثائق تحكم وتوجه الفعاليات المطبقة في إنتاج منتج ما وتوجيهها وتصف المتطلبات الفنية للمواد والعمليات والمنتجات والأنظمة والخدمات كما تحدد الطرائق والإجراءات والتجهيزات الخاصة التي تضمن تحقيق المتطلبات الفنية للمواد.

الكودات والمواصفات Codes and Specifications :

هي نماذج متشابهة من المعايير تستخدم عبارة "يجب" للإشارة إلى إلزامية استخدام مواد محددة أو إجراءات فنية محددة أو كلاهما. ويختلف الكود عن المواصفات بأنه يجب أن يتم تطبيقه بقوة القانون. ويصبح تطبيق المواصفات إلزامياً أيضاً عندما يطلب الكود تطبيقها أو عند ذكر ذلك عقدياً. ومثل عن الكودات هو الكود الأمريكي لتشييد المراجل المضغوطة Asme وهو عبارة عن مجموعة من المعايير تضمنت تصميم والتشييد والاختبار الآمن للمراجل وأوعية الضغط.

المرشد وأسس المزاولة الموصى بها guide and recommended practices :

وهي عبارة عن معايير اختيارية تم وضعها بمساعدة المستثمر إلا أنها تصبح إلزامية التطبيق عند ورود ذكرها في الكود أو عندما يذكر ذلك في العقود. وعندما يتضمن الكود أو الاتفاق على فقرات أو ملحقات غير ملزمة باستخدام هذه المعايير فإن تطبيقها يكون وفقاً لاختيار المستثمر.

الإجراء Procedure

يعرف الإجراء في الاختبارات اللاإتلافية بأنه عبارة عن تسلسل مرتب للقواعد التي تشرح بعبارات مفصلة أين وكيف وفي أي مرحلة يجب تطبيق طريقة الاختبار اللاإتلافي على المنتج.

التقنية Technique : .

التقنية هي أسلوب نوعي في استخدام طريقة اختبار لاإتلافي، وتتميز كل تقنية عن الأخرى بمتغير هام أو أكثر، مثل : تقنية الاختبار بالمسابر السطحية وتقنية الاختبار بالمسابر الداخلية في الاختبار بالتيارات الدوامة.

الفحص والاختبار Examination and testing :

وهما الأعمال التي تطبق على المنتج الصناعي في أثناء عمليات تصنيعه المختلفة بهدف ضبط جودته وتنفذ أعمال الفحص والاختبار من قبل أشخاص يعملون لدى المنتج ومؤهلين فنياً.

التفتيش Inspection :

وهي الأعمال التي تطبق على المنتج الصناعي في أثناء عملية تصنيعه وذلك من قبل مفتش مرخص في الاختبار اللاإتلافي المعني.

المفتش المرخص Authorized inspector :

وهو الفني ذو التأهيل الجيد وهو لا يعمل عند رب عمل المنتج الصناعي وهو مفوض للتأكد من أن جميع الاختبارات المحددة في كود تشييد أو صناعة المنتج قد تم تطبيقها وفقاً لمتطلبات الكود المطبق.

التقرير Report :

يعرف التقرير في الاختبارات اللاإتلافية على أنه وثيقة تضمن كافة المعلومات الضرورية اللازمة لـ :

١. اتخاذ القرار في قبول العيوب التي تم الكشف عنها بالاختبار .
٢. تسهيل أعمال إصلاح العيوب غير المقبولة.
٣. السماح بإعادة الاختبار .

التسجيل Records :

وهي الوثائق التي تفيد في أي وقت في المستقبل في إعطاء :

١. الإجراء المطبق لتنفيذ الاختبار.
٢. التقنيات المستخدمة في تسجيل وتحليل النتائج .
٣. نتائج الاختبارات .

١-٧-٢- الهيئات والمنظمات التي تصدر المواصفات والكودات الخاصة بالاختبارات اللاإتلافية

هناك العديد من المنظمات والهيئات الدولية التي تصدر الكودات والمواصفات المطبقة في طرائق الاختبارات اللاإتلافية، من أهم هذه المنظمات والهيئات :

١. المنظمة الدولية للمواصفات international standard organization ISO
٢. الجمعية الأمريكية لاختبار المواد American Society for testing and Material ASTM.
٣. الجمعية الأمريكية للاختبارات اللاإتلافية American Society for Non-Destructive Testing.
٤. الجمعية الأمريكية لمهندسي الميكانيك American Society Mechanical Engineers ASME .
٥. المواصفات الصناعية الألمانية German Industrial standard DIN .
٦. المواصفات البريطانية British Standards BS .
٧. النورمات الأوربية European Norm EN.
٨. المعهد الدولي للحام International Institute of Welding IIW.
٩. الجمعية الفرنسية للمعايير Association Francsaise de Normalisation AFNOR

١-٧-٣- المواصفات الخاصة بتأهيل وترخيص العاملين في الاختبارات اللاإتلافية

من أشهر مواصفات التأهيل وترخيص العاملين في الاختبارات اللاإتلافية المواصفات التالية :

١. المواصفة الدولية ISO 9712.
٢. المواصفة الأمريكية SNT – TC – 1A .
٣. المواصفة الأوربية EN 473

١ – ٨ – ضمان جودة الاختبارات اللاإتلافية

يعد تطبيق طرائق الاختبارات اللاإتلافية على القطع والمكونات الهندسية وعلى المنشآت أمراً لا غنى عنه وذلك بهدف ضمان جودة هذه القطع والمكونات والمنشآت بتكلفة مقبولة.

يجب على المهندسين والفنيين القائمين على تنفيذ الاختبارات أن يظهروا المقدرة والكفاءة اللازمتين لتنفيذ الاختبارات المخولين لتنفيذها بشكل صحيح وذلك للأسباب التالية:

أ – ارتباط نشاطات الاختبارات اللاإتلافية بشكل كبير بالقائمين على الاختبار، وبالتالي فإن على السلطات المخولة بإدارة هذه النشاطات أن تأخذ بالحسبان المهارات والخبرات العملية واستقامة العاملين والقائمين على تنفيذ هذه الاختبارات.

ب – تعد طرائق الاختبارات اللاإتلافية الطرائق الوحيدة القابلة للتطبيق على المكونات والمنشآت التي في الخدمة لمنع حدوث الأعطال التي قد تكون في كثير من الأحيان في غاية الخطورة.

ج – يقوم مبدأ تمديد زمن استثمار محطات الطاقة الكهربائية ومنشآت الصناعات البترولية والبتروكيميائية ومنصات البترول العائمة والطائرات على الوثوقية العالية لتنفيذ طرائق الاختبارات اللاإتلافية.

تعرف جودة الاختبارات اللاإتلافية بأدائها وقدرتها على اكتشاف الأخطاء وتحديد الخواص وغيرها من المهام المذكورة سابقاً بطريقة غير مكلفة دون أن تعرض سلامة العنصر المختبر للأذى.

يقصد بضمان الجودة مجموعة الإجراءات والأعمال التي تضبط وتتحكم بجميع عناصر العملية الإنتاجية الداخلة في تحقيق المنتج والدالة على توافر متطلبات الجودة فيه ووجود ما يثبت ذلك من مستندات وتقارير ونتائج اختبارات مسجلة.

ويرتكز مفهوم تحقيق ضمان الجودة في اختبار القطع والمكونات بطرائق الاختبارات اللاإتلافية على مجموعة متطلبات ضرورية هي :

١ – متطلبات عامة : سياسة الجودة، تحديد المسؤوليات، السرية، الأعمال التصحيحية.

٢ – مؤهلات الفاحصين : بمعنى أن يكون المفتشون مؤهلين وفق معايير محددة.

٣ – الإجراءات : يجب أن يجرى الاختبار وفقاً لإجراءات متفق عليها .

٤ – المعدات : يجب معايرة المعدات المستخدمة .

٥ – الإشراف على المفتشين : لتجنب الخطأ البشري الناتج عن اتكالية الفاحص.

٦ – التوثيق : سجلات الفحص، النتائج، التقارير والأدلة المرئية الضرورية.

٧ – تدقيق الجودة : التأكد من ملائمة طريقة الاختبار وتدقيق ومراجعة الإجراءات.

هذه المتطلبات يمكن تضمينها من جهة أخرى ضمن ثلاثة عناصر رئيسية تدخل في بناء عملية الاختبار وهي:

١- إجراءات الاختبار.

٢- مفتشو الاختبار.

٣- أجهزة الاختبار.

حيث يمكن القول بأن لتنفيذ الاختبار يستخدم مفتشو الاختبار أجهزة الاختبار وفق إجراءات الإختبار.

١-٨-١ إجراءات الاختبار:

يعتمد مفهوم ضمان جودة الاختبار اللاإتلافي في الأساس على توفير الدليل أو البرهان الحقيقي الذي يؤكد أن العمل قد تم تنفيذه وفقاً لخطوات وأساليب صحيحة تدعى الإجراءات (Procedures) وهي قواعد محددة يتم تسجيل نتائج الاختبار في وثائق تدعى التقارير الفنية، وتدعى مجموعة الوثائق الخاصة بالإجراءات المطبقة في الاختبار والوثائق الفنية للاختبار ووثائق مؤهلات القائمين على الاختبار بالدليل أو البرهان الموضوعي لجودة تنفيذ أعمال الاختبارات اللاإتلافية.

١-٨-٢ مفتشو الاختبار:

يشكل مفتشو الاختبار العنصر الثاني في منظومة ضمان الجودة، حيث يعتمد نجاح استخدام طرائق الاختبارات اللاإتلافية على حسن استثمارها ووضعها بموضع التطبيق العملي بشكل صحيح. وتعد المعرفة التفصيلية بالمبادئ الأساسية بطرائق الاختبارات اللاإتلافية وعمل تجهيزاتها وطرائق تشغيلها إضافة إلى القدرة على تفسير النتائج من الصفات الواجب توافرها في الفني المختص بهذا المجال، كما أنه على القائم بالاختبار أن يتصف أيضاً بالمهارة في إجراء الاختبار المطلوب وأن يكون ملماً بشكل كاف بعلم المواد حتى يمكنه إعطاء التفسير الصحيح لظواهر الاختبار، ويشترط في المفتش أن يخضع للتدريب والتأهيل طبقاً للأصول، وأن يحصل على ترخيص خاص وفقاً لقواعد عالمية معترف بها، ويعد التأكد من تأهيل المفتشين القائمين على العمل العنصر الأساسي في ضمان جودة الاختبار والثقة في نجاحه.

يصنف مفتشو الاختبارات اللاإتلافية في ثلاثة مستويات :

١. المستوى الأول.
٢. المستوى الثاني.
٣. المستوى الثالث.

١-٨-٢-١ المستوى الأول :

يجب على المفتش المرخص في المستوى الأول أن يستطيع أن يجري اختباراً لاإتلافياً حسب التعليمات وتحت إشراف شخص من المستوى الثاني أو الثالث و ضمن مجال الكفاءة المحدد في الشهادة التي يحملها، ويعد قادراً على القيام بالمهام التالية:

١. وضع الأجهزة اللازمة للاختبار في حالة العمل.
٢. تنفيذ الاختبار وفقاً لتعليمات محددة.
٣. تسجيل نتائج الاختبار وتصنيفها وفقاً لأسس مكتوبة.
٤. أن يضع تقريراً عن النتائج.

هذا ولا يُعد الشخص المرخص في المستوى الأول مسؤولاً عن اختيار طريقة الاختبار أو التقنية المستخدمة ولا عن تقييم النتائج.

١-٨-٢-٢ المستوى الثاني :

يجب على المفتش المرخص في المستوى الثاني أن يظهر كفاءته على القيام باختبار لاإتلافي حسب الإجراءات الموضوعة. وضمن مجال الكفاءة المحدد في الشهادة التي يحملها، ويعد قادراً على القيام بالمهام التالية:

١. التنفيذ والإشراف على كافة المهام التي يقوم بها المرخص في المستوى الأول.
٢. أن يضبط ويتحقق من ضبط التجهيزات والأدوات المستخدمة في الاختبار.

٣. أن يختار تقنية الاختبار اللاإتلافي والطريقة التي سوف يستعملها.

٤. الإلمام الكامل بمزايا طريقة الاختبار المرخص بها وحدود استعمالها

٥. تنفيذ الاختبارات اللاإتلافية وإدارتها وفقاً لتقنيات معتمدة ومعترف بها.

٦. المعرفة الجيدة لجميع الشروط والقواعد المنصوص عليها في مواصفات وتوصيات وإجراءات الاختبار اللاإتلافي المعتمدة في المنشأة التي يعمل لصالحها وأن يترجم ذلك عملياً من خلال الالتزام بتطبيقها بما يتناسب مع الاختبار.

٧. تقييم النتائج وفقاً للمواصفات وإعداد التقارير عن نتائج الاختبار .

٨. إعداد تعليمات مكتوبة لتنفيذ الاختبار من قبل أشخاص مرخصين في المستوى الأول .

٩. تدريب المتدربين والمرخصين في المستوى الأول وتوجيههم.

١-٨-٢-٣ المستوى الثالث :

يجب على المفتش المرخص في المستوى أن يظهر كفاءته في أن يقوم ويدير عمليات الاختبار اللاإتلافي في الطريقة المرخص بها، ويعد قادراً على القيام بالمهام التالية:

١. تحمل المسؤولية الكاملة عن منشأة الاختبارات اللاإتلافية والعاملين فيها.

٢. المصادقة على تقنيات وإجراءات الاختبار التي ستنفذ في المشاريع الكبيرة.

٣. تفسير مضمون القواعد والمواصفات والتوصيات والإجراءات وتصميم التقنيات اللازمة لتنفيذ الاختبارات الخاصة.

٤. الإشراف على كافة مهام الأشخاص المرخصين في المستوى الأول و الثاني مع القدرة الكاملة على تنفيذها.

٥. امتلاك قاعدة نظرية وعملية كافية في تكنولوجيا تصنيع المواد المستخدمة وإنتاجها والمقدرة على اختيار طريقة الاختبار وتقنياتها و المشاركة في وضع معايير القبول عند عدم توافرها.

٦. معرفة جيدة بطرائق الاختبارات اللاإتلافية الأخرى.

٧. القدرة على توجيه الأشخاص المتدربين والمرخصين في المستوى الأول والثاني وتدريبهم.

٨. تدريب المتدربين في المستويين الأول والثاني والإدارة والإشراف على امتحانات التأهيل لهم.

١-٨-٣- أجهزة الاختبار:

يعد حسن استخدام معدات وأجهزة العمل السليمة العنصر الأساسي الثالث من عناصر ضمان الجودة وذلك لضمان دقة الأداء وفاعليته طبقاً للمعايير المعمول بها لتحقيق المواصفات المطلوبة للاختبارات.

إن التأكد من صحة أداء أجهزة الاختبار اللاإتلافي ذو أهمية كبيرة وذلك للحصول على نتائج اختبارات صحيحة يتم من خلالها اتخاذ قرارات استئناف العمل أو إيقافه أو قبول المكونات أو رفضها.

١-٩- التأهيل والترخيص في الاختبارات اللاإتلافية Qualification and Certification

هناك طريقتان للترخيص في مجال الاختبارات اللاإتلافية هما :

أ – طريقة الترخيص في الشركة In-Compagnies Personnel Certification وتسمى أيضاً طريقة الطرف الثاني Second Party Personnel Certification و يتم الترخيص في هذه الطريقة وفقاً للمواصفة الدولية ISO 10256 أو المواصفة الأوربية EN 4179 و فيها يتم ضبط خطة التأهيل وتقييم كفاءة العناصر الفنية من قبل مرخص في المستوى الثالث يعمل لدى الشركة أو يعمل كمستشار مستقل. وتتمثل الميزة الرئيسية لهذه الطريقة في تخصص المرخص في تقنية محددة من تقنيات طريقة من الطرائق الاختبارات اللاإتلافية ويقوم بتطبيقها على المنتج المطلوب اختباره.

ب – طريقة الترخيص المستقل Independent Personnel Certification وتسمى أيضاً طريقة الطرف الثالث Third Party Personnel Certification يتم الترخيص في هذه الطريقة وفقاً للمواصفة الدولية ISO 9712 أو وفقاً للمواصفة الأوربية EN 473 ففي هذه الطريقة يجب على الفنيين أن يتقدموا لامتحانات الترخيص في مراكز معتمدة ويشرف على الامتحانات مرخص أو مرخصين في المستوى الثالث تم اختيارهم من قبل لجنة ترخيص تعمل على إدارة نظام الترخيص. إن الميزة الأساسية لهذه الطريقة هي أن الشهادات الممنوحة ذات قبول واسع وتجنب الشركة طلب بيان فعالية اختبار القطع والمكونات بشكل مستمر من قبل الزبائن.

يعرف التأهيل Qualification بأنه اكتساب التدريب والمعرفة المهنية والمهارة والخبرة بالإضافة إلى سلامة الرؤية مما يؤهل فني الاختبار اللاإتلافي على إنجاز الاختبارات الموكلة إليه بشكل صحيح. ويتم في كلا طريقتي الترخيص اشتراط فترة زمنية مناسب للتأهيل تمكن المرشح من اكتساب التدريب والخبرة العملية المناسبة قبل التقدم إلى امتحانات الترخيص.

وتعرف امتحانات التأهيل (Qualification Examination) على أنها الامتحانات التي يتم من خلالها معرفة المعلومات العامة والخاصة والمهارة والخبرة العملية للمرشح وذلك في طريقة من طرائق الاختبارات اللاإتلافية ولمستوى كفاءة محدد.

يعرف الترخيص (Certification) بأنه عبارة عن إجراءات إصدار شهادة خطية في الطريقة وفي المستوى للناجحين في امتحانات التأهيل.

يجب على المرشح للترخيص أن يحقق مجموعة المتطلبات التالية لكي يعتبر مرخصاً ويحصل على شهادة في الطريقة المرشح لها:

١. متطلبات عامة
٢. متطلبات التدريب
٣. المتطلبات الدنيا للخبرة الصناعية
٤. امتحان التأهيل

١ – المتطلبات العامة :

كالمتطلبات الدنيا للرؤية حيث يجب على المرشح أن يقدم دليلاً موثقاً على القدرة الكافية على الرؤية أو تمييز التناقض بين الألوان المستعملة في الطريقة المعتبرة كما يجب أن تختبر حدة البصر سنوياً حتى بعد الحصول على الترخيص.

٢ – متطلبات التدريب:

على المرشح أن يقد م دليلاً موثقاً يبين تدربه المناسب على الطريقة والمستوى الذي يطلب الترخيص فيه على شكل مقبول لدى هيئة الترخيص.

ويجب أن يكون الحد الأدنى لفترة التدريب التي يتبعها المرشح لنيل الشهادة حسب الجدول ١–٢، وتشمل ساعات التدريب كلاً من الدورات العملية والنظرية، وتعتمد ساعات التدريب هذه على أن يمتلك المرشح مهارات في الرياضيات ومعرفة مسبقة بالمواد وطرائق التصنيع، وإلا فإنه يمكن أن يطلب من المرشح فترات تدريب إضافية، كما يمكن أن تخفض فترة التدريب إلى النصف للمرشحين الذين تخرجوا من الكلية الفنية أو الجامعة أو أتموا على الأقل سنتين في دراسة الهندسة أو العلوم في كلية أو جامعة.

الجدول ١–٢ متطلبات التدريب الدنيا لكل مستوى وطريقة من طرق الاختبار اللاإتلافي

A:المعلومات الأساسية ، B:طريقة الضغط ،C: طريقة أثر الغاز

الطريقة		زمن التدريب بالساعة		
الطريقة		المستوى الأول	المستوى الثاني	المستوى الثالث
AT		40	104	150
ET		40	104	150
TT		40	120	160
LT	A	8	24	36
	B	14	45	66
	C	18	54	78
MT		16	40	60
PT		16	40	60
RT		40	120	160
ST		16	40	60
UT		40	120	160
VT		16	40	64

٣–المتطلبات الدنيا للخبرة الصناعية

يجب أن تكون مدة الخبرة في كل طريقة اختبار لاإتلافي حسب الجدول ١–٣. وعلى كل حال يمكن تخفيض مدة الخبرة وفق مجموعة من الاعتبارات، حيث يمكن أن تستوعب المهارات بشكل أسرع في بيئة تتركز فيها الخبرة وتكون صلتها قوية بالشهادة المطلوبة، كما أنه عندما تكتسب الخبرة في وقت واحد في طريقتين أو أكثر للاختبار اللاإتلافي فإن الخبرة المكتسبة في استعمال طريقة الاختبار اللاإتلافي يمكن أن

تكمل الخبرة المكتسبة بإحدى الطرائق الأخرى أو أكثر، كما أن الخبرة المكتسبة في أحد قطاعات طريقة الاختبار اللاإتلافي الذي نال الفني فيه الشهادة يمكن أن تكمل الخبرة في قطاع مختلف بطريقة الاختبار اللاإتلافي نفسها. وكذلك فإنه لا بد من أن نأخذ في الحسبان المستوى وجودة الثقافة التي يمتلكها المرشح وخاصة في المستوى الثالث فعلى سبيل المثال فإن التخرج من كلية فنية أومن الجامعة أو إنهاء سنتين على الأقل من دراسة الهندسة أو العلوم في كلية أو جامعة قد يكون مسوغاً لتخفيض الخبرة.

إن الخبرة الصناعية بالشهور تعتمد على أن ساعات العمل في الأسبوع (٤٠) ساعة أو على أسبوع العمل القانوني. وعندما يعمل إنسان أكثر من أربعين ساعة في الأسبوع فيمكن أن يضيفها إلى الخبرة القائمة على عدد الساعات الإجمالي، ولكن يطلب منه أن يقدم دليلاً على هذه الخبرة

الجدول ١-٣ الخبرة الصناعية

طريقة الاختبار اللاإتلافي	الخبرة بالشهور		
	المستوى الأول	المستوى الثاني	المستوى الثالث
AT, ET, TT, LT, RT, UT	3	12	30
MT, PT,ST,VT	1	4	16

يمكن أن تكتسب الزيادة في الخبرة الصناعية في طريقتي اختبار لاإتلافي أو أكثر في وقت واحد حسب هذه المواصفة على أن تخفض الخبرة الكلية اللازمة كمايلي:

طريقتا اختبار تخفيض الزمن الكلي ٢٥٪

ثلاث طرائق اختبار التخفيض ٣٣٪

أربع طرق اختبار أو أكثر التخفيض ٥٠٪

٤-امتحان التأهيل

يجب على المرشح أن يتم بنجاح امتحان التأهيل المعتمد لدى الجهة المانحة للترخيص، حيث يجب أن يجتاز المرشح للمستوى الأول والثاني ثلاثة امتحانات على الشكل التالي:

١. امتحان عام : إن الامتحان العام يجب أن يشمل فقط أسئلة تُختار بطريقة لا يُتنبأ بها وتكون من مجموعة أسئلة عامة في الطريقة المعتبرة ويطلب من المرشح كحد أدنى أن يجيب على عدد من الأسئلة المتعددة الخيارات حسب الجدول ١-٤ ، إذا لم يذكر غير ذلك في الأنظمة المحلية يجب أن يوجد امتحان إضافي عن سلامة الإشعاع في طريقة الاختبار بالتصوير الإشعاعي.

الجدول ١-٤ الحد الأدنى المطلوب لعدد الأسئلة الامتحان العام في المستوى الأول والثاني

طريقة الاختبار	عدد الأسئلة
AT, ET, TT, RT, UT	٤٠
LT, MT, PT, ST, VT	٣٠

٢. امتحان خاص أو محدد : يجب أن يشمل الامتحان المحدد فقط أسئلة تختار بطريقة لا يتنبأ بها من مجموعة الأسئلة والتي تتعلق بالقطاع المعني. ويمكن أن يتضمن الامتحان المحدد أسئلة تشمل الحسابات والكودات والمواصفات والتوصيفات والإجراءات. ويطلب من المرشح كحد أدنى أن يجيب على عشرين سؤالاً متعدد الإجابات ويمكن أن يشمل موضوعاً إضافياً أو أسئلة تتطلب أجوبة إيضاحية، إذا كان الامتحان المحدد يشمل قطاعين أو أكثر فيجب ألا يقل عدد الأسئلة الأدنى عن ٣٠ سؤالاً حتى ولو وزعت بين القطاعات المعنية.

٣. امتحان عملي : يجب أن يشمل الامتحان العملي على تطبيق طريقة اختبار لاإتلافي على عينات محددة وتسجيل المعلومات الناتجة إلى الدرجة المطلوبة ووضع تقرير عن النتائج بالصيغة المطلوبة ويجب على مرشحي المستوى الثاني أن يفسروها، ويعتمد وقت الامتحان المسموح به على عدد العينات وتعقيدها، ويكون الحد الأعلى للزمن الذي يجب أن يسمح به لكل مساحة أو حجم هو

- ساعتان للمستوى الأول.
- ثلاث ساعات للمستوى الثاني.

وضع علامات الامتحانات العام والخاص والامتحان العملي بصورة منفصلة ويكون المرشح ناجحاً إذا حصل على درجة ٧٠% على الأقل في كل أقسام الامتحان الكتابي و درجة ٧٠% على الأقل على كل عينة مختبرة.

أما المرشح للمستوى المستوى الثالث فيجب أن يجتاز امتحانين على الشكل التالي:

تقتصر أسئلة الامتحان الأساسي على أسئلة منتقاة بطريقة غير متوقعة من مجموعات الأسئلة الخاصة بالامتحان الأساسي التابعة لهيئة الشهادة أو هيئة تأهيل مضمونة و يطلب من المرشح كحد أدنى أن يعطي أجوبة لأسئلة متعددة الاختيارات متوافقة مع الجدول ١-٥، ولكي ينجح المرشح في الامتحان يجب أن ينال (٧٠%) في كل من الأقسام الثلاثة المبينة في الجدول ١-٥.

يجب أن يقتصر امتحان الطريقة الرئيسة على أسئلة تختار بطريقة لا يتنبأ بها من مجموعة أسئلة في الطريقة المعتبرة امتحان ويطلب من المرشح كحد أدنى أن يجيب على عدد الأسئلة المتعددة الإجابات والمبينة في الجدول ١-٦، يجب على كل المرشحين لامتحان الطريقة الرئيسية في المستوى الثالث أن ينجحوا في الامتحان العملي للمستوى الثاني في القطاع أو الطريقة المناسبة بما في ذلك تقديم التعليمات العملية للمستوى الأول، ولكي ينجح المرشح في امتحان الطريقة الرئيسية يجب أن يحصل كحد أدنى على (٧٠%) في جميع الأقسام المبينة في الجدول ١-٦.

الجدول ١-٥ الحد الأدنى المطلوب لأسئلة الامتحان الرئيسي

القسم	الموضوع	عدد الأسئلة
A	المعرفة الفنية في علم المواد وتقنية التشغيل وأنواع الانقطاعات.	٢٥
B	معرفة نظام الشهادات وتأهيل هيئة الشهادات المعتمدة على هذا المعيار الدولي. ويمكن أن يكون هذا الامتحان مادة مفتوحة.	١٠
C	معرفة عامة على الأقل في أربع طرق مطلوبة للمستوى الثاني ومنتقاة من قبل المرشح من طرق موجودة في هدف المعيار الدولي. ويجب أن تشمل هذه الطرائق على الأقل طريقة حجمية واحدة (RT أو UT)	١٥ لكل طريقة

وعموماً يجب على المرشح أن يتم النجاح في الاختبار الأساسي أولاً ويبقى هذا الاختبار ساري المفعول على أن يتم النجاح في امتحان الطريقة الرئيسية خلال خمس سنوات بعد النجاح في الامتحان الأساسي، ويتم وضع درجات الامتحان الأساسي والطريقة الرئيسية بصورة منفصلة، لأجل أن يكون المرشح مؤهلاً للشهادة فيجب عليه أن يجتاز كلا الامتحانين الأساسي والطريقة الرئيسية.

الجدول ١-٦ الحد الأدنى لأسئلة امتحان الطريقة الرئيسية

الجزء	الموضوع	عدد الأسئلة
D	معرفة المستوى الثالث المتعلقة بطريقة الاختبار	٣٠
E	تطبيق طريقة الاختبار اللاإتلافي في القطاع المعني بما في ذلك استعمال الكودات المواصفات والتوصيفات والإجراءات ويمكن أن يكون هذا امتحاناً بكل الكتاب فيما يتعلق بالكودات والمواصفات والتوصيفات والإجراءات	٢٠
F	تقديم إجراء أو أكثر عن الاختبار اللاإتلافي في القطاع المعني. يجب أن يتوافر لدى المرشح الكودات والمواصفات والتوصيفات والإجراءات	

إن المرشح الذي يفشل في الحصول على درجة النجاح اللازمة لنيل الشهادة يمكن أن يعاد امتحانه في أي قسم من أقسام الامتحان للمرة الثانية على أن يعاد الامتحان في مدة لا تقل عن (٣٠) يوماً ولا تزيد عن خمس سنوات عن الامتحان الأصلي.

الفصل الثاني

عيوب المواد

٢-١- مقدمة:

إن الخلل في المنتجات المصنعة (منتجات مسبوكة، منتجات ملحومة، منتجات مشكلة بالتطريق .....إلخ) يمكن تعريفه بأنه كل تغير في الأبعاد، الوزن، الشكل، البنية أو أي تبدل بالخواص عن المعايير أو الشروط التقنية المتعارف عليها وعموماً يظهر الخلل والتشققات في المشغولات بسبب عوامل كثيرة ومتعددة أهمها طريقة التشغيل والمعالجة وظروف العمل.

وتهدف الفحوص والاختبارات اللاإتلافية إلى معرفة مكان توضع العيوب والكشف عليها ليتسنى من ثم معالجتها لإعادة العناصر المختبرة إلى الوضع السليم أو تقرير عدم صلاحيتها للعمل بشكل نهائي، لذا فإن تحديد موضع العيب وطبيعته وأسباب نشوئه تعتبر خطوة أساسية في إجراء الفحوص اللاإتلافية، لذلك سنستعرض في هذا الفصل الأشكال المختلفة للعيوب وأسباب ظهورها قبل الانتقال إلى الاختبارات وطرق تنفيذها.

٢-٢- أنواع العيوب حسب توضعها:

يعد توضع العيوب من المعايير الهامة التي يتم على أساسها اختيار طريقة الاختبار اللاإتلافي، حيث تقسم العيوب بحسب توضعها في العناصر إلى:

- عيوب سطحية.
- عيوب تحت سطحية.
- عيوب داخلية.

١-العيوب السطحية:

العيوب السطحية وهي العيوب التي تظهر على السطح الخارجي للعنصر وبالتالي تكون واضحة ومرئية بالعين المجردة أو بمساعدات الرؤيا مع أنه يمكن أن يكون منشأها داخلي أي من داخل البنية المعدنية للمشغولة ولكنها تمتد إلى السطح.

إن طول فترة التشغيل والعوامل المساعدة للتآكل من أهم أسباب ظهور العيوب السطحية كما يمكن أن تنشأ بتأثير التبدلات الحرارية التي تطرأ على العنصر في أثناء تشكيله أو في أثناء استثماره.

٢-العيوب تحت السطحية:

وتتوضع هذه العيوب في البنية الداخلية للعنصر إلا أنها تمتاز بقربها من السطح الخارجي، وغالباً ما تتشكل هذه العيوب نتيجة وجود عيب في أثناء تحول المادة من حالتها السائلة إلى الصلبة ومن ثم حدوث تحولات على هذا العيب نتيجة عمليات تشغيل أو تشكيل لاحقة مما قد يدفع بهذا العيب إلى جوار السطح الخارجي للعنصر.

٣-العيوب الداخلية:

وتتوضع هذه العيوب في البنية الداخلية للعنصر بعيداً عن السطح الخارجي للعنصر ويمكن أن تكون على السطح الداخلي، ويمكن أن تنشأ هذه العيوب عن أخطاء تصنيعية كالفجوات الغازية في المسبوكات والملحومات أو المتضمنات الخبثية في الملحومات أو يمكن أن تنشأ عن ظروف الخدمة كالتآكل الناجم عن مرور المواد الكيميائية في الأنابيب مثلاً إلى غير ذلك.

٢-٣- تصنيف العيوب حسب منشأها:

تنشأ الكثير من العيوب في أثناء تجمد المعدن وتحوله من الطور السائل إلى الطور الصلب لذا فإن دراسة سلوك المعدن في أثناء انتقاله بين هذين الطورين تساعد على التعرف على كثير من العيوب المحتمل حدوثها وكيفية نشأتها لأن بعض العيوب تنشأ عندما يكون المعدن في الحالة السائلة وبعضها الآخر يظهر بعد التجمد، فعندما يكون المعدن في حالته السائلة من الممكن أن يمتص الغازات أو تخرج منه الغازات وذلك يعتمد على تركيز الغاز في المعدن السائل، كذلك عندما يتلامس المعدن السائل مع القالب في أثناء الصب يتأثر حراريا وكيميائيا مما يؤدي إلى ظهور العيوب كتشكل القشور والفقاعات، أما عند التجمد وبدء تبلور المعدن يبدأ المعدن بالتقلص مما يسبب تشكل الفجوات والكسور، ومن جهة أخرى فإن تأثيرات التقلص تختلف حسب مراحل التبريد.

إن دراسة المعدن منذ بدء تجمده حتى تمام تصلبه ثم تشكيله أو تشغيله للوصول إلى شكله النهائي ومن ثم استثماره يمكننا من تصنيف العيوب وفق ثلاث مجموعات هي:

١-العيوب الناشئة عن بنية المعدن.

٢-العيوب الناشئة عن عمليات الإنتاج والتشكيل.

٣-العيوب الناشئة عن الاستخدام.

١-العيوب الناشئة عن بنية المادة:

تتعلق هذه العيوب بالمعدن المنصهر وكيفية تجمده والعوامل المؤثرة عليه في أثناء طور التجمد سواء أكان المعدن المتجمد نقيا أم بشكل سبائكي، ففي حال المعدن النقي تنحصر فقاعات الغاز والشوائب المشكلة

للخبث داخل جسم المعدن، ثم تندفع نحو الأعلى باتجاه السطح الخارجي للجسم، وعند تشغيل هذه الخليطة تتطاول هذه المنعزلات وينخفض مقطعها العرضي فتتشكل خطوط متوازية تظهر بشكل شرائط.

و بذلك نجد أن العيوب الناشئة عن البنية تحدث في أثناء تجمد الخليطة نتيجة لحدوث انفعالات مختلفة عند درجات الحرارة ضمن مجال درجات الحرارة الحرجة، بالإضافة إلى الإجهادات المؤثرة على الخليطة عند تجمدها، فعندما تزداد قيمة الإجهاد في المعدن عن حد المرونة تحدث تشوهات دائمة. وعندما يزيد الإجهاد عن حد المتانة يحدث انكسار المعدن وهذا ما يحدث غالبا في المعادن الهشة كالفونت حيث يعتمد الإجهاد على الفرق بين تقلص الجزء السميك والجزء الرقيق في مقطع المعدن ويطلق على هذه التشوهات لقب الكسور الباردة.

٢- العيوب الناتجة عن عمليات التشغيل:

تتشكل هذه العيوب في أثناء تشغيل المعادن أو تشكيلها ولذلك تقسم إلى قسمين أساسيين

١. عيوب ناتجة عن عمليات التشغيل الأساسية أو الأولية (جدول ٢-١) وتنتج في أثناء عمليات الصب-السحب-الحدادة-الدلفنة.

٢. عيوب ناتجة عن عمليات التشغيل النهائية (جدول ٢-٢) وتنتج عند التشكيل النهائي للحام والتحليخ والمعالجة الحرارية والتصفيح.

٣-العيوب الناتجة عن الاستخدام:

وهي من العيوب التي تظهر في المشغولة بسبب ظروف التشغيل أو الاستخدام وأهم هذه العيوب هي العيوب الناتجة عن إجهادات التعب التي تتعرض لها المشغولة نتيجة لطول فترة الاستخدام والعيوب ناتجة عن التآكل أو الاحتكاك.

نظراً لأهمية الفهم الدقيق لطبيعة العيوب وظروف تشكلها لما لهما من تأثير على ظروف الاختبار أو التقييم اللاإتلافي فإنه من المفيد الوقوف بشيء من التفصيل على الأنواع المختلفة من العيوب كما هو موضع في الفقرات التالية.

٢-٤- عيوب الملحومات:

ينشأ في أثناء عملية اللحام أنواع مختلفة من العيوب، بعضها يتعلق بجودة معدن اللحام ، وبعضها يحدث نتيجة عدم كفاية خبرة الفني ومعرفته، ويمكن التغلب على هذه الأنواع من العيوب عن طريق التدريب الجيد لفني اللحام.

إن عملية اللحام عملية معقدة تحدث فيها تغيرات حجمية لا يمكن تلافيها، وتسبب هذه التغيرات تشوهات أو إجهادات متبقية أو تشققات في الوصلة اللحامية بسبب التمدد والتقلص الحراري.

الجدول (٢-١) العيوب الناتجة عن عمليات التشغيل الأساسية

العملية الإنتاجية	سبب العيب	نوع العيب	مكان توضع العيب
الصب	- نقص في الاتحاد بين سطحي المعدن والناتج عن تدفق المعدن في قالب الصب	1 – تمزق على البارد	سطحي
	- اختلاف نسب التبريد بين المقاطع الرفيعة والمقاطع الثخينة	2 – تمزق على الساخن	سطحي
	- نقص في كمية المعدن المصهور اللازمة لملء الفراغات الحادثة نتيجة التقلص	3 – التقلص	تحت سطحي
	- انصهار غير صحيح	4 – التقلصات الميكروية	تحت سطحي
	- عدم قدرة الغازات المنحبسة من الخروج من المصهور	5 – فجوات غازية	سطحي
	- انحباس الغازات داخل الخليطة	6 – المسامية	سطحي تحت سطحي
التشكيل بالحدادة والطرق	- تجعد المعدن بشكل طبقة رقيقة تتوضع فوق سطح المعدن الأساسي	1 – التجعد (التفضن)	سطحية
	- التشكيل عند درجات حرارة غير مناسبة	2 – انبعاثات	سطحي تحت سطحي
الدلفنة	- الترقق والتصفيح في منطقة التشقق والناتجة عن العيب الأساسي في المعدن الخام	1 – الترقق أو التصفح	تحت سطحي
	- تصفح واستطالة العيوب الموجودة أصلا في المعدن الخام	2 – ظهور عروق في الخليط	تحت سطحي
	- استطالة التشققات السطحية الموجودة في المعدن الخام .	3 – شقوق	سطحي
اللحام	- لحام غير كاف	نقص في الاندماج	سطحي (داخلي / خارجي)
	حدوث الترقق في المعدن الخام قبل إجراء عملية اللحام (معادن مسطحة)	ترقق منطقة اللحام	تحت سطحي
وصل الأنابيب دون لحام	تأصل الشقوق في المعدن الخام	- تشقق	على السطح الخارجي
	تجميع المعدن وتراكبه أو وجود ثقب في قلب التشكيل	- الانماج	على السطح الداخلي
	عدم صحة قياس النصف السفلي للقالب	- التفتت	على السطح الداخلي
التشكيل بالسحق	- وجود التشقق في المعدن الخام	- تشقق	سطحي
	- وجود المسامات في المعدن الخام قبل التشكيل	- المسامية	سطحي تحت سطحي
	- حدوث خطأ في بثق المعدن وتدفقه إلى داخل قالب التشكيل	- انتفاخ الشقوق	سطحي

الجدول (٢-٢) العيوب الناتجة عن عمليات التشغيل النهائية

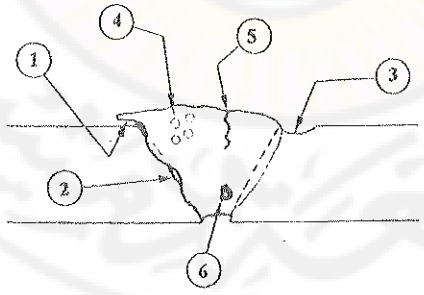
العملية الإنتاجية	سبب العيب	نوع العيب	مكان توضع العيب
اللحام	- نقص في تغذية اللحام الناتج عن خطأ في إجراء عملية اللحام	- نقص تغذية اللحام	سطحي تحت سطحي
	- عدم صحة تقنية عملية اللحام مما يسبب عدم وصول مادة اللحام إلى قلب المعدن المراد لحامه	- نقص الالتحام	تحت سطحي
	- عدم صحة عملية اللحام	- نخر سفلي	تحت سطحي
	- ازدياد كمية معدن اللحام وتشكيل طبقة بين المعدن المنصهر والمعدن غير المنصهر	- تراكب أو (تداخل) في منطقة اللحام	سطحي
التشكيل بالقص	- ازدياد الإجهادات المطبقة على المعدن	- شقوق	سطحي
التشغيل الميكانيكي	- استخدام آلات قطع عميقة أو التشغيل الغير مناسب	- تمزق	سطحي
التشغيل أو المعالجة بالحموض	ازدياد تأثير الإجهادات الداخلية وعدم القدرة على تصريفها	- تشققات	سطحي
التصفيح بالكهرباء	عدم القدرة على تصريف الإجهادات الداخلية	- تشققات	سطحي
التجليخ	ازدياد الحرارة المتوضعة بين حجر التجليخ والمعدن المراد جلخه	- شقوق	سطحي
المعالجة الحرارية	تجمع الإجهادات وتركزها بسبب المعالجة الحرارية غير الصحيحة (تبريد أو تسخين غير متكافئ)	شقوق ناتجة عن الإجهادات	سطحي
التشكيل بالانفجار	ازدياد التشكيل إلى الحدود القصوى مما يسبب زيادة الإجهادات المؤثرة في المعدن	شقوق أو تمزقات	سطحي

تابع الجدول (٢-١) العيوب الناتجة عن عمليات التشغيل النهائية

العملية الإنتاجية	سبب العيب	نوع العيب	مكان توضع العيب
اللحام	- استخدام غير صحيح للمصدر الحراري عند عملية اللحام	تشققات / فجوات ذات توضع طولاني او عرضي	سطحي تحت سطحي
	- تجمع الإجهادات في منطقة تركز اللحام (منطقة اتصال المعدنين المراد لحامهما)	تشققات ناتجة عن الإجهادات	سطحي
	انحباس الغازات	المسامية	سطحي تحت سطحي
	عدم التخلص من الخبث بشكل كامل والناتج عن عملية اللحام	تجمع الخبث	سطحي تحت سطحي
	ازدياد التيار المستخدم في اللحام (إشعال قوس اللحام) عند استخدام التنغستين	تجمع التنغستين بشكل شوائب	تحت سطحي

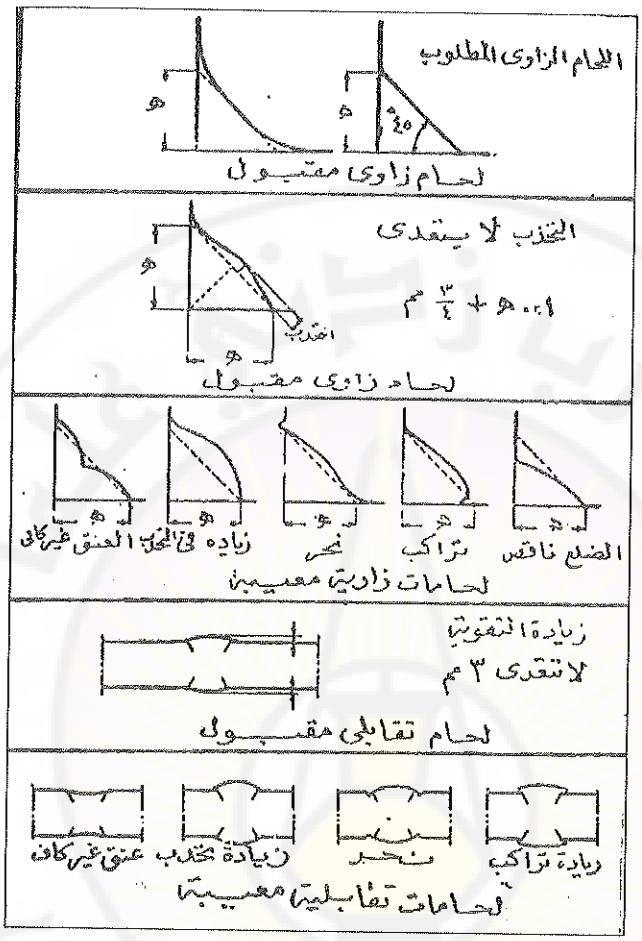
لا تسبب عيوب الدرزات اللحامية تشوها في شكلها وتغيرا في أبعادها فقط وإنما تؤدي أيضاً إلى خفض قيم الخواص الميكانيكية والفيزيامیكانيكية للوصلات اللحامية الناتجة.

يبين الشكل رقم (٢-١) ستة عيوب يمكن مصادفتها في الوصلات اللحامية، كما ويبين الشكل (٢-٢) مقاطع مستعرضة لبعض أشكال اللحامات المقبولة والمرفوضة.



الشكل (٢-١) شكل عام لعيوب الوصلات اللحامية.

١-تراكب، ٢-نقص انصهار، ٣-تثلم، ٤-مسامات، ٥-تشقق، ٦-متضمنات غير معدنية



الشكل (٢-٢) مقاطع مستعرضة للحامات المقبولة والمعيبة

تصنيف عيوب اللحام:

وتتبع لتصنيف عيوب الدرزات اللحامية سمات مختلفة أهمها:

أ-التصنيف حسب شكل العيب المتشكل وأبعاده:

طبقاً لأبعاد العيب وشكله يمكن تصنيف العيوب إلى:

- مسموح بها.
- غير مسموح بها.

ويقوم المهندس المصمم ببيان شكل العيب المسموح به وأبعاده في الوصلة اللحامية على المخططات المعدة من قبله.

ب-التصنيف حسب زمن ظهور العيب:

يمكن تصنيف عيوب اللحام إلى:

- عيوب تظهر في أثناء إجراء عملية اللحام.
- عيوب تظهر بعد تنفيذ عملية اللحام.
- عيوب تظهر في أثناء استغلال الوصلة اللحامية.

جـ-التصنيف حسب توضع العيب في الدرزة اللحامية:

يمكن تصنيف العيوب إلى:

- عيوب داخلية.
- عيوب خارجية.
- عيوب نافذة.

د-التصنيف وفق طبيعة العيب المتشكل:

فتبعا لطبيعة العيب المتشكل يمكن أن تصنف العيوب إلى:

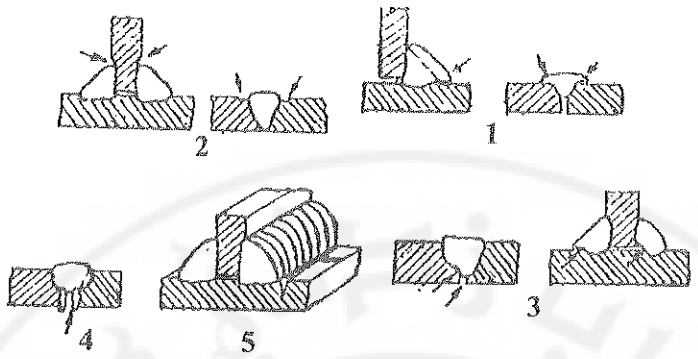
آ) **عيوب ناتجة عن وجود عيوب أصلا في معدن الأساس:** فإذا زاد محتوى الكربون والكبريت والفوسفور في معدن الأساس على الحد المسموح به أو شوهدت شقوق أصلا في هذا المعدن أو فجوات غازية فإن كل هذا سوف يؤدي إلى تشكل شقوق أو فجوات غازية في الدرزات اللحامية الناتجة.

ب) **عيوب ناتجة عن وجود أخطاء في أثناء تحضير الوصلة المعدة للحام وجمعها:** إن الأخطاء التي تحصل في أثناء تجهيز القطع المعدة للحام وفي أثناء جمعها يمكن أن تؤدي إلى عدم انصهار حواف القطع بشكل كامل أو تؤدي إلى عدم الحصول على وصلات لحامية تتوافق أبعادها مع الأبعاد المطلوبة في المخططات التصميمية.

ج) **عيوب في شكل الدرزات اللحامية وأبعادها:** وهي عيوب تظهر إما بسبب زيادة زاوية الشنفرة أو الخلوص بين القطعتين على الحدود المسموح بها أو نتيجة لسيلان المعدن المنصهر في الخلوص بسبب ارتفاع شدة تيار اللحام عن الحد المسموح به أو بسبب عدم توافق سرعة اللحام مع سرعة سحب سلك اللحام في أثناء اللحام بالقوس الآلي (الاختيار الخاطئ لعناصر نظام اللحام).

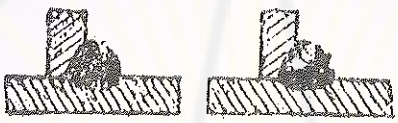
د) **عيوب تسبب الإقلال من كثافة الدرزات اللحامية:** وهي عيوب داخلية بصفة عامة مثل: عدم انصهار حواف القطع، التشققات الداخلية الفقاعات الغازية، الدقائق الخبثية المتبقية داخل المعدن في أثناء تجمد الدرزة اللحامية.

وتبّين الأشكال (٢-٣) و (٢-٤) و (٢-٥) بعضاً من عيوب الدرزات اللحامية الداخلية والخارجية.

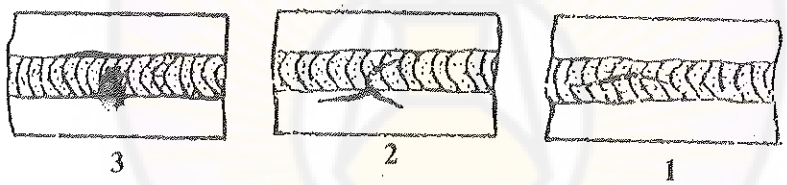


الشكل (٢-٣) العيوب الخارجية للدرزات اللحامية.

١-انسياب المعدن المنصهر دون أن يلتحم مع معدن الأساس. ٢-تجاويف في معدن الأساس ٣-لم تصهر حافتا القطعتين بالشكل اللازم ٤-احتراق زائد لمعدن الأساس ٥-شقوق في معدن الأساس.



الشكل (٢-٤) فجوات غازية برزت إلى سطح الدرزة اللحامية.



الشكل (٢-٥) شقوق في الدرزات اللحامية.

١-تشقق طولي في الدرزة اللحامية. ٢-تشقق عرضي في الدرزة اللحامية وينتشر منها إلى معدن الأساس. ٣-تشقق على الحد الفاصل بين معدن الدرزة اللحامية ومعدن الأساس.

هـ-التصنيف حسب طبيعة العيب:

وهو التصنيف المعتمد من المعهد الدولي للحام IIW والذي يضع عيوب اللحام ضمن ست مجموعات وهي:

١- التشققات Cracks

٢- الفجوات Cavities (المسامية Porosity و فجوات الانكماش Shrinkage Cavities)

٣- المتضمنات الصلبة (خبث Slag وأكاسيد Oxides)

٤- الإنصهار أو التغلغل غير الكاملين Incomplete fusion or penetration

٥- الأشكال المشوهة Imperfect Shape

٦- عيوب أخرى متنوعة Miscellaneous defects

وسنورد فيمايلي بعض التوضيحات حول الأنواع المختلفة لعيوب الوصلات اللحامية الممكن حدوثها في مختلف الوصلات اللحامية.

- **المسامية**

إن لمعدن اللحام المنصهر قابلية جيدة لحل الغازات التي تكون على تماس مباشر معه مثل الهيدروجين والأوكسجين والآزوت، وحالما يبرد المعدن تنخفض قابليته للاحتفاظ بالغازات، ومع التغير من الطور السائل إلى الطور الصلب تنخفض انحلالية الغازات متناسبة مع انخفاض درجة الحرارة مما يؤدي إلى تكوُّن حجم إضافي من الغاز ينبعث في الوقت الذي يتجمد المعدن في أثنائه، وبسبب تجمد المعدن يصبح غير قادر على السماح للغاز بالانطلاق منه بحرية ولذلك يبقى فيه مشكلاً الفقاعات والمسامات.

فأسر هذه الغازات يسبب جيوباً غازية ومسامات في الوصلة اللحامية النهائية، ويمكن أن تكون هذه المسامات بإحدى الأشكال التالية:

أ-المسامات الدقيقة: وتتألف من فقاعات صغيرة من الغازات بقطر أقل عادة من 1.6mm.

ب-فجوات النفخ: وهي فجوات غازية أكبر في أبعادها من المسامات الدقيقة.

- **ناسور الدرزة اللحامية:**

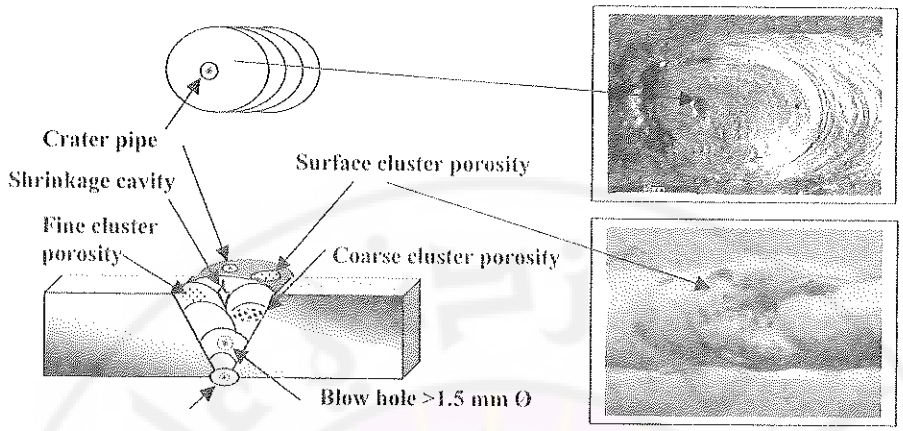
هو عبارة عن ثقب دقيق مخروطي الشكل يخرج إلى سطح الدرزة. ومثله مثل حفرة الانكماش لا يجوز السماح بوجوده في الوصلة اللحامية. ويتشكل الناسور نتيجة الانطلاق الموضعي للغازات بغزارة من معدن حوض اللحام في لحظة تجمده، ويلاحظ ذلك غالباً في تلك الحالات التي تكون فيها الحواف المراد لحامها ملوثة بالشحوم أو الصدأ في بعض الأماكن.

- **المسام السطحية في الدرزة اللحامية:**

و يمكن أن تلاحظ عند اللحام بإلكترودات مرطبة (غير مجففة)، أو بإلكترودات فاتت مدة صلاحيتها. ويسمح أحياناً بوجود حتى ثلاثة مسام بقطر أقل من ٢ مم في المنتجات اللحامية، على طول ١٠٠ مم من الدرزة. ومن الضروري معرفة معدلات العيوب المسموح بها، والمحددة بالوثائق الفنية لتصنيع الإنشاءات اللحامية، كمايوضح الشكل (٢-٦).

- **المسام الداخلية**

وتظهر المسام الداخلية في الدرزة اللحامية بسبب الكمية الكبيرة للغازات التي تنطلق في أثناء اللحام، و لم تستطع الخروج حتى لحظة تجمد معدن الدرزة. ويلاحظ بشكل خاص عند لحام الدرزات العميقة.



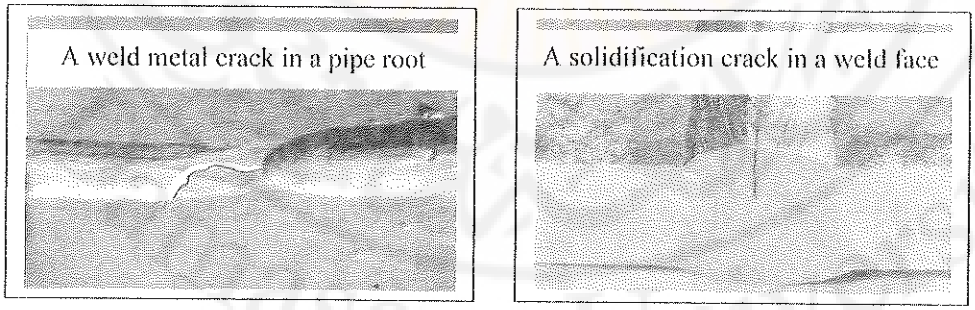
الشكل (٢-٦) المسامية – ناسورة الوصلة اللحامية – المسام السطحية.

- **التثلم Undercut:**

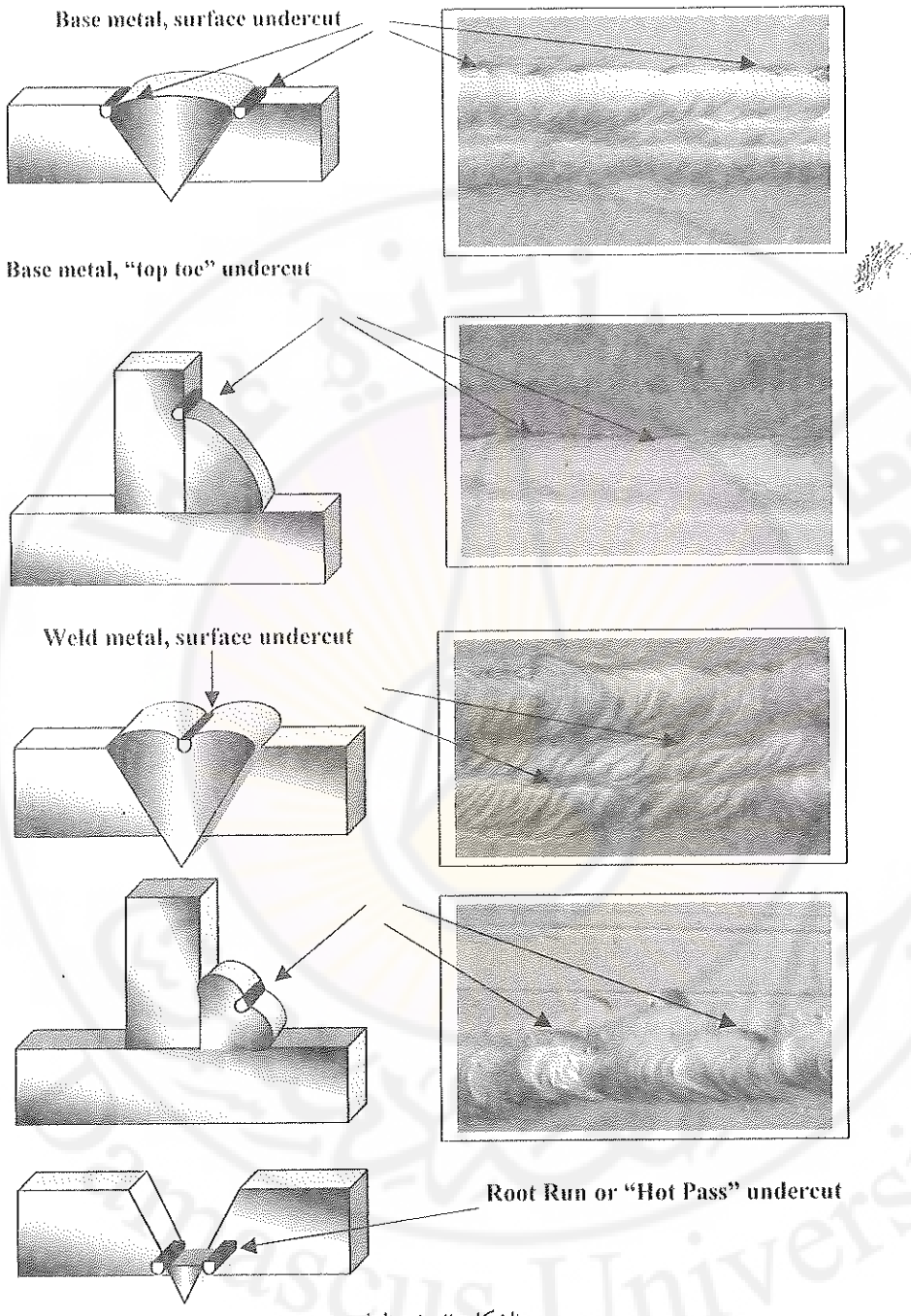
قد يصهر الفني في أثناء قيامه بلحام الشوط النهائي أو شوط التغطية جزءاً من المعدن الأصلي ويزيله، وينتج عن ذلك أخدود متقطع أو مستمر بأكثر من حافة حادة على طول اللحام الداعم بالقرب من الدرزة اللحامية، وهذا العيب يمكن أن يُرى بفحصه بالنظر بسهولة، كمايوضح الشكل (٢-٨).

- **الشقوق:**

تظهر الشقوق (وتنقسم إلى الشقوق الساخنة والباردة، والشقوق الطولية والعرضية والمتفرعة، والشقوق المرئية والميكروئية) عند الإخلال بالتكنولوجيا الموضوعة لتصنيع المنتجات اللحامية. وكقاعدة عامة، لا يمكن التسامح بوجود الشقوق في المنتجات، كمايوضح الشكل (٢-٧).



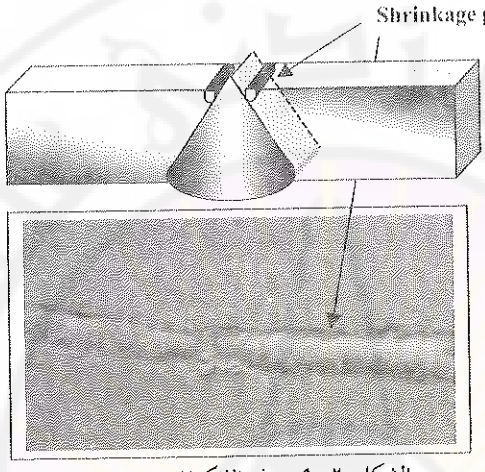
الشكل (٢-٧) الشقوق.



الشكل (٢-٨) التثلم.

- **حفرة الانكماش في الدرزة اللحامية:**

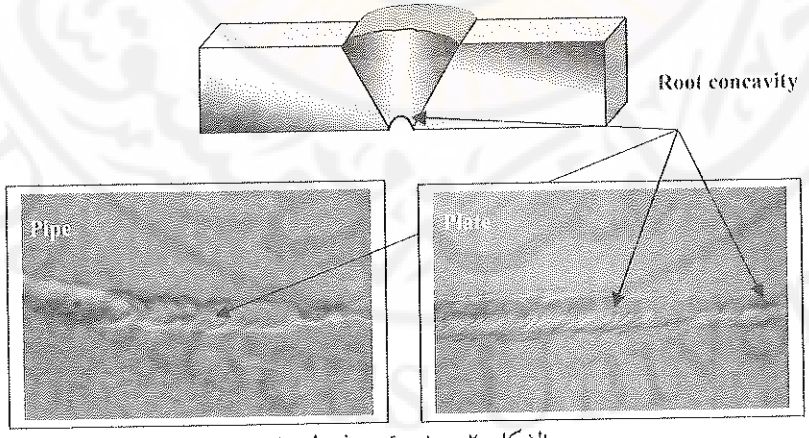
وهي تلاحظ نادراً وفقط عند اللحام بالقوس الكهربائي للألواح السميكة، وعندما تكون كتلة المعدن كبيرة في حوض اللحام. وتتكون الحفر داخل الدرزة اللحامية، عند الاتساخ الموضعي لمعدن حوض اللحام بالمواد السهلة الانصهار على أساس الكبريت والفوسفور وغيره. وتعتبر حفرة اللحام عيباً لا يمكن التسامح به في المنتجات اللحامية، كمايوضح الشكل (٢-٩).



الشكل (٢-٩) حفر الإنكماش.

- **تقعر جذر الدرزة:**

يمكن أن يتشكل في حالات تنفيذ الوصلات اللحامية مع نفخ الغاز، وعلى وسادة من الصهور مع وجود خلوص كبير بين حواف الجزأين الملحومين. ولا يسمح بظهور عيب تقعر جذر الدرزة في المنتجات التي تتعرض للحمولة الدينامية أو التي ستعمل في درجات حرارة منخفضة، كمايوضح الشكل (٢-١٠).



الشكل (٢-١٠) تقعر جذر الدرزة.

- **رذاذ المعدن:**

ولا مفر من تشكل رذاذ المعدن الإلكترودي عند اللحام بالقوس الكهربائي المكشوف، وينتشر الرذاذ على سطح الوصلة اللحامية، غير أنه لا يلتصق بالسطح المطلي بدهان خاص.

ويعد رذاذ المعدن عيباً لا يمكن التسامح به، ومن الوسائط الفعالة للوقاية من التصاق الرذاذ المعدني على السطح المجاور للدرزة في أثناء عملية اللحام، يمكن أن نذكر مختلف أنواع الطلاء مثل الطلاء بالبخاخ، كما يوضح الشكل (٢-١٢).

- **الاتصال غير السلس:**

يتشكل الاتصال غير السلس للدرزة اللحامية مع المعدن الأساسي، عند زيادة التقوية، أو تجمع المواد المضافة بحيث تفيض على المعدن الأساسي، وعلى الأغلب، عند الاختيار غير الصحيح لنظام اللحام، أو عند وجود طبقة سميكة من الصدأ على الحواف المراد لحامها، كما يوضح الشكل (٢-١٣).

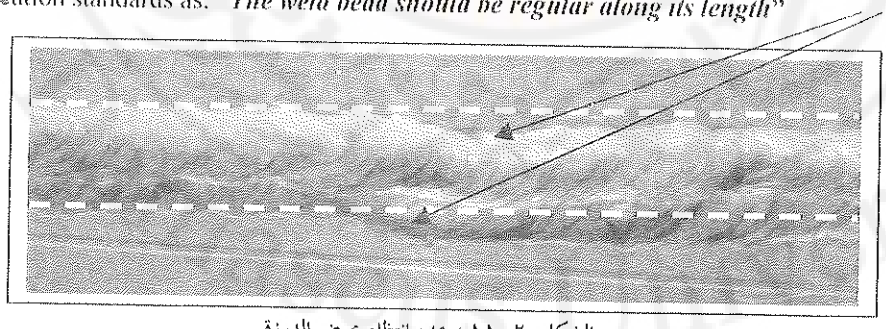
- **عدم انتظام شكل الدرزة اللحامية:**

هناك مظاهر كثيرة لعدم انتظام شكل الدرزة اللحامية مثل:

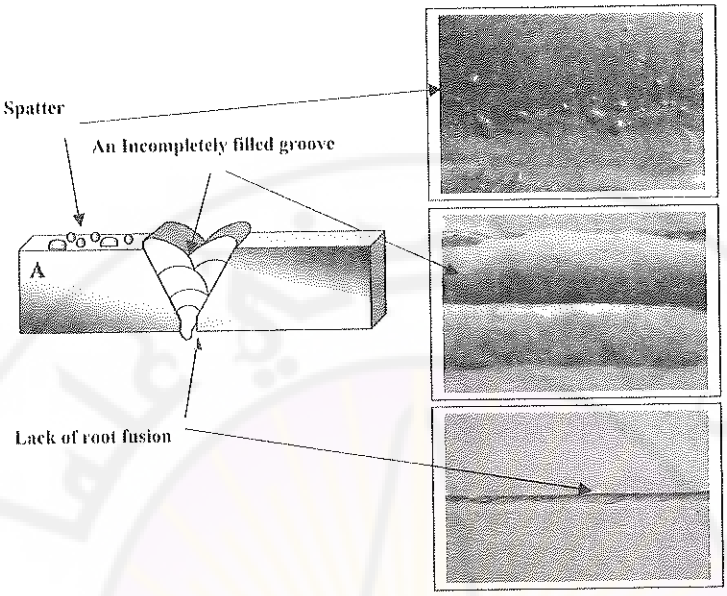
عدم التراصف الخطي linear misalignment وهو عبارة عن انحراف عن الوضع الصحيح أو التراصف للوصلة.

عدم انتظام عرض الدرزة irregular bead width وهو عبارة عن عدم تجانس عرض الدرزة أو انحراف الدرزة عن المسار الصحيح لها، كمايوضح الشكل (٢-١١).

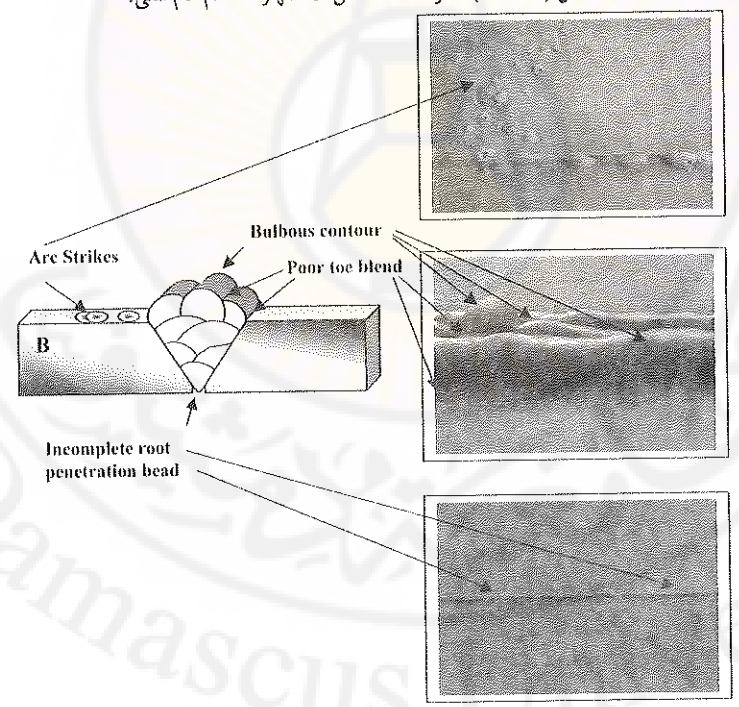
An irregular bead width is a surface imperfection, which is often referenced in application standards as. "***The weld bead should be regular along its length***"



الشكل (٢-١١) عدم انتظام عرض الدرزة.



الشكل (٢-١٢) الطرطشة – نقص الانصهار – عدم تمام الملئ.



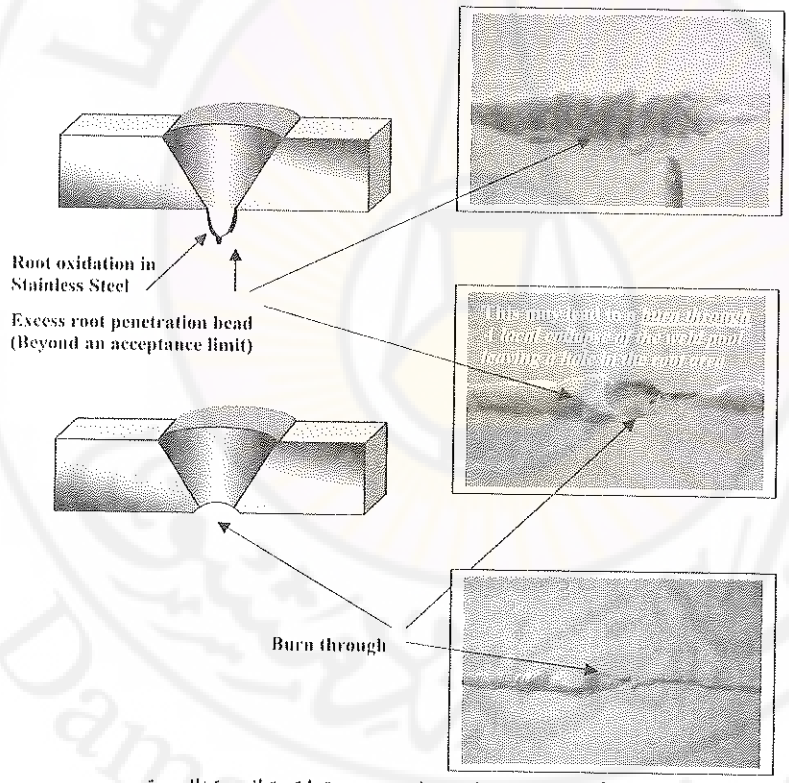
الشكل (٢-١٣) نقص التغلغل – نقر القوس – التكتل وعدم الانسياب في سطح الدرزة.

- **التأكسد السطحي:**

يحصل التأكسد السطحي للوصلة اللحامية عند لحام المعادن السهلة التأكسد (التيتانيوم والمغنزيوم وسبائكهما). ويحدث تأكسد المعدن السطحي نتيجة لإحماء المعدن في أثناء اللحام، إذا لم تكن سطوح الأجزاء القريبة من الدرزة محمية من تأثير الهواء الجوي.

- **القص الجزئي:**

يتشكل القص الجزئي لمنطقة الاندماج عند اللحام بإلكترودات المغلفة وعند اللحام النصف أوتوماتيكي، نتيجة للحركات العرضية الخاطئة لطرف الإلكترود (انخفاض مهارة عامل اللحام)؛ ويزداد القص الجزئي مع ازدياد شدة التيار. ويعد هذا العيب خطراً لأنه يولد تركيزاً للإجهادات، التي تؤدي إلى تحطم المعدن عند عمل المنتجات الملحومة بالحمولات الديناميكية، كمايوضح الشكل (٢-١٤).



الشكل (٢-١٤) القص الجزئي – زيادة التقوية للدرزة الملحومة

لا يجوز التسامح بالقص الجزئي إذا كان طول القص أكثر من ١٥ مم وعمقه في حدود ١ مم، أما إذا زاد عمق القص عن ١ مم فلا يجوز التسامح به مهما كان الطول

- **زيادة التقوية للدرزة الملحومة:**

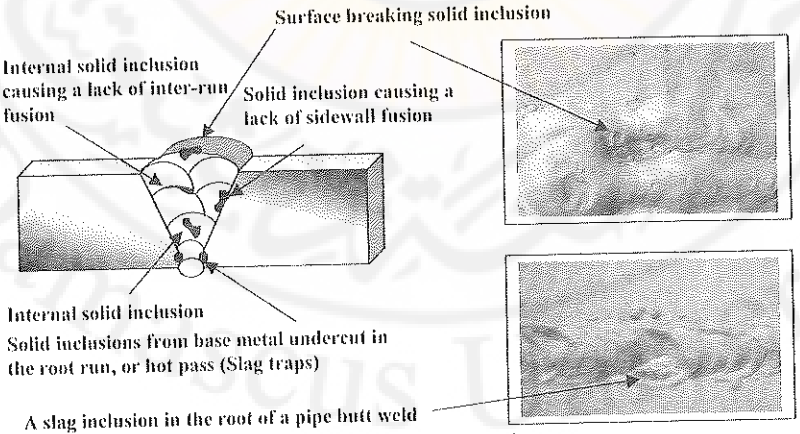
إن زيادة التقوية للدرزة الملحومة تؤدي إلى رداءة عمل المنتجات اللحامية عند الحمولات الديناميكية، ولذلك فإن هذا العيب لا يمكن التسامح به. ويمكن أن يكون سبب هذا العيب عند اللحام اليدوي هو المستوى المنخفض لمهارة عامل اللحام. ويحدد معدل سهم التحدب أو التقعر للدرزة بما لا يزيد عن ٣ مم، وذلك إذا كانت سماكة القطعة الملحومة تزيد عن ١٠مم، كمايوضح الشكل (٢-١٤).

- **التضمينات الخبيثة (inclusion):**

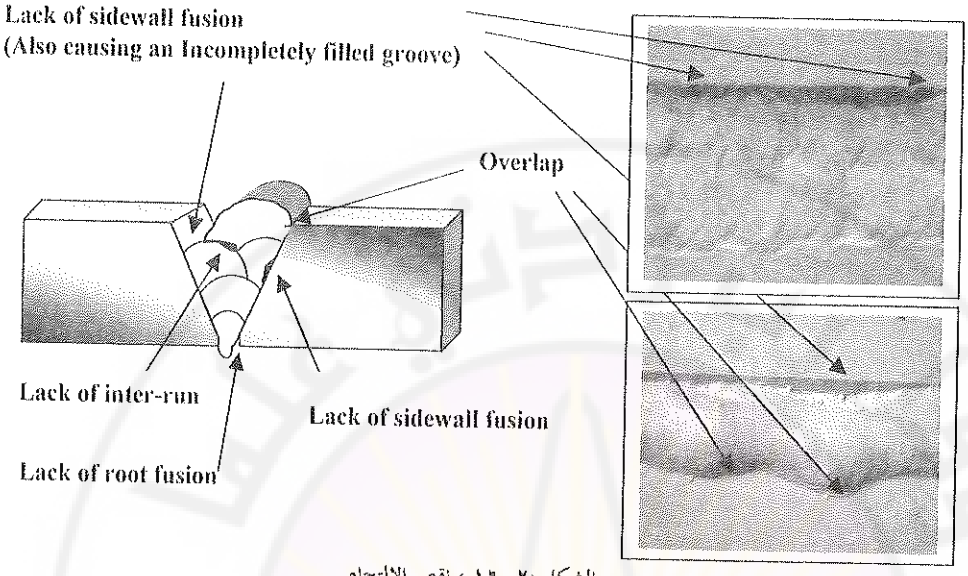
التضمينات الخبيثة أو غير المعدنية في الدرزة اللحامية، هي عبارة عن تضمينات أكسيدية وكبريتية وفوسفورية ونتريدية، وهي تتعلق بميتالورجيا اللحام حيث إن مجموعة من الأكاسيد والكبريتيدات لم تستطع الارتفاع إلى الخبث عند لحظة تجمد معدن الدرزة. ويلاحظ ذلك عادة عند تطبيق السرعات العالية في اللحام، كمايوضح الشكل (٢-١٥).

- **نقص الالتحام Lack of fusion :**

ويتمثل هذا العيب بعدم انصهار حافتي المعدن الأساس في وصلة اللحام أو طبقة اللحام السابقة في أثناء عملية اللحام، فيتوضع المعدن المضاف بجوار المعدن الأساسي غير المنصهر دون أن يمتزج معه ودون أن يشكلا حوضاً مشتركاً للانصهار ويترافق غالباً نقص انصهار المعدن الأساسي بعملية أكسدة له حيث تكون هذه الأكاسيد إما منصهرة مما يؤمن ربط المعدن الأساسي مع المعدن المضاف أو أن تكون غير منصهرة تتوضع بينهما ويكون نقص الالتحام على ثلاثة أشكال - حسب المنطقة التي تشكل بها- وهم : نقص التحام الجانب أو الطرف، نقص التحام الجذر وأخيراً نقص التحام الطبقات، كمايوضح الشكل (٢-١٦).



الشكل (٢-١٥) التضمنات الصلبة.



الشكل (٢-١٦) نقص الالتحام.

٢-٥- عيوب المصبوبات Casting defects:

تنشأ غالبية العيوب والانقطاعات في المصبوبات خلال مراحل صب وتصلب المصبوبة وأهم هذه العيوب هي:

- **المتضمنات الخبيثة (inclusion):**

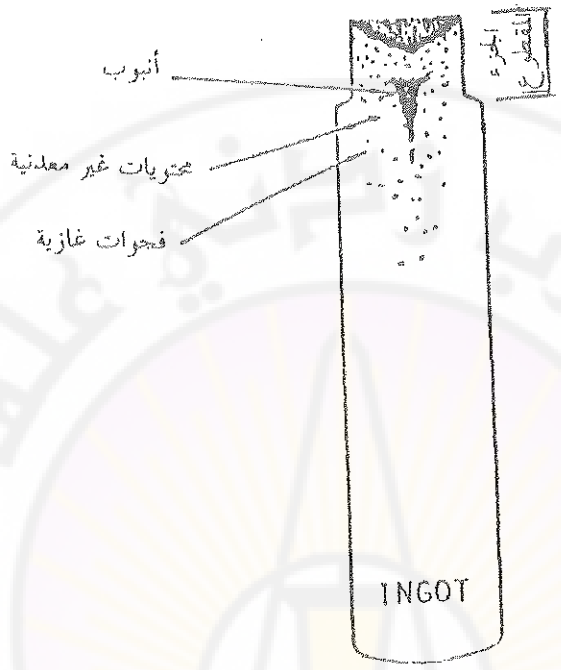
وهي عبارة عن مواد غير معدنية كربونية تتوضع ضمن المعدن وتؤثر عليه تبعاً لعددها وحجمها وتوزعها نتيجة لدرجة حرارة انصهار المتضمنات الخبيثة خلال عمليات تشغيل المعدن عند درجات الحرارة العالية وعند اللحام وهشاشتها العالية بشكل عام ضارة جداً، وذلك لفعلها فعل مناطق تركز الإجهادات ومناطق محفزة لتشكل الكسور بفعل الإجهادات.

تتوضع المتضمنات الخبيثة غالباً بالقرب من السطح ويمكن أن تكون في أي مكان من المصبوبة وفقاً لعملية جريان المعدن عند الصب وتكون ذات شكل غير منتظم أي ليست دائرية ولا بيضوية.

- **انفصال عناصر المصبوبة:**

انفصال عناصر المصبوبة هي ظاهرة معقدة وتنتج عند عدم انتشار أحد عناصر المصبوبة أو عدة عناصر فيها بشكل جيد في الخليطة وإنما يبقى مركزاً في مواضع محددة. بما أن الخلائط تتصلب ضمن مجال من الحرارة وبالتالي فإن المعدن الذي يتصلب أولاً (عند درجة الحرارة العالية) سيكون ذا تركيب مختلف عن الذي

يتصلب عند درجة الحرارة المنخفضة من هذا المجال ومن الممكن أن يسبب ذلك توزعاً غير متجانس لمواد الخليطة والذي يؤدي إلى نتائج سلبية من وجهة نظر الخصائص الميكانيكية للخليطة.



الشكل (٢-١٧) عيوب المصبوبات

- **الفجوات الأنبوبية:**

يشغل المعدن المصهور حجماً أكبر من حجمه عند التصلب وبالتالي عند تصلب المصبوبة، وغياب التغذية المستمرة بالمعدن السائل لتعبئة النقص في حجم المعدن، ينشأ فجوة في أعلى المصبوبة على شكل شرخ يتوجب إزالته قبل استثمار المصبوبة واستعمالها في التطبيقات المختلفة.

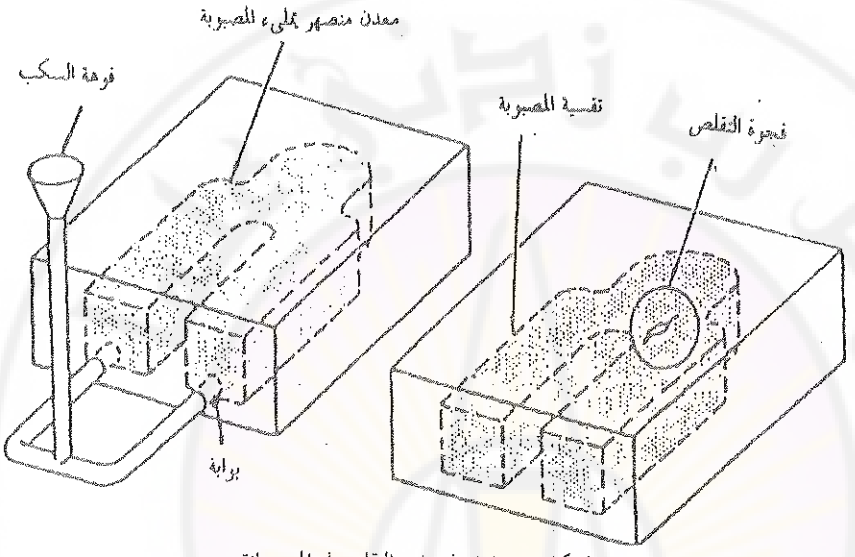
تحدث الفجوات الأنبوبية عند صب المعادن النقية والخلائط المكونة من عناصر ذات درجات تصلب متقاربة.

- **فجوات الضمور:**

تحدث فجوات الضمور بسبب عدم استمرار صب المعدن المنصهر لملئ الفراغ الذي خلفه الضمور، ويبين الشكل (٢-١٨) المعدن بعد التصلب حيث تشكلت الفجوة لأن المعدن المصبوب كان كافياً لملء القالب

وهو في الحالة السائلة ولكن بعد تجمده تبتعد الأجزاء المتصلبة بعضها عن بعض بسبب التقلص وفي النهاية يتصلب المعدن ككل ويتقلص ويبقى الفراغ حيث ليس هناك معدن لتعويضه.

يمكن أن تأخذ عيوب التقلص أشكالاً مختلفة كالفجوة والشرخ والمسامات أو شكلا لتقلصات الميكروية التي تحدث في بعض خلائط النحاس والمغنيزيوم.



الشكل (٢-١٨) فجوات التقلص في المصبوبات

تسمى فجوة التقلص بالفجوة الأنبوبية عندما تكون عند المغذي. ومن الممكن عند صب الخلائط أو المعادن ذات الكثافة العالية حدوث نوع من التقلص له شكل حزم فراغات طويلة متوازية كالخيوط أو بشكل شبكة تحدث في مركز المصبوبة لذا فهي تسمى بالتقلص المركزي والتي يصعب تمييزها عن الشقوق الساخنة كما وتنشأ التقلصات المسامية أو الاسفنجية عند عدم وجود تغذية كافية بالمعدن المصهور في مناطق محددة من المصبوبة وينتج عن ذلك مناطق داكنة على الصورة الشعاعية على شكل قرص العسل تتميز فجوات التقلص بشكلها غير المنتظم وهذا ما يميزها عن الفجوات أو المسامات الغازية.

- **الفجوات الغازية:**

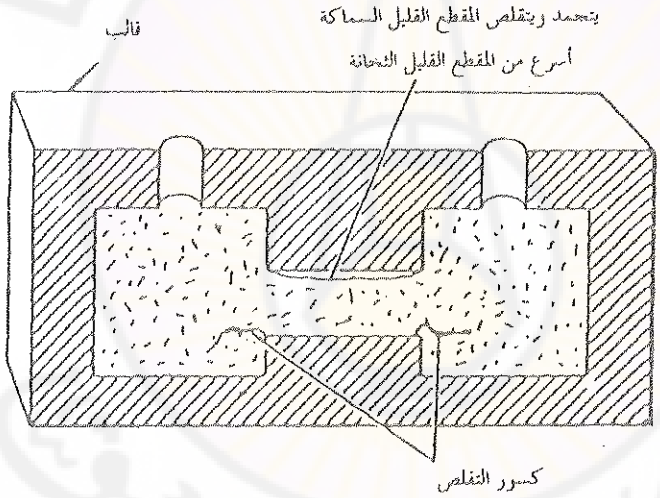
وهي عبارة عن فقاعات غازية كبيرة أو مسامية تظهر بالقرب من سطح المصبوبة أو في داخلها نتيجة للغازات الحبيسة داخل ا لمعدن أو على سطحها.

يتألف القالب من رمل وغضار وماء لهذا فهو نفوذ وماص وعندما يلامس المعدن المنصهر القالب يتشكل البخار بسبب الماء الداخل في تركيب القالب، فإذا كانت نفوذية القالب كافية فإن البخار سوف يخرج من

القالب. أما إذا كانت نفوذيته غير كافية فإن البخار لا يستطيع الخروج، وبما أنه يجب أن يسلك اتجاهاً ما فإنه سوف يشكل فقاعات غازية على سطح المصبوبة أو في مواضع مختلفة فيها، ويعتمد ذلك على تصميم القالب والمصبوبة، وهي تظهر على شكل دائري أو بيضوي بأحجام مختلفة، وتختلف الكبيرة منها عن فجوات التقلص بأنها ذات نهايات دائرية.

- **الكسور:**

تعتبر الكسور من أخطر أنواع العيوب وذلك بسبب قابلية الكسر للتمدد والانتشار عبر جسم المصبوبة وهي تنشأ بسبب الإجهادات الداخلية المتولدة في أثناء تصلب المعدن. ومن الممكن أن تنشأ الكسور نتيجة إعاقة تقلص المعدن في أثناء تصلبه إما بنتيجة التصميم غير المناسب للقالب أو التصميم غير المناسب للمصبوبة ويتعلق شكل الكسر باللحظة التي ينشأ فيها في أثناء مرحلة التصلب، كماهو مبين بالشكل (٢-١٩).



الشكل (٢-١٩) كسور المصبوبات

- **العروة الباردة:**

وتنتج عندما يصب المعدن المنصهر فوق المعدن المتجمد وارتطامه بالقالب بشدة مما يؤدي إلى طرش قطرات صغيرة من المعدن في كل الاتجاهات، والتي يصل جزء منها إلى أعلى القالب فتلتصق وتتصلب. وعندما يصل إليها المعدن المصبوب ويغطيها يتشكل انقطاع كالشق كما هو مبين في الشكل (٢-٢٠)، ويمكن أن تتشكل العروة الباردة بسبب نقص الالتحام بين السطحين المتجاورين ويعود سبب ذلك إلى عدم كفاية

المعدن السائل المصبوب لملء فراغ القالب دفعة واحدة ومن ثم ملء الجزء الفارغ المتبقي من القالب بعد تصلب الجزء الأول جزئياً، ويدعى هذا العيب عند حدوثه على سطح المصبوبة بالتراكب البارد.

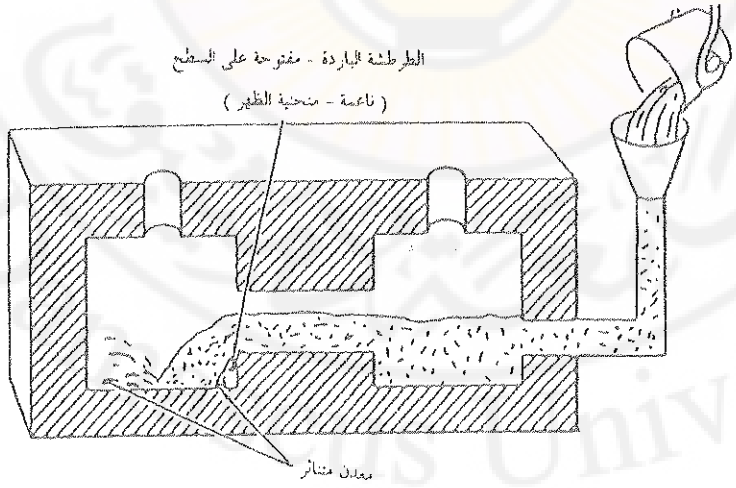
- **الشقوق الساخنة:**

ينشأ هذا العيب نتيجة للنقص الذي ينشأ في المعدن في أثناء مرحلة التصلب وخاصة عند احتواء المصبوبة على مقاطع رقيقة وأخرى سميكة إذ تتصلب المقاطع الرقيقة بشكل أسرع ساحبة المعدن المصهور من المقاطع السميكة التي لا تتصلب بسرعة. هذا التصلب غير المتكافئ يساعد على ظهور إجهادات شد داخلية في مواضع اتصال الأجزاء الرقيقة مع الأجزاء السميكة وحدوث التشققات في هذه المواضع لأن للمعدن متانة منخفضة عند درجات الحرارة العالية.

يمكن منع ظهور الشقوق الساخنة أو خفض معدل ظهورها باستخدام القوالب الرملية المكونة من تجمع لحبيبات الرمل المرتبطة بعضها مع بعض بواسطة الغضار والماء وهذا النوع من القوالب هش وسهل الكسر مما يفيد في عدم تشكل الشقوق الساخنة حيث يؤدي ظهور الإجهادات إلى انكسار القالب قبل تشقق المعدن.

- **الرش البارد:**

عند صب المعدن بسرعة ضمن قالب المصبوبة فإنه من الممكن أن يتولد تدفق مضطرب يؤدي إلى تطريش للمعدن على جدران القالب حيث يمكن لهذه الطراشات أن تتصلب دون أن ترتبط مع معدن المصبوبة وهذه المتضمنات غير المنصهرة تدعى بالرش البارد.



الشكل (٢-٢٠) الرش البارد.

٢-٦- العيوب الناتجة عن عمليات التشغيل النهائية:

وهي العيوب التي تظهر في أثناء التشغيل النهائي للمعدن، كما أن العيوب تحت السطحية تظهر إلى السطح وتصبح سطحية عند التشغيل النهائي.

من أهم عمليات التشغيل التي تؤدي إلى تشكل عيوب هي عمليات المعالجة الحرارية.

- العيوب الناتجة عن عمليات المعالجة الحرارية:

العيوب الأساسية التي يمكن أن تنشأ عن التقسية هي التشققات في المنتجات والانفعالات والتشوهات الداخلية والخارجية

تنشأ التشققات في أثناء الإصلاد في تلك الحالات التي تزيد فيها إجهادات الشد الداخلية عن أقصى مقاومة للشد بالصلب وتتكون التشققات عند درجات حرارة تقل عن النقطة Ms ويحدث ذلك في الغالب بعد التبريد وتزداد قابلية تكون التشققات بزيادة محتوى الكربون في الصلب وزيادة سرعة التبريد في نطاق درجات حرارة التحول المارتنسيتي، وتساعد زيادة الإصلادية على حدوث التشققات.

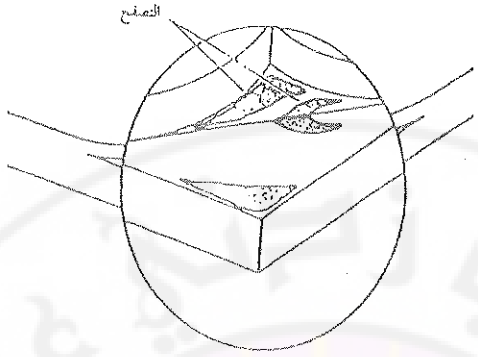
وهناك سبب آخر لتكون التشققات وهو وجود أماكن تركيز الإجهادات بالمنتج (مثل التغير الحاد في مقطع المنتج والحزوز الحملية والانخفضات والبروزات ...الخ).

يحدث التشوه-أي تغير أبعاد وشكل المنتجات-في أثناء المعاملة الحرارية كنتيجة للإجهادات الحرارية والبنيانية التي تظهر تحت تأثير التغيرات غير المنتظمة في الحجم وتحدث هذه التغيرات غير المنتظمة بسبب عدم انتظام التبريد أو بسبب التحولات الطورية.

وفي الصناعة كثيراً ما يسمى التشوه غير المتماثل الذي يحدث في المنتجات بالاعوجاج ويلاحظ حدوث الاعوجاج عند التسخين الشديد للغاية وغير المنتظم في أثناء الإصلاد وفي حالة الوضع غير السليم للجزء المعامل حرارياً في أثناء غمره في وسط الإصلاد وكذلك عند التبريد السريع في نطاق درجات الحرارة المارتنسيتية ويؤدي منع حدوث هذه الأسباب إلى تقليل الاعوجاج بشكل ملحوظ.

- عيوب عمليات الدرفلة والتطريق **Rolling and forging defects** :

أ – التصفح (Lamination) : يتم في أثناء عمليات الدرفلة والطرق تحول الصفائح (slabs) أو القضبان (billet) إلى الصفائح وقضبان مختلفة الشخانات ويتم في الوقت نفسه تصفح الغازات والمواد غير المعدنية المتواجدة ضمن المعدن.



الشكل (٢-٢١) التصفح.

ب – الندبة (Seam) : وهو انقطاع سطحي يشابه الكسر ويظهر في القضبان على شكل خط مستقيم أو حلزوني.

ج – التراكب الناتج عن الطرق (Forging lap) : وهو انقطاع سطحي ينشأ عن اندفاع المعدن خارج القالب وانثنائه على شكل صفيحة رقيقة على سطح المطروقة.

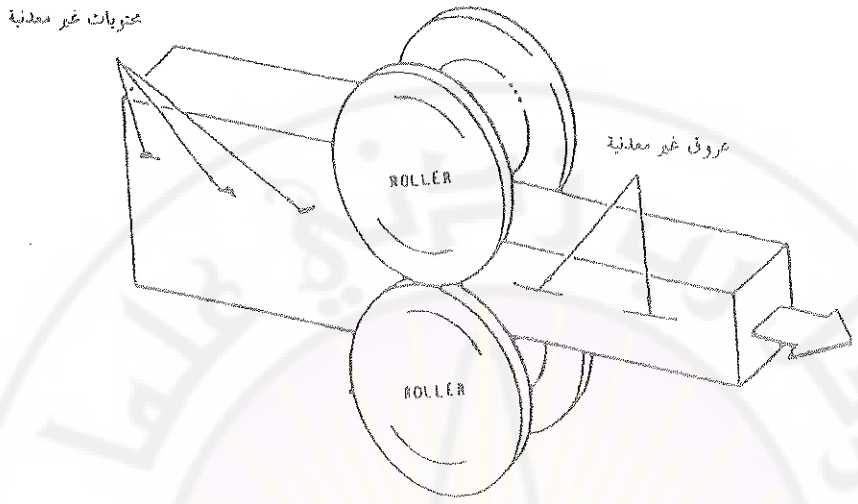
د – الكسور المركزية (Bursts) : تحدث هذه الكسور في المنطقة المركزية للمطروقة، وتنتج عن عملية طرق خاطئة كالعمل عند درجة الحرارة المنخفضة أو بسبب خفض شديد في التخانة الأساسية للمطروقة دفعة واحدة أو بسبب عيب انفصال العناصر المكونة للمطروقة .

هـ – الكسور الشعرية (flakes) hairline cracks : وهي كسور داخلية ذات أشكال دائرية ناتجة عن وجود الهيدروجين في المكونات الفولاذية ويمكن تجنب ظهور هذا العيب بالمعالجات الحرارية المناسبة.

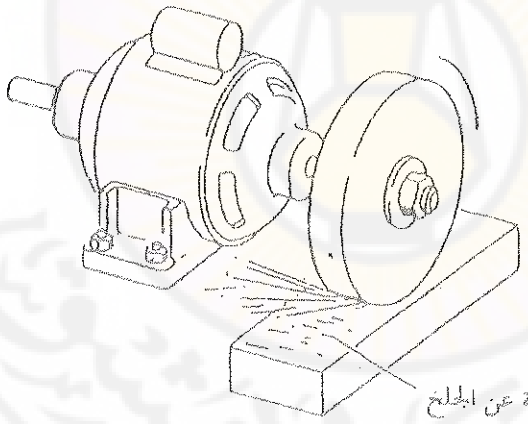
و – العروق اللامعدنية (Stringer) : وهي عملية تصفح واستطالة الشوائب اللامعدنية المتواجدة في السبيكة أو الألواح وتكون باتجاه عملية الدرفلة أو السحب.

- **الجلخ والعيوب المرافقة (Grinding and related defects)**

من الممكن أن ينشأ في أثناء أعمال الجلخ الخاطئة كسور الجلخ بسبب الإجهادات الناشئة عن الزيادة المفرطة بدرجة الحرارة بين حجر الجلخ الدوار والقطعة المعدنية، وتكون هذه الكسور في غالبية الأحيان عامودية على اتجاه دوران حجر الجلخ.



الشكل (٢-٢٢) العروق غير المعدنية

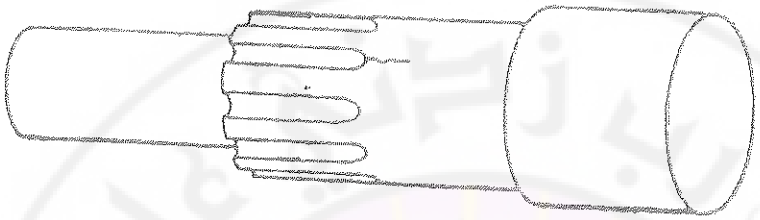


الشكل (٢-٢٣) الكسور الناتجة عن الجلخ

٢-٧- العيوب الناتجة عن الاستخدام:

تنشأ عيوب الخدمة في المكونات المعدنية في أثناء الخدمة بفعل الإجهادات المختلفة التي تتعرض لها هذه المكونات وبفعل العوامل الجوية المحيطة وظروف العمل. ومن أهم عيوب الخدمة كسور التعب التي تكون مفتوحة على السطح والتي تبدأ من نقد تركيز الإجهادات على سطح القطع. وكذلك عيوب التآكل

والاهتراءات التي تسبب في إنقاص ثخانة المعدن وإضعاف مقاومته للإجهادات في أثناء الخدمة. تعد هذه العيوب أهم أنواع العيوب وأخطرها والتي يجب التحري عنها وكشفها في أثناء أعمال الصيانة الدورية نظراً لما قد ينتج عنها من أضرار على الإنسان والمنشآت والبيئة.



الشكل (٢-٢٤) تشقق تعبي.

- عيوب ناتجة عن التعب:

تظهر هذه التشققات في أماكن تركز الإجهاد وهذه المناطق تنحصر في (أماكن الثقوب مناطق اللحام الزاوي-مجاري الخوابير-مناطق التفريز). لذلك تصمم هذه المناطق بحيث تكون مقاومة للإجهادات وبالتالي فالتصميم الخاطئ كالثقوب ذات الحواف الحادة، المناطق غير المشغولة، أو التفريز غير الكافي يؤدي إلى تركز الإجهادات وبالتالي إلى حدوث التشققات.

تظهر الشقوق الميكروية تحت السطحية بتأثير إجهادات التعب المتكررة ثم تنتشر في البنية الميتالورجية تحت تأثير الإجهاد المتواصل وتسمى هذه الظاهرة بانتشار التعب وتستمر هذه الشقوق في المقطع العرضي حتى منطقة تغير المقطع العرضي حيث يحدث عندئذ تصدع ستاتيكي بتأثير الحمولات المنخفضة، وعندما تظهر الشقوق الميكروية والتي تزداد قدرتها على النمو نتيجة لتأثير تركز الإجهاد الناتجة عن الشقوق ذاتها.

ومن الملاحظ أن نسبة تدرج إجهاد التعب يمكن أن تتغير بالاعتماد على حالة الإجهاد. حيث يكون نمو التشقق بطيئا في بعض حالات التحميل المنخفض لذلك يمكن تشغيل المواد عندئذ لفترة طويلة وبشكل متواصل حتى في وجود التشققات.

أما في حالة التحميل الشديد والإجهادات العالية فيحدث التقصف (قهشم) جزئي عند تشغيل المواد بشكل متواصل ويكون نمو التشقق كبيرا ولحظيا في هذه الحالة.

عند حدوث التشقق في المشغولة بتأثير إجهادات تعب متواصل أو نتيجة الدوران السريع أو حدوث الاهتزازات أو التعرض للإجهادات المتكررة، فإن كشف هذه التشققات يكون صعبا لأنها تبدأ بشكل تشققات ميكروية ثم تنمو باستمرار التحميل حتى تصبح قابلة للكشف عندما تبلغ مرحلة معينة وتكون

المشغولة عندئذ قريبة من التحطم، أما في حالات الإجهاد المنخفض فتحدث التشققات الميكروية والتي يمكن أن يكون نموها بطيئا كما تكون متداخلة مع بقية عيوب البنية مما يصعب كشفها.

- **عيوب ناتجة عن التآكل:**

إن نوع التآكل والآلية التي يتم بها يتعلق إلى درجة كبيرة بطبيعة الوسط الذي تتحقق فيه العملية (الوسط الذي هو في حالة تماس مع المادة المتآكلة). يميز عادة نوعان أساسيان للتآكل-

١. التآكل الكيميائي:

و يتميز باهتراء وتفتت المعدن نتيجة لتفاعله المباشر مع الوسط المحيط (الوسط المماس له) وغير المتشرد كهربائياً. وكمثال يؤخذ للتدليل على هذا النوع من التآكل يمكن الإشارة إلى تآكل ريش وأجزاء أخرى لعنفة في حالة تماس مع غازات احتراق ساخنة، تآكل الأجزاء الساخنة للأفران الكهربائية، تآكل الخزانات، تآكل المفاعلات الكيميائية...إلخ. هذه التآكلات جميعها يمكن أن تتسبب نتيجة لتماسها وبالتالي تفاعلها مع بعض الغازات أمثال $NH_3, Cl_2, CO_2, Co, H_2, H_2S$، بخار الماء المحمص أو نتيجة لتحقيق هذا التماس مع السوائل غير المتأينة (غير المتحللة كهربائياً) أمثال النفط ومشتقاته (المواد الناتجة عن معالجته)، المركبات العضوية...الخ. من هنا يتضح أن للتآكل الكيميائي أشكالاً وحالات مختلفة ومتنوعة. إلا أن أكثر هذه الحالات خطراً على الإطلاق من حيث القدرة التآكلية الكبيرة والخسارة الاقتصادية الناجمة عن ذلك، هي الحالة المتمثلة بالتآكل الغازي أي تأكسد المعادن في جو غازي جاف وعند درجات حرارة عالية.

٢. بالتآكل الكهروكيميائي:

يتحقق هذا النوع من تآكل المعادن في المحاليل المتأينة (المتشردة كهربائياً) الغامرة للمعدن كلياً أو جزئياً، وذلك نتيجة لحصول عمليات (تفاعلات) كهروكيميائية على سطح المعدن المغمور (المحاط) بالوسط الناقل للتيار الكهربائي (المتأين) كعمليات الأكسدة-الإرجاع إن سرعة التآكل الكهروكيميائية تتعلق بخواص كل من المعدن ذاته (نوع المعدن، بنيته عدم تجانسه، وجود طبقة واقية...الخ) والوسط الناقل للتيار الكهربائي - المتشرد- (تركيبه، تركيزه، درجة الحرارة، درجة الحموضة،...الخ). الماء العذب أو ماء البحر والأحماض والقلويات والمحاليل الملحية وفي الأرض.

تتكون الشبكة البلورية للمعدن من أيونات موجبة الشحنة (كاتيونات) موجودة بأركان الشبكة البلورية والإلكترونات الحرة المتحركة في حجم المعدن كله. ويمكن أن تنفصل الكاتيونات عن سطح المعدن وأن تنتقل إلى الوسط المجاور-الإلكتروليت وهو الدال على ميل المعدن للذوبان بالجهد القطبي. وتتوقف قيمته أساساً على تركيب الإلكتروليت.

أعماق المعدن ولا يسبب أي تغير ملموس على السطح. وتتعرض لهذا النوع من الصدأ أنواع الصلب النيكل-كرومية وسبائك الألومنيوم، وهي التي يمكن أن تفرز أطواراً منتشرة.

الفصل الثالث

الاختبار البصري

Visual Testing

٣-١- مقدمة :

إن أسهل طرائق الفحص اللاإتلافي لسطح جسم ما هي تفحصه سواء بالعين المجردة أو باستخدام مساعدات الرؤية مثل العدسات أو المجاهر ويؤدي الفحص النظري البسيط إلى تحديد مجمل عيوب السطح وبالتالي فهو يقود إلى تقدير مباشر لقبول أو رفض الجسم المختبر وتوفير الكثير من الوقت والتكلفة عند استخدام طرائق أكثر تعقيداً.

وتعتبر هذه الطريقة من أقدم وأرخص طرائق الاختبار اللاإتلافي كما أنها تعتبر من أهم الطرائق وقابلة للتطبيق في جميع مراحل التصنيع ويمكن أن تكون كافية في بعض الحالات وتتبع في حالات أخرى بطرائق أخرى للوصول إلى أبعد من قدرات الفحص البصري وعلى أي حال فإنه من الضروري تطبيق هذا الاختبار حتى في حالة إجراء أي اختبارات على الجسم المراد اختباره.

يمكن تقسيم الفحص البصري إلى أربعة مجالات وذلك بحسب مجال الفحص:

المجال الأول : VT-1 وهو خاص بظروف المكونات

المجال الثاني: VT-2 تحديد موقع نقاط التسريب

المجال الثالث: VT-3 الشروط الميكانيكية والإنشائية العامة للعناصر ومثبتاتها

المجال الرابع : VT-4 يركز على الشروط المتعلقة بقابلية العناصر والتجهيزات للخدمة أو أداء عملها.

وينفذ الاختبار البصري عادة باستخدام العين المجردة كما يمكن أن يبدي فعالية أكبر باستخدام أدوات خاصة إضافية تشمل على المرايا mirrors عدسات التكبير magnifying glasses والفيبرسكوب fiberscopes وكاشفات الثقوب borescopesالكاميرات cameras وفي كلا الحالتين يقتصر الاختبار على المناطق التي يمكن أن ترى مباشرة بالعين أو يمكن أن ترى عن بعد بوسائل مساعدة محدودة كما هو الحال على سبيل المثال عند تحري التآكلات في أنابيب المراجل.

وتعتبر هذه الطريقة أيضاً من أبسط الطرق إلا أنه على بساطة إجراءات هذا الاختبار فإنه يستوجب وجود خبرة عالية لدى المفتشين كما يجب أن تنفذ من قبل شخص يملك مستوى إبصار ملائم.

٣-٢- مزايا الاختبار بطريقة الفحص البصري :

١- رخصها مقارنة بطرائق الاختبار اللاإتلافي الأخرى.

٢- قابلة للتطبيق في جميع مراحل الإنتاج والتصنيع

٣- لا يتطلب تدريباً كبيراً.

٤- قادرة على إعطاء نتائج آنية

٣-٣- مساوئ وحدود الاختبار بطريقة الفحص البصري :

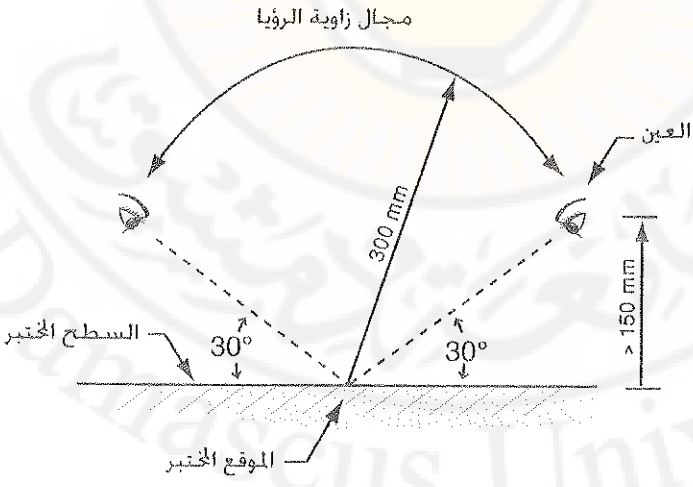
١- تتطلب قدرة إبصار جيدة.

٢- تتطلب إضاءة كافية.

٣- ينحصر استخدامها للتفتيش السطحي وللعيوب ذات الأبعاد الكبيرة نسبياً والتي تتناسب مع قدرة الإبصار البشرية عند الفحص بالعين المجردة أو الأكبر قليلاً والتي تتناسب مع قدرة مساعدات الرؤيا.

٣-٤- الفحص البصري المباشر:

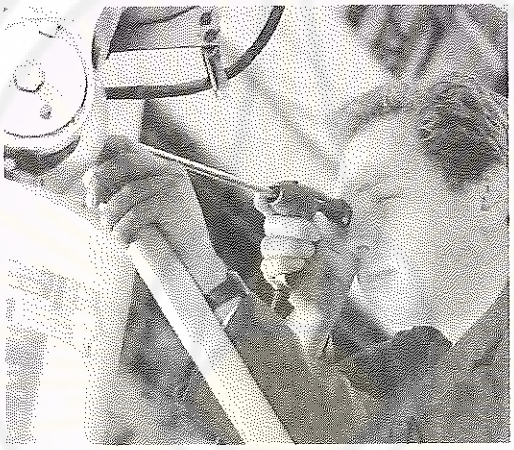
حيث يتم استخدام الرؤيا المباشرة في الحالات التي تستطع العين المجردة الوصول للسطح المراد اختباره على مسافة لا تتجاوز ٦٠٠ مم وبشكل عمودي نسبياً بحيث لا يتجاوز الميل ٣٠° كما هو مبين بالشكل ٣-١.



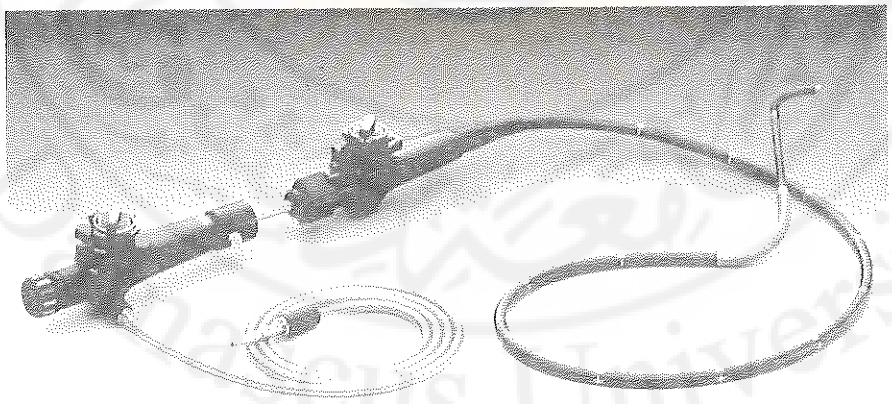
الشكل ٣-١ الزاوية الدنيا المسموحة للرؤيا

٣-٥- مساعدات الرؤيا Visual testing aids:

ويقسم الفحص البصري غير المباشر (عن بعد) إلى ثلاث مجموعات (كاشفات الثقوب Borescopes ، الكاشفات الليفية Fiberscopes ، تقنيات الفيديو video technology) وذلك بحسب التطور التاريخي، تستخدم كاشفات الثقوب Borescopes أو ما يشار إليها أحيانا ب- endoscopes بشكل أساسي لفحص القنوات أو الفجوات وكان يتم ذلك باستخدام أنبوب مجوف مع مرآة ثم تطورت لتشمل على عدسات خاصة ضمن أنبوب صلب مما ساعد في تحسين الصورة ولكن الأنبوب الصلب قيد استخدامه بالقنوات المستقيمة (شكل ٣-٢) إلى أن تم تطوير أنابيب مرنة حيث أصبح من الممكن اختبار قنوات ذات مسار منحني. وفي عام ١٩٥٥ قاد تطوير الألياف الضوئية إلى تطوير الكاشفات الليفية fiberscope (شكل ٣-٣).



الشكل ٣-٢ كاشف ثقوب ثابت



الشكل ٣-٣ فيبرسكوب مرن

٣-٥-١- العدسات المكبرة :

وهي عبارة عن عدسات زجاجية تقوم بتكبير الأجزاء التي لا تستطيع العين المجردة كشف تفاصيلها، ولذلك يراعى عند استخدام هذه العدسات في الاختبار البصري تحقيق التكبير المطلوب بما يتلاءم مع طبيعة المنطقة تحت الاختبار.

يراعى عند اختبار العدسة المكبرة أن تكون مناسبة من حيث :

- قوة التكبيرة.
- البعد عن السطح المراد اختباره.
- مساحة الرؤية.
- إمكانية الرؤية باستخدام عين واحدة أو اثنتين.
- أبعاد الجسم المراد اختباره.

٣-٥-٢- مكشاف الثقوب Borescopes :

وهو عبارة عن أداة دقيقة ذات إضاءة ذاتية يستخدم في الاختبار البصري للسطوح الداخلية للأنابيب أوالتجاويف أو الثقوب.... إلخ، وتساعد الكاشفات في تكبير سطوح الأجسام لإظهار العيوب التي لا تستطيع العين المجردة كشف تفاصيلها، وتسمح بمعاينة الأماكن التي لا تستطيع العين المجردة الوصول إليها، وتتوافر وصلات لكاشفات الثقوب يمكن أن تصل أطوالها إلى ٢٤ م.

تستخدم هذه المناظير في محطات الطاقة لفحص الأنابيب والمراجل بغرض تحري النقر على سطوح الجدران الداخلية ومواضع تأكلها، أو فحص تقشر السطح الداخلي للأنابيب والكسور.

كما تستخدم المناظير أيضاً في فحص ريش التوربينات، المولدات، المحركات، المضخات، المكثفات والمكونات الكهربائية الأخرى وذلك دون الحاجة إلى تفكيكها، وأيضاً يتم استخدام المناظير لفحص التجاويف الداخلية للمطروقات.

و يجب أن تتميز المناظير بالخصائص التالية:

- وجود زاوية رؤية كبيرة.
- عدم إحداث تشوه للصورة.
- القدرة على الاحتفاظ بألوان الأشياء المختبرة بدقة.
- توفير إضاءة مناسبة.



ويمكن الحصول على صور الأسطح باستخدام منظار قصير أو طويل ذي قطر كبير، ومن أجل وضوح الصور يتم استخدام عدسات مطلية بطبقات شفافة تمنع الانعكاس.

٣-٥-٣- أجهزة الرؤيا الإلكترونية Electronic testing aids tools:

تستخدم أجهزة الرؤيا الإلكترونية في الاختبار البصري للمكونات والأجزاء في الأماكن المحظورة أو الخطرة التي لا يمكن للإنسان أن يكون فيها، وذلك بتجهيز الأماكن المذكورة بوسائل رؤيا مساعدة كالكاميرات اللاقطة التي تقوم بإرسال المعلومات عن تلك المكونات إلى أجهزة تلفزيونية تتوضع في أماكن مناسبة للمراقبة.

من أفضل وسائل الرؤية المستخدمة هي الدوائر التلفزيونية حيث يتم وضع الكاميرات في الأماكن المحظورة أو الخطرة والتي لا يمكن للمراقب أن يجلس فيها. وترسل المعلومات إلى مكان مناسب لمشاهدتها تماماً مثل حالات مراقبة : لهب الأفران، وفحص شمعات الاحتراق في السيارات أو المناطق ذات النشاط الإشعاعي العالي.

٣-٦- إجراءات الفحص البصري:

- يجب أولاً إزالة أي تلوث يمكن أن يؤثر على التقدير البصري لحالة السطح المراد اختباره مثل : الرمل، التراب، القشور أو الصدأ، ويمكن ضرب السطح بالرمل أو غيره عند الحاجة كما يمكن استخدام المنظفات الحمضية كما هو الحال مع المسبوكات ولاستخدام هذه المواد بشكل ناجح يجب الاستعانة بكيميائي أو بأخصائي في علم المعادن.
- ضرورة تسليط الإضاءة الجيدة، مع استخدام زوايا مناسبة.
- استخدام المرايا المستوية والمقعرة البسيطة التي تستخدم لفحص الأماكن التي لا يمكن الوصول إليها بغرض معاينتها بشكل واضح مباشرة أو استخدام عدسات مكبرة بسيطة ذات قدرة تكبير تتراوح قدرتها من ٢ إلى ٥ مرات.
- يتم استخدام وسائل قياس مناسبة لقياس أعماق العيوب السطحية.



وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الرابع

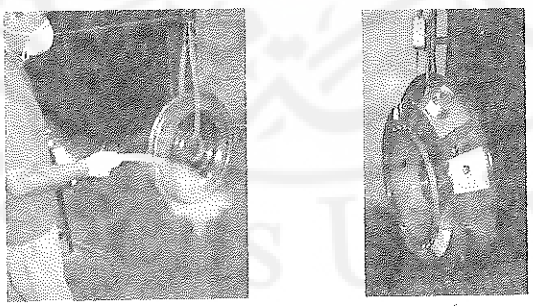
طريقة الاختبار بالسوائل النفوذة

٤-١-مقدمة :

لقد تم استخدام هذه الطريقة منذ زمن بعيد بغرض التحري عن التشققات والكسور المفتوحة على السطح ذات الأبعاد من مرتبة الميكرومتر والتي لا يمكن رؤيتها أو يصعب ملاحظتها بالعين المجردة أو بطرق الفحص البصري، وتعتمد هذه الطريقة أساساً على إمكانية بعض السوائل من النفاذ خلال العيوب السطحية ثم إمكانية استخراجها مرة أخرى بعد تنظيف السطح ليظهر مكان العيب، حيث كان يوضع الكيروسين مثلاً كسائل نافذ على السطح المراد فحصه وتركه فترة من الزمن ثم يجفف السطح ويرش بمسحوق الطباشير المعلق في سائل قابل للتطاير بسرعة، وهذا المسحوق يمكن أن يمتص الكيروسين المتغلغل في العيوب ليظهر بقعاً تبين مواضع تلك العيوب وحديثاً استبدلت هذه المواد بمواد ذات خواص أفضل وقدرة تغلغل أعمق وقدرة إظهار أفضل بكثير من المواد السابقة.

من المزايا الهامة لهذه الطريقة هي إمكانية استخدامها ليس فقط مع السبائك الحديدية بل يمكن أيضاً استخدامها لفحص السبائك غير الحديدية مثلا البلاستيك، الخزف، السبائك المعدنية وغيرها من المواد بشرط أن تكون غير مسامية.

وتقوم هذه الطريقة على تنظيف سطح المادة المراد اختباره بشكل جيد باتباع طريقة تنظيف مناسبة تمهيداً لوضع سائل ذي مقدرة نفوذ عالية Penetrate على سطح هذه المادة حيث يترك لفترة زمنية كافية (تعرف بفترة النفوذ أو التغلغل)؛ يتم بعدها إزالة طبقة السائل المتبقي على سطح المادة باستخدام مادة مزيلة مناسبة remover ثم توضع طبقة رقيقة من المظهر Developer الذي يساعد على إعادة إخراج السائل المتغلغل في الشقوق إلى السطح مشيراً بذلك إلى موضع وجود هذه الشق كما هو مبين بالشكل (٤-١).



الشكل (٤-١) بعض الأمثلة على استخدام طريقة الاختبار بالسوائل النافذة في الكشف عن العيوب

تصنف السوائل النافذة إلى أربع فئات وفقاً لنوع المادة الملونة الداخلة في صناعتها والطريقة المتبعة في إزالة هذه السوائل بعد مرور فترة النفوذ أو التغلغل وهذه الفئات هي:

١. السائل الفلوريسنتي Fluorescent penetrate القابل للإزالة بالمذيبات Solvant .

٢. السائل الفلوريسنتي القابل للإزالة بطريقة الاستحلاب Emulsification .

٣. السائل الفلوريسنتي القابل للإزالة بالماء.

٤. الصباغ الأحمر Red dye penetrate القابل للإزالة بالمذيبات.

يعد السائل النافذ الفلوريسنتي القابل للإزالة بالمذيبات من السوائل النافذة عالية الحساسية في الكشف عن الكسور السطحية الضيقة جداً ابتداءً من 1 µm وعمق 5 µm ولكن يتطلب استخدام السائل النافذ الفلوريسنتي وجود تجهيزات إضافية في أماكن الاختبار كوجود غرفة مظلمة مزودة بمصباح أشعة فوق البنفسجية أو ما يسمى مصباح الضوء الأسود (Black light) المكونة من مصباح بخار الزئبق عالي الضغط محاط بمرشح لإزالة الأشعة فوق البنفسجية الضارة ذات أطوال الأمواج الأقصر من (300 nm) وإزالة كافة أطوال موجات الضوء المرئي الأكبر من (400 nm) وبحيث تبلغ طاقة الطيف قيمة كافية عند طول موجة (365 nm) حيث تعطي جزيئات السائل الفلوريسنتي استجابة ضوئية عظمى عند طول موجة (365 nm)

٤ – ٢ – مزايا طريقة الاختبار بالسوائل النافذة .

١. يمكن تطبيق السوائل النافذة في فحص المواد المعدنية المغنطيسية وغير المغنطيسية وكافة المواد الصلب غير المسامية.

٢. ثمن الأجهزة منخفض وأقل من ثمن أجهزة الطرائق الأخرى.

٣. لا تتعلق مقدرة الكشف بكيفية توضع العيب واتجاهه.

٤. يمكن بواسطة هذه الطريقة فحص المكونات ذات الأشكال المعقدة.

٤ – ٣ – مساوئ طريقة الاختبار بالسوائل النافذة وحدودها.

١. لا يمكن تطبيق هذه الطريقة على المكونات والقطع ذات السطوح المسامية .

٢. لا يمكن تطبيق هذه الطريقة على المكونات المطلية بالدهان أو الطبقات المعدنية الواقية.

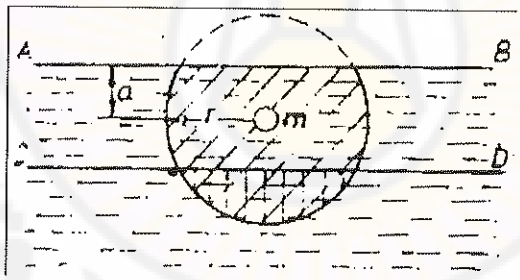
٣. لا يمكن تطبيق هذه الطريقة عند تلوث سطح القطعة المراد اختبارها بالزيوت أو الشحوم ما لم يتم إزالتها بشكل كامل .

٤. زمن الاختبار طويل.

٤ – ٤ – مفاهيم عامة في التوتر السطحي و الخاصية الشعرية.

إن السطح الحر المتشكل كحد فاصل بين سائلين متلاصقين غير متمازجين (ماء–زيت ماء–هواء) يسعى دائماً ليكون أصغرياً، تماماً كما يفعل غشاء مطاطي رقيق مشدود بانتظام . وسبب هذا التصرف يعود لكون كل ذرة من السائل،سواء كانت في الداخل أم على السطح الخارجي الحر،تخضع لتأثير قوى جذب الذرات المحيطة بها المسماة قوى الترابط الذرية .

نفرض كما في الشكل (٤–٢) أن الجزيئة m تقع على عمق a من السطح الخارجي الحر لسائل ساكن والممثل بالمستوى الأفقي B-A. وليكن D-C مستوياً موازياً ل–B-A ومتناظراً معه بالنسبة ل–m. إن تأثير قوى الترابط الذرية على الجزيئة m لا يظهر إلا ضمن مجال صغير جداً حولها نصف قطره r. فإذا كان $a > r$ فإن قوى الترابط الذرية المؤثرة على الجزيئة من كافة الجهات تفني بعضها وتبقى الجزيئة في حالة توازن. أما في الحالة التي تكون فيها $a < r$ فإن قوى الترابط الذرية المؤثرة ضمن المستويين B-A و D-C فقط تفني بعضها، ويبقى تأثير قوى جذب الجزيئات الواقعة تحت المستوي D-C (تمشير مضاعف في الشكل) التي تحاول جذب m إلى الداخل. ومن هنا يتضح أن السطح الحر للسائل لا يحتفظ إلا بالجزيئات الضرورية جداً اللازمة لتكوين (قشرة السطح) بأصغر مساحة ممكنة. ولهذا السبب تكون قطرات المطر وفقاعات الصابون ذات شكل كروي لأن سطحها الخارجي في هذه الحالة بالنسبة لحجم معين يكون أصغرياً.



الشكل (٤–٢) تأثير قوى الترابط الذرية على جزيئات السائل

إن المركبات المماسية لقوى الترابط الذرية الموازية للسطح الخارجي الحر للسائل والمتعامدة مع الخطوط المحدة لهذا السطح تجعله في حالة إجهاد شد، يطلق عليه عامة إجهاد السطوح المحدة أو التوتر السطحي.

التوتر السطحي σ_0 يمثل قوة الشد F الموازية للسطح الخارجي للسائل بالنسبة لكل واحدة طول من الخط المحد s لهذا السطح والتي يجب القيام بعمل من أجل التغلب عليها في أثناء تكبيره.

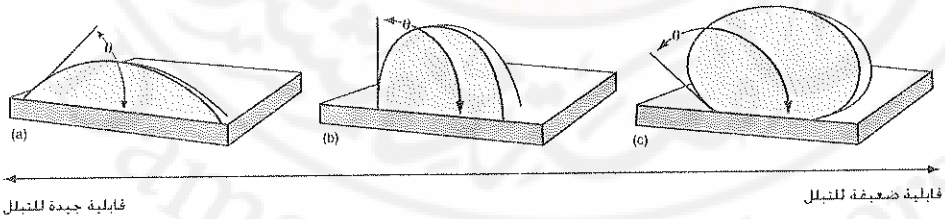
$$\sigma_0 = \frac{dF}{ds} = const\left(dF \pm ds\right) \Rightarrow \left[\sigma_0\right] = \left[\frac{F}{s}\right] = N.m^{-1} = \frac{1}{9,81}\frac{kp}{m}$$

إن قيمة σ_0 تبقى ثابتة في كل نقطة من السطح الخارجي الحر للسائل المعتبر وفي كل الاتجاهات، ولا تتغير مع تغير السطح بعكس إجهاد الشد للغشاء المطاطي. لذا فإن التوتر السطحي يمثل إحدى خواص السائل. وتتعلق قيمته بدرجة الحرارة وبقوة جذب الوسط المتاخم للسطح الخارجي.

ينخفض الإجهاد السطحي بارتفاع درجة الحرارة وعند درجة حرارة حدية تصبح قيمة الإجهاد السطحي مساوية للصفر $\gamma = 0$ مثلاً الماء عند درجة الحرارة $\gamma = 6.23 Nm \leftarrow 80C^0$ وعند درجة الحرارة $\gamma = 7.549 Nm \leftarrow 20C^0$.

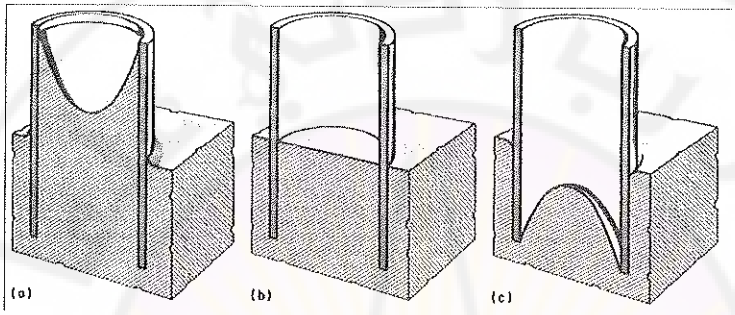
إن جزئيات السائل القريبة جداً من السطح المحد بين سائلين متناخمين وغير متمازجين (ماء مع هواء، ماء مع زيت) تخضع لتأثير قوى الترابط الذرية لكل منهما، وبالتالي تتغير قيمة σ_0 ويتغير أيضاً شكل السطح المحد نفسه إذا تغير الوسط المتاخم. وعلى هذا الأساس يمكن تفسير العديد من مشاهداتنا اليومية. فإذا سقطت قطرة زيت في الهواء على الماء، الذي هو أثقل من الزيت، فإن هذه القطرة لا تلبث أن تتحول إلى طبقة رقيقة تغطي السطح الخارجي للماء. ونلاحظ نفس الحالة إذا وضعنا قطرة ماء على سطح الزئبق. وبالعكس من ذلك فإن قطرة من الماء تبقى محافظة على شكلها إذا وضعت فوق سطح سائل أخف مثل فحمات الكبريت، ونلاحظ نفس الظاهرة إذا وضعنا قطرات من سوائل مختلفة على سطح جسم صلب، فعلى صفيحة زجاجية أفقية تبقى قطرة الزئبق محافظة على شكلها الكروي تقريباً بعكس قطرة الماء التي تفقد شكلها بسرعة، أو قطرة البترول التي تزحف منتشرة بشكل طبقة رقيقة فوق الصفيحة، الشكل (٤-٣).

ومن هنا نستنتج أن هناك سوائل مبللة للأجسام الصلبة، مثل الماء والبترول، تكون زاوية الحافة أو زاوية التماس بين سطحها الخارجي والسطح الصلب $\vartheta \to 0$؛ وسوائل غير مبللة مثل الزئبق تكون زاوية تماسها $\vartheta > 0$.



الشكل (٤-٣) تشكل قطرات سوائل مختلفة على صفيحة زجاجية.

وبذلك فإن هناك ظاهرة هامة معروفة باسم الخاصية الشعرية نلاحظها عندما نغمس أنبوبة شعرية في إناء فيه سائل مائع، فإذا كان السائل مبللاً لجدران الأنبوبة (ماء!) يرتفع فيها فوق مستوى سطح السائل في الإناء، وإذا كان غير مبلل للجدران (زئبق!) ينخفض فيها تحت مستوى سطح السائل، كما هو مبين بالشكل الشكل (٤-٤). وكما تؤكد التجارب بأن ارتفاع (أو انخفاض) السائل في الأنبوبة يختلف من سائل إلى آخر ويتناسب عكساً مع قطر الأنبوبة، ويكون السطح الخارجي للسائل داخل الأنبوبة مقعراً باتجاه الداخل شبيهاً بشكل هلال في حالة الماء أو الكحول مثلاً، أو محدباً باتجاه الخارج في حالة الزئبق.



الشكل (٤-٤) تغير ارتفاع وانخفاض السائل في الأنابيب الشعرية بحسب طبيعة السائل

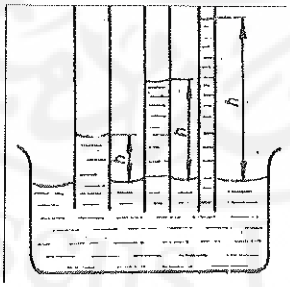
a) السائل مبلل للجدران كالماء يرتفع في الأنبوبة الشعرية

c) السائل غير مبلل للجدران كالزئبق ينخفض في الأنبوبة الشعرية.

وعليه فإن ارتفاع الصعود في الأنابيب الشعرية يتناسب عكساً وقطر الأنبوبة شكل (٤-٥)، ويمكن حسابه بصورة تقريبية وفق العلاقات:

للماء	$h \approx 30/d\,[mm]$
للكحول	$h \approx 10/d\,[mm]$
للتلول	$h \approx 13/d\,[mm]$

وتبلغ هذه الارتفاعات نصف قيمتها في حالة صفيحتين مستويتين متوازيتين.



الشكل (٤-٥) علاقة ارتفاع الصعود بقطر الأنابيب الشعرية.

إن ظاهرة الخاصية الشعرية معروفة منذ القديم. فقد اعتمد عليها لورد ريليه عام ١٨٧٩ لتفسير تفكك تيار نافورة أسطواني يتحرك ببطئ في الهواء إلى قطرات صغيرة، ذلك أن قوى التوتر السطحي بمحاولتها تصغير سطحه الخارجي تجعله غير مستقر مما يؤدي إلى تفككه لقطرات كروية الشكل. كذلك فإن عملية امتصاص شعيرات جذور النباتات للمواد المنحلة في التربة، وصعود السوائل في الأجسام المسامية كالورق والإسفنج وغيره، تعتمد على الخاصية الشعرية. ولعل استخدام هذه الخاصية في كشف العيوب المعدنية جعلها تأخذ دوراً هاماً في الميادين الصناعية والإنتاجية.

٤ – ٥ – كشف الأعطال باستخدام الخاصية الشعرية:

تستخدم الخاصية الشعرية في كشف العيوب المفتوحة المتعلقة مباشرة بسطح المادة مثال ذلك التشققات والفقاعات السطحية. أما بالنسبة للكشف عن العيوب الداخلية والمغلقة فإنه من غير الممكن الكشف عنها بهذه الطرق.

تعتمد طريقة الاختبار هذه على الخواص الفيزيائية للحدود الطورية التي تؤثر على ميزاتها حيث يتضمن مبدأ الخاصية الشعرية تأثير نسبة قوى الالتصاق بين السائل وسطح الطور الصلب على قوى التماسك بين جزيئات السائل.

يعتمد مبدأ طرق الخاصية الشعرية على سوائل ملائمة وفعالة "إجهادها السطحي صغير" والتي يمكن أن تتغلغل في أماكن انقطاع السطح المراد اختباره في المادة "مثلاً في التشققات السطحية وذلك بعد تنظيف السطح تماماً وإزالة المواد الدهنية عنه"

وبعد إزالة الفائض من السائل الفعال عن سطح العينة عند ذلك فإن قوى الخاصية الشعرية تظهر مكان التشقق.

٤–٦– طريقة الاختبار:

يوجد عدة تبدلات صغيرة في طرق الكشف عن العيوب بواسطة الخاصية الشعرية، بالرغم من أن لها خواصاً مشتركة ولكن تختلف في الغالب في نوعية سوائل الكشف المستخدمة.

من وجهة نظر الفعالية الكيميائية لسوائل الكشف يمكن أن نقسم طريقة الكشف بواسطة الخاصية الشعرية إلى:

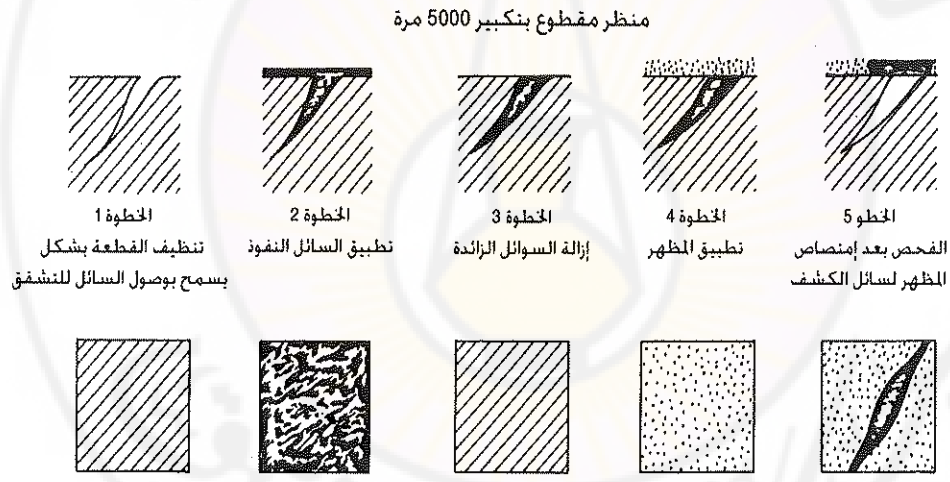
١–اختبارات باستخدام سوائل غير فعالة كيميائياً: الاختبارات بالسوائل الملونة. الاختبارات بالمحلول الفلوريستي الكاشف. وكذلك تستخدم الاختبار بالزيت، البارافين.

٢–اختبارات باستخدام سوائل فعالة كيميائيا: سائل التنميش .

يمكننا أن نعرف سوائل الكشف الفعالة كيميائياً: بأنها تلك السوائل (المحاليل) التي لها القدرة على التفاعل مع سطح المادة المراد اختبارها أما المحاليل غير الفعالة "مثال البارافين، الزيت...الخ. ليس لها تأثير سلبي على المواد. وتؤدي المحاليل الفعالة على سطح المادة إلى التنميش مثال هذه السوائل "الحموض القلويات وكذلك بعض المحاليل الملحية".

تتم عملية الاختبار وفق العمليات التالية كما هو مبين بالشكل (٤-٦):

١. تنظيف سطح الجسم المراد فحصه.
٢. وضع المحلول الكاشف على الجسم.
٣. إزالة الفائض من المحلول الكاشف عن الجسم.
٤. نشر المظهر.
٥. التقييم.
٦. إزالة آثار مواد الاختبار (إعادة تأهيل سطح الإختبار)

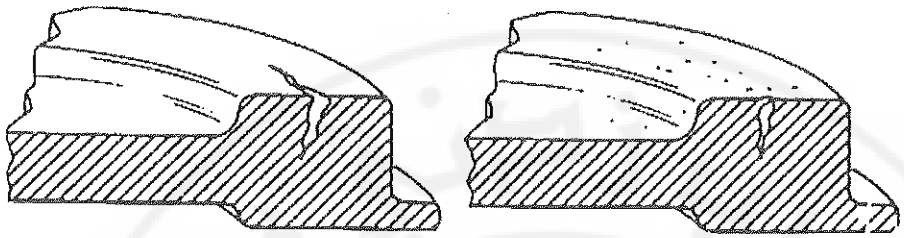


الشكل (٤-٦) تسلسل عمليات الاختبار بالسوائل الكاشفة

أولاً : تنظيف سطح الجسم المراد فحصه:

يجب تنظيف السطح قبل القيام بعمليات الاختبار من المواد التي يمكن أن تؤثر على حساسية الاختبار كالشحوم، الصدأ، القشور، الحوامض، وحتى الماء. كما أن المادة المستعملة للتنظيف يجب أن تكون من المواد المتطايرة .

ينظف السطح بواسطة فرشاة و لا ينصح باستخدام أجهزة يمكن أن يكون لها تأثير على حساسية الاختبار حيث إنها تسد أو تخفي التشققات والعيوب كما هو الحال في التنظيف بواسطة الضرب بالهواء الممزوج بالرمل لأنه يؤدي لإخفاء العيب و تغطيته كما هو مبين بالشكل (٤-٧).



الشكل (٤-٧) تأثير عمليات التنظيف الميكانيكي على جودة الاختبار
a) العينة الحاوية على العيب، b) الضرب بالرمل أدى لإغلاق العيب

ثانياً : وضع المحلول الكاشف على الجسم:

نضع السائل الكاشف على السطح النظيف بواسطة فرشاة أو عن طريق البخ وفي حال كانت القطع صغيرة نغمرها في السائل، حتى يتغلغل السائل في التشققات الصغيرة بشكل كامل، كما يجب ترك السائل على السطح خمس دقائق كحد أدنى وتحدد بشكل دقيق بحسب توصيات الصانع للمحلول الكاشف، وفي حال كانت التشققات صغيرة جداً (مكروية)، يجب إعادة الكرة مرتين أو ثلاثة مرات. ولزيادة حساسية الكواشف ينصح بتسخين الجسم أو حوض التغطيس في حالات الغمر إلى ما بين $40C^0$ إلى $70C^0$ وبذلك ينخفض الإجهاد السطحي للسائل الكاشف.

السوائل النفوذة التي تستعمل في الاختبارات اللاإتلافية يمكن أن تصنف حسب نوع الملون الذي يستخدم :

١. السوائل النفوذة الملونة (عادة مادة بلون احمر)

٢. السوائل النفوذة فلوريسنتية

٣. السوائل النفوذة ثنائية الحساسية هي تحتوي على مجموعة من الملونات المرئية والمفلورة.

ويمكن أن تصنف حسب طريقة الإزالة :

١. سوائل نفوذة تزال بواسطة الماء

٢. سوائل نفوذة تزال بمستحلبات خاصة

٣. سوائل نفوذة تزال بالمذيبات

ثالثاً : إزالة الفائض من المحلول الكاشف عن الجسم :

نقوم بمسح السطح وتنظيفه من السائل الكاشف و يمكن ذلك بواسطة تيار من الماء أو بالمذيبات أو المستحلبات وذلك بما يتوافق مع نوع المحاليل الكاشفة المستخدمة، ويمكن أن يكون المستحلب إما بشكل منفصل أو مضافاً إليه المحلول المظهر، وبغض النظر عن نوع سائل التنظيف وآلية تطبيقه يجب الانتباه كي لا ينجرف المحلول الكاشف من التشقق.

رابعاً : إضافة المادة المظهرة على السطح المراد اختباره:

نستخدم كمواد مظهرة إما مظهر جاف بشكل مسحوق يرش على السطح، أو مظهر رطب "عبارة عن مسحوق أبيض معلق في سائل حال كالأسيتون" والذي يمكن وضعه على السطح بواسطة فرشاة أو بالبخ. يجب أن يكون وضع المظهر بشكل متجانس وأن يكون غير سميك إذ إن زيادة سماكة طبقة المظهر تخفض حساسية الاختبار. ويترك على السطح لفترة كافية وذلك لتتمكن طبقة المظهر من امتصاص السائل الكاشف المتسرب إلى داخل التشققات مما يترك أثراً على الطبقة المظهرة البيضاء حسب نوع السائل الكاشف المستخدم "ملون، محلول فلوريستني" حسب حجم العيب.

خامساً : التقييم :

هي التدقيق في الجسم وتقييم الوضع أو الحالة من خلال الكاشف.

سادساً: إزالة آثار مواد الاختبار (إعادة تأهيل سطح الاختبار):

بعد إنجاز الاختبار وتقييم النتائج وحسب الضرورة يجب إزالة المظهر بواسطة تيار من الماء أو حسب تعليمات الشركة المصنعة.

سابعاً: حالات خاصة:

في أحيان كثيرة نحتاج إلى تحضير السطح بشكل خاص مثلاً بعد التشغيل الميكانيكي للسطوح "الشحذ، التفريز، الخراطة...الخ" يمكن أن تكون الأعطال والتشققات مغلفة بحزيئات المعدن بحيث إنها تمنع دخول وتغلغل المحلول الكاشف. في هذه الحالة يجب تنظيف هذه التشققات ولذلك في كثير من الأحيان نقوم بتسخين المعدن، وبالتالي يحدث تباعد بين حواف التشقق نتيجة للتمدد، غير أن هذه الطريقة ليست دائماً ملائمة لذلك نستخدم اختبارات التنميش.

نقوم بتنميش السطح بعد تنظيفه جيداً، يجب الأخذ بالحسبان حدوث الصدأ والتآكل الناتج عن هذه الاختبارات (التنميش) ولذلك يجب إزالة الفائض من المواد الفعالة المستخدمة (كالحموض والأسس) مباشرة عن السطح بواسطة تيار من الماء ويفضل أن يكون ساخناً، نضع على السطح طبقة من المظهر التي

تحتوي على الكاشف indicator حيث إن هذا الكاشف عندما يتفاعل مع الحمض "القلويات" فإن لونه يتبدل بشكل واضح وبذلك يشبه الاختبار بواسطة المحاليل الملونة، حيث إن اللون يتتبع ويدل على أثر التشقق ومساره. بعد الانتهاء من الاختبار يجب التأكيد على تنظيف السطح بشكل جيد خشية حدوث التفاعل مع السطح وإحداث تآكل فيه.

ويمكننا استخدام المحاليل الكحولية كمواد كاشفة، مثل برتقالي الميتيل ، أو فينول فتالين.

يمكن أن تكون اختبارات التنميش والمسماة أيضاً الحمضية ملائمة للاستخدام في المعدات التي كانت تعمل في الماء إذ يتوقع أن تكون الشقوق ممتلئة بالماء وفي هذه الحالة يكون الاختبار بالمحاليل الملونة أو محاليل الفلور غير مجدية.

يمكن أن نستخدم هنا أي محلول حمضي ممدد مثلاً حمض الخل (أو الخل) لأنه ليست الغاية عملية التنميش وإنما فقط إيجاد مكان الخلل وتأكيد الكشف عن العيب.

يعتمد أساساً الاختبار بالكواشف السائلة على المحاليل الملائمة للخواص الشعرية "إجهاد سطحي صغير، قابلية الابتلال الجيدة" حيث تنحل فيها المواد الملونة الفلورية إضافة إلى بعض العناصر الأخرى التي تحسن قابلية التبلل، وقابلية التنظيف بالماء أو المستحلب الكيميائي. يتكون السائل المظهر من مواد معلقة عبارة عن مساحيق بيضاء ناعمة جداً "مثال كربونات المغنزيوم ، أكسيد المغنزيوم ، الزنك الأبيض ...الخ" حيث يتم حلها في سوائل. تركيز هذه المعلقات "العوالق" يكون حسب طريقة الاستعمال فإذا كان بواسطة فرشاة يكون كثيفاً أما إذا تم بواسطة البخ فيكون التركيز أقل.

عند الاستخدامات الخاصة "مثلاً عند الاختبار بالحموض أو مواد التنميش" يتم تحضير المظهر بإضافة كمية معينة من محلول كيميائي كاشف عند إظهار الأعطال حيث ينشأ تفاعل كيميائي بين مادة التنميش المستعملة والمظهر.

كمسحوق مظهر يمكن استخدام أي مسحوق أبيض ناعم بشرط ألا يكون له تأثير ضار. هذه المواد المظهرة تستخدم عادة مع المواد الفلورية، وبالتأكيد هنا لا يسمح للمظهر بأن يعطي ضوءاً فسفورياً.

٤-٧- إجراءات الاختبار بطريقة السوائل النفوذة:

وجدنا سابقاً أن هناك وسائل مختلفة لتنظيف السطح، وكذلك أنواع مختلفة من السوائل الكاشفة وهي تختلف بطريقة إزالتها وكيفية اقتفاء الأثر الذي تتركه في حال وجود عيب، وكذلك بقدرتها على اكتشاف عيوب أكثر نعومة، وعليه يمكن التمييز بين عدة إجرائيات لتنفيذ الاختبار وهي مبينة حسب تسلسل العمليات بالأشكال (٤-٨) – (٤-١٣). وسنتحدث فيمايلي عن الإجراءات لطريقتين فقط وسنكتفي بالمخططات لباقي الإجراءات.

آ- تقنية السوائل النافذة القابلة للإزالة بالماء : Washable Water

هذه التقنية تستخدم في الكشف عن العيوب السطحية للعينات والمشغولات ذات الأشكال المعقدة التي يتعذر تنظيفها بعد الاختبار بسهولة مثل المسامير، وهذه التقنية التي يتم استخدامها غالباً في الاختبار في خطوط الإنتاج.

خطوات الاختبار :

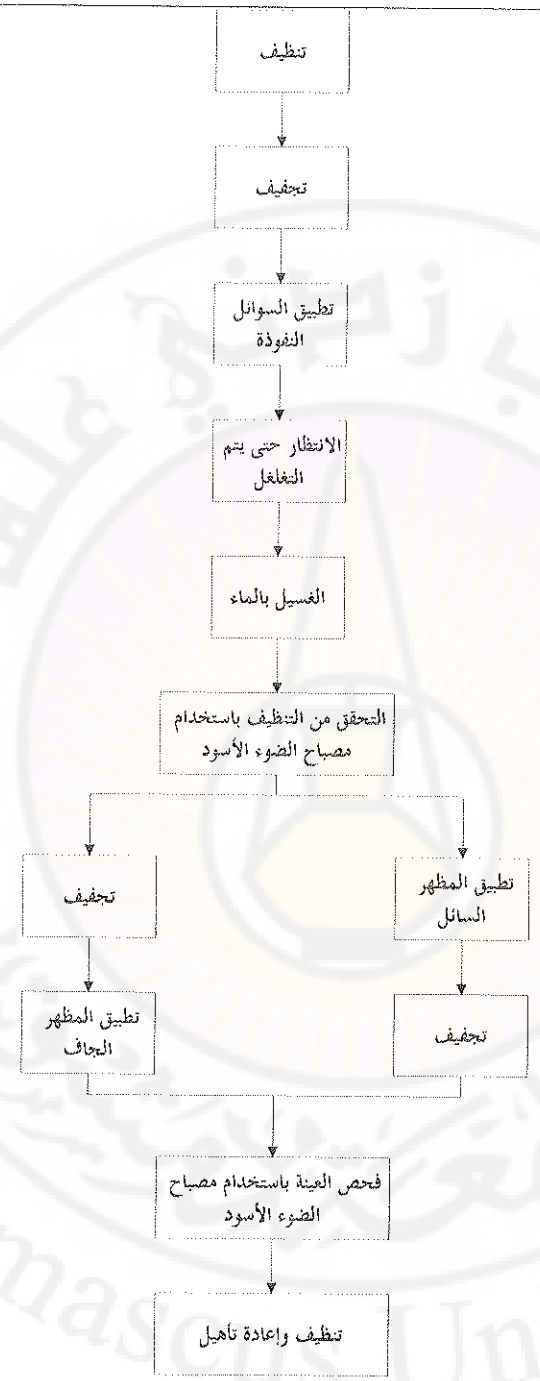
١. يتم تنظيف العينة جيداً باستخدام المذيبات المختلفة .
٢. يتم غمس العينة في السائل النافذ الفلوريسنت .
٣. يتم وضع العينة المراد اختبارها على شبكة لمدة خمس دقائق حتى تجف.
٤. يتم الغسيل بالماء أو باستخدام رشاش من الماء المضغوط ولا ينصح بالغسيل القوي أو الشديد لأنه يزيل السائل النافذ.
٥. التجفيف في مجفف خاص بترك العينة مدة خمس إلى سبع دقائق وهذا يعتمد على شكل سطح العينة وما إذا كان رطباً أو جافاً.
٦. إخراج العينة من المجفف ووضعها في مسحوق الجاف (المظهر) وذلك بغمسها كلية ومن ثم يتم رج الوعاء المحتوي على العينة والانتظار لمدة خمس دقائق ثم القيام بإخراجها بحذر من أطرافها.
٧. يتم الفحص تحت الضوء الأسود لكشف العيوب السطحية والتشققات.
٨. تسجيل العيوب .

ب- تقنية السوائل النافذة المستحلبة Post Emulsifer

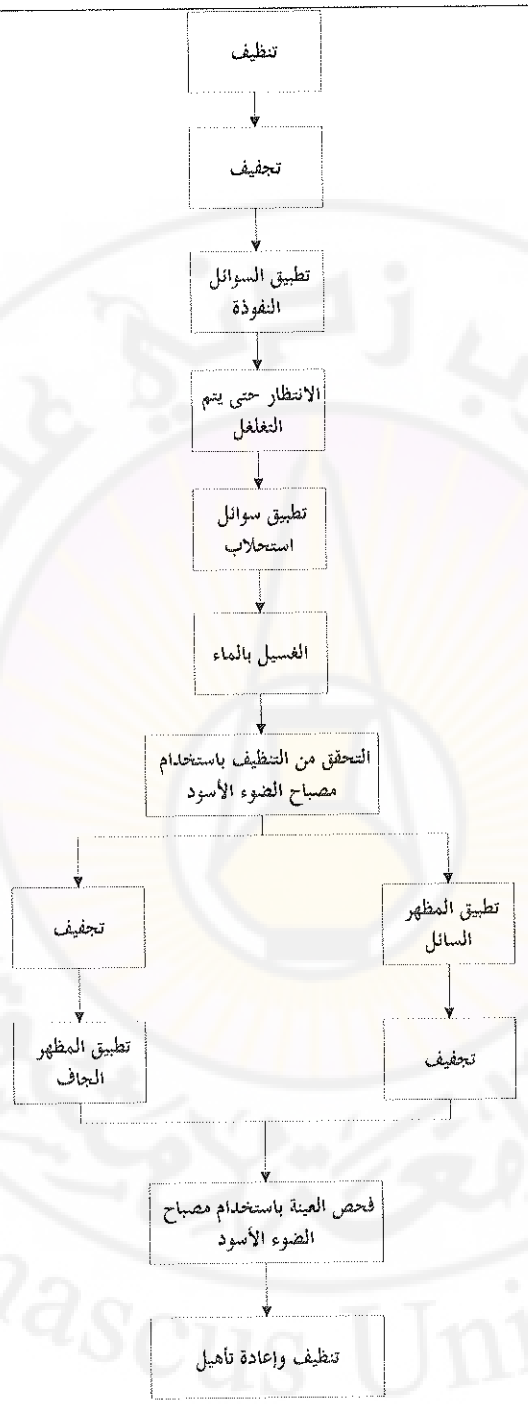
وتمتاز هذه التقنية بإمكانية الكشف عن الشروخ الدقيقة في الجسم المراد اختباره .

خطوات الاختبار :

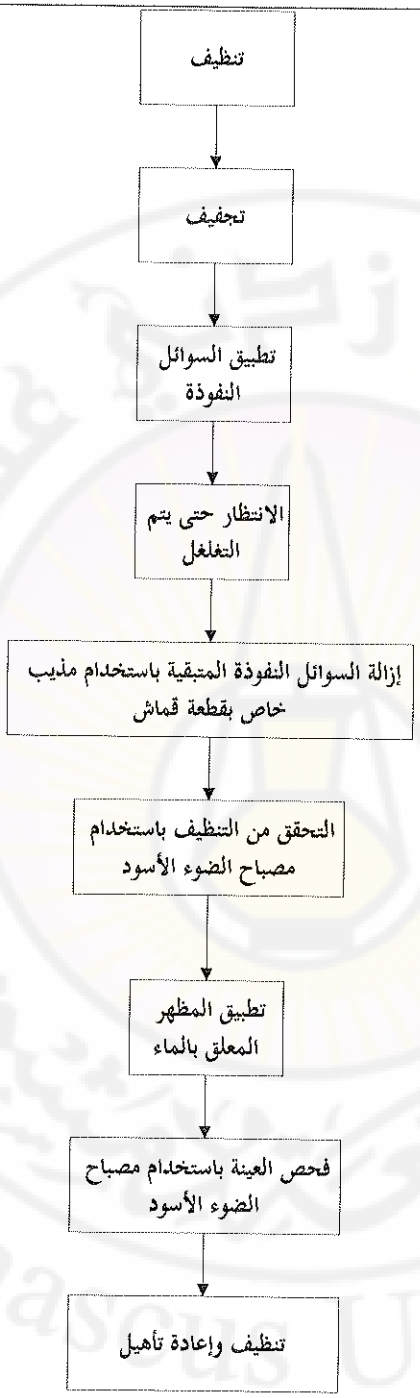
١. تنظيف العينة جيداً باستخدام المذيبات المختلفة .
٢. تجفيف العينة جيداً قبل وضعها في السائل النافذ.
٣. تغمس العينة في السائل النافذ القابل للاستحلاب .
٤. توضع العينة في مصفاة لإزالة السائل النافذ من على السطح .
٥. تترك لمدة خمس دقائق حتى يتغلغل السائل في الشروخ أو الوقت الكافي لضمان تغلغل السائل في الشقوق.



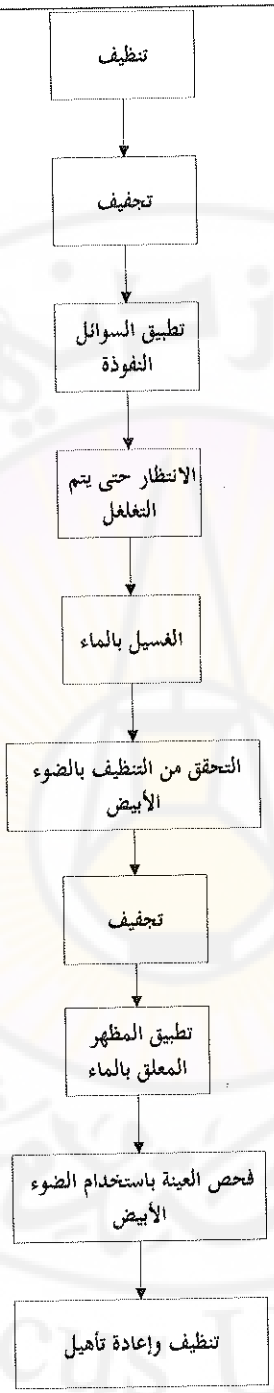
الشكل (٤-٨) إجرائية الاختبار باستخدام سوائل نفوذة فلوريسنتية مسبقة الاستحلاب قابلة للإزالة بالماء



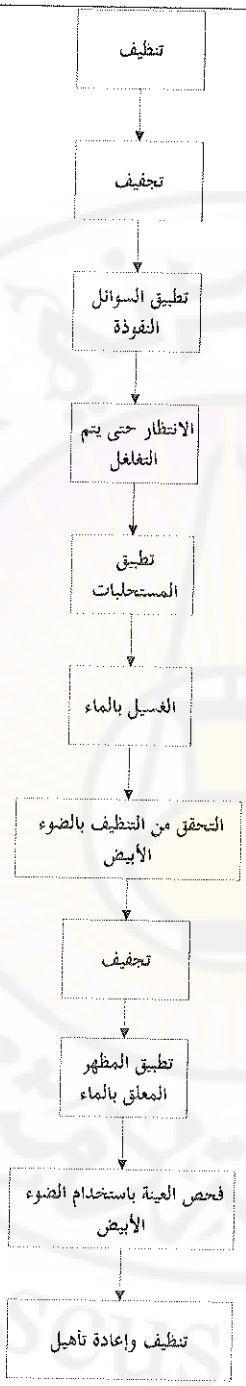
الشكل (٤-٩) إجرائية الاختبار باستخدام سوائل نفوذة فلوريسنتية قابلة للإزالة بالمستحلبات



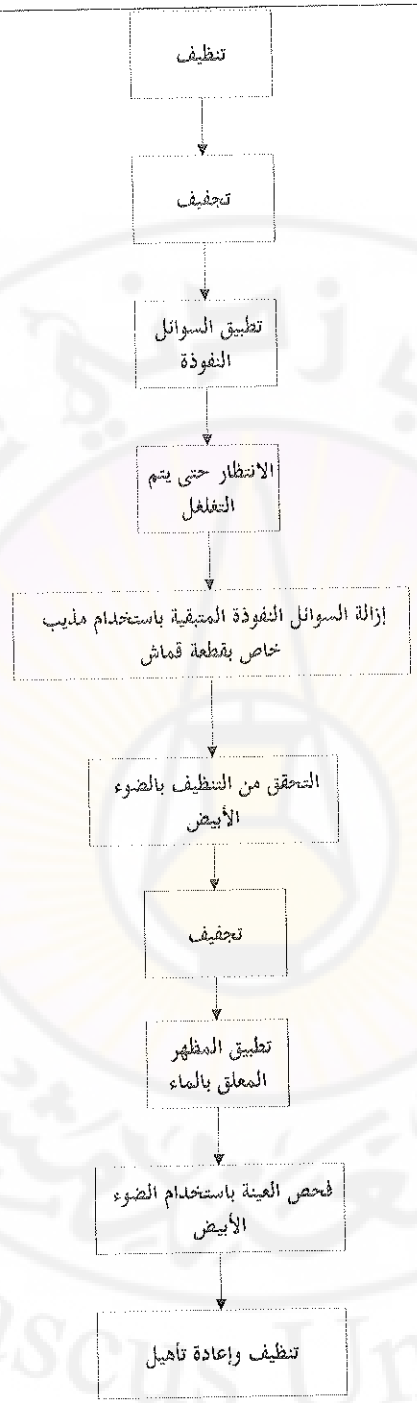
الشكل (٤-١٠) إجرائية الاختبار باستخدام سوائل نفوذة فلوريسنتية قابلة للإزالة بالمذيبات



الشكل (٤–١١) إجرائية الاختبار باستخدام سوائل نفوذة ملونة قابلة للإزالة بالماء



الشكل (٤-١٢) إجرائية الاختبار باستخدام سوائل نفوذة ملونة قابلة للإزالة بالمستحلبات



الشكل (٤-١٣) إجرائية الاختبار باستخدام سوائل نفوذة ملونة قابلة للإزالة بالمذيبات

٦. تغسل العينة بالماء المضغوط حتى يتم إزالة ٨٠% من السائل النافذ.

٧. تغمس العينة في المستحلب لمدة دقيقتين.

٨. تغسل العينة بالماء جيداً بحيث لا تستغرق العملية أكثر من دقيقتين مع النظر إلى سطح العينة ويتم إجراء عملية الغسيل بزاوية قدرها ٤٥ درجة .

٩. توضع العينة في المظهر بعد تجريكه.

١٠. تجفف العينة .

١١. فحص العينة تحت الضوء الأسود .

١٢. تسجيل العيوب .

ويتوقف اختيار الإجرائية الأفضل على مجموعة من العوامل تتلخص بمايلي:

١. الحساسية المطلوبة

٢. عدد الأصناف المراد اختبارها.

٣. حالة السطح للجزء المراد فحصه

٤. تركيبة العنصر المختبر.

٥. توافر الماء، الكهرباء، الهواء المضغوط، منطقة اختبار مناسبة، الخ.

٤-٨- تجهيزات الاختبار بطريقة السوائل النفوذة:

أ- الوسائل المتنقلة للاختبار بالسائل النفوذة:

تتوافر مختلف المواد المستخدمة في عملية الفحص باستخدام السوائل النفوذة ضمن عبوات سهلة النقل والتداول وذلك للاستعمال في أي موقع بعيد أو عند اختبار أي عنصر حتى في حالة اختبار جزء صغير من قطعة أو تركيبة كبيرة.



الشكل (٤-١٤) مكونات مجموعة الاختبار المحمولة بطريقة السوائل النفوذة

تتكون مجموعة الاختبار بالسوائل النفوذة عادة من :

١. بخاخات سائل الإزالة أو التنظيف.

٢. بخاخات السائل النفوذ الملون أو الفلوريسنتي حسب النظام المستخدم.

٣. بخاخات المظهر.

٤. مجموعة من القطع القماشية و الفراشي.

٥. مصباح الضوء الأسود مع محول نقّال وذلك عند استخدام السائل النفوذ الفلوريسنتي.

ب – الأجهزة الثابتة للاختبار بالسائل النفوذة::

يعتمد استعمال الأجهزة الثابتة في الاختبار بطريقة السائلِ بشكل كبير على حجم العناصر المراد اختبارها، ويشمل عموماً على محطات متسلسلة بحسب إجراءات الاختبار كما هو مبين بالشكل (٤-١٥) والتي هي:

١. محطة تنظيف أولي (عادة في منطقة بعيدة)

٢. محطة السائل النفوذ

٣. محطة التصريف

٤. محطة المستحلب

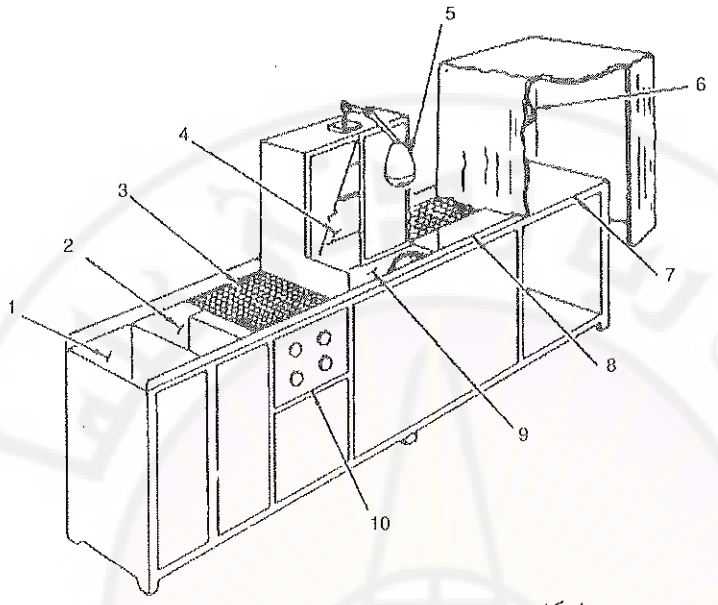
٥. محطة الغسيل

٦. محطة الإظهار

٧.محطة تجفيف(عادة في فرن)

٨.محطة تفتيش (ضمن حجرة أو على طاولة مع إضاءة ملائمة)

٩.محطة تنظيف (عادة في منطقة بعيدة)



الشكل (٤-١٥) مجموعة اختبار ثابتة بطريقة السوائل النفوذة

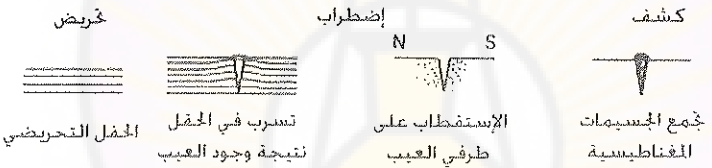
١- محطة السائل النفوذ ، ٢- محطة المستحلب، ٣- محطة التصريف، ٤- محطة تجفيف، ٥ - و٦- ضوء أسود، ٧- محطة تفتيش، ٨- محطة الإظهار، ٩- محطة الغسيل، ١٠- لوحة التحكم

الفصل الخامس

طريقة الاختبار بالجسيمات المغناطيسية

٥-١- مقدمة:

تعد هذه الطريقة واحدة من الطرائق المستخدمة في الكشف عن التشققات والعيوب الموجودة مباشرة على سطوح المواد الحديدية المغناطيسية أو الواقعة على بعد (٢-٤) ملمتر تحت سطح الاختبار. وتقوم هذه الطريقة على وضع طبقة رقيقة من برادة أكسيد الحديد على سطح القطعة المراد اختبارها ويتم في نفس الوقت تطبيق حقل مغناطيسي ذي شدة كافية وباتجاه مناسب مما يؤدي لتشكل خطوط الحقل المغناطيسي التي تنحرف عن مسارها الطبيعي داخل القطعة في أماكن وجود التشققات أو الشوائب ذات الطبيعة اللامغناطيسية أو أماكن وجود الفراغات الهوائية مما يؤدي إلى ظهور حقل مغناطيسي متسرب ونشوء مغانط موضعية قادرة على جذب برادة الحديد نحوها ويمكن معرفة أماكن وشكل وأبعاد العيوب من خلال تفحص البرادة الحديدية المتجمعة كما هو مبين في الشكل (٥-١).



الشكل (٥-١) طريقة الاختبار بالجسيمات المغناطيسية.

٥-٢- مزايا طريقة الاختبار بالدقائق المغناطيسية

أ – لا يؤثر الدهان أو الطبقات المعدنية غير المغناطيسية المتوضعة على سطح المادة في مغنطة هذه المادة.

ب – لا يُعد تنظيف القطعة على درجة عالية من الأهمية كما هو الحال في طريقة السوائل النافذة.

جـ – ليس للسطح الخشن تأثير على الدلالة على مواضع العيوب.

د – زمن الاختبار أقل من الزمن اللازم في طريقة السوائل النافذة.

هـ – يمكن كشف العيوب المتوضعة بالقرب من السطح.

٥-٣- مساوئ وحدود طريقة الاختبار بالدقائق المغناطيسية

أ – تستخدم طريقة الاختبار بالجسيمات المغناطيسية في فحص المواد القابلة للمغنطة فقط.

ب – يجب تطبيق الحقول المغانطيسية على القطع المراد اختبارها في اتجاهين.

جـ – يجب في كثير من الحالات إزالة مغنطة القطعة بعد الاختبار.

٥-٤- مبادئ ومفاهيم في المغناطيسية

لتوضيح طريقة الاختبار وفهمها لا بد من التعرض ولو بشكل سريع للمفاهيم الأساسية في المغناطيسية

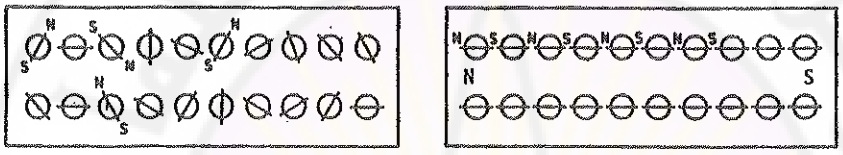
٥-٤-١- نظرية المغنطة:

يتمغنط الجسم القابل للمغنطة عندما يصبح لكل جزيئاته قطبية متجانسة كما في الشكل (٥-٢) ويكون الجسم مغناطيسا عندما يتمتع بالقدرة على جذب الحديد.

وهنا نميز نوعين من المغانط.

١-المغناطيس الدائم: هو الجسم الذي يحافظ على مغناطيسية حتى بعد زوال القوه المغناطيسية المؤثرة.

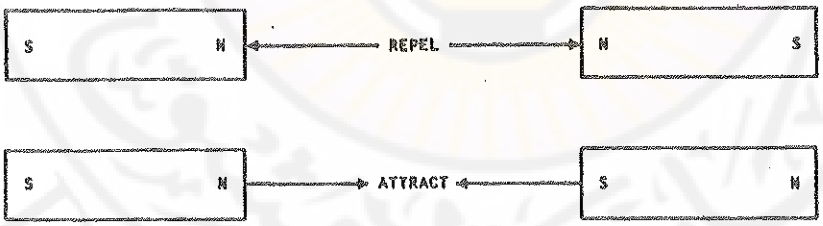
٢-المغناطيس المؤقت: هو الجسم الذي يفقد قدرته على المغنطة عند زوال القوة المغناطيسية المؤثرة.



جزئيات الجسم المغنط　　جزئيات الجسم قبل التمغنط

الشكل (٥-٢) الأجسام المغناطيسية وغير المغناطيسية

إن قدرة الجسم المغناطيسي على الجذب ليست متساوية في كافة الاتجاهات الموجودة على سطحه، حيث تتركز قوة الجذب في المنطقة الحاوية للأقطاب، ويكون لكل جسم مغناطيسي قطبان على الأقل متعاكسان في التأثير ومنجذبان إلى المغناطيسية الأرضية ويدعيان القطب الموجب والقطب السالب، حيث يتنافر القطبان المتجانسين ويتجاذب القطبان المختلفان ويوضح الشكل (٥-٣) آلية الجذب والتنافر في المغناطيس.



الشكل (٥-٣) آلية الجذب **Attract** والتنافر **Repel** في المغناطيس.

٥-٤-٢- الحقول المغناطيسية:

يمتد الحقل المغناطيسي في داخل جسم المغناطيس الدائم وحوله، وكذلك داخل الموصل الناقل للتيار الكهربائي أي أن الحقل المغناطيسي يحيط بالمجال حول المغناطيس الدائم ولكنه لا يحيط بالموصل الناقل.

وكمثال على ذلك يمكن اعتبار الكرة الأرضية بحد ذاتها كقضيب مغناطيسي لأن لها قطبين، وبالتالي فإن المجال حولها يمغنط الجسم القابل للتمغنط بحيث يتوضع باتجاه يتوافق مع أقطابها لفترة من الزمن فالبوصلة مثلا تتأثر بأقطاب الأرض وتتجه وفق أقطابها.

٥-٤-٣- خطوط القوة المغناطيسية:

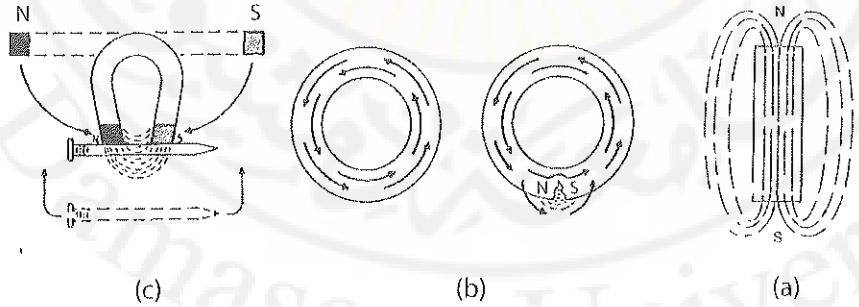
يوضح هذا المفهوم شكل الحقل المغناطيسي واتجاهه بحيث إذا أخذنا قضيباً مغناطيسياً مغطى بصفيحة ورقية منثور عليها برادة الحديد فنجد أن البرادة ذاتها تتمغنط وتشكل بتوضعها منحني معين يسمى خطوط القوه المغناطيسية أو خطوط التدفق المغناطيسي

تتميز هذه الخطوط بأنها لا تتقاطع وتتجه من الشمال إلى الجنوب خارج المغناطيس، أما في داخل جسم المغناطيس فيكون اتجاه التدفق من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي، كما أنها تتجه دائما نحو القوه المغناطيسية الأضعف ولا تدخل أو تخرج من مركز الحقل المغناطيسي ولخطوط القوة المغناطيسية منحنيات تتبع لشكل المغناطيس حيث نميز ثلاثة أساليب للتمغنط:

١- المغناطيسية الطولانية : يعتبر القضيب المغناطيسي ذو المغناطيسية الدائمة أفضل مثال لشرح هذا المفهوم حيث تتميز خطوط التدفق المغناطيسي بأنها متوازية الاتجاه داخل القضيب وموازية لمحوره كما أن اتجاه التدفق له علاقة باتجاه الأقطاب.

٢- المغناطيسية الدائرية : تكون خطوط القوى بشكل منحنيات مغلقة بحيث لا يوجد تسرب للمجال المغناطيسي أو إذا كانت الدائرة مفتوحة فتظهر عندئذ الأقطاب.

٣- المغناطيسية بشكل حرف U : إذا كان القضيب المغناطيسي ذا شكل منحنٍ يصبح له شكل حدوة الحصان وعندئذ يكون توزع قوى المجال المغناطيسي كما هو مبين في الشكل (٥-٤).

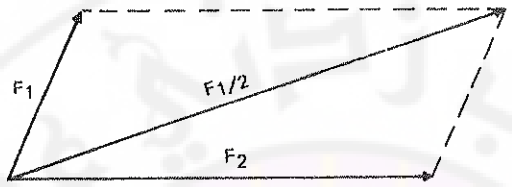


الشكل (٥-٤)أساليب المغنطة

(a) المغناطيسية الطولانية ، **(b)** المغناطيسية الدائرية ، **(c)** المغناطيسية بشكل حرف **U**

٥-٤-٤- شعاع الحقل:

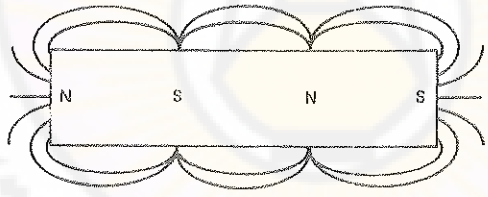
إذا طبقنا قوتين مغناطيسيتين $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ بوقت واحد على جسم قابل للتمغنط فإن تأثير كل من القوتين لا يكون مستقلا حيث يتشكل شعاع للحقل هو محصله كلتا القوتين بالاتجاه والقيمة ($\vec{F}_{1/2} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$)، ويصبح الجسم عندئذ متمغنطاً تحت تأثير الشعاع المحصل.



الشكل (٥-٥) تحصيل القوى المغناطيسية

٥-٤-٥- الأقطاب المتتالية:

تظهر هذه الحالة عندما يكون لدينا قطبان أو أكثر بوقت واحد في الجسم الممغنط، وربما يكون عدد الأقطاب غير متساو، مثلا (قطبان جنوبيان وثلاثة أقطاب شمالية) وبحيث يتكون لدينا في النهاية وعند كل طرف من طرفي الجسم قطب مغناطيسي، وهو المبدأ المعتمد في الاختبار بطريقة الجسيمات المغناطيسية حيث نجد أن الجسيمات المغناطيسية تتجمع دائما عند كل من هذه الأقطاب.



الشكل (٥-٦) مبدأ الأقطاب المتتالية

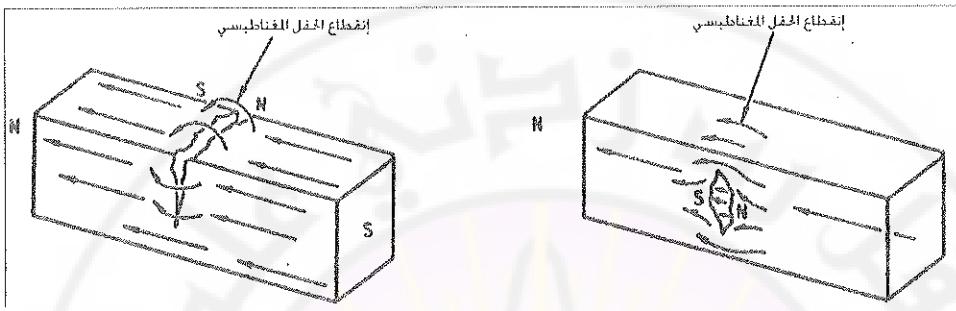
٥-٤-٦- تشوه المجال المغناطيسي:

يعتبر المجال المغناطيسي ذو الشكل الدائري أو الطولاني حالة مثالية. لأنه في أكثر الأحيان يكون المجال المغناطيسي مكونا من هذين الشكلين معا وتعرف هذه الظاهرة «بالمجال المشوه» ويمكن أن ينتج أما بشكل مقصود أو بشكل عفوي وعندئذ يكون اتجاه الأشعة الناتجة عن تأثير القوى المغناطيسية مزيحاً بزاوية معينة.

٥-٤-٧- مجال التدفق المغناطيسي:

إذا قطعنا قضيباً مغناطيسياً إلى جزأين، يصبح عندئذ كل جزء مغناطيسياً بحد ذاته فتظهر له الأقطاب ويتشكل حوله مجال مغناطيسي، وبالتالي فالأقطاب الجديدة المتكونة تجذب إليها الجسيمات، و هذا هو

المبدأ المعتمد في الاختبار بالجسيمات المغناطيسية حيث إن تغيرات البنية في الجسم تحدث قطبين متعاكسين في منطقة التشوه تنجذب إليها الجسيمات المغناطيسية ويتشكل عندها مجال تدفق مغناطيسي، وبالتالي فانجذاب الجسيمات المغناطيسية إلى منطقة معينة في الجسم يكشف منطقة التشوهات (كالفراغات، الانقطاعات، التمزقات، الشوائب ... الخ).



الشكل (٥-٧) مبدأ الاختبار بالجسيمات المغناطيسة

٥-٤-٨- الأجسام المغناطيسية:

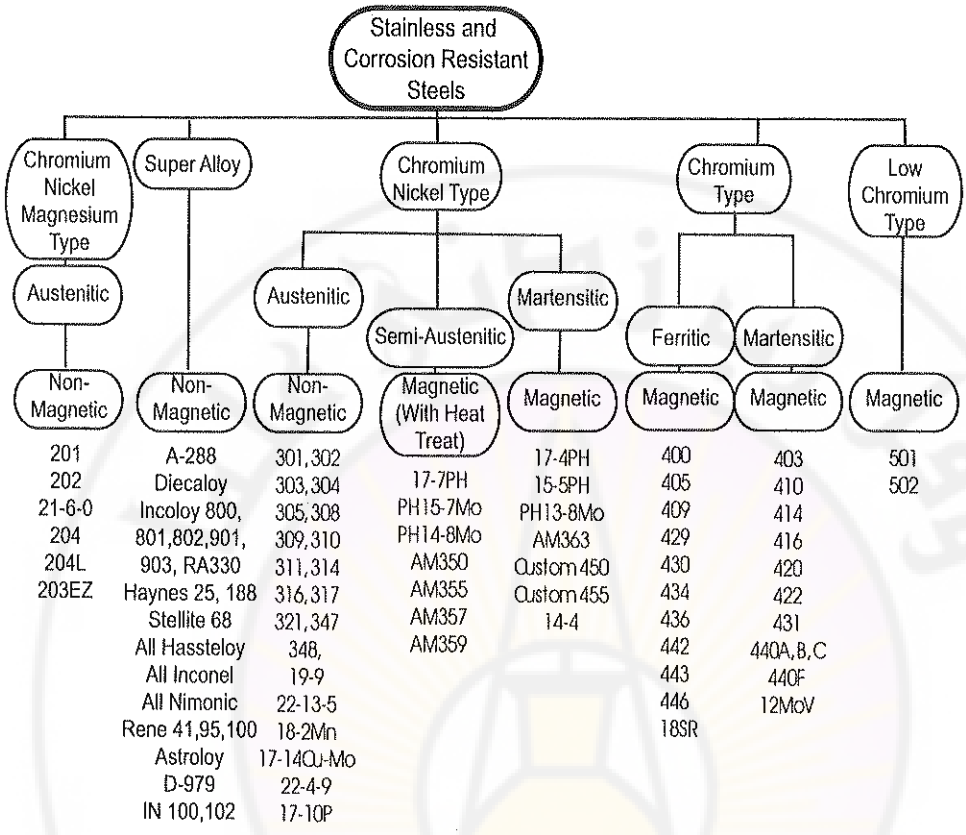
هناك بعض الأجسام المعدنية تنجذب بالمغناطيس والبعض الآخر لا يتأثر به، وبناء على ذلك يمكننا تقسيم المواد إلى ثلاث مجموعات:

١- المواد الديامغناطيسية: وهي المواد التي ليس لها قابلية للتمغنط أي أنها لا تملك مجالاً مغناطيسياً وتكون فيها المتأثرية المغناطيسية $X<0$ والنفاذية $\mu<1$ ومن الأمثلة على هذا النوع من المواد يمكن أن يذكر الذهب والفضة والنحاس

٢- المواد البارامغناطيسية: وهي المواد التي لها قابلية للتمغنط أي أنها تملك مجالاً مغناطيسياً بسيطاً وتكون فيها المتأثرية المغناطيسية $X>0$ والنفاذية $\mu>1$ ومن الأمثلة على هذا النوع من المواد يمكن أن يذكر المغنيزيوم والموليبديوم والتيتانيوم والليثيوم.

٣- المواد الفيرومغناطيسية: وهي المواد التي تملك قابلية كبيرة للتمغنط أي أنها تملك مجالاً مغناطيسياً واضحاً تملك القدرة على أن تحتفظ بمغناطيسيتها حتى بعد زوال الحقل المغناطيسي، وتكون فيها المتأثرية المغناطيسية $X\gg 0$ والنفاذية $\mu\gg 1$ ، ومن الأمثلة على هذا النوع من المواد يمكن أن يذكر الحديد والكوبالت والنيكل.

تختلف الخواص المغناطيسية للخلائط بحسب بنيتها الكيميائية والبلورية وعليه يجب التحقق من قدرة المادة على التمغنط قبل اقتراح طريقة الجسيمات المغناطيسية لاختبار العناصر المصنوعة من هذه المادة ويبين الشكل (٥-٨) تغير الخواص المغناطيسية لبعض خلائط الفولاذ المقاوم للصدأ والتآكل.



الشكل (٥-٨) تغير الخواص المغناطيسة للسانليس ستيل

٥-٤-٩- الكهرباء والمغناطيسية:

عندما يمر التيار الكهربائي في ناقل يتشكل حوله مجال مغناطيسي، فإذا كان للناقل شكل متماثل (كقضيب مثلا) فإن كثافة التدفق المغناطيسي تكون متساوية ولكن نجد أن الكثافة المغناطيسية على سطح الناقل تكون أكبر من الكثافة في داخل جسم الناقل. أما اتجاه خطوط التدفق المغناطيسي فتكون متعامدة مع اتجاه التيار الكهربائي.

٥-٤-١٠- السيالة المغناطيسية:

تكون خطوط القوة في المغناطيس الدائري بشكل دوائر مغلقة، وتدعى عندئذ بخطوط السيالة المغناطيسية ويرمز لها ب (Ω).

٥-٤-١١- كثافة التدفق:

وهي كمية خطوط القوة المغناطيسية الموجودة في واحدة المساحة. ويرمز لها بـ (B)

٥-٤-١٢- السماحية المغناطيسية:

هي قدرة الجسم القابل للمغنطة على استيعاب المغناطيسية وتقاس بالنسبة B/H. أو بمعنى آخر هي النسبة بين كثافة التدفق المغناطيسي إلى القوة المغناطيسية.

٥-٤-١٣- الممانعة المغناطيسية:

وهي بعكس السماحية وتعبر عن مقاومة الجسم للتمغنط.

٥-٤-١٤- المغناطيسية المتبقية:

هي كمية المغناطيسية المتخلفة في الجسم حتى بعد زوال القوة المغناطيسية المؤثرة، فعندما يمر تيار مستمر في ناقل مشكلا المغناطيسية الدائرية نلاحظ أن توزع قوى المجال المغناطيسي تكون لها نفس اتجاه التيار. وعندما يتناقص التيار حتى يزول تماما فإن كثافة تدفق المجال تتناقص أيضاً حتى القيمة صفر أما في المغنطة الطولانية فيحدث انقطاع في التيارات العابرة المارة في العينة ويكون لهذه التيارات تأثير بسيط على اتجاه المغناطيسية المتبقية.

وأما عندما يمر تيار متناوب في جسم ناقل ثم ينقطع تدريجياً لا يبقى أي مجال مغناطيسي متبقي في العينة، أي تحدث حالة إزالة المغنطة، وبمعنى آخر تزول المغناطيسية بشكل كامل، وأما في حال انقطاع التيار المتناوب بشكل مفاجئ فمن المحتمل أن يتبقى بعض المغناطيسية المتخلفة في الناقل ويعتمد ذلك على تردد التيار عند حدوث الانقطاع.

٥-٤-١٥- القوة المغناطيسية القسرية:

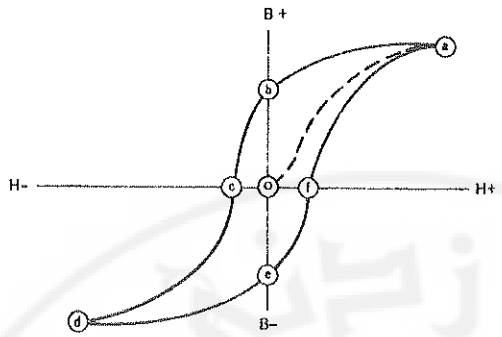
هي القوة القادرة على إزالة المغناطيسية المتبقية في الجسم.

٥-٤-١٦- منحني التخلف المغناطيسي:

يمثل هذا المنحني العلاقة بين القوة المغناطيسية (H) وكثافة التدفق المغناطيسي (B).

يبين الشكل (٥-٩) شكل منحني التخلف حيث تمثل النقطة (o) حالة العينة عندما تكون غير ممغنطة و عند ازدياد قوة المغنطة تدريجيا يزداد التدفق المغناطيسي بسرعة كبيرة في البداية ثم يتناقص حتى يصل إلى قيمة محددة بحيث إن أية زيادة في قوة المغناطيسي لا تزيد كثافة التدفق كما في هذه النقطة (a) ويعبر المنحني (o– a) عندئذ عن منحني المغنطة البدائية، بإنقاص قوة التمغنط تدريجيا حتى القيمة صفر نحصل على المنحني (a - b) الذي يعبر عن كمية المغناطيسية المتبقية.

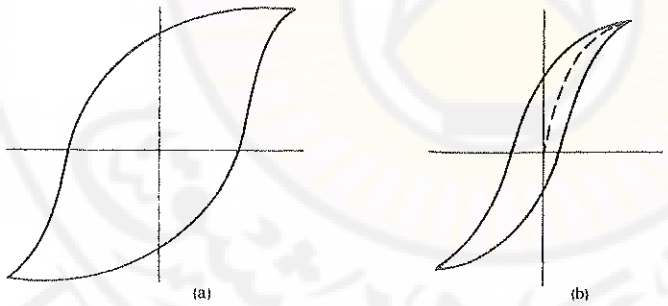
إذا عكسنا اتجاه التيار وبالتالي اتجاه قوة المغنطة ومع ازدياد القوة العكسية تدريجيا نجد أن التدفق يتناقص ولكنه لايصل إلى القيمة صفر بل إلى النقطة (c) ويمثل الخط (b-c) قيمة القوة القسرية اللازمة لإزالة المغناطيسية المتبقية في العينة.



الشكل (٥-٩) منحني التخلف المغناطيسي

عند ازدياد القوة المغناطيسية العكسية من (c) إلى (d) فإن العينة يعاد تمغنطها حتى تصل إلى حد التشبع المغناطيسي الممثل بالمنحني (d-c). وعند تناقص القوة المغناطيسية بعد حد التشبع حتى القيمة (e) نحصل على المنحني (d-e) الذي يعبر عن القطبية العكسية المتخلفة في العينة. وبإعادة ازدياد القوة المغناطيسية في الاتجاه الأصلي للمغنطة يتشكل لدينا المنحني (e – f – a) وتنغلق دورة المنحني ويتشكل لدينا حلقة التخلف المغناطيسي.

يتعلق شكل المنحني بقدرة العينة على المغنطة ونجد أن الجسم ذا المغناطيسية العالية يمثل بالمنحني (a) في الشكل (٥-١٠) أما العينة ذات الممانعة المغناطيسية العالية يمثل بالمنحني (b) من الشكل نفسه.

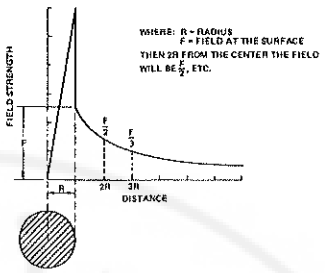
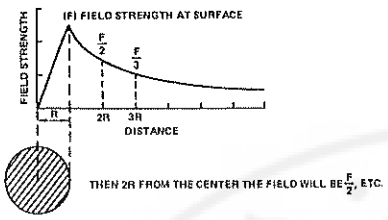
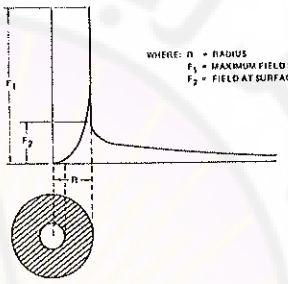
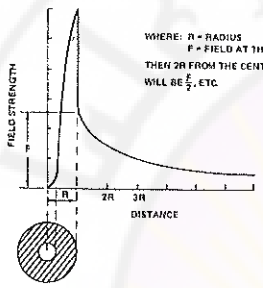
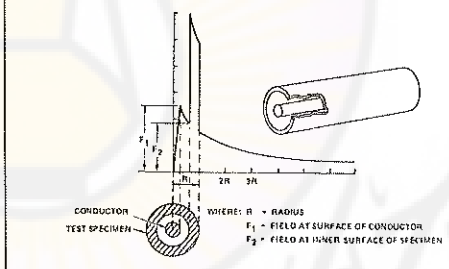
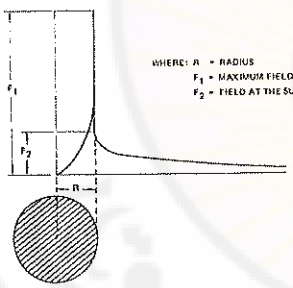
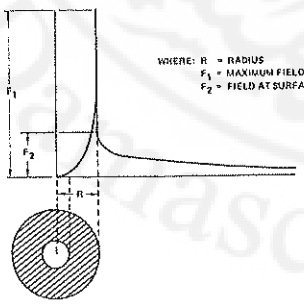


المنحني (a) و يمثل
١ – السماحية المغناطيسية منخفضة
٢ – قدرة الاحتفاظ بالمغنطة عالية.
٣ – قوة التشبع المغناطيس عالية.
٤ – ممانعة مغناطيسية عالية.
٥ – المغناطيسية المتبقية عالية

المنحني (b) و يمثل
١ – سماحية مغناطيسية عالية
٢ – قوة الاحتفاظ المغناطيسي منخفضة.
٣ – قوة التشبع المغناطيسي منخفضة.
٤ – قوة الممانعة المغناطيسية منخفضة.
٥ – المغناطيسية المتبقية منخفضة.

الشكل (٥-١٠) تغيرات شكل منحني التخلف المغناطيسي

الجدول (٥–١) توزع المجال في النواقل المغناطيسية واللامغناطيسية

	
ناقل مغناطيسي مصمت	ناقل مصمت لا مغناطيسي
	
ناقل لا مغناطيسي مجوف	ناقل مغناطيسي مجوف
	
ناقل مصمت في ناقل مجوف	ناقل مصمت مغناطيسي في حال مرور التيار المتناوب
ناقل مفرغ مغناطيسي في حال مرور التيار المتناوب	

٥-٤-١٧- توزع المجال في النواقل المغناطيسية واللامغناطيسية.

إذا مررنا تيار كهربائي في ناقل (مصمت أو مجوف) يتشكل حوله مجال مغناطيسي حيث تتوزع خطوط قوة هذا المجال بشكل معين يتعلق بحجم وشكل وأبعاد الناقل وبنوع المادة المصنوع منها ونميز هنا الحالات، عدد من الحالات يمكن إيضاحها من خلال الجدول (٥-١)

٥-٤-١٨- خصائص التيارات المغناطيسية:

يستخدم في مغنطة الأجسام كافة التيارات المستمر والمتناوب و تيار ذي نصف الموجة عالي التردد HWDC...إلخ، ولكن يعتبر التيار المتناوب أكثر استخداماً لأنه يعطي توزعاً أفضل للمجال المغناطيسي على سطح الناقل، أما استخدام التيار HWDC فيتميز بإعطاء توزع مغناطيسي تحت سطح الناقل.

إن التيار المتناوب أحادي الطور يعطي نفاذية قليلة، وبالتالي يمكن التحكم باتجاه التدفق مما يساعد على زيادة مرونة تحرك الذرات الممغنطة وبالتالي تركزها في حقول الانتشار.

٥-٤-١٩- خصائص النفوذية:

يتميز التيار المتناوب بأنه أكثر حساسية من التيار المستمر في حال استخدامه لعملية المغنطة وبما أن النفاذية المغناطيسية لها علاقة بشدة التيار ونوعه وبنوع وشكل وسماكة العينة المدروسة فمن الضروري تحديد نوع التيار وشكل العينة عند إجراء الاختبار.

فعند استخدام عينة غير متجانسة المقطع يمرر تيار ذي شدة قليلة في المقطع الصغير ثم تزداد شدة التيار تدريجياً بزيادة المقطع. هذا مع التنويه أنه في حالة المغنطة الدائرية لا يؤثر طول العينة على قيمة التيار المطلوبة ولكن تتعلق شدة التيار عندئذ بالمقاومة الكهربائية.

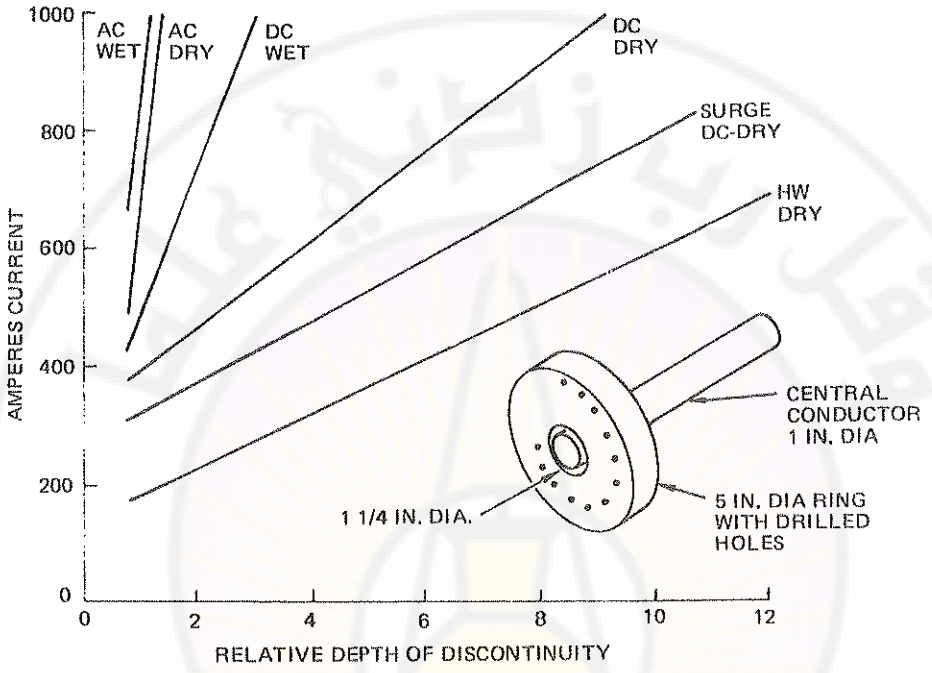
أما في المغنطة الطولانية فإن لطول العينة دوراً في تحديد قيمة التيار حيث إن زيادة طول العينة يتطلب ازدياد شدة التيار المار فيها. ويبين الشكل (٥-١١) العلاقة بين شدة التيار المار في العينة وبين العمق النسبي للتعشق الموجود فيها.

٥-٤-٢٠- ظاهرة إزالة التمغنط:

تتميز المعادن الحديدية بقدرتها على الاحتفاظ بمغناطيسية متبقية حتى بعد زوال تأثير القوة المغناطيسية وتتعلق كمية هذه المغناطيسية المتبقية في الجسم على قدرة المعدن على الاحتفاظ بالمغناطيسية، وبالتالي بقدرته على سماحية النفوذية المغناطيسية.

ومن جهة أخرى تتعلق بقوة واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة وزمن تأثيرها. ومن هنا نجد أن إزالة المغناطيسية من الجسم بشكل كامل عملية صعبة وتكاد تكون مستحيلة ويعتمد مبدأ إزالة المغناطيسية على مبدأ

تخفيض كمية المغناطيسية في الجسم إلى أدنى حد ممكن، ويتم ذلك بتعريض الجسم الممغنط إلى تأثير مجال مغناطيسي عكسي الاتجاه مستمر، متناقص تدريجياً بحيث يؤدي إلى عملية تناظر عكسي بين المجالين المغناطيسي الأصلي الموجود في الجسم والمجال الجديد المؤثر، وبالتالي تنخفض القدرة المغناطيسية في الجسم.



الشكل (٥-١١) العلاقة بين شدة التيار المار في العينة وبين العمق النسبي للتعشق الموجود فيها

يمكن أن تتم عملية إزالة المغنطة بواسطة إمرار تيار متناوب في العينة ويتميز استخدام التيار المتناوب بعدم قدرته على إزالة المغناطيسية المتبقية بشكل كبير لأن إمراره في الجسم عند مغنطته لا يعطي نفاذية مغناطيسية عميقة في الجسم.

أما في حال استخدام التيار المستمر فتكون إزالة المغناطيسية أكثر فاعلية لأن قدرته أكبر من التيار المتناوب على إزالة المغنطة ويتم ذلك عادة بعكس اتجاه التيار المار في العينة ثم إنقاصه تدريجياً حتى قيمة أصغرية وتعتمد معظم أجهزة إزالة المغنطة على هذا المبدأ.

وفي التطبيقات العملية يتم استخدام مبين المجال بعد إجراء عملية إزالة المغنطة وذلك بهدف تحديد مقدار قوة المغناطيسية المتبقية وقياس المستوى المطلوب.

هناك بعض الحالات لا نحتاج فيها إلى إجراء عملية إزالة المغنطة نذكر منها:

١- عند استخدام أجسام مصنوعة من الفولاذ الطري أو الحديد اللذين لهما قابلية قليلة للاحتفاظ بالمغناطيسية.

٢- إذا كان هناك معالجة حرارية للجسم بعد إجراء الاختبار.

٣- في المصبوبات الكبيرة والقطع الملحومة الكبيرة الحجم حيث إن كمية المغناطيسية المتبقية تكاد تكون قليلة ويمكن إهمالها.

٤- عند إعادة مغنطة الجسم في الاتجاه المعاكس للمغناطيسية المتبقية فيه.

٥- إذا تعرض الجسم للمغنطة في أثناء إجراء عمليات التشكيل عليه.

أما الحالات التي يحتاج فيها إلى ضرورة إجراء عملية إزالة المغناطيسية المتبقية فهي

١- عند حدوث تداخل للمجالات المغناطيسية في الأجزاء المعرضة لعمليات اللحام والتشغيل بحيث يتدفق المجال المغناطيسي في منطقة اللحام مثلاً ويؤدي إلى ترسب الجسيمات المغناطيسية في هذه المنطقة.

٢- عند إجراء عمليات القطع على المشغولة بحيث يمكن حدوث تداخل مغناطيسي بين مجال جهاز القطع ومجال الجسم المشغل.

٣- حدوث التداخل بين مجالات التسرب المغناطيسي للجسم مع مجالات أجهزة القياس التي تعمل على المبدأ المغناطيسي كالبوصلة مثلاً.

٥-٥- طرائق المغنطة:

يتم تصنيف طرائق المغنطة وفق أساليب متعددة أهمها:

الأسلوب الأول: ويعتمد على مدى استمرارية وبقاء القوة المغناطيسية في أثناء إجراء عملية المغنطة وبعدها. متضمناً القدرة المغناطيسية المتبقية. أو المغناطيسية المستمرة.

الأسلوب الثاني: ويعتمد على خصائص الحقل المغناطيسي الناتج عن تطبيق عملية التمغنط ويتضمن ذلك طريقة المغنطة الدائرية والمغنطة الطولانية.

الأسلوب الثالث: ويعتمد على نوع التيار المستخدم لإحداث عملية المغنطة سواء أكان تياراً مستمراً DC. أم متناوباً AC أو تياراً عالي الموجة HWDC.

ومما يجدر ذكره أن هناك بعض الطرائق المستخدمة لتقوية الحقول المغناطيسية وتحسين خصائصها وتستخدم هذه الطرائق في أثناء تطبيق الاختبار ولكن لن يتم التطرق إليها.

١- طريقة المغنطة المتبقية:

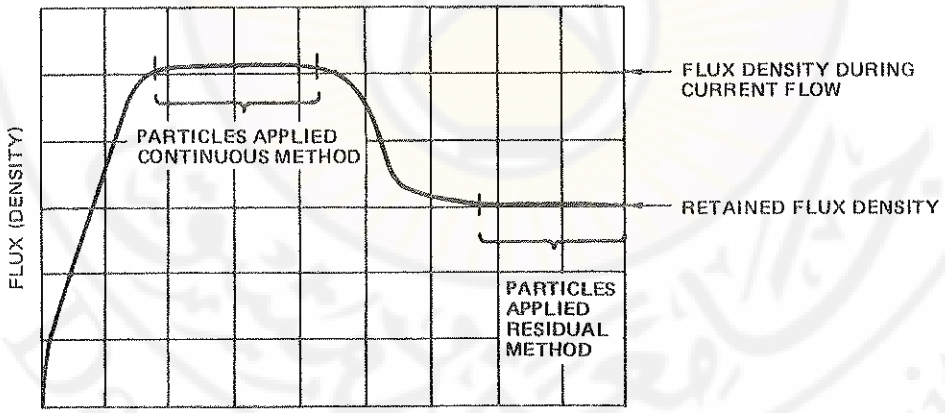
تعتمد هذه الطريقة على مبدأ تطبيق قوة مغناطيسية على العينة بهدف مغنطتها ثم إزالة تأثير هذه القوة، وفي هذه الطريقة تبقى كمية من المغناطيسية في العينة حتى بعد زوال القوة المؤثرة لا تستخدم هذه الطريقة لمغنطة بعض المواد كخلائط الفولاذ مثلاً لأن لها قدرة منخفضة للاحتفاظ بالمغناطيسية.

تعتبر هذه الطريقة أقل دقة وحساسية من طريقة المغناطيسية المستمرة ويقتصر استخدامها على المعادن ذات القابلية العالية للاحتفاظ بالمغناطيسية.

٢- طريقة المغنطة المستمرة:

تعتمد هذه الطريقة على تطبيق القوة المغناطيسية بهدف مغنطة العينة وبنفس الوقت إجراء عملية الاختبار للعينة، و بمعنى آخر يمرر التيار اللازم لعملية التمغنط مع رش الجسيمات المغناطيسية على العينة بنفس الوقت.

تعتبر هذه الطريقة الأكثر استخداماً نظراً لدقة نتائجها وسرعتها. حيث يتم تعريض العينة لتيارين مختلفي الشدة حيث يعطي التيار الثاني بعد جريان التيار الأول تجنباً لإمكانية حدوث تداخل الإشارات يوضح الشكل (٥-١٢) منحني كثافة التدفق الحادث مباشرة بعد تطبيق الصدمة المغناطيسية ورش الجسيمات المغناطيسية.

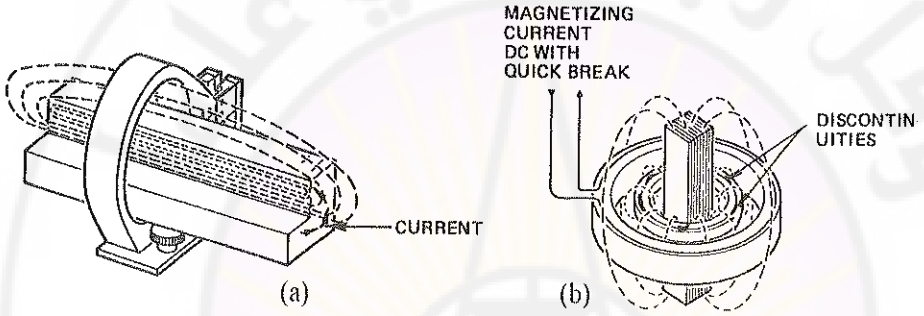


الشكل (٥-١٢) منحني كثافة التدفق

٣- طرائق المغنطة الخاصة (المغنطة بالتحريض):

التحرض تيار في العينة عندما تكون قادرة على حمل تيار (السماح للتيار بالمرور فيها) وذلك عند وضعها في حقل مغناطيسي وعندئذ يتسبب هذا التيار في هبوط قدره هذا الحقل المغناطيسي ويكون التيار المتحرض

متعامدا مع اتجاه الحقل المغناطيسي المنهار، أما شدة التيار المتحرض فتعتمد على شدة الحقل المغناطيسي قبل انهياره وعلى سرعة انهيار هذا الحقل، تسبب هذه التيارات المتحرضة تشكل حقول مغناطيسية خاصة بها في العينة، فعندما تكون العينة متمغنطة بشكل طولاني فيتوضع الحقل المغناطيسي المتحرض عندئذ على كامل طول العينة دون حدوث أي تسرب باستثناء ما يحدث عند نهايتي العينة (عند الأطراف)، كما يمكن أن نستخدم التيارات المتحرضة لمغنطة المشغولات ذات الأشكال الحلقية حيث يكون مسار التيار المتحرض بشكل محيطي حول الحلقة، يؤدي هذا الجريان للتيار المتحرض إلى تشكيل حقل مغناطيسي دائري، يبين الشكل (٥-١٣) رسما توضيحيا لعينتين وكيفية ظهور التيار المتحرض الطولاني والدائري فيهما.



الشكل (٥-١٣) المغنطة بالتيارات المتحرضة

a) مغنطة طولانية ، b) مغنطة دائرية

٥-٦- الجسيمات المغناطيسية:

يعتمد الاختبار بالمغنطة في نجاحه على اختيار نوعية الجسيمات المغناطيسية أو ما يسمى الوسيط المغناطيسي وعلى طريقة استخدامها.

فالجسيمات تكون على أحد شكلين:

١- بشكل بودرة جافة

٢- بشكل عجينة.

طريقة استخدامها تكون على أحد شكلين:

١- الطريقة الجافة: حيث ترش (البودرة) الجسيمات المغناطيسية مباشرة على العينة.

٢- الطريقة الرطبة: وتعتمد على معالجة العينة بالمادة المغناطيسية المشكلة بشكل معجون. حيث يخلط هذا المعجون في البداية مع الكيروسين أو زيت خفيف ليصبح قوامه أقل لزوجة ويصبح قادراً على تسليطه على العينة إما بالبخ (Sprying) إما بالتغطيس.

هناك أربع خصائص تتحكم في اختيار الوسيط المغناطيسي وبالتالي على نجاح الاختبار وهي:

١- الخصائص المغناطيسية

يتمتع الوسيط المغناطيسي بخاصتين مغناطيسيتين هامتين هما:

- النفاذية المغناطيسية العالية.
- القدرة المنخفضة للاحتفاظ بالمغناطيسية: قدرة هذه الجسيمات على إعطاء المغنطة إلى الأجسام الأخرى والاحتفاظ بأقل قدر ممكن من المغناطيسية المتبقية.

إن توافر هذين العاملين يعني أن الوسيط المغناطيسي قادر على جذب الحقول.

٢- الخصائص الهندسية:

يعطي الشكل الدائري للجسيمات المغناطيسية قدرة عالية على التحرك في حين أنه يضعف من قدرتها على الجذب للحقول المغناطيسية. في حين أن الجسيمات ذات النتوءات الدقيقة تكون أكثر قدرة للانجذاب نحو الحقول المغناطيسية ولكن لها قدرة ضعيفة على الحركة السريعة والجذب القوي للحقول المغناطيسية.

كذلك فإن لحجم الجسيمات دورا هاما فالجسيمات الصغيرة تكون أكثر قدرة في كشف الحقول الضعيفة، أما الجسيمات ذات الأحجام الكبيرة فتستخدم في حالات الحقول المغناطيسية الكبيرة.

وعموما يستخدم المزيج من الحجمين السابقين لتشكيل (البودرة) أو برادة الحديد أما في حال الوسيط المغناطيسي المصنع بالطريقة الرطبة فيستخدم عندئذ أكاسيد الحديد بالرغم من قدرتها المنخفضة على النفاذية المغناطيسية بالنسبة لبقية المعادن.

٣- الحركة الأيونيه:

عند وضع الوسيط المغناطيسي على العينة يجب أن يتمتع بالحرية في الحركة وذلك لتسهيل تشكيله وتوضعه عند الشقوق.

ففي حال البوردة الجافة تكون حركتها سهلة على سطح العينة حيث تتوضع بشكل سحابة من الغبار عند مكان العيب وتتحرك بتأثير التيار المغناطيسي بسهولة بسبب خفة وزنها وتأثير جذب الحقول المغناطيسية عليها أما في حال الوسيط المغناطيسي الرطب فيعتبر ذا خاصية ممتازة لسهولة حركته بالنسبة للنماذج المعلقة. حيث يستخدم معه سائل ذو لزوجة منخفضة.

٤- الحساسية الضوئية:

تعد الإضاءة الخفيفة عملاً أساسياً في الكشف على توضع الجسيمات المغناطيسية بالإضاءة إلى حسن اختيار لون الجسيمات المغناطيسية حيث يفضل اللون الرمادي أو الأحمر أو الأسود لسهولة كشفه على جميع السطوح.

ولزيادة الحساسية الضوئية للجسيمات المغناطيسية يعمد إلى إضافة ذرات من الفلور لزيادة بريقها وتألقها فنحصل على الجسيمات المتبلورة ذات التألق الضوئي الشديد.

وبالخلاصة نجد أن الخصائص الواجب توافرها في الجسيمات المغناطيسية هي:

- أن تكون حديدية.
- أن تكون سهلة الحركة.
- ذات نفاذية مغناطيسية عالية.
- ذات قدرة للاحتفاظ بالمغناطيسية منخفضة.
- تعطياً انعكاساً ضوئياً جيداً.
- ذات أحجام تساعد على الحركة.
- غير مسامية.

٥-٧- آلية الاختبار بطريقة الجسيمات المغناطيسية:

وتتألف من العمليات الأساسية التالية:

١. تحضير سطح العينة من أجل الاختبار :حيث تتعلق حساسية الاختبار بجودة السطح الذي يجب أن يكون نظيفاً وخالياً من الثلوم الحادة حيث إن السطوح الخشنة تؤدي إلى إعطاء إشارات كاذبة أو قد تخفي العيوب تماماً ويجب قبل إجراء الاختبار تحضير السطح وتنظيفه جيداً من القشور أو من المواد الشحمية التي تلتصق بها الجسيمات المغناطيسية ويفضل تنظيف السطح بقذفه بالرمل أو الزجاج أو باستعمال المنظفات الكيميائية ويمكن تجليخ السطح بشكل بسيط على أن تكون جهة التجليخ متعامدة على جهة العيوب المتوقعة، وتكون حساسية الاختبار أقل إذا كان السطح يحتوي على قشور أو غير نظيف أو مطلي بطبقة من الطلاء ولكن يمكن أن يتم الاختبار هنا فقط للكشف عن التشققات والعيوب الكبيرة نسبياً. بالنسبة للأجسام المغلفنة أو الملبسة بالزنك أو الكروم أو الكاديوم أو بأية طبقة أخرى يمكن أن يسمح باختبارها إذا لم تتجاوز سماكة الطبقة في المنطقة المختبرة أكثر من $20\mu m$ إلى $30\mu m$ أما إذا كانت السماكة أكبر من ذلك تنخفض القدرة على كشف الأعطال الصغيرة وفي هذه الحالة يمكن إيجاد الأعطال الكبيرة فقط.

٢. مغنطة الجسم من أجل الفحص : تستخدم المغناطيسية التي يكون اتجاه حقلها المغناطيسي عمودياً على اتجاه الخلل. إذا كان اتجاه الخلل غير معروف فلذلك يجب مغنطة الجسم المختبر باتجاهين

عموديين على بعضهما بعضاً على الأقل، ويجب أن يكون زمن مغنطة الجسم من أجل مراقبة المغناطيسية المتبقية 0.1sec ثانية كحد أدنى. بالنسبة للأجسام الأكبر وعند فحصها بكاشف سائل سواء كان مائياً أو من زيت البارافين فإن الزمن اللازم بين 2sec إلى 3sec، وحتى تكون عملية الكشف عن العيوب صحيحة يجب أن تكون قيمة الحقل المغناطيسي كافية، ففي معظم الأحيان تكون شدة الحقل المغناطيسي بين 50A/cm إلى 100A/cm.

٣. التوضيح بالمظهر : نضع الكاشف الذي تم اختباره حسب طريقة الاختبار (بالمسحوق، الطلي، أو التغطيس) على سطح الجسم الممغنط، ويجب التأكد قبل وضع الجسيمات المغناطيسية من أنها قد تم خلطها بالسائل الحامل بحيث تكون معلقة متجانساً، كما يجب الانتباه إلى عدم تطبيق الجسيمات بشكل لا يؤدي إلى إزالة إشارات العيوب وبتعبير آخر يجب وضع الجسيمات المغناطيسية المعلقة بالسائل بسرعة وضغط ملائمين بحيث لا تمحي إشارات العيوب.

٤. تقييم الاختبار : نبحث بالعين المجردة عن الأماكن التي تظهر التشققات. مستخدمين إضاءة على السطح بضوء أبيض شدته لا تقل عن 500 Lux. عند استخدام طريقة الفلوريسنت المغناطيسي (المواد الفلورية) نستخدم معها منبعاً يعطي الأشعة فوق البنفسجية 125W. يُعْد المنبع الضوئي عن السطح المفحوص يكون 400mm تقريباً، بعد ذلك نضع علامة على مكان الخلل حسب شروط التفتيش و الاختبار. ويمكن أن يتم ذلك مباشرة على الجسم بصك أرقام، أو بالطباشير أو بالألوان...الخ، أو يمكن رسم مخطط يوضح عليه مكان الخلل أو بالأحرى الطريقتين معاً.

٥. إزالة المغنطة : بعد الاختبار بالطرائق المغناطيسية يبقى الجسم أحياناً ممغنطاً، ولذلك يجب إزالة المغنطة عنه لأن كل الأجسام التي تبقى فيها المغناطيسية يكون لها تأثير سيئ على عملها. المغناطيسية المتبقية في الجسم يمكن إزالتها بواسطة حقل مغناطيسي منتظم، وذلك بإعادة تغيير الاتجاه وبنفس الوقت تخفيض شدته تدريجياً حتى الصفر أو بواسطة حقل مغناطيسي متناوب وبإبعاد الجسم عنه أو تخفيض الشدة حتى الصفر.

ملاحظة: في الكثير من الحالات يكون من الصعب إظهار السائل الأسود على السطح المعتم ، لذلك نضع على سطح الأجسام المختبرة مساعدات تباين مثل أكسيد التيتان الأبيض السريع الجفاف أو الدهن بأكسيد الماغنيزيوم. وعند استخدام الأقطاب يجب إزالة الدهان المذكور من على سطح الاختبار وذلك لتجنب حدوث القوس الكهربي أو الاحتراق أو عدم التلامس في مواضع الاختبار.

٥-٨- تحليل الإشارات المتشكلة:

يمكن أن تكون الإشارات المتشكلة بأحد شكلين:

١. إشارات لعيوب سطحية: تنتج نماذج من الإشارات الحادة المميزة، القوية، والواضحة المعالم.

٢. إشارات لعيوب تحت سطحية: تميل نحو إنتاج الدلائل التي هي أقل وضوحاً وتشكل نماذج متناثرة أو غامضة (غير واضحة).

إن الإشارة التي نحصل عليها عند الاختبار المغناطيسي للمواد بطريقة المسحوق لا تظهر فقط في أماكن العيوب ولكن تظهر أيضاً في كل الأماكن التي يحدث فيها تسرب المجال المغناطيسي كما هو مبين بالشكل (٥-١٤)، هذه الإشارات التي تظهر حيث لا يكون هناك أعطال تسمى إشارات مزيفة "خادعة". إن سبب حدوث هذه الإشارات هو التبدل السريع في خواص المادة أو في التدفق المغناطيسي (مثلاً نتيجة تبدل سطح مقطع الجسم). كذلك يمكن أن تظهر الإشارات غير الحقيقية عندما تكون البنية البلورية والمغناطيسية في بعض الأماكن غير متجانسة مثلاً حدود البلورات بين بنية اللحام الأوستنيتية والمعدن الأساسي الفريتي، وكذلك الحدود بين المناطق الحرارية الناتجة عن عملية اللحام. عند المواد التي تحدث فيها تقسية سطحية، أو في الأماكن الواقعة تحت تأثير حقل مغناطيسي خارجي.

وتجدر الإشارة إلى أن العديد من الإشارات الخادعة يمكن أن تختفي بعد إزالة المغناطيسية عن الجسم المفحوص، كذلك عند إعادة الاختبار بطريقة المسحوق فإنها لا تظهر.

وتظهر الإشارات الخادعة نتيجة :

١. استخدام تيار المغنطة الكبير جداً.

٢. التصميم البنيوية للقطعة المختبرة.

٣. تفاوت النفاذية داخل المادة.

ويتم تمييز الإشارات الخادعة من خلال:

١. تكون عموماً إشارات غير واضحة بدلاً من الإشارات الحادة والمميزة.

٢. تترافق عادةً مع بعض السمات الشكلية مثل زاوية حادة أو طريق رئيسي.

٣. هي عادة متجانسة من حيث الاتجاه والحجم.

٤. سطح القطعة الخشن قد يسبب ذلك ظهور المؤشرات الزائفة.

٥-٩- التجهيزات المستخدمة:

هناك العديد من التجهيزات والوسائل التي يمكن أن تستخدم لتوليد الحقول المغناطيسية في القطع المختبرة والتي يتم الاختيار بينها اعتماداً على المعايير التالية: هل هو جهاز للطريقة الجافة أو الرطبة.

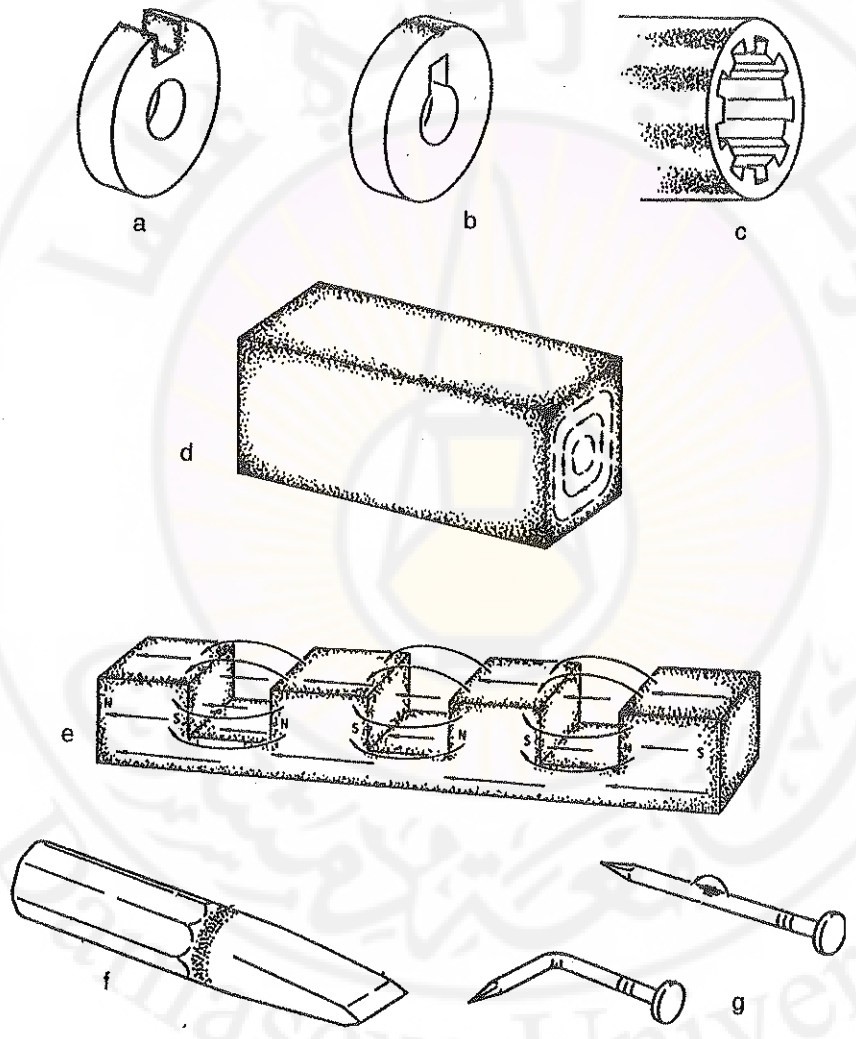
١. المتطلبات المغناطيسية (AC أو DC).

٢. هل للجهاز وحدة مدمجة لإزالة المغنطة أم هي وحدة منفصلة عنه.

٣. التيار اللازم.

٤. متطلبات الجهد.

٥. القطع الملحقة الضرورية أو المطلوبة.



الشكل (٥-١٤) بعض الإشارات الخادعة

تستخدم لتوليد المجالات المغناطيسية للتجهيزات والأدوات التالية :

١. المغناطيس الدائم.

٢. الحدوة (النير) المغناطيسية YOKE.

٣. الملفات الكهربائية COILE.

٤. الأقطاب الكهربائية PRODS.

٥-١٠- حساسية الطريقة:

تتعلق حساسية طريقة الاختبار بالمسحوق على العديد من العوامل مثلاً على:

١. شدة المجال المغناطيسي تركيب المسحوق أو بالأحرى السائل المظهر.

٢. الخواص المغناطيسية لمادة الجسم المفحوص وعلى سطحه.

٣. طريقة المغناطيسية.

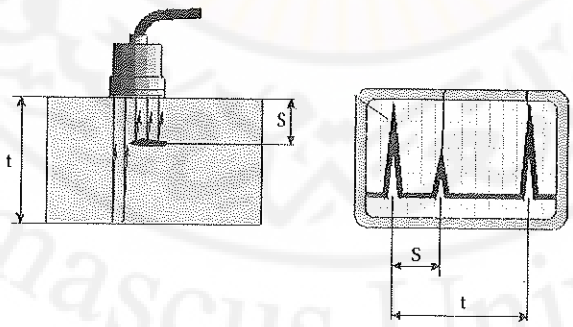
لإيجاد حساسية الاختبار نستخدم مقياس الحساسية حيث تبدي التجارب العملية بأنه يمكن إيجاد التشققات التي سماكتها تصل حتى 0,002mm.

الفصل السادس

طريقة الاختبار بالأمواج فوق الصوتية

٦-١- مقدمة:

الصوت عبارة عن اهتزازات ميكانيكية ذات ترددات تقع في المجال (16Hz-20KHz) وهو ما يعرف بالمجال المسموع حيث يمكن لأذن الإنسان سماعها. أما الاهتزازات التي يزيد ترددها على (20KHz) فتقع في المجال فوق المسموح أو ما يسمى فوق الصوتي. تنتشر هذه الاهتزازات على شكل أمواج في وسط مادي سواء في الحالة الصلبة أم السائلة أم الغازية، ولقد تم استخدام الصوت منذ زمن بعيد كوسيلة لكشف العيوب، وذلك باستخدام تقنيات بسيطة جداً كالنقر بالأصبع على آنية زجاجية والاستماع إلى الصوت الناتج والحكم على حالة تلك الآنية بالقول أنها سليمة أو مكسورة. وتقوم طريقة الاختبار بالأمواج فوق الصوتية على تمرير نبضات فوق صوتية ذات تردد يقع ما بين (0.1-25)MHz في المادة المراد اختبارها وذلك بواسطة محول للطاقة (Transducer) - مجس مرسل ومستقبل يحوي شريحة من مادة ذات خواص كهرضغطية كالكوارتز - موضوع في أغلب الأحيان على تماس مباشر مع المادة المراد اختبارها، مما يؤدي إلى اهتزاز شريحة الكوارتز وتتولد الأمواج فوق الصوتية التي تدخل في المادة وفقاً لسرعة الصوت فيها. ويؤدي انعكاس الأمواج فوق الصوتية عن سطح المادة وعن العيوب الموجودة فيها إلى إحداث اهتزازات ميكانيكية في المسبار تؤدي إلى توليد نبضات كهربائية يمكن رؤيتها على شاشة أنبوبية أشعة مهبطية (Cathode ray tube)، إذ يمكن تحديد طبيعة العيب ودرجته من خلال شكل نبضة الجهد المتولدة عن الموجة الصوتية المنعكسة عنه ومطال هذه النبضة وكذلك يمكن تحديد موضع هذا العيب من خلال زمن التقاط نبضة الجهد المتولدة كما هو موضح بالشكل رقم (٦-١).



الشكل (٦-١) الاختبار بطريقة الأمواج فوق الصوتية

٦-٢- مزايا طريقة الاختبار بالأمواج فوق الصوتية:

١. مقدرة كبيرة على الدخول في المواد.
٢. حساسية عالية في الكشف عن العيوب الصغيرة.
٣. دقة عالية في تحديد موضع العيب ضمن المعدن.
٤. يتطلب تطبيق الطريقة الوصول فقط إلى سطح واحد من المادة.
٥. نتائج فورية ويمكن الحصول على سجل نتائج دائم.
٦. ليس هناك خطورة في تطبيقها.

٦-٣- مساوئ وحدود طريقة الاختبار بالأمواج فوق الصوتية

١. تتطلب خبرة كبيرة في التطبيق .
٢. صعوبة في اختبار المواد متعرجة السطح أو المواد الخشنة والقطع ذات الشكل المعقد والقطع ذات الثخانة الضعيفة أو القطع غير المتجانسة البنية.
٣. تتطلب مواد ربط.
٤. تتطلب تطبيق الكودات المناسبة لكل اختبار.
٥. صعوبة في تحديد أبعاد العيب ونوعه.
٦. صعوبة في اختبار المواد ذات معدلات التوهين العالية كالبيتون والفولاذ والمصبوبات ذات البنية الحبيبية الكبيرة.
٧. صعوبة في كشف العيوب القريبة جداً من السطح.

٦-٤- تطبيقات طريقة الاختبار بالأمواج فوق الصوتية

تطبق طريقة الاختبارات بالأمواج فوق الصوتية في مجالات كثيرة أهمها:

١. اختبار سلامة المواد المعدنية وغير المعدنية ذات الثخانات الكبيرة.
٢. قياس ثخانات المواد بدقة عالية استناداً إلى معرفة سرعة الصوت في المادة.
٣. تحديد مواضع التآكل وقياس مقداره في المواد المعرضة للتآكل.
٤. تحديد بعض الخواص الميكانيكية للمواد كتحديد قيمة إجهاد الخضوع (Yield stress) ومعامل المرونة (Modulus of elasticity).
٥. اختبار جودة اللحامات في السفن وخطوط النفط والغاز في المفاعلات النووية.

٦-٥- لمحة تاريخية عن طريقة الاختبار بالأمواج فوق الصوتية

أصبح توليد واستخدام الأمواج الفوق صوتية ممكنا باكتشاف الأثر الكهربي الضغطي لبعض المواد. تم هذا الاكتشاف على أيدي الأخوة كوري عام ١٨٨٠ وقد أعلنوا أنه إذا تم قطع شرائح معينة من بلورات محددة فإنها تولد جهدا كهربائيا إذا تعرضت لضغط ميكانيكي.

بعد سنة وضع ليبمان نظرية التأثير العكسي : أي أنه يمكن توليد تغير في الشكل (اهتزاز) إذا زودنا البلورات بشرارة كهربائية، وقد اقترح ليبمان أن هذه البلورات يمكن استخدامها لتوليد اهتزازات بتزويدها بجهد متناوب مناسب أو لتوليد إشارات كهربائية متناسبة مع الاهتزازات الميكانيكية المقدمة للبلورة. ويمكن مشاهدة تطبيقات كثيرة حاليا لهذه النظرية منها الميكروفون، ورأس المسجلات الصوتية.

هناك عدة عوامل أدت إلى تطور تقنية صدى النبضة من بينها كارثة تيتانيك عام ١٩١٢. ونمت هذه الفكرة بشكل حقيقي بتأثير حرب الغواصات في الحرب العالمية الأولى. كما أن تطور الرائي والرادار خلال الثلاثينيات وأول الأربعينيات قدم لنا أنبوب الأشعة المهبطي والذي نستطيع بواسطته قياس الزمن الفاصل الصغير جدا والمهم جدا في البحث عن العيوب .

كما أعطانا ذلك بعض الدارات الإلكترونية والتقنيات المستخدمة حاليا في جهاز كشف العيوب.

إذن فإن التأثير الكهربي الضغطي المكتشف بواسطة الأخوة كوري ومبادئ صدى النبضة التي طورت من أجل صدى الموضع البحري وأنبوب الأشعة المهبطي والرادار كل ذلك قاد بشكل مباشر العالم الفيزيائي سبر ول لتطوير أول كاشف عيوب بطريقة صدى النبضة وذلك عام ١٩٤٢.

ولكن يبقى سوكولوف من روسيا هو أول من كتب تقريراً عن تجارب استعمل فيها مرسلات من بلورات الكوارتز لتوليد اهتزازات فوق صوتية في المعادن وذلك عام ١٩٢٩. وقد دلت نتائج تلك التجارب أنه من الممكن استخدام الأمواج الفوق صوتية بدلا من الأشعة السينية لكشف العيوب.

إن أعمال سوكولوف ومولوسر من ألمانيا كانت تعتمد على تقنية الأمواج المستمرة والتي تسبب أصداء متداخلة مما يجعل هذه التقنية غير مناسبة.

واستمرت هذه المشكلة في إعاقة تطور كشف العيوب الفوق صوتي إلى أن طور سبرول تقنية صدى النبضة.

بعد الحرب العالمية الثانية تبين أن كلاً من تروست وغوتز من ألمانيا وفيرستون من الولايات المتحدة الأمريكية، قد طور وبشكل منفصل عن الآخر نظاماً مماثلاً لجهاز (سبرول) .

في عام ١٩٤٧ طور سبرول مرسلا للأمواج العرضية الذي يمكن الأمواج الصوتية من الدخول إلى العينة

بزوايا ميل مختلفة دون أن تولد إشارات زائفة. ومنذ ذلك الحين بقيت مبادئ كشف العيوب بالترددات الفوق صوتية ثابتة ولكن التطور الكبير حصل في التجهيزات والإلكترونيات ومعالجة المعلومات.

إن فترة الخمسينيات كانت فترة تعلم وانتشار لأجهزة كشف العيوب بلا تطور كبير.

وفترة الستينيات أزاحت بعض الأعباء التي كان يعاني منها التقنيون بسبب كبر حجم الجهاز وذلك بتطوير جهاز كشف العيوب الصغيرة باستخدام الترانزيستور.

وفترة السبعينيات أعطت راحة أكثر بإنتاج كاشف عيوب يقوم ببعض التحليل.

واستمر هذا التطور في فترة الثمانينيات من حيث ارتفاع مستوى التقنية للأجهزة وإمكانها القيام بإعطاء التحليل والنتائج بواسطة ربطها مع الحاسوب.

وتابع هذا التطور حتى أيامنا هذه مع تطور تقنيات الأتمتة والتحكم وذلك لإضفاء المزيد من الدقة والسهولة في تنفيذ الاختبار من جهة وزيادة كفاءته وسرعة إنجازه من جهة أخرى.

٦-٦- مبادئ ومفاهيم في الصوت

٦-٦-١- الاهتزازات:

الموجات الصوتية هي عبارة عن اهتزازات الدقائق في الغازات أو السوائل أو الأجسام الصلبة.

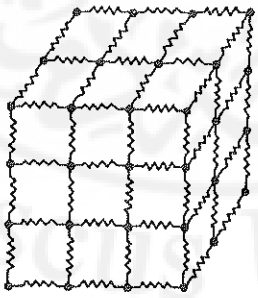
تهتز الدقائق حول موضع متوسط وعدد المرات التي تقوم بها الجزيئة الواحدة في الثانية تدعى تواتر الاهتزاز، ويعبر عنه بدورة لكل ثانية أو ما يسمى بالهرتز [Hz] كما يرمز له بـ (f)، لكي يهتز أي جسم يجب تحقيق شرطين أساسين:

أ – الكتلة:

يجب أن يتوافر شيء مادي ليتحرك، حيث لا تنتشر الأمواج الصوتية في الخلاء.

ب ـــ المرونة :

يجب أن توجد قوة مرجعة تحاول دوماً إعادة الكتلة إلى وضعها الأساسي.



الشكل (٦-٢) مخطط رمزي لبنية الجسم الصلب المرن

٦-٦-٢- الطيف الصوتي:

ذكرنا فيما سبق أن الأمواج الصوتية عبارة عن اهتزاز دقائق غازية، سائلة أو صلبة وما الصوت الذي نسمعه إلا اهتزاز لدقائق الهواء، ولهذه الاهتزازات تواتر ومطال، نميز تواتر الاهتزاز بطبقة الصوت والمطال بارتفاع الصوت وعلى كل حال آذاننا غير حساسة للاهتزازات عند أي توتر ولكنها تستجيب فقط لاهتزازات ذات مجال تواتر محدد، يؤخذ هذا المجال عادة من ١٦ دورة في الثانية إلى ٢٠٠٠٠ دورة في الثانية، ويقال عنها إنها ضمن المجال المسموع أما الاهتزازات التي أعلى من (٢٠٠٠٠) دورة في الثانية فهي ضمن المجال فوق المسموع، أخيراً الاهتزازات ذات التوتر الأقل من١٦ دورة/الثانية تعتبر ضمن المجال تحت المسموع.

يمكن للكلاب أن تسمع حتى تواتر ٢٥٠٠٠ دورة في الثانية وهو تواتر غير مسموع أما الخفافيش فيمكنها أن تسمع بين ٥٠٠٠ إلى ١٢٠٠٠٠ دورة في الثانية والذي يقع ضمن المجال فوق المسموع.

لدى اختبار البيتون في الأمواج فوق الصوتية يستخدم مجال التواتر بين ٢٥٠٠٠ إلى ٢٥٠٠٠٠ دورة في الثانية أما في حالة اختبار المواد المعدنية نطبق عليها تواترات أعلى ما بين (٠،٥ مليون إلى ٢٠ مليون) دورة في الثانية. والمجالات الأغلب شيوعا المستخدمة لكشف الأنواع المختلفة للعيوب فهو ضمن المجال ٢ مليون إلى ٥ مليون دورة في الثانية.

٦-٦-٣- الطول الموجي :

الطول الموجي هو المسافة λ التي تقطعها الموجة في وسط الانتقال (المادة المختبرة) خلال المدة الزمنية التي يستغرقها المصدر المهتز لإتمام دورة كاملة ويكون لجزيئات الوسط التي تبعد عن بعضها مسافة λ لها نفس حالة الاهتزاز (لها المطال نفسه مع فرق في الطور قدره 2π) .

٦-٦-٤- التردد الموجي :

التردد الموجي هو عدد الدورات أو الذبذبات الكاملة في الثانية الواحدة ويرمز له بـ f .

ويحسب بالعلاقة $\lambda = v/f$ وذلك بدلالة سرعة الموجة v وطول الموجة λ .

٦-٦-٥- الممانعة الصوتية:

تسمى مقاومة الوسط (المادة) لانتشار الأمواج فوق الصوتية فيه بالممانعة الصوتية ويرمز لها بـ Z .

وتحسب بالعلاقة $Z = \rho.v$ وذلك بدلالة سرعة الموجة v وكثافة المادة (أو كتلتها النوعية) ρ .

يلاحظ في حال كون السطح البيني بين غاز / صلب أن معظم الطاقة تنعكس، وبالتالي نحصل على حساسية عالية عند كشف على الكسور ونقص الانصهار والفقاعات الهوائية التي في المادة، وذلك لأن

الممانعة الصوتية للهواء أصغر بكثير من الممانعة الصوتية للحديد. وهذا يؤدي من جهة أخرى لظهور مشكلة الهواء عند إرسال نبضة صوتية من محول الطاقة إلى العينة الغرض لذا نضع مادة ما بين محول الطاقة والعينة ذات ممانعة صوتية أعلى من الهواء هذه المادة تدعى بالوسط الناقل وغالباً ما تكون سائلاً.

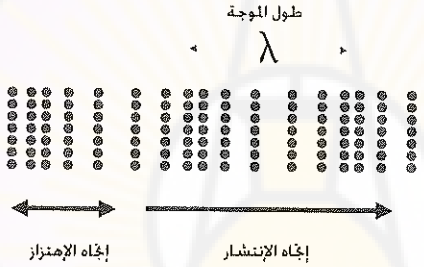
من المواد الشائعة المستعملة لهذا الغرض (غليسرين، ماء، سوارفيغا، زيت، بولي سيل، الشحم، كيروسين).

٦-٦-٦- الأمواج فوق الصوتية:

تقسم أنواع الأمواج فوق الصوتية بحسب اتجاه اهتزاز جزيئات الوسط نسبة إلى جهة انتشار الموجة بهذا الوسط إلى الأنماط التالية:

أ- الأمواج فوق الصوتية الطولية Longitudinal Waves (الشكل ٦-٣):

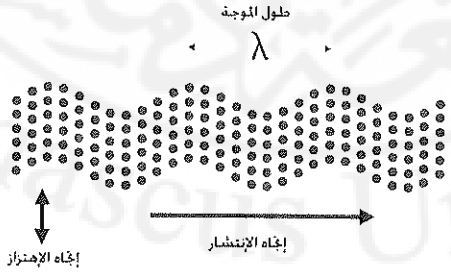
وتسمى أيضاً أمواج الضغط حيث تنتشر في الوسط المختبر على شكل مناطق ضغط ومناطق تخلخل متتالية وتكون جهة انتشارها مطابقة لجهة اهتزازات جزيئات الوسط وتنتشر الأمواج فوق الصوتية الطولية في الأوساط الصلبة والسائلة والغازية.



الشكل (٦-٣) انتشار الأمواج فوق الصوتية الطولية .

ب- الأمواج فوق الصوتية العرضية Transveres Waves (الشكل ٦-٤):

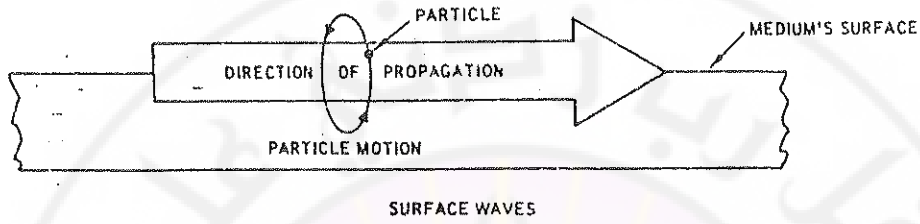
وتنتشر في الأجسام الصلبة فقط إذ يحتاج انتشارها إلى وجود ترابط متين مرن بين جزيئات (الوسط) الجسم الذي تنتشر فيه على خلاف الأجسام السائلة والغازية وتسمى أيضاً أمواج القص وتتعامد جهة انتشار الموجة العرضية مع جهة اهتزاز جزيئات الوسط.



الشكل (٦-٤) انتشار الأمواج فوق الصوتية العرضية .

ت- الأمواج فوق الصوتية السطحية Surface Waves (الشكل ٦-٥):

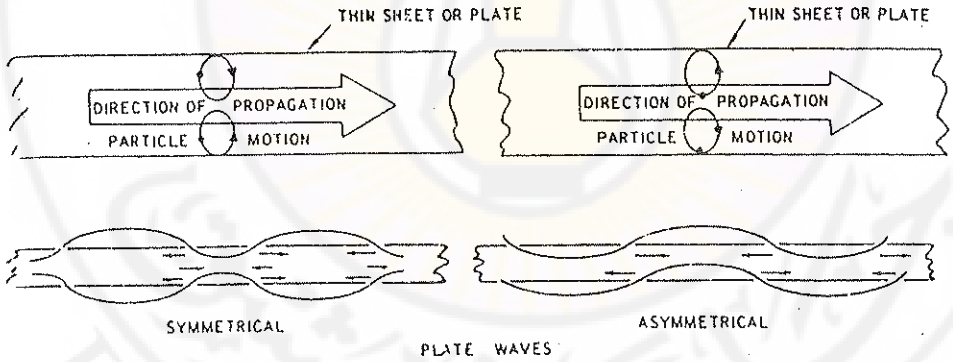
تنتشر الأمواج السطحية في الطبقات السطحية للأجسام الصلب والتي تفصل هذه الأجسام عن الوسط الغازي أو عن طبقة رقيقة من الوسط السائل وترسم جزيئات الطبقة السطحية مسار قطع ناقص في أثناء اهتزازها.



الشكل (٦-٥) انتشار الأمواج فوق الصوتية السطحية .

ث- الأمواج فوق الصوتية الصفائحية Plate Waves (الشكل ٦-٦):

وتسمى أمواج لامب أيضاً وهي تنتشر في الجسم كله وتكون ثخانة (سمك) الجسم صغيرة ولا تزيد عن ثلاثة أضعاف طول الموجة، وتنتشر الموجة عبر سطحي اللوح (الصفيحة) يصاحبها اهتزاز جزيئات وقد تكون على هيئة موجات متناظرة أو غير متناظرة كما هو موضح في الشكل (٦-٥).



الشكل (٦-٥) انتشار الأمواج فوق الصوتية الصفائحية .

٦-٦-٧- سرعة الموجة :

وهي سرعة انتقال الطاقة الصوتية في الوسط وتمثل المسافة المقطوعة في وحدة الزمن ويرمز لها v .

تعتمد سرعة انتقال الأمواج الطولية والعرضية والسطحية على مسافة الوسط (المادة) التي تنتقل فيه ومرونة ذلك الوسط ولا تتعلق سرعة انتشار الأمواج فوق الصوتية بتردد الموجة أو أبعادها، فعلى سبيل المثال إن سرعة انتشار الأمواج الطولية والعرضية في فولاذ قوالب المعايرة هي $3250\ m/s$ و $5920\ m/s$ على

التوالي أي أن سرعة الأمواج العرضية تساوي نصف سرعة الأمواج الطولية تقريباً.

يبين الجدول (٦-١) قيم الكثافة وسرعة الأمواج فوق الصوتية الطولية والعرضية وكذلك الممانعة الصوتية لأهم المواد التي تختبر بالأمواج فوق الصوتية.

الجدول (٦-١) الكثافة وسرعة الأمواج فوق الصوتية الطولية والعرضية والممانعة الصوتية لبعض المواد

المادة	الكثافة $(10^3)Kg/m^3$	سرعة الأمواج الطولية $(10^3)m/s$	سرعة الأمواج العرضية $(10^3)m/s$	الممانعة الصوتية $(10^3)Kg/m^2.s$
ألومنيوم	٢,٧	٦,٣٢	٣,١٣	١٧
نحاس	٨,٩	٤,٧	٢,٢٦	٤٢
فولاذ	٧,٧	٥,٩	٣٠,٢٣	٤٥
زجاج بلاكسي	١,١٨	٢,٧٣	١,٤٣	٣,٢
زيت محرك	٠,٨٧	١,٧٤	-	١,٥
ماء	١	١,٤٨٣	-	١,٥

٦-٦-٨- سلوك الأمواج فوق الصوتية:

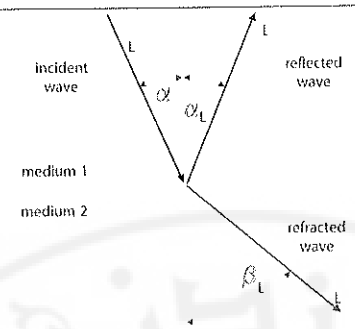
كما هو الحال بالنسبة للضوء فإن الأمواج الصوتية يمكن لها أن تنعكس وتنكسر وتتشتت عند سقوطها على سطوح الأجسام المختلفة، وفي حالة انعكاس الأمواج فوق الصوتية فإن زاوية سقوط الأمواج تساوي زاوية انعكاسها وبغض النظر عن شدة الأمواج أما في حالة الانكسار فإن حزمة الأمواج فوق الصوتية تغير اتجاه سيرها بما يعرف انكسارها، وعندما لا تتوافر متطلبات قوانين الانعكاس أو الانكسار فإن الأمواج فوق الصوتية يمكن أن تتعرض لتغير في اتجاهها وهو ما يعرف بالتشتت.

عندما ترد موجة طولية على السطح الفاصل بين جسمين مختلفين في ممانعتهما، بزاوية (α) مع العمود على السطح كما هو مبين بالشكل (٦-٦) فإن جزءاً من طاقة الموجة سينعكس بزاوية α_L تساوي إلى زاوية الورود أي أن

$$\sin\alpha = \sin\alpha_L$$

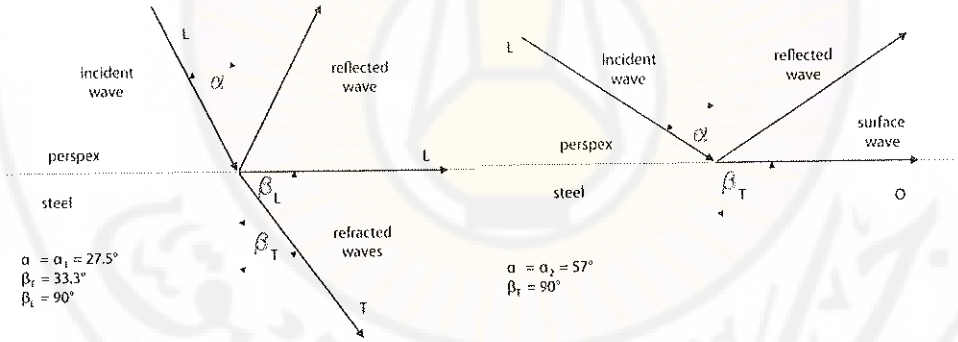
أما بقية الطاقة الواردة فسوف تعبر إلى الوسط الثاني بزاوية انكسار β_L وذلك بسبب اختلاف سرعة الصوت بين الوسطين الأول والثاني وحسب قانون سنل نكتب:

$$\frac{\sin\alpha}{v_1} = \frac{\sin\beta_L}{v_2} \Rightarrow \beta_L = \sin^{-1}\left(\frac{v_2.\sin\alpha}{v_1}\right)$$



الشكل (٦-٦) تحولات الأمواج فوق الصوتية على السطوح الفاصلة بين الأجسام

كما يتولد عند السطح البيني جزء من طاقة القص (موجة عرضية) تعبر الوسط الثاني بزاوية انكسار مختلفة عن الزاوية السابقة والسبب في ذلك هو اختلاف السرعة ما بين الأمواج الطولية والأمواج العرضية. نلاحظ أنه لأجل زوايا ورود صغيرة يكون مطال الموجة العرضية صغيراً ويمكن إهماله أما مع زيادة زاوية الورود سوف تزداد زاوية الانكسار حتى تصبح (90°) درجة، وبالتالي سوف يكون هناك فقط موجة عرضية في الوسط الثاني قيمة زاوية الورود الموافقة لهذه الحالة تسمى بالزاوية الحرجة الأولى حيث ينتشر في الوسط الثاني الموجة العرضية المنكسرة فقط.



الشكل (٦-٧) زاوية الورود الحرجة الأولى و الثانية على السطح الفاصل بيرسبيكس/حديد

وتسمى زاوية السقوط التي توافق زاوية انكسار موجة عرضية موازية للسطح الفاصل بين الوسطين أي 90° بالزاوية الحرجة الثانية حيث ينتشر في الوسط الثاني الأمواج السطحية فقط. وعند زيادة هذه الزاوية عن قيمة الزاوية الحرجة الثانية تنعكس كامل الموجة.

لقد وجد أن الزاوية الحرجة الأولى على السطح البيني بيرسبكس إلى الفولاذ تساوي 27.5° أما الزاوية الحرجة الأولى الثانية فهي 57°

٦-٦-٩- حزمة الأمواج فوق الصوتية:

تسمى منطقة انتشار الأمواج فوق الصوتية المتولدة من المجس إلى داخل المادة المختبرة بحزمة الأمواج.

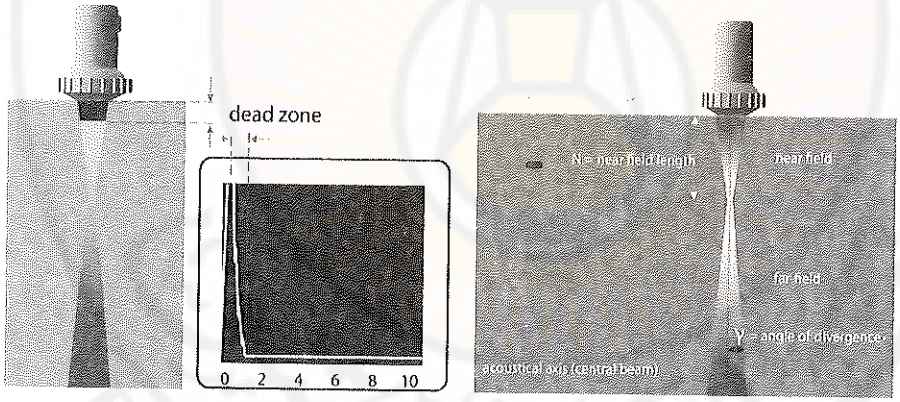
يبين الشكل (٦-٨) انتشار الأمواج فوق الصوتية الصادرة عن مجس دائري على شكل مخروط رأسه في مركز وجه المجس، ويتكون الحقل الصوتي بمجمله من أربع مناطق:

أ- المنطقة الغائبة Dead Zone: وهي تقع مباشرة أمام مدخل الأمواج داخل القطعة المختبرة وهي منطقة هامدة لا يمكن الكشف عن وجود العيوب فيها وتشكل بداية المنطقة القريبة

ب- المنطقة القريبة Near Zone: وهي الجزء القريب من المجس وتتميز بتناوب قيم الضغط والشدة الصوتية فيها من بين عظمى و دنيا على طول الحزمة وفي النقاط المختلفة للمقطع العرضي الواحد.

ت- المنطقة الانتقالية Transition Zone : وتشكل الجزء الفاصل ما بين المنطقة القريبة والمنطقة البعيدة

ث- المنطقة البعيدة Far Zone : تلي المنطقة الانتقالية من الحقل الصوتي المنطقة البعيدة وهذه المنطقة تبدأ من بعد ثلاثة أضعاف مسافة المنطقة القريبة أي تساوي 3N وتتميز بتباعد الأمواج فوق الصوتية بزاوية ثابتة واختفاء ظاهرة تداخل الأمواج فوق الصوتية .



الشكل (٦-٨) انتشار الأمواج فوق الصوتية الصادرة عن مجس دائري

ويتضح من شرح المناطق المختلفة للحقل الصوتي المنبعث من المجس، والذي ينتشر في الجسم المختبر أن المناطق المعرفة بالمناطق الغائبة والقريبة والانتقالية لا يصلح الاعتماد عليها في الكشف ولا يعول القياس فيها، ولكن يصلح استخدام المنطقة البعيدة فقط والتي عندها يبدأ الحقل الصوتي في الانتظام في قيمة ضغطه الصوتي مما يساعد على وجود حزمة صوتية تكون مهيأة للاستخدام في الكشف على الجسم ومن ثم يمكن الاعتماد على الإشارات المنعكسة من هذه المنطقة في تحديد حالة الجسم المختبر.

٦-٦-١٠- توهين الأمواج فوق الصوتية

أ- تشتت الأمواج فوق الصوتية :

تتشتت الأمواج فوق الصوتية عندما تنتشر خلال المواد الهندسية وذلك لخاصية عدم التجانس لهذه المواد وذلك لوجود شوائب وعيوب في المادة تساعد على زيادة التشتت (التبعثر).

وتؤدي خاصية البيئة المجهرية للمادة دوراً هاماً في التأثير على درجة التشتت الحادث من انتشار الحزمة الصوتية. فكلما زاد حجم حبيبات المادة زاد مقدار التمدد الحادث للحزمة الصوتية، وكذلك يساعد على التشتت أيضاً وجود ترسيبات على جدران حبيبات المادة

ومثال على ذلك هو التشتت الحادث لحزمة الأمواج عند انتشارها في عينة الحديد الزهر (الصلب) وذلك لوجود حجم حبيبات كبيرة ولوجود ترسيبات من الغرافيت موجودة ما بين حبيبات الحديد، ولدراسة تأثير البيئة البلورية على خصائص الحزمة الصوتية – فإذا تعرضت عينة مصنوعة من بلورة واحدة فإن سرعة الأمواج فوق الصوتية لهذه البلورة تختلف من محور إلى محور في البلورة.

وكما ذكرنا سابقاً إن المواد الهندسية المستخدمة تكون غير متجانسة في العادة أي متباينة الخواص وذلك لطبيعة تكونها من حبيبات تتناقص بطريقة عشوائية ولوجود أيضاً ترسيبات على جدران الحبيبات تساعد على تشتت حزمة الأمواج فوق الصوتية.

والمواد التي لها هذه الصفات ليس فقط تقلل من ارتداد إشارات الأمواج فوق الصوتية ولكن بسبب التشتت غالباً ما يحدث عدد من الإشارات الصغيرة التي يمكن أن تعطي أو تشوش على الإشارات الحقيقية.

ب- امتصاص الأمواج فوق الصوتية :

في أثناء امتصاص الأمواج فوق الصوتية في الجسم أو المادة فإنها تتعرض إلى مقاومة وهي ما يعرف الممانعة الصوتية والتي تعتمد على كثافة المادة وسرعة انتشار الأمواج الصوتية، وتعتمد أيضاً على معامل المرونة للمادة الجسم ونتيجة لهذه الممانعة الصوتية للمادة تفقد الحزمة الصوتية بعض طاقتها كلما توغلت في مادة الجسم، وهذه الطاقة المفقودة تتحول إلى طاقة حرارية بواسطة الاحتكاك، ونتيجة لذلك تنخفض قيم الضغط الصوتي بسبب الفقد الناتج من التشتت والامتصاص للأمواج فوق الصوتية ويظهر ذلك في وهن الأمواج فوق الصوتية كلما انتشرت في الجسم.

ج- فقدان الأمواج فوق الصوتية بسبب مادة الوسيط وخشونة السطح :

هناك عوامل أخرى تؤدي أيضاً إلى فقدان طاقة الأمواج الصوتية في أثناء بثها في الجسم المختبر، ومن أهم هذه العوامل : مادة الوسيط (مادة الربط) ، الذي يؤثر في قيمة الطاقة الذاتية التي تصل إلى الجسم المختبر فتختلف قيمة الطاقة المنتقلة وكذلك خشونة السطح فإن تأثيره يختلف باختلاف نوع المادة الوسيطة.

٦-٧- تقنيات الاختبار بالأمواج فوق الصوتية:

٦-٧-١- تقنية صدى النبضة Pulse-Echo Technique :

وتعد أوسع التقنيات استخداماً في الكشف عن العيوب حيث ترسل النبضات فوق الصوتية في الجسم المطلوب فحصه بواسطة مجس وترتد هذه النبضات لدى اصطدامها بالعيوب التي في المادة أو بالسطح الخلفي للجسم المختبر وتعود إلى المستقبل الذي هو نفسه المرسل وتعالج هذه النبضات بدوائر إلكترونية لتظهر على شاشة أنبوبة الأشعة المهبط (C.R.T) على شكل إشارات يعبر ارتفاعها عن طاقة الصدى وموقعها عن زمن مرورها في الجسم المختبر، وقد تكون هذه الإشارات دالة على الانقطاعات أو العيوب أو السطح الخلفي للجسم المختبر والتي تعكس بعض طاقة الأمواج فوق الصوتية، كما هوبالشكل ٦-٩.
ونستدل على موقع العيب في الجسم المختبر من موقع صدى العيب عن طريق العلاقة مع موقع صدى السطح الخلفي للجسم على شاشة أنبوبة الأشعة المهبطية (C.R.T) ونستدل من قوة نبضة على كل من صدى العيب وأبعاد العيب العاكس .

وتصنف تقنية صدى النبضة إلى :

✓ تقنية صدى النبضة بالتلامس المباشر :

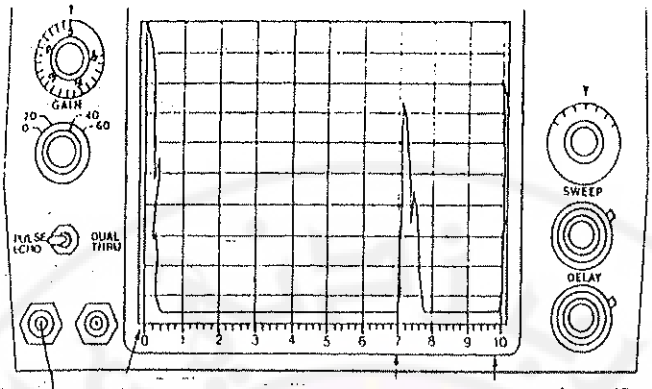
يكون المجس في هذه التقنية في حالة تلامس مباشر مع سطح الجسم المختبر يفصل بينهما طبقة رقيقة من السائل الرابط (الوسيط) بين سطح الجسم المختبر وسطح المجس وغالباً ما يكون المسح عند استخدام هذه التقنية يدوياً. ومن مساوئ هذه التقنية تأثر شدة الإشارة الظاهرة وتذبذبها على شاشة الجهاز من النبضات القادمة خلال المسح وسرعة المسح فتكون عادةً أقل من تقنية الفحص المغمور، كما هوبالشكل ٦-٩.

✓ تقنية صدى النبضة بالغمر :

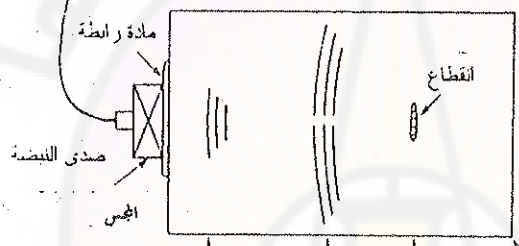
يغمر الجسم المختبر والمجس في الماء الذي يعمل كمادة وسيطة أو رابطة

من مزايا تقنية الفحص المغمور :

- المساعدة بسهولة على إرسال أمواج زاوية في الجسم المختبر بإدارة المجس بالنسبة لسطح الجسم المختبر.
- لا يلمس المجس السطح المختبر وبالتالي يمكن استخدام المجسات ذات الترددات العالية باستعمال شرائح بلورية رقيقة .
- يمكن تركيز الحزمة فوق الصوتية وزيادة الحساسية.
- تكون سرعة الاختبار أكبر بالمقارنة مع تقنية النبض — الصدى بالتلامس المباشر.

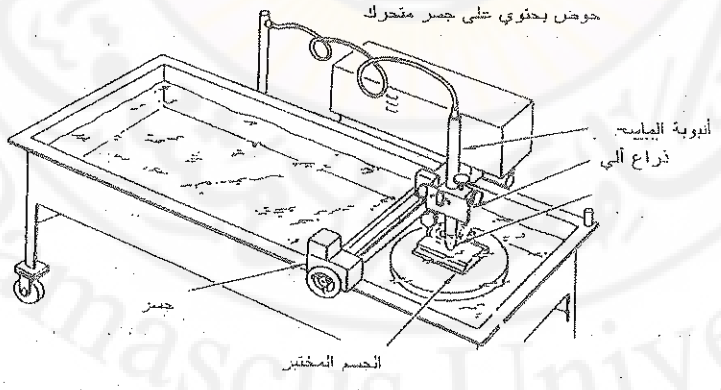


النبضة الأولية إشارة صدى الانقطاع إشارة صدى السطح الخلفي



السطح الخلفي على مسافة 10 in
انقطاع على عمق 7 in
الموجة الصوتية المنعكسة عن الانقطاع
الموجة الصوتية المنعكسة عن السطح الخلفي

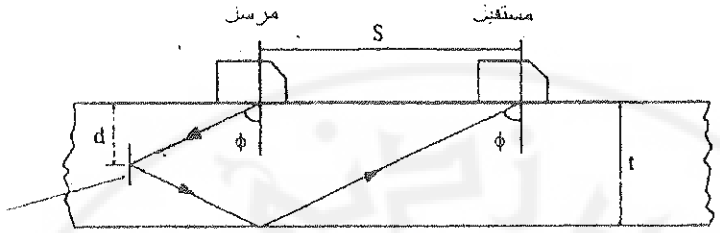
الشكل (٦-٩) مخطط تمثيل لتقنية صدى النبضة بالتلامس المباشر



الشكل (٦-١٠) تقنية صدى النبضة بالغمر

٦-٧-٢- تقنية المرسل – المستقبل Transmitter and Receiver:

ويستخدم في هذه التقنية مجسان زاويان أحدهما يرسل الموجة والآخر يستقبلها.



الشكل (٦-١١) تقنية المرسل – المستقبل

وهذه التقنية تتميز بأنها تصلح في الكشف عن الانقطاعات والعيوب التي تكون في اتجاه لا يمكن عنده التقاط الصدى المنعكس من ذلك العيب باستخدام التقنيات الأخرى، حيث يتشتت الصدى بعيداً عن المجس، وتعرف هذه العيوب بالعيوب المستوية وتكون ذات اتجاهات عمودية (أو أقرب ما تكون للعمودية) على سطح الجسم المختبر.

فلا يظهر على الشاشة أي إشارة تدل على العيوب المستوية ذات الاتجاه العمودي، وقد تم استنباط هذه التقنية لكشف العيوب فالمجس المرسل لحزمة الأمواج يوضع على مسافة معينة من المجس المستقبل الذي سيلتقط الصدى من ذلك العيب وهذه المسافة تعتمد على كل من زاوية المجس واتجاهه وسمك (ثخانة) الجسم المختبر.

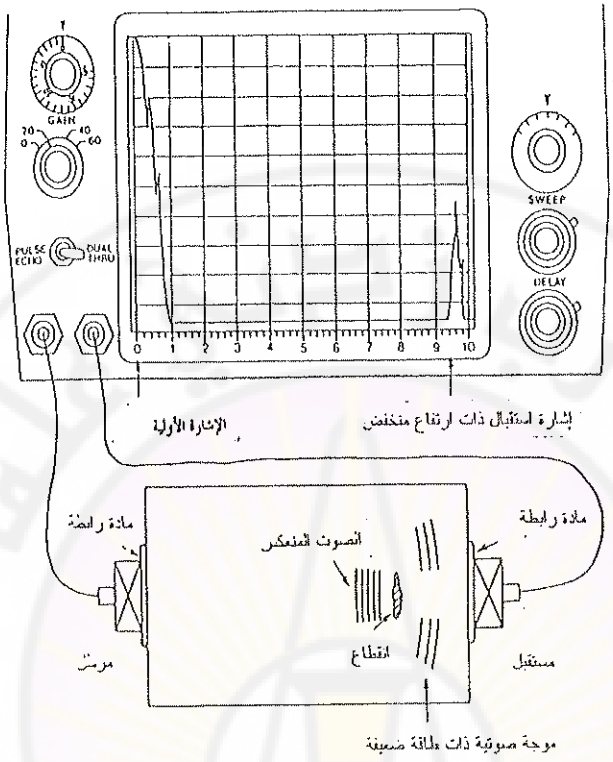
٦-٧-٣- تقنية النبضات النافذة :

يستخدم في هذه التقنية مجسان أحدهما يرسل الأمواج فوق الصوتية في الجسم المختبر والآخر يستقبل ويستدل من مقدار مطال الموجة المستقبلة (الإشارة المستقبلة) على أبعاد العيب الموجود في الجسم المختبر ولا نستطيع في تقنية انتشار النبضات النافذة تحديد موقع العيب في الجسم المختبر ولكننا نستدل على ذلك من انخفاض شدة إشارة النبضة النافذة على أبعاد هذا العيب.

٦-٧-٤- تقنية الطنين (الرنين) :

وتعتمد هذه التقنية على إحداث الطنين (الرنين) عندما تكون ثخانة الجسم المختبر مساوية لنصف طول الموجة الصوتية المرسلة في الجسم أو من مضاعفات نصف طول الموجة فإذا كان بالإمكان تغيير التردد المرسل فيمكن إحداث حالة الطنين ومن ثم حساب ثخانة الجسم.

وفي هذه التقنية يتم بث أمواج فوق صوتية ذات تردد متغير ويضبط التردد حتى يكون نصف طول الموجة الصوتية المرسلة أو مضاعفات نصف طول الموجة مساوياً بسمك الجسم المختبر مما يسبب حالة طنين.



الشكل (٦-١٢) تقنية النبضات النافذة

٦-٨- أشكال ونماذج بث حزمة الأمواج فوق الصوتية:

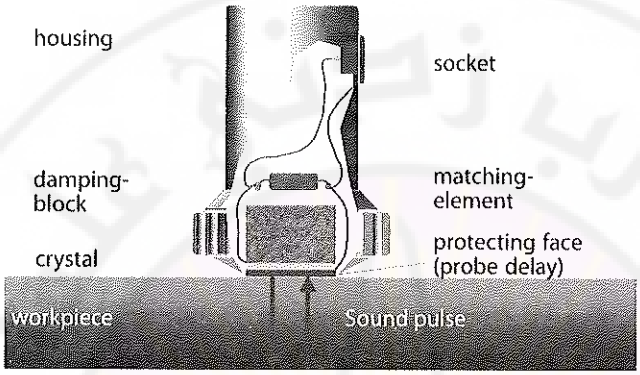
وهناك أشكال ونماذج مختلفة لإرسال الأمواج فوق الصوتية في الجسم المختبر منها على سبيل المثال :

٦-٨-١- نموذج بث الحزمة العمودية:

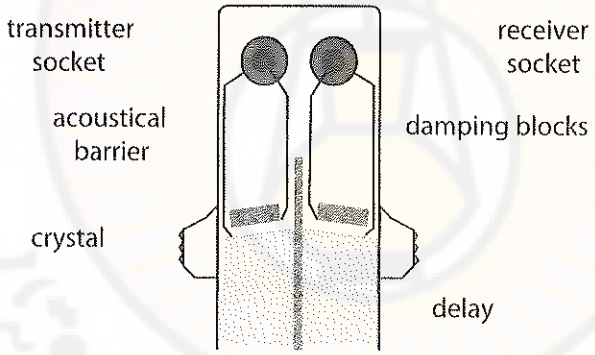
ترسل الأمواج فوق الصوتية في نموذج بث الحزمة العمودية بشكل عمودي على السطح المختبر ويمكن أن يستخدم مجس عمودي أحادي البلورة أو ثنائي البلورة، ويقوم المجس أحادي البلورة بإرسال الأمواج فوق الصوتية إلى الجسم المختبر واستقبال الأصداء من العواكس المختلفة في الجسم المختبر ولكن يحول عرض النبضة المرسلة الكبير من استخدام المجس العمودي أحادي البلورة في فحص عيوب الشخانات الرقيقة حيث إن عرض النبضة المرسلة وكذلك المجال القريب والغائب المسافة N لا تساعد على إجراء استبيان الانقطاعات في هذه الحالة لأن المجس ذا الحزمة العمودية تبدأ مقدرته على الكشف عند مسافة تبعد 3N عن سطح المجس ذي أجل هذا ويتم استخدام المجس ذي الحزمة العمودية ثنائية البلورة حيث ترسل إحدى

البلورات الأمواج في الجسم والبلورة الأخرى تستقبل الموجة المنعكسة وذلك في عملية الكشف عن الانقطاعات الموجودة في الجسم المختبر ذي الثخانة الرقية.

ونموذج بث الحزمة العمودية له المقدرة على الكشف على الانقطاعات ذات الاتجاهات الموازية لسطح المسح أو القريبة من هذا الاتجاه.



الشكل (٦-١٣) المجس العمودي أحادي البلورة

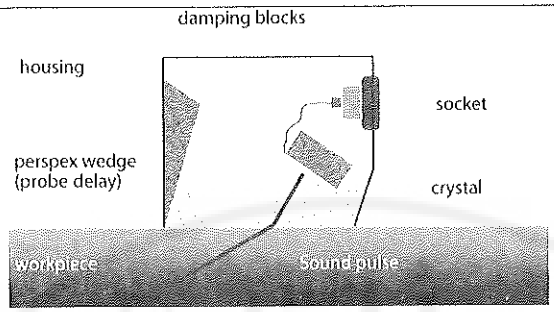


الشكل (٦-١٤) المجس العمودي ثنائي البلورة

٦-٨-٢- نموذج بث الحزمة الزاوي :

تستخدم هذه التقنية في إرسال الأمواج فوق الصوتية إلى الجسم المختبر ضمن زاوية محددة بالنسبة لسطح الجسم المختبر وحسب زاوية إرسال الأمواج فوق الصوتية ويمكن أن تنتشر في الجسم المختبر الأمواج فوق الصوتية الطولية والعرضية أو العرضية فقط أو السطحية فقط.

وعادةً تستخدم مجسات ذات زاوية لترسل موجة عرضية فقط في الجسم المختبر بزوايا مختلفة مثل ٤٥، ٦٠ و ٧٠ وخاصة عند اختبار الملحومات لتحديد سلامتها.



الشكل (٦-١٥) المجس المائل

وهناك مجسات خاصة أقل استخداماً مثل تلك التي تستخدم لتوليد الأمواج فوق الصوتية السطحية و المجسمات الزاوية ثنائية العنصر وكذلك المجسمات التي تستخدم في تقنية الاختبار بالغمر بالمياه وغيرها من المجسمات.

٦-٩- أجهزة الكشف عن العيوب بالأمواج فوق الصوتية Ultrasonic Flew Detectors

تنتج نماذج عديدة من أجهزة الكشف عن العيوب بالأمواج فوق الصوتية منها ما هو مزود بشاشة أنبوبة الأشعة المهبطية ومنها ما هو مزود بشاشة رقمية وهناك نماذج تحتوي كل شاشة أنبوبة أشعة مهبطية وشاشة رقمية .

وتختلف أيضاً أجهزة الكشف عن العيوب بالأمواج فوق الصوتية حسب طريقة إظهار العيوب على شاشة أنبوبة الأشعة المهبطية، حيث يمكن التمييز بين ثلاثة نماذج رئيسية لإظهار نتائج الاختبار:

٦-٩-١- تمثيل المسح A – (A – Scan Representation)

المسح الذي تظهر فيه الإشارات المستقبلة على أشعة أنبوبة الأشعة المهبطية على هيئة طيف يمثل فيه الأحداث أساس الطاقة المنعكسة الأحداث والمختبرة .

٦-٩-٢- تمثيل المسح B – (B – Scan Representation)

وفيه تمثل النبضات الصوتية المستقبلة على شاشة الأشعة المهبطية المسقط الأفقي لتقاطع المستوى الرئيسي الموازي لمسار المجس العمودي على سطح العينة.

٦-٩-٣- تمثيل المسح C – (C – Scan Representation)

تكون البيانات ممثلة على شاشة الأشعة المهبطية على هيئة مسقط أفقي للعينة المختبرة وفي هذه الحالة لا توجد دلالات على عمق الإشارات الصوتية.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل السابع

طريقة الاختبار بالتصوير الإشعاعي

Radiography Method

٧-١- مقدمة :

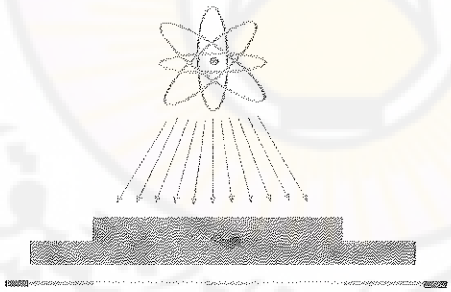
بدأ تاريخ الأشعة مع المقالة الشهيرة للعالم الألماني رونتغن Roentgen الأشعة السينية (أشعة إكس - X-rays) والتي تحمل عنوان "On A New Kind of Rays" (أي بعد أقل من شهرين على الصورة التي التقطها ليد زوجته -شكل (٨-١)-) والمقدمة إلى "Wurzburg Physical Medical Society" في ٢٨ ديسمبر ١٨٩٥ ثم استخدم رونتجن أشعته في تصوير بندقية وكانت تلك الصورة أول تطبيق رائد للأشعة السينية استطاع بها رونتغن أن يضع نقطة البداية لاستخدام الأشعة السينية كطريقة اختبار لا إتلافي ذات قيمة غير محدودة في الصناعة. في أيامنا هذه أصبح التصوير الإشعاعي أداة رئيسية في الفحص والتطوير الصناعي إذ يستخدم في المساكب المعدنية وفي شركات اللحام كما يدخل بشكل أساسي في عمليات تشييد محطات الطاقة الكهربائية وأوعية الضغط (المراجل) وفي مد خطوط أنابيب البترول وفي بناء الجسور والسفن. وتعد طريقة التصوير الإشعاعي من أهم طرائق الاختبارات اللاإتلافية في الكشف الدوري عن الطائرات والمركبات الفضائية والمنشآت ذات الطابع الخطر كالمحطات النووية.

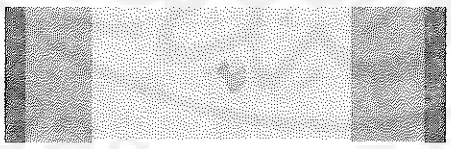
تقوم طريقة التصوير الإشعاعي على تسليط حزم من أشعة سينية أو من أشعة غاما على الجسم المراد اختباره والموضوعة بين منبع الأشعة وفلم التصوير كما هو مبين في الشكل رقم (٧-٢)، حيث تمتص الأشعة بعد مرورها في الجسم المختبر جزئياً، ويكون مقدار الامتصاص متناسباً مع طبيعة الجسم ووجود الانقطاعات والعيوب فيه، فينخفض امتصاص الأشعة بشكل يتناسب مع وجود الفراغات والعيوب في الجسم وبالتالي يزيد مقدار الأشعة النافذة إلى الفلم الذي يتحسس بشدة الإشعاعات النافذة من الأجزاء المختلفة للمادة مما يؤدي إلى تشكل صورة يتم إظهارها بتحميض الفلم بشكل مناسب فيظهر على الفلم مساحات بتدرجات رمادية تتناسب مع شدة الأشعة النافذة وبالتالي مع التفاصيل الداخلية للجسم المختبر.

تستخدم في التصوير الإشعاعي الصناعي أجهزة توليد الأشعة السينية نظراً لمزاياها العديدة، ويلجأ أحياناً إلى الاستعاضة عن هذه الأجهزة بمنابع إشعاعات غاما بخاصة عند تعذر الحصول على مصادر التغذية الكهربائية اللازمة لأجهزة توليد الأشعة السينية أو عند تصوير المصبوبات أو المواد ذات الثخانات الكبيرة والأوزان الذرية المرتفعة التي لا يمكن تصويرها بواسطة أجهزة الأشعة السينية التقليدية محدودة الطاقة.



الشكل (٧-١) صورة إشعاعية لزوجة رونتجن





Top view of developed film

الشكل (٧-٢) الاختبار بطريقة التصوير الإشعاعي

٧-٢- مزايا طريقة الاختبار بالتصوير الإشعاعي

١. تعطي سجلاً دائماً عن حالة القطعة المختبرة.
٢. تكشف عن العيوب السطحية والداخلية .
٣. يمكن اختبار عدد كبير من العينات المتماثلة بتعريض واحد.
٤. تكشف بسهولة عن العيوب الحجمية داخل العينات المختبرة.
٥. لا تؤثر حالة السطح كالخشونة ووجود طبقات الدهان على نتيجة التصوير.

٧-٣- مساوئ حدود طريقة الاختبار بالتصوير الإشعاعي

١. يتطلب تطبيق الطريقة الوصول إلى سطحين من المادة المراد فحصها.
٢. لا يمكن تحديد عمق العيب بواسطة تعريض واحد.
٣. ليس من السهل كشف الكسور ذات الشخانات الضعيفة المتعامدة على مسارات الأشعة.
٤. يتطلب تطبيقها احتياطات أمان ووقاية من الإشعاع.
٥. تعتبر هذه الطريقة ذات كلفة مرتفعة، حيث يتطلب تطبيقها استخدام العديد من المواد كالأفلام ومواد التحميض.

٧-٤- مبادئ في فيزياء الإشعاع:

٧-٤-١- الذرة:

تتكون المواد الموجودة في الطبيعة بكافة أشكالها سواء كانت صلبة أم سائلة أم غازية من عنصر أو أكثر من العناصر الأساسية المكونة للمادة والتي يزيد عددها على مائة عنصر. بعض من هذه العناصر نادر الوجود وينتج من خلال التفاعلات النووية ولكن أغلبها كالنحاس والكربون والأوكسجين والحديد والنتروجين شائع الانتشار. يدعى الجزء الأصغر من العنصر والذي يحتفظ بخصائص هذا العنصر بالذرة. يمكن للذرات أن تتحد لتشكل ما يعرف باسم الجزئيات وهذه يمكن أن تكون مكونة من ذرات عنصر واحد أو من ذرات عنصرين أو ذرات عدة عناصر بحيث تشكل المواد الموجودة في الطبيعة كلها. فمثلاً يتكون غاز الهدروجين الطبيعي من جزيئات الهدروجين H_2 وكل منها نشأ عن اتحاد ذرتين من الهدروجين $2H$. وتتألف جزيئة الماء من ذرتين من الهدروجين وذرة من الأوكسجين H_2O.

٧-٤-٢- تركيب المادة:

تتألف الذرات على اختلاف أنواعها من :

١- كتلة مركزية تدعى النواة والتي تتكون من نوعين من الجسيمات تدعى البروتونات والنيترونات
٢- عدد من الإلكترونات تستقر على مدارات محددة حول النواة.

يكون البروتون عادة مشحوناً بشحنة موجبةوالإلكترون بشحنة سالبة وأما النيترون فهو عديم الشحنة، وتختلف ذرات عنصر ما عن ذرات عنصر آخر بعدد البروتونات وعدد الإلكترونات الموجودة فيها. فذرة الهدروجين تحتوي على بروتون واحد في النواة و إلكترون يدور حولها. أما ذرة لهليوم فتتألف من نواة تحتوي على بروتونين ونيترونين ومن إلكترونين يدوران حول النواة. يزداد عدد البروتونات والنيترونات في النواة بزيادة الوزن الذري للعنصر فنواة اليورانيوم، وهو تقريباً أثقل عنصر في الطبيعة، تضم ١٤٦ نيتروناً و ٩٢ بروتوناً. بشكل عام يكون عدد البروتونات في نواة الذرة مساوياً لعدد الإلكترونات المدارية بحيث تكون شحنة الذرة معتدلة.

٧-٤-٣- المدارات الإلكترونية:

تمثل الذرة بنواة مركزية تدور حولها الإلكترونات في مستويات مختلفة. إن الذرة في غالبيتها عبارة عن فراغ حيث أن قطر مدار الإلكترون لذرة الهدروجين مثلاً أكبر بعشرة آلاف مرة من قطر النواة المركزية، ويعد وزن الذرة كلها مساوياً تقريباً وزن نواتها فقط وذلك لأن وزن الإلكترون أصغر بألفي مرة تقريباً من وزن البروتون أو النيترون، تم ترميز المستويات التي تدور بها الإلكترونات برموز K للمستوى الأقرب للنواة و L للمستوى الذي يليه M و N وهكذا...، إن عدد الإلكترونات التي يمكن لها أن تشغل مستوى ما هو عدد محدود فمثلاً يمكن للمستوى K أن يشغل فقط بإلكترونين بينما يمكن للمستوي L أن يشغل بـ ٨ إلكترونات والمستوى M بـ ١٨ إلكترون. فإذا، ولسبب ما، تم طرد إلكترون من مدار داخلي في ذرة ثقيلة فإنه سوف يتم ملئ مكانه مباشرة من قبل إلكترون يدور في مدار أعلى، ويؤدي قفز الإلكترون من مستوى أعلى إلى مستوى أدنى إلى تحرير طاقة على شكل أشعة كهرمغنطيسية تدعى بالأشعة السينية (X –Rays).

٧-٤-٤- العدد الذري Z:

هو عدد البروتونات في النواة الذرية وهو الذي يحدد بنية وخصائص العنصر الكيميائية فمثلاً تحتوي ذرة الكربون على (٦) بروتونات وتحتوي ذرة الآزوت على (٧) بروتونات.

٧-٤-٥- العدد الكتلي A:

وهو مجموع عدد البروتونات والذي يعبر عنه بالعدد الذري Z بالإضافة لعدد النترونات N المكونة للنواة

$$A = Z + N$$

لبيان العدد الذري والعدد الكتلي لأي عنصر من العناصر الكيميائية تكتب صيغة العنصر الكيميائي ويكتب على يمينها العدد الذري والعدد الكتلي في الأسفل و الأعلى على الترتيب كما هو على سبيل المثال عنصر الأوكسجين O_8^{16}

٧-٤-٦- النظائر:

تتحدد بنية وخصائص الذرة الكيميائية لعنصر ما بعدد البروتونات الموجودة في النواة ويؤدي حدوث أي تغير في عدد البروتونات فيها لنشوء ذرة ذات بنية وخصائص مختلفة وبالتالي نشوء عنصر جديد. ولكن من الممكن لعدد النيترونات N في الذرة أن يتغير دون أن يؤدي إلى تغيير في الخواص الكيميائية للعنصر وبالتالي يمكن لعنصر ما أن يتكون من ذرات مختلفة في العدد الكتلي وهذه الذرات تدعى بالنظائر. تتماثل نظائر عنصر ما في خواصها الكيميائية وذلك لاحتواء ذراتها على عدد متماثل من البروتونات والإلكترونات وتختلف في خصائصها الفيزيائية نظراً لاختلاف عدد النيترونات في نوى ذراتها. هناك عدد قليل من نظائر العناصر الكيميائية تتوافر في الطبيعة كاليورانيوم ٢٣٥ U_{92}^{235} و اليورانيوم ٢٣٨ U_{92}^{238} ومن الممكن في الأغلب تشكيل نظائر العناصر الكيميائية الأخرى عن طريق تنشيط ذرات تلك النظائر بالنيترونات في المفاعلات النووية.

٧-٤-٧- النشاط الإشعاعي:

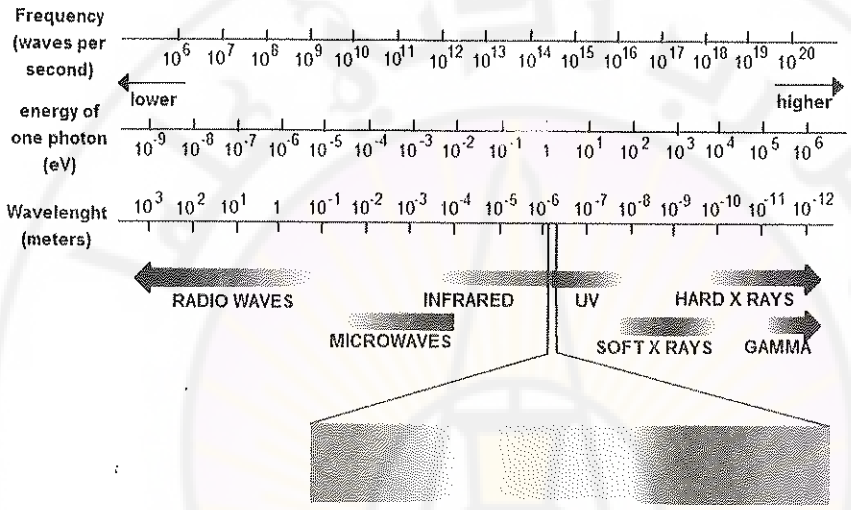
يقال عن عنصر ما أو نظير بأنه مشع إذا كانت ذراته غير مستقرة ويقال عنه أنه غير مشع إذا كانت ذراته مستقرة.

يكون العنصر مستقراً إذا كانت ذراته مؤلفة من عدد من البروتونات والنيترونات والإلكترونات المتآلفة بشكل لا يسمح للذرة بأن تتغير أو تفقد أي من الجسيمات التي تحتويها. بينما يكون العنصر مشعاً أو غير مستقر إذا كانت ذراته غير مستقرة وتسعى هذه الذرات لأن تصبح مستقرة وذلك بإعادة ترتيب الجسيمات المكونة لها ويتم ذلك بإحدى الطرق التالية:

- تحرير جسيم أو أكثر مكون من بروتونين ونيترونين يدعى بجسيم ألفا α.
- تحرير إلكترونات سريعة تدعى جسيمات بيتا β وهذه الجسيمات تنشأ عن النواة وليس عن الإلكترونات المدارية وذلك بتحول النيترون، إلى بروتون وإطلاق إلكترون.
- تحرير النيترونات

ويترافق تحرير أحد الجسيمات المذكورة أعلاه مع تحرر طاقة بشكل إشعاعات كهرطيسية غير مرئية والتي تشكل جزءاً من طيف الأشعة الكهرطيسية.

تعتبر الأشعة السينية وأشعة غاما شكلاً من أشكال الأشعة الكهرطيسية كالضوء المرئي، إلا أن طول موجاتها قصيرة جداً من مرتبة 1/10000 من طول موجة الضوء المرئي أو أقل، وبالتالي فإن طاقة الأشعة السينية وأشعة غاما كبيرة تساعدها على اختراق الأجسام التي تعكس أو تمتص الضوء العادي ويبين الشكل (٨-٣) جزءاً من الطيف الكهرطيسي.



الشكل (٧-٣) جزء من الطيف الكهرطيسي

٧-٤-٨- التأين:

تحدث ظاهرة التأين عندما يتم انتزاع إلكترون من الذرة أو من الجزيء وذلك عند اصطدام فوتون أشعة بأحد إلكترونات المادة التي يخترقها مؤدياً إلى طرد الإلكترون من مداره إلى خارج الذرة وذلك بإعطائه جزءاً من طاقته مسبباً تشكل أيون موجب، للذرة أو للجزيء، وأيون سالب وهو الإلكترون الذي تم طرده.

٧-٤-٩-توهين إشعاعات X و γ

تؤدي عمليات امتصاص وارتداد إشعاعات X وإشعاعات γ عبر المادة إلى انخفاض شدة الحزمة الإشعاعية التي تخترقها وتكون شدة الحزمة الإشعاعية النافذة متناسباً طرداً مع الشدة الأساسية للحزمة وعكساً مع المسافة التي تقطعها الحزمة في المادة ويمكن التعبير عن ذلك رياضياً كما يلي:

$$I = I_o e^{-\mu x}$$

حيث:

I_0 الشدة الأساسية للحزمة

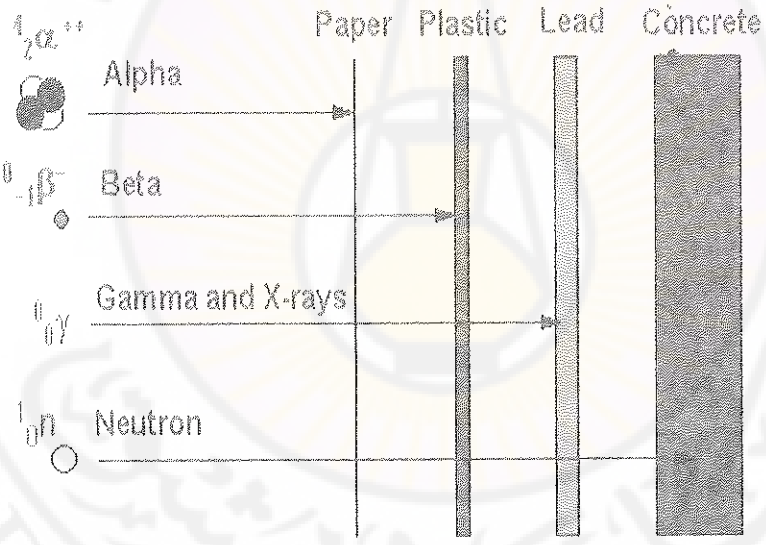
x المسافة التي تقطعها الأشعة في المادة

μ ثابت الامتصاص الخطي للمادة

I شدة الحزمة النافذة.

٧-٤-١٠-شدة المنابع الإشعاعية:

في الوقت الذي يمكن فيه إيقاف إشعاعات ألفا وبيتا بشكل كامل بواسطة مواد الحجب الإشعاعي فإنه لا يمكن باستخدام مواد الحجب الإشعاعي إيقاف إشعاعات X وإشعاعات γ والنيترونات "شكل (٧-٤)" بشكل كامل وإنما يمكن تخفيفها إلى مستويات مقبولة وغير خطرة حيث تكون سماكات الحجب الإشعاعي متناسبة مع شدة المنبع المشع.



الشكل (٧-٤) حجب الأنواع المختلفة من الأشعة

إن ذرات المادة المشعة غير المستقرة تقوم بتحرير جسيمات وإشعاعات غاما لكي تصبح مستقرة ويسمى ذلك بالتفكك الإشعاعي ويحدد العدد الوسطي للتفككات في وحدة الزمن ما يسمى نشاط المنبع. يقاس النشاط بوحدة الكوري (Curie) $[Ci]$ (الضخمة) أو بيكريل (Becquerel) $[Bq]$

(الصغيرة) وهما ترتبطان بعدد التفككات في الثانية (Disintegration per Second) $[D/s]$ وفق العلاقات:

$$[Ci]=37.10^9[D/s]=37.10^9[Bq]$$

٧-٤-١١-النشاط الإشعاعي النوعي:

يستخدم مصطلح النشاط النوعي لتحديد قيمة النشاط الإشعاعي للمنبع مقدراً بالكوري في الغرام الواحد فمثلاً إذا كان لدينا ٤ غرامات من مادة كوبالت ٦٠ ذات نشاط $100[Ci]$ فإن النشاط النوعي للمنبع هو $25[Ci/g]$

٧-٤-١٢-أثر الأشعة على النسج الحية:

تتألف النسج الحية من خلايا تحتوي على معادن وسوائل وبروتين وسكريات تكون مع بعضها في وسط مائي ضمن غشاء وهذه الخلايا ذات عمر محدد تموت عند نهاية عمرها وينشأ مكانها خلايا جديدة بفعل ظاهرة انقسام الخلايا. تؤثر فوتونات الأشعة المؤينة على هذه الخلايا وتعمل على تخريبها وذلك بتأين ذرات محتوياتها، وتعمل ظاهرة التأين هذه على تخريب الخلايا الحية (وخاصة عندما يزيد عدد الذرات المؤينة في الخلية عن حد معين) وينتج عن أفعال التخريب أو التأين هذه أحد التأثيرات التالية:

- تغير بنية الخلية.
- إفقاد الخلية مقدرتها على الانشطار الخلوي.
- جعل الانشطار الخلوي للخلية غير طبيعي.

ليست أجهزة توليد الأشعة السينية والنظائر المشعة المصدرة لإشعاعات ألفا وبيتا وغاما المصادر الوحيدة للإشعاعات المؤينة إذ يتعرض الإنسان بشكل دائم إلى إشعاعات مؤينة قادمة من الفضاء تدعى بالإشعاعات الكونية إلا أن نسبة التأين الناتج عن هذه الإشعاعات في خلايا الجسم غير كافية لإحداث الضرر فيها وذلك بسبب قدرة خلايا الجسم على ترميم نفسها ذاتياً عند عدم تجاوز التأين فيها عن حد معين.

يمكن أن يكون التعرض الإشعاعي بأحد شكلين إما خارجياً أو داخلياً حيث يمثل التعرض الإشعاعي الخارجي التعرض الذي يتلقى فيه الجسم الفوتونات أو إشعاعات ألفا أو بيتا انطلاقا من مصادر تقع خارج جسم الإنسان كأجهزة توليد الأشعة السينية والنظائر المشعة، وأما التعرض الداخلي للإشعاع فيكون عند دخول المواد المشعة إلى داخل جسم الإنسان عن طريق الاستنشاق أو عن طريق الابتلاع أو عن طريق تلوث الجروح في الجلد بالمواد المشعة.

من الواضح بأنه من المستبعد حدوث التلوث الداخلي في أثناء التعامل مع مصادر الأشعة المستخدمة في التصوير الإشعاعي مثلاً، هذا ويمكن تحديد الأضرار التي يكمن أن يلحقها التلوث الداخلي في الجسم وفقاً لنصف عمر النظير المشع والذي يمكن أن يكون وفق ثلاثة مفاهيم سنبينها بالفقرات اللاحقة.

يختلف تحسس الخلايا وتأثرها بالأشعة تبعا لنوعها إذ إن بعض هذه الخلايا شديد الحساسية للأشعة بينما يكون البعض الآخر في أماكن أخرى من الجسم قليلة التأثر ونبين فيما يلي لائحة مختصرة لأنواع مختلفة من الخلايا تم ترتيبها وفقا لشدة تأثرها بالإشعاعات:

١-خلايا الدم البيضاء

٢-خلايا الدم الحمراء

٣-خلايا القناة الهضمية

٤-خلايا الأعضاء المولدة للخلايا (الكبد – نقي العظام ...)

٥-خلايا النسيج الجلدي والعظم والعضلات والخلايا العصبية.

من خلال اللائحة المذكورة يمكن أن نستنتج ظهور الدلائل الأولى للتعرض الإشعاعي من خلال التغير الذي يحدث على خلايا الدم بعد تعرضها للأشعة وبالتالي يمكن من خلال الاختبارات الدورية لعينات الدم المأخوذة من العاملين القائمين على العمل في المجال الإشعاعي التأكد من تعرض أو عدم تعرض العاملين لجرعات مفرطة من الأشعة.

تقسم الآثار البيولوجية الناجمة عن إفراط التعرض للأشعة إلى قسمين:

- تأثيرات جسدية: والمقصود بها التأثيرات الفيزيائية على الجسم.
- تأثرات تناسلية: وهذه التأثيرات تنتقل إلى الأجيال القادمة وفقا لمبادئ علم الوراثة.

في الوقت الذي يعرف الكثير عن التأثرات الجسدية للأشعة فإنه لا يعرف إلا القليل عن التأثيرات التناسلية. فمثلا تسبب الجرعات الواردة في الجدول (٧–١) والتي تعرض لها أشخاص خلال عملهم في المجال الإشعاعي لمدة ٢٤ ساعة وعلى كامل الجسم الأعراض التالية:

الجدول (٧-١) أثر الجرعات الممتصة خلال ٢٤ ساعة على الجسم البشري

الجرعة الممتصة في كامل الجسم خلال ٢٤ ساعة (REM)	الأعراض
حتى (٢٥)	أثار لا يمكن كشفها
(٢٥ – ٥٠)	تغيرات طفيفة ومؤقتة في خلايا الدم
(١٠٠)	تعب وإقياءات
(٢٠٠ – ٢٥٠)	أضرار كبيرة في خلايا الجسم
(٥٠٠)	الجرعة التي تسبب موت ٥٠% من المعرضين لها

يتضح مما تقدم أنه من غير الممكن تحديد واكتشاف الأضرار الناجمة عن جرعات إشعاعية تصل إلى ٢٥ رم امتصها الجسم خلال فترة زمنية قصيرة بينما من الممكن اكتشاف الآثار الناجمة عن الجرعة الواقعة ما بين (٢٥ –٥٠) رم من خلال تحليل الدم والكشف عن التغيرات التي طرأت عليه.

تدعى الفترة الزمنية الواقعة ما بين لحظة التعرض للأشعة ولحظة ظهور الأعراض بالفترة الكامنة فمثلا تظهر أعراض امتصاص جرعات إشعاعية بحدود ٢٠٠ رم بعد أسبوع من تاريخ التعرض ويتجلى ذلك عن طريق سقوط الشعر والإصابة بالإسهالات وفقدان الشهية.

تتعلق شدة الأضرار التي تحدث في الجسم بقيمة الجرعة التي يتلقاها وتعتبر الجرعة التي يتلقاها الجسم خلال فترة زمنية طويلة أقل خطراً عليه من الجرعة التي تلقاها دفعة واحدة، وذلك بسبب مقدرة خلايا الجسم على ترميم الأضرار الناجمة عن إصابتها بالأشعة فيما لو أعطي لها الوقت الكافي لذلك، ويؤدي العمر دوراً حاسماً في مقدار الضرر الناجم عن تعرض الفرد للأشعة، فمثلاً يكون الفرد ذو العمر ١٣ عاماً أكثر تضرراً من فرد آخر ذي عمر ٢٥ عاماً عند تعرضهما لذات الجرعة، ومن هنا فقد نصت القواعد الدولية على منع من يقل أعمارهم عن ١٨ عاماً من العمل في الأماكن التي يتم فيها التعرض للأشعة وإلزام الشركة أو المؤسسة ا لمنفذة لأعمال التصوير الإشعاعي على ضمان عدم تلقي أي من الأفراد من ذوي الأعمار الأقل من ١٨ عاماً من الذين يزاولون التدريب لديها لجرعة تزيد عن 10% من الجرعة المسموح بها وكذلك تخفض قيمة الجرعة المسموحة للنساء الحوامل عن الحد المسموح به وأخيراً يؤدي الاختلاف في الطبيعة البيولوجية بين الأفراد للتباين في مقدار الضرر الناتج عن التعرض للأشعة، فقد تؤدي جرعة إشعاعية مرتفعة إلى قتل فرد في الوقت الذي قد لا تؤدي إلى قتل فرد آخر.

وفي النهاية لا بد من الإشارة إلى وجود ستة متغيرات تؤثر على مقدار الضرر الناجم عن الجرعة الإشعاعية في الفرد وهذه المتغيرات هي:

- مساحة منطقة الجسم المتعرضة للإشعاع.
- نوع العضو المتعرض للإشعاع.
- المدة الزمنية التي تم خلالها تلقي الجرعة.
- عمر ا لفرد المتعرض للإشعاع.
- الطبيعة البيولوجية للفرد.
- قيمة الجرعة الممتصة في الجسم.

٧-٤-١٣-عمر النصف للنشاط الإشعاعي:

هي المدة الزمنية اللازمة لكي يفقد عنصر مشع نصف نشاطه الإشعاعي وتختلف هذه الفترة الزمنية من عنصر مشع إلى عنصر مشع آخر ويعد طول هذه المدة عاملاً يميز مادة مشعة ما عن سواها.

يمكن حساب عدد الذرات المشعة N المتبقية بعد انقضاء عدة أدوار بالعلاقة التالية:

$$N = \frac{N_o}{2^n}$$

حيث:

N_o العدد الأساسي للذرات المشعة، n (عدد الأدوار).

٧-٤-١٤-عمر النصف البيولوجي:

وهو الزمن الذين يتم فيه طرد نصف المواد المشعة التي دخلت إلى الجسم بنتيجة التلوث الإشعاعي إلى خارج الجسم على شكل فضلات.

٧-٤-١٥-عمر النصف الفعال:

وهو الزمن اللازم للتخلص من نصف المواد المشعة التي في الجسم عن طريق كل من نصف العمر المتعلق بالنشاط الإشعاعي ونصف العمر البيولوجي.

٧-٤-١٦-معامل التأثير الإشعاعي البيولوجي:

يختلف تأثير الأشعة على النسج الحية وفقا لنوعها وأثرها البيولوجي على النسج الحية.

ويبين الجدول (٧ – ٢) معامل التأثير الإشعاعي البيولوجي RBE لكل نوع من الأشعة:

الجدول (٧-٢) قيم معامل التأثير الإشعاعي البيولوجي

نوع الأشعة	معامل RBE
أشعة سينية أو أشعة غاما	١
إشعاعات بيتا	١
إشعاعات ألفا	٢٠
النيترونات السريعة	١٠

٧-٤-١٧-معايير التعرض الإشعاعي:

تستخدم وحدة الرونتغن لقياس قيمة التعرض للأشعة السينية أو أشعة غاما، ويستند مفهوم الرونتغن على مبدأ التأين الذي تحدثه فوتونات الأشعة في ذرات الهواء مؤدية إلى نشوء أيونات ذات شحنة موجبة وأخرى ذات شحنة سالبة، ويمكن قياس عدد الأزواج الأيونية من خلال شدة التيار التي تنتجها (ويستخدم هذا التيار في حساب التعرض في مقاييس المسح الإشعاعي).

وبالتحديد فإن الرونتغن [R] هو قيمة الإشعاعات في الهواء الجاف والتي تحدث ما مقداره 2.083×10^6 زوجاً من الأيونات (أو ما يعادل وحدة الشحنة الكهربائية الساكنة) في السنتمتر المكعب من الهواء. ونظرا لضخامة هذه الوحدة غالبا ما تستخدم وحدة الميلي رونتغن [mR] لقياس مقدار التعرض الإشعاعي الشخصي.

هذا وتستخدم واحدة الراد التي تربط بين وحدة الرونتغن والآثار البيولوجية التي تحدثها الأشعة في النسج الحية والراد هو وحدة الجرعة الممتصة من الأشعة من قبل الخلايا الحية في جسم الإنسان. ومن أجل الحسابات العملية يعتبر التعرض لـــ ١ رونتغن من الأشعة السينية أو أشعة غاما في الهواء مكافئ لجرعة ممتصة في النسج الحية قيمتها ١ راد.

تعد الجرعات الإشعاعية الناتجة عن أي تعرض غير مبرر للأشعة بأنها جرعات زائدة حتى ولو لم تتجاوز قيمتها الحد المسموح به ويتم في هذا المجال التمييز بين قيمة الجرعة المسموحة للعاملين فيه. وقد درج على استخدام السيفرت (SV) في حساب الجرعات الإشعاعية ونظراً لكبر هذه الواحدة التي تساوي إلى ١٠٠رم فإنه غالباً تستخدم وحدة الميلي سيفرت (msv).

حددت هيئة التنظيم النووي السورية وبشكل مماثل للجرعات المحددة في المعايير البريطانية قيمة الجرعة الأعظمية المسموح بها للعاملين في المجال الإشعاعي ولكامل الجسم بمقدار 20mSV/Y وبحيث لا تزيد على 50mS/V في السنة وعلى أن لا تتجاوز في أي حال من الأحوال متوسط الجرعات على مدى خمس سنوات الـــ 20mSV/Y.

حددت هيئة التنظيم النووي السورية الجرعة الأعظمية المسموح بها لغير العاملين في المجال الإشعاعي بمقدار mSV/Y ويمكن السماح بقيمة أكبر من ذلك في ظروف خاصة، حتى 5mSV/Y على أن لا يتجاوز في أي حال من الأحوال متوسط الجرعات على مدى خمس سنوات عن 5mSV/Y.

٧-٤-١٨-الجرعة البيولوجية

يستفاد من وحدة RAD ومعامل الـــ RBE في إيجاد قيمة الجرعة البيولوجية أو الأثر الذي تحدثه الجرعة في خلايا الجسم الحية وهذا ما يعرف بـــ REM أو REM = RAD ×RBE.

ويأخذ في الحسبان الزمن الذي تم فيه التعرض للجرعة الإشعاعية حيث تستخدم مثلا وحدة رم في الساعة [REM /h] كوحدة بيولوجية لقياس معدل الجرعة.

يتم في التصوير الإشعاعي الصناعي استخدام الأشعة السينية أو أشعة غاما ولذا تتساوى وحدة الرونتغن مع وحدة الـــ REM وذلك لأن RBE=1.

٧-٤-١٩-معدل الجرعة:

يعبر عن معدل الجرعة المعياري لكافة النظائر المشعة بالرونتجن في الساعة لكل كوري وذلك على مسافة مقدارها متراً واحداً $[R/h/Ci]\ at\ 1\ m$.

الجدول (٧-٣) معدل الجرعة المعياري للنظائر المشعة

العنصر المشع	$[R/h/Ci]$ at 1 ft	$[R/h/Ci]$ at 1 m
الكوبالت ٦٠	١٤,٥	١,٣٥
إيريديوم ١٩٢	٥٩	٠,٥٥
السيزيوم ١٣٧	٤,٢	٠,٣٤
الثوليوم ١٧٠	٠,٠٣	٠,٠٠٣

٧-٤-٢٠-طاقة الأشعة:

يستخدم في التصوير الإشعاعي الصناعي نوعان من الأشعة هما الأشعة السينية وأشعة غاما وليس لهذه الإشعاعات المذكورة كتلة أو وزن ولا يمكن الشعور بوجودها بحواسنا الطبيعية، تقاس طاقة الأشعة السينية وأشعة غاما بوحدة الإلكترون فولت أو مضاعفاته مثل الكيلو إلكترون فولت [Kev] أو الميغا إلكترون فولت [Mev].

ويعرف الإلكترون فولت بأنه كمية الطاقة التي يكتسبها الإلكترون عندما يتم تسريعه بفرق جهد مقداره فولت واحد.

يتألف طيف الأشعة السينية من مجال واسع من الطاقات وذلك لأن الكبح يتم بأشكال وطاقات مختلفة إضافة إلى عدم إمكانية تسريع كافة الإلكترونات إلى القيمة العظمى لفرق الجهد المطبق بين مصعد ومهبط أنبوبة توليد الأشعة السينية (هناك عدد كبير من الاحتمالات التي يتم بها تفاعل الإلكترون مع الذرية لتوليد الأشعة السينية). وخلافاً لذلك ينتج النظير المشع إشعاعات γ ذات طاقة وحيدة أو عدة طاقات محددة تماماً وذلك وفقاً لنوع النظير المشع، فمثلاً:

مهما يكن نشاط منبع كوبالت ٦٠ فإنه يصدر نوعين من الإشعاعات:

- إشعاعات ذات طاقة [Mev] 1.33.
- إشعاعات ذات طاقة [Mev] 1.17.

تتحدد طاقة إشعاعات غاما الصادرة من منبع مشع بنوع المنبع وتتحدد كثافة الإشعاعات الصادرة عنه بنشاط المنبع، في حين أن طاقة الإشعاعات السينية تتحدد بقيمة فرق الجهد المطبق على أنبوبة توليد الأشعة السينية وتتحدد كثافة هذه الإشعاعات بقيمة التيار المار في سلك التسخين داخل الأنبوبة.

ويبين الجدول (٧-٤) عدداً من الخصائص المميزة لبعض من العناصر المشعة المستخدمة في التصوير الإشعاعي الصناعي:

الجدول (٧-٤) الخصائص المميزة لبعض من العناصر المشعة المستخدمة في التصوير الإشعاعي الصناعي

العنصر المشع	عمر النصف	طاقة الإشعاعات المنطلقة [Mev]	
		جسيمات بيتا	إشعاعات غاما
C_{55}^{137}	30.1 Year	1.17 (8%) 0.51 (92%)	0.66
Co_{27}^{60}	5.3 Year	0.32	1.33 , 1.17
Ir_{77}^{192}	74.3 Day	0.672	0.6 , 0.47 , 0.31

٧- ٤-٢١-التدريع والوقاية من الإشعاع:

يتم الوقاية من الإشعاع عن طريق التحكم بثلاثة عوامل أساسية هي:

- ✓ الزمن: هي الفترة الزمنية التي يتم فيها التعرض للإشعاع فكلما زاد زمن التعرض للإشعاع ازدادت قيمة الجرعة الممتصة من قبل الجسم.
- ✓ المسافة: يتناقص التعرض للأشعة بشكل كبير كلما ازدادت المسافة بين العاملين في المجال الإشعاعي والمنبع المشع ويعبر عن ذلك بقانون التربيع العكسي والذي يبين العلاقة ما بين الشدة الإشعاعية والبعد عن المنبع:

$$I_1.X_1^2 = I_2.X_2^2$$

حيث إن :

I_1 شدة الأشعة عند المسافة X_1

X_1 المسافة عن المنبع (حيث شدة الأشعة I_1).

I_2 شدة الأشعة عند المسافة X_2

X_2 المسافة عن المنبع (حيث شدة الأشعة I_2).

تبين العلاقة على أنه في المناطق المفتوحة تتناقص شدة الأشعة والتعرض الإشعاعي بمقدار أربع مرات كلما تم زيادة المسافة عن المنبع المشع بمقدار الضعف

- ✓ التدريع أو الحجب: وهي الوسيلة الثالثة المستخدمة للوقاية من الإشعاع إذ تصطدم فوتونات الأشعة بذرات المادة محررة الإلكترونات التي تمتص فيها، ولهذا تستخدم المواد الصلبة كوسيلة تدريع بهدف امتصاص طاقة فوتونات الأشعة عن طريق تصادمها مع إلكترونات هذه المواد، وبمقدار ما تكون هذه المواد ذات وزن ذري كبير وكثافة عالية بمقدار ما تكون ذات فعالية أكبر في الحجب الإشعاعي.

يتم غالباً استخدام الرصاص أو الإسمنت أو كلاهما معاً كمواد حجب إشعاعي وتزداد سماكة المواد اللازمة للحجب الإشعاعي كلما زادت طاقة فوتونات الأشعة المراد الوقاية منها.

يتم الاستفادة هنا من مفهومي ثخانة الحجب التاليين:

- ثخانة حجب النصف: وهي ثخانة المادة التي تخفض شدة الأشعة إلى نصف قيمتها.
- ثخانة حجب 9/10 : وهي ثخانة المادة التي تخفض شدة الأشعة إلى عشر قيمتها

٧- ٤-٢٢-إنتاج النظائر المشعة:

على الرغم من وجود عدد من النظائر المشعة في الطبيعة فإن غالبية العناصر المشعة المستخدمة في الصناعة وفي الطب هي عبارة عن نظائر مشعة صنعية يتم إنتاج معظمها في المفاعلات النووية بطريقة التنشيط النيتروني وذلك بقذف نوى ذرات المواد غير النشيطة إشعاعياً بالنيترونات للتحول إلى ذرات غير مستقرة وبالتالي إلى نظائر نشيطة إشعاعياً. مثال: يتحول الكوبالت ٥٩ غير النشيط إشعاعياً، عند امتصاصه لنيترون إلى كوبالت ٦٠ النشيط إشعاعياً.

٧-٤-٢٣- الخصائص الأساسية للأشعة السينية وأشعة غاما:

تمتاز كل من إشعاعات X وإشعاعات γ بالخصائص التالية:

١. تخترق المواد على اختلاف أنواعها وتتعلق السماكة المخترقة بالأشعة لعينة ما بالعدد الذري لهذه العينة وكثافتها.
٢. تنتقل بمسارات مستقيمة.
٣. تؤثر على مستحلبات أفلام التصوير.
٤. تفلور العديد من المواد الكيميائية التي تمتص فوتونات الأشعة السينية وأشعة غاما وتحرر فوتونات ذات ترددات واقعة ضمن مجال الطيف المرئي.
٥. تمتلك خواص مشابهة لخواص الضوء المرئي.
٦. لا يمكن رؤيتها أو التحسس بها أو سماعها ولا يمكن كشفها بواسطة حواس الإنسان.
٧. تخرب الأنسجة الحية.
٨. تأين الغازات.

يمكن الاستفادة من الخواص ١ و٣ في إجراء التصوير الإشعاعي الصناعي كما يمكن الاستفادة من الخواص ٦ و٧ في العمل على تطوير طرائق الوقاية من الإشعاع أما الخاصة ٨ فيمكن الاستفادة منها في صناعة مقاييس المسح الإشعاعي أو مقاييس الجرعة الإشعاعية.

٧- ٤-٢٤-سماكة حجب النصف:

تتعرض فوتونات الأشعة السينية عند مرورها بالمادة إلى امتصاص طاقاتها وتصبح كثافة الأشعة بعد اجتياز سماكة معينة من المادة مساوية إلى نصف كثافتها عند سطح الدخول، وتدعى سماكة المادة التي يتم خلالها

تلاشي نصف فوتونات حزمة الأشعة المتجانسة بسماكة حجب النصف لهذه المادة بالنسبة لطاقة الأشعة المحددة الساقطة عليها، وبالتالي تنخفض كثافة الأشعة إلى النصف في المادة عند كل سماكة حجب النصف.

٧-٥- إجراءات الاختبار بالتصوير الإشعاعي باستخدام الأشعة السينية :

١. فحص العينة وتحديد عدد الصور الإشعاعية اللازمة وجهتها مع الأخذ بالحسبان رغبات طالب التصوير والجهاز المتوافر لدى القائم بالفحص والكودات المستخدمة.
٢. قياس سمك (ثخانة) العينة باتجاه حزمة الأشعة وتسجيلها.
٣. وضع الأسلوب التقنية المناسب لأخذ الصورة.
٤. اختيار حجم ونوع الفيلم المناسب إضافة إلى الكسيتة والشاشات في الغرفة المظلمة.
٥. وضع العينة على البعد المناسب وفي الجهة المناسبة أمام جهاز الأشعة.
٦. وضع الأحرف والأرقام الرصاصية على العينة من جهة مصدر الأشعة.
٧. وضع مقياس جودة الخيال (جودة الصورة) على العينة من جهة منبع الأشعة وكذلك مقياس التباين.
٨. وضع الفيلم الجاهز للتصوير في الموضع المراد تصويره خلف العينة.
٩. وضع الحواجز الرصاصية المناسبة حول العينة في حال الضرورة
١٠. التأكد من وضع موجة الحزمة في مكانه الصحيح على أنبوب الأشعة السينية.
١١. إغلاق غرفة التعرض.
١٢. تشغيل جهاز الأشعة من خلال جهاز التحكم عن بعد وذلك بعد اختبار الزمن والتيار وفرق الجهد المناسب.
١٣. إيقاف جهاز الأشعة بعد انتهاء زمن العرض وأخذ الفلم المتعرض.
١٤. إظهار الفلم عن طريق المعالجة بالمحاليل الكيميائية.
١٥. فحص الفلم على مبين الأفلام للتأكد من صحة التقنية أو الأسلوب المتبع في التصوير.

٧-٦- تقنيات التصوير الإشعاعي:

يمكن أن يتم التصوير الإشعاعي الصناعي باستخدام أحد تقنيتين نسبة لنوع الأشعة المستخدمة (إشعاعات X وإشعاعات γ) ولكل من هاتين التقنيتين مزاياها ومساوؤها التي سنبينها فيما يلي.

٧- ٦-١- التصوير الإشعاعي باستخدام أشعة γ :

في هذا النوع تستخدم النظائر المشعة والتي هي مصدر أشعة γ والتي أهمها:

- الكوبالت ٦٠: يتم إنتاجه في المفاعلات النووية وهو ذو عمر نصف مقداره (٥,٣) سنة.

- الإيريديوم ١٩٢: يتم إنتاجه أيضا في المفاعلات النووية وهو ذو عمر نصف مقداره (٧٥) يوم.

كما تستخدم بعض من النظائر المشعة الأخرى كالراديوم ٢٢٦ والسيزيوم ١٣٧ والايتربيوم ١٦٩ في بعض التطبيقات الخاصة.

يتم في التصوير الإشعاعي الصناعي استخدام النظائر المشعة لمزاياها التالية:

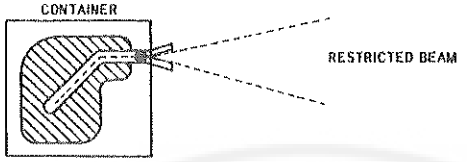
- تعتبر كاميرا التصوير الإشعاعي ذات النظير المشع أقل ثمنا من جهاز توليد أشعة سينية ذي طاقة مكافئة.
- إن حجم النظير المشع هو صغير بحيث يمكن إدخاله ضمن الأنابيب ذات الأقطار الصغيرة مما يسمح بالتصوير الإشعاعي الفراغي.
- لا تحتاج أجهزة التصوير بالنظائر المشعة إلى منابع تغذية كهربائية.
- يمكن باستخدام النظائر المشعة إجراء كلٌ من التصوير الفراغي والتصوير الموجه وذلك باستخدام محددات حزمة الأشعة.
- تمتاز إشعاعات بعض المنابع المشعة بقدرة اختراق عالية مما يسمح بتصوير المواد ذات السماكات الكبيرة.

وبالمقابل هناك بعض المساوئ في استخدام النظائر المشعة هي:

- تصدر النظائر المشعة الإشعاعات طوال الوقت عند التصوير الإشعاعي وعند عدم التصوير ولا يمكن إيقاف إصداراتها وذلك بخلاف أجهزة توليد الأشعة السينية.
- تعد الصور الإشعاعية المنفذة للعينات باستخدام النظائر المشعة ذات جودة أقل من مثيلاتها المنفذة باستخدام منابع الأشعة السينية وذلك بسبب انخفاض قيمة التباين للأجزاء المتجاورة ذات السماكات المختلفة.
- تعد مقدرة اختراق إشعاعات النظير المشع ثابتة ولا يمكن تغييرها لتتناسب مع سماكات المواد المراد تصويرها إشعاعياً.
- بشكل عام تكون سماكات الحجب الإشعاعي اللازمة للنظائر المشعة أكبر من مثيلاتها اللازمة لمنابع الأشعة السينية الأمر الذي يؤدي إلى زيادة تكلفة الحجب الإشعاعي.

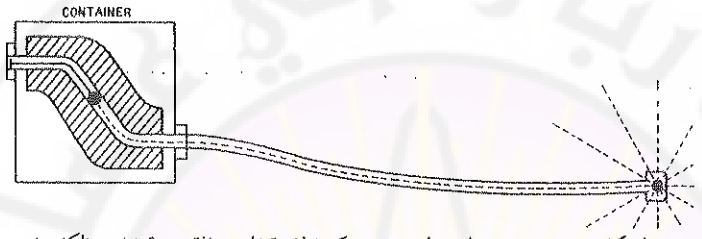
وجدنا أن منابع إشعاعات غاما هي منابع دائمة للإشعاع لذا تكون في غاية الخطورة، ويجب التعامل معها بحرص شديد من قبل فنيين مؤهلين ذوي معرفة مسبقة بموضوع الأمان والوقاية من الإشعاع وأن يكون تخزينها بشكل مغلق في حاويات رصاصية عند عدم استخدامها ويتم التحكم بأجهزة التصوير الإشعاعي عن بعد. وذلك وفقا لإحدى الطريقتين التاليتين:

١ – إزاحة المنبع المشع من مركز الحاوية إلى سطحها كما هو مبين بالشكل (٧–٥).



الشكل (٧–٥) إزاحة المنبع المشع من مركز الحاوية إلى سطحها

٢ – إزاحة المنبع المشع من مركز الحاوية إلى مسافة بعيدة خارج الكاميرا باستخدام كبل خاص مجهز لهذا الغرض كما هو مبين بالشكل (٧–٦).



الشكل (٧–٦) إزاحة المنبع المشع من مركز الحاوية إلى مسافة بعيدة خارج الكاميرا

تحدد قدرة الاختراق لإشعاعات غاما الصادرة عن نظير مشع ما بقيمة الكيلو إلكترون فولت الوسيطة لطاقات الأشعة الصادرة عنه.

تحدد طاقة النظير المشع وفقا للطاقة الوسيطة التي يصدرها بينما يتم تحديد طاقة إشعاعات X الصادرة عن أنبوبة توليد إشعاعات سينية وفقا لجهد الذروة المطبق ما بين المصعد والمهبط.

و لتحديد مقدرة نفوذ إشعاعات النظير المشع عبر المواد يتم عادة مقارنة طاقة النظير المشع بما يكافؤها من جهد الذروة لجهاز توليد إشعاعات سينية، يبين الجدول (٧– ٢) بعضاً من الخصائص الهامة للنظائر المشعة:

الجدول (٧–٢) خصائص بعض العناصر المشعة المستخدمة في التصوير الإشعاعي الصناعي

العنصر المشع	ايراديوم 192	سيزيوم 137	كوبالت 60
سوية الأشعة على مسافة متر $R/Ci.h$	0.5	0.45	1.5
الطاقة $[Mev]$	0.355	0.66	1.25
جهد جهاز الأشعة السينية المكافئ $[Mv]$	0.3 to 0.8	0.6 to 1.5	2 to 3
عمر النصف	75 days	30 years	5.3 years
سماكة النصف $[HVL]$ من الرصاص $[mm]$	5	8	13

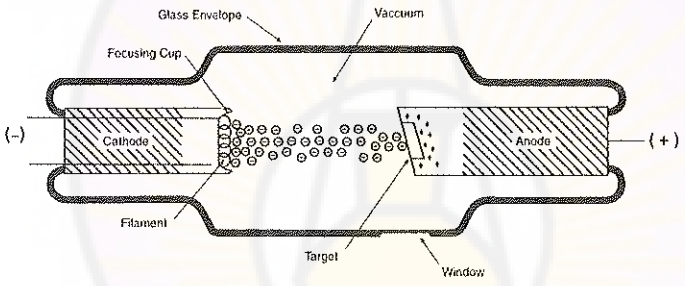
٧–٦–٢– التصوير الإشعاعي باستخدام أشعة X :

يتم توليد الأشعة السينية عندما تتخلى الإلكترونات الحرة المسرعة عن جزء من طاقاتها نتيجة لاصطدامها مع الإلكترونات المدارية للذرات أو نتيجة لاقترابها من نوى هذه الذرات وتزداد طاقة الأشعة السينية

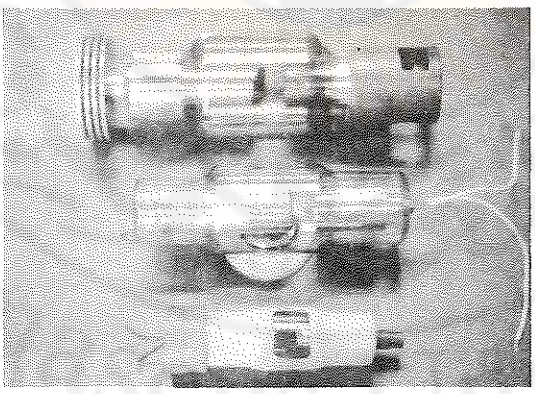
المتولدة طرداً مع زيادة سرعة الإلكترونات المسرعة، ويبين الشكل (٧-٧) مخططاً توضيحياً لمكونات أنبوبة توليد الأشعة السينية.

يتم الحصول على منبع الإلكترونات من خلال سلك من التنغستين مسخن إلى درجة حرارة عالية نتيجة لمرور تيار كهربائي فيه. ويتم تسريع الإلكترونات الناتجة إلى سرعات عالية بوضع شحنة موجبة على المصعد حيث تنجذب الإلكترونات بسرعة كبيرة إليه وتزداد سرعة انجذاب الإلكترونات إلى المصعد بمقدار زيادة قيمة الشحنة الموجبة. يتم وضع دريئة من مادة قادرة على تحمل درجات حرارة عالية وذات رقم ذري مرتفع كالتنغستين على المصعد لتلقي الإلكترونات المسرعة وإصدار الأشعة السينية.

تتألف أنبوبة الأشعة السينية من غلاف من الزجاج محكم الإغلاق ومفرغ من الهواء لأعلى درجة تفريغ يمكن الوصول إليها. يتولد نتيجة لاصطدام الإلكترونات المسرعة بمادة الدريئة طيف واسع من الإشعاعات السينية ذات طاقة عديدة ناتجة عن تخلي الإلكترونات المسرعة عن جزء من طاقاتها في أثناء مرورها في حقل ذرات الدريئة (ظاهر الكبح) وتحرير هذه الطاقات على شكل إشعاعات سينية.



a



b

الشكل (٧-٧) a-شكلاً توضيحياً لمكونات أنبوبة توليد الأشعة السينية b- أنابيب توليد أشعة سينية

ترتبط طاقة طيف الأشعة المستمر بفرق الجهد المطبق ما بين المصعد والمهبط، بينما ترتبط كثافة (شدة) حزمة الأشعة بعدد الإشعاعات الساقطة على وحدة المساحة في وحدة الزمن، حيث تتغير كثافة الأشعة الصادرة عند تغير فرق الجهد المطبق أو تغير التيار المار في السلك المولد للإلكترونات.

لا تنتج الإشعاعات السينية إلا عن اصطدام جزء يسير من الإلكترونات الساقطة على الدريئة وتتحول الطاقة الحركية للجزء الأكبر المتبقي (٩٥%) من الإلكترونات المسرعة الساقطة إلى طاقة حرارية، يتطلب تبديدها استخدام نظام تبريد يناسب زمن تشغيل واستثمار أنبوبة توليد الإشعاعات السينية وهذا ما يدعى بدورة التشغيل.

تتعلق دقة وضوح الصورة الإشعاعية (حدتها) بمساحة المنبع المشع أو ما يسمى بالبقعة المحرقية وللحصول على مساحة منبع مشع صغير تثبت الدريئة بشكل مائل بحيث تكون المساحة المسقطة للدريئة أصغر من المساحة الحقيقية، ويكون ذلك على حساب نقصان شدة الحزمة الصادرة التي تكون في نهايتها العظمى باتجاه الناظم على سطح الدريئة تقريباً.

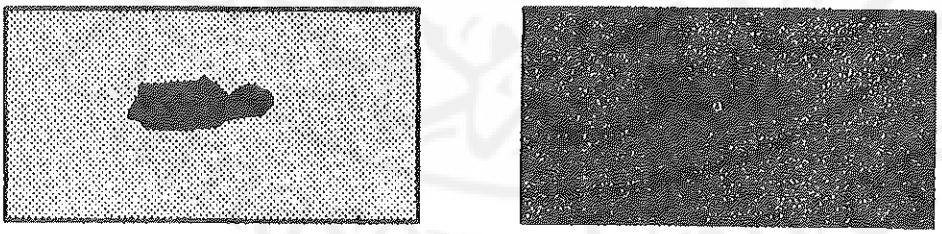
يمكن توليد حزم الأشعة السينية وفقاً للاتجاه المرغوب فيه، ويتعلق ذلك بطريقة تثبيت الدريئة على المصعد وطريقة وضع الصفائح الرصاصية حولها.

٧- ٧- الحساسية في التصوير الإشعاعي:

يعبر عن دقة تنفيذ التصوير الإشعاعي لعينة ما بالحساسية التي هي تابع لقيمة التباين والتحديد بين الأجزاء المتجاورة في الصورة الإشعاعية .

٧- ٧-١- التباين:

هو مقارنة كثافة أو درجة اسوداد الفلم في الأجزاء المختلفة بعضها ببعض، ففي الشكل (٧-٨) يتبين أن التباين في الفلم (A) أكبر مما هو عليه في الفلم (B).

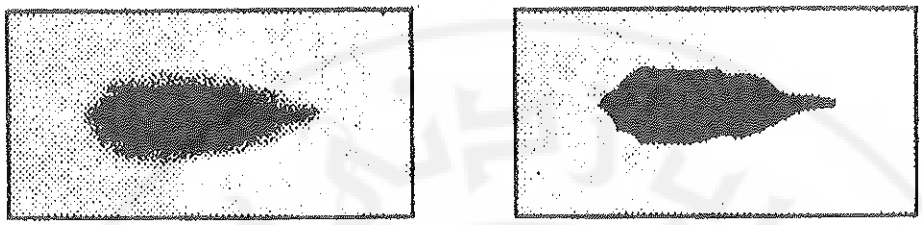


A B

الشكل (٧-٨) تباين أفلام التصوير

٧- ٧- ٢- التحديد:

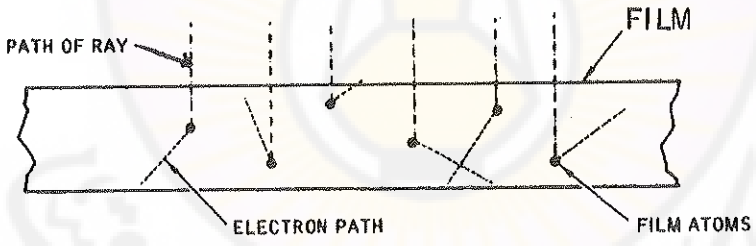
هو مقدار وضوح معالم الخط الفاصل بين الأجزاء مختلفة الكثافة على الفلم، ففي الشكل (٧-٩) يتبين أن التحديد في الفلم (B) أفضل من التحديد في الفلم (A).



الشكل (٧-٩) التحديد في أفلام التصوير

٧- ٧- ٣- عدم الحدة المتأصل:

يقصد بعدم الحدة المتأصل نقص التحديد أو نقص وضوح حواف خيال الصورة الإشعاعية للعينة وذلك بفعل الإلكترونات الحرة الناتجة عن مرور فوتونات الأشعة في فلم التصوير والتي تأين الطبقة الحساسة من الفلم خلال مسارها فيها كما هو موضح في الشكل (٧-١٠) ، ونظراً لعدم إمكانية تخفيف أثر هذه الظاهرة فقد تم تسميتها بعدم الحدة المتأصل.

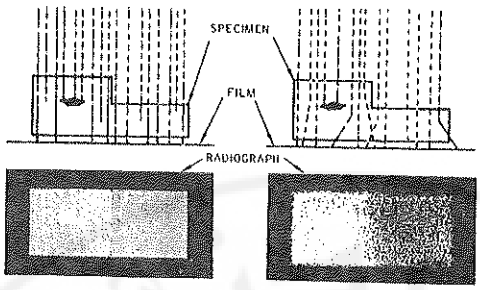


الشكل (٧-١٠) عدم الحدة المتأصل

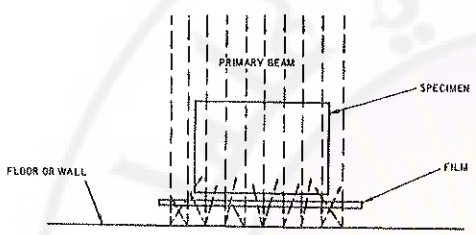
٧- ٧- ٤- التبعثر الإشعاعي:

تؤثر الإشعاعات المبعثرة على قيمة التباين والتحديد لفلم التصوير الإشعاعي، ويمكن أن نميز بين عدة أنواع من التبعثر الإشعاعي:

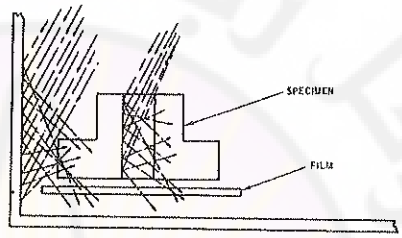
١. **التبعثر الداخلي:** ينتج التبعثر الداخلي عن تغير مسارات فوتونات الأشعة ضمن العينة فالشكل (٧-١١-a) يبين العينة وخيالها في حالة حدوث تبعثر داخلي وحالة عدم حدوثه.



a



c



b

الشكل (٧-١١) التبعثر

a التبعثر الداخلي، b التبعثر الجانبي، c التبعثر الخلفي.

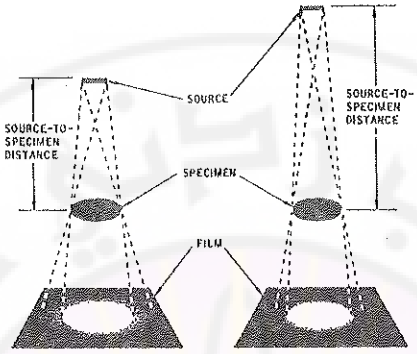
٢. **التبعثر الجانبي:** وينتج عن الأشعة المرتدة عن الجدران الجانبية أو الأشياء التي تكون ضمن مسار الأشعة وبالقرب من العينة المراد تصويرها كما هو موضح في الشكل (٧-١١-b).

٣. **التبعثر الخلفي:** ينتج التبعثر الخلفي عن ارتداد الأشعة عن الأرض أو المنضدة أو الأشياء المتواجدة خلف الفلم كما هو موضح في الشكل (٧-١١-C) ويمكن الكشف عن التبعثر الخلفي بوضع رقم رصاصي خلف الفلم مباشرة، فإذا ظهر خيال هذا الرقم على الفلم فيكون ذلك دليلاً على وجود التبعثر الخلفي.

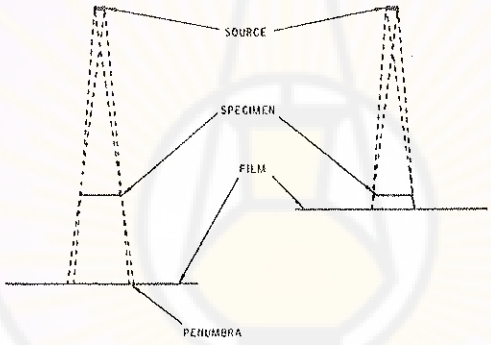
٧- ٧- ٥- عدم الحدة الهندسي:

يقصد بعدم الحدة الهندسي مجموعة العوامل الهندسية التي تؤثر على جودة خيال العينة على فلم التصوير، إذ يؤدي استخدام منابع مشعة غير نقطية إلى تشوه الصور الإشعاعية للعينات عند الحواف، ويدعى هذا التشوه شبه الظل، ويكون شبه الظل معدوماً عند استخدام منابع مشعة نقطية في تنفيذ أعمال التصوير الإشعاعي.

ونظراً لعدم إمكانية التخلص من شبه الظل بشكل كامل وذلك لعدم إمكانية صناعة أجهزة تصوير إشعاعي بمنابع مشعة صغيرة جداً أو بمنابع نقطية فإنه يلجأ إلى إنقاص أبعاد شبه الظل بزيادة المسافة ما بين المنبع المشع والعينة المراد تصويرها، كما هو مبين بالشكل (٧-١٢).



الشكل (٧-١٢) عدم الحدة الهندسي



الشكل (٧-١٣) تأثير موضع الفيلم بالنسبة للعينة على الحدة الهندسي

كما يمكن إنقاص أبعاد شبه الظل بوضع الفلم بالقرب أو على تماس مباشر مع العينة المراد تصويرها كما هو موضح في الشكل (٧-١٣).

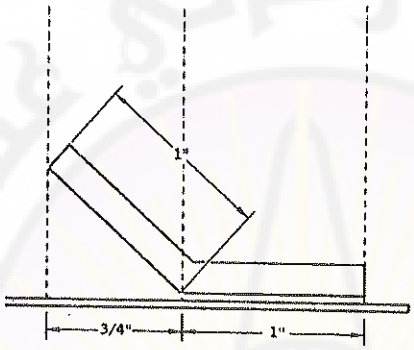
يتبين مما تقدم أنه من الممكن تحسين التحديد للصورة الإشعاعية وذلك بإنقاص أبعاد شبه الظل وذلك بإجراء ما يلي:

- استخدام منبع مشع ذي أبعاد صغيرة.
- جعل المسافة بين المنبع والعينة المراد تصويرها كبيرة.
- جعل المسافة بين العينة المراد تصويرها والفلم صغيرة.

وللحصول على خيال مشابه تماماً لواقع العينة يجب جعل الأشعة الصادرة عن المنبع المشع عمودية على الفلم لأننا بذلك نتجنب التشوه الذي يحصل في الصورة.

٧- ٧- ٦- تشوه أبعاد العينة على الصورة الإشعاعية:

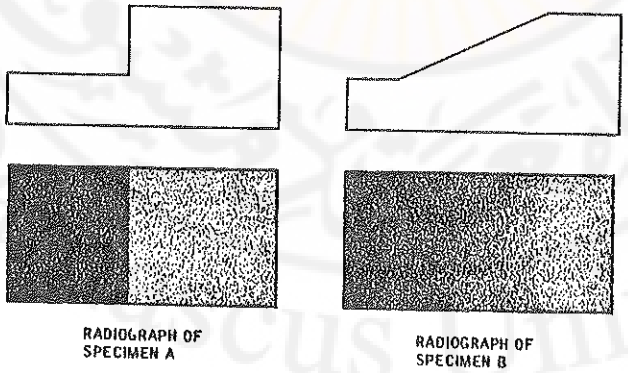
يؤثر التشوه في الصورة الإشعاعية على صحة قراءة ما تحتويه من إشارات فكما هو موضح في الشكل (٧-١٤) ينضغط خيال العينة في الجزء المائل ذي الطول ١ أنش ليصبح ٣/٤ بسبب عدم توجيه الأشعة بشكل عامودي على هذا الجزء.



الشكل (٧-١٤) تشوه أبعاد العينة على الصورة الإشعاعية

٧ -٧-٧- تأثير الشكل الهندسي للعينة على جودة الصورة الإشعاعية:

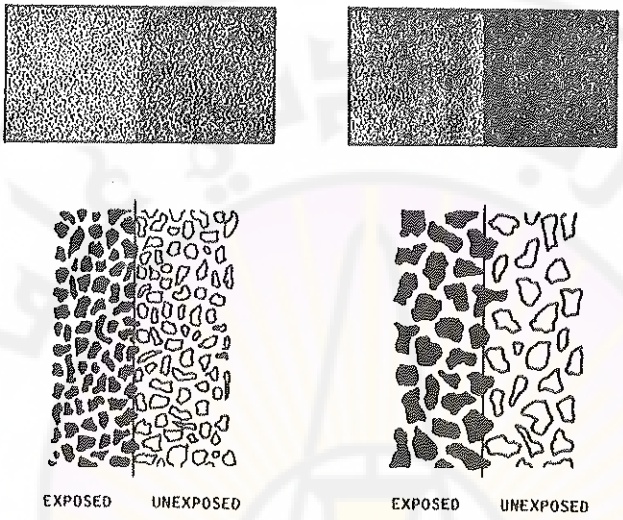
يؤثر الشكل الهندسي للعينة على جودة تحديد مستويات العينة في الصورة الإشعاعية إذ إنه من الممكن عدم اكتشاف وجود المادة الداخلية في العينة ذات السماكة المتغيرة بانتظام، وذلك بسبب التدرج في كثافة اسوداد الفلم، ويبين الشكل (٧-١٥) أن التحديد في الصورة الإشعاعية للعينة A غير المتدرجة وذات التفاوت الكبير في سماكة جزئيها هو أفضل من التحديد في الصورة الإشعاعية للعينة B متدرجة السماكة.



الشكل (٧-١٥) تأثير الشكل الهندسي للعينة على جودة الصورة الإشعاعية

٧- ٧- ٨- تأثير البنية الحبيبية لفلم التصوير على جودة الصورة الإشعاعية:

تؤثر البنية الحبيبية لطبقات الفلم الحساسة على جودة التحديد للصورة الإشعاعية إذ تستخدم الأفلام ذات البنية الحبيبية الكبيرة لإنقاص زمن تعريض العينة والفلم للأشعة بينما تستخدم الأفلام ذات الحبيبات الصغيرة للحصول على صور إشعاعية ذات جودة تحديد عالية كما هو موضح في الشكل (٧-١٦).



الشكل (٧-١٦) تأثير البنية الحبيبية لفلم التصوير على جودة الصورة الإشعاعية

٧-٨- المواد والتجهيزات المستخدمة في التصوير الإشعاعي الصناعي:

يستخدم في التصوير الإشعاعي الصناعي بالإضافة إلى منابع الإشعاع والأفلام العديد من العناصر والمواد اللازمة لإنجاح أعمال التصوير وبيان صحة تنفيذها، وذلك وفقاً لما تنص عليه المواصفات الخاصة في هذا المجال ويمكن تصنيفها على الشكل التالي:

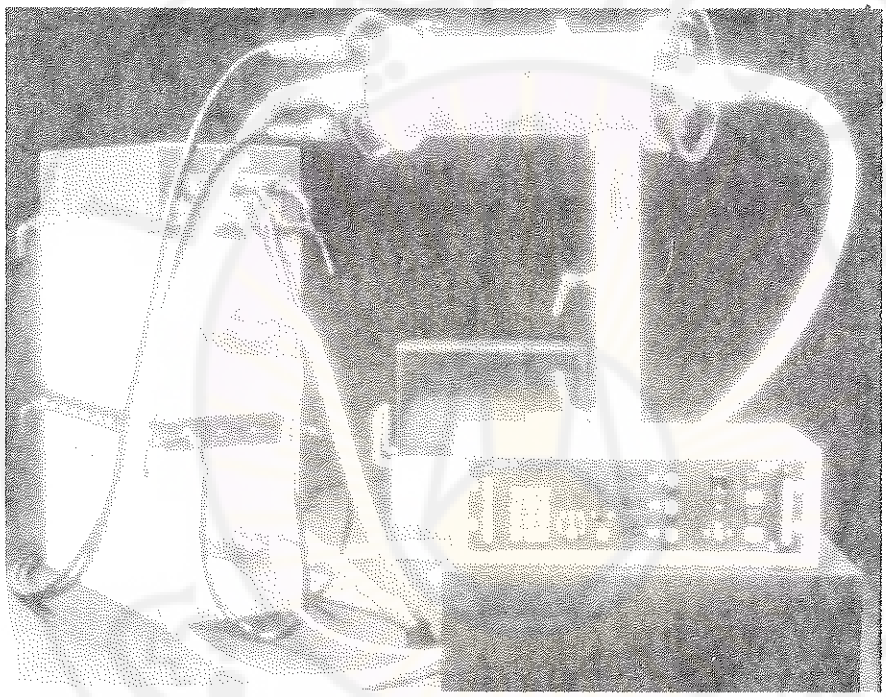
١- المنابع المشعة
٢- أفلام التصوير الإشعاعي.
٣- مواد وتجهيزات التحميض والإظهار
٤- أجهزة قياس الإشعاع
٥- صفائح تكثيف الأشعة على الأفلام
٦- حوامل الأفلام
٧- مؤشرات جودة الخيال
٨- المرشحات

٩- أقنعة الامتصاص ومحددات الحزمة الإشعاعية

سنقوم بشرح مجمل هذه النقاط بالتفصيل في الفقرات التالية.

٧-٩-المنابع المشعة:

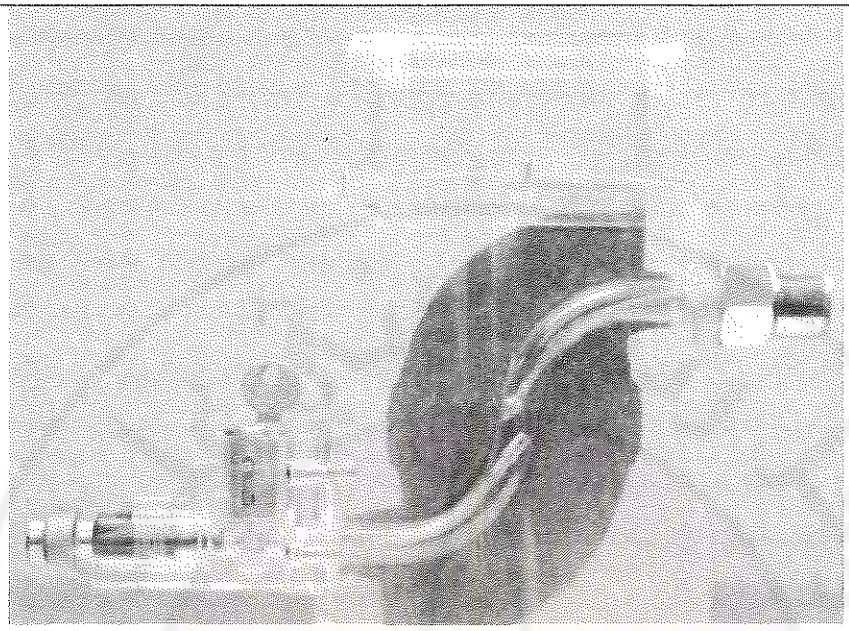
تختلف منابع الإشعاع بحسب تقنيات التصوير الإشعاعي المستخدمة والتي تم شرحها بالتفصيل في الفقرة ٧-٦ ويبين الشكلان (٧-١٧) و (٧-١٨) بعض أجهزة التصوير الإشعاعي.

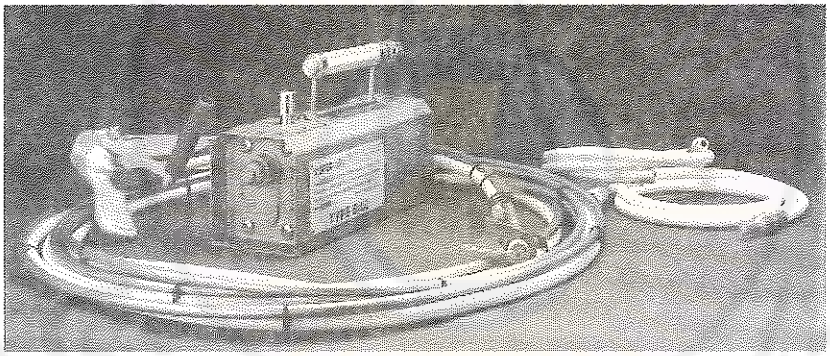


الشكل (٧-١٧) نظام أشعة سينية

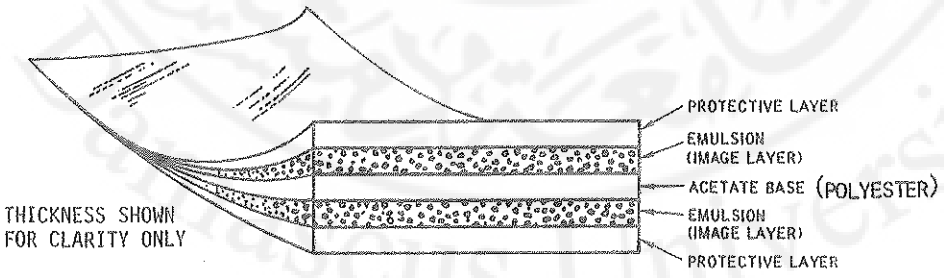
٧- ١٠- أفلام التصوير الإشعاعي وطريقة معالجة الأفلام كيميائياً:

يتألف فلم التصوير الإشعاعي من رقاقة من مادة البوليستر الشفاف في المركز و يتوضع على كل من طرفيها طبقة من مستحلب حساس وطبقة من مادة الجلاتين لحماية الطبقة الحساسة من الخدش كما هو مبين في الشكل (٧-١٩).





الشكل (٧-١٨) كاميرات تصوير بأشعة γ



الشكل (٧ -١٩) بنية فيلم التصوير الإشعاعي

تتألف الطبقة الحساسة (المستحلب) من حبيبات ميكروسكوبية من بروم الفضة التي تصبح بعد تعرضها للضوء أو للأشعة المؤينة ذات لون أسود، ولكن دون أن يؤدي ذلك إلى تحديد معالم الصورة التي تدعى بالصورة الكامنة، ويتم تحديد معالم الصورة الكامنة بتحميض الفلم بشكل مناسب. إذ تتشكل أولاً الصورة الكامنة ضمن الفلم حيث تتأين حبيبات بروم الفضة بفعل إشعاعات X أو غاما أو الضوء وتصبح الصورة الكامنة بفعل التحميض مرئية حيث تتحول جزئيات بروم الفضة إلى جزئيات الفضة السوداء إذ تساهم كل حبيبة من بروم الفضة تم تعريضها للأشعة في تشكيل الصورة على الفلم بعد التحميض.

تمثل المواضع ذات اللون الفاتح والداكن من الفلم عدد حبيبات ذرات بروم الفضة التي تم تعرضها للأشعة في هذه المواضع وكلما تم تعريض عدد أكبر من الحبيبات للأشعة في منطقة ما ازداد لونها اسوداداً. ينشأ الاختلاف في أنواع أفلام التصوير الإشعاعي بسبب الاختلاف بحجم حبيبات بروم الفضة في طبقات المستحلب وكلما كانت الحبيبات أكبر كلما كان الزمن اللازم لتعريض الفلم أقل، ويكون ذلك مترافقاً مع انخفاض في مقدرة التحديد وهذا ما يعرف بالظاهرة الحبيبية.

٧- ١١- مواد التحميض والإظهار وتجهيزات:

وهي مجمل المواد والتجهيزات اللازمة لإظهار الصورة الكامنة والمحافظة عليها لفترة طويلة من الزمن وتكون عادة ضمن غرف مظلمة لتجنب تأثير الضوء السلبي على الأفلام والصور الكامنة عليها و تتشابه تصميمات الغرف المظلمة بعضها مع بعض باحتوائها دوماً على جزأين جزء جاف (مخصص لتحضير الفلم للتعريض وكذلك لمراحل تحضيره للمعالجة الكيميائية) وجزء رطب (مخصص لمتطلبات المعالجة الكيميائية) وبشكل عام تحتوي الغرفة المظلمة على المصباح الخافت أو المصباح المأمون ومحاليل المعالجة الكيميائية للأفلام والمجفف.

آ-المصباح المأمون:

وهو عبارة عن مصباح مزود بفلتر لتأمين إنارة خافتة في الغرفة المظلمة وذلك لتسهيل العمل عند التعامل مع الأفلام ومعالجتها وتقليل تعرضها للضوء.

يتم عند الشك في صلاحية المصباح المأمون والتسبب في تعريض الأفلام في أثناء العمل في الغرفة المظلمة وجعلها أفلام ذات نسبة ضبابية عالية إجراء اختبار يتضمن تعريض جزء من فلم جديد إلى ضوء المصباح الخافت وعلى فترات زمنية متعاقبة مع الحفاظ على تغطية الجزء الآخر من الفلم بمادة كتيمة للضوء ومن ثم معالجة الفلم والتحقق من صلاحية المصباح المأمون.

ب-محاليل المعالجة الكيميائية للأفلام:

يتم بعد تنفيذ التصوير الإشعاعي لعينة ما معالجة الأفلام كيميائياً وذلك لتحويل الصورة الكامنة في الفلم إلى صورة يمكن رؤيتها إذ تقوم المعالجة الكيميائية على إمرار الأفلام على التوالي عبر ثلاثة محاليل كيميائية هي:

١. المظهر.

٢. سائل إيقاف تأثير المظهر وإزالته من على سطح الفلم.

٣. المثبت

١-المظهر:

يتألف المظهر من مادتين كيميائيتين:

- المادة الأولى تدعى بالمسرع وهي ذات تأثير قلوي تستخدم لإزالة طبقة الحماية وتضخيم حبيبات المستحلب لتمكين المحلول الكيميائي من التفاعل مع الحبيبات التي تم تعريضها للإشعاع.
- المادة الثانية عبارة عن مرجع كيميائي من مادة الميتول أو مادة هيدروكوينون، والتي تعمل على تحويل حبيبات بروم الفضة التي تعرضت للإشعاع إلى حبيبات فضة سوداء، إذ بمقدور المرجع الكيميائي التمييز بين الجزيئات المعرضة للإشعاع والجزئيات التي لم يتم تعريضها للإشعاع وهذا ما يفسر عدم تحول الفلم بالكامل إلى اللون الأسود.

ملاحظة:

يبدأ المظهر بالتفاعل مع حبيبات بروم الفضة التي لم يتم تعرضها للإشعاع عند وضع الفلم فيه لفترة طويلة، مما يؤدي إلى تشوه الصورة، وبالتالي يتوجب ضبط زمن بقاء الفلم ضمن محلول المظهر إضافة إلى ضبط درجة حرارة المظهر إذ يؤدي ارتفاع درجة حرارة المظهر إلى زيادة فاعليته الكيميائية وتنشيط تفاعله مع حبيبات بروم الفضة.

٢-سائل إيقاف عملية الإظهار:

تستمر عملية الإظهار إلى ما بعد رفع الفلم من محلول المظهر بفعل التشرب، وبالتالي لا بد من استخدام سائل إيقاف عملية الإظهار والذي يقوم بعملين أساسيين:

- إيقاف تفاعل المظهر مع مادة الفلم الفعالة: وذلك بإيقاف فعل المظهر ذي التركيب القلوي والمتبقي على الفلم بفعل سائل الإيقاف الحمضي (إذ تبطل المادة الحمضية فعل المادة القلوية والعكس بالعكس).

- إزالة مفعول المظهر ذي التركيب القلوي قبل وضع الفلم في المثبت مما يسمح في إطالة عمر المثبت. ويستخدم غالباً محلول حمض الخل الجليدي كسائل لإيقاف عملية الإظهار.

٣-المثبت:

هو عبارة عن مادة كيميائية تعمل على تثبيت الصورة على الفلم. فبعد وضع الفلم في المظهر تحلل حبيبات بروم الفضة التي تم تأينها بفعل الأشعة إلى حبيبات معدن الفضة وتبقى حبيبات بروم الفضة التي لم تتعرض للإشعاع على حالها ضمن المستحلب وتبدو بلون أصفر حليبي على الفلم. يتم تثبيت الصورة على الفلم على مرحلتين:

مرحلة الإزالة: ويتم في هذه المرحلة إزالة كافة حبيبات بروم الفضة غير المتأينة التي لم يتم تعرضها للأشعة وبذلك تبدأ معالم الصورة بالظهور بشكل واضح.

مرحلة التقسية: يعمل المثبت في هذه المرحلة على تقسية طبقة المستحلب وذلك لوقاية الفلم من التخدش في أثناء الاستخدام. بعد إخراج الفلم من المثبت لا بد من غسله لفترة زمنية تعادل ضعف الزمن اللازم للتثبيت.

ج-المجفف:

تزود الغرفة المظلمة بمجفف يمكن التحكم بتدرج حرارته وذلك لتجفيف الأفلام بعد انتهاء معالجتها الكيميائية وتنظيفها بالماء النقي.

ملاحظة

من العوامل اللازمة للحصول على صور إشعاعية ذات جودة عالية اتسام المكان الذي يتم فيه التعامل مع أفلام التصوير الإشعاعي بالنظافة وأن يتم التعامل مع الأفلام بحرص شديد.

فمثلاً يسبب الغبار العادي وغبار المواد الكيميائية المختلفة إلى ظهور إشارات غير حقيقية على الفلم. ويسبب ثني الفلم أو طيه أو سقوط أشياء ثقيلة عليه إلى ظهور بقع وإشارات غير حقيقية تؤدي إلى قراءات خاطئة وكذلك يسبب إخراج فلم التصوير من العلبة بسرعة إلى تولد الكهرباء الساكنة نتيجة لاحتكاكه الشديد مع الأفلام الملامسة له وبالتالي إلى تعريض الفلم لفعلها المؤين وظهور إشارات داكنة عليه تؤدي أيضاً إلى قراءات خاطئة.

يبين الشكل (٧-٢٠) صورة لحوض تحضير يدوي للأفلام



الشكل (٧ – ٢٠) حوض تحضير يدوي للأفلام

٧-١٢- الصفائح:

يستخدم في التصوير الإشعاعي الصناعي ثلاثة أنواع من الصفائح وذلك لتكثيف أثر حزم الأشعة السينية وأشعة غاما وزيادة فاعليتها وتأثيرها على الأفلام وهذه الصفائح:

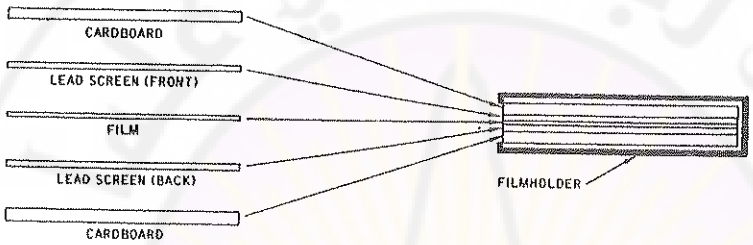
- الصفائح الرصاصية
- الصفائح المفلورة
- الصفائح المعدنية المفلورة

آ-الصفائح الرصاصية:

تكون سماكات الصفائح الرصاصية عادة ما بين (0.25-0.02 mm) ويتم وضع هذه الصفائح على الوجه الأمامي والوجه الخلفي لفلم التصوير كما هو مبين في المخطط التوضيحي في الشكل (٧-٢١).

تتلخص فوائد استخدام الصفائح الرصاصية على الوجه الأمامي لفلم التصوير بما يلي:

- ترشيح حزمة من الفوتونات ذات الطاقة المنخفضة.
- تعزيز تأثير الأشعة على الفلم وذلك بتحرير الإلكترونات التي تؤثر على مستحلب الطبقة الحساسة لفلم التصوير وتزيد في تعريضها.



الشكل (٧-٢١) الصفائح الرصاصية

أما الفائدة الرئيسية من استخدام الصفائح الرصاصية على الوجه الخلفي لفلم التصوير والتي تختار عادة بسماكة أكبر بقليل من سماكة الصفيحة المتوضعة على الوجه الأمامي هي حماية الفلم من الأشعة المتبعثرة والمرتدة عن الجدران الخلفية.

يجب على الصفائح الرصاصية أن تكون خالية من العيوب كالثقوب والجروح والخدوش والتجعيد إذ تؤدي هذه العيوب إلى ظهور إشارات على الفلم مشابهة لإشارات العيوب في العينات المختبرة وبالتالي ينصح بعدم استخدام صفائح رصاصية حاوية على عيوب أو على أوساخ لا يمكن إزالتها.

ب-الصفائح المفلورة:

تحتوي الصفائح المفلورة على مواد كيميائية تعمل على إصدار الضوء عند امتصاصها للأشعة السينية أو أشعة غاما فمن بين المواد الكيميائية المذكورة مركب تنغستات الكالسيوم الذي يقوم بامتصاص الأمواج الكهرطيسية عند أطول أمواج الأشعة السينية وأشعة غاما وتحرير هذه الأمواج الكهرطيسية عند أطوال أمواج تقع ضمن مجال الضوء المرئي مما يساعد في زيادة تعريض الفلم وتعزيز الصورة الكامنة.

بشكل عام تعطي الصفائح الرصاصية تحديداً أفضل للصورة الإشعاعية بالمقارنة مع الصفائح المفلورة ويكمن السبب الأساسي لتدهور التحديد في الصورة عند استخدام الصفائح المفلورة في انتشار الضوء المرئي المنبعث من الصفائح المفلورة بمختلف الجهات.

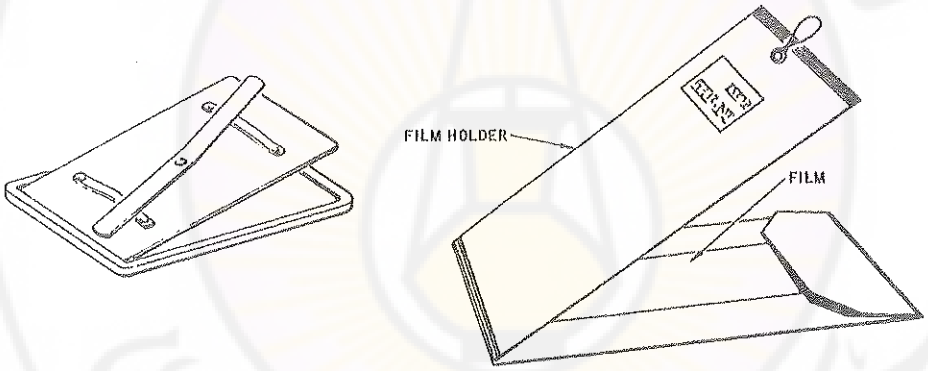
ومع ذلك تعتبر الصفائح المفلورة ذات فائدة كبيرة عندما تكون مقدرة اختراق الأشعة السينية المولدة منخفضة ويراد تنفيذ التصوير لعينات ذات سماكات كبيرة نسبياً.

ج- الصفائح المعدنية المفلورة:

يجمع هذا النوع من الصفائح بين ميزات الصفائح الرصاصية والصفائح المفلورة إذ تمتص هذه الصفائح الإشعاعات منخفضة الطاقة والمتبعثرة والمرتدة نتيجة وجود طبقة الرصاص الخارجية وتصدر الطبقة الداخلية المفلورة الضوء المرئي للزيادة في تعريض فلم التصوير الإشعاعي.

٧-١٣- حوامل الأفلام المرنة والصلبة:

تستخدم حوامل الأفلام المرنة والصلبة عند تحضير فلم التصوير الإشعاعي وعند تعريضه للأشعة وتكون هذه الحوامل عاتمة لا تسمح بمرور الضوء المرئي عبرها وتصنع الحوامل المرنة من البلاستيك أو المطاط أما حوامل الأفلام الصلبة فيتم صناعتها من مواد معدنية قاسية بهدف تأمين التماس الجيد ما بين الفلم والصفائح الرصاصية كما هو مبين في الشكل (٧-٢٢).



الشكل (٧-٢٢) حوامل الأفلام

٧-١٤-مؤشرات جودة الخيال:

وهي عبارة عن قطع معدنية تستخدم لتحديد جودة الخيال أو حساسية عملية التصوير الإشعاعي " الشكل (٧-٢٣)".

هناك نوعان من مؤشرات جودة الخيال هما:

النـــــــــــوع الأول: وهو عبارة عن شرائح معدنية رقيقة ذات سماكات مختلفة مصنوعة من مواد مماثلة للمواد المراد اختبارها ويستخدم هذا النوع في الولايات المتحدة الأمريكية.

النوع الثاني: وهو عبارة عن مجموعات من الأسلاك المعدنية المصنوعة من مواد مماثلة للمواد المراد اختبارها ويستخدم هذا النوع في البلدان الأوربية.



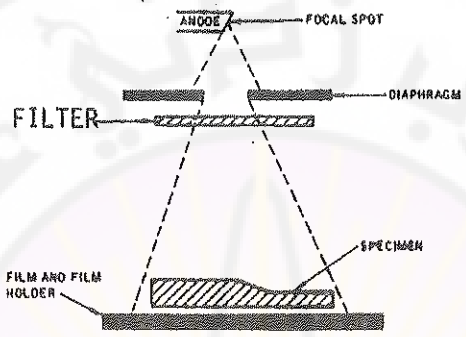
a

b

الشكل (٧-٢٣) a مؤشرات جودة سلكية b مؤشرات جودة صفائحية

٧-١٥- المرشحات:

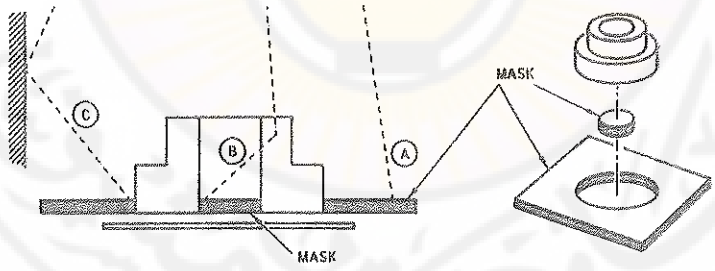
يستخدم وبشكل شائع صفائح معدنية ذات عدد ذري مرتفع كالنحاس والفولاذ والرصاص لوضعها في مسار حزمة الأشعة الصادرة عن أنبوبة الأشعة وذلك بهدف امتصاص الفوتونات ذات الطاقة المنخفضة مما يفيد في خفض نسبة الأشعة المرتدة وإنقاص التباين الناتج عن العينة وبالتالي التمكن من زيادة مجال السماكات التي يمكن تصويرها ويتم وضع المرشح كما هو مبين في الشكل (٧-٢٤).



الشكل (٧-٢٤) المرشحات

٧-١٦- أقنعة الامتصاص:

تستخدم أقنعة الامتصاص لخفض أثر الأشعة المرتدة عند تصوير عينات ذات أشكال غير منتظمة وتصنع هذه الأقنعة من مواد ماصة للأشعة على شكل كرات أو صفائح من الرصاص أو الحديد تناسب شكل العينة وتوضع هذه المواد حول العينة وبداخلها كما هو مبين في الشكل (٧-٢٥).



الشكل (٧-٢٥) أقنعة الامتصاص

وتساعد هذه الأقنعة على امتصاص الفائض من حزم الأشعة مما يفيد في الحد من التبعثر بأشكاله المختلفة، ويستخدم في التصوير الإشعاعي الصناعي أيضاً ما يسمى محددات الحزمة الإشعاعية والتي هي عبارة عن قطع معدنية مصممة من الرصاص أو اليورانيوم أو التنغستين ذات أشكال مختلفة تركب على المنبع المشع لامتصاص الأشعة الخارجة عن مجال العينة المراد تصويرها.

٧-١٧- أجهزة قياس الإشعاع المستخدمة في التصوير الإشعاعي الصناعي:

لما كانت حواس الإنسان عاجزة عن كشف الإشعاعات فإنه يلجأ إلى استخدام العديد من الأجهزة المناسبة لكشف الإشعاع كأجهزة المراقبة الفردية وأجهزة المسح الإشعاعي.

١-أجهزة المراقبة الفردية:

يحمل الأفراد القائمين على العمل في المجال الإشعاعي أجهزة المراقبة الفردية بشكل دائم في أثناء عملهم وهذه الأجهزة مصممة أصلاً لإعطاء قراءات تراكمية للجرعات الممتصة كفلم المراقبة الفردية و مجراع الجيب كما هو مبين في الشكل (٧-٢٦) وتدرج أجهزة المراقبة الفردية لقياس الأشعة السينية أو أشعة غاما بوحدة الرونتغن ويقوم عملها على مبدأ التأين.



POCKET DOSIMETER

FILM BADGE

الشكل (٧-٢٦) أجهزة المراقبة الفردية

٢-مقاييس المسح الإشعاعي:

هي مقاييس تم تصميمها لإعطاء قراءات آنية لمعدل الجرعة بالرونتغن أو بالميلي رونتغن في الساعة على أي بعد من المنبع المشع من هذه المقاييس:

- مقياس المسح الإشعاعي ذي حجرة التأين.
- عدادات غايغر مولر.
- نظام الإنذار المكاني.



الشكل (٧-٢٧) مقياس مسح إشعاعي

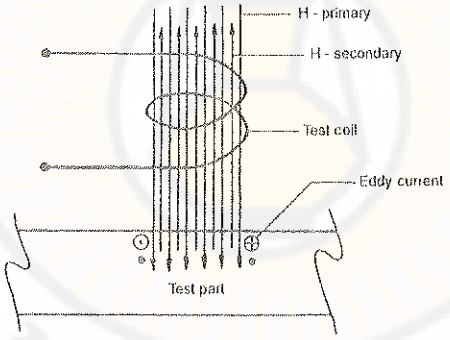
الفصل الثامن

طريقة الاختبار بالتيارات الإعصارية

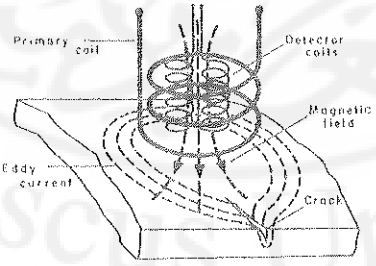
Eddy Current Method

٨ ـــ ١ ـــ مقدمة :

تعد طريقة الاختبار بالتيار الإعصارية من الطرائق الناجعة في اختبار جميع المواد المعدنية والكشف عن وجود العيوب فيها من تشققات على السطح والتي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة وأيضاً وجود فراغات وعدم تماثل في البنية الكيميائية أو في الخواص الفيزيائية على السطح أو بالقرب منه. تقوم هذه الطريقة على وضع ملف يغذيه تيار متناوب بالقرب من سطح المادة الناقلة المراد اختبارها مما يؤدي إلى تولد تيارات إعصارية فيها نتيجة لفعل التحريض الكهرمغنطيسي كما هو مبين في الشكل (٨-١). وترتبط شدة التيارات الدوامية بمقدار شدة التيار الكهربي المار في الملف المحرض وبقيمة تردد هذا التيار والموصلية الكهربائية والنافذية المغنطيسية للجسم المختبر وأيضاً حالة تيار هذا الجسم وأبعاد العيوب الموجودة فيه ويبين الشكل (٨-٢) مخطط لقياس التيارات الدوامية.



الشكل (٨-١) مبدأ الاختبار بالتيارات الإعصارية



الشكل (٨-٢) رسم يبين نشرة مسارات التيارات الإعصارية في المواضع الحاوية على عيوب

تتركز التيارات الإعصارية في المادة المعدنية المختبرة بالقرب من السطح وتتناقص قيمة هذه التيارات بشكل أسي مع ازدياد عمق النفوذ وتقوم التيارات الإعصارية المتحرضة بنشر حقل مغنطيسي معاكس للحقل المغنطيسي الأصلي مما يؤدي إلى إحداث تغير في قيمة الممانعة الكهربائية للملف الفاحص وتخلخل توازن الدارة الكهربائية بجسر واطسطن الموجود فيها. ويتم قبل البدء باختبار سلامة المادة المعدنية ومطابقتها للمواصفات تحقيق توازن الدارة الكهربائية /جسر واطسطن/ وذلك بوضع الملف الفاحص على تماس مباشر مع سطح المادة المعدنية المراد اختبارها على أن يتم التماس في مكان خالٍ من العيوب ويتم الاختبار بتحريك الملف الفاحص على سطح المادة المعدنية إذ تتغير ممانعة الملف وبالتالي يفقد الجسر توازنه في المواضع الحاوية على عيوب نتيجة لتشو سارات التيارات الإعصارية وتغير مقدار الترابط الكهرمغنطيسي بين الملف والمادة المعدنية وبقياس مقدار تغير مطال وطور ممانعة الملف يمكن معرفة نوع العيب وشكله ومكان وجوده.

٨-٢- تطبيقات طريقة التيارات الداومة:

تعد طريقة الاختبار بالتيارات الدوامة واسعة الاستخدام وذلك لتنوع تطبيقاتها، نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر:

١. التحري عن العيوب السطحية وتحت السطحية في الأجسام الناقلة للكهرباء وذلك في أثناء إنتاج هذه المواد والقطع أو في أثناء استثمارها ونخص بالذكر المواد والقطع المخصصة للصناعات الفضائية والصناعات النووية. وتعد هذه الطريقة من أكثر الطرق ملائمة في اختبار القطع المعدنية ذات الشكل الدائري عند الإنتاج.

١. اختبار المواد المتماثلة والكشف عن أي اختلاف في تركيبها الكيميائي أو في المعالجة الحرارية أو ناقليتها الكهربائية وذلك بالاستناد إلى مبدأ تغير الناقلية الكهربائية للمادة المعدنية عند حدوث أي تغير في خواصها الفيزيائية أو في خواصها الكيميائية.

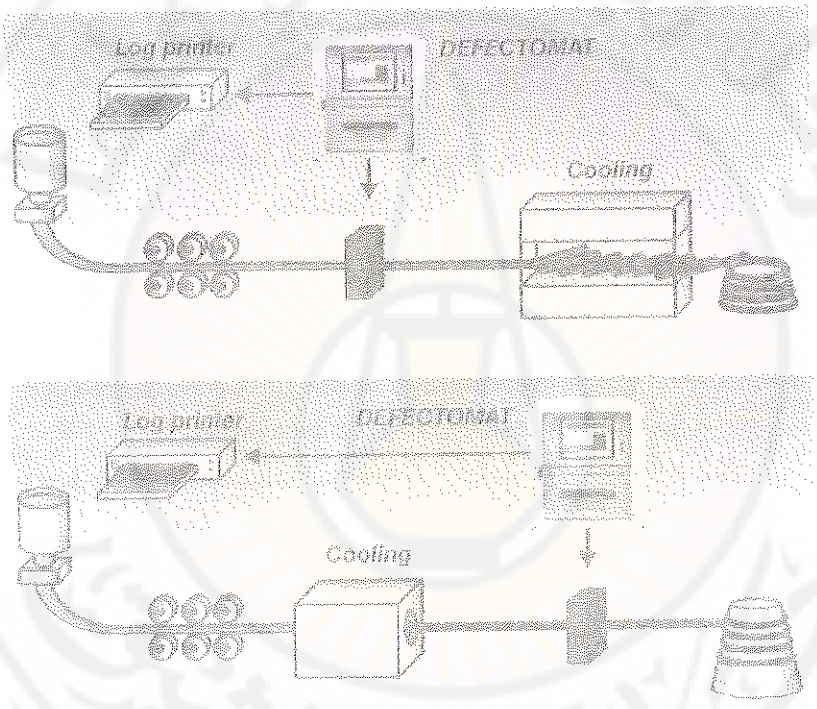
٢. قياس الثخانات وتحديد مواضع الاهتراء والشروخ في الأنابيب والصفائح المعدنية المعرضة للتآكل وقياس مقدار هذا التآكل، ويعتمد مبدأ القياس على تحسس معدل تغير دخول التيارات الدوامة في القطعة المعدنية عند تغير ثخانتها.قياس الثخانات.

٣. قياس ثخانات طبقات الدهانات والمواد البلاستيكية غير الموصلة للكهرباء الموضوعة فوق المواد الناقلة للكهرباء.

٤. قياس ثخانات الطبقات الموصلة للكهرباء كالذهب والنحاس المترسبة فوق المواد الطبيعة المختلفة.

٥. ومن أهم التطبيقات الحالية لطريقة التيارات الدوامية : الكشف الأتوماتيكي عن العيوب والشروخ في أنابيب المبادلات الحرارية باستخدام جهاز كاشف العيوب متعدد الترددات المزود بحاسب وبرمجيات خاصة.

٦. اختبار جميع أنواع القضبان المعدنية بعد عملية الدرفلة على الساخن أو على البارد وبسرعة (m/sec) ١٠٠ متر في الثانية، ويوضح الشكل (٨-٣) آلة اختبار الأسلاك النحاسية بعد عمليات السحب بطريقة التيارات الدوامة وحيث يتم بعد الاختبار قطع هذه القضبان وفرزها إلى مستويات جودة مختلفة.



الشكل (٨-٣) اختبار الأسلاك بطريقة التيارات الإعصارية

٧. الكشف عن وجود المواد العازلة كالشقوق الهوائية التي بين الطبقات المعدنية وقياس ثخانتها.

٨. الكشف عن العيوب السطحية وعيوب ما تحت السطح في الوصلات اللحامية.

٩. اختبار أنابيب مولدات البخار وأنابيب المكثفات في محطات توليد الكثافة الكهربائية وذلك لتحديد الأنابيب المتآكلة ونسبة التآكل بما يسمح بتحديد زمن إخراجها من الخدمة للمحافظ على وثوقية عمل عالية، كما هو مبين بالشكل (٨-٢)



الشكل (٨-٤) اختبار المبادلات الحرارية بطريقة التيارات الإعصارية

٨-٣- مزايا طريقة الاختبار بالتيارات الدوامة:

١. سرعة الاختبار عالية .
٢. إمكانية قياس الناقلية الكهربائية.
٣. إمكانية فرز المعادن.
٤. الكشف عن الانقطاعات السطحية وما تحت السطح.
٥. حساسية عالية في الكشف عن العيوب الصغيرة.
٦. قياس الثخانات بشكل دقيقة.

٨-٤- مساوئ وحدود طريقة الاختبار بالتيارات الدوامة:

١. تعد مقدرة دخول التيارات الدوامة في المادة محدودة وتتعلق بالتردد المطبق على مسبار الاختبار وناقلية المادة المختبرة ونفاذيتها المغنطيسية.
٢. ثمن التجهيزات مرتفع.

الفصل التاسع

قياس الانفعالات باستخدام حساسات الانفعال

Strain Gages

٩-١- مقدمة :

قاد التطور التكنولوجي إلى تصنيع تركيبات ضخمة أكثر تعقيداً ورفاهية مما كانت عليه في أي وقت مضى مما جعل من معرفة قيم الإجهادات المؤثرة والانفعالات الناجمة، الجزء الأكثر حرجاً للوصول إلى أقصى ضمان لسلامة وأمان هذه التركيبات من جهة، وجعل تطبيق العلاقات البسيطة المعتادة لحساب هذه القيم غير مجدٍ من جهة أخرى، لذا كان لابد من التركيز على طرائق أخرى لتحل محل الحساب التحليلي حيث كان من المفيد جداً الاعتماد على التقنيات التجريبية أو الرقمية، وتعتبر الطريقة التجريبية مفيدة جداً وذلك سواء لمعالجة مشاكل هندسية متكاملة أم للتحقق من دقة الحسابات التحليلية أو الرقمية، وبما أن الإجهاد لا يمكن قياسه بشكل مباشر عادة لذا فإن أكثر الطرق التجريبية تقوم على قياس الانفعالات أولاً ومن ثم حساب الإجهاد بالاستناد إليها.

٩-٢- أساليب قياس الانفعال :

ولقد تم تطوير العديد من الطرائق لقياس الانفعال تبدأ من الاستخدام الميكروميتر كأبسط طرائق قياس الانفعال من خلال قياس تغيرات طول العينة بعد تحميلها، إلى العديد من الطرق الأخرى الأكثر تعقيداً ودقةً والتي تصنف بمجملها ضمن ثلاث مجموعات :

- طرائق ميكانيكية
- طرائق كهربائية
- طرائق ضوئية

ويمكن أن نذكر من هذه الطرق

١. تقنية التموج Moire technique :
٢. حساسات الانفعال بقياس التداخل الضوئي strain gages interferometric
٣. حساسات الانفعال الكهربائية electric strain gages
٤. الطبقات القصيفة brittle coatings
٥. تصوير المرونة photoelasticity

٦. انحراف أشعة اكس x-ray diffraction

٧. التخطيط التام holographs

٨. قياس التداخل الضوئي لبقع الليزر laser speckle interferometry

وتعتبر استخدام حساسات التشوه أو الانفعال، الوسيلة الأكثر شيوعاً في اختبارات تحليل الإجهادات، وذلك نظراً لما لها من مزايا تتجلى بـــ:

١. وسيلة مفيدة لقياس الانفعالات الميكانيكية الصغيرة

٢. رخيصة الثمن عادة

٣. سهلة التركيب

٤. لا تؤثر على العنصر المختبر أو أدائه

٥. تعطي نتائج دقيقة

٩-٣- مبدأ القياس:

يعتمد القياس باستخدام حساسات التشوه على المبدأ المكتشف من قبل العالم لورد كيلفن عام ١٨٥٦ والذي ينص على أن المقاومة الكهربائية لسلك ما تتغير بتغير الانفعال، ويتم قياس التغير في مقاومة من خلال جسر وطستون "الشكل (٩-١)" الذي وضع معالمه الفيزيائي الإنكليزي شارل وطستون في عام ١٨٤٣ وتوصف نسبة تغير المقاومة (R_0) إلى الانفعال (ε) على أنها حساسية معدن أو خليطة السلك أو ما يسمى عامل الحساس (k) وتكتب على الشكل التالي:

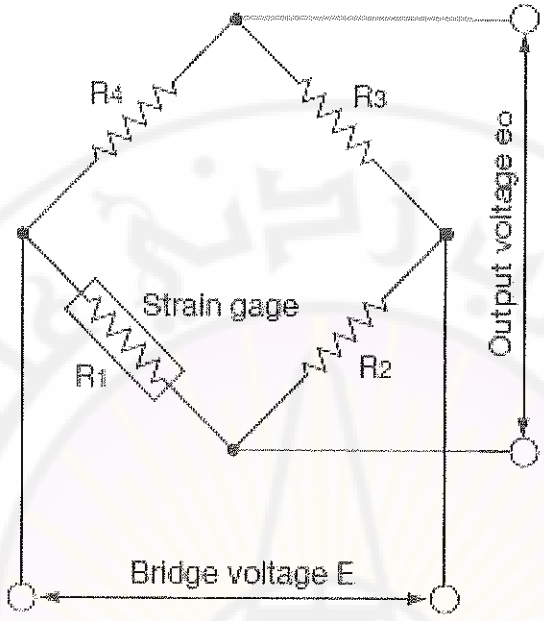
$$k = \frac{\Delta R / R_0}{\varepsilon} \qquad (٩-١)$$

الجدول (٩-١) حساسية الخلائط المصنع منها حساسات التشوه

Material	Composition (%)	S_A
Advance or constantan	45 Ni, 55 Cu	2.1
Nichrome V	80 Ni, 20 Cr	2.2
Isoelastic	36 Ni, 8 Cr, 0.5 Mo, 55.5 Fe	3.6
Karma	74 Ni, 20 Cr, 3 Al, 3 Fe	2.0
Armour D	70 Fe, 20 Cr, 10 Al	2.0
Platinum alloy	95 Pt, 5 Ir	5.1
Alloy 479	92 Pt, 8 W	4.1

بين الجدول (٩-١) حساسية الخلائط المستخدمة في تصنيع حساسات الانفعال حيث تعتبر خليطة الكونستانتان الأكثر استخداماً وذلك نظراً للتغيرات الطفيفة في حساسيتها عند مجال كبير لدرجات الحرارة

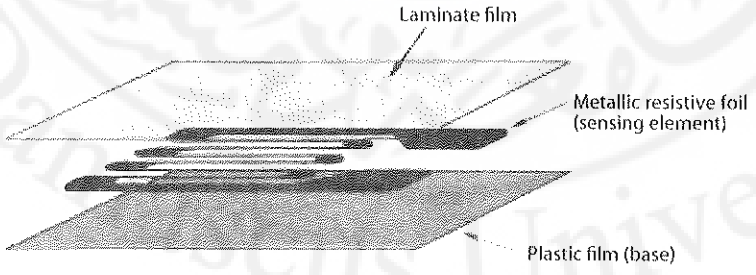
أو الانفعال حتى ضمن حقل اللدونة في حين أن الحساسية العالية ومقاومة التعب لخليطة الإيزولاستيك تعطيها فوائد في التطبيقات الديناميكية ومع أن حساسيته هذه تتغير بتغير كل من درجة الحرارة و الانفعال.



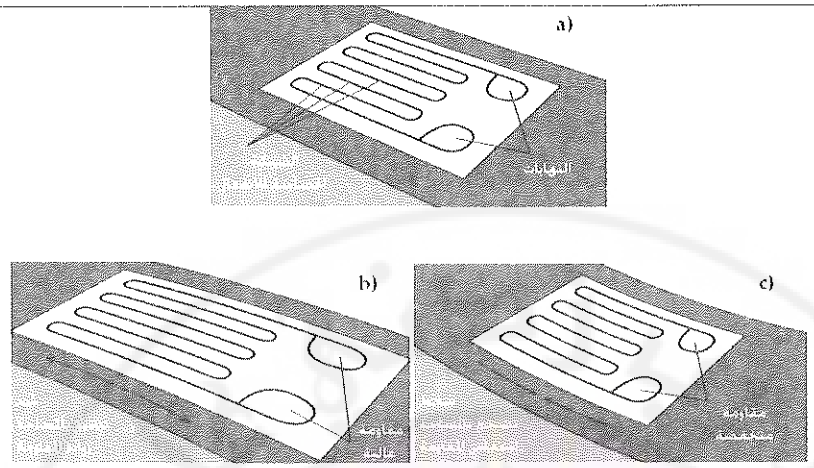
الشكل (٩-١)

٩-٤- بنية الحساسات وأشكالها:

يتألف الحساس عموماً من سلك رفيع طويل يلتف مشكلاً شبكة تدعى مصفوفة كما هو مبين بالشكل (٩-٢) يثبت على رقاقة مصنوعة من مواد غير ناقلة ومن ثم يثبت على القطعة المختبرة حيث يوجه بحسب اتجاه الانفعال العامل وبالتالي أي تشوه في القطعة المختبرة يؤدي إلى تشوه لمصفوفة الحساس مما يجعل السلك ينضغط أو يستطيل كما هو مبين بالشكل (٩-٣).



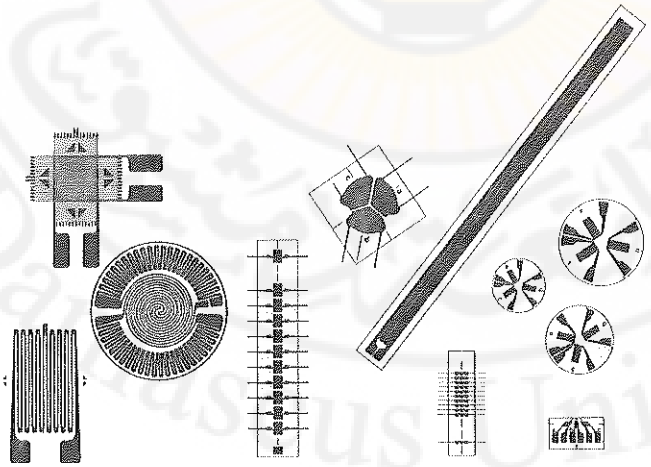
الشكل (٩-٢) الشكل العام لحساس الانفعال



الشكل (٩-٣) طريقة عمل الحساس

يعرف المنتجين الحساسات عادة من خلال مجموعة عوامل تبدأ من مادة الرقاقة المثبت عليها الحساس إلى الخليطة المصنوع منها مروراً بطوله ومقاومته، حيث تتوافر بشكل عام الحساسات بأطوال من (0.20 mm) إلى (102 mm) وبمقاومة تتراوح بين 120Ω ، 350Ω، 700Ω و 1000Ω.

تشكل الحساسات بأشكال مختلفة كما هو مبين بالشكل (٩-٤) حيث تشكل الوريدات اجتماع لحساسين أو ثلاثة. ويعتبر استخدام الوريدة الثلاثية ضرورياً عند تعذر الوصول بشكل مسبق على أية معلومات عن حقل الانفعال لإيجاد اتجاه وطويلة المركبة الرئيسية للانفعال في حين يمكن استخدام الوريدة الثنائية ذات الـ 90° في حال كان الاتجاه معروفاً بشكل مسبق وفي بعض الحالات كالشد المحوري أو الانعطاف أو الفتل للقضبان فيكفي استخدام حساس أحادي لقياس الانفعال



الشكل (٩-٤) الأشكال المختلفة للحساسات

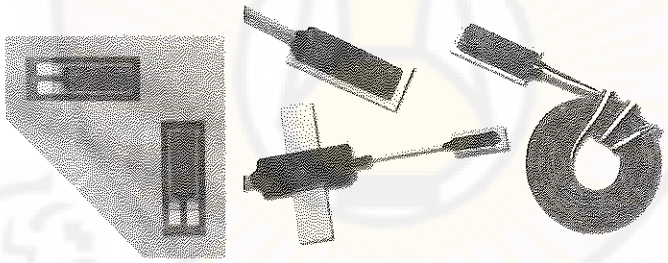
تقسم حساسات الانفعال إلى نوعين أساسين وذلك بحسب طريقة تثبيتها على العنصر المراد اختباره ويعتمد اختيار النوع الواجب استخدامه بشكل كبير على التطبيق المدروس والشروط المحيطة خلال عمليتي التثبيت والاختبار :

١. حساسات الانفعال الملصوقة:

وهي عبارة عن حساسات مصنعة من شبكة الحساس مثبتة على رقاقة مصنوعة من مواد غير ناقلة مثل البوليميد أو الألياف الزجاجية وكما يدل عليه اسمها فهي تلصق على العنصر المراد اختباره باستخدام مادة لاصقة شديدة الالتصاص، ويتطلب هذا النوع من الحساسات تحضيراً مناسباً للسطح لضمان سطح نظيف قبل اللصق

٢. حساسات الانفعال الملحومة:

وهي عبارة عن حساسات مصنعة من شبكة الحساس مثبتة على رقاقة مصنوعة من مواد غير ناقلة وهي مثبتة بدورها على رقاقة فولاذية ومن ثم يمكن لحام هذه الرقاقة بشكل نقطي على العنصر المختبر ويجب أن تكون نقاط اللحام منتظمةً على محيط الحساس للحصول على اتصال منتظم بين الحساس والجسم المختبر ويستخدم هذا النوع من الحساسات على الأجسام المدنية الحديدية وهي تتطلب تحضيراً أقل للسطح وهي تستخدم تحت جميع الظروف المحيطة حتى في درجات الحرارة المرتفعة.



الشكل (٩-٥) الحساسات الملحومة

ولقد طورت مؤخراً أنواع كثيرة من الحساسات لتتوافق مع تطبيقات خاصة غير الحساسات التقليدية المستخدمة لقياس الانفعال حيث هناك حساسات تستخدم لتنبه نشوء التشققات وأخرى لتتبع انتشارها وأخرى تستخدم لقياس الإجهادات المتبقية كما هو مبين بالشكل (٩-٦).

٩-٥- تطبيقات واستخدامات حساسات الانفعال:

١. هندسة السكك الحديدية.

٢. صناعات الطيران و الفضاء.

٣. الصناعة الالكترونية لمراقبة تأثير الانفعالات الناتجة عن التغيرات الحرارية.

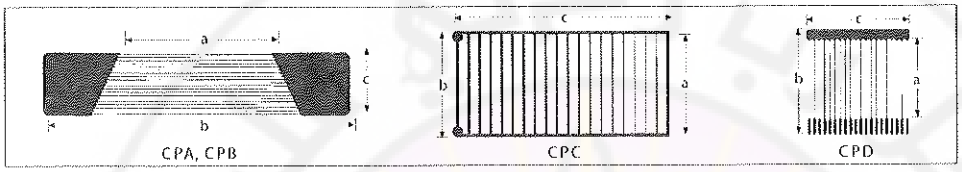
٤. صناعة محولات الطاقة.

٥. استخدامها في قياس الوزن.

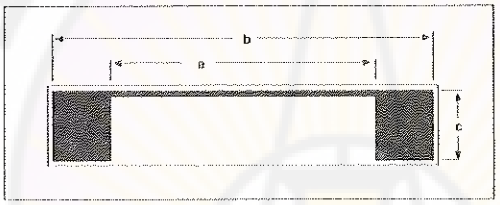
٦. مراقبة و توقع انهيار المنشآت الكبيرة

٧. في المجالات الطبية وفي هندسة الطبية

٨. دراسة وتحليل الإجهادات المتبقية



أ



ب



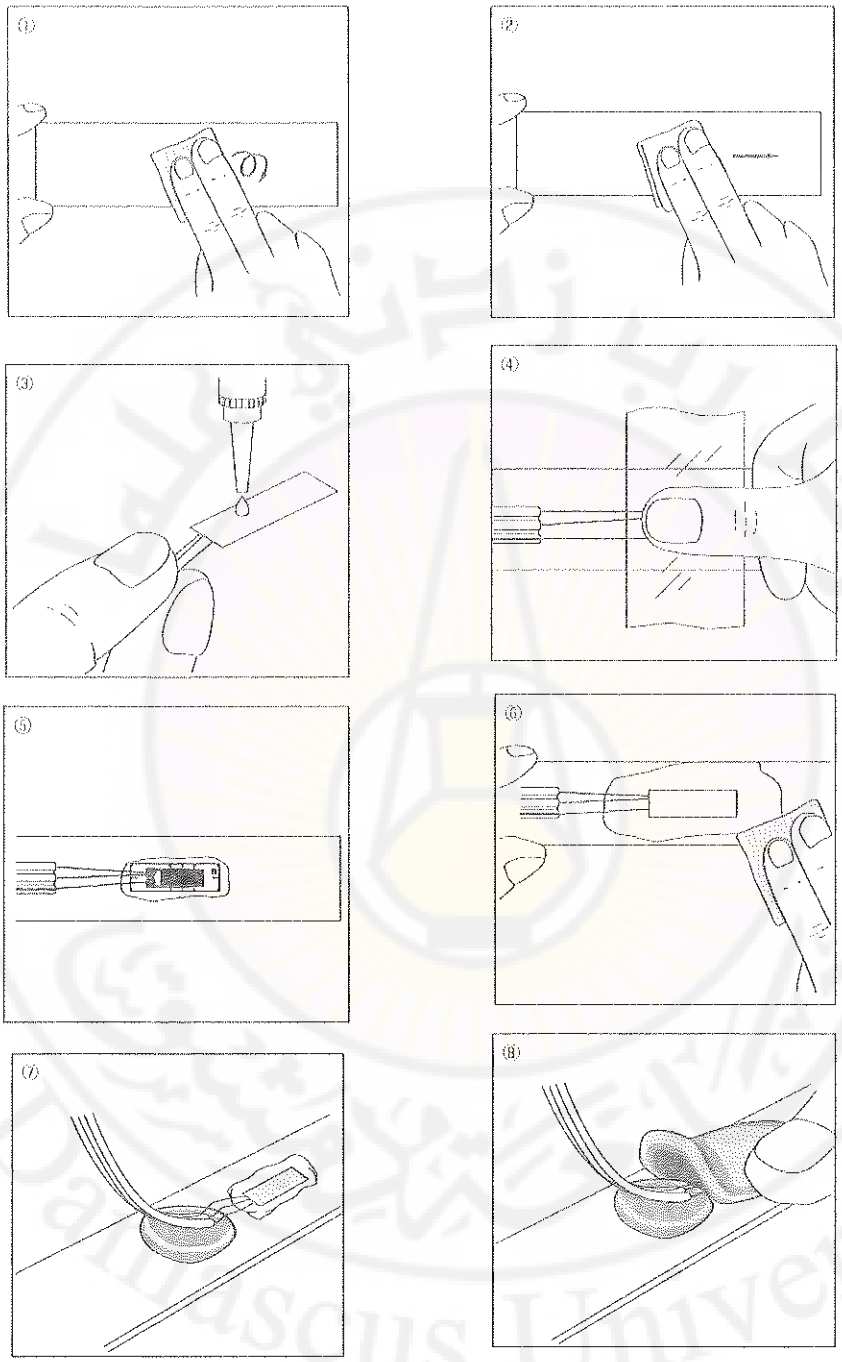
جـ

الشكل (٩-٦) أشكال خاصة من الحساسات

أ- حساسات تتبع التشققات، ب- حساسات انتشار التشققات، جـ- حساسات قياس الإجهادات المتبقية

٩-٦- طريقة تثبيت حساسات الانفعال:

١. يجب أولاً تنظيف المنطقة التي سيتم عندها إلصاق الحساس على الجسم بورق صقل متغير النعومة وصولاً إلى ورق ناعم الحبيبات بشكل متدرج بحيث تكون المساحة المصقولة تفوق الحساس، مساحة، كما يجب إزالة أي طلاء أو صدأ يمكن أن يكون على القطعة المختبرة.



الشكل (٩-٧) خطوات تثبيت الحساسات

٢. يجب إزالة الدهون و الزيوت باستخدام محلول مذيب طيار مثل الأسيتون بواسطة قطع من القطن أو الشاش حيث يتم مسح منطقة المختبرة بقوة وفي اتجاه واحد وبعد ذلك يتم وضع علامة على مكان الالتصاق .

٣. بعد التمييز بين السطح الأمامي و الخلفي للحساس نضع قطرة من اللاصق على الوجه الخلفي ونضع بعد ذلك الحساس في مكانه المخصص.

٤. يتم تغطية الحساس بواسطة صفيحة من البولي اثيلين وتضغط مع الصفيحة بعناية لمدة (١ min) تقريبا مع الانتباه لعدم تحريك الصفيحة أو الحساس.

ملاحظة : يجب تنفيذ الخطوات ٣ و ٤ بسرعة و إلا فإن اللاصق سوف يفقد فاعليته .

٥. عندما يجف اللاصق يتم إزالة صفيحة البولي اثيلين .

٦. في حال تسرب اللاصق من قاعدة الحساس بشكل كبير فإنه يجب إزالته بواسطة ورقة صقل.

٧. يتم وضع طبقة تحت الأسلاك في المكان الذي لم يلتصق و ذلك لحمايتها.

٨. يتم تغطية الحساس بشكل كامل و جزء من الأسلاك ويجب أن تكون مادة التغطية كتلة واحدة وتضغط بالإبهام كي تصبح مستوية قليلا وتتصل مع مادة التغطية أسفل الأسلاك.

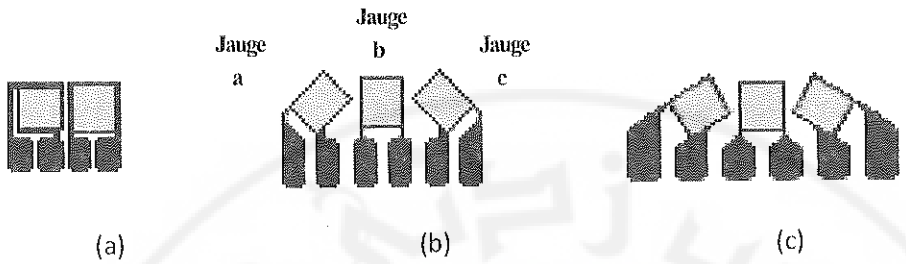
٩-٧-الحساسات المتعددة (الوريدات):

الوريدة بالتعريف هي مجموعة من حساسات الانفعال مثبتة على الرقاقة نفسها بشكل يسمح بقياس الانفعالات في النقطة نفسها وفي اتجاهات متعددة.

بشكل عام في المسائل ذات الإجهاد المركب تكون اتجاهات الإجهاد غير معروفة، وعليه يتوجب معرفة ثلاثة قياسات مستقلة للانفعالات (في ثلاثة اتجاهات مختلفة) لتحديد الانفعالات وبالتالي الإجهادات والقيود الرئيسية، وهنا تصبح الحاجة ملحة لاستخدام الوريدات، وهناك ثلاثة أنواع مختلفة من الوريدات كما هو موضح بالشكل ٩-٨:

- الوريدة 90° أو T وهي تحتوي على زوج متعامد من الحساسات
- الوريدة 45° أو المتعامدة وهي تحتوي على ثلاثة حساسات، تتوضع على زوايا 45° فيما بينها وبذلك تكون الزاوية بين الأول والثالث هي 90°.

- الوريدة 60° أو Δ وهي تحتوي على ثلاثة حساسات، تتوضع على زوايا 60° فيما بينها وبذلك تكون الزاوية بين الأول والثالث هي 120°.



الشكل (٩-٨) أشكال الوريدات

(a) الوريدة T ، (b) الوريدة المتعامدة ، (c) الوريدة Δ

يمكن استنتاج المعادلات التي تسمح بحساب الانفعالات الرئيسية وكذلك زاوية ميلها من خلال القيم الثلاث المقاسة إنطلاقاً من ميكانيك الأوساط المستمرة، فبالعودة إلى الشكل (٩-٩) والذي يمثل دائرة مور Mohr، يحسب الانفعال ε_θ في الإتجاه الذي يقع على الزاوية θ من الانفعال الرئيسي الأعظمي ε_{max}، بالعلاقة :

$$\varepsilon_\theta = \frac{\varepsilon_{max} + \varepsilon_{min}}{2} + \frac{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}}{2}\cos 2\theta \qquad (٩-٢)$$

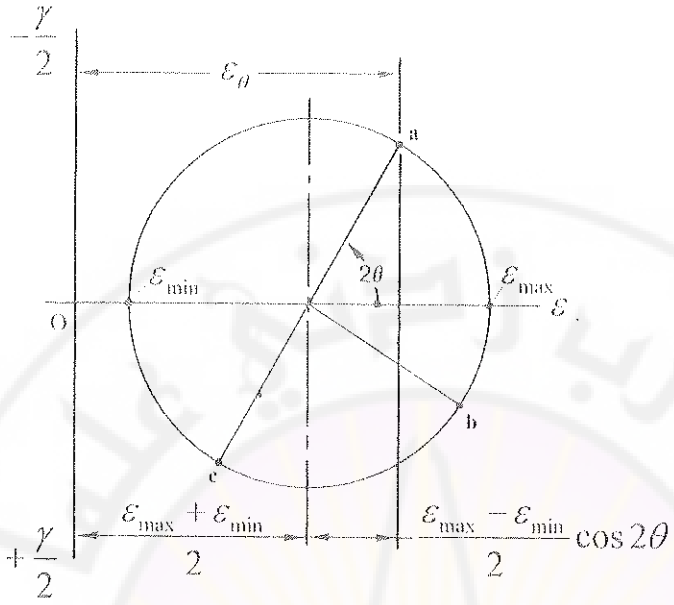
وعليه وباسقاط الشكل ٩-٩ على تمثيل الوريدة الثلاثية القائمة نحصل على التمثيل المبين بالشكل ٩-١٠ والذي يمكننا من إيجاد العلاقة بين كل من ε_a و ε_b و ε_c القيم الثلاث المقاسة من حساسات الوريدة وقيم الانفعال الرئيسي الأعظمي ε_{max} والأصغري ε_{min} بتطبيق العلاقة (٩-٢) وفقاً لما يلي:

$$\varepsilon_a = \frac{\varepsilon_{max} + \varepsilon_{min}}{2} + \frac{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}}{2}\cos 2\theta \qquad (a-٣-٩)$$

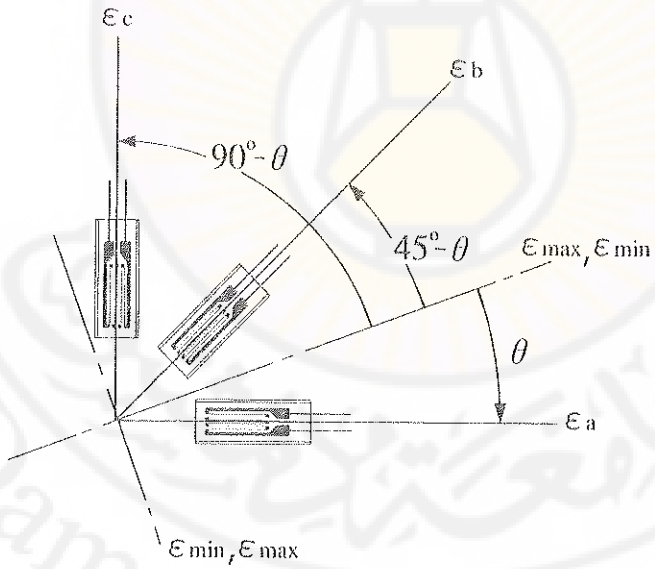
$$\varepsilon_b = \frac{\varepsilon_{max} + \varepsilon_{min}}{2} + \frac{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}}{2}\cos 2(45° - \theta) \qquad (b-٣-٩)$$

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{max} + \varepsilon_{min}}{2} + \frac{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}}{2}\cos 2(90° - \theta) \qquad (c-٣-٩)$$

$$(2\varepsilon_b - \varepsilon_a - \varepsilon_c)^2 = 2\left[(\varepsilon_b - \varepsilon_c)^2 + (\varepsilon_a - \varepsilon_b)^2\right] \qquad (d-٣-٩)$$



الشكل (٩-٩) دائرة مور



الشكل (٩-١٠) تمثيل الوريدة مع الانفعالات الرئيسية

وبإصلاح المعادلات (٩-٣) لجهة عزل الانفعالات الرئيسية والزاوية نحصل على المعادلات التالية:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{1}{2}\left[\varepsilon_a + \varepsilon_c + \sqrt{2\left\{\left(\varepsilon_a - \varepsilon_b\right)^2 + \left(\varepsilon_b - \varepsilon_c\right)^2\right\}}\right] \qquad (٩-٤)$$

$$\varepsilon_{\min} = \frac{1}{2}\left[\varepsilon_a + \varepsilon_c - \sqrt{2\left\{\left(\varepsilon_a - \varepsilon_b\right)^2 + \left(\varepsilon_b - \varepsilon_c\right)^2\right\}}\right] \qquad (٩-٥)$$

$$\theta = \frac{1}{2}\tan^{-1}\left[\frac{2\varepsilon_b - \varepsilon_a - \varepsilon_c}{\varepsilon_a - \varepsilon_c}\right] \qquad (٩-٦)$$

كما يمكن عند الضرورة حساب الانفعال على الفتل إنطلاقا من العلاقة

$$\gamma_{\max} = \left(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min}\right) \qquad (٩-٧)$$

وعليه تحسب قيمة هذا الانفعال بدلالة قيم الانفعال المقاسة ε_a و ε_b و ε_c عبر العلاقة:

$$\gamma_{\max} = \sqrt{2\left\{\left(\varepsilon_a - \varepsilon_b\right)^2 + \left(\varepsilon_b - \varepsilon_c\right)^2\right\}} \qquad (٩-٨)$$

لأجل المواد المتجانسة وعندما تكون العلاقة بين الإجهاد والانفعال خطية فإن الإجهاد يتناسب مع الانفعال وعليه يمكن استخدام العلاقة الثنائية المحاور لقانون هوك للإنتقال من الانفعالات إلى الإجهادات عند معرفة معامل المرونة E ومعامل بواسون ν للمادة المدروسة، وعليه نجد :

$$\sigma_{\max} = \frac{E}{1-\nu^2}\left(\varepsilon_{\max} + \nu\varepsilon_{\min}\right) \qquad (٩-٩)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{E}{1-\nu^2}\left(\varepsilon_{\min} + \upsilon\varepsilon_{\max}\right) \qquad (٩-١٠)$$

حيث تمكن هذه المعادلات من حساب قيم الإجهادات العظمى والصغرى

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

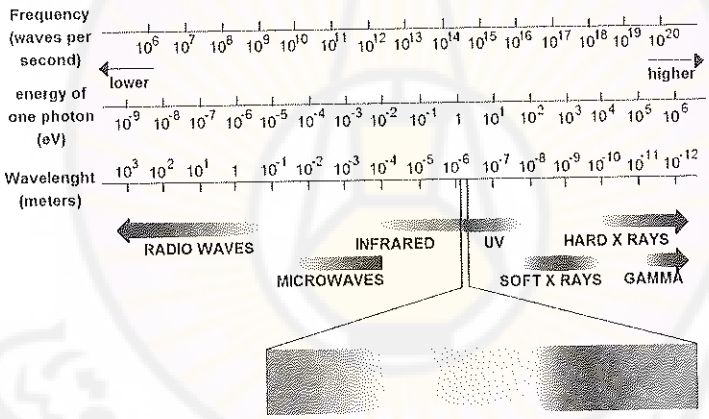
الفصل العاشر

التصوير الحراري

Thermography

١٠-١- مفاهيم أساسية في الأشعة تحت الحمراء والتصوير الحراري :

يشكل الضوء المرئي جزءً صغيراً جداً من الطيف الكهرومغناطيسي، وهو يقع ضمن المجال من الأحمر وحتى البنفسجي $0.39-0.77\mu m$ كما هو مبين في الشكل (١٠-١)، وهو ما يمكن للعين البشرية التحسس له وتمييزه، إلا أن العين غير قادرة على رؤية الأشكال الأخرى من الإشعاع خارج مجال الضوء المرئي سواء كانت قبل هذا المجال أم بعده، فلا يمكن للعين رؤية الأشعة فوق البنفسجية (UV) الموجودة عند إحدى نهايتي مجال الضوء المرئي في الطيف الكهرومغناطيسي، أو رؤية الأشعة تحت الحمراء (IR) الموجودة عند النهاية الأخرى له.



الشكل (١٠-١) الطيف الكهرومغناطيسي

إن كل الأجسام التي تزيد درجة حرارتها عن الصفر المطلق ($0[K]=-273.15C^o$) تشع أشعة كهرومغناطيسية، تنبعث منها طاقة تنتقل على شكل موجات كهرومغناطيسية ذات أطوال موجية من 0 إلى ∞، تنتقل بسرعة الضوء، يطلق عليها اسم الأشعة تحت الحمراء لوقوعها قبل اللون الأحمر من الضوء المرئي في الطيف الكهرومغناطيسي، فالحرارة التي نشعر بها من ضوء الشمس أو من النار أو من المشعات المختلفة جميعها هي أشعة تحت حمراء، وهي بالرغم من عدم قدرة أعيننا على رؤيتها، إلا أن الأعصاب الموجودة في جلدنا تتحسس لها على هيئة صورة حرارة، فكلما كان الجسم أكثر دفئاً، كلما كانت طاقة الأشعة تحت الحمراء المنبعثة منه أعلى وبالتالي طولها الموجي أقل.

تملك الأشعة تحت الحمراء خواص الضوء المرئي من حيث: الانتشار، الانعكاس، الانكسار، التداخل، الانعراج والاستقطاب، ويعود اكتشافها إلى العام ١٨٠٠ عندما تمكن العالم الألماني فريدريك ويليام هيرشل (Frederick William Herschel) من تحليل الضوء إلى ألوانه الأساسية من خلال موشور زجاجي، حيث لاحظ في أثناء قياس درجة حرارة مكونات الطيف الملون باستخدام مقياس حرارة، ازدياداً في درجة الحرارة في أثناء انتقال مقياس الحرارة من مجال اللون البنفسجي إلى مجال اللون الأحمر، كما لاحظ أن درجة الحرارة تبلغ قيمة عظمى في الجزء المظلم الواقع خارج الطيف المرئي وقبل الضوء الأحمر، مما يؤكد أن هناك إشعاعات غير مرئية تقع قبل الطيف الأحمر.

يقسم مجال طيف الأشعة تحت الحمراء بحسب تطور كواشف هذه الأشعة وطبيعة المواد الداخلة في صناعتها إلى ثلاث مناطق:

١- منطقة الأشعة تحت الحمراء القريبة وتقع أطوال موجاتها في المجال $0.7-25\mu m$.

٢- منطقة الأشعة تحت الحمراء المتوسطة وتقع أطوال موجاتها في المجال $25-1000\mu m$.

٣- منطقة الأشعة تحت الحمراء البعيدة وتقع أطوال موجاتها في المجال $25-1000\mu m$.

تتناسب كمية الطاقة المنطلقة من السطح على شكل إشعاع حراري (والتي تكون على هيئة موجات كهرومغناطيسية) مع الانبعاث الحراري والقوة الرابعة لدرجة الحرارة المطلقة للسطح وفقاً لقانون ستيفن-بولتزمان:

$$q'' = \sigma.\varepsilon.T^4$$

حيث:

q'' : كمية الطاقة المنبعثة من واحدة السطوح $\left[W/m^2\right]$

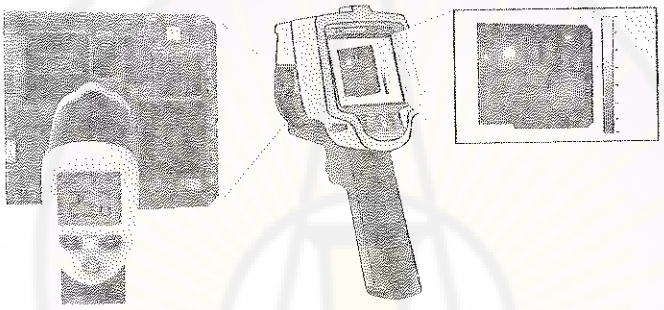
ε : معامل الانبعاث الحراري للسطح $0<\varepsilon<1$

T : درجة الحرارة المطلقة للسطح $\left[K\right]$

σ : ثابت ستيفن- بولتزمان $5.67051\times10^{-8}\left[W/m^2K\right]$

يمكن إجراء قياسات لبقعة مركزة من الأشعة تحت الحمراء باستخدام حساس إشعاع بسيط، حيث يقيس طاقة الأشعة تحت الحمراء المنبعثة في نقطة محددة من السطح ويحولها إلى قراءات لدرجة حرارة هذه النقطة. وعليه فإن هذا النوع من الحساسات أو المقاييس لا يمكن أن يقدم توزعاً متكاملاً لدرجات حرارة سطح ما بشكل متزامن، الأمر الذي يمكن أن يلبي متطلبات معرفة درجة الحرارة في نقطة محددة فقط وليس في تحري وجود مناطق تكون فيها درجات الحرارة تفوق شروط الاستثمار الموضوعة لها، لذا فإن أنماطاً أخرى من

التجهيزات تسمح بإجراء مسح كامل للسطح أو الجسم المراد دراسته تكون أكثر ملائمة، وهي ما يطلق عليه "الكاميرات الحرارية"، حيث تعطي هذه الكاميرات صورة للجسم المختبر تعكس تغيرات الأطوال الموجية لموجات الأشعة تحت الحمراء المنبعثة والمتغيرة بحسب توزع درجات حرارة الجسم المختبر، – الشكل (١٠-٢) – وهي تستخدم عدسات خاصة لمعايرة وتركيز الأشعة تحت الحمراء المنبعثة عن الأجسام المختبرة على حساس كشف خاص ثم يتم تحويل إشارة الاستجابة الكهربائية إلى عرض بصري على هيئة صورة رقمية بدرجات لونية مختلفة (أو بظلال رمادية أو خضراء) تتوافق مع مختلف مستويات درجة حرارة السطح الهدف، وبذلك نحصل على تقييم سريع للمناطق ذات الحرارة المرتفعة وبعد ذلك وبالاستفادة من برمجيات خاصة يمكن تحليل الصور الحرارية لتقييم حالة السطح بحسب شروط الاستثمار الموضوعة له.



الشكل (٢) مقاييس الحرارة بالأشعة تحت الحمراء مقابل الكاميرات الحرارية

فالتصوير الحراري يتم باستخدام جهاز أشبه بأدوات التصوير التقليدية وهو يحدد النموذج الحراري في طيف طول الموجة تحت الحمراء دون اتصال مباشر مع الجسم المختبر كما هو موضح بالشكل (١٠-٢)، وقد اقتصرت بدايات التصوير الحراري على التطبيقات العسكرية، ثم سرعان ما اقتحم ميدان التطبيقات المدنية كفحص أنظمة التوزيع والإرسال الكهربائية الضخمة، وفي سبعينيات القرن العشرين أنتج أول نظام محمول استخدم في تطبيقات مختلفة كتشخيص المباني والاختبارات اللاإتلافية للمعادن.

تعتمد دقة القياس في التصوير الحراري على معايير مختلفة مثل:

١. الانبعاث الحراري.
٢. طبيعة الغلاف الجوي في بيئة الاختبار (غاز أو بخار أو وجود جسيمات صلبة).
٣. درجة الحرارة المحيطة.
٤. سرعة الرياح.
٥. البعد عن الجسم المختبر.

تعتمد الانبعاثية النصف كروية لسطح ما على درجة حرارته فقط، فهي تعبر عن كفاءة هذا السطح لانبعاث الطاقة مقارنة مع سطح باعث مثالي (جسم أسود black-body، ذو معامل انبعاث يساوي الواحد) يحمل درجة الحرارة نفسها، إن معظم الأسطح غير المعدنية مثل الطلاء والخشب والبلاستيك تكون قيمة الانبعاثية لها عالية، ويمكن أن تتجاوز $\varepsilon \geq 0.8$ ، بالمقابل تكون السطوح المصقولة أو سطوح المواد المعدنية ذات كفاءة أقل في انبعاث الطاقة بفضل إلكتروناتها السطحية مما يزيد من صعوبة قياس درجة حرارتها أو اقتفاء التوزع الحراري لها، فالانبعاثية للمعادن اللامعة تتراوح بين $0.05 < \varepsilon < 0.2$ ، في حين أن غلفتها بطبقات أوكسيدية أو بأي متضمنات أخرى يمكن أن يعطيها قيماً انبعاثية أعلى بكثير، إلا أنه من غير الممكن في الكثير من الحالات غلفنة سطوح العناصر المعدنية النظيفة واللامعة قبل اختبارها وعليه فإن عملية اختبارها تكون غير ممكنة، لذا فإن معظم التجهيزات المتاحة تسمح بإدخال معاملات تصحيح للانبعاثية في الحالات التي تكون قيمتها ضمن المجال $\varepsilon \leq 0.5$ ، ويكون من المفيد -حيث يمكن ذلك- وضع مواد ذات انبعاثية عالية $\varepsilon = 0.9$ على الأسطح المعدنية اللامعة، مثل الملصقات الورقية، أو الطلاء أو أشرطة كهربائية، كما يمكن استخدام الطلاء الأسود القابل للذوبان في الماء، مما يسمح بإزالته بعد إجراء الاختبار، وفي كل الأحوال فإن الأسلوب الأكثر وثوقية لتحديد الانبعاثية يقتضي تنفيذ قياس ولو لنقطة أو لعينة واحدة على الأقل باستخدام وسيلة أخرى مستقلة لقياس الحرارة،وذلك في الوقت نفسه الذي يتم فيه قياس الانبعاث الحراري بالأشعة تحت الحمراء (التصوير الحراري) مثل المزدوجة الحرارية، بحيث يتم ضبط الانبعاثية بما يضمن تطابق درجتي الحرارة المقاستين بالتصوير الحراري وبوسيلة قياس الحرارة الأخرى المستقلة المستخدمة.

١٠-٢- ميزات التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء:

١. إعطاء نموذج حراري آني للتطبيق المدروس.
٢. يعمل دون اتصال وعليه فهو وسيلة لاإتلافية للاختبار، ولا تتطلب إيقاف تشغيل الأجسام المختبرة.
٣. قادرة على التقاط وتسجيل التوزيع والتباينات الحرارية بشكل فوري.
٤. قادرة على تحديد مواقع التغيرات الحرارية أو التسريب الحراري.
٥. قابلة للتطبيق في جميع التطبيقات ولمختلف المواد.
٦. ذات دقة و وثوقية عالية.
٧. تعطي وثيقة تبين حالة الأجسام المختبرة لحظة القيام بالاختبار.

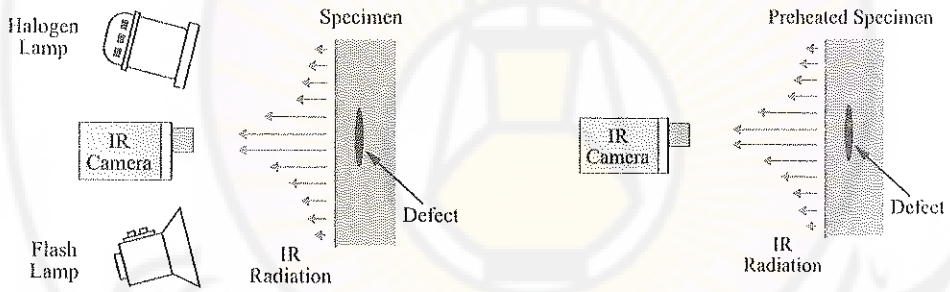
١٠-٣- حدود التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء:

١. تتطلب طريقة الاختبار حرارة مرتفعة نسبياً للأجسام المختبرة مما يستلزم وجود تجهيزات إضافية لتسخين هذه الأجسام.

٢. تتطلب الأجسام ذات الأسطح اللامعة معالجة خاصة لأسطحها كوضع الملصقات الورقية، أو الطلاء أو أشرطة كهربائية.

١٠-٤- تقنيات التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء:

تتفرع تقنيات التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء استناداً إلى أسلوبين أساسين كما هو مبين بالشكل (١٠-٣)، التصوير الحراري الفاعل و التصوير الحراري المنفعل، حيث تقوم تقنية التصوير الحراري المنفعل على أساس أن الجسم المختبر يملك درجة حرارة أعلى نسبياً من الوسط المحيط، مما يسمح للمختبر القيام بأعمال المسح الحراري دون الحاجة لمصدر طاقة لرفع درجة حرارة الجسم المختبر، في حين تكون درجة حرارة الجسم المختبر مقاربة لدرجة حرارة الوسط المحيط مما يتطلب وجود مصدر طاقة لإحداث تغير حراري على الجسم المختبر يمكن تمييزه باستخدام كاميرات التصوير الحراري .



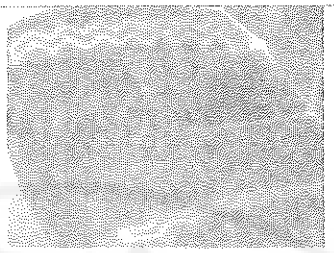
Active Thermography Technique — تقنية التصوير الحراري الفاعل

Passive Thermography Technique — تقنية التصوير الحراري المنفعل

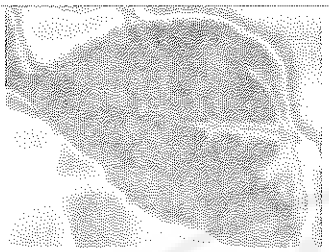
الشكل (١٠-٣) تقنيات التصوير الحراري.

١٠-٥- تطبيقات التصوير الحراري:

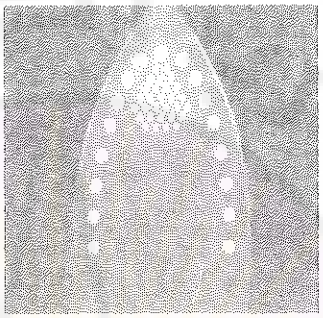
زاد الاهتمام بالتصوير الحراري بدرجة كبيرة خلال السنوات القليلة الماضية، لتشمل العديد من التطبيقات الهندسية والصناعية والإنشائية مثل : الإلكترونيات الدقيقة ومعالجة الورق والسيارات وتقييم المواد الخام والاختبارات الميكانيكية والأبحاث والتطوير وغير ذلك الكثير من التطبيقات، كما هو مبين بالشكلين (١٠-٤) و (١٠-٥)، ونورد فيمايلي بعضاً من تطبيقات استخدام التصوير الحراري.



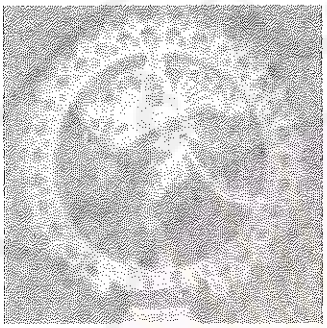
فحص الحراري مقاعد السيارات



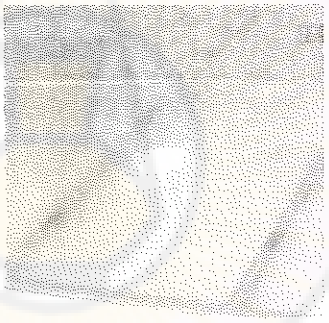
تقييم الإنتقال الحراري للنباتات



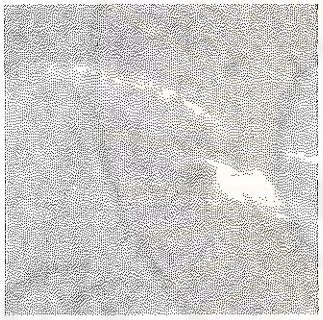
مراقبة الجودة الحرارية للأجهزة المحلية



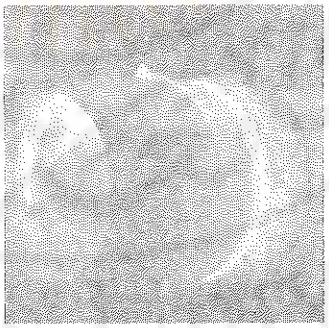
التقاط الصورة الحرارية باستخدام عدسات ماكرو



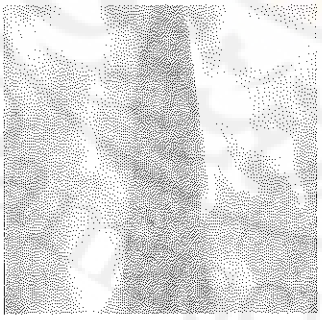
فحص اللوحات الشمسية



المراقبة الحرارية للبراكين

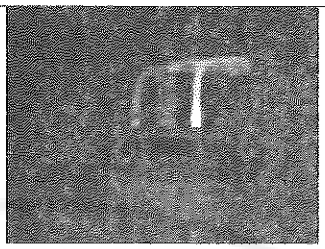


تحليل انتقال حراري مؤقت

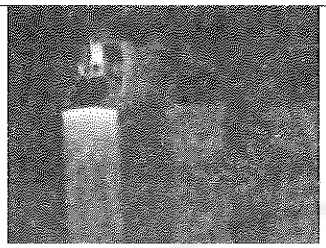


تصوير العروق

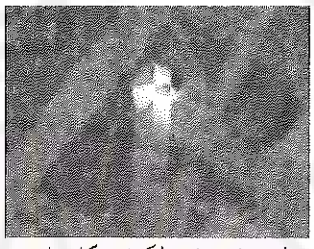
الشكل (١٠-٤) بعض تطبيقات التصوير الحراري.



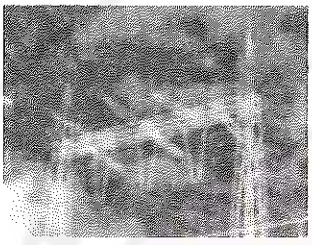
رداءة التوصيل والتلف الداخلي



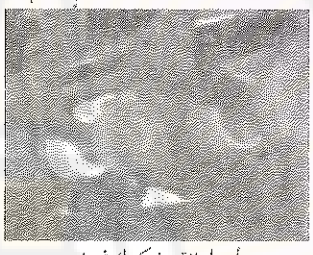
تلف المصهرات الداخلية



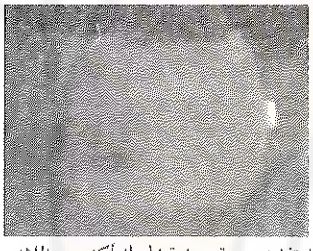
التوصيلات غير المحكمة بشكل سليم



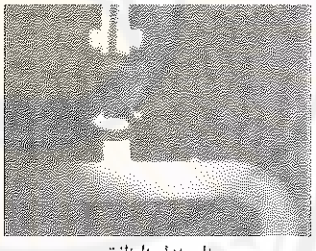
فحص خطوط الطاقة عالية الفولطية



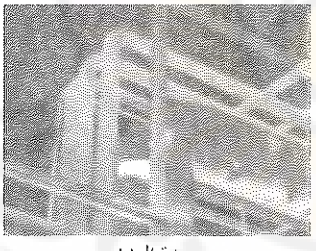
أسطوانة مشكوك فيها



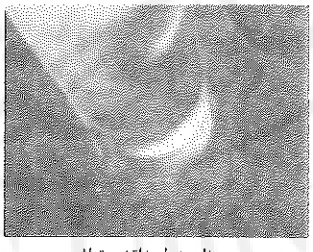
ارتفاع درجة حرارة المحرك أكثر من اللازم



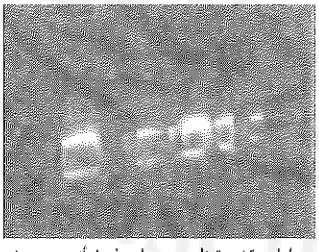
العوازل التالفة



مصيدة البخار



عيوب بالعوازل المقاومة للصهر



تعطيل مقاومة الصهر على فرن أسمنتي دوار

الشكل (١٠-٥) بعض تطبيقات التصوير الحراري.

١- تطوير المنتجات الجديدة:

لقد تم تطوير العديد من المنتجات الحديثة بمساعدة كاميرات التصوير الحراري،من خلال خصائصها الحرارية وتبدد الحرارة عبرها.

٢- لوحات الدوائر المطبوعة

يواجه العلماء الذين يقومون بتصميم لوحات الدوائر الكهربائية المطبوعة، تحديًا يتمثل في إدارة التوزيع الحراري بدون التضحية بالأداء أو التكلفة. فبفضل التصوير الحراري، يستطيع المهندسون بسهولة تصوير واحصاء النماذج والأشكال الحرارية في الأجهزة التي يقومون بتصنيعها.

٣- تحسين عملية التصميم

في عملية التصميم، من النادر ملاحظة مشكلة حرارية بالعين المجردة أو التمكن من قياس الحرارة فوق الأسطح بدقة، ففي أغلب الأحيان، لا تقدم الحسابات النظرية وعمليات المحاكاة نتائج مرضية بدون الاختبارات العملية. ولا شك أن تلك العمليات تعتبر مضيعة للوقت، كما تتطلب تثبيتاً دقيقًا للعديد من الأزواج الحرارية من أجل إثبات كفاءة التصميم. تقوم الأشعة تحت الحمراء بتسريع عملية التطوير وجعلها أكثر كفاءة وفعالية. فهي تقوم بعرض الصورة كاملة ما لا يدع أي شيء للمصادفة.

فالكاميرا التي تعمل بالأشعة تحت الحمراء تمنحك الحاسة السادسة، مما يتيح لك إمكانية قياس ومراقبة وتحليل ما لا يمكنك رؤيته بالعين المجردة، وبالتالي القدرة على تقديم البيانات والإثباتات بأسرع وأسهل طريقة ممكنة، وهي أداة مثالية للتحقق من التصميم وفحصه لتأكد من قدرة المنتج على تلبية المواصفات.

٤- الصيانة التنبؤية

لقد أضحى التصوير الحراري أحد أهم أدوات التشخيص الخاصة بالصيانة التنبؤية، فهو يتيح عن طريق اكتشاف الحالات غير الطبيعية التي غالباً ما لا تُرى بالعين المجرد، اتخاذ الإجراءات التصحيحية قبل وقوع حالات تعطل الأنظمة التي تتسبب في تكاليف باهظة

٥- فحوصات انخفاض الفولطية

عادةً ما تستخدم كاميرات التصوير بالأشعة تحت الحمراء للفحوصات الكهربائية. فمع ارتخاء التوصيلات الكهربائية، تصبح هناك مقاومة للتيار قد تتسبب في ارتفاع درجة الحرارة .وقد يتسبب ذلك في تعطل المكونات مما يؤدي إلى فترات غير متوقعة من انقطاع التيار الكهربائي ووقوع إصابات. علاوة على ذلك، تنخفض كفاءة الشبكة الكهربائية قبل التعطل، ومن ثم تستهلك الطاقة منتجة حرارة ومتسببةً في خسائر غير ضرورية.

٦- فحوصات ارتفاع الفولطية

غالبًا ما يتم فحص محولات الطاقة باستخدام كاميرات التصوير بالأشعة تحت الحمراء، يمكن عقد مقارنة بين زعانف التبريد والتوصيلات عالية الفولطية حتى يتسنى اتخاذ الإجراءات التصحيحية، إن لزم الأمر، قبل وقوع مشكلات حقيقية. تتضمن التركيبات الأخرى عالية الفولطية التي يتم فحصها بكاميرا تصوير بالأشعة تحت الحمراء قواطع الدوائر الكهربائية والمحولات وخطوط الطاقة عالية الفولطية .تظهر مجالات المشكلات المحتملة بوضوح في الصورة الملتقطة بالأشعة تحت الحمراء.

٧- الأنظمة الميكانيكية

تعد الأنظمة الميكانيكية هي العمود الفقري للعمليات في العديد من الصناعات. وتعد بيانات التصوير الحراري مصدراً لا يقدر بثمن للمعلومات المكملة لدراسات الاهتزاز في عملية رصد المعدات الميكانيكية.

٨- أعمال الأنابيب

يعد التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء أداة فعالة في اكتشاف الأعطال في الأنابيب والعوازل. حيث يتم فحص المبادلات الحرارية بصفة منتظمة باستخدام الأشعة تحت الحمراء لاكتشاف الأنابيب المسدودة. وقد تعطي كاميرا التصوير بالأشعة تحت الحمراء نظرة عامة على عملية التركيب ككل. دون الحاجة لفحص كل أنبوبٍ على حدة.

٩- مقاومة الصهر

تقدم أنظمة كاميرات الأشعة تحت الحمراء تشخيصات سريعة ودقيقة لصيانة الأفران وإدارة فقد مقاومة الصهر وتشخيص زعانف المكثف وما إلى ذلك.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الحادي عشر

تطبيقات عملية في الاختبار اللاإتلافي للعيوب

١١-١- مقدمة :

إن العلاقة بين طرائق الاختبار المختلفة ومقدرتها في الكشف عن العيوب تتحدد من خلال دراسة التحاليل الميتالورجية التي تبين أسباب ظهور العيب والعوامل المؤثرة عليه أو من خلال دراسة العيوب المحتملة الظهور من حيث توضعها (سطحي، تحت سطحي، داخلي) ومنشأها (مواد خام، أعمال تشغيل وتشكيل، الاستثمار) وكذلك بدراسة طرائق التصنيع المختلفة (المعالجة الحرارية، الصب، الدلفنة، اللحام، التصفيح، التحليخ ... الخ).

وتعتبر هذه العوامل المعيار الأساسي لاختيار طريقة معينة من طرائق الاختبار وتفضيلها عن الأخرى كما أنها تعطي مزايا ومساوئ استخدام كل طريقة.

حيث إن اختيار أحد هذه الطرائق يعتمد على الأسباب التالية:

١. نوع العيب وسبب ظهوره.
٢. طرق تصنيع المعدن.
٣. مستوى الدقة والحساسية المعطاة لكل عيب.
٤. مستوى التجهيزات المستخدمة لكل طريقة.
٥. تكاليف الاختبار.

والعيوب التي سنتم مناقشتها حاليا تم اختيارها من بين مئات العيوب التي تظهر في منتجات الصناعة اليومية والتي لن تتغير بشكل جذري تحت الظروف المختلفة للتصميم، أمديد السمات الأساسية، المعايير والبيئة.

١١-٢- الاندفاعات : Burst

١١-٢-١- الوصف:

تنشأ هذه العيوب بسبب طرق التشغيل المختلفة وتظهر في المطروقات المصنوعة من مواد مغناطيسية أو غير مغناطيسية. وتتميز هذه العيوب بأنها سطحية التوضع ويمكن أن تكون داخلية المنشأ أحياناً ويختلف شكلها ضمن مجال تغير واسع فيمكن أن تكون اندفاعات خطية رفيعة أو بشكل اندفاعات مفتوحة على السطح بشكل فجوات وغالباً ما تتوضع بشكل مواز لحدود الحبيبات. تنشأ هذه الاندفاعات عند تعرض المطروقات لعمليات التشغيل كالدلفنة، البثق أو التشغيل بالطرق والحدادة.

١١-٢-٢- التحاليل الميتالورجية:

١. إن الاندفاعات الناتجة عن التشكيل تكون سطحية أو داخلية وتنتج بسبب التشغيل بدرجات حرارة منخفضة. أو بزيادة التشغيل عن حد معين أو نتيجة حركة المشغولة في أثناء تعرضها للتشكيل بالسحب أو الدلفنة أو البثق.

٢. تتميز الاندفاعات بمظهرها المتماسك غير الهش أو غير الإسفنجي وبالتالي تظهر بوضوح في الأنابيب وحتى في مركزها.

٣. تتميز الاندفاعات بكونها واضحة، كبيرة.

١١-٢-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

١. الفحص باستخدام الصباغ النافذ: لا يستخدم هذا الاختبار بشكل كبير، وإنما يلجأ إليه في بعض الأحيان حيث يستخدم سائل مفلور للمعالجة، تنظف المشغولة قبل استخدام الصباغ ثم يزال السائل وآثاره بواسطة محلول تنظيف خاص.

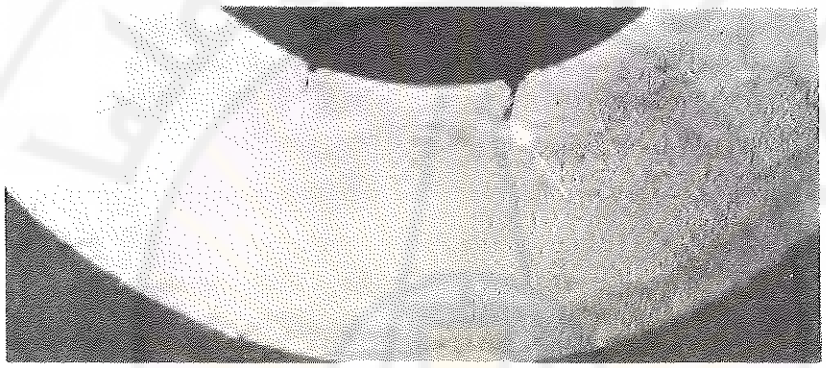
٢. الفحص باستخدام الجسيمات المغناطيسية: يستخدم هذا الاختبار بغية الكشف عن الاندفاعات في المطروقات المصنوعة من مواد مغناطيسية ويبين هذا الاختبار الاندفاعات الموجودة في السطح.

٣. الفحص باستخدام التيارات الدوامية: لا يستخدم هذا الاختبار بشكل واسع للكشف على الاندفاعات ويقتصر استخدامه في الكشف على الأسلاك والقضبان والأنابيب والمواد التي لا يزيد قطرها عن mm.٦,٣٥

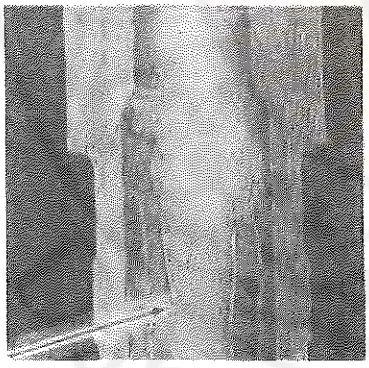
٤. الفحص باستخدام الأمواج فوق الصوتية: تستخدم هذه الطريقة للكشف على الاندفاعات الداخلية في البنية ويعتبر هذا الاختبار هو الأفضل لمعالجة هذه العيوب لأنه يحدد مكان

توضعها في المشغولة مهما كانت درجة انتشارها وحجمها ويتأثر هذا الاختبار سلبياً بوجود النتوءات والحزوز والشوائب الغريبة في معدن المشغولة ووجود الغازات الحبيسة داخل بنية المعدن بحيث تؤدي هذه العوامل إلى نتائج سلبية للاختبار.

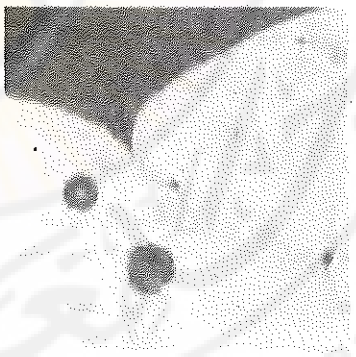
٥. الفحص باستخدام التصوير الشعاعي: لا يلجأ لهذا الاختبار بشكل عام ويقتصر استخدامه عند الحاجة لمعرفة حجم الاندفاعات القريبة من السطح واتجاهها كما يستخدم لتحديد سماكة المشغولات الحاوية لهذه الاندفاعات.



A. SURFACE COLD SHUT



B. INTERNAL COLD SHUT



C. SURFACE COLD SHUT MICROGRAPH

١١-٣- الكسور الباردة : Cold Shuts

١١-٣-١- الوصف:

تظهر هذه العيوب في البنية ويكون سببها عيوب متأصلة في المعدن الخام. ولاسيما في المصبوبات المصنوعة من المواد المغناطيسية أو اللامغناطيسية.

١١-٣-٢- التحاليل الميتالورجية:

تتميز هذه العيوب بظهورها على سطح المشغولة ويكون لها مظهر أملس على سطح المصبوبة تظهر هذه الكسور عند صب المعدن المصهور سواء كان نقياً أم بشكل خليطة حيث يتجمد أحد العناصر قبل الآخر فيؤدي إلى حدوث التمزق ثم الكسر عند تبريد المصبوبة ويمكن أن تحدث الكسور نتيجة وجود الخبث والمواد الغريبة في الخليطة والتي يؤدي تجمدها إلى حدوث الكسر نتيجة عدم التلاحم بين المعدن المتجمد والخبث المتجمد. كما يمكن أن تحدث عند التقاء تيارات المعدن القادمة من اتجاهات مختلفة وتجمدها بحيث يتجمد أحد السطوح بينما ما يزال تدفق المعدن في الاتجاه الآخر أو بسبب بطء التجمد مما يؤدي إلى عدم حدوث الالتحام الكامل بين سطوح المعدن المتجمد وبالتالي نشوء التقلصات التي تؤدي إلى حدوث الكسور الباردة.

١١-٣-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

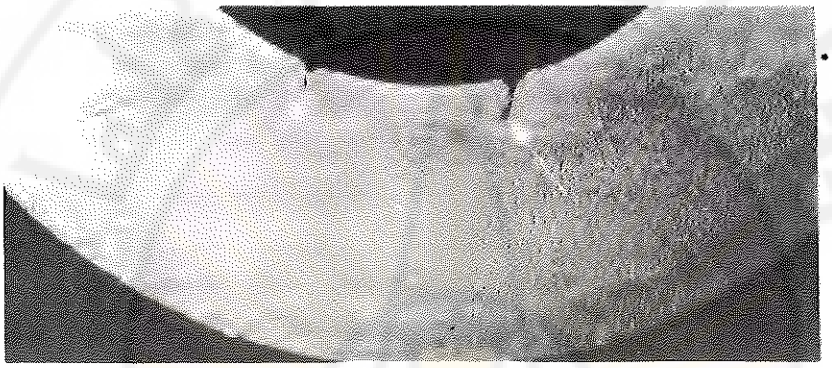
١. الفحص باستخدام الصباغ النافذ: يستخدم هذا الاختبار بشكل واسع للكشف على الكسور السطحية في المعادن المغناطيسية واللامغناطيسية. حيث تظهر الكسور عندئذ بشكل واضح-بشكل خطوط محددة ومستمرة أو بشكل خطوط متناوبة متقطعة، يستخدم هذا الاختبار لفحص خلائط النيكل، الفولاذ، التيتانيوم الحاوي على كبريت بنسبة ١ % ويصعب إجراء هذا الاختبار عندما يكون للمصبوبة سطح أملس صقيل بحيث لا يساعد على نفاذ الصباغ إليها.

٢. الفحص باستخدام الجسيمات المغناطيسية: يستخدم هذا الاختبار عند دراسة الأجسام المغناطيسية ولاسيما الفولاذ المقاوم للصدأ وفي بعض الحالات يمكن استخدام هذا الاختبار في مشغولة مؤلفة من أكثر من معدن (سبيكة أو خليطة) بمعرفة أي من أجزاء الخليطة يتمتع بقدرة على الاحتفاظ بالمغناطيسية أكثر من بقية الأجزاء.

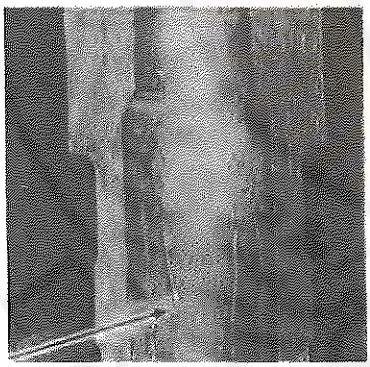
٣. الفحص بطريقة التيارات الدوامية: لا ينصح بهذا الاختبار بسبب شكل المصبوبة وبنيتها التي لا تساعد على مرور هذه التيارات وبالتالي الكشف عن العيوب.

٤. الفحص بطريقة الأمواج فوق الصوتية : لا ينصح باستخدام هذا الاختبار في المصبوبات لأن بنية المصبوبة وهيئتها العامة لا تساعد على دقة الاختبار.

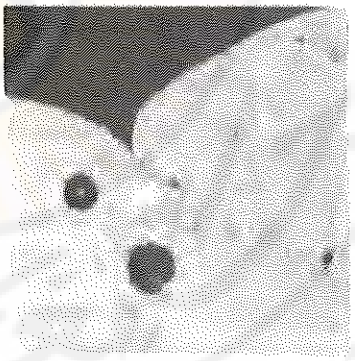
٥. الفحص باستخدام الأشعة السينية: تتحدد الكسور الباردة بشكل واضح تماماً عند استخدام الأشعة السينية لذلك تعد من أفضل طرائق NDT للكشف عليها حيث تظهر الكسور بلون قاتم أكثر من بقية أجزاء المشغولة كما يظهر طولها وعرضها وحدودها بشكل واضح، ومن الجدير بالذكر أن أهم خصائص هذا الاختبار أنه يظهر الكسور مهما كان شكل المصبوبة معقداً.



A. SURFACE COLD SHUT



B. INTERNAL COLD SHUT



C. SURFACE COLD SHUT MICROGRAPH

١١-٤- الشقوق السطحية الشرائحية (البراغي والمسامير (Bolts) (Fillet Cracks

١١-٤-١- الوصف:

تحدث هذه التشققات في البراغي والمسامير نتيجة طول الاستخدام ولاسيما في البراغي المصنوعة من المواد المشكلة بالطرق (مغناطيسية أو لامغناطيسية).

١١-٤-٢- التحاليل الميتالورجية:

تتميز هذه العيوب بظهورها بشكل واضح على السطح وتتوضع في مكان اتصال جسم البرغي مع الرأس حيث يظهر العيب بشكل شرائح ممتدة من السطح حتى البنية الداخلية للبرغي.

تحدث هذه الشقوق عند تغير المقطع المفاجئ بين جسم البرغي والرأس وفي منطقة الاتصال بينهما حيث تتركز الإجهادات في هذه المنطقة.

كذلك ففي أثناء الاستخدام المتواصل يحدث تحميل متكرر لهذه المنطقة بإجهادات متكررة ناتجة عن حمولات الشد المتبدلة. تتسبب هذه الحمولات في ظهور إجهادات التعب في نقطة الاتصال. تبدأ هذه الإجهادات بتأثيرها على السطح ثم تمتد إلى الداخل مسببة تقصف شرائحي وكسر لجسم البرغي بعد فترة من الاستخدام.

١١-٤-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

١. الفحص باستخدام الصباغ النافذ: يستخدم هذا الاختبار بكثرة في أثناء كون المشغولة في وضعية التشغيل نظراً لسهولته فتظهر العيوب بشكل واضح ويمكن تكرار الاختبار لفترات متلاحقة لمعرفة مدى تطور العيب في أثناء الخدمة بغية ترميمه ومحاولة إصلاحه، ومن مساوئ استخدام هذا الاختبار أن انحباس الصباغ الزائد في داخل بنية المعدن وفي التجاويف يمكن أن يسبب التآكل والتلف عند تعرضه للرطوبة وعند عدم إزالته بالمحلول المزيل بشكل كامل، كما يمكن أن تتعرض بنية المعدن للضرر نتيجة تعرضها الطويل للسائل الكاشف بسبب احتوائه على مواد قلوية أو بسبب الأكاسيد الموجودة في المزيل المحل له، لذلك يفضل استخدام هذا الاختبار في البراغي المصنوعة من المواد المقاومة للصدأ والمعادن اللامغناطيسية.

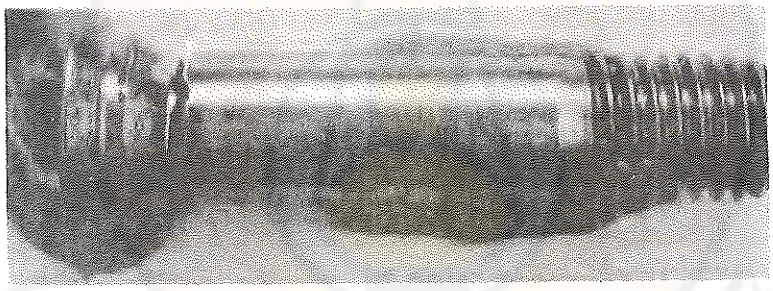
٢. الاختبار بالجسيمات المغناطيسية: يستخدم هذا الاختبار حصراً في البراغي المصنوعة من المعادن المغناطيسية حيث تظهر الشقوق بشكل واضح من حيث امتدادها وتجمعها مع التنويه إلى أن الفولاذ يعد أقل المعادن قابلية للمغنطة في حال كان مصنوعاً في شروط التلدين ولكنه

يصبح قابل للتمغنط بشكل كبير بعد معالجته حرارياً وبالتالي يمكن فحصه بهذا الاختبار عند توافر شروط المعالجة فيه.

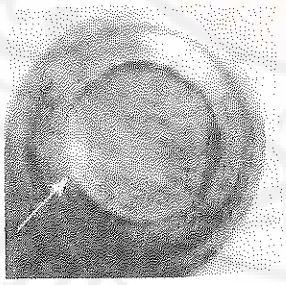
٣. الاختبار بالتيارات الدوامية: لا يستخدم هذا الاختبار بشكل كبير في تحديد أماكن العيوب في البراغي لأن بقية طرائقNDT تعتبر أكثر كفاءة في الكشف على هذا النوع من العيوب .

٤. استخدام اختبار الأمواج فوق الصوتية: وهو أكثر طرق الاختبار استخداماً في هذا النموذج من العيوب نظراً لخصائص التجهيزات العالية الحساسية المستخدمة لتوليد الأمواج فوق الصوتية مما يعطي نتائج ذات موثوقية عالية فعندما يكون التشقق محدد النهاية فإن العينة المدروسة تعطي انعكاساً حاداً بحيث يمكن مراقبة انتشار الشق والتعرف على حدوده من انعكاس الأمواج الساقطة عليه.

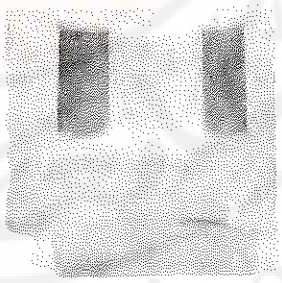
٥. الاختبار بالأشعة السينية: لا يستخدم هذا الاختبار بشكل واسع لتحديد هذه العيوب نظراً لصعوبة الحصول على نتائج واضحة، لأن العيوب السطحية في هذا النوع تكون صعبة الكشف نظراً لعدم إمكانية تحديد حجم العيب بالنسبة إلى سماكة المعدن.



A. FILLET FATIGUE FAILURE



B. FRACTURE AREA OF (A) SHOWING TANGENCY POINT OF FAILURE



C. CROSS-SECTIONAL AREA OF FATIGUE CRACK IN FILLET SHOWING TANGENCY POINT IN RADIUS

١١-٥-الشقوق الناتجة عن التجليخ : Grinning Cracks

١١-٥-١- الوصف:

تصنف ضمن العيوب الناتجة عن عمليات التشغيل وتحدث في المشغولات المصنوعة من المعادن الحديدية واللاحديدية.

تتميز هذه العيوب بأنها سطحية الموضع ليست عميقة ولكنها حادة عند الجذر (جذر الشق) وتتشابه مع الشقوق الحادثة نتيجة المعالجة الحرارية.

١١-٥-٢- التحاليل الميتالورجية:

تتوضع بشكل مجموعة من الشقوق الخطيه. وتحدث عادة في الزوايا اليمينية بالنسبة لاتجاه حجر التجليخ. كما تكون عادة في المشغولات التي سبق معالجتها حرارياً قبل تعريضها للتجليخ كصفائح الكروم، السيراميك، الفولاذ المقسى.

حيث يؤدي تجليخ السطوح المعالجة بالتقسيد إلى حدوث التشققات في معظم الأحوال وذلك بسبب ازدياد التوضع الحراري على السطوح ومن ثم عدم تعرضها للتبريد الكافي، كذلك يسبب سوء أدوات التجليخ (حجر التجليخ) أو عدم إجراء تقنية الجلخ بشكل صحيح إلى ظهور التشققات بالإضافة إلى سرعة عملية التجليخ المسببة للقطع السريع.

١١-٥-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

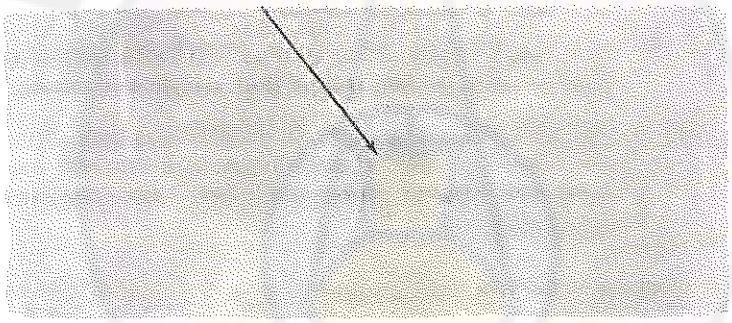
١. الاختبار باستخدام الصباغ النافذ: يستخدم هذا الاختبار بشكل واسع لتحديد توضع الشقوق سواء في المعادن الحديدية أو اللاحديدية. فتظهر الشقوق بشكل واضح وبشكل خطوط محددة النهاية، ولكن يحتاج هذا الاختبار إلى فترة زمنية كافية حتى يتيح للسائل النفاذ إلى الشقوق.

٢. الاختبار بالجسيمات المغناطيسية: يستخدم هذا الاختبار في الأجسام المصنوعة من المعادن الحديدية. ولما كانت الشقوق الناتجة عن الجلخ تتوضع في الزاوية اليمينية بالنسبة لاتجاه عملية التجليخ وبالرغم من كونها متوضعة في طرف المشغولة فإنها تظهر بشكل موازٍ للحقل المغناطيسي المؤثر كما تتناقص الحساسية المغناطيسية عند تناقص حجم الشقوق لذلك فإن هذه الطريقة تصبح غير دقيقة في هذه الحالة.

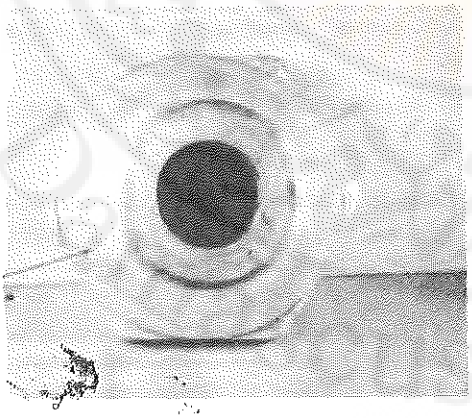
٣. الاختبار بالتيارات الدوامية: لا يستخدم هذا الاختبار بشكل كبير للكشف عن الشقوق الناتجة عن عملية التجليخ بالرغم من أن التجهيزات المستخدمة لتوليد هذه التيارات لها حساسية جيدة ويقتصر إجراء هذا الاختبار على المعادن اللاحديدية.

٤. الاختبار بالأمواج فوق الصوتية: لا يستخدم هذا الاختبار بشكل واسع لتحديد الشقوق لأن بقية الاختبارات تعتبر أكثر سرعة ودقة وكفاءة في الكشف على هذا النوع من التشققات .

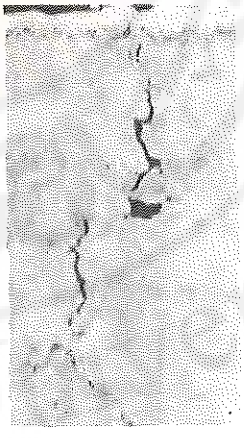
٥. الاختبار بالأشعة السينية: لا ينصح بإجراء هذا الاختبار لمثل هذه الحالة نظراً لأن هذا النوع من الشقوق رفيعة جداً وسطحية لذلك لا تظهر بشكل واضح وتعتبر الطرق الأخرى من طرائق NDT أكثر دقة وكفاءة.



A. TYPICAL CHECKED GRINDING CRACK PATTERN



B. GRINDING CRACK PATTERN NORMAL TO GRINDING



C. MICROGRAPH OF GRINDING CRACK

١١-٦-الشقوق الملتوية : Convolution Cracks

١١-٦-١- الوصف:

تظهر هذه الشقوق بسبب طرق التشغيل في المعادن اللاحديدية وتتميز بظهورها على سطح المشغولة وتختلف بحجمها حيث يتراوح بين شقوق ميكروية دقيقة حتى شقوق واضحة مجوفة بشكل أخاديد.

تتوضع هذه الشقوق على السطح وتمتد طولانياً باتجاه السحب. وتظهر بشكل عام على السطوح غير المشغلة إما بتأثير التآكل الكيميائي الناتج عن المعالجة بالحموض أو من طرق التشغيل التي تسبب استطالة وشد المشغولة.

١١-٦-٢- التحاليل الميتالورجية:

إن السطوح الخشنة الحاوية على نتوءات يحصل فيها تركز للإجهادات ونتيجة لتكرار الاستخدام (الاهتزازات) تسبب هذه الإجهادات حالة تعب في المشغولة فينشأ عنها هذه التشققات.

تبين الأشكال التالية حالات ظهور هذه التشققات.

١١-٦-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

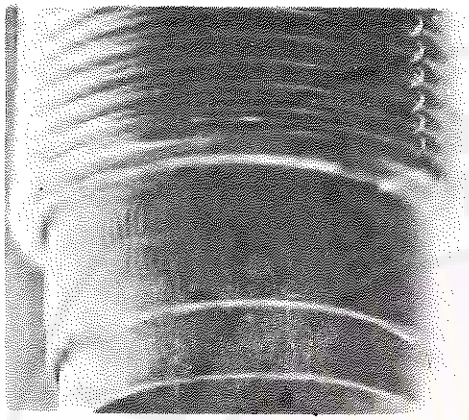
١. الاختبار باستخدام الصباغ النافذ: لا ينصح باستخدام الصباغ النافذ بالرغم من كون هذه الشقوق سطحية وذلك بسبب عدم دقة الاختبار ونتائجه السلبية .

٢. الاختبار بالجسيمات المغناطيسية: أما الاختبار بالجسيمات المغناطيسية فلا يستخدم أبداً لكون المادة المصنوع منها المشغولة مادة غير حديدية.

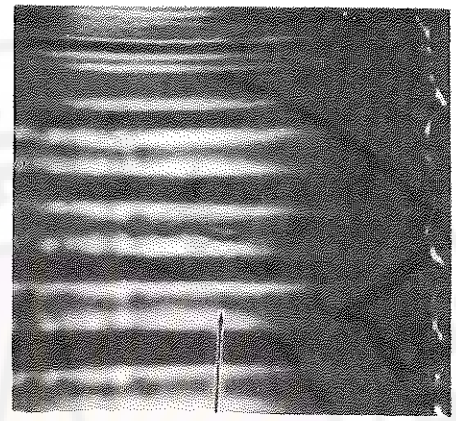
٣. الاختبار باستخدام التيارات الدوامية: لا يستخدم هذا الاختبار للكشف على الشقوق الملتوية لنفس السبب الوارد في الفحص بالأمواج فوق الصوتية.

٤. الاختبار بالأمواج فوق الصوتية : لا يستخدم هذا الاختبار بشكل واسع لصعوبة تحديده للشقوق لأن كثرة الشقوق (أحياناً تكون مزدوجة) تحد من استخدام هذه الطريقة.

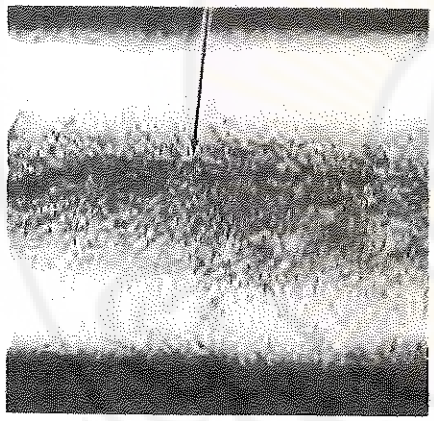
٥. الكشف بالفحص بالأشعة السينية: يستخدم هذا الاختبار بشكل واسع للكشف على هذه الشقوق لأن شكل وتضاريس التشققات ومكان توضعها على العينة يساعد على إظهارها بالتصوير بهذه الأشعة ويحتاج توجيه أشعة (X) إلى هذه الأشعة لأي دقة ومهارة حتى يمكن تسجيل هذه الشقوق الملتوية على الفيلم المظهر نظراً لتأثيرها عليه مما يسبب بعض التغير في الكثافة.



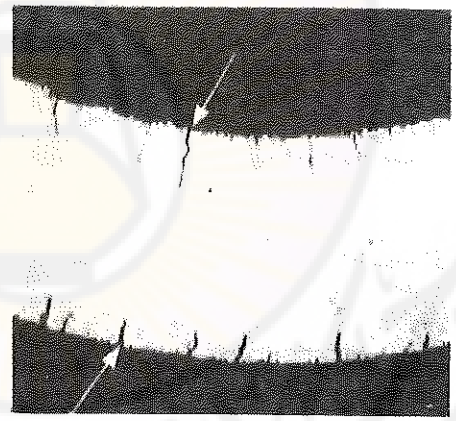
A. TYPICAL CONVOLUTION DUCTING



B. CROSS-SECTION OF CRACKED CONVOLUTION



C. HIGHER MAGNIFICATION OF CRACK SHOWING ORANGE PEEL



D. MICROGRAPH OF CONVOLUTION WITH PARTIAL CRACKING ON SIDES

Damascus University

١١-٧-شقوق مناطق التأثر الحراري Heat-Affected Zone Cracking :

١١-٧-١- الوصف:

تظهر هذه الشقوق عند تعرض منطقة معينة من المشغولة لتأثير حراري كبير كما في حالة اللحام. لذلك تصنف هذه الشقوق ضمن مجموعة الشقوق الناتجة عن عمليات التشغيل.

تظهر هذه الشقوق في المعادن الحديدية واللاحديدية على السواء. وتتميز بظهورها على سطح المشغولة حيث تكون سطحية عميقة أو غير عميقة وتنمو عادة هذه الشقوق باتجاه موازٍ لاتجاه اللحام.

١١-٧-٢- التحاليل الميتالورجية:

وبدراسة الخصائص الميتالورجية لمنطقة التأثير الحراري نجد أن الشقوق الساخنة المشكلة بتأثير اللحام تزداد بازدياد محتوى الكربون في المنطقة الملحومة. لذا فإن الفولاذ الحاوي على الكربون بنسبة تزيد عن % ٠,٣٠ هو أكثر المعادن تأثراً بهذه الشقوق. وبالتالي تتم معالجة هذه العيوب بتسخين الفولاذ قبل إجراء عملية اللحام.

١١-٧-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

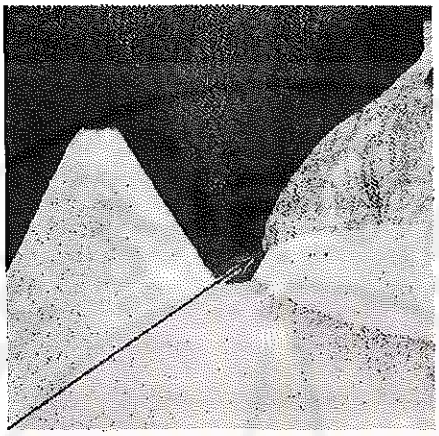
١. الاختبار بالصباغ النافذ: يستخدم هذا الاختبار عادة في الملحومات اللاحديدية ولكن يصعب اختراق السائل للمشغولة المعالجة بطبقة رقيقة على سطحها أو عندما يكون السطح ملوثاً إلا بعد تنظيفه وإزالة الطبقة العالقة من الشوائب والأكاسيد، لذلك يمكن اعتبار هذا الاختبار غير فعال في حال السطوح المطلية أو المعالجة كيميائياً لصعوبة نفاذ السائل إلى داخل البنية.

٢. الاختبار بالجسيمات المغناطيسية: يستخدم هذا الفحص للأجسام الحديدية عند لحامها ولكن مع التنويه إلى أن هذه الجسيمات تضر بالبنية المعالجة بالحرارة العالية ويمكن أن يؤدي ذلك إلى حدوث كسور في البنية كذلك فإن إزالة المغنطة من الأجسام المعالجة بالحرارة يكون صعباً نظراً للبنية الميتالورجية للمعدن المعالج حرارياً.

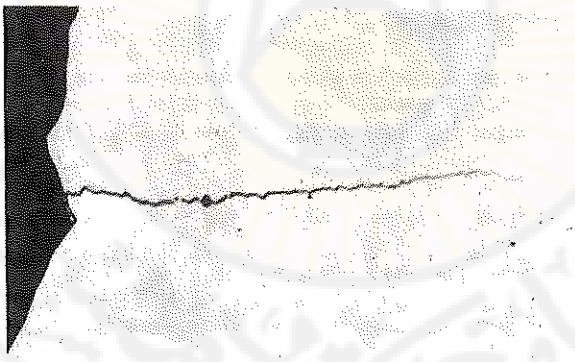
٣. الاختبار بالتيارات الدوامية: لا يستخدم هذا الاختبار بشكل واسع ويقتصر استخدامه وعند الضرورة في الكشف على العيوب الموجودة في المعادن اللاحديدية.

٤. الاختبار بالأمواج فوق الصوتية: يساعد شكل المشغولة وتضاريسها وخشونة السطح على إعطاء نتائج جيدة عند استخدام هذا الاختبار فالحفر والجوانب الحادة في السطح تعتبر عوامل جيدة لعكس الأمواج الصوتية.

٥. الاختبار بالأشعة السينية: لا يستخدم بشكل واسع لصعوبة تحديد العيوب والتشققات في المشغولة نظراً لعدم إمكانية ظهورها بشكل واضح بواسطة الأشعة السينية.



A. MICROGRAPH OF WELD AND HEAT-AFFECTED ZONE SHOWING CRACK. NOTE COLD LAP MASKING THE ENTRANCE OF THE CRACK



B. MICROGRAPH OF CRACK SHOWN IN (A)

Damascus University

١١-٨- الكسور والتمزقات الساخنة: Heat-Treat Cracks

١١-٨-١- الوصف:

تنتج هذه العيوب عن التشغيل المطبق على المعادن الحديدية واللاحديدية عند تشغيلها بالطرق أو الصب.

وتتميز هذه العيوب بظهورها على سطح المشغولة وغالباً ما تكون عميقة ومنحنية ومتشعبة وتأخذ كافة الاتجاهات بحيث لا تتعلق بحدود الحبيبات المشكلة للبنية يبدأ ظهور هذه التمزقات في المناطق ذات التغير المفاجئ في السماكة أو في المناطق ذات النهايات الحادة وفي مناطق الثلوم وفي السطوح الفاصلة بين المقاطع المتغيرة.

١١-٨-٢- التحاليل الميتالورجية:

تحدث هذه العيوب في أثناء عمليات التبريد والتسخين حيث تتوضع الإجهادات وتتركز في المناطق التي تتعرض للتبريد أو التسخين غير المتجانس. أو عندما تكون المشغولة مقيدة في أثناء تبريدها أو تسخينها.

وتتوضع هذه العيوب في مناطق المقاطع العرضية المختلفة السماكة أي في مناطق تركز الإجهادات بحيث إنها تزيد عن إجهاد الشد المسموح به لمعدن المشغولة.

وفي حال الخوابير أو المجاري تزداد الإجهادات فتنشأ شقوق إضافية في مناطق تغير المقاطع بالإضافة إلى الكسور الساخنة المشار إليها.

١١-٨-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

١. الاختبار بالصباغ النافذ: وينصح بهذا الاختبار من أجل فحص المعادن اللاحديدية، حيث تظهر الشقوق الناشئة عن المعالجة الحرارية بشكل موازٍ في الدقة لاختبار المواد الحديدية بالجسيمات المغناطيسية.

٢. اختبار الجسيمات المغناطيسية: وتعتبر أكثر طرق الاختبار استخداماً ولاسيما للمشغولات المصنوعة من المعادن الحديدية والمعالجة حرارياً حيث تظهر الكسور نتيجة الاختبار بشكل خطوط مستقيمة وعميقة أو منحنية متشعبة. ويظهر توضعها في مناطق ازدياد الإجهادات كأماكن توضع الخوابير في المشغولة أو في مناطق التغير المفاجئ للمقاطع العريضة، وأكثر تطبيقات هذا الاختبار شيوعاً هو اختبار الشقوق والكسور الناشئة في الفولاذ المقسى بالحرارة / ٤٣١ ./

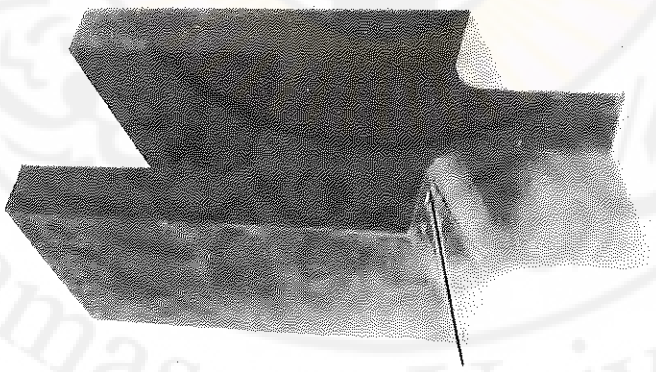
٣. الفحص بالتيارات الدوامية: لا ينصح باستخدام هذا الاختبار للكشف على الشقوق الناشئة عن المعالجة الحرارية للمعادن وفي حال الضرورة يقتصر استخدامه للكشف على العيوب الظاهرة في المعادن اللاحديدية.

٤. الفحص بالأمواج فوق الصوتية: لا تستخدم بشكل واسع وفي حال الضرورة يقتصر استخدامه لإظهار الشقوق الصغيرة حيث يستخدم عندئذ الأمواج النقية والمرشحة.

٥. الفحص بالأشعة السينية: لا ينصح باستخدام هذا الاختبار للكشف عن الكسور الناتجة عن المعالجة الحرارية وتفضل بقية طرق الاختبار على هذه الطريقة.



A. FILLET AND MATERIAL THICKNESS CRACKS (TOP CENTER) RELIEF RADIUS CRACKING (LOWER LEFT)



B. HEAT-TREAT CRACK DUE TO SHARP MACHINING MARKS

١١-٩- الشقوق الناتجة عن التقلصات السطحية: Surface Shrink Cracks

١١-٩-١- الوصف:

تظهر هذه الشقوق بسبب عمليات التشغيل ولاسيما اللحام وذلك بالنسبة للمعادن الحديدية واللاحديدية.

وتتميز هذه الشقوق بأنها سطحية وتتوضع في وجه اللحام عند منطقة الاتصال بين منطقة المعدن الأصلي ومعدن اللحام.

تختلف هذه الشقوق في حجمها الذي يتراوح بين شقوق ضيقة صغيرة إلى شقوق مجوفة عميقة وتنمو بشكل سريع وباتجاه موازية لاتجاه اللحام.

١١-٩-٢- التحاليل الميتالورجية:

تظهر هذه الشقوق نتيجة التسخين الخاطئ سواء التسخين الناتج عن عملية اللحام أم نتيجة تبريد منطقة اللحام بحد ذاتها.

فعند التبريد لمنطقة اللحام ونتيجة عدم التجانس يحدث تركز للإجهادات وعندما تزيد قيمة هذه الإجهادات عن قيمة إجهاد الشد المسموح به لمعدن المشغولة تحدث التشققات.

كذلك فإن الحرارة الناتجة عن عملية اللحام تسبب تمدد المعدن وعندما يتم تبريد منطقة اللحام يحدث التقلص ويؤدي هذا الاختلاف إلى حدوث التقلص وبالتالي حدوث التمزقات.

١١-٩-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

١. الفحص بالصباغ النافذ: يستخدم هذا الاختبار في الكشف على العيوب في المعادن اللاحديدية نظراً لسهولته وإمكانية تطبيقه حتى في في أثناء كون المشغولة في الخدمة، كما يمكن استخدام السائل النافذ بعد انتهاء عملية اللحام لتدقيق مدى صحة عملية اللحام. وينتشر استخدام هذا الاختبار في كافة أنواع المشغولات (البراغي، الوصلات، مناطق البرشمة ... الخ). ويلاحظ عند استخدام هذه الطريقة ضرورة تجفيف المشغولة بعد تعريضها للسائل ويكون التجفيف بواسطة الهواء حيث ينصح بالابتعاد عن التجفيف الحراري لمنع تبخر الصباغ النافذ.

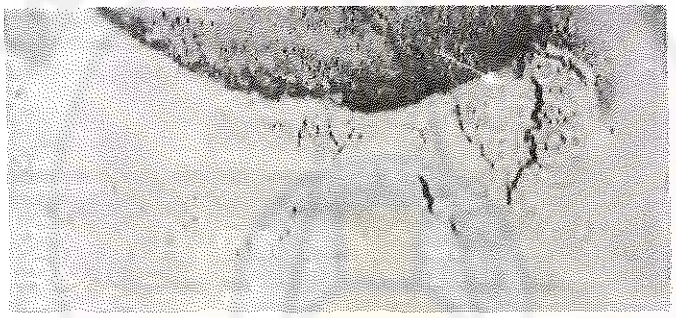
٢. الاختبار بالجسيمات المغناطيسية: يستخدم هذا الاختبار لفحص الملحومات الحديدية فتظهر العيوب عندئذ بواسطة البودرة المغناطيسية موازية للحقول المغناطيسية الحاصلة عند مناطق العيوب، ويلاحظ عند استخدام هذا الاختبار في بعض القطع كملحقات المسننات أو المحامل

أنها تتعرض للتلف نتيجة لتأثير الجسيمات المغناطيسية عليها لذلك ينصح بتغطيتها وحجبها بواسطة عازل عند تطبيق هذا الفحص عليها.

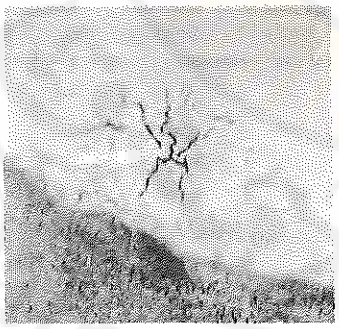
٣. الفحص بالتيارات الدوامية: يستخدم في الكشف على العيوب الموجودة في الأنابيب الملحومة والقضبان اللاحديدية حيث يستخدم عندئذ وشائع حلقية تحيط بالمشغولة ويمرر فيها التيار.

٤. الاختبار بالأمواج فوق الصوتية: لا يستخدم هذا الاختبار بشكل واسع لتحديد التقلصات السطحية في المشغولة وتفضل طرق الاختبار الأخرى عليه نظراً لدقة نتائجها وكونها أكثر اقتصادية وأكثر سرعة.

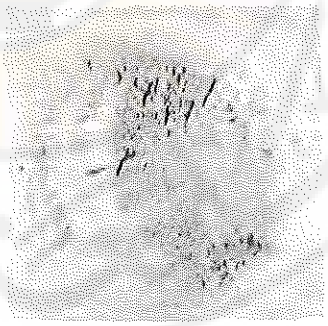
٥. الفحص بالأشعة السينية: لا يستخدم هذا الاختبار بشكل واسع لتحديد هذا النوع من العيوب لصعوبة تحديد مكان توضع العيب الموجود أصلاً في المنطقة الملحومة.



A. TRANSVERSE CRACKS IN HEAT-AFFECTED ZONE



B. TYPICAL STAR-SHAPED CRATER CRACK



C. SHRINKAGE CRACK AT WELD TERMINAL

١١-١٠- التشققات اللولبية: Thread Cracks

١١-١٠-١- الوصف:

تظهر هذه التشققات نتيجة الاستخدام والتشغيل في المشغولات الحديدية واللاحديدية المشكلة بالطرق (المطروقات).

وتتميز هذه العيوب بظهورها على سطح المشغولة. ثم تنمو وتنتقل إلى داخل البنية الحبيبية للمعدن وذلك بدءاً من جذر الشق وبشكل مستعرض.

١١-١٠-٢- التحاليل الميتالورجية:

تحدث هذه التشققات نتيجة إجهادات التعب الناتجة عن الاهتزازات في أثناء التشغيل لأن هذه الإجهادات الدورية المتكررة تسبب ازدياد الثني وبالتالي تظهر الشقوق متوضعة في شكل لولبي عند الجذر ثم تنمو فتصبح كسراً في النهاية.

ويمكن أن تحدث هذه الكسور نتيجة لنمو شقوق تحت سطحية ناتجة عن إجهادات التعب الدورية المؤثرة في المشغولة.

١١-١٠-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

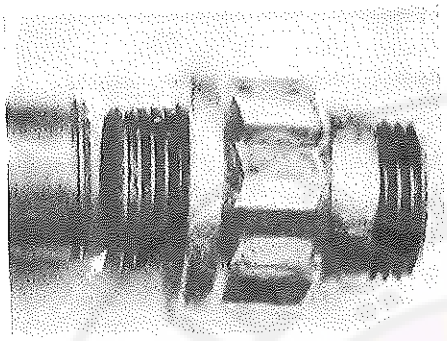
١. الاختبار بالصباغ النافذ: يستخدم الصباغ المفلور الذي يرش على المشغولات المصنوعة من المعادن اللاحديدية ثم يزال الصباغ بمحلول مزيل كالكيروسين أو الغازولين الذي يفضل استخدامه نظراً لأن الكيروسين له آثار سلبية على المشغولة.

٢. الاختبار بالفحص بالجسيمات المغناطيسية : لا يستخدم بشكل واسع ولكن يقتصر استخدامه في المشغولات الحديدية حيث تساعد البنية اللولبية للشقوق على توزع الجسيمات وإظهارها بشكل واضح مع التنويه إلى خطورة التنظيف بالتيتانيوم للفولاذ C٤٤٠ لما يسببه من أثار ضارة على البنية.

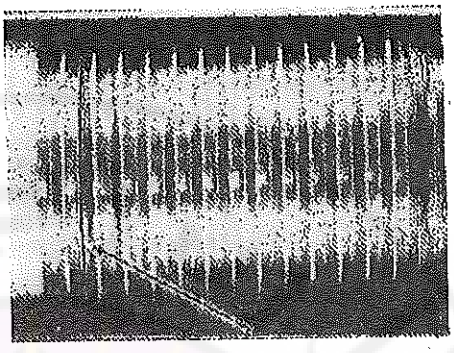
٣. الاختبار بالتيارات الدوامية: لا يستخدم بشكل واسع لصعوبة تحديده لمثل هذه الشقوق لأن طبيعتها اللولبية تحتاج إلى تقنية خاصة

٤. الاختبار بالأمواج فوق الصوتية: لا ينصح بتطبيق هذا الاختبار للكشف على الشقوق اللولبية لأنها لا تتفاعل مع الأمواج فوق الصوتية.

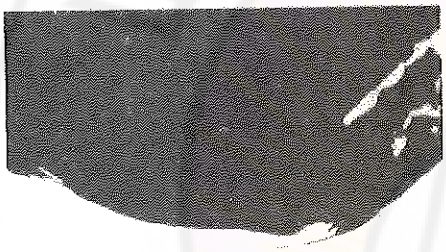
٥. الاختبار بالأشعة السينية: لا ينصح بتطبيق هذا الاختبار لأن هذه الشقوق ذات طبيعة دقيقة وبالتالي توجد صعوبة في إمكانية تحديدها بواسطة الأشعة.



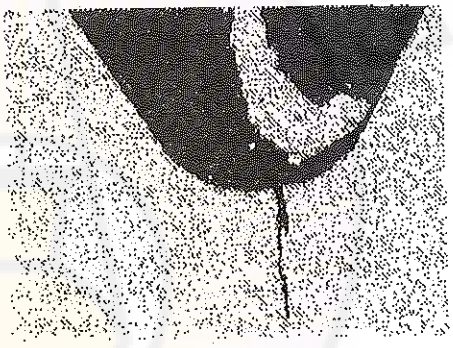
A. COMPLETE THREAD ROOT FAILURE



B. TYPICAL THREAD ROOT FAILURE



C. MICROGRAPH OF (A) SHOWING CRACK AT BASE OF ROOT



D. MICROGRAPH OF (B) SHOWING TRANS-GRANULAR CRACK AT THREAD ROOT

Damascus University

١١-١١- التآكل بين الحبيبات : Tubing Cracks

١١-١١-١- الوصف:

ينتج هذا العيب بسبب طول الاستخدام ويحدث في المعادن اللاحديدية .

حيث يتميز بظهوره على السطح أو في داخل البنية المعدنية بشكل مجموعة من التشققات الميكروية الصغيرة المفتوحة على السطح ودون شكل منتظم كما يمكن أن تظهر هذه الشقوق بشكل منفرد.

تظهر هذه العيوب في البنية الداخلية من جراء تأثير الإجهادات والتآكلات على السطح ومن ثم انتقالها ونموها إلى داخل بنية المعدن.

فعندما تبدأ التآكلات على سطح المشغولة وتزداد حتى تنمو وتتعمق إلى داخل المعدن تأخذ اتجاهات مختلفة ولكنها في داخل المعدن تكون بمحاذاة حدود الحبيبات .

١١-١١-٢- التحاليل الميتالورجية:

تظهر هذه العيوب (التآكل بين الحبيبات) لسببين هما:

١. البنية الميتالورجية الداخلية للمعدن وذلك عندما تكون ميالة وغير قابلة لمقاومة الإجهادات وسريعة التأثير مما يسبب التآكل كما في الفولاذ المقاوم ٣٠٠.

٢. تطبيق الإجهادات المستمر على المشغولة أو نتيجة المعالجة الحرارية أو نتيجة التأثير بالوسط المحيط الذي يسبب التفاعل بين المعدن ورطوبة الهواء.

١١-١١-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

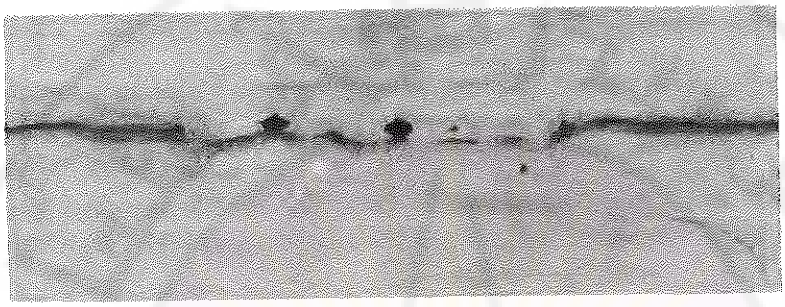
١. الفحص بالسائل النافذ: يعتبر هذا الاختبار هو الاختيار الأول والأفضل لكشف حجم ومكان توضع هذه العيوب، يجب تطبيق عمليات التنظيف الكامل قبل استخدام الصباغ النافذ لتسهيل اختراقه إلى داخل المعدن ويحظر من استخدام المواد الكيميائية في التنظيف لما لها من تأثير سيئ على نتائج الاختبار أما استخدام المواد المذيبة فيمكن أن يؤدي إلى تسريع التآكل لذلك يفضل استخدام سوائل سريعة الامتصاص.

٢. الفحص بالجسيمات المغناطيسية: لا ينصح باستخدام هذا الاختبار بسبب طبيعة هذه العيوب التي تحد من حركة الجسيمات المغناطيسية.

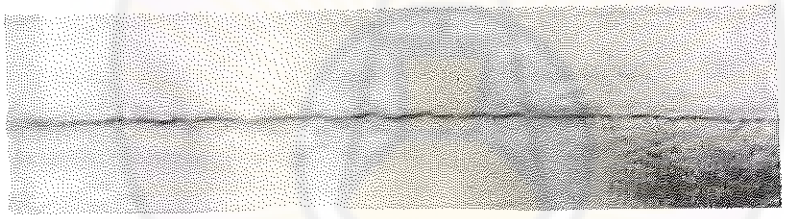
٣. الفحص بالتيارات الدوامية: يستخدم هذا الاختبار بشرط وضع حاجز بين التيارات وسطح المشغولة. كما يقتصر استخدامه على الأنابيب والقضبان فقط.

٤. الفحص بالأمواج فوق الصوتية: لا يلجأ لهذا الاختبار بالرغم من قدرته على كشف هذه العيوب.

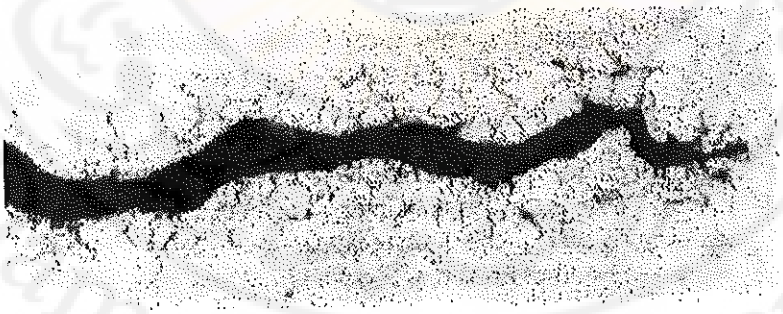
٥. الفحص بالأشعة السينية: يستخدم هذا الاختبار لفحص العيوب ذات المراحل المتقدمة لأن حساسية الأشعة غير قادرة على كشف العيوب الصغيرة الدقيقة كما أنها لا تستطيع تحديد العيوب الموجودة على السطح.



A. TYPICAL CRACK ON INSIDE OF TUBING SHOWING COLD LAP



B. ANOTHER PORTION OF SAME CRACK SHOWING CLEAN FRACTURE



C. MICROGRAPH OF (B)

١١-١٢- القشور الهيدروجينية : Hydrogen Flake

١١-١٢-١- الوصف:

تنتج هذه الطبقة من القشور في أثناء العمليات الإنتاجية على المشغولات الحديدية تتكون هذه القشور في أماكن التصدع والشقوق الموجودة على سطح المشغولة ويكون لها مظهر هش، كما تتوضع هذه القشور في الأماكن المتآكلة وتسبب حدوث شقوق ميكروية صغيرة نتيجة للاحتقان. أو في أثناء التشغيل الآلي تتميز هذه القشور بمظهرها الدقيق بشكل شعيرات رفيعة متوضعة بموازاة حدود الحبيبات وتظهر عادة في الفولاذ المطروق والقضبان المعالجة بالحدادة ويكون سببها التفاعل بين سطح المعدن والهواء المحيط به.

١١-١٢-٢- التحاليل الميتالورجية:

تعد هذه القشور عيوباً داخلية في البنية ويعزى إليها السبب في تشكيل تركز الإجهادات في أثناء التشغيل وتتشكل بسبب عدم انحلال الهيدروجين وتفاعله مع معدن السطح مشكلة هذه القشور وتحدث عادة بعد التبريد للمشغولة المعرضة للحرارة العالية في أثناء التشغيل. وتظهر هذه القشور في خلائط الفولاذ المطروق حصراً.

١١-١٢-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

١. الفحص بالصباغ النافذ: لا يستخدم بشكل كبير لصعوبة تحديد توضع الشقوق نظراً لدقتها (شعيرات دقيقة) بصعوبة النفاذ إليها من السائل الكاشف.

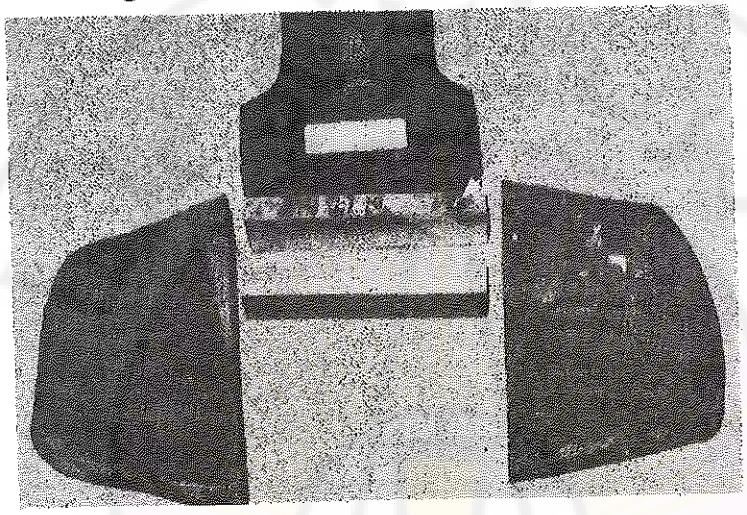
٢. الفحص بالجسيمات المغناطيسية: يستخدم هذا الاختبار لفحص الأجسام المشغلة المنتهية حيث تظهر القشور بشكل شقوق صغيرة شعرية وإلا أن هذه القشور يمكن أن تخفي عند تشغيل السطوح وتنعيمها بدرجات كبيرة مما يصعب الحصول على نتائج دقيقة. وعندما تكون الشقوق غير واضحة يراعى إجراء عملية المغنطة بأكثر من اتجاه لإعطاء كثافة مغناطيسية أكثر للمشغولة.

٣. الفحص بالتيارات الدوامية: لا ينصح بإجراء هذا الاختبار بسبب طبيعة هذه الشقوق ولعدم إمكانية الكشف عليها بهذه الطريقة.

٤. الفحص بالأمواج فوق الصوتية: يستخدم هذا الاختبار بشكل واسع للكشف على هذه العيوب نظراً لسهولته ونتائجه الدقيقة. ويراعى عند اختبار المعادن المشكلة بالطرق (المطروقات) ضرورة تلبيسها بغية إيجاد فاصل بين الأمواج عبر وسيط إلى حجم المعدن. وبعدئذ تمر الأمواج في المعدن فيتحدد مكان القشور بواسطة نقص انعكاس الأمواج في

أماكن توضعها، ويلاحظ ضرورة تنظيف المشغولة قبل اختبارها حتى لا تسبب (الشوائب- الأوساخ-الشحوم) تشويشاً لانعكاس الأمواج مما يسبب عدم الدقة في تحديد أماكن الشقوق.

٥. الفحص بالأشعة السينية: لا ينصح باستخدام هذه الطريقة من الاختبار لأن حجم القشور وطبيعتها الشعرية لا تعطي إمكانية تطبيق هذا الاختبار بشكل واضح.



A. 4340 CMS HAND FORGING REJECTED FOR HYDROGEN FLAKE



B. CROSS-SECTION OF (A) SHOWING FLAKE CONDITION IN CENTER OF MATERIAL

١١-١٣- التقصف الهيدروجيني : Hydrogen Embrittlement

١١-١٣-١- الوصف:

يحدد في أثناء عمليات التشغيل أو بسبب فترة الاستخدام وفي أثناء وضع المشغولة في الخدمة ويظهر في الأجسام الحديدية متوضعاً على السطح بشكل شعيرات دقيقة متشعبة في كافة الاتجاهات.

١١-١٣-٢- التحاليل الميتالورجية:

وينحصر ظهور هذه العيوب في المواد المعالجة حرارياً والتي سبق لها التعرض للحموض أو التصفح. أو في المواد القابلة للتفاعل مع الهيدروجين الحر.

لذلك يجب تنظيف المعدن قبل تشغيله بالتصفيح الكهربائي أو المعالجة بالحموض لمنع تفاعل الهيدروجين مع السطح مما يسبب نفاذه إلى داخل بنية المعدن وبالتالي تشكيل مناطق تقصف تنمو مسببة الشقوق.

١١-١٣-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

١. الاختبار بالصباغ النافذ: لا يستخدم هذا الاختبار بشكل كبير لأن الشقوق بسبب طبيعتها الهشة وظهورها بشكل خطوط رفيعة لا تعطي إمكانية تحديد توضعها بهذا الاختبار بشكل واضح لذلك فإن معالجة أماكن التقصف يكون بعملية تصفيح لاحقة تقوم بإزالتها.

٢. الاختبار بالجسيمات المغناطيسية: تعطي هذه الطريقة نتائج واضحة حيث تظهر أماكن التقصف على شكل كسور متوضعة بشكل عشوائي وموازية للحقول المغناطيسية، ويراعى تطبيق هذا الاختبار قبل وبعد إجراء عملية التصفيح مع مراعاة الدقة عند التنفيذ بسبب الأضرار الناتجة عن زيادة التسخين الحراري بالنسبة للمشغولة، كذلك لوحظ أن الفولاذ المقاوم للتآكل ٣٠١ يكون غير قابل للتمغنط في حال التلوين لذلك يحتاج إلى تقسيمه وبالتالي يصبح بعدها قابلاً للتمغنط عند التشغيل البارد.

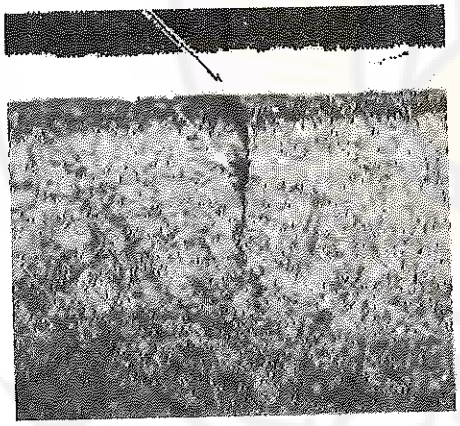
٣. الاختبار بالتيارات الدوامية: لا ينصح باستخدام هذا الاختبار فبالإضافة إلى طبيعة التقصف التي لا تساعد على انتشار التيارات يمكن حدوث بعض الآثار الجانبية على المشغولة المصنوعة من مواد معينة.

٤. الاختبار بالأمواج فوق الصوتية: لا يصلح هذا الاختبار لتحديد أماكن التقصف على المشغولة نظراً لطبيعتها التي لا تساعد على انتشار الأمواج الصوتية فيها ومن ثم انعكاسها ويلجأ عادة إلى بقية اختبارات NDT بالنسبة لكشف هذه العيوب.

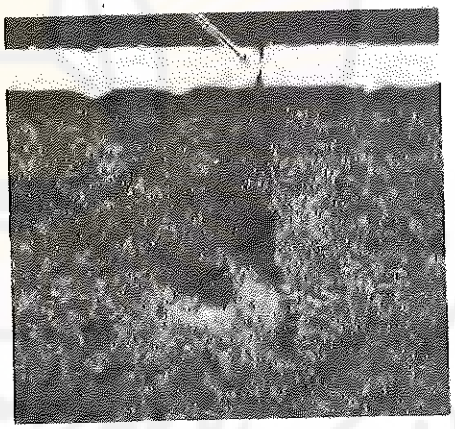
٥. الاختبار بالأشعة السينية : لا ينصح بهذا الاختبار لتحديد التقصف الناتج عن التآكل الهيدروجيني لعدم توافر الحساسية الكافية في الكشف على هذه العيوب نظراً لطبيعتها.



A. DETAILED CRACK PATTERN OF HYDROGEN EMBRITTLEMENT



B. HYDROGEN EMBRITTLEMENT UNDER CHROME PLATE



C. HYDROGEN EMBRITTLEMENT PROPAGATED THROUGH CHROME PLATE

١١-١٤- الشوائب : Inclusion

١١-١٤-١- الوصف:

تظهر هذه الشوائب في أثناء تعريض المشغولة لعمليات التشغيل ولاسيما عملية اللحام (المعادن الحديدية واللاحديدية).

وتتميز بظهورها على السطح كما يمكن أن تكون تحت السطح وتأخذ أشكالاً متعددة ويمكن أن تكون شوائب معدنية أو لا معدنية كما يمكن أن تظهر بشكل منفرد أو تتجمع في نقطة معينة (خبث) ويكون لها مظهر خطي أو شرائحي.

١١-١٤-٢- التحاليل الميتالورجية:

تعد الشوائب المعدنية جسيمات مختلفة الكثافة متوضعة داخل بنية المعدن واختلاف الكثافة بينها وبين المعدن الأصلي يسمح لها بالتوضع على السطح أو بالقرب منه أما الشوائب اللامعدنية كالأكاسيد-الخبث-الكبريتات وبقية الأجسام اللامعدنية الأخرى فإنها تنحصر داخل منطقة اللحام وتتوضع بشكل عشوائي بين المعدن الملحوم والمعدن الأصلي.

١١-١٤-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

١. الاختبار بالصباغ النافذ: لا يصلح هذا الاختبار للكشف على الشوائب أيضاً.

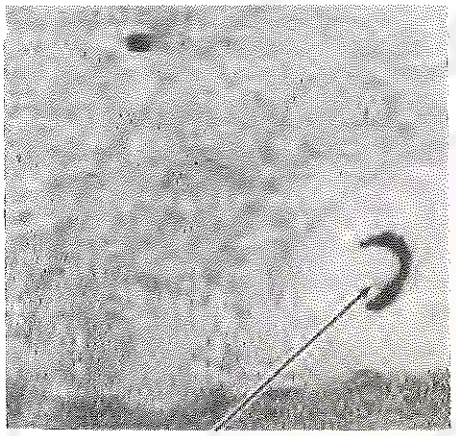
٢. الاختبار بالجسيمات المغناطيسية: لا يستخدم هذا الاختبار للكشف على الشوائب في الملحومات ولا سيما عندما تكون الشوائب جسيمات لا معدنية (غير حديدية) كما يقتصر استخدامه على كشف الشوائب السطحية فقط، حيث تظهر الشوائب عندئذ بأشكال غير منتظمة أو بشكل أثلام وشقوق، ومن مساوئ هذا الاختبار عدم ظهور العيوب (الشوائب) عند عدم حصول الاتصال الصحيح بين الجسيمات المغناطيسية والشوائب لكونها داخل بنية المعدن وبالتالي يعطي الاختبار نتائج غير دقيقة.

٣. الاختبارات بالتيارات الدوامية: يستخدم هذا الاختبار كثيراً في الأنابيب الملحومة ذات السماكات القليلة وله مواصفات قياسية خاصة لتطبيقه في الكشف على الشوائب.

٤. الاختبار بالأمواج فوق الصوتية: لا يطبق هذا الاختبار في الكشف على الشوائب.

٥. الاختبار بالأشعة السينية: وهو أكثر الاختبارات شمولية واستخداماً تظهر الشوائب بالأشعة السينية بشكل واضح-محددة المعالم-مستديرة أو بشكل بقع متطاولة، كما يمكن أن تظهر بشكل خطوط أو بشكل مجموعات مبعثرة ذات أشكال غير نظامية، أما الشوائب اللامعدنية

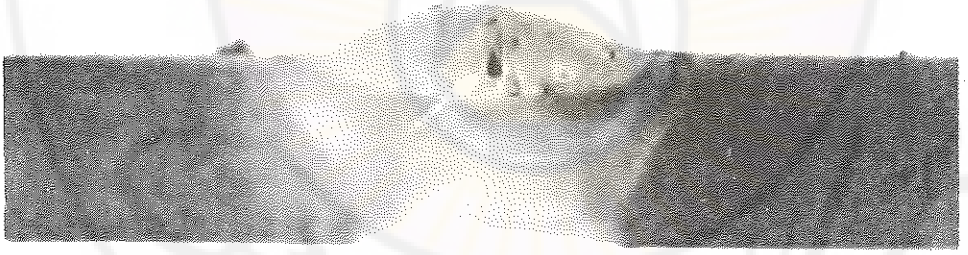
فتظهر بالأشعة السينية بشكل ظلال دائرية أو متطاولة أو بشكل ظلال خطية رفيعة وذلك حسب توضعها منفردة أو متجمعة، ويلاحظ توضع الشوائب عموماً إما في منطقة التلاحم أو عند جذر اللحام وعندئذ يظهر توضعها بالأشعة السينية بشكل أكثر كثافة من باقي المناطق غير الحاوية على الشوائب.



A. METALLIC INCLUSIONS



B. INCLUSIONS TRAPPED IN WELD



C. CROSS-SECTION OF WELD SHOWING INTERNAL INCLUSIONS

١١-١٥- الشوائب في غير الملحومات: Inclusion

١١-١٥-١- الوصف:

وهي المواد الغريبة الناتجة عن تشغيل المواد باستثناء عملية اللحام التي سبق دراستها وتحدث في المواد المشكلة بالطرق فتظهر الشوائب الموجودة أصلاً في بنية المعدن وتتوضع على السطح بعد التشكيل.

١١-١٥-٢- التحاليل الميتالورجية:

تقسم هذه الشوائب إلى نوعين:

١. شوائب لا معدنية متوضعة بين حبيبات المعدن وموازية للسطوح الفاصلة بينها وتكون بشكل خطوط منفردة أو مجمعة بشكل مجموعات.

٢. شوائب لها نفس طبيعة المعدن ولكنها مختلفة بكونها غير لدنة.

وتظهر بسبب أخطاء التحمد واختلاف المواد في المشغولة وتتميز هذه الشوائب بظهورها ككتل (بشكل مجموعة) حيث تكون هذه الشوائب عادة في المواد المسحوبة والمواد المشكلة بالبثق والمشكلة بالحدادة.

أما الشوائب اللامعدنية فتكون بشكل خبث أو أكاسيد متوضعة في الخليطة المعدنية وتنتج الشوائب غير اللدنة بسبب وجودها في حالة تجمد في أثناء تشكيل المعدن المصهور.

١١-١٥-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

١. الفحص بالصباغ النافذ: لا يستخدم هذا الاختبار للكشف على الشوائب لأن الشوائب لا تكون مفتوحة على السطح وبالتالي يصعب اختراق السائل الكاشف إليها.

٢. الفحص بالجسيمات المغناطيسية: يستخدم هذا الاختبار في السطوح المشغلة حيث تظهر أماكن توضع الشوائب بشكل علامات وخطوط رفيعة متجمعة أو متفرقة.

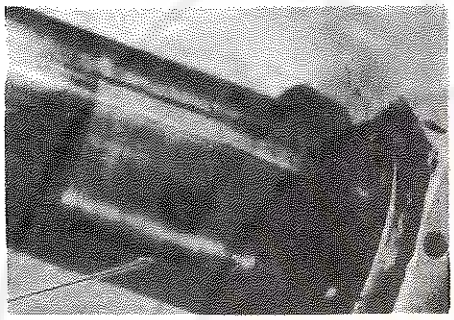
٣. ويصلح هذا الاختبار للكشف عن الشوائب المتوضعة على السطح أو بالقرب منه أما عندما تكون وضعية الشوائب موازية لحدود الحبيبات يكون هناك صعوبة في إجراء هذا الاختبار.

٤. الفحص بالتيارات الدوامية: يستخدم هذا الاختبار في الكشف عن الشوائب ولاسيما في جدران الأنابيب ذات السماكات القليلة ومن الجدير التنويه له أن هذا الاختبار لا يمكن تطبيقه بالنسبة للمعادن الحديدية ذات المغناطيسية الدائمة.

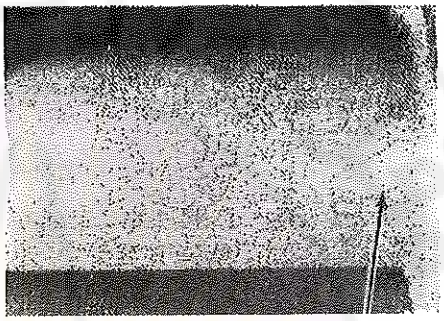
٥. الفحص بالأمواج فوق الصوتية: يستخدم هذا الاختبار للكشف على مكان توضع الشوائب في المعادن المشكلة بالطرق فتظهر الشوائب عندئذ بشكل واضح ومحددة في داخل البنية الميتالورجية للمعدن، وعندما تصطدم الأمواج فوق الصوتية بهذه الشوائب ثم تنعكس يؤدي

انعكاسها إلى نقص في قدرة الأمواج المنعكسة وكلما زاد حجم الشوائب في الضآلة ازداد قصر الأمواج المنعكسة مما يسبب (الرنين) كما أن لاتجاه الشوائب ومكان توضعها علاقة بكمية وحزمة الأمواج المنعكسة حيث إن اتجاه حزمة الأمواج يجب أن يكون متعامداً مع اتجاه الحبيبات المشكلة للبنية وذلك بقدر الإمكان.

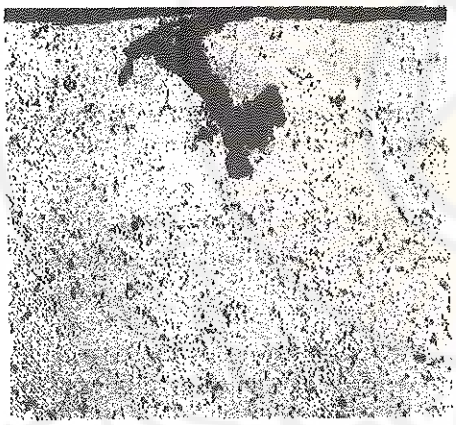
٦. الفحص بالأشعة السينية: لا ينصح بإجراء هذا الاختبار وتفضل بقية طرق الاختبار عليه.



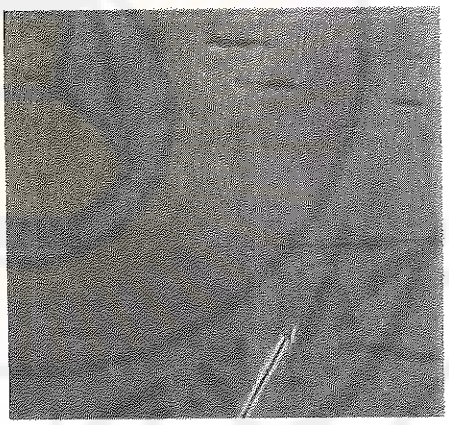
A. TYPICAL INCLUSION PATTERN ON MACHINED SURFACES



B. STEEL FORGING SHOWING NUMEROUS INCLUSIONS



C. MICROGRAPH OF TYPICAL INCLUSION



D. LONGITUDINAL CROSS-SECTION SHOWING ORIENTATION OF INCLUSIONS

١١-١٦- نقص النفاذية : Lack of Penetration

١١-١٦-١- الوصف:

يحدد هذا العيب نتيجة لأعمال التشغيل ولاسيما عند لحام المعادن (الحديدية واللاحديدية) ويمكن أن يظهر على السطح أو ينشأ داخل المعدن وغالباً ما يظهر عند جذر اللحام بسبب عدم كفاية مادة اللحام أو عدم وصولها إلى جذر المعدن.

١١-١٦-٢- التحاليل الميتالورجية:

يحدث هذا العيب للأسباب التالية:

- ✓ نقص مادة اللحام وعدم وصولها إلى جذر اللحام.
- ✓ عدم كفاية درجة الحرارة اللازمة لحدوث الاندماج بين المعدن الأساسي ومعدن اللحام.
- ✓ سرعة عملية اللحام الزائدة بحيث لا تتيح لمادة اللحام النفاذية الكاملة.
- ✓ سرعة تبريد منطقة اللحام.

١١-٢-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

١. الفحص بالصباغ النافذ: يستخدم هذا الاختبار عند إمكانية تحديد نهاية منطقة العيب فتظهر العيوب عندئذ بشكل خطوط غير منتظمة مختلفة الطول والأبعاد، ويحذر من بقاء زيادة في كمية الصباغ النافذ في المشغولة بعد إجراء الاختبار.

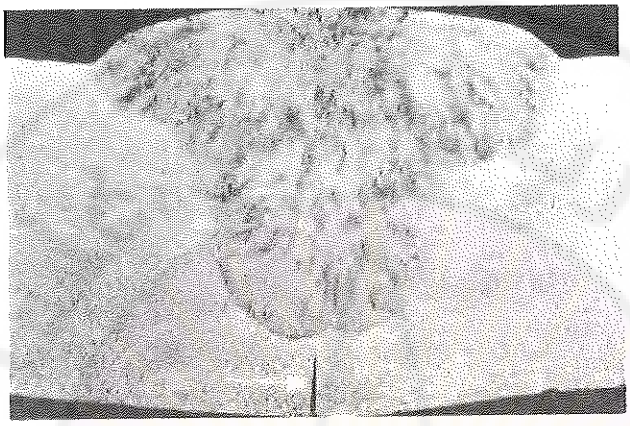
٢. الفحص بالجسيمات المغناطيسية: تظهر مناطق العيب في هذا الاختبار بشكل شقوق غير منتظمة مختلفة في العرض ويجب معرفة نهاية منطقة العيب حتى يمكن استخدام هذا الاختبار.

٣. الفحص بالتيارات الدوامية: يستخدم هذا الاختبار لكشف عيوب اللحام في الأنابيب والقضبان اللاحديدية الملحومة ولكن يصعب استخدامه في حال المشغولات ذات الأشكال المعقدة.

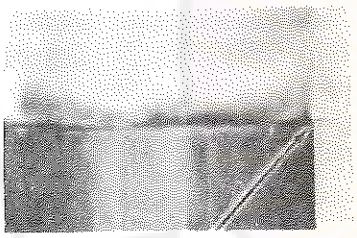
٤. الفحص بالأمواج فوق الصوتية: يستخدم هذا الاختبار في بعض التطبيقات الخاصة ولا ينصح به لبعض الحالات، وبشكل عام تظهر مناطق نقص النفاذية بشكل خطوط محددة متجمعة بشكل عشوائي وتؤدي اصطدام الأمواج بها إلى اختلاف أطوالها عند انعكاسها.

٥. الفحص بالأشعة السينية: يستخدم هذا الاختبار بشكل واسع جدا لكشف عيوب اللحام وتحديد مناطق نقص النفاذية حيث تظهر هذه المناطق بشكل متطاول وغامقة اللون وبأحجام مختلفة ويمكن أن يتشكل في منطقة نقص اللحام كسور تنمو بشكل متسارع حتى

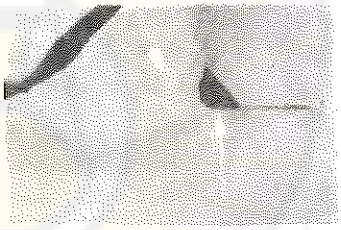
تصل إلى داخل بنية المعدن أو يمكن أن تنتقل إلى مركز اللحام، هناك علاقة حرجة بين اتجاه العيب ومصدر الأشعة الكاشفة ولكنها لا تمنع الاختبار من كشف العيب مهما كان دقيقاً وذلك بسبب مستوى الحساسية العالية لتلك الأشعة.



A. INADEQUATE ROOT PENETRATION



B. INADEQUATE ROOT PENETRATION OF BUTT WELDED TUBE



C. INADEQUATE FILLET WELD PENETRATION KNOWN AS BRIDGING

Damascus University

١١-١٧- الترقق (العيوب الممتدة بشكل سطحي) : Lamination

١١-١٧-١- الوصف:

تنشأ هذه العيوب في بنية المعدن أي تكون متأصلة في البنية المعدنية قبل تشغيله بالطرق وتظهر على السطح وتنمو ممتدة إلى داخل المعدن وتتميز بدقتها وامتدادها بشكل طبقة رقيقة جداً ويمكن أن يرافقها طبقة رقيقة من الأكاسيد (الشوائب) في أثناء نموها في بنية المعدن.

١١-١٧-٢- التحاليل الميتالورجية:

تظهر هذه العيوب بعد تشغيل المعدن بعمليات التشكيل بالطرق-بالخدادة-بالبثق-بالسحب.

وتتميز بهشاشتها وسرعة تفتتها وانفصالها عن المعدن الأم، وتتكون بشكل طبقة موازية لسطح التشغيل ويمكن أن ترافق مع وجود الشوائب فتؤدي إلى حدوث الكسور والتمزقات.

١١-١٧-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

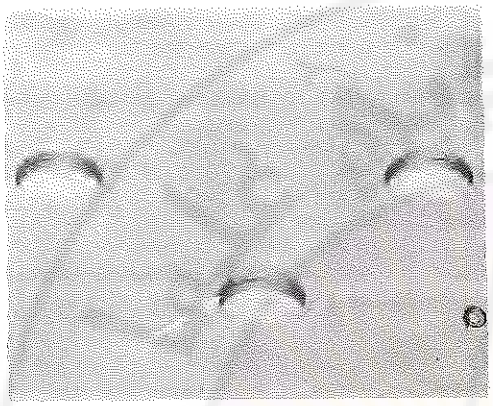
١. الفحص بالصباغ النافذ: يقوم هذا الاختبار بالكشف على العيوب الموجودة في الأجسام اللاحديدية، إن كافة عمليات التشغيل النهائية (كالتنعيم-التجليخ-الصقل بالشحذ-التنظيف بالدفع الهوائي) هذه العمليات يمكن أن تؤدي إلى إزالة هذه التشققات وإغلاق السطح مما يصعب نفاذ السائل إليها، كذلك يحذر من استخدام المحاليل الحمضية المركبة في السائل الكاشف لما لها من تأثيرات سلبية على سطح المشغولة (اهتراء-تآكل) ويجب تنظيف المشغولة فور الانتهاء من عملية الاختبار.

٢. الفحص بالجسيمات المغناطيسية: يقتصر هذا الاختبار على كشف العيوب الناشئة في المواد الحديدية حيث تظهر العيوب بشكل خطوط مستقيمة متقطعة ولكن هذا الاختبار لا يستطيع تحديد مدى عمق العيب أو ثخانته في طبقة المعدن.

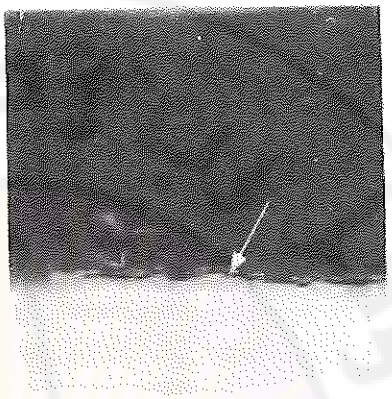
٣. الفحص بالتيارات الدوامية : لا يطبق هذه الاختبار بشكل كبير وفي حال استخدامه فإنه لا يكشف سوى العيوب الرقيقة السطح جداً.

٤. الفحص بالأمواج فوق الصوتية: تساعد طبيعة هذه الشقوق واتجاهاتها على مرور الأمواج وانعكاسها بشكل واضح لذلك يعتبر هذا الاختبار من أفضل طرق NDT في الكشف عليها، كما أن طبيعة الأمواج (كبيرة-صغيرة) الموجهة إلى المشغولة تعتمد على مقدار سماكة المادة وعندئذ تظهر التشققات بشكل واضح يقاس بمقدار نقصان انعكاس الأمواج الساقطة عليها ومقدار ترددها وذلك مهما كانت هذه الشقوق دقيقة السماكة.

٥. الكشف بالأشعة السينية: لا ينصح بهذا الاختبار لأن الترققات تكون ذات سماكة قليلة جداً بحيث لا يمكن إظهارها بأشعة X وبالتالي لا نحصل على نتائج دراسة جيدة.



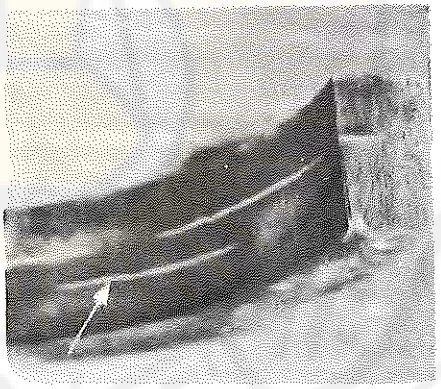
A. LAMINATION IN 0.25 IN. (6.35mm) PLATE



B. LAMINATION IN TITANIUM SHEET



C. LAMINATION IN PLATE SHOWING SURFACE ORIENTATION



D. LAMINATION IN 1 IN. (25.4mm) BAR SHOWING SURFACE ORIENTATION

Damascus University

١١-١٨- التجعد والتحزيز : Laps and Seams

١١-١٨-١- الوصف:

تظهر هذه العيوب نتيجة أعمال التشغيل المطبقة على المعادن (الحديدية واللاحديدية) ولاسيما عمليات الدلفنة.

تتميز هذه العيوب بظهورها على السطح بشكل خطوط موجية متعرجة دقيقة شعرية وأكثر ظهورها في أسنان ولوالب البراغي وعند الأقطار الكبيرة حصراً.

١١-١٨-٢- التحاليل الميتالورجية:

تنشأ هذه العيوب في أثناء عمليات التشغيل (عملية الدلفنة) ونتيجة للأخطاء الحاصلة في أثناء عملية الإنتاج (زيادة حجم القوالب، زيادة الامتلاء بالمعدن) ونتيجة لضغوط الإجهادات الناتجة في أثناء عملية التشغيل تحدث توضعات غير منتظمة للمعدن تؤدي عند تبريده إلى تشكل هذه التجعدات.

١١-١٨-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

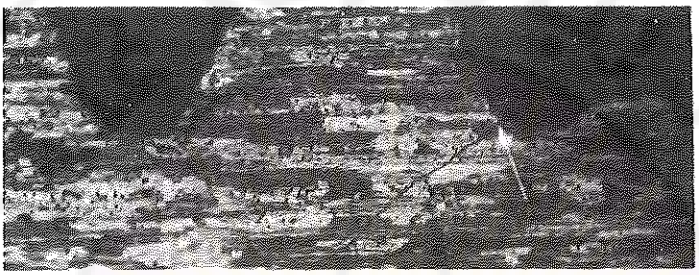
١. الفحص بالصباغ النافذ: يستخدم السائل القابل للتفلور للكشف على التجعد في المعادن (الحديدية واللاحديدية) حيث تظهر بشكل خطوط منحنية محيطية دورية أو متقطعة وبشكل منفرد أو متجمعة مع بعضها في منطقة معينة، وعند وجود الشوائب أو المواد الغريبة في المعدن يحصل تشويش في النتائج نظراً لتسرب الصباغ إليها وبالتالي لا يمكن إعطاء صورة دقيقة عن توضع هذه العيوب بشكل مستقل، إن سطوح اللوالب تتمزق نتيجة لأعمال الدلفنة ولذلك يجب الكشف عليها فور انتهاء عملية التشغيل وقبل وضعها في الخدمة ويعتبر هذا الاختبار طريقة سهلة وسريعة للكشف في هذه الحالة، ويجدر التنويه إلى أن الصباغ النافذ من نوع السائل المتفلور والصباغ العادي. لهما تأثيرات مختلفة على العينة المفحوصة ويمكن اعتبار أن الصباغ العادي يميل إلى تحطيم خصائص التفلور (التألق) الموجودة في السائل المتفلور لذلك ينصح باستخدام السائل المتفلور فقط في الكشف على هذه العيوب.

٢. الفحص بالجسيمات المغناطيسية: لا يعطي هذا الاختبار نتائج جيدة بالمقارنة مع الاختبار السابق حيث إنه من الممكن أن تكون نتائج الفحص مشوشة نظراً لإمكانية تجمع الجسيمات المغناطيسية عن رأس تحزيز اللولب وبالتالي يحدث تشويش بينها وبين أماكن ظهور العيب.

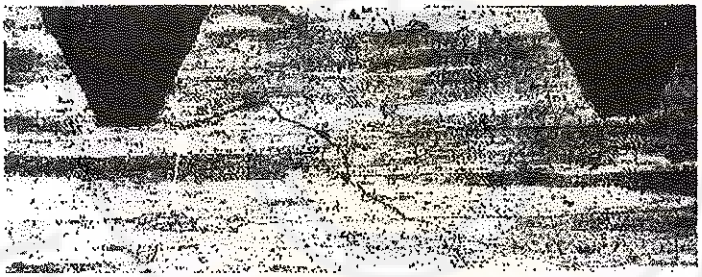
٣. الفحص بالتيارات الدوامية: لا يستخدم هذا الاختبار للكشف على هذه العيوب بسبب صعوبة مرور التيارات نظراً لطبيعة شكل اللوالب غير المساعدة.

٤. الفحص بالأمواج فوق الصوتية: لا ينصح باستخدام هذا الاختبار للكشف على هذه العيوب بسبب طبيعة شكل اللوالب غير المساعدة.

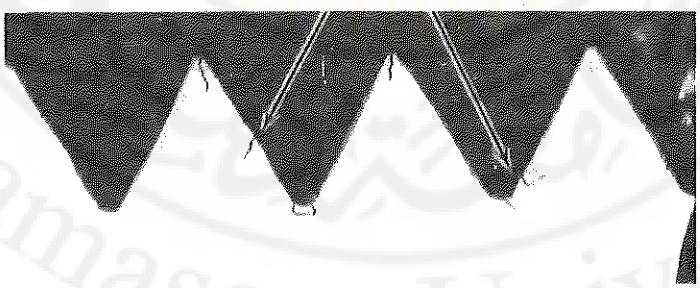
٥. الفحص بالأشعة السينية: لا ينصح بهذا الاختبار لعدم دقة نتائجه في الكشف على هذه العيوب بالمقارنة مع طرائق الاختبار اللاإتلافي الأخرى.



A. TYPICAL AREAS OF FAILURE LAPS AND SEAMS



B. FAILURE OCCURRING AT ROOT OF THREAD



C. AREAS WHERE LAPS AND SEAMS USUALLY OCCUR

١١-١٩- التجعد والتحزيز في المطروقات : Laps and Seams

١١-١٩-١- الوصف:

وتنتج هذه العيوب نتيجة تشكيل المعادن الحديدية واللاحديدية بالتطريق فتظهر التجعدات على السطح بشكل خطوط موجية دقيقة غير واضحة المعالم.

تكون هذه العيوب في المطروقات المصنعة بشكل قضبان-أنابيب-صواميل.

تحدث هذه العيوب على سطح المشغولة وبحيث تكون متوازية مع اتجاه حبيبات المعدن وبنفس الوقت ذات شكل لولبي حين تكون في الصواميل.

١١-١٩-٢- التحاليل الميتالورجية:

تكون هذه العيوب ذات منشأ بنيوي، فالفجوات الهوائية والتمزقات الشبكية في بنية المعدن تعد منشأ تشكل هذه العيب فيما بعد في أثناء تشكيل المعدن يكون مظهرها في البداية شعيرات دقيقة ملتوية ثم تتطاول وتتضخم في أثناء التشغيل بالدلفنة أو التطريق وتصبح المسافة بين السطوح الداخلية المتقابلة للعيوب صغيرة. تتشابه التمزقات و التجعدات في المنشأ وطبيعة التشكيل حيث تنتج كلاهما من أخطاء التشغيل في أثناء الدلفنة-التطريق ويمكن أن تحدث العيوب عندئذ في أية منطقة من المشغولة.

١١-١٩-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

١. الفحص بالصباغ النافذ: يستخدم هذا الاختبار من أجل فحص المشغولات اللاحديدية ولكن تظهر صعوبة تطبيقية بسبب كون هذه العيوب دقيقة وشعرية مما يصعب نفاذ السائل الكاشف إليها ويتم التخلص من هذه المشكلة بتسخين العينة قبل تطبيق الاختبار بحيث يساعد تحددها على تسهيل عملية الاختراق.

٢. الفحص بالجسيمات المغناطيسية: وتعتبر أفضل طرائق الاختبار حيث تظهر العيوب المتوضعة على السطح أو تحت السطح بشكل خطوط متجعدة أو متفرقة منحنية ومتقطعة أو مستمرة، وفي حال كونها متجمعة تتميز بصغرها ودقتها وعندئذ يجب أن يكون التيار المغناطيسي المار أكبر ليستطيع تحديد أماكن توضعها، ويعتبر الاختبار الناجح وسيلة جيدة لتقييم المشغولة قبل وضعها في الخدمة لذلك يجب تطبيق هذه التقنية بشكل جيد للكشف على هذه العيوب.

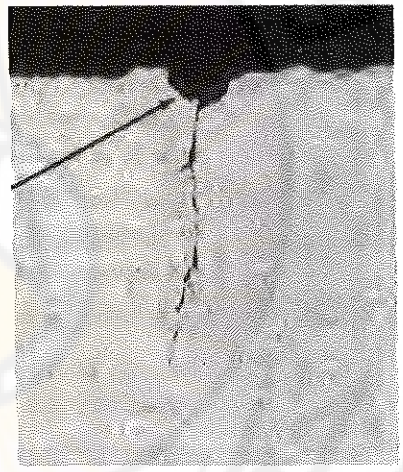
٣. الفحص بالتيارات الدوامية: يلجأ لهذا الاختبار للكشف على هذه العيوب عند وجودها في الأنابيب أو القضبان أما في حال المشغولات ذات الأشكال المعقدة فينصح باستخدام طرائق الاختبار الأخرى.

٤. الفحص بالأمواج فوق الصوتية: يلجأ لهذا الاختبار في المعادن المشكلة بالطرق وقبل تشغيلها وتتحكم تقنية هذا الاختبار (طول الموجة-سرعة انتشارها) بمدى نجاح عملية تحديد العيوب-فتظهر التمزقات والتجعدات بشكل خطوط محددة منتهية على السطح الداخلي للمعدن (داخل المعدن).

٥. الفحص بالأشعة السينية: لا ينصح باستخدام هذا الفحص لتحديد العيوب في المعادن المشكلة بالطرق لعدم دقة نتائجه ويستعاض ببقية الاختبارات عنه.



A. TYPICAL FORGING LAP



B. MICROGRAPH OF A LAP

١١-٢٠- التقلصات الميكروية الشعرية: Micro Shrinkage

١١-٢٠-١- الوصف:

تحصل هذه التقلصات في أثناء العمليات الإنتاجية لمصبوبات المغنيزيوم تحديداً. وتحدث هذه العيوب داخل البنية المعدنية وبمحاذاة حدود الحبيبات وتظهر بشكل مسامات مركزة في المقطع العرضي.

١١-٢٠-٢- التحاليل الميتالورجية:

تحدث هذه التقلصات في أثناء كون المعدن في حالة التلوين أو نصف الانصهار .

فإذا لم يحصل الانصهار الكافي في المعدن فإنه يتدفق بشكل غير منتظم في القالب وبالتالي يحدث الاختلاف في أثناء التبريد مما يؤدي إلى حدوث التقلصات.

تؤدي هذه التقلصات إلى حدوث فراغات في بنية المعدن ولاسيما عندما يكون المعدن في طور (مرحلة التلوين.

أو بمعنى آخر إن التشققات الميكروية تنتج من تراجع نقطة الانصهار الدنيا في الحبيبات المقيدة داخل البنية الشبكية.

١١-٢٠-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

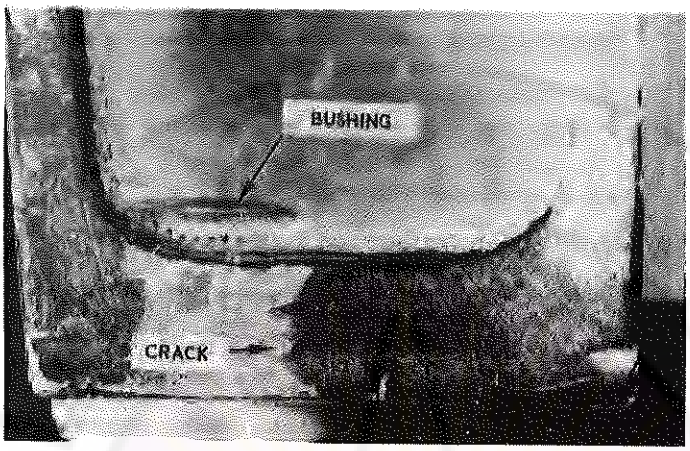
١. الاختبار بالصباغ النافذ: أن التقلصات الميكروية تتوضع داخل البنية الشبكية ولا تكون مفتوحة على سطح المشغولة لذلك لا يمكن استخدام السائل الكاشف في تحديد موضعها هذا من جهة أما من جهة ثانية فإن للأكاسيد والقلويات المركبة للسائل الكاشف تأثيراً سيئاً على المشغولة.

٢. الاختبار بالجسيمات المغناطيسية: لا يطبق هذا الاختبار لأن المادة غير حديدية.

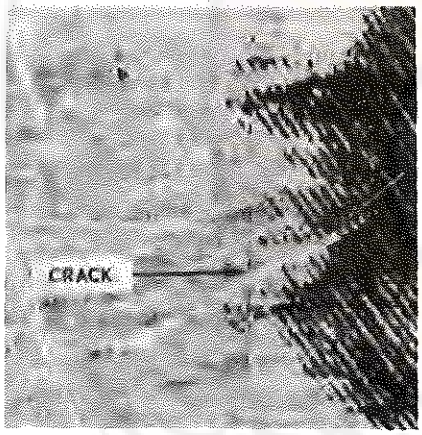
٣. الاختبار بالتيارات الدوامية: لا ينصح باستخدام هذه الطريقة للكشف على هذه العيوب لأن طبيعة هذه التشققات لا يساعد على مرور التيارات فيها.

٤. الاختبار بالأمواج فوق الصوتية: لا ينصح باستخدام هذا الاختبار بسبب طبيعة التشققات غير المساعدة.

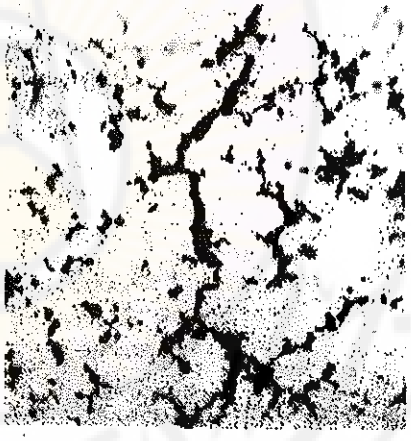
٥. الاختبار بالأشعة السينية: يستخدم هذا الفحص ضمن تطبيقات محددة للكشف على التشققات الميكروية التي تظهر بشكل دوامات متطاولة أو بشكل بقع غامقة ترمز إلى الفجوات والفراغات الناتجة عن هذه التقلصات.



A. CRACKED MAGNESIUM HOUSING



B. CLOSE-UP VIEW OF (A)



C. MICROGRAPH OF CRACKED AREA

Damascus University

١١-٢١- المسامية الناتجة عن انحباس الغازات : Gas Porosity

١١ ــ٢١-١- الوصف:

تظهر هذه العيوب في أثناء عمليات التشغيل ولا سيما عملية اللحام والصب وتتوضع على سطح المشغولة ويمكن أن تكون تحت سطحية ويكون لها مظهر دائري أو متطاول ذات حواف مصقولة أو حادة ويمكن أن تكون متوضعة بشكل مجموعات مركزة في جذر اللحام أو في منطقة اتصال اللحام بالمعدن الأصلي وعندئذ تظهر متصلة بشكل عروق غير منتظمة.

١١-٢١-٢- التحاليل الميتالورجية:

وتبين التحاليل الميتالورجية أن المسامات تظهر بسبب انحباس الغازات في المعدن المصهور أو نتيجة ترافق الرطوبة مع عملية اللحام أو التسخين الأولي للمشغولات قبل اللحام أو التشطيب والتنظيف غير الصحيح ما بعد عملية اللحام.

تبين الأشكال التالية أماكن ظهور هذه العيوب في بعض المشغولات.

١١-٢١-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

١. الفحص بالصباغ النافذ: يستخدم هذا الاختبار للكشف على العيوب والمسامات في الملحومات غير الحديدية فقط مع التنويه إلى ضرورة تنظيف العينة بعد اختبارها بالسائل الكاشف لمنع التأثيرات السيئة لهذا السائل في حال بقاء جزء منه في العينة.

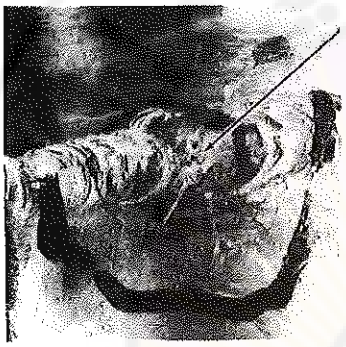
٢. الفحص بالجسيمات المغناطيسية: لا يستخدم هذا الاختبار لكشف المسامية لعدم إمكانية تحديد العيوب إلا على السطح فقط ويستعاض عنه ببقية اختبارات NDT.

٣. الفحص بالتيارات الدوامية: يقتصر استخدام هذا الاختبار في الكشف على المسامية الموجودة في عينات الأنابيب والقضبان الملحومة و ذات الجدران الرقيقة السماكة، ونتيجة للتجارب المتعددة تبين أن هذه التيارات تستطيع اختراق البنية المعدنية والكشف على العيوب الموجودة حتى عمق يصل إلى ربع أنش.

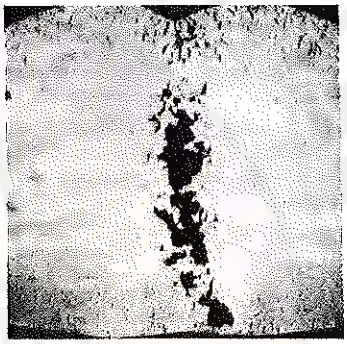
٤. الفحص بالأمواج الصوتية: يعتبر من الطرق الناجحة في الكشف على المسامات نظراً لقدره وحساسية التجهيزات المستخدمة في كشف هذه العيوب الدقيقة.

٥. إن درجة إنهاء سطح العينة وحجم الحبيبات المشكلة للبنية المعدنية عاملان مهمان في التأثير على نتائج الاختبار.

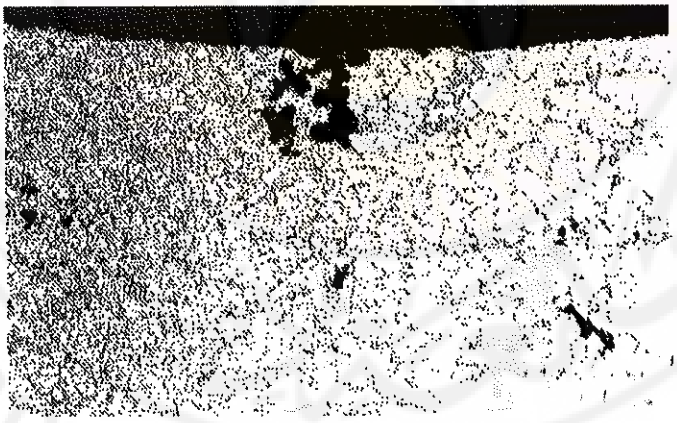
٦. الفحص بالأشعة السينية: تعد أفضل الطرق وأكثرها شيوعاً في الكشف على المسامية الناتجة عن عمليات اللحام فعندما تسلط هذه الأشعة على العينة يظهر طيف هذه المسامات الدائرية أصلاً بشكل بقع إهليلجية متطاولة ذات حواف ناعمة مصقولة، في حين تظهر المسامات المتطاولة وغير الدائرية بشكل بقع متطاولة مع التنويه إلى كبر حجمها بعدة مرات عن الحجم الحقيقي لها بالإضافة إلى انتظام شكلها بالنسبة إلى محور أساسي، أما وجود الشوائب في العينة كالخبث أو القشور أو المواد الغريبة فإنها لا تؤثر سلبياً على نتائج الاختبار.



A. TYPICAL SURFACE POROSITY



B. CROSS-SECTION OF (A) SHOWING EXTENT OF POROSITY



C. MICROGRAPH OF CROSS-SECTION SHOWING TYPICAL SHRINKAGE POROSITY

١١-٢٢- المسامية الناتجة عن عدم الانصهار الكامل : Unfused Porosity

١١-٢٢-١- الوصف:

تنتج هذه العيوب بسبب أخطاء في عملية اللحام أي أنها تصنف ضمن عيوب التشغيل وتحدث في الألمنيوم تحديداً .

تظهر هذه المسامات في البنية الداخلية للمعدن وتتوضع موازية لحدود الحبيبات وتكون هذه المسامات دقيقة ورقيقة السماكة.

تحدث في الألمنيوم المطروق وذلك عند تشغيله بالدلفنة أو البثق.

١١-٢٢-٢- التحاليل الميتالورجية:

تنسب المسامية الناتجة عن عدم الانصهار إلى المسامات الناتجة عن عملية صب الخليطة.

وعند تشغيل هذه الخليطة بعمليات الدلفنة-التطريق أو البثق تتطاول هذه المسامات وتتحول إلى بقع متطاولة رقيقة وذات سماكة قليلة.

وعندما تتعرض البنية الحاوية لهذه المسامات للتأكسد أو الاتحاد مع الشوائب فإنها لا تنصهر بشكل كامل ولاسيما في نقاط توضع هذه المسامات.

١١-٢٢-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

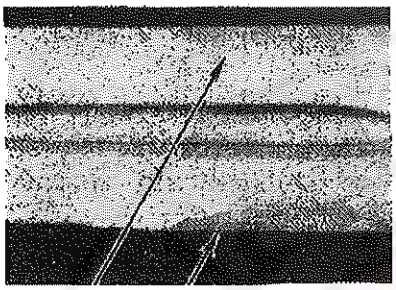
١. الفحص بالصباغ النافذ: يستخدم هذا الاختبار لفحص المعادن اللاحديدية حيث تظهر المسامات بشكل خطوط رفيعة مختلفة الأطوال موازية لحدود الحبيبات، أما في حال إنهاء السطوح بعمليات الصقل أو التجليخ فيصعب اختراق السائل الكاشف لسطح المشغولة وتختفي المسامات الموجودة على السطح مما يصعب إجراء هذا الاختبار.

٢. الفحص بالجسيمات المغناطيسية: لا يطبق هذا الاختبار لأن المادة غير مغناطيسية (ألمنيوم).

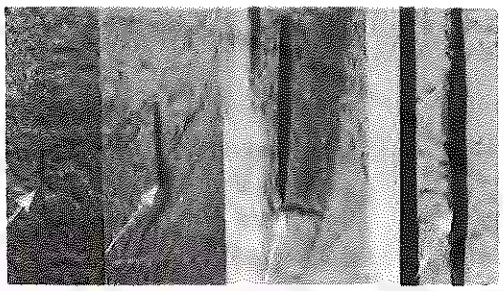
٣. الفحص بالتيارات الدوامية: لا ينصح باستخدام هذا الاختبار في هذه الحالة.

٤. الفحص بالأمواج فوق الصوتية: يستخدم هذا الاختبار بشكل واسع لتحديد أماكن توضع المسامات في المشغولة حيث يمكن تطبيقه حتى على المادة الخام لمعرفة مدى احتوائها على المسامية وذلك قبل تشغيلها، ويتميز هذا الاختبار بقدرته على تحديد أماكن توضع هذه الفراغات بالنسبة للاتجاهات الثلاثة للمشغولة وذلك في حال عدم معرفة الاتجاه الحقيقي لمكان وجود المسامات.

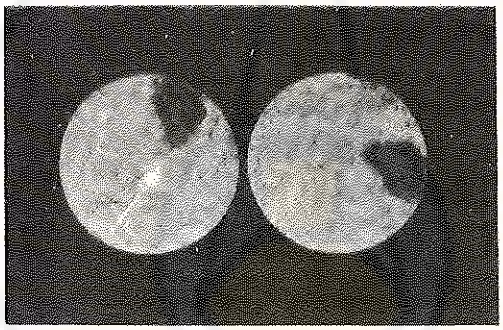
٥. الفحص بالأشعة السينية: لا ينصح باستخدامه لصعوبة إظهار هذه المسامات عند تسليط الأشعة عليها نظراً لرقتها وضآلة حجمها.



A. FRACTURED SPECIMEN SHOWING UNFUSED POROSITY



B. UNFUSED POROSITY EQUIVALENT TO 1/64 IN. (0.40 mm), 3/64 IN. (1.17 mm) 5/64 IN. (1.98 mm) AND 8/64 IN. (3.18 mm) (left to right)



C. TYPICAL UNFUSED POROSITY

١١-٢٣- العيوب الناتجة عن التآكل والإجهادات : Stress Corrosion

١١-٢٣-١- الوصف:

تظهر هذه العيوب نتيجة الاستخدام الطويل للمشغولة حيث يؤثر التآكل وظروف التشغيل من (احتكاك، اهتزاز, صدم ـــ.... الخ) على سطح المشغولة فيؤدي إلى ظهور التشققات والخدوش التي تتراوح بين الأحجام الدقيقة الميكروية إلى الشقوق العميقة والعميقة جداً.

وتتبع هذه الشقوق في اتجاهها وتوضعها إلى حدود الحبيبات المكونة لبنية المعدن كما يمكن أن تنمو هذه الشقوق وتنتقل من نقطة إلى أخرى في المشغولة.

١١-٢٣-٢- التحاليل الميتالورجية:

هناك ثلاثة عوامل أساسية لحدوث التآكلات الناتجة عن الإجهاد وهي:

١. إجهاد الشد السكوني المستمر التأثير.
٢. وجود التآكل أو الشقوق في أعماق البنية (تأصل الشقوق في بنية المعدن).
٣. استخدام معادن سريعة التأثر بالتآكل الناتج عن الإجهادات أو سريعة التقصف تحدث هذه العيوب عند تعرض المشغولة لقيم عليا من الإجهادات ولاسيما الإجهادات الداخلية المتوضعة التأثير داخل البنية (الإجهادات الداخلية) بالإضافة إلى الإجهادات الناتجة عن الأحمال الخارجية الكبيرة.

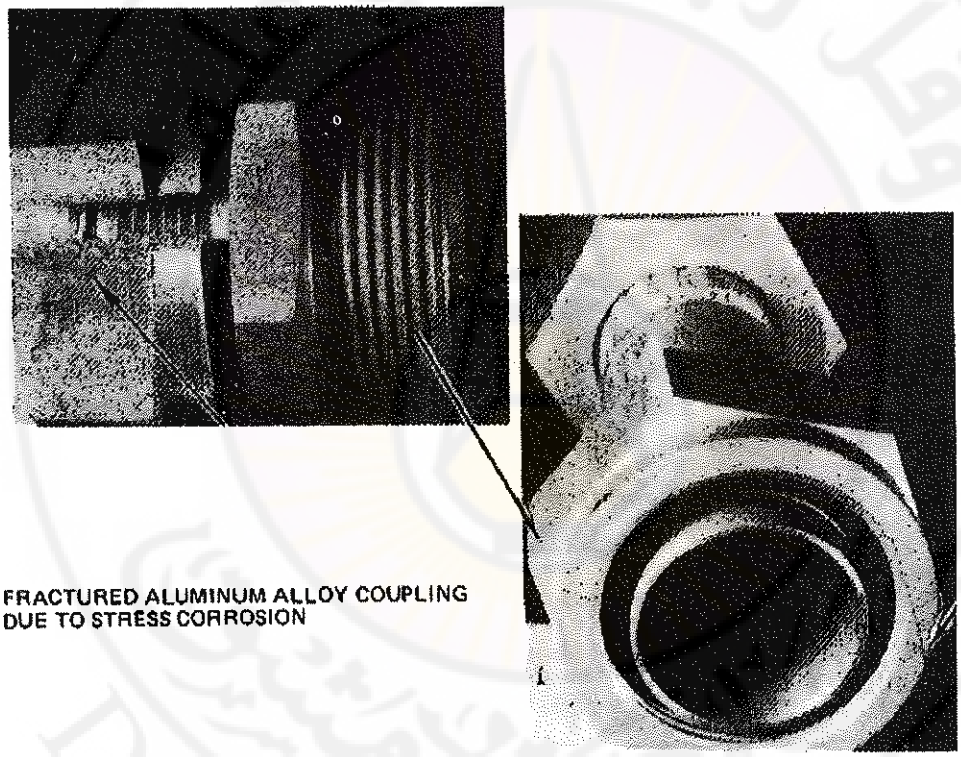
١١-٢٣-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

١. الفحص بالصباغ النافذ: وهو أكثر طرق الاختبار شيوعاً لتحديد أماكن توضع التآكل نظراً لتوضعها على سطح المشغولة مع الانتباه إلى ضرورة التنظيف التام والدقيق للعينة بعد اختبارها لإزالة آثار المحلول المزيل التي قد يكون لها آثار سلبية على سطح المشغولة، كذلك يجب تنظيف العينة قبل رشها بالصباغ ويحظر من استخدام المواد الكيميائية في تنظيف العينة لأن لها نتائج خطيرة وسلبية تضر بالاختبار كما يجب إزالة آثار الرطوبة من العينة المراد اختبارها لأن عدم إزالتها يفسد نتائج الاختبار .
٢. الفحص بالجسيمات المغناطيسية: لا ينصح بهذا الاختبار لتحديد أماكن توضع التشققات بسبب طبيعتها وشكل تضاريسها من جهة ولا يمكن تطبيقها على المعادن اللاحديدية من جهة أخرى.

٣. الفحص بالتيارات الدوامية: لا ينصح باستخدام هذا الاختبار لأن طبيعة العيوب لا تساعد على إعطاء نتائج دقيقة في هذا الاختبار.

٤. الفحص بالأمواج فوق الصوتية : لا يستخدم هذا الاختبار لتمديد أماكن التآكل لأن الإسقاط العمودي للأمواج لا يساعد على تحديد هذه العيوب .

٥. الفحص بالأشعة السنية: لا يستخدم هذا الاختبار وتفضل طرق NDT الأخرى بالرغم من قدرة الأشعة السنية على إظهار أماكن التآكل وذلك لأسباب تقنية.



FRACTURED ALUMINUM ALLOY COUPLING
DUE TO STRESS CORROSION

١١-٢٤- العيوب الناتجة في الأنابيب الهيدروليكية: Hydraulic Tubing

١١-٢٤-١- الوصف:

تظهر هذه العيوب نتيجة الاستخدام وطول فترة الخدمة بالإضافة إلى تأثير عمليات التشغيل وتحدث في مادة الألمنيوم (Aluminum 6061-T6) تكون هذه العيوب سطحية أو داخلية وذات أحجام متعددة (صغيرة، كبيرة، دقيقة، ثخينة، مجوفة، عميقة). كما تكون محاذية لاتجاه توضع الحبيبات ومترافقة مع عيوب التآكل والعيوب الناتجة عن الإجهادات.

تبين الأشكال التالية بعض هذه الإجهادات.

١١-٢٤-٢- التحاليل الميتالورجية:

تحدث العيوب في الأنابيب الهيدروليكية للأسباب التالية:

١. وجود الشوائب والمواد الغريبة في داخل البنية الشبكية للمعدن أو تأثير المواد الغريبة الخارجية الموجودة على تماس مع الأنابيب في أثناء التشغيل كالمواد الكيميائية أو المواد الأخرى التي تتوضع على السطح وتنغمر فيه.

٢. التجعدات التي تحدث نتيجة تشغيل المعدن أو عدم انصهاره بشكل تام.

٣. التمزقات الناتجة عن العيوب الداخلية في بنية المعدن أو العيوب الناتجة عن عمليات التشغيل ولاسيما في أثناء الدلفنة.

٤. التآكل بين الحبيبات نتيجة تأثير عوامل الوسط المحيط بالمشغولة.

١١-٢٤-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

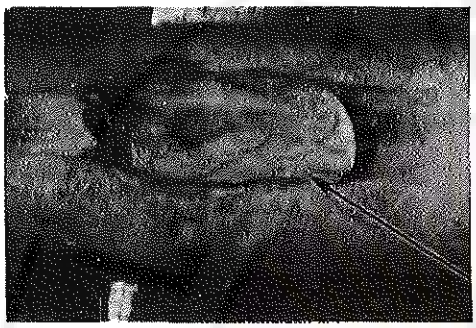
١. الفحص بالصباغ النافذ: لا ينصح باستخدام هذا الاختبار ويفضل الطريقة السابقة (التيارات الدوامية) لأنها أكثر اقتصادية، أسرع، أكثر دقة.

٢. الفحص بالجسيمات المغناطيسية: لا يطبق هذا الاختبار لأن المادة غير حديدية (ألمنيوم).

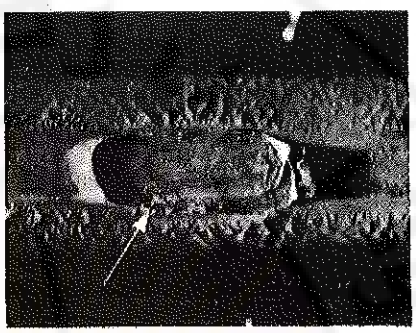
٣. باستخدام التيارات الدوامية: يعد هذا الاختبار الأكثر استخداماً لفحص الأنابيب اللاحديدية ذات السماكة الأقل من ٢٥،٠ أنش أما فوق ذلك فإن قابلية اختراق التيارات في المعدن تصبح غير فعالة للاختبار بالإضافة إلى خاصية العيوب التي قد لا تساعد أحياناً على إنجاح الاختبار وبالرغم من ذلك يستخدم هذا الاختبار لكشف العيوب في بنية المعادن المصنوع منها الأنابيب كما أن فحص المعادن الحديدية يكون صعباً بالإضافة إلى التأثير السلبي للشوائب لهذا الاختبار.

٤. الفحص بالأمواج فوق الصوتية: لا يستخدم هذا الاختبار لنفس الأسباب المذكورة في الفقرة السابقة.

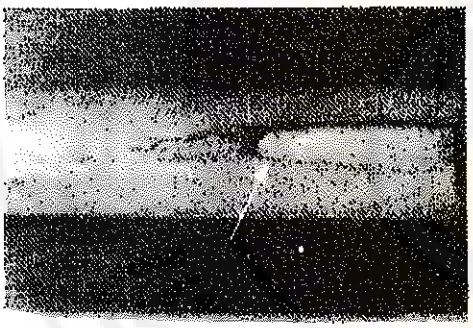
٥. الفحص بالأشعة السينية: لا ينصح باستخدام هذا الاختبار لأن طبيعة العيوب لا تساعد على اختراق الأشعة السينية.



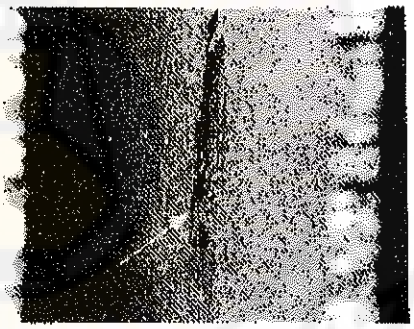
A. EMBEDDED SLUG SHOWING DEEP GOUGE MARKS



B. SLUG BROKEN LOOSE FROM TUBING WALL



C. ANOTHER TYPE OF EMBEDDED SLUG



D. GOUGE ON INNER SURFACE OF PIPE

Damascus University

١١-٢٥- التجفيف الناتج عن السحب في القلب المجوف لنصف القالب السفلي (قالب التشكيل): Mandrel Drag

١١-٢٥-١- الوصف:

يحدث هذا العيب في أثناء التشغيل للمعادن اللاحديدية ذات السماكة الكبيرة والمشكلة كالأنابيب غير المقاومة للتمزق والتشقق وغير الملحومة.

تظهر هذه العيوب في السطوح الداخلية للأنابيب السميكة الجدران وتتراوح حجمها بين تجاويف ضحلة السماكة رقيقة إلى تجاويف محدبة النهايات وحتى التمزقات الشديدة جداً.

وغالبا ما يتجمع الخبث في هذه التجاويف ويطمر فيها كما توضح الرسوم التالية:

١١-٢٥-٢- التحاليل الميتالورجية:

تظهر هذه العيوب في أثناء عمليات التصنيع للأنابيب غير الملحومة وذات الجدران السميكة وذلك في المعادن المعدة للتشكيل بالدلفنة، حيث تتمزق في أثناء مرورها في المجال بين دولابي الدلفنة فيتشكل نتيجة لذلك ثقب ينمو بسرعة حتى يحصل التمزق وينكسر جزء من المعدن بتأثير القوة المؤثرة في هذه المنطقة المتمزقة نتيجة لتركز الإجهادات فيها.

وفي حال وجود الخبث فإنه ينطمر في هذه الفجوة أو تحدث خدوش في جدار الأنبوب المحيط بالفجوة علماً أن بعض المواد أكثر قابلية لهذا النوع من العيوب نسبة لبعضها الآخر.

١١-٢٥-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

١. الفحص بالصباغ النافذ: لا ينصح باستخدامه لأن العيوب داخلية وغير مفتوحة على السطح وبالتالي لا يعطي نتائج دقيقة .

٢. الفحص بالجسيمات المغناطيسية: لا ينصح بهذا الاختبار بسبب طبيعة العيوب حيث إنها غير مغلقة بشكل كاف بحيث يسمح للجسيمات بتحديد موضعها.

٣. الفحص بالتيارات الدوامية: يستخدم هذا الاختبار عادة لفحص الأنابيب والقضبان ذات السماكات القليلة لذا يصعب تطبيق هذا الاختبار بدقة كافية وخصوصا في المعادن اللامغناطيسية أو اللاحديدية، ولما كانت هذه العيوب ذات خصائص نوعية مميزة فهناك عدة عوامل تؤدي دورا في دقة هذا الاختبار.

٤. الفحص بالأمواج فوق الصوتية: لا يستخدم هذا الاختبار بالتطبيق المباشر بل يتم حجب الأنابيب بواسطة حاجب (وسيط) تمر فيه الأمواج قبل وصولها إلى العينة، يستخدم هذا

الاختبار للمعادن الحديدية واللاحديدية الأنابيب أو القضبان حيث تظهر التجاويف بشكل بقع حادة النهايات شديدة الوضوح.

٥. الفحص بالأشعة السينية: لا يطبق هذا الاختبار بالرغم من إمكانية إظهاره للعيوب ولكن يتطلب الأمر في حال تطبيقه وضع حاجز (غطاء) حول محيط كامل الأنبوب قبل تسليط الأشعة وهذا يصعب عملية التطبيق ويجعلها بطيئة وأكثر تكلفة بالإضافة إلى أن صورة الأشعة ذات بعدين فقط ولا تعطى الأبعاد الثلاثية وبالتالي توضع العيوب بكافة الاتجاهات .

١١-٢٦- العيوب الحاصلة في أشباه الموصلات : Semiconductors

١١-٢٦-١- الوصف:

تحدث هذه العيوب نتيجة الاستعمال وطول الخدمة أو نتيجة أعمال التشغيل وذلك في النواقل والمواد الخردة الكهربائية.

تكون هذه العيوب داخلية وتظهر بأشكال وأحجام مختلفة وبدرجات مختلفة من الكثافة بحيث تسبب أحياناً صعوبة تشكيل معدن الناقل أو تسبب خطأ التراصف والتحاذي أو انكسار المادة في أثناء التشغيل.

وتكون هذه العيوب في الترانزستورات، المقاومات، الديودات، المكثفات السعوية ... الخ.

وتوضح الأشكال التالية بعض النماذج لهذه العيوب.

١١-٢٦-٢- التحاليل الميتالورجية:

تظهر هذه العيوب في أشباه النواقل بسبب عدة عوامل كنقص التغليف بالأسلاك، تناثر اللحام وتطايره ووقوعه على هذه المواد، نقص مادة الرصاص، التقشر، عدم كفاية التنظيف وإزالة الشوائب بين العناصر الداخلية والغطاء (الكابل) ووجود الشوائب حول المادة الأساسية (الهصاص) نتيجة أخطاء التشغيل.

١١-٢٦-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

١. الفحص بالصباغ النافذ : لا يطبق هذا الاختبار على أشباه النواقل .

٢. الفحص بالجسيمات المغناطيسية: لا يطبق هذا الاختبار على أشباه النواقل .

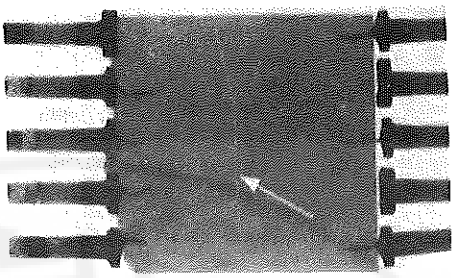
٣. الفحص بالتيارات الدوامية: لا ينصح باستخدامه في كشف عيوب أشباه النواقل بسبب طبيعتها ويفضل اختيار طرق الاختيار الأخرى.

٤. الفحص بالأمواج فوق الصوتية: لا يطبق هذا الاختبار على أشباه النواقل.

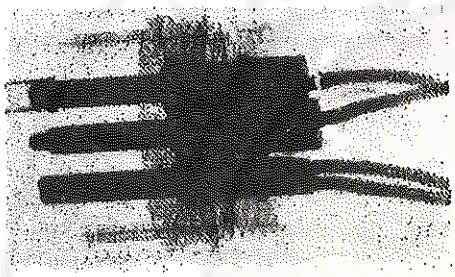
٥. الفحص بالأشعة السينية: وهي أكثر الطرق استخداماً للكشف على العيوب في أشباه النواقل مع الإشارة إلى أن النواقل الحاوية على النحاس المقاوم للحرارة تحتاج إلى فترة أطول في حال استخدام المعادن الأخرى، إن الأسلاك الداخلية الموجودة في أشباه النواقل تصنع من مواد مختلفة الكثافة كالنحاس و الفضة و الذهب و الألمنيوم، في حال استخدام الألمنيوم يحتاج تصنيعه إلى تقنية خاصة بالإضافة إلى فحوص ما قبل التشغيل للتأكد من وثوقيته، ونتيجة لتعقيدات البنية الداخلية لأشباه الموصلات فهي تحتاج إلى عمليات إضافية لطرد الشوائب.



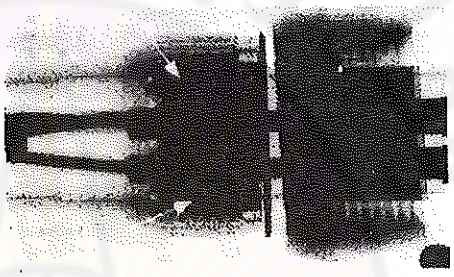
A. STRANDS BROKEN IN HEATER BLANKET



B. FINE CRACK IN PLASTIC CASING MATERIAL



C. BROKEN ELECTRICAL CABLE



D. FOREIGN MATERIAL WITHIN SEMICONDUCTOR

Damascus University

١١-٢٧- التمزقات الساخنة : Hot Tears

١١-٢٧-١- الوصف:

تكون هذه العيوب داخلية في البنية الشبكية للمعدن وتحدث في المصبوبات الحديدية وتتوضع في الداخل أو قريبة من السطح.

تظهر بشكل خطوط مختلفة العرض وبشكل تشعبات وعروق تحدث مفردة أو مجتمعة.

١١-٢٧-٢- التحاليل الميتالورجية:

تحدث هذه العيوب بسبب التبريد غير المنتظم للمصبوبات أو التدفق غير المنتظم في قالب الصب مما يؤدي إلى تشكل التمزق نتيجة للإجهادات المؤثرة على سطح المعدن في أثناء كون الحرارة في مجال التقصف.

أو بمعنى آخر عند تبريد المعدن لدرجة حرارة تسبب له التقصف .

كما تتجمع هذه العيوب في مناطق تركز الإجهادات (تغير مفاجئ في المقطع) أو نتيجة التبريد السريع للمقاطع الرفيعة.

١١-٢٧-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

١. الفحص بالصباغ النافذ: يستخدم هذا الاختبار في حال فحص العينات اللاحديدية .

٢. الكشف بالجسيمات المغناطيسية: يستخدم هذا الاختبار مع ضرورة الفصل بين العينة والجسيمات المغناطيسية كما يلاحظ صعوبة إزالة المغناطيسية المتبقية بعد الاختبار.

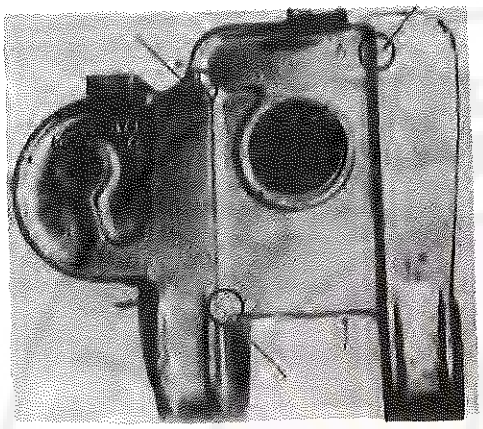
٣. ويجب أن يترافق هذا الاختبار مع طريقة الاختبار بالأشعة السينية حيث إن الجسيمات المغناطيسية تكون قادرة على تحديد العيوب التحت سطحية وتستخدم الأشعة السينية عندئذ من أجل التحاليل النهائية، كما أن الشوائب المتوضعة في العينة تؤثر سلبياً في هذا الاختبار. لذلك يجب العمل على إزالتها والتخلص منها.

٤. الفحص بالتيارات الدوامية : لا ينصح باستخدامه بسبب طبيعة هذه العيوب التي لا تسمح بمرور التيار فيها.

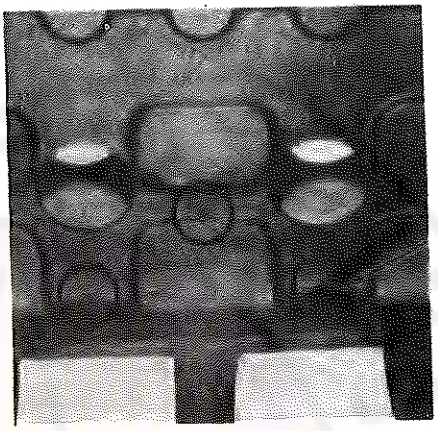
٥. الفحص بالأمواج فوق الصوتية: لا ينصح باستخدامه لكشف الكسور الساخنة لعدم تجاوب العينة مع هذا النوع من الاختبار.

٦. الكشف بالأشعة السينية: يفضل هذا الاختبار للكشف على العيوب الناتجة عن عمليات الصب حيث تكون العيوب داخلية أو سطحية كما أن لاتجاه توضع هذه التمزقات علاقة بنتائج هذا الاختبار بحيث لا تتوافر الحساسية الكافية لتحديد أماكن العيوب في حال

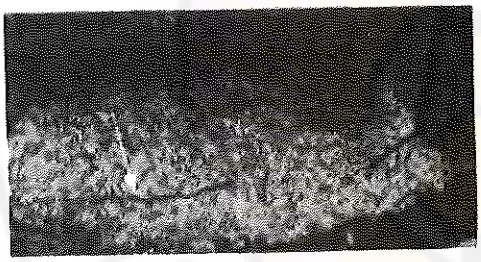
توضعها على السطح أو عند إنهاء السطوح بالتشغيل النهائي. بينما يبقى الاختبار فعالاً للكشف على العيوب الداخلية .



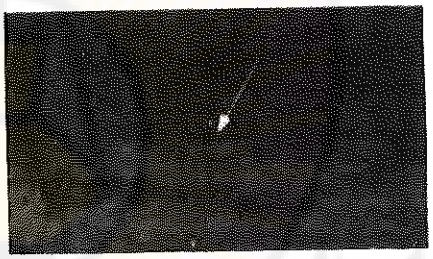
A. TYPICAL HOT TEARS IN CASTING



B. HOT TEARS IN FILLET OF CASTING



C. CLOSE-UP OF HOT TEARS IN (A)



D. CLOSE-UP OF HOT TEARS IN (B)

Damascus University

١١-٢٨- الشقوق الأنبوبية: Intergranular Corrosion

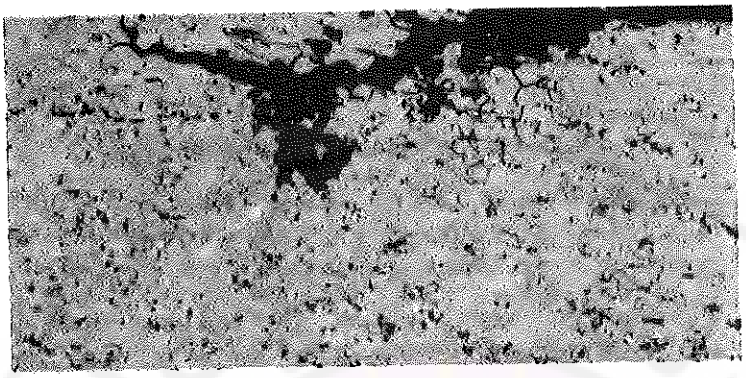
١١-٢٨-١- الوصف:

تظهر هذه الشقوق في البنية المعدنية في المعادن اللاحديدية حصراً موازية لحدود الحبيبات وتتركز على السطح الداخلي للأنبوب ويعود ظهورها إلى العوامل التالية:

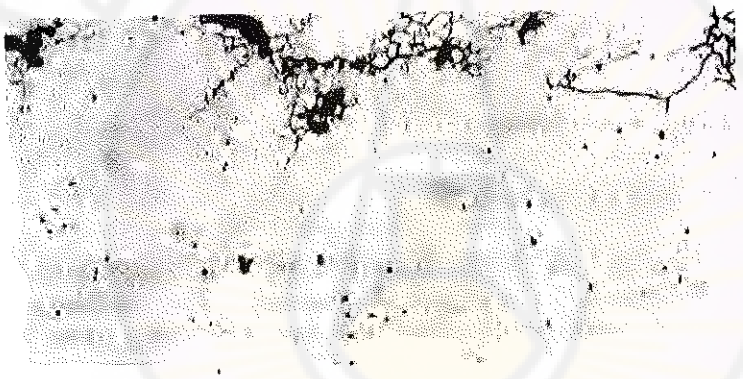
١. التبريد غير الصحيح للأنبوب في أثناء التصنيع.
٢. نسبة التسخين غير الكافية في أثناء تعريضه لحرارة التلدين مما يساعد على احتمال ظهور الشقوق عند درجات الحرارة بين(1600F(١٤٠٠- أو ما يعادل 760) C-٦٤٥).
٣. وجود الشوائب والمواد الغريبة المطمورة والمدسوسة بين حبيبات المعدن المشكل للسطح الداخلي للأنبوب بحيث يؤدي إلى تقصف المعدن وتشققه عند تعريض المعدن للحرارة في أثناء تشكيله بالتلدين.

١١-٢٨-٣- استخدام طرائق الـ NDT لكشف هذا العيب:

١. الاختبار بالصباغ النافذ: لا ينصح بهذا الاختبار في الكشف على هذه العيوب بسبب صعوبة إظهار الشقوق الداخلية للأنابيب بواسطة السائل.
٢. الاختبار بالجسيمات المغناطيسية: لا يطبق هذا الاختبار لمثل هذه العيوب.
٣. اختبار التيارات الدوامية: يستخدم هذا الاختبار بشكل كبير للكشف على هذا النوع من العيوب ولاسيما بالنسبة للأنابيب التي لا يتجاوز قطرها (1) inch أو (٢,٤٥ cmm) وسماكتها أقل من(0.150 (in) أو ما يعادل ٣,٨ mm مع التنويه إلى صعوبات تطبيقه على المواد الحديدية ذات المغناطيسية الدائمة.
٤. الاختبار بالأمواج فوق الصوتية: يمكن تطبيق هذا الاختبار على الأنابيب المتوضعة في أماكن محجوبة وغير سهلة المنال في بعض التجهيزات وحيث لا يسهل الوصول إليها.
٥. الاختبار بالأشعة السينية: لا يستخدم هذا الاختبار في الكشف على تشققات الأنابيب لأن سماكة الأنابيب واتجاه الشقوق فيها لا يعطي الاختبار الدقة المطلوبة.
٦. وينصح باستخدام طرائق NDT الأخرى لكونها أكثر حساسية وفعالية في الكشف على هذه العيوب.



A. MICROGRAPH OF INTERGRANULAR CORROSION SHOWING LIFTING OF SURFACE FROM SUBSURFACE CORROSION



B. MICROGRAPH SHOWING NATURE OF INTERGRANULAR CORROSION. ONLY MINOR EVIDENCE OF CORROSION IS EVIDENT FROM SURFACE

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المراجع

المراجع العربية

١. جميل أبو جهجاه، محمد علي سلامة، فؤاد ضحية، علم المواد وخواصها واختباراتها، منشورات جامعة دمشق- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، ٢٠٠٨.

٢. محمد علي سلامة، عصام موسى، طرائق التصنيع ٣، منشورات جامعة دمشق- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، ٢٠٠٥-٢٠٠٦،

٣. أ.كوتشير، تكنولوجيا المعادن، دراماير، موسكو، الترجمة إلى العربية: عيسى الزيدي، ١٩٩٠.

٤. واد آدمز، تكنولوجيا النانو، الترجمة للعربية: خالد العامري، مصر، دار الفاروق الثقافية، ٢٠٠٧.

٥. المواصفة القياسية الألمانية رقم (DIN17006).

٦. المواصفة القياسية الألمانية رقم (DIN17100).

٧. المواصفة القياسية الألمانية رقم (DIN1700).

٨. المواصفة القياسية الألمانية رقم (DIN17660)

٩. المواصفة القياسية الألمانية رقم (DIN1712).

١٠. وفيق حرارة، الاختبارات اللاإتلافية – طريقة التصوير الشعاعي الصناعي، هيئة الطاقة الذرية السورية، سوريا.

١١. أحمد رصيص، دليل عملي لضمان جودة اللحام، الطبعة الأولى،٢٠٠٩، دار الأنس، سوريا.

١٢. وفيق حرارة، الإختبارات اللاإتلافية — طريقة الإختبار بالتيارات الدوامة في الصناعة، هيئة الطاقة الذرية السورية، سوريا.

١٣. عاطف عيد، محمود أحمد الشافعي، علاء عزت همام، محي الدين حديدي، البرنامج النظري والعملي للتدريب في الاختبارات بالأمواج فوق الصوتية – المستوى الأول، الهيئة العربية للطاقة الذرية، تونس، ٢٠٠١.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المراجع الأجنبية

1. Non-Destructive Testing For Plant Life Assessment, Training Course Series No. 26, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2005.
2. Welding Design, Procedures and Inspection, Technical Manual, TM 5-805-7, Headquarters, Department of the Army, 20 May 1985
3. ASM, Metals Handbook Volume 17, Nondestructive Evaluation and Quality Control, Electronic version, 1998.
4. ASM, Metals Handbook Volume 8, Mechanical Testing and Evaluation, 1998.
5. Personnel Training Publications, Classroom Training Book Series
6. ASNT Level III Study Guides - Basic
7. ASNT Level III Visual and Optical Testing Method.
8. ASNT Level III Ultrasonic Testing Method.
9. ASNT Level III Magnetic Particle Testing Method.
10. ASNT Level III Radiographic Testing Method.
11. ASNT Level III Liquid Penetrant Testing Method
12. Classroom Training Handbook: Ultrasonic Testing, ASNT.
13. Classroom Training Handbook: Magnetic Particle Testing, ASNT.
14. Classroom Training Handbook: Radiographic Testing, ASNT.
15. Classroom Training Handbook: Liquid Penetrant Testing, ASNT.
16. Classroom Training Handbook: Eddy Current Testing, ASNT.
17. Michal F Ashby, Materials selection in mechanical Design, Second Edition, Department of engineering Cambridge University, Englanel,1999.
18. Ctarostin-B.B, materials and method Nanotechnology, Moscow, 2008.
19. C.A. Balaras*, A.A. Argiriou, "Infrared thermography for building diagnostics", Energy and Buildings, 2002, volume 34, pp. 171-183.
20. http://www.ndt-ed.org .
21. "Compact thermal imaging cameras for Research & Development and Science", FLIR.
22. W. Hararah , "Infrared Rayon", Arabic encyclopedia, 2012, volume 2, pp. 571
23. S. A. Grammatikos, E. Z. Kordatos, N.-M. Barkoula, T. E. Matikas and A. S. Paipetis, "Innovative non-destructive evaluation and damage characterisation of composite aerostructures using thermography", Plastics, Rubber and Composites, 2011, Volume 40, Issue 6/7 (01)
24. X. Maldague: 'Applications of infrared thermography in non-destructive evaluation', in 'Trends in optical nondestructive testing',

(ed. P. K. Rastogi and D. Inaudi); 2000, pp. 591–609. Amsterdam, Elsevier Science. (a03)

25. "Introduction to thermography principle", 2009, American Technical Publishers, Inc., Fluke Corporation, and the Snell Group
26. How strain gages work, KYOWA strain gages, http://www.kyowa-ei.com/eng/
27. What is the Strain Gages, KYOWA strain gages, http://www.kyowa-ei.com/eng/
28. William M. Murray, William R. Miller, The Bonded Electrical Resistance Strain Gage An Introduction, Oxford University Press, 1992.
29. Strain Gages and Accessories - measurement with confidence, HBM Test and Measurement, http://www.hbm.com/
30. Tribikram Kundu, Ultrasonic Methods for Materials and Structure Inspection, ISTE Publishing, 2007.
31. Charles J. Hellier, Handbook of Nondestructive Evaluation, McGRAW-HILL, 2003.
32. ISO 9712:2012, Non-destructive testing - Qualification and certification of NDT personnel.
33. General Requirements for Qualification and PCN Certification of NDT Personnelm, BINDT, PCN/GEN ISSUE 10 rev C, 2014

اللجنة العلمية:

الأستاذ الدكتور محمد علي سلامة

الأستاذ الدكتور خليل عزيمة

الأستاذ الدكتور عبد الله مجيد

المدقق اللغوي:

الأستاذ الدكتور محمد موعد

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة

لمديرية الكتب والمطبوعات

جامعة دمشق

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University