



طرائق التصنيع (2)

لهندسة الميكانيك العام والآليات



منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

طرائق التصنيع [2]

لهندسة الميكانيك العام والآليات

الدكتور

حسن فارس هدلة

مدرّس في قسم هندسة التصميم الميكانيكي

الدكتور

عصام موسى

أستاذ في قسم هندسة التصميم الميكانيكي

1436 - 1437 هـ

2015 - 2016 م

جامعة دمشق -

الفهرس

الباب الأول _ سباكة المعادن (طرائق التصنيع بسباكة المعادن) الصفحة

الفصل الأول _ مدخل إلى عمليات السباكة

- 1-1 التصنيف المتعارف عليه للمواد الهندسية. 21
- 2-1 تعريف السباكة. 28
- 3-1 لمحة تاريخية عن السباكة 29
- 4-1 مميزات عمليات السباكة ومساوئها. 29
- 5-1 لمحة عن طرق السباكة وأساليبها. 32
- 6-1 أفران صهر المعادن. 49
- 7-1 الأمن الصناعي والسلامة المهنية. 54

الفصل الثاني _ السباكة اليدوية

- 1-2 مقدمة 67
- 2-2 السباكة باستخدام القوالب الرملية. 68
- 1-2-2 رمال السباكة (مكوناتها وخواصها، تصنيفها، 68
- الإضافات لرمال النوى والقوالب، مواد الفصل ومواد 68
- طلاء القوالب، اختيار رمال السباكة)
- 2-2-2 النماذج (أنواعها، التسامحات والاعتبارات التكنولوجية 68
- في تصنيع النماذج، وظيفة النماذج، النوى، صندوق 85
- (النوى)

97	3-2-2 تشكيل قالب الصب الرملي وطرائق تثبيت النواة
	داخل فجوة القالب.
121	3-2 فحص المسبوكات وتفتيشها.
	الفصل الثالث _ آلات تشكيل القوالب الرملية والنوى.
151	1-3 تصنيف آلات صناعة القوالب.
158	2-3 تصنيف آلات صناعة النوى.
160	1-2-3 آلات صناعة النوى بطريقة البثق اللولبي المكبسي.
161	2-2-3 آلات صناعة النوى بالاهتزاز.
162	3-2-3 آلات صناعة النوى بالضغط.
162	4-2-3 آلات صناعة النوى بالنفخ.
162	5-2-3 آلات صنع النوى بالقذف.
	الفصل الرابع _ نظام الصب.
165	1-4 تعريف نظام الصب، وظيفته وأنواعه.
166	2-4 أجزاء نظام الصب.
178	3-4 تصميم نظام الصب.
179	4-4 طرق حساب نظام الصب.
187	5-4 موازنة قوى الدفع الناتجة عن صب المعدن المنصهر.
	الفصل الخامس _ السبائك في القوالب الدائمة.
199	1-5 السبائك في القوالب الحرارية
200	2-5 السبائك بالقوالب المعدنية التي تعمل بالثقالة والضغط.
209	3-5 السبائك بالقوالب التي تعمل بقوة الطرد المركزي.
213	4-5 السبائك المستمرة.

الفصل السادس _ السبابة الدففة.

219	1-6	بطرفقة الشمع المففود.
223	2-6	باسفءءام القوالب القشرفة.
228	3-6	القولة بطرفقة النموذء المفففر.
229	4-6	القولة بالصفط.
231	5-6	السبابة بقوالب البص.
232	6-6	الصب بالقوالب السفرامفكة.

الباب الفاف _ لءام المعادن (طراق الفصف بالءام).

الفصل الأول _ الأسس الففزفافة للءام المعادن.

237	1-1	المفهوم الففزفافي للارففاب الذرف.
239	2-1	ففزفاء اللءام باسفءءام الفارة والصفط.
240	3-1	العلاقة بفن العناصر الففولوجفة للءام بالصفط.
242	4-1	ففزفاء اللءام بالصهر وبعض مزافا ففزفاء لءام المعادن.

الفصل الفاف _ فصف أنوء اللءام.

245	1-2	فصف أنوء اللءام ففب الطاقة المسفءءمة.
246	2-2	فصف أنوء اللءام ففب ءالة المعدن فف منطفة اللءام.

الفصل الفالف _ لءام الفماس الكهرفافي (لاءام المقاومة).

251	1-3	لاءام الفماس الففافي.
253	2-3	لاءام الفماس النقطف.
255	3-3	لاءام الفماس الفدرفزف.

الفصل الفاف _ اللءام بالقوس الكهرفافي.

259	1-4	طفبة ففوفن القوس الكهرفافي.
-----	-----	-----------------------------

262	قدح القوس الكهربائي وأقسامه.	2-4
264	الخاصة الستاتيكية للقوس الكهربائي.	3-4
266	تأثير المجالات المغناطيسية في القوس الكهربائي.	4-4
268	بنية معدن الدرزة للحماية ومعدن منطقة التأثير الحراري.	5-4
الفصل الخامس _ تصنيف أساليب اللحام بالقوس الكهربائي.		
271	التصنيف حسب مستوى المكثنة والامتنة.	1-5
274	التصنيف حسب نوع التيار وقطبيته.	2-5
275	التصنيف حسب نوع التيار وقطبيته وحسب نوع القوس المشتعل.	3-5
275	التصنيف حسب خواص الإلكترود.	4-5
276	التصنيف حسب نوع الحماية المستخدمة لمنطقة اللحام.	5-5
277	التصنيف حسب ظروف تتبع اشتعال القوس.	6-5
الفصل السادس _ حساب أنظمة اللحام وأبعاد الدرزة للحماية عند اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي والآلي.		
279	حساب عناصر نظام اللحام وأبعاد الدرزة للحماية عند اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي.	1-6
290	حساب عناصر نظام اللحام المحكم آلياً لأنواع مختلفة من الوصلات.	2-6
الفصل السابع _ اللحام الكهربائي الخبثي.		
317	مفهوم اللحام الكهربائي الخبثي وتقائنه.	1-7
320	أنظمة اللحام الكهربائي الخبثي.	2-7
الفصل الثامن _ اللحام في وسط من الغازات الواقية.		
325	مفهوم اللحام في وسط من الغازات الواقية ومزاياه.	1-8
326	تقانة اللحام في وسط من الغازات الخاملة.	2-8
333	الخواص التعدينية للغازات المستخدمة في الوقاية.	3-8

الفصل التاسع _ اللحام بالبلازما

- 337 1-9 تعريف البلازما.
- 338 2-9 طرق الحصول على البلازما.
- 339 3-9 مزايا تيار البلازما.
- 340 4-9 تقانة اللحام بقوس البلازما.
- 345 5-9 تقانة اللحام بقوس ميكرو البلازما.
- 347 6-9 تقانة اللحام بقوس البلازما وباستخدام إلكترود ينصهر.

الفصل العاشر _ اللحام بالأشعة الإلكترونية وبأشعة الليزر.

- 351 1-10 مبدأ توليد الأشعة الإلكترونية.
- 356 2-10 مبدأ اللحام بالأشعة الإلكترونية.
- 358 3-10 تقانة اللحام بالأشعة الإلكترونية في وسط مغلغل.
- 363 4-10 المولدات الكوانتية ومبدأ توليد أشعة الليزر.
- 368 5-10 تقانة اللحام بأشعة ليزر المولدات الكوانتية الصلبة.
- 371 6-10 اللحام بأشعة ليزر المولدات الغازية.

الفصل الحادي عشر _ لحام الفولاذ متوسط وعالي نسبة الكربون والفولاذ

السبائك ولحام الفونت.

- 373 1-11 تقانة لحام الفولاذ متوسط وعالي نسبة الكربون.
- 374 2-11 تقانة لحام الفولاذ السبائكي.
- 377 3-11 تقانة لحام الفونت.

الفصل الثاني عشر _ لحام المعادن الملونة وخلانطها.

- 393 1-12 لحام الألمنيوم وخلانطه.
- 398 2-12 لحام النحاس.
- 403 3-12 لحام التيتان.
- 406 4-12 لحام النيكل وخلانطه.

407	5-12	لحام البرونز
		الفصل الثالث عشر _ أنواع الوصلات اللحامية ومقاومتها التصميمية.
409	1-13	تصنيف الوصلات اللحامية.
412	2-13	المقاومات التصميمية للوصلات اللحامية (الإجهادات المسموح بها).
		الفصل الرابع عشر _ الكترودات اللحام.
417	1-14	الإلكترودات غير المنصهرة.
418	2-14	الإلكترودات المنصهرة.
421	3-14	تصنيف إلكترودات اللحام.
424	4-14	أهم المزايا الإلكترودات المغلفة واستخداماتها.
425	5-14	توصيف إلكترودات اللحام.
		الفصل الخامس عشر _ عيوب الوصلات اللحامية.
429	1-15	العيوب الشائعة في الوصلات اللحامية.
436	2-15	طرائق علاج عيوب الوصلات اللحامية.
		الفصل السادس عشر _ السلامة المهنية في عمليات اللحام.
439	1-16	قواعد الأمن الصناعي والسلامة المهنية.
441	2-16	مخاطر الكهرباء في اللحام وطرق الوقاية منها.
442	3-16	مخاطر الإشعاع الناتج عن القوس الكهربائي وتلوث الهواء المصاحب لعملية اللحام.
443	4-16	تلوث الهواء المصاحب لعمليات اللحام المختلفة.
444	5-16	مخاطر الحرائق والانفجارات في عمليات اللحام.
444	6-16	مخاطر تنظيف الوصلات اللحامية.
		الجزء العملي
		الفصل السابع عشر _ اختبار جودة اللحام.
450	1-17	اختبار جودة المعدن الأساس المخصص للتصنيع.

450	2-17	اختبار جودة الإلكتودات.
451	3-17	اختبار مهارة عمال اللحام.
451	4-17	اختبار القطع.
452	5-17	اختبار تجميع القطع.
453	6-17	اختبار جودة اللحام في القطع الجاهزة.
455	7-17	الاختبارات الميكانيكية للوصلات اللحامية.
461	8-17	الاختبارات اللا إتلافية للدرزات اللحامية.

الفصل الثامن عشر _ ترميز اللحامات على المخططات طبقاً للنظام العالمي.

469	1-18	الرموز الأساسية لأنواع وصلات اللحام.
471	2-18	الرموز التكميلية للوصلات اللحامية.
472	3-18	توضع الرموز على المخططات.
475	4-18	أمثلة على كيفية استعمال الرموز.
482	5-18	أبعاد درزة اللحام على المخططات.
483	6-18	توضيحات اضافية.

الفصل التاسع عشر _ مراحل تنفيذ المشاريع الإنتاجية المعدنية وأهم طرائق

رفع متانة الوصلات اللحامية.

493	1-19	مراحل تنفيذ المشاريع الإنتاجية.
499	2-19	أهم طرائق رفع متانة الوصلات اللحامية بالطرق التصميمية.

509	المصطلحات العلمية
531	المراجع العلمية



مقدمة

السباكة واللحام عمليتان إنتاجيتان بكلاهما يحدث انصهار للمعدن أو الخليطة المعدنية، ومن ثم تبريد للوصول إلى المنتج المراد تصنيعة، وبالتالي يحدث الكثير من التغيرات بالبنية في أثناء التبريد تؤثر بدورها على الخصائص الميكانيكية، وعلى الاستخدامات الصناعية للمنتجات. ومن خلال تقدم التكنولوجيا الهندسية التي خطت بخطى واسعة في أنحاء العالم شتى، حيث بني العديد من المنشآت المعدنية ومكوناتها من ماكينات حديثة التي تكفل مستوى عالياً من الدقة والجودة، أدى ذلك إلى تحقق مزيداً من الإنتاج. وهذا ما يدفعنا إلى زيادة الاهتمام بالتكنولوجيا التي تعرف بعلم الفنون الصناعية من جهة، وعلم الأساليب والأعمال المتصلة بالتطبيقات الصناعية من جهة أخرى. ولو استعرضنا تعريف كل مرحلة إنتاجية لوجدنا أن: عملية السباكة باختصار هي عملية يتم من خلالها صهر المعادن وصبها في قوالب تحتوي على فجوات ذات أشكال خاصة وأبعاد محددة، وعندما تتجمد المعادن، فإن القطع المصنعة تكتسب أشكال الفجوة ومقاساتها التي صُبَّت فيها، وتسمى المنتجات المشكلة بهذه الطريقة بالمسبوكات.

عرفت هذه الصناعة من حوالي أكثر من خمسة آلاف عام قبل الميلاد، وقد عدَّت من أقدم الصناعات التي عرفها الإنسان، ومن الطبيعي أن صناعة سباكة المعادن قد تطورت، شأنها شأن الصناعات الميكانيكية الأخرى، وقد كانت السباكة قبل القرن العشرين تعتمد كلياً على العمل اليدوي، ثم بعدها تطورت طرق السباكة، واستخدمت الآلات والأساليب الحديثة، واستخدمت طرق السباكة بالضغط والسباكة بالقوة الطاردة المركزية والسباكة بالتبريد المفاجئ والسباكة باستخدام القالب الكامل، وطريقة استخدام ماءات الزجاج وغاز ثاني أكسيد الكربون وطرق السباكة بالضغط والشمع المفقود والقوالب القشرية والصب بالتفريغ والنموذج المتبخر والقالب السيراميكي والجص..... واستخدمت إضافة إلى ذلك أساليب استصلاح الرمال وإعادة استعمالها، كما تطورت عمليات صناعة النماذج، وأدخلت الطرق الحديثة بالإنتاج باستخدام الكمبيوتر (CAD-CAM) والتي تعد عاملاً حاسماً في تطور هذه الصناعة. ويعود أسباب نجاح عملية السباكة أنه يمكن صب أكثر الأشكال تعقيداً سواء أكان تعقيدها من الخارج أو من الداخل، بعض المعادن لا بد من صبها عند التشكيل حيث إنه لا يمكن تشغيلها على الساخن من

كتل مصبوبة للحصول على أسياخ أو قضبان أو ألواح أو أشكال أخرى، وذلك لطبيعتها الفلزية. ويؤكد ذلك أنواع الحديد الزهر كثيرة الاستعمال قليلة التكاليف، وكذلك سهولة الإنشاء. فالأجسام التي يمكن صبها من قطعة واحدة قد يحتاج الأمر إلى عملها من قطع كثيرة ثم تجميعها لو استعملت طرق أخرى لتشكيلها، وبعد صب المعادن عملية ملائمة للاحتياجات للإنتاج الكبير حيث يتم إنتاج كميات هائلة من المصبوبات بسرعة كبيرة واستعمال المصبوبات في صناعة وسائل النقل، وأوضح مثال على ذلك. يمكن صب الأجسام المعدنية الثقيلة ذات الأحجام الكبيرة التي يصعب إنتاجها بطرق أخرى أو يكون ذلك مستحيلاً من الناحية الاقتصادية، ومثال ذلك المضخات الكبيرة والصمامات والأجزاء المستعملة في محطات القوى الهيدروكهربائية التي يصل وزنها إلى 222 طناً، وكذلك يمكن الحصول على بعض الخواص الهندسية بصورة أفضل في المصبوبات المعدنية مع الاحتفاظ بخواص ميكانيكية جيدة، وباقتصاديتها إذا ما قورنت بطرائق التشكيل الصناعية الأخرى.

أما عملية اللحام: فهي باختصار عبارة عن عملية للحصول على وصلة غير قابلة للفك، من خلال التسخين الموضعي لأطراف الأجزاء الموصلة، وللتعرف إلى الجانب العملي في عمليات وصل المعادن باللحام، فإنه يمكن تلخيص ذلك من خلال تأمل أي جسم معدني في درجة حرارته العادية، أي في درجة حرارة الجو المحيط نجد أن أساس تماسك هذا الجسم وعدم تفككه، هو قوة الجذب المتبادلة بين الذرات المكونة لمادة هذا الفلز (المعدن)، ومقاومة جزيئاته لانفصال بعضها عن بعض، لذلك عند إجراء عملية وصل للأجزاء المعدنية المتشابهة عن طريق اللحام، فإنه يجب العمل على تهيئة الأطراف المراد وصلها، لكي تتقارب ذراتها بعض مع بعض وتتدمج أكثر، بحيث تتماثل ظروف كل منهما مع الجزء الآخر، ومن ثم فإن وصل هذه الأطراف سيكون أمراً حتمياً، مما يؤدي إلى وصلة دائمة غير قابلة للتفكك.

أدى تنظيم العمليات التكنولوجية بشكل اقتصادي إلى الاهتمام بوصل المعادن باللحام، فقد كانت النظرة إلى وصل المعادن باللحام نظرة قاصرة على أنها مجرد حرفة، وليس علماً تطبيقياً، وتغير هذا المفهوم، وأصبح اللحام علماً في مقدمة علوم الهندسة الميكانيكية الحديثة، ويكفي للدلالة على ذلك إلقاء نظرة سريعة على أهم المنشآت المعدنية في العصر الحديث ابتداءً من المفاعلات النووية، والصواريخ، وسفن الفضاء، والأقمار الصناعية، والطائرات، والسفن، والجسور، ووسائل

النقل المختلفة ... إلى أصغر الأجهزة الإلكترونية وأدناها، لنجد أنها ليست في واقع الأمر سوى مكونات معدنية تم تجميعها بعضها مع بعض بواسطة طرق اللحام المختلفة. يحتوي الكتاب على منهج تكنولوجية التصنيع (بالسباكة واللحام) بشقيه النظري والعملي. وقد تم الربط بين المادة العلمية والتطبيقات العملية في سياق الشرح والتوضيح. وضع هذا الكتاب بأسلوب يتماشى مع التقنيات الحديثة في علوم السباكة واللحام وتصنيفاتها، وقد بذل جهداً كبيراً في طباعته ورسم أشكاله لإعطائه جمالية عالية تجذب قارئه. يقع هذا الكتاب في بابين _ الباب الأول _ سباكة المعادن (طرائق التصنيع بسباكة المعادن)، ويشتمل على ستة فصول دراسية أساسية نلخصها كالآتي:

الفصل الأول _ مدخل إلى عمليات السباكة، حيث اشتمل هذا الفصل لمحة موجزة عن التصنيف المتعارف عليه للمواد الهندسية وتعريف للسباكة، ولمحة تاريخية عن تطورها عبر العصور التاريخية، كما تم في هذا الفصل أيضاً إعطاء شرح وافٍ عن طرق السباكة وأساليبها، وأفران صهر المعادن ومجالات استخدامها، وعن الأمن الصناعي والسلامة المهنية المطلوبة في مكان العمل.

الفصل الثاني _ السباكة اليدوية باستخدام القوالب الرملية، تناول وصفاً لرمال السباكة من حيث مكوناتها وخواصها، تصنيفها، الإضافات لرمال النوى والقوالب، مواد الفصل ومواد طلاء القوالب، اختبار رمال السباكة، وللنماذج بأنواعها المختلفة، والتسامحات والاعتبارات التكنولوجية في تصنيع النماذج، وظيفة النماذج، النوى، صندوق النوى، وشرحاً لمراحل تشكيل قالب الصب الرملي وطرائق تثبيت النواة داخل فجوة القالب، وشرحاً للاختبارات التي تُجرى لفحص المسبوكات وتفتيشها.

الفصل الثالث _ آلات تشكيل القوالب الرملية والنوى، حيث نلقي الضوء في هذا الفصل على تصنيف آلات صناعة القوالب الرملية من آلات رك اهتزازية وآلات ضاغطة وآلات قاذفة للرمال، وتصنيف آلات صناعة النوى الشائعة بطريقة البثق اللولبي المكبسي أو الضغط أو الاهتزاز أو القذف. **الفصل الرابع _** نظام الصب، تناول في هذا الفصل تعريفاً لنظام الصب الذي يعدّ عنصراً أساسياً في الحصول على مسبوكة سليمة من خلال التصميم الجيد والصحيح لنظام الصب وصب المعدن المصهور

بدرجة حرارة مناسبة. نعرف إلى أجزاء نظام الصب، وتصميمه، وطرق حسابه، وكيفية موازنة قوى الدفع الناتجة عن صب المعدن المنصهر.

الفصل الخامس _ السباكة في القوالب الدائمة، حيث ندرس في هذا الفصل السباكة في القوالب الحرارية، والسباكة بالقوالب المعدنية التي تعمل بالثقالة والضغط، والسباكة بالقوة الطاردة المركزية، والسباكة المستمرة.

الفصل السادس _ السباكة الدقيقة، تستخدم هذه الطرق بالسباكة لإنتاج مسبوكات ذات دقة عالية ولا تحتاج لأي عمليات تشغيلية لاحقة مهما كانت درجة تعقيدها، تنطرق من خلال هذا الفصل الدراسي إلى كيفية اختيار الطرق الخاصة بالسباكة، وأنواع طرق السباكة الدقيقة: طريقة السباكة بالشمع المفقود، والقوالب القشرية، والنموذج المتبخر أو ما يسمى بالقالب الكامل، والقولبة بالضغط المنخفض، والسباكة بقوالب الجص، وباستخدام القوالب السيراميكية.

أما الباب الثاني: لحام المعادن (طرائق التصنيع باللحام) يشتمل على تسعة عشر فصلاً دراسياً أساسياً نلخصها كالآتي:

الفصل الأول _ الأسس الفيزيائية للحام المعادن، يعطي شرحاً عن المفهوم الفيزيائي للارتباط الذري، وعن فيزياء اللحام باستخدام الحرارة والضغط، والعلاقة بين العناصر التكنولوجية للحام بالضغط.

الفصل الثاني _ تصنيف أنواع اللحام، حيث تم تصنيفها وفقاً لنوعين أساسيين: تصنيف أنواع اللحام حسب الطاقة المستخدمة، وتصنيف أنواع اللحام حسب حالة المعدن في منطقة اللحام.

الفصل الثالث: لحام التماس الكهربائي (لحام المقاومة)، تناولنا من خلال هذا الفصل: لحام التماس التناكبي و لحام التماس النقطي والتدريزي (المستمر).

الفصل الرابع _ اللحام بالقوس الكهربائي، ندرس طبيعة تكوين القوس الكهربائي، وقدر القوس وأقسامه، والخاصية الستاتيكية للقوس الكهربائي وأيضاً تأثير المجالات المغناطيسية في القوس الكهربائي، وبنية معدن الدرزة اللحامية ومعدن منطقة التأثير الحراري.

الفصل الخامس _ تصنيف أساليب اللحام بالقوس الكهربائي، نتناول من خلال هذا الفصل التصنيف حسب مستوى المكننة والأتمتة، والتصنيف حسب نوع التيار وقطبيته، وحسب نوع القوس المشغل، وحسب خواص الإلكتروود، ووفقاً لنوع الحماية المستخدمة لمنطقة اللحام.

الفصل السادس _ حساب أنظمة اللحام، وأبعاد الدروة للحامية عند اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي والآلي. نعرض من خلال هذا الفصل كيفية حساب عناصر نظام اللحام وأبعاد الدروة للحامية عند اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي ونظام اللحام المحكم آلياً لأنواع من الوصلات المختلفة.

الفصل السابع _ اللحام الكهربائي الخبثي، نتناول من خلال هذا الفصل مفهوم هذا النوع من اللحام وتقائنه.

الفصل الثامن _ اللحام في وسط من الغازات الواقية، ما هو مفهوم اللحام وتقائنه في وسط من الغازات الواقية، وماهي الخواص التعدينية للغازات المستخدمة في الوقاية.

الفصل التاسع _ اللحام بالبلازما، نتناول من خلال هذا الفصل تعريف البلازما وطرق الحصول عليها، ومزايا تيار البلازما، وتقانة اللحام بهذه الطريقة.

الفصل العاشر _ اللحام بالأشعة الإلكترونية وبأشعة الليزر، نعرض من خلال هذا الفصل مبدأ اللحام بالأشعة الإلكترونية، وتقانة اللحام بهذه الطريقة في وسط مخلخل، كما نتناول مبدأ توليد أشعة الليزر، وتقانة اللحام بأشعة الليزر الضوئية.

الفصل الحادي عشر _ لحام الفولاذ متوسط وعالي نسبة الكربون والفولاذ السبائكي ولحام الفونت، اللحام بالأشعة الإلكترونية وبأشعة الليزر، من حيث تقانة اللحام بهذه الطريقة وتصنيف الفونت وخواصه، وكيفية لحام الفونت وقابليته للحام.

الفصل الثاني عشر _ لحام المعادن الملونة وخلانطها، ندرس مثال عليها لحام الألمنيوم والنحاس ولحام التيتان.

الفصل الثالث عشر _ أنواع الوصلات للحامية ومقاومتها التصميمية، من حيث التصنيف المتعارف عليه للوصلات للحامية، والإجهادات المسموحة بها في هذه الوصلات.

الفصل الرابع عشر _ إلكترونيات اللحام، ندرس توصيف هذه الإلكترونيات سواء أكانت إلكترونيات منصهرة أو إلكترونيات غير منصهرة.

الفصل الخامس عشر _ عيوب الوصلات للحامية، نتطرق للعيوب الشائعة للوصلات للحامية وطرق علاجها.

الفصل السادس عشر _ السلامة المهنية في عمليات اللحام، ندرس قواعد الأمن والسلامة المهنية، ومخاطر الكهرباء في اللحام وطرق الوقاية منها، وكذلك مخاطر الإشعاع الناتج عن القوس الكهربائي وتلوث الجو المصاحب لعملية اللحام.

الفصل السابع عشر _ اختبار جودة اللحام، وهو جانب عملي تطبيقي يتم من خلاله اختبار جودة المعدن الأساس المخصص للتصنيع، واختبار جودة إلكترونيات اللحام، ومهارة عمال اللحام واختبار القطع وتجميعها، و أهم الاختبارات الإتلافية و غير الإتلافية التي تجرى على الوصلات اللحامية.

الفصل الثامن عشر _ ترميز اللحامات على المخططات طبقاً للنظام العالمي، نتطرق للرموز الأساسية المستخدمة لأنواع وصلات اللحام المختلفة والرموز التكميلية للوصلات اللحامية، وكيفية وضع الرموز على المخططات، وأبعاد درزة اللحام على المخططات.

الفصل التاسع عشر _ مراحل تنفيذ المشاريع الإنتاجية المعدنية وأهم طرائق رفع متانة الوصلات اللحامية. يتناول مراحل تنفيذ المشاريع الإنتاجية، وأهم الطرائق المتبعة لرفع متانة الوصلات اللحامية بالطرق التصميمية.

يعدّ هذا المقرر أساسياً ومهماً لطلبة السنة الثالثة قسم هندسة القوى الميكانيكية وهندسة الآليات الثقيلة لما له من فائدة علمية وعملية.

ختاماً نرجو من الله تعالى أن نكون قد وفقنا في تأليف هذا الكتاب وأن تتحقق منه الفائدة المرجوة.

دمشق 2015/4/20

الباب الأول

سباجة المعادن

(طرائق التصنيع بسباجة المعادن)

الفصل الأول : مدخل إلى عمليات السباجة.

الفصل الثاني : السباجة اليدوية.

الفصل الثالث : آلات تشكيل القوالب الرملية والنوى.

الفصل الرابع : نظام الصب.

الفصل الخامس: السباجة في القوالب الدائمة.

الفصل السادس: السباجة الدقيقة.



الفصل الأول

مدخل إلى عمليات السباكة

Introduction into Casting Processes

1-1: التصنيف المتعارف عليه للمواد الهندسية:

تستخدم في مجالات التصنيع الهندسي مجموعة من المواد الأولية ونصف المصنعة، لكل منها صفات ميكانيكية وطبيعية وكيميائية معينة، بحيث تلائم صفات المنتج المطلوب تصنيعه، سواء أكان ذلك المنتج ماكينة أم جزءاً من مبنى أو أداة يدوية، وتقسم المواد الهندسية بصفة عامة إلى مواد معدنية (فلزية) ومواد غير معدنية، وتشمل المواد المعدنية المواد الحديدية وغير الحديدية التي يطلق عليها أحياناً تسمية المعادن الملونة، بينما تشمل المواد غير المعدنية المواد العضوية والمواد غير العضوية، مثل: اللدائن والخشب والجلد والمطاط وما إلى ذلك.

1- المواد الحديدية:

تعد المواد الحديدية من أكثر المواد استخداماً في الصناعات الهندسية، فنجد أن المعادن الحديدية تمثل أكثر من 90 % من وزن أي ماكينة صناعية، كما أن سبائك الحديد سواء أكانت في شكل ألواح أم قضبان أم أسلاك أم قطاعات إنشائية ذات مقاطع مختلفة الأشكال أم مسبوكات أم مطروقات تمثل العمود الفقري لأي اقتصاد صناعي حديث. والمعادن الحديدية هي عبارة عن سبائك الحديد مع الكربون وعناصر أخرى بنسب قليلة منها السيليكون والمنجنيز والفسفور والكبريت وغيرها. وتقسم المعادن الحديدية تقسيماً عريضاً إلى نوعين رئيسيين: الفولاذ أو الصلب Steel وحديد الصب أو ما يدعى حديد الزهر (الفونت) Cast Iron والفولاذ هو سبائك الحديد التي تحتوي على أقل من 2% كربون والفونت هو السبائك التي تحتوي على نسبة تتراوح بين 2.5 و 3.75 % كربون.

وإذا تأملنا أي منتج مصنوع من المعادن الحديدية من تلك التي تصادفنا في حياتنا اليومية مثل جسم محرك السيارة المسبوك من حديد الزهر أو هيكلها المصنوع من الصاج، وتحرينا عن طريقة إنتاجه لوجدنا أن هذا المنتج قبل أن يصل إلى شكله النهائي قد مر بسلسلة طويلة معقدة مترابطة من العمليات ابتداء من خام الحديد حتى الوصول إلى المنتجات النهائية.

ويمكن تقسيم المواد الحديدية المستخدمة في الصناعة إلى ثلاثة أنواع: خامات معدنية: وهي عبارة عن معادن متحدة مع عناصر أخرى على شكل أكاسيد أو كربونات أو كبريتات وخلافها، وتوجد في الطبيعة مختلطة مع مواد أخرى تسمى المادة العاطلة في الخام، ويستخرج الخام في الطبيعة بواسطة الصناعات التعدينية. مواد نصف مصنعة: وهي المواد التي أجري عليها بعض العمليات التصنيعية ولا تزال تنتظر إجراء عمليات تصنيعية تالية لتعديل خواصها وشكلها مثل المعدن الخام الذي يستخدم لإنتاج الفولاذ أو حديد الزهر، حيث يعاد صهر الزهر الخام الخارج من الفرن العالي في فرن الدست أو أي فرن آخر، ثم يصب في قالب بالشكل المطلوب، أو يحول في فرن تحويلي إلى صلب يصب على شكل كتل التشكيل يصنع منها المطروقات، الأسلاك، الألواح، والقضبان المعدنية وغيرها. منتجات نهائية: وهي عبارة عن المنتجات التي مرت بمراحل التصنيع جميعها من تشكيل وتشغيل وطلاء ومعالجة، وأصبحت جاهزة للاستخدام النهائي أو لتجميعها مع منتج آخر، ويوجد عدد غير نهائي من المنتجات النهائية التي نقابلها في حياتنا اليومية.

2- المواد غير الحديدية:

وتلي مجموعة المواد الحديدية في الأهمية، وتشمل من الناحية الأساسية على النحاس وسبائكه، والألمنيوم وسبائكه، والقصدير وسبائكه، والرصاص وسبائكه، والزنك وسبائكه، والمعادن الثمينة وسبائكه، والمعادن الحرارية وسبائكه. نوضح منها:

1-2 النحاس وسبائكه:

النحاس من أكثر المعادن غير الحديدية انتشاراً في الصناعة، ويستعمل النحاس في حالته النقية في الصناعات الكهربائية كموصل جيد للتيار - وينقص وجود الشوائب من

توصيل النحاس للكهرباء، وتجهز المصنوعات النحاسية، مثل: الأسلاك والصفائح والرقائق بالدلفنة والسحب والكبس، ومن أهم سبائكه:

2-1-1: النحاس الأصفر:

النحاس الأصفر عبارة عن مجموعة السبائك بين كل من النحاس الأحمر أساساً والزنك، كما تضاف إليه أحياناً عناصر أخرى لإكسابه خواص معينة، مثل: القصدير والرصاص والنيكل، وتحتوي سبيكة النحاس الأصفر على نسبة من الزنك تصل إلى حوالي 45%، وكلما قلت نسبة النحاس في سبيكة النحاس الأصفر كان لونه أصفر يشبه لون التربة الصفراء، وكلما زادت نسبة النحاس اقترب لون النحاس الأصفر من اللون الأصفر الذهبي، ويتمتع النحاس الأصفر بمقاومته للتآكل بفعل العوامل الجوية، كما أنه سهل اللحام ولا يتأثر بالصدأ، ويحول النحاس الأصفر المصبوب سابقاً على شكل كتل إلى رقائق أو شرائط أو أنابيب أو قضبان بالتشكيل على البارد أو الساخن بواسطة السحب أو الكبس. وتصنع الصمامات والصنابير والأنابيب من النحاس الأصفر لسهولة صبه ومقاومته للتآكل.

2-1-2: البرونز:

تسمى سبائك النحاس مع أي معدن آخر عدا الزنك بالبرونز، ويسمى البرونز باسم العنصر المتسبك مع النحاس. والبرونز القصديري يحتوي على نسبة من القصدير تتدرج ولا تزيد على 22% وهو مرن وذو صلابة جيدة ويمكن سباكته، كما أنه جيد التشغيل. وإذا أضيف إلى البرونز القصديري كمية من الفسفور سمي بالبرونز الفسفوري، ويتراوح لون البرونز بين الأحمر الذهبي والأصفر الذهبي.

ويتألف برونز الألمنيوم من النحاس مع نسبة من الألمنيوم تتراوح من 4 إلى 20%، ويمتاز بمقاومته للتآكل بالاحتكاك الميكانيكي، ويعرف من لونه الذي يشبه النحاس الأصفر، ويصعب تشكيله بالصب إلا أنه يمكن تغيير شكله بالتشكيل على البارد أو الساخن بسهولة. ويتكون برونز الرصاص من سبيكة بها نحو 25% رصاص والباقي نحاس، ويتميز بصفات تزليقية جيدة إلا أن مقاومته للإجهادات ضئيلة. ويستعمل هذا البرونز في صناعة المحامل.

2-1-3: السبيكة الحمراء:

السبيكة الحمراء هي خليط من القصدير والزنك مع نسبة عالية من النحاس ذات مناعة جيدة ضد الصدأ والتآكل، كما أنه يمكن صبها وتشغيلها بشكل جيد، وتصنع منها الأدوات المنزلية والأنابيب ومحامل المحاور الانزلاقية.

2-2: الألمنيوم وسبائكها:

الألمنيوم معدن خفيف الوزن إذ يبلغ وزنه 2.7 جم/سم³ لدن وجيد التوصيل للحرارة والكهرباء، ينصهر عند درجة 660 درجة مئوية، ذو لون أبيض فضي، وسبائك الألمنيوم كثيرة ومتعددة، ولكنها تنقسم بصفة عامة إلى نوعين أساسيين:

النوع الأول: سبائك الألمنيوم القابلة للصب، وتستعمل لصناعة الأجزاء المهمة من المحركات، والأجزاء التي تتطلب مقاومة عالية للتآكل، والأجزاء التي تتعرض للصدمات.

والنوع الثاني: هو سبائك الألمنيوم القابلة للتشكيل، وتستعمل في صناعة الرقائق والأسلاك والأعمدة.

ومن سبائك الألمنيوم المهمة الدورالومين، وهو عبارة عن سبيكة مكونة من 94.5 % ألمنيوم و 4.5 % نحاس و 0.5 % منجنيز و 0.5 % مغنيزيوم، وتحمل هذه السبيكة شداً مقداره 450 نيوتن/مم² بعد تصلبها حرارياً، وهي ذات صلابة عالية (115 برينل)، إلا أنها صعبة اللحام، كذلك تعدّ سبائك الألمنيوم مع السليكون أكثر سبائك الألمنيوم شيوعاً، ويتراوح السليكون بها بين 4% ، 25% وتصنع منها الأدوات المنزلية وأجزاء الماكينات بإضافة بعض العناصر الأخرى.

3- المواد غير المعدنية:

تنقسم المواد غير المعدنية إلى مواد عضوية ومواد غير عضوية. من المواد العضوية التي تحتوي على خلايا عضوية حية أو ميتة فيها عنصر الكربون: الأخشاب، واللدائن، والمطاط، والورق، ومادة الطلاء، والجلد. ومن المواد غير العضوية: الزجاج، والأسمنت والمواد السيراميكية والجرافيت...

3-1: اللدائن (البلاستيك):

اللدائن مواد من أصل عضوي، ومنها الأنواع التي تتحول عند تسخينها إلى الحالة اللدنة، وتتخذ عند الضغط عليها الأشكال للأجزاء المراد صنعها، ومنها الأنواع التي تلين بالحرارة، بل تقاوم الحرارة حتى تتفحم، وتؤدي الخواص الطبيعية والكيميائية والميكانيكية لللدائن دوراً كبيراً عند صناعتها، وأهم هذه الخواص الوزن النوعي وتحملها (بعض أنواعها) للحرارة وانكماشها وقابليتها للانسياب وسرعة تجمدها ونسبة الرطوبة ومقاومتها النوعية للصدمات وعازليتها للكهرباء. وتعد اللدائن من المواد الخفيفة، فالوزن النوعي للأنواع المختلفة يتراوح من 2 % إلى 5 % جم/سم³ لهذا فاللدائن تستعمل على نطاق واسع لتخفيف وزن المصنوعات. ويمكن تشغيل اللدائن على المخارط بإزالة الرايش ومع ذلك، فعند تشغيل اللدائن يكون تآكل الحد القاطع أكبر منه عند تشغيل الصلب، ويفسر هذا بعدم تجانس اللدائن وعدم تساوي صلادة مركباتها المختلفة ورداءة توصيلها للحرارة.

3-2: الخشب:

من المعروف أن الأشجار هي مصدر الأنواع المختلفة من الأخشاب، ويتم قطع الأخشاب من الغابات وإزالة فروعها التي تحتوي على الأوراق لتبقى الجذوع التي يجري معالجتها للحصول على الأخشاب بصورتها الصالحة للاستخدامات الصناعية إلا أن الأخشاب التي تم الحصول عليها وتجهيزها تحتوي على نسبة عالية من الرطوبة تجعلها غير صالحة للاستعمال المباشر؛ بل يتعين تجفيفها لأسباب عدة، أهمها:

- زيادة مقاومة الإجهادات.
- منع الانكماش أو الالتواء للأجزاء التي سيتم تصنيعها من الأخشاب.
- تقليل احتمالات التعفن ومهاجمة الحشرات.
- تقليل الوزن لتسهيل عمليات النقل.
- جعلها قابلة للتلاءم والمعالجة؛ لأن الطلاءات لا تلتصق بالأجزاء المبللة أو الرطبة.

والخشب أنواعه كثيرة وصفاته كثيرة تصلح للكثير من الأغراض. وتدخل الأخشاب الصناعية كمنافس مهم للأخشاب الطبيعية التي تسبب ندرتها في ارتفاع أسعارها. وتصنع

الأخشاب الصناعية من مؤلفات النشارة أو من بقايا القش وبعض مخلفات الصناعات الكيميائية كمواد رابطة.

3-3: المواد السيراميكية Ceramic Materials:

تسمى أيضاً بالمواد المتصلدة حرارياً أو المواد الغضارية أو الخزفية. يعود الاختلاف في التسمية إلى الترجمة المصطلحة لكلمة ceramics الأجنبية. هذه المواد هي عبارة عن أكاسيد لمعادن، حيث تعدّ المواد الزجاجية حالة خاصة من المواد السيراميكية. تم اشتقاق التسمية الأجنبية لهذه المواد من التسمية اليونانية $\kappa\epsilon\rho\alpha\mu\iota\kappa\acute{o}\varsigma$ (تلفظ $\kappa\epsilon\rho\alpha\mu\iota\kappa\acute{o}\varsigma$) وهي تشمل المواد اللاعضوية اللامعدنية والمتشكلة بفعل الحرارة. وتعدّ صناعة السيراميك واحدة من أهم الصناعات في الوطن العربي. و تضم أنواع مختلفة من المنتجات، مثل:

- **المنتجات البيضاء:** هي المنتجات السيراميكية ذات اللون الأبيض أو العاجي أو الرمادي الفاتح بعد إجراء عملية الحرق. ويمكن تقسيم المنتجات البيضاء إلى الخزف والبورسلين والمنتجات الزجاجية والمنتجات ذات التطبيقات الفنية.
- **منتجات مواد البناء:** مثل طوب البناء وطوب الواجهات ومواسير الصرف الصحي وبلاط مجاري الصرف.
- **الحراريات:** مثل الطوب (الأجر) الحراري طوب السليكا وطوب الكروم وطوب الماغنيسيوم وطوب الكروم والماغنيسيوم وطوب كبريد السليكون وطوب الزركونيوم وطوب سليكات الألمنيوم وطوب أكسيد الألمنيوم.
- **المنتجات السيراميكية الخاصة:** المصنعة من أكاسيد أو كبريدات أو نتريدات مثل: المحامل الدحرجية - القلب الدوار بالمحرك (الألومينا) - المستننات (الومينا) - العنفات التوربينية - في التطبيقات الكهربائية (استخدم أكسيد الألمنيوم - أكسيد المغنيزيوم) في (الهوائيات - أجسام الفواصم - والمقاومات...) - بنية الأفران الحرارية وحجرات الاحتراق (كبريد ونتريد السليكون) (استخدم في وشائع التسخين وفوهات الاحتراق - أنابيب اللهب - أجزاء المرجل - بطانة الفرن - مبادلات التسخين) وفي التطبيقات الإلكترونية - والتطبيقات الطبية (زرع

النسج الحية في الأذن الداخلية- الأطراف الاصطناعية -الأجزاء السنية(تاج السن)) - المضخات ولوازم الصمامات والسكورة - آلات الغزل والنسيج - آلات إنتاج الورق وغيرها....

المواد الخام الأساسية المستخدمة في صناعة السيراميك التقليدي هي عبارة عن مواد لاعضوية تشمل العناصر المعدنية واللامعدنية تلتصق كيميائياً بعملية التلبيد، لتكون مركباً بلورياً أو لا بلورياً أو مدمجاً من الاثنين، وهذه المواد الخام هي الرمل، الفلدسبار، الطين الأسود، الطين الأبيض، الكاولين، التلك، فضلاً عن بعض المواد الأخرى التي تستخدم في بعض العمليات، مثل هيدروكسيد الصوديوم، وسليكات الصوديوم، وكربونات الكالسيوم، ومواد ملونة، والمزلاقات. وتستخدم المواد المكونة للطبقة الزجاجية (الجليز) لتغطية أسطح المنتجات، ويتم تحضير المادة الزجاجية (الجليز)، باستخدام الفلدسبار ($6\text{Na}_2\text{O}$, SiO_2 , Al_2O_3) وهيدروكسيد الصوديوم، ومواد رابطة، والدلوميت، والماء. وتستخدم بعض الكيماويات في المعامل لمراقبة الجودة وإجراء التحاليل. ويستخدم الغاز الطبيعي والمازوت كوقود للأفران.

أما بصناعة السيراميك التقني فنحتاج إلى مواد سيراميكية تقنية تتרכب من مواد أوكسيدية أو مواد غير أوكسيدية كالكربيدات والنتريدات والسيليكات. وتستخدم في التطبيقات الإلكترونية والتقنية والهندسية والحيوية وغيرها.

تبعاً للتصنيف العلمي، فإن المواد السيراميكية تنقسم إلى:

- المواد الإنشائية: كالقرميد والأجر.
- مواد العزل الحراري.
- البورسلين: بأنواعه
- المواد التقنية: ولها تسميات عدة، منها: السيراميك الهندسي والسيراميك الصناعي والسيراميك المتقدم. تنقسم هذه المواد بدورها إلى:
- الأكاسيد المعدنية: كالألومينا والزيركونيا.
- الأكاسيد اللافلزية: الكربيدات والنترات والسيليكات وأكاسيد البورون.
- المواد السيراميكية المركبة.

3-4: المواد المركبة COMPOSITE MATERIALS:

المواد المركبة هي عبارة عن مزيج من مادتين أو أكثر، غالباً هذه المكونات لا تتحلل مع بعضها، ويمكن تمييزها فيزيائياً بالحدود الفاصلة بينها. وتتكون المواد المركبة عادة من مادة أرضية Matrix ذات خاصية لدنة، ومادة أو مواد تقوية تدعى الألياف Fibers تكون هذه الألياف على شكل شعيرات ليفية متناهية الصغر أو بشكل جزيئات يتم توزيعها في أرضية المادة اللدنة وفق تقنية معينة على شكل طبقات متتالية تكسب المادة مواصفات جيدة تمتاز عن أي مواصفات من المركبين منفصلين (الألياف ومادة الأرضية). وخير مثال على المواد المركبة: الألياف الزجاجية، الخرسانة، إطارات السيارات.

3-5: المواد الإلكترونية Electronic Materials:

ليست من حيث الحجم نوعاً رئيساً من المواد، لكنها من حيث التقنية مواد ذات أهمية كبيرة بين المواد الهندسية المتقدمة. إن المادة الإلكترونية الأكثر أهمية هي السيليكون النقي الذي يمكن تعديله بطرق عدة للحصول على خصائص كهربائية مختلفة. فعلى سبيل المثال: أجهزة الدوائر الكهربائية الميكروية التي أثبتت فعاليتها في اتصالات الأقمار الصناعية، والحاسبات المتقدمة، والحاسبات المحمولة يدوياً، والساعات الرقمية، وبلحام الروبوتات وغيرها.

3-6: المواد الحيوية Biomaterials:

تستخدم للزرع في جسم الإنسان كبدايل عن الأعضاء المتضررة بالجسم البشري. هذه المواد يجب ألا تنتج مواداً سامة، ويجب أن تكون متوافقة مع أنسجة الجسم، أي بمعنى آخر يجب أن لا تسبب ردود أفعال حيوية مضادة، كل المواد أعلاه، (معادن، سيراميك، مركبات كيميائية، بوليميرات، مواد مركبة، مواد الكترونية) يمكن أن تستخدم كمواد حيوية.

1-2: تعريف السباكة:

عملية الصب أو السباكة هي عملية الحصول على منتجات، وذلك بسكب المعدن المصهور ضمن تجويف قالب، هذا التجويف له شكل المنتج المطلوب تصنيعه، وبعد

تجمد المعدن يتم الحصول على المسبوكة من القالب. والسباكة: هي عملية الحصول على منتج من معدن منصهر بدون أي عمليات تشغيل ميكانيكية، مثل: الدرفلة والتطريق واللحام ...

تستخدم المسبوكات في وسائط النقل والزراعة والبناء وفي بناء الآلات وغيرها. وأهم مميزات عملية السباكة كعملية تكنولوجية للإنتاج هو إنتاج الأشكال المعقدة مهما كان درجة تعقيدها علاوة على اكتساب المعدن لبعض الخواص الميكانيكية كالمتانة ومقاومة التآكل والقساوة ومقاومة الاهتزاز وغيرها.

1-3: لمحة تاريخية عن السباكة:

تعد السباكة من أقدم الحرف التي استخدمها الإنسان، وتعود إلى 5000 سنة قبل الميلاد، حيث صنع الإنسان السهام والسيوف والنقود والدروع والعدد الحربية وغيرها، فضلاً عن صناعة التماثيل واستخدام الذهب والنحاس والبرونز لصناعة التماثيل والحلي بطريقة السباكة بالشمع المفقود. وقد كانت السباكة قبل القرن العشرين تعتمد كلياً على العمل اليدوي، ثم بعدها تطورت طرق السباكة واستخدمت الآلات والأساليب الحديثة منها: طريقة الصب بالتبريد المفاجئ وطريقة مآلات الزجاج وغاز ثاني أكسيد الكربون وطرق السباكة بالضغط والشمع المفقود والقوالب القشرية والصب بالتفريغ والنموذج المتبخر ...

واستخدمت إضافة إلى ذلك أساليب استصلاح الرمال وإعادة استعمالها، كما تطورت عمليات صناعة النماذج وأدخلت الطرق الحديثة بالإنتاج باستخدام الكمبيوتر (CAD-CAM) والتي تعد عاملاً حاسماً في تطور هذه الصناعة.

تزن أصغر المسبوكات التجارية بضعة غرامات (قطعة حلي صغيرة) بينما الأثقل مثلاً تصل إلى 160 طن، وتحتاج إلى ما يقارب ثلاثة أسابيع حتى تبرد، وتسمى Ingot (مثلاً جسم محرك ديزل لسفينة تجارية).

1-4: مميزات ومساوئ عمليات السباكة:

تمتاز السباكة عن غيرها من عمليات التشكيل بالمميزات الآتية:

1. يمكن استخدام عملية السباكة في إنتاج الأشكال المعقدة التي تحتوي على تشكلات داخلية وخارجية.
2. بعض المعادن والخلائط المعدنية القاسية لا يمكن تشغيلها أو تشكيلها إلا بطرق السباكة، مثل الحديد الزهر.
3. سهولة التصنيع للقطع المعقدة بالسباكة، مثال عبة تغيير السرعة في وسائط النقل.
4. تتميز السباكة بالإنتاجية الكبيرة، وتصلح بعض أنواع عملية السباكة للإنتاج الكمي.
5. يمكن استخدام عملية السباكة لإنتاج الأشكال الضخمة جداً التي قد تصل زنتها إلى 100 طن وأكثر، وكذلك القطع خفيفة الوزن، مثال على ذلك قطع حلي وزنها لا يتعدى بضعة غرامات ومحرك سفينة وزنه بالأطنان.
6. يمكن الحصول على بعض الخواص الهندسية الجيدة للمسبوكات، مثال على ذلك:
 - القابلية للتشغيل على الآلات والقدرة على امتصاص الاهتزازات، وذلك بالتحكم بتركيبية الخليطة وتجمدها.
 - نحصل على خواص ميكانيكية متماثلة بالقطع المسبوكة، وذلك بالتحكم بتجمد المعدن المسبوك مقارنة بالمطروقات ذات الخواص المختلفة بحسب اتجاه القوى المؤثرة.
7. يمكن لعملية السباكة أن تستخدم على أي معدن يمكن الوصول به بالتسخين إلى درجة الانصهار.
8. بعض أنواع عملية السباكة يمكنها إنتاج الشكل بأبعاده النهائية أي بالدقة النهائية المطلوبة، وبالتالي لا يتم إدخال المنتج لأي مرحلة تشغيل أخرى على أي ماكينة.
9. مما سبق يمكن القول بصفة عامة: إن إنتاج القطع بطريقة الصب (السباكة) هي في الغالب أرخص طرائق التشكيل للإنتاج بالجملة. ولو أمكن إنتاج مختلف

الأجزاء الميكانيكية باستخدام أساليب الصب مع إكسابها واحتفاظها بخواص ميكانيكية جيدة لما كانت هناك حاجة ملحة لابتكار وطرائق التشكيل الأخرى واستخدامها.

أما أهم العيوب الممكن أن نصادفها بالمسبوكات المنتجة بالقوالب الرملية يمكن تلخيصها بالآتي:

1. عدم دقة الأبعاد: ولكن يمكن تحقيقها بعمليات التشكيل الأخرى أو باستخدام طرائق سباكة خاصة، حيث يمكن تحقيق نعومة أسطح ودقة أبعاد مقبولة.
2. وجود الزوائد: وتحدث بالمسبوكات عند سطح الفصل بين أجزاء القالب وعند الأدلة نتيجة لوجود الخلوص بين نصفي القالب.
3. اعوجاج المسبوكات: يحدث لعدم تساوي سماكة جدران المسبوكة لذا يجب تحسين التصميم واستعمال المبردات، وخاصة للأجزاء السميكة من المسبوكة.
4. وجود الالتحام: وهو على شكل انخفاض أخدودي ينتج بسبب عدم الالتحام والتوافق التام بين تيارات المعدن الداخلة من جهات مختلفة إلى فجوة القالب: والسبب في حدوث الالتحام هو عدم سيولة المعدن بالدرجة الكافية أو عدم توجيه المعدن توجيهاً صحيحاً في فجوة القالب، وانقطاع تيار المعدن عند ملء القالب.
5. نقص المعدن في المسبوكة (عدم اكتمال المسبوكة): وهو جزء غير مكتمل في المسبوكة، ويكون بسبب عدم سيولة المعدن بالدرجة الكافية وعند تجمع غازات تمنع امتلاء القالب بالمعدن، وقد يكون بسبب عدم صهر الكمية الكافية للإملاء.
6. الفقاعات الغازية: وهي فقاعات من الهواء أو الغازات التي تتكون في القالب وتبقى بالمسبوكة على شكل فراغات صغيرة موزعة بأجزائها المختلفة، وأهم أسبابها هي عدم نفاذية القالب للغازات بدرجة كافية (شدة الرك مع تهوية رديئة للقالب)، ورداءة أنواع رمل القالب ورطوبة النواة عند وضعها في القالب وصب معدن لم يتخلص بعد جيداً من الغازات.

7. فجوات التجمد: ظهور بعض عيوب السباكة على شكل فجوات داخل المسبوك و تسمى (البخبة)، وهي الفراغات التي تتكون نتيجة تجمد المعدن وتقلصه وعدم كفاية المغذي للمسبوك لتغذيتها بالمصهور عند تجميدها، وسببها هو التصميم غير الصحيح للمسبوك ولأوضاع المصببات والمرضعات، والخطأ في تركيب المعدن، مما ينتج عنه انكماش زائد.
8. خشونة الأسطح الناتجة من السباكة كما في السباكة الرملية.
9. تأثير عملية السباكة على بعض الخواص الميكانيكية للمادة.
10. درجة الأمان في عملية السباكة أقل نسبياً من باقي أغلب العمليات الصناعية، وذلك بسبب التعامل مع معادن مصهورة ذات درجات حرارة عالية وكذلك التأثيرات البيئية للعملية.
- كما وتوجد عيوب أخرى لا مجال لذكرها في هذا الكتاب.

1-5: لمحة عن طرق السباكة وأساليبها:

تستخدم عمليات السباكة في الحصول على المصنوعات والخامات نصف المصنعة المستعملة لصناعة أجزاء الماكينات، وذلك عن طريق صب المعدن المنصهر في قوالب السباكة وتركه يبرد (أي يتجمد). وبعد تمام تجمده يستخرج المسبوك من القالب، وينظف، وتقطع زوائده ثم تجرى عليه عمليات التشغيل حسب المطلوب. وقد تطورت عمليات السباكة كثيراً نتيجة لتطور تقنيات اختبار المواد، مثل: فيزياء الأشعة السينية واستعمال المجهر الإلكتروني الذي زود بمعلومات هيكلية وكيميائية عن طبيعة المواد الداخلة في تركيب المعادن وسبائكها، فضلاً عن التطورات في تقنيات السباكة واستخدامات الآلات الحديثة وآلات Rapid prototyping machine التي من خلالها يمكن عمل نموذج شمعي أولي أو مسبوك بدقة عالية وتطورت أساليب السباكة بالقوالب المعدنية وبطريقة الصب بالتبريد المفاجئ وطريقة السباكة بالقوالب القشرية والسباكة بالضغط والشمع المفقود، والصب بالتخلية والقالب السيراميكي والنموذج الكامل.

وأهم طرق السباكة الشائعة الاستخدام في الصناعة هي:

Sand Casting	1- السباكة في قوالب رملية
Permanent Casting	2- السباكة في قوالب دائمة
Die Casting	3- السباكة في قوالب معدنية
Centrifugal Casting	4- السباكة بالقوة الطاردة المركزية
Shell Casting	5- السباكة بالقوالب القشرية
Continuous casting	6- السباكة المستمرة ونصف المستمرة
Precision Investment Casting	7- السباكة الدقيقة

ولو استعرضنا لمحة بسيطة عن مبدأ كل طريقة لأجزائها بالآتي:

1- السباكة في قوالب رملية: Sand casting

يُشكّل القالب في هذه الطريقة من رمل خاص بالسباكة يتمتع بخواص مناسبة من أجل سباكة المعدن ضمنه، ويستخدم القالب الرملي لعملية سباكة واحدة، ثم يُشكل قالب جديد من أجل إنتاج مسبوكة ثانية.

تقسم طريقة السباكة بالقوالب الرملية بحسب طريقة تشكيل القالب إلى قسمين:

أ . طرائق تشكيل يدوية.

ب . طرائق تشكيل آلية.

الخطوات المتبعة في إنتاج المسبوكات بطريقة السباكة بالقوالب الرملية:

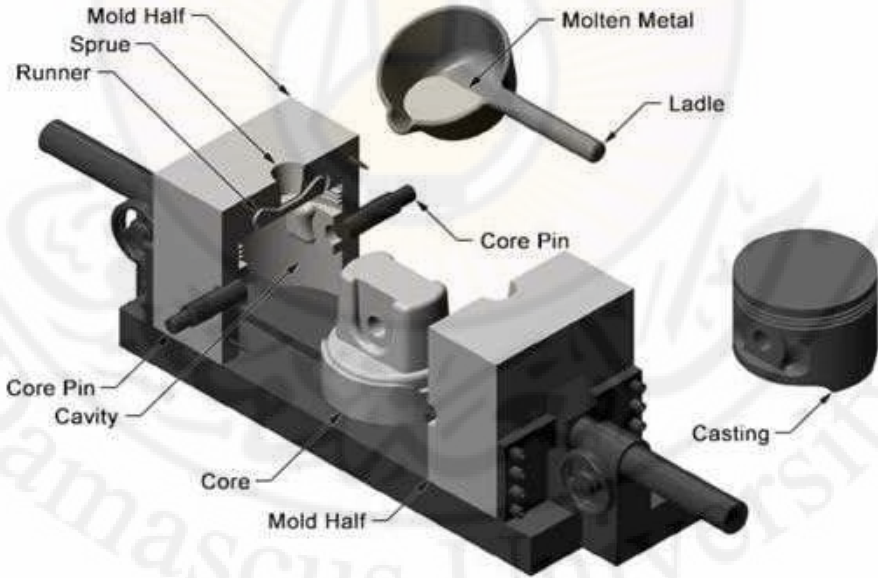
- 1- صنع النموذج Pattern making
- 2- عمل أو تشكيل القالب الرملي Mould forming
- 3- تجهيز الدلايك (النوى) Core Making
- 4- صهر المعدن للمسبوك Melting of the metal
- 5- تكسير القالب الرملي بعد الانتهاء من الصب وترك المسبوكة تبرّد.
- 6- عمليات التنظيف وإزالة الزوائد Cleaning process

وستتطرق لهذه الخطوات بالتفصيل في الدروس القادمة.

2- السباكة في قوالب مستديمة: Permanent casting

يقابل قوالب الرمل التي تكسر لإزالة المسبوكات تصميم قوالب مستديمة تصنع من حديد الزهر أو من الفولاذ منخفض الكروم ويستعمل البرونز والمواد غير المعدنية، مثل: الجرافيت والطين عندما لا تعطي المعادن الحديدية نتائج مرضية؛ وذلك بسبب ثمن تكاليف القالب المرتفعة أو استهلاك القالب.

وتتكون القوالب التي من الحديد الزهر من قطعتين أو أكثر. ويشكل التصميم الداخلي للمسبوك بأنوية من الحديد الزهر الرمادي أو الصلب، وقد تسحب الأنوية عندما يكون القالب مربوطاً مع جسمه، بينما تتطلب الأنوية (الداليك) المسماة بالداليك الجانبية أن تسحب قبل فتح القالب. ويكثر الاستهلاك بالتآكل عند المقاطع الرقيقة التي يحيطها المعدن المنصهر؛ لأنه لا يفقد هذا الجزء من القالب حرارته بيسر. ويوضح الشكل (1-1) مثالاً للقالب المستديم.



الشكل (1-1): القالب المستديم.

وتتوقف سرعة تبريد المعدن، وتقلصه على سرعة فقدانه للحرارة، ويحدد معدل التبريد إلى حد كبير الخواص الطبيعية للمسبوك. وعلى سبيل المثال إذا برد الحديد الزهر بسرعة، فإن سطح المسبوك قد يتصلب بدرجة يصعب معها تشغيله على المكينات. بينما تبريده ببطء يؤدي إلى التحسن بقابلية المسبوكة للتشغيل على المكينات. وقد يكون من الضروري تخمير المسبوكات الحديدية لإزالة الإجهادات الداخلية وتحسين الميكنة. وعندما يتطلب الأمر سرعة التبريد في إنتاج المسبوكات فجائية التبريد (المقساة) يجب التحكم بعناية في درجات حرارة القالب.

وتطلى أسطح فراغ القالب بطبقة من دهان مقاوم للحرارة؛ وذلك لتقليل الصدمة الحرارية الناتجة عن صب المعدن المصهور بالقالب؛ ولمنع التصاق المسبوكات في تجويف القالب. وقد يتكون الدهان من أسمنت مقاوم للحرارة مخفف خصيصاً بزيت الدلائك مضافاً إليه الجرافيت، وقد يمكث الدهان مرة واحدة لمدة طويلة قبل تجديده و ذلك يتوقف على طبيعة المعدن المنصهر وتأثيره. ويسخن القالب كل مرة قبل الصب بواسطة لهب الأوكسي إستيلين، يلي ذلك عملية الصب. والانتظار حتى يتجمد المعدن داخل القالب، ويبرد، وعندها يفتح القالب، ويتم إخراج المسبوكة.

يوضع عدد من القوالب في حالة الإنتاج الكمي على صينية آلة مستديرة بحيث تدور بالقوالب مارة بمحطات حيث يتم العمليات المختلفة أوتوماتيكياً. وبذلك يتم عمل مسبوك واحد في كل دورة من دورات الصينية.

وتصنع المسبوكات رقيقة الجدار في قوالب من البرونز، ويسمح للمعدن في هذه العملية بأن يبرد لمدة تكفي لعمل قشرة. وعندما تتكون القشرة يقلب القالب، فيخرج ما تبقى من المعدن السائل تاركاً فراغاً في الوسط وتناسب هذه العملية المسبوكات التي تكون من السبائك التي أساسها الرصاص والزنك.

وقد يسمى قالب الرمل الأخضر الذي ينشأ لإنتاج أكثر من مسبوك واحد بالقالب المستديم، ويجب في هذه الحالة ربط مباني الطوب بعضها ببعض بإحكام، كما يجب توفر ما يكفي من المرونة والمقاومة في الإنشاءات لامتصاص الإجهادات التي تنشأ عند تقلص المسبوكات. وعند فتح القالب وإخراج المسبوك ترسم الأجزاء المغطية قبل تجميع

ال قالب للعملية التالية. ويلاحظ مما سبق أن قوالب الرمل الأخضر تستعمل للمسبوكات الكبيرة.

وينتج قدر صغير جداً من المسبوكات الحديدية بطريقة القوالب المستديمة على أن تكون هذه المسبوكات صغيرة نسبياً في الحجم، وقليلة التعقيد في التصميم. وتقوم مناقشة شديدة بين طرق السباكة في الرمل، وطرق السباكة في القوالب المستديمة للسبائك غير الحديدية خصوصاً عندما يتعدى عدد المسبوكات 500، ولا يعني أن معدل الإنتاج للقوالب المستديمة كبير فقط، إلا أن قلة تكاليف العمال غير المهرة، وكذلك النسبة العالية من المسبوكات الجيدة تعمل على خفض تكاليف الإنتاج على أساس المنافسة القوية. وتندرج السباكة في القوالب المعدنية تحت مسمى القوالب المستديمة وأحياناً تستقل بالتسمية في بعض المراجع العلمية.

3- السباكة في قوالب معدنية: Die casting

تختلف سباكة القوالب المعدنية (الإسطمبات) عن سباكة القوالب الرملية في أن المعدن المنصهر يدفع في الإسطمبة تحت ضغط كبير. تعد هذه العملية ميكانيكية بدرجة عالية، وفيها قد يتم تبادل الإسطمبات على المكنة دون تغييرها. ويثبت نصف الإسطمبة إلى اللوحة الثابتة التي تحتوي على الصب. أما اللوحة المتحركة التي تحمل النصف الآخر من الإسطمبة فإنها تعمل بمكبس هيدروليكي ويقوم بإبعاد نصفي الإسطمبة عن بعضهما عند مستوى أفضل. ويخرج المسبوك بواسطة طارادات مركبة في النصف المتحرك من الإسطمبة. وتصل ماسورة الحقن الصب بنصف الإسطمبة الثابتة بالمكبس الذي يعمل على تجهيز الضغط.

بطريقة السباكة بالقوالب المعدنية يستخدم قالب معدني (من معادن مناسبة تتحمل درجات حرارة صب المعدن) من أجل الحصول على عدد كبير من المسبوكات، ويسمى هذا القالب بالقالب الدائم. تقسم طريقة السباكة بالقوالب المعدنية بحسب الضغط المستخدم على المعدن لإملاء تجويف القالب إلى:

1. السباكة بالقوالب المعدنية بالنقالة الأرضية: هذه الطريقة مماثلة لطريقة السباكة بالقوالب الرملية؛ إذ يملأ تجويف القالب بتأثير وزن المعدن، إلا أن القالب المستخدم قالب معدني.

2. بالسباكة بالضغط: تتم عملية السباكة هذه بدفع المعدن بقوة إلى داخل تجويف القالب المعدني. وتقسّم السباكة بالضغط بحسب نوعية حجرة الضغط إلى:

- آلات الضغط ذات الحجرة الساخنة: تكون حجرة الضغط في هذه الآلات مغمورة ضمن المعدن المصهور؛ لذلك تستخدم هذه الآلات لسباكة المعادن التي لا تتفاعل مع معدن حجرة الضغط.

- آلات الضغط ذات الحجرة الباردة: تستخدم هذه الآلات للمعادن التي تتفاعل مع معدن حجرة الضغط؛ إذ يصب المعدن وهو بحالة عجينية (درجة حرارة المعدن بين التجمد والانصهار) ضمن حجرة الضغط، ويدفع مباشرة بقوة إلى داخل تجويف القالب، وبذلك تتعرض حجرة الضغط لدرجة حرارة منخفضة نسبياً ولمدة زمنية قليلة؛ مما يحمي معدن حجرة الضغط من التفاعل مع المعدن المسكوب.

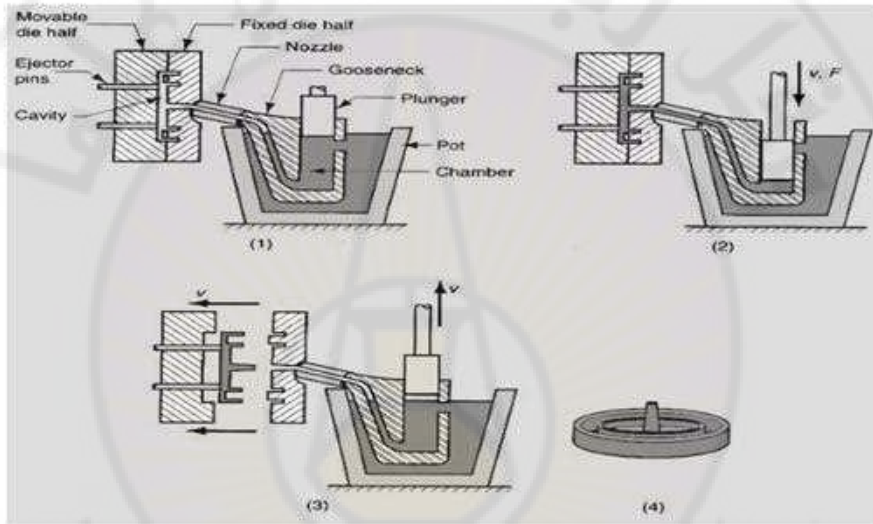
ويختلف النوعان الأساسيان لمكنتي السبك أي ذات الغرفة الساخنة وذات الغرفة الباردة في طريقة إدخال المعدن في ماسورة الحقن. وتحتوي أغلب مكنتات السبك ذات الغرفة الساخنة على ماسورة الحقن رقبة الأوزة، وبحيث تكون غاطسة في خزان المعدن المنصهر، كما هو الشكل (1-2).

وعندما يصل المكبس إلى نهاية مشواره الخلفي، فإنه يكشف فتحات الأسطوانة تسمح بانسياب المعدن المنصهر من الخزان إليها وعندما يتقدم المكبس بعد الفتحات في مشوار الرجوع، فإنه يدفع المعدن المحصور في الإسطمة.

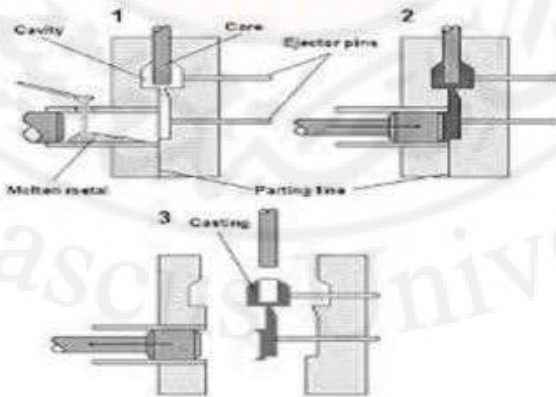
ونجد في حالة آلات الضغط ذات الغرفة الباردة أن ماسورة الحقن غير مغمورة في وعاء الصهر، وأن المعدن يجب أن يدخل ماسورة الحقن بواسطة ملعقة يدوية أو بتغذية أوتوماتيكية قبل كل صبة.

ويوضح الشكل (1-3) طريقة العمل بالغرفة الباردة، وتستعمل للمسبوكات التي من السبائك التي أساسها الألمنيوم والنحاس، حيث تتطلب ضغوطاً كبيرة للتخلص من

البخبة وعبوب السبابة الأخرى. وبتراوح الضعط فف عملفة العرفة الباردة عادة من 400 إلى 800 كجم/سم² وفف بعض الأحيان قد فصل إلى 7000 كجم/سم². وفعء ضئط 100 كجم/سم² تفرفباً مناسباً لعملفة العرفة الساخنة، وذلك عء عمل مسفوكاء من سبائك الألمفوم والقصففر والرصاص. وتعد الءقففة الخاصة بامءصاص الألمفوم للءفء من ماسورة الءفن سبباً كافياً لاستعمال طرفة العرفة الباردة، وذلك للءءكم الءقفق بالءصائص المفكانفكة للماءة.



الشكل (2-1): مكنة سبابة ذات الءجرة الساخنة.



الشكل (3-1): مكنة سبابة ذات الءجرة الباردة.

4- سباكة الدفع المركزي: Centrifugal casting

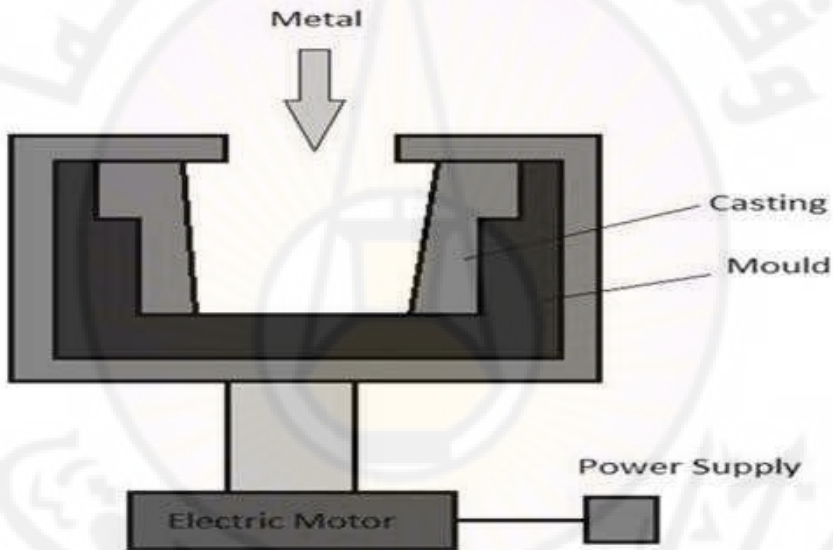
وتعمل عملية السباكة التي يصب المعدن المنصهر فيها في قالب يدور للحصول على مسبوكات من جودة واحدة وخالية من العيوب. وعندما يصب المعدن في مركز القالب عند محور الدوران يدور بسرعة للخارج ناحية الأطراف المحيطة بتأثير قوة الدفع المركزي تاركاً الشوائب في المركز، وعندما تكون السرعة ثابتة تتناسب قوة الدفع المركزي للقالب مباشرة مع الكتلة. وتتوقف درجة الفصل بين الشوائب والمعدن السليم أساساً على الفرق بين كثافة كل منهما. ويعمل حساب سماح كبير بالنسبة للقطر الداخلي للمسبوك حتى إزالة الوساخة المنعزلة. ولما كان من الممكن عمل مسبوكات الدفع المركزي قريبة في أبعادها من الأبعاد المنتهية بمعدات أقل تكاليف مما يلزم للحداثة، فإن ذلك جعل التنافس بين العملتين كبير جداً. كما أن مقاومة مسبوكات الدفع المركزي توجد متساوية في الاتجاهات جميعها، وعلى سبيل المثال: فإن أسطوانات الضغط التي تصنع بطريقة السبك بالدفع المركزي أقل احتمالاً للانفجار عما قد يصنع بالطرق. وتصنع مسبوكات كثيرة بالدفع المركزي؛ لتجنب استعمال المصببات الكبيرة وقنوات التغذية التي تتطلبها طريقة السبك الساكن (بالتقالة). وتقسّم مسبوكات الدفع المركزي إلى ثلاثة أنواع مختلفة: الدفع المركزي، وشبه الدفع المركزي، و الدفع المركزي الحقيقي.

ففي عملية الدفع المركزي - كما هو موضح في الشكل (1-4) - تقع فراغات القالب للمسبوك بعيدة عن مركز الدوران.

وتصب المسبوكات المتمائلة حول محاورها والأكبر حجماً (مثل العجلات ذات الأذرع أو التي على شكل قرص، تروس، ريش) بطريقة شبه الدفع المركزي، ويكون الصب عند المركز مكوناً من صورة مصممة، ويدفع المعدن في حالة العجلة ذات الأذرع خلال فراغ أذرعها.

أما في حالة طريقة الدفع المركزي الحقيقي، فيتكون الشكل الداخلي بتأثير قوة الدفع بطريقة الطرد المركزي الحقيقي. ويتوقف مقياس جوف الأسطوانة على كمية المعدن المصبوب في القالب الدائر، وتصنع المسبوكات الأسطوانية الطويلة، مثل: مواسير الزهر و مواسير المدافع بطريقة الدفع المركزي حول محور أفقي. شكل (1-5) وغالباً ما تصب

الأطوال القصيرة - التي لا تتجاوز أربعة أمثال مقياس الجوف المنتهي - وهي مائلة بالنسبة للأفقي، وتصب في وضع رأسي المسبوكات التي لا تتجاوز ارتفاعاتها قطر الجوف. وتعمل قوة الدفع المركزي على تسلق المعدن للجوانب الرأسية للقالب، ويبرد في هذا الوضع مكوناً في الداخل منحنى القطع المكافئ، ويصل الميل الداخلي لحوالي من 10 إلى 20 مم للمتر (0.5 درجة إلى 1 درجة) حسب ارتفاع القالب وسرعة المكنة. وتحسب سرعة المكنة للحصول على قوة نابذة في داخل المسبوك من 75 إلى 100 مرة قوة الجاذبية.

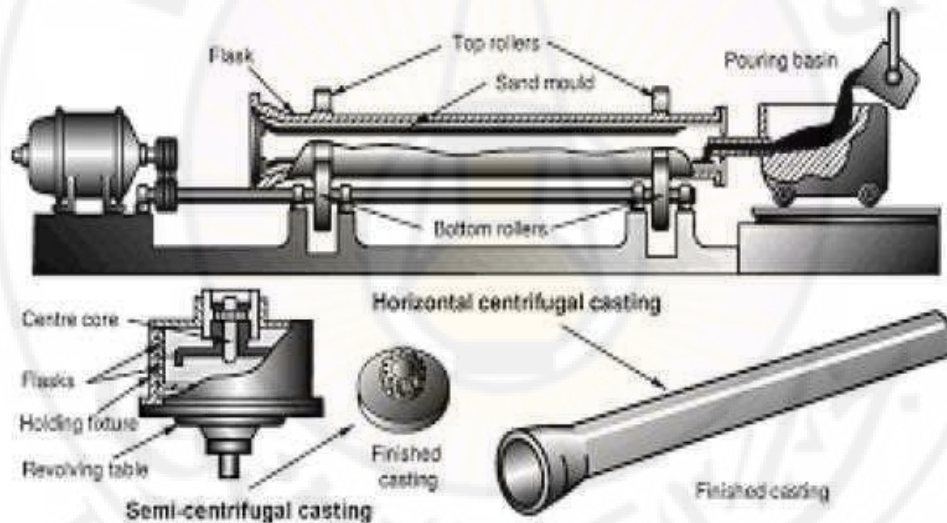


الشكل (1-4): عملية السباكة بطريقة الدفع المركزي.

ويصنع قالب الصب بالدفع المركزي، إما من الرمل الأخضر أو الرمل الجاف أو الكريون أو المعدن، ويتحدد مقياس المسبوكات المنتجة بمقياس القالب الذي يمكن أن يدور بنجاح على السرعة المطلوبة للحصول على النتائج المطلوبة. وغالباً ما تصنع مسبوكات النقود في قوالب من بلاط من رمل الدلايك المحمص وترص الواحدة فوق الأخرى. أما البلاط الذي يحوي نصف فراغ القالب، فيجمع أزواجاً ثم يرص. وتدور

بنجاح القوالب التي من الرمل الأخضر أو المجففة القشرة. أو التي من الرمل الجاف على مكبات الدفع المركزي.

ولقد أثبتت السباكة بدوران قوالب الرمل الأخضر لمسبوكات الدفع المركزي وشبه الدفع المركزي الصلاحية من الناحية الاقتصادية، ويستعمل لهذه العملية رمل له تكوين خاص يحتوي على مادة الهالوزيت كمادة رابطة (مادة سيليكاتية لها نقطة انصهار مرتفعة جداً) ويكون القالب المجفف بالهواء قوياً بدرجة تكفي لمقاومة ضغط الدفع المركزي. وتصنع قوالب الدفع المركزي الحقيقي من المعدن أو الكربون، ويتفاوت معدن القوالب في تركيب الحديد الزهر الرمادي إلى سبائك الصلب ويتوقف ذلك على جملة عوامل تؤثر في تلف الإسطمة. وتعد قوالب الجرافيت اقتصادية لسهولة تشغيلها على الماكينات.

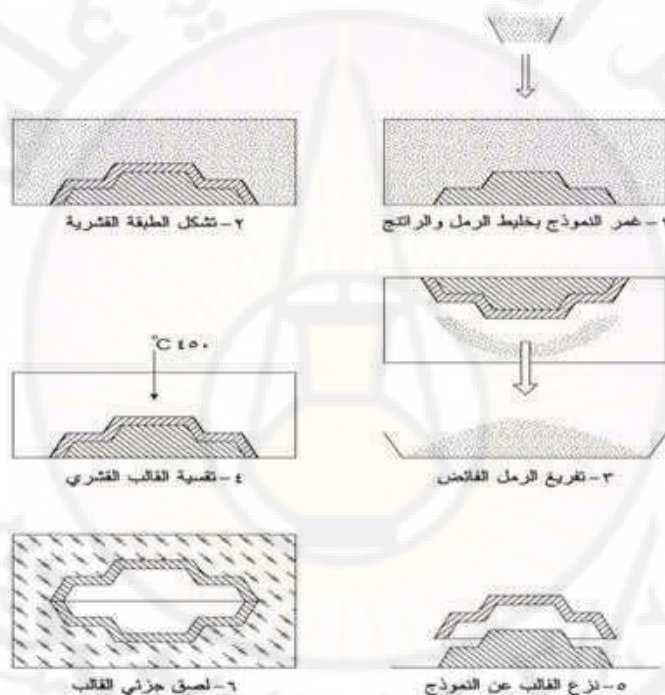


الشكل (5-1): عملية السباكة بطريقة الدفع المركزي الأفقي وبشبه المركزي.

5- السباكة بالقوالب القشرية: Shell casting

يتكون القالب في هذه العملية من قشرة بسبك من 6 إلى 12 مم. وتصنع القشرة التي تتألف من خليط حبيبات رمل الكوارتز الناعم، وإضافات من البيكاليت (راتنج صناعي) نسبته (5-6%) أو القلفونة. بتثبيت لوحة معدنية مسخنة تماثل جانب النموذج الأسفل

إلى فوهة صندوق يحتوي على رمل الكوارتز مع المادة الرابطة. نقلب المجموعة بحيث يصبح الرمل ملاصقاً للسطح الساخن من لوحة النماذج للعمل على تكوين القشرة. ويعاد قلب المجموعة لأعلى ثم توضع اللوحة في محمصة؛ لإتمام تصلد القشرة وفصل القشرة بعد ذلك. ثم تجمع القشرتان وتوضعان في صندوق، ويوضع حولهما رمل أو تسند من الخلف ببرادة معدنية عند الصب، ويتميز السبك في القشرة بدقة أبعاده ونعومة أسطحه ومقاطعة الرفيعة والتقليل في زمن ووسائل مناولة المواد فيه. شكل (1-6).

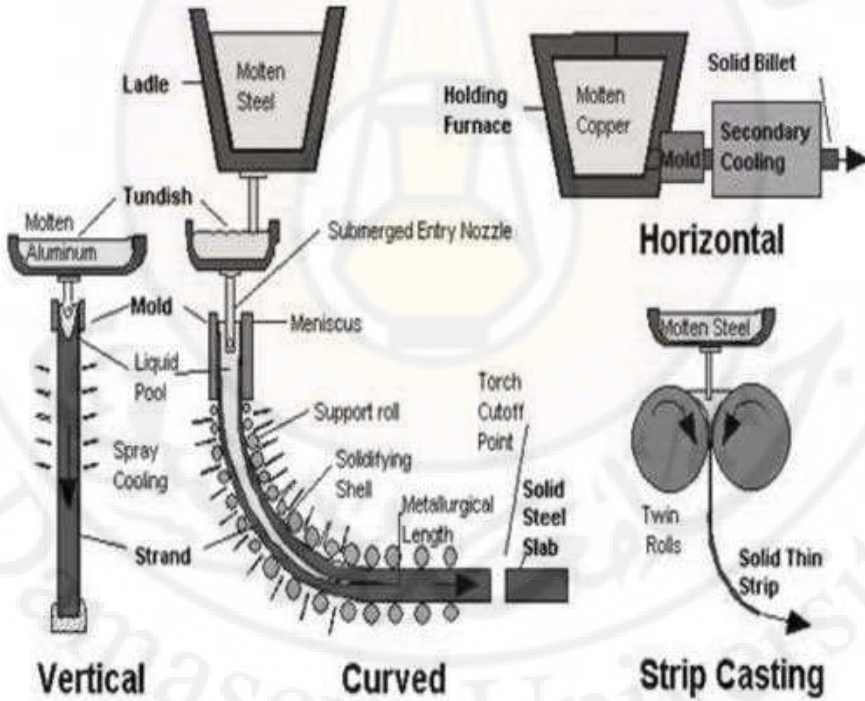


الشكل (1-6): السباكة بالقوالب القشرية.

6- السباكة المستمرة ونصف المستمرة: Continuous casting

يتم بهذه الطريقة سكب المعدن ضمن قالب معدني شاقولي مبرد بالماء، ومغلق من الأسفل بسدادة معدنية، فيتجمد المعدن على السدادة، وتتجمد قشرة المعدن الملامسة لجدران القالب المبردة. تسحب السدادة والمسبوكة الناتجة بسرعة معينة بواسطة درافيل

سحب، ويستمر صب المعدن ضمن القالب بسرعة مناسبة، فيتم الحصول من القالب على المسبوكة المطلوبة التي تأخذ شكل قضيب مستمر ذي مقطع دائري أو مربع أو مسدس أو غيره. تقطع المسبوكة الناتجة إلى الطول المطلوب، وتستخدم عادة هذه المسبوكات من أجل عمليات التشغيل اللاحقة؛ وخاصة من أجل الدرفلة. يتم إنتاج الصفائح المعدنية بالطريقة السابقة نفسها، ولكن بالاستعاضة عن القالب المعدني بدرفلين مبردين يصب المعدن في فراغ مساوٍ لسماكة الصفيح المراد إنتاجه بين الدرفلين. أما طريقة السباكة نصف المستمرة فمماثلة لطريقة السباكة المستمرة؛ وإنما يتم إنتاج مسبوكة واحدة بالعملية، وتكرر من جديد لإنتاج مسبوكة ثانية. تستخدم هذه الطريقة لإنتاج المواسير ذات الأقطار الكبيرة. الشكل (7-1).

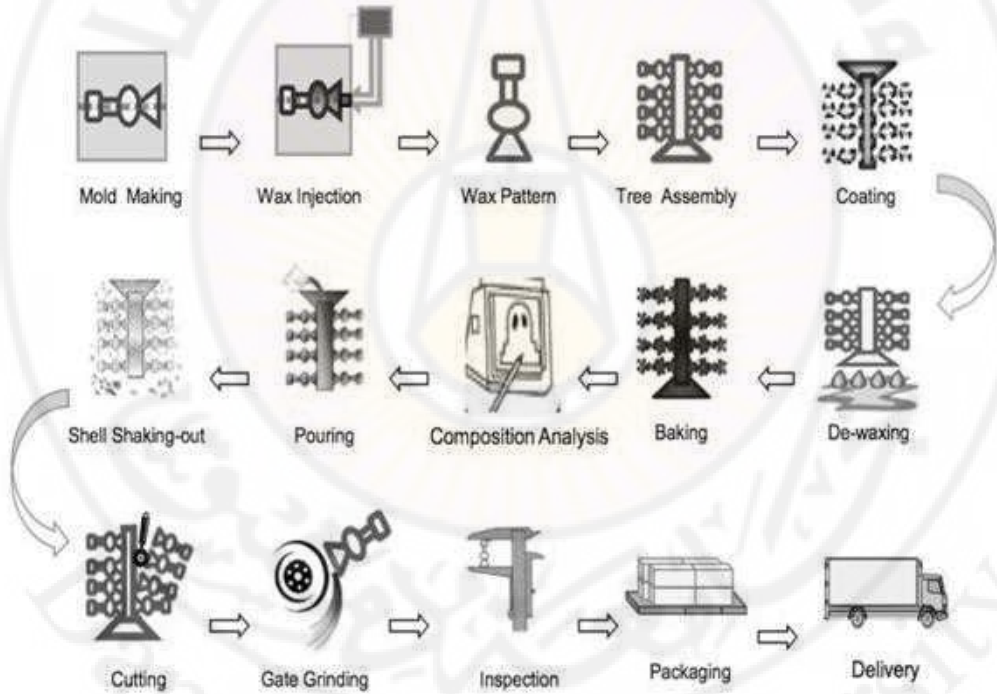


الشكل (7-1): السباكة المستمرة.

7- طرائق السباكة الدقيقة: نذكر منها:

1- طريقة السباكة بالشمع المفقود: Investment Casting or Lost Wax

Pattern وهي طريقة القالب الكامل؛ إذ يصنع النموذج الخاص بشكل المسبوكة مع نظام صب المعدن من شمع خاص، ويصب فوقه القالب المكوّن من مادة حرارية أو يشكل حوله قشرة من مادة حرارية سيراميكية، ثم يعرض القالب أو القشرة إلى حرارة، بحيث يذوب الشمع ويسيل خارج القالب، ويصب المعدن في الفراغ المتشكل. تستخدم طريقة السباكة بالشمع المفقود من أجل إنتاج القطع الفنية (التمائيل) وإنتاج قطع محركات الطائرات النفاثة المصنعة من الخلطات فائقة المتانة. شكل (1-8).



الشكل (1-8): السباكة بطريقة الشمع المهدور.

2- طريقة السباكة بالنموذج المتبخر: Full Mould Casting وهي طريقة القالب

الكامل أيضاً، ولكن يصنع النموذج الممثل لشكل المسبوكة من مادة البوليسترين،

ويطلى بمادة حرارية مناسبة، ويحاط برمل حراري حر (لا يحتوي على مادة رابطة)، ويرص الرمل بالاهتزاز أو يحاط برمل سيليسي SiO_2 مضاف إليه سيليكات الصوديوم بنسبة حوالي 5%، ويصلب كيميائياً باستخدام غاز ثاني أكسيد الكربون. يُصب المعدن فوق النموذج الذي يتبخر، ويحل مكانه المعدن المصبوب، وتستخدم التخلية على القالب من أجل سحب نواتج الاحتراق، وضمان حسن امتلاء القالب بالمعدن المصبوب.

إذا السباكة بالنموذج المتبخر هي طريقة حديثة لإنتاج المسبوكات الدقيقة. الشكل (1-9). مراحل عملية السباكة:

1- تندفع مادة البوليسترين (على شكل حبيبات) إلى قلب معدني مسخن (يصنع عادة من الألمنيوم) ويدفع البخار في القالب؛ ليتم صهر البوليسترين وتشكيل نموذج صلب.

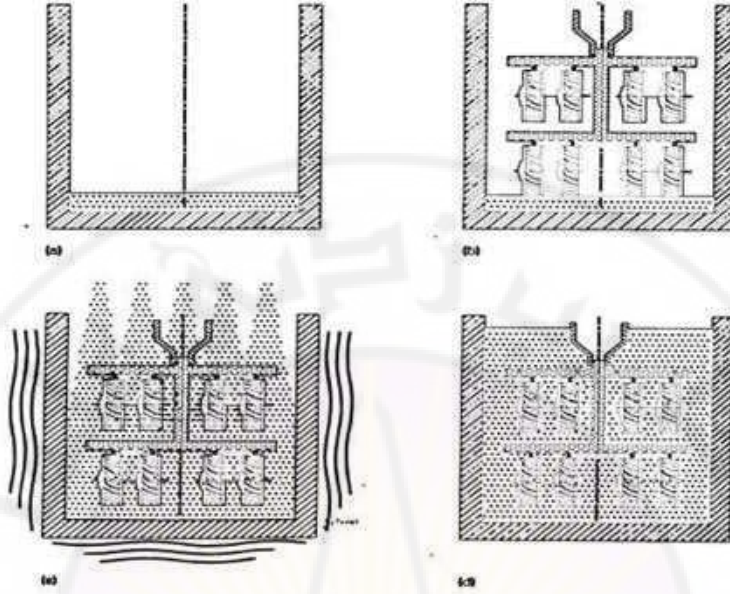
2- يبرد القالب ثم يفتح ليتم لفظ النموذج منه.

3- يتم ربط قناة الصب والمغذيات المصنوعة بالطريقة نفسها إلى النموذج المشكل باستخدام صمغ خاص. ويُطلى النموذج بمادة لزجة من المواد المقاومة (مسحوق رمل سيليكوني) وتجفف لتشكيل طبقة مقاومة تتحمل المعدن السائل.

4- يوضع النموذج في قالب، ويحاط بالرمل السائب الخالي من المواد الرابطة، ويتم سحب الهواء لتشكيل خلاء في القالب (يغطي سطح القالب بطبق من البلاستيك ليتم تشكيل الخلاء).

5- يترك القالب باستخدام عملية الاهتزاز. ومع استمرار تشكيل الخلاء في القالب يتم صب المعدن المصهور فيه، فيحدث تبخر النموذج فوراً، ويأخذ المعدن المصهور شكل النموذج تماماً.

6- يترك القالب فترة ليبرد ويخرج المسبوك ويعاد استخدام الرمل من جديد.



الشكل (1-9): السباكة بطريقة النموذج المتبخر.

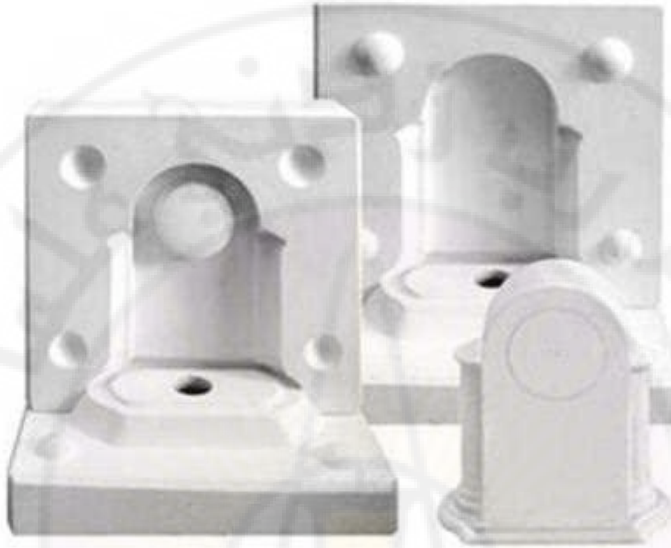
3- طريقة القوالب بالجبس: Plaster Moulding

مميزات هذه الطريقة:

- 1- إمكانية الحصول على مسبوكات رقيقة الجدران، وذلك بسبب انخفاض الناقلية الحرارية للجبس حيث لا يتجمد المعدن ضمن القالب بشكل سريع.
 - 2- يمكن صب المعدن المصهور ضمن القالب ببطء، وهذا يساعد على خروج الغازات من القالب.
 - 3- الدقة العالية للمسبوكات المنتجة.
 - 4- الإنهاء الجيد لسطح المسبوكات المنتجة.
- مساوئ هذه الطريقة:

- 1- الجبس ضعيف النفاذية للغازات.
- 2- الجبس مناسب فقط لسباكة المعادن غير الحديدية؛ وذلك بسبب المقاومة الحرارية المنخفضة للجبس.

3- تستخدم هذه الطريقة لإنتاج القطع الهندسية، كما تستخدم بشكل خاص لمسبوكات التماثيل والمجوهرات. الشكل (10-1).



الشكل (10-1): السباكة بطريقة القوالب بالجبس.

4- القوالب بالسيراميك: Ceramic Moulding

تستخدم هذه الطريقة لإنتاج مسبوكات عالية الدقة واستثنائية بجودة السطح حيث يستخدم في تصنيع القالب ملاط سيراميكي مع مادة رابطة كيميائية.

هذه الطريقة مناسبة لكل أنواع المعادن والخلائط المعدنية، لاحتياج مرضعات أو تهوية أو مبردات حيث معدل التبريد بطيء جداً.

هذه الطريقة مناسبة بشكل خاص لإنتاج قوالب التطريق، وقوالب الإطارات، وقوالب البلاستيك وقوالب السحب والبنق وقوالب السكب بالضغط وقوالب تصنيع الزجاج، ونماذج القوالب القشرية، ومراوح المضخات ذات الممرات الضيقة وأجزاء المفاعلات....

يستخدم في طريقة القوالب هذه نماذج من الخشب أو المعدن أو الريزين، ويتم تحضير الملاط الحراري بمزج حبيبات سيراميكية خاصة مختارة مع رابطة كيميائية، مثل (رابع

إيثيل السيلكات)، يصب الملاط السيراميكي المحضر فوق النموذج الموضوع ضمن الإطار بحيث يملأ كل تجاويف النموذج ونتوءاته بدون الرك أو الرج للقالب. تستقر المادة الرابطة بمدة تتراوح (3-5) دقيقة وترتبط الحبيبات الحرارية بعضها بعض، يُنزع بعد ذلك النموذج، وتزال الكتلة السيراميكية من الإطار. يسخن القالب لدرجة حرارة حوالي 980°C للحصول على المتانة الكاملة. هذه الدرجة تعتمد على حجم مقطع القالب وسماكته. يُصب بعد ذلك المعدن المصهور ضمن القالب، ويُترك ليبرد ببطء ضمن هذا القالب.

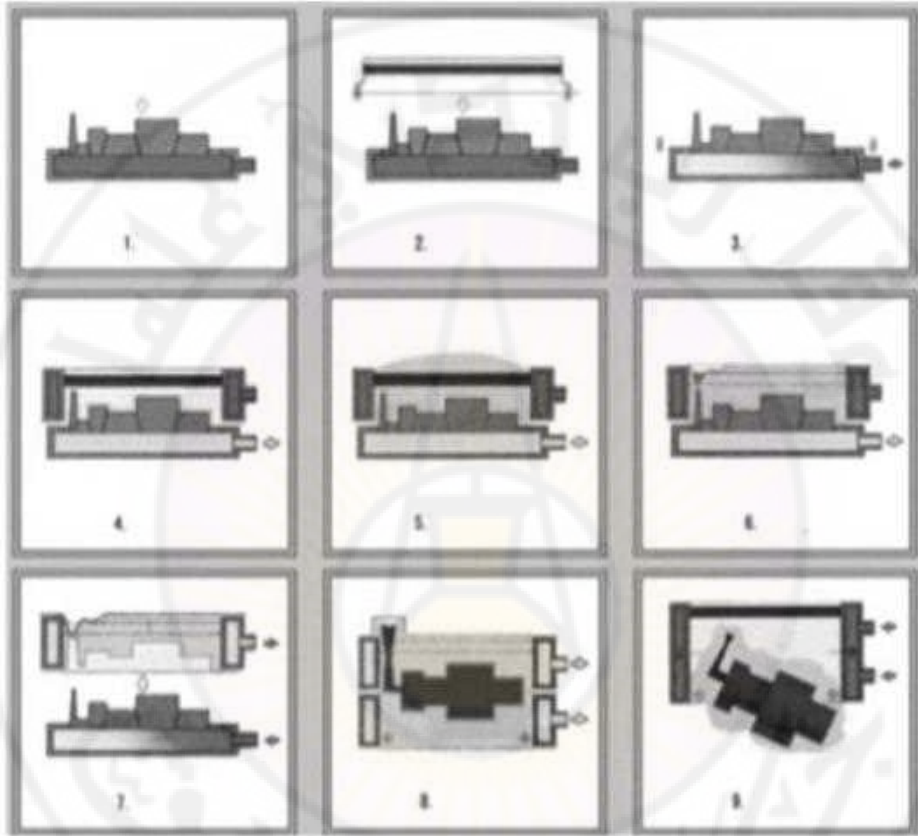
5- القوالبية بالتخلية: Vacuum Moulding

ظهرت هذه الطريقة في اليابان منذ أكثر من عقدين. وقد استخدمت بداية الأمر للأعمال الفنية ذات التفاصيل الدقيقة، وتتميز بأن الرمل فيها لا يحتوي على مادة رابطة، ويوجد حوله تجويف مبطن بالبلاستيك؛ وذلك باستخدام تخلية الهواء من أجل تشغيل البلاستيك، ورص رمل السباكة ضمن القالب. والرمل هنا يختلف عن الرمل الرطب الغني بالمادة الرابطة، وهي أفضل من عملية السباكة بالقوالب المعدنية التي يظهر بها مشاكل نتيجة لميلان السطوح.

مراحل عملية الصب:

- 1- تحضير النموذج المثقب، ويكون السحب على النموذج.
- 2- تسخين الرقاقة من أجل تشكيلها.
- 3- سحب الهواء، ويشكل البلاستيك على النموذج.
- 4- يوضع الريزك الخاص فوق الرقاقة، ويطلق بالطلاء الخاص.
- 5- يملأ الريزك بالرمل.
- 6- يشكل قمع الصب ويسوى سطح القالب ويغطى بالبلاستيك.
- 7- توقف التخلية ويزال الريزك عن النموذج.
- 8- يجمع نصف القالب، وتكون الفجوة مغطاة بالبلاستيك، وتبقى التخلية أثناء الصب.

بعد التبريد يتم إيقاف التخلية، ويسقط الرمل عن النموذج وتسقط المسبوكة، ويبرد الرمل لإعادة استخدامه. الشكل (11-1).



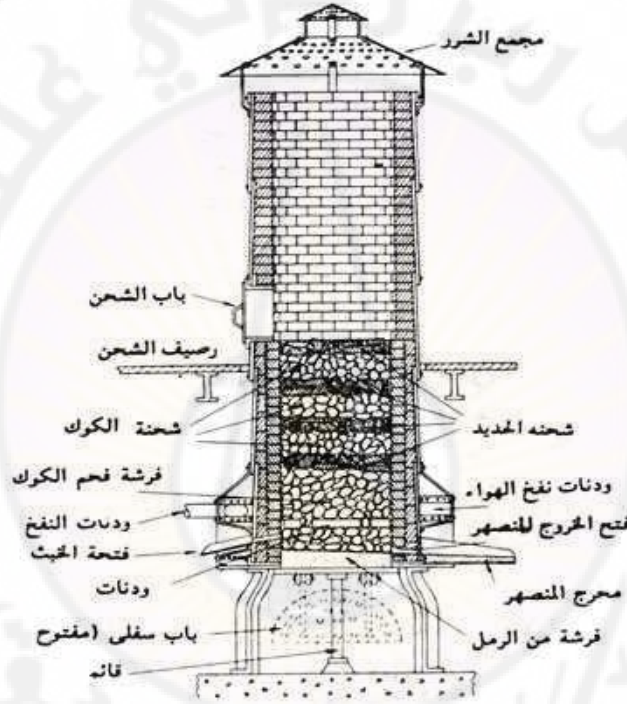
الشكل (11-1): السباكة بطريقة القوالب بالتخلية.

6-1: أفران الصهر:

تصهر المعادن في المسابك في مجموعة من الأفران وذلك حسب نوع المعدن المراد والأنواع المختلفة للأفران، هي:

1- فرن الدست: Cupola Furnace

ويستخدم هذا الفرن في صهر الحديد الزهر وهو مستخدم بكثرة في المسابك. والشحنة مكونة من تماسيح الحديد Pig iron - الخردة (من الصلب والحديد الزهر) - مساعدات الصهر وتشمل الحجر الجيري - الوقود المستخدم هو فحم الكوك. الشكل (12-1).

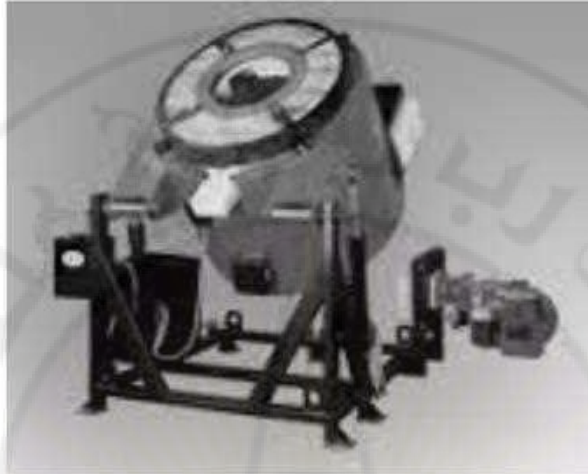


الشكل (12-1): يبين رسماً تخطيطياً لفرن الدست.

2- أفران البوتقة Crucible Furnaces

وهي أفران يستخدم فيها الغازات أو الزيوت لعملية الاشتعال، ويستخدم عادة في صهر المعادن التي درجة انصهارها منخفضة نسبياً. وبالذات في صهر المعادن غير الحديدية، ويوجد منها نوعان أما ثابت أو قابل للدوران (يمكن إمالاته). الشكل (13-1).

وفي هذه الأفران توضع البودقة داخل الفرن لإجراء عملية الصهر وبعد إتمام عملية الصهر يتم إخراج البودقة من الفرن.



الشكل (13-1): يبين رسماً تخطيطياً لفرن البودقة.

3- الأفران الكهربائية Electric furnaces:

ويوجد منها ثلاثة أنواع أفران كهربائية مباشرة. الشكل (14-1):

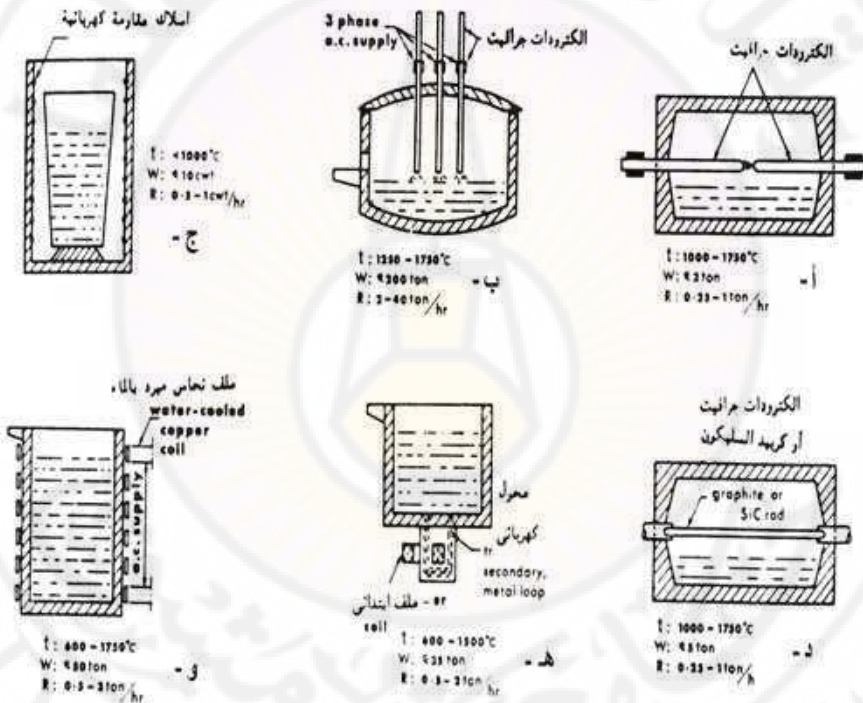
أفران كهربائية غير مباشرة وأفران الحث الكهربائي التي يوجد أيضاً منها نوعان (بدون قلب وآخر بقلب) وتمتاز هذه الأفران بأنها تنتج أنواعاً من المعادن المنصهرة عالية الجودة، ويمكن التحكم بسهولة في تركيبها الكيميائي؛ لذا نجد أن مثل هذا النوع مستخدم بكثرة في أنواع المعادن جميعها خاصة الصلب.

بجانب هذه الأفران السابقة يوجد أيضاً الفرن المفتوح الذي يستخدم في مسابك الصلب الضخمة.

بعد الانتهاء من عمليات الصب، فإن المعدن المنصهر يصب داخل البودقة، ويوجد منها أنواع مختلفة مثل:

- بودقة ملعقة يدوية للأوزان الصغيرة حتى وزن 20 كجم، ويحملها فرد واحد ويستخدم للمعادن جميعها.

- بواق يدوية محملة على شوكات، ويحملها فردان، وتصل سعتها من 50 - 80 كجم ويستخدم للمعادن جميعها.
- بواق نظام إبريق الشاي Tea pot ladle وهي التي تستخدم في حالة صب الحديد الزهر، وتحمل على قضبان أو أوناش.
- بواق ذات نظام صب من القاع وهي تستخدم في صب الصلب.
- بواق ذات العتلة.



الشكل (14-1): يبين رسماً تخطيطياً للأفران الكهربائية.

بعد الانتهاء من عمليات الصب، وترك قالب المعدن ليبرد إلى درجة الحرارة المناسبة يتم تكسير القالب وإخراجه من القالب. وبعدها تبدأ عمليات التنظيف.

عمليات التنظيف والتشطيب:

تشمل هذه العمليات الخطوات الآتية:

- إزالة الدلائك.
- إزالة نظام الصب ومصعد قالب الصب.
- إزالة الزعانف أو أي أجزاء بارزة من الجسم غير مرغوب فيها.
- تنظيف السطح الخارجي للمسبوك (إزالة أي رمال أو أي أكاسيد على شكل قشور على سطح المسبوك).
- إصلاح العيوب الممكن إصلاحها.
- عمل المعالجات الحرارية اللازمة.

وتتم عملية التنظيف للمسبوكات إما يدوياً أو باستخدام بعض الآلات في الطرق اليدوية تستخدم مجموعة من فراشي السلك أو أحجار الجلك اليدوية، أما عمليات التنظيف للمسبوكات آلياً فتتم داخل مجموعة صخرات مغلقة، أو بواسطة استخدام تيار هواء شديد.

وتتم عملية إزالة نظام الصب أو مصعد قالب الصب وذلك بواسطة الطرق عليها في حالة مسبوكات الزهر أو بواسطة عمليات القطع المختلفة في حالة المعادن الأخرى، أما بالنسبة لعمليات إزالة الزعانف أو أي أجزاء أخرى، فإنها تتم عادة بواسطة القطع المختلفة بجانب استخدام أحجار الجلك المحمولة يدوياً. وبالنسبة لإصلاح العيوب، فإن بعض العيوب يمكن إصلاحها بواسطة عمليات اللحام، ولكن هناك بعض العيوب التي يصعب إصلاحها، ففي هذه الحالة يكون المسبوك مرفوضاً.

1-7: الأمن الصناعي والسلامة المهنية:

تعدّ المحافظة على السلامة المهنية مسؤولية متكاملة لثلاث جهات هي: الدولة وأصحاب العمل و العمال.

تتمثل مسؤولية الدولة: في تحقيق السلامة المهنية داخل مواقع العمل في النقاط الآتية:

- صياغة مشاريع القوانين والقرارات وإصدارها ووضع اللوائح المنفذة لها بحيث تكون ملبية لمتطلبات السلامة وشاملة لاحتياجاتها.

- تطوير الأجهزة ووسائل إنشائها المنفذة لنصوص التشريعات والقوانين.

- الاهتمام ببرامج الإعداد والتدريب والرعاية لتطوير العنصر البشري القادر على تأمين سلامته وسلامة عمله، وبناء الإطارات في مجال السلامة.

- وضع برامج للدراسات والبحوث العلمية للرفع من مستوى الخدمات بحيث تواكب التطور التقني للصناعة والإنتاج.

- الاهتمام بالضمان الاجتماعي سواء ما يتعلق بالتشريعات الضمانية التي تضمن الرعاية الطبية الوقائية والعلاجية والرعاية الصحية والتأهيلية خاصة ما يتعلق بالأجهزة والإطارات الضمانية التي تقوم بتقديم الخدمات اللازمة للعاملين.

وتقع على أصحاب العمل مسؤولية: تنفيذ شروط السلامة وتوفيرها والتقيّد باشتراطات السلامة والصحة المهنية التي تتمثل في النقاط الآتية:

- التقيّد بالشروط واللوائح والقوانين الوطنية الخاصة بالسلامة والصحة المهنية.

- اتخاذ التدابير اللازمة لحماية أماكن العمل من منتجات ومعدات ومواد.

- على صاحب العمل أن يظهر قيادة حازمة والتزاماً واضحاً بأنشطة السلامة والصحة المهنية داخل المنشأة.

- تأمين وسائل الكشف والقياس والمراقبة اللازمة حسب طبيعة العمل والمخاطر المتواجدة وعمل سجل خاص بذلك.

- أن يتخذ الترتيبات المناسبة لإنشاء نظام لإدارة السلامة والصحة المهنية.

- توفير معدات الحماية العامة والشخصية المناسبة للوقاية من المخاطر المهنية المختلفة في مواقع العمل.

- توفير التجهيزات والمرافق الخدمية والصحية المرتبطة بصحة العاملين وسلامتهم.
- إعداد برامج توعية وتنفيذها لتدريب العاملين داخل المنشأة؛ لزيادة وعيهم وصقل مهاراتهم.
- عمل سجلات لحوادث العمل وإصاباته كافة داخل المنشأة والإبلاغ عنها.
- توفير سجل طبي مهني لكل العاملين، وعمل كشوفات صحية دورية للعاملين داخل المنشأة.
- وتقع على العاملين المسؤوليات الآتية:
- الالتزام بتنفيذ التعليمات والإرشادات التي تعطى لهم والمتعلقة بسلامتهم وصحتهم في أثناء ممارسة العمل.
- الخضوع للفحوص الطبية التي يطلب إجراؤها لهم قبل الالتحاق بالعمل أو أثناءه وذلك بغية التحقق من لياقتهم الصحية للعمل وخلوهم من الأمراض المهنية أو السارية.
- الالتزام باتخاذ الخطوات كلها التي تزيل أو تقلل الخطر الذي قد يتعرضون له في مواقع العمل.
- ضرورة استخدام معدات الوقاية ووسائلها المخصصة بشكل يحميهم من المخاطر المهنية وعدم ارتكاب أي فعل أو إساءة استخدام يترتب عنه تعطيل أو فشل في أداء المعدات لمهامها.
- إبلاغ المسؤولين عن أي أوضاع عمل قد تؤدي إلى أخطار.
- الإبلاغ عن أي حادث أو إصابة تقع في أثناء العمل.
- عدم ارتكاب أي عمل من شأنه أن يعرض المنشأة للتلف.
- ارتداء الملابس الخاصة بالعمل (وفق نوعية العمل أو ما تحدده المنشأة) وعدم ارتداء ملابس فضفاضة أو ممزقة أو أربطة عنق، وذلك عند العمل على الماكينات أو المعدات الدوارة.
- الامتناع عن تناول الطعام إلا في الأماكن المخصصة لهذا الغرض.

- المشاركة في برامج التوعية والتدريب في مجال السلامة المهنية بشكل إيجابي يسمح بالاستفادة من هذه البرامج وأن لا يمارسوا إلا العمل المدربين عليه والمخصص لهم.

وتتمثل المخاطر التي يتعرض لها العمال بشكل عام:

أولاً - المخاطر الفيزيائية: هي تلك المخاطر التي يتعرض لها العاملون نتيجة التعرض لمؤثرات غير ملائمة، مثل: الحرارة الزائدة أو الرطوبة أو البرودة الزائدة أو الإضاءة غير المناسبة أو الضوضاء أو التعرض لزيادة أو نقص في الضغط الجوي والتلوث نتيجة الدخان والأبخرة أو نتيجة صهر معادن مثل الرصاص مسببة حدوث أضرار صحية مختلفة للعمال:

1- الحرارة: ويقصد بها الارتفاع في درجة الحرارة المحيطة بالإنسان عن الحد الذي لا يحتمله؛ مما يعرضه لمخاطر عديدة قد تكون الوفاة مرحلتها الأخيرة.

الأعمال التي يتعرض فيها العمال للتأثيرات الضارة للحرارة، هي:

- العمل في العراء تحت تأثير حرارة الشمس.
- العمل تحت سطح الأرض بالمناجم والأنفاق.
- العمل بجوار الأفران والمواقد، مثل صناعة الحديد والصلب والمسابك في صهر المعادن، وفي عمليات تقطير البترول، وفي صناعة الأسمدة.
- العمل بجوار الغلايات وأمام الأفران والمخابز.

الأضرار التي يتعرض لها العمال عند تعرضهم لدرجات الحرارة العالية:

- اضطرابات نفسية وعصبية وشعور بالضيق، ويظهر ذلك في صورة زيادة الأخطاء في العمل وزيادة احتمالات حدوث الإصابة، ونقص القدرة على التركيز في العمل.
- الشعور بالتعب والإرهاق.

- تقلصات في العضلات الإرادية في الساقين وجدار البطن.

- الإجهاد الحراري يسبب تمدد الأوعية الدموية بالجلد واندفاع الدم إليها وزيادة عدد ضربات القلب، والغثيان، والدوخة، والصداع، والقيء ثم الإغماء.

- ضربة الشمس وتنتشأ من التعرض لدرجات عالية مع ارتفاع نسبة الرطوبة، مما يعطل الجسم عن التخلص من حرارته، ويشعر المصاب بالصداع الشديد والزغلة ثم تبدأ

درجة حرارة الجسم في الارتفاع، ويؤدي ذلك التشنجات العصبية وفقد الوعي وإذا لم يسعف المصاب بالعلاج تحدث الوفاة.

- التهابات الجلد والعيون، ويحدث ذلك نتيجة التعرض المزمن للحرارة العالية.
طرق الوقاية :

- حماية العاملين من التعرض لدرجات الحرارة العالية.
 - إبعاد العاملين المصابين بأمراض القلب والكلى عن العمل في الأماكن التي ترتفع بها درجة الحرارة.
 - عمل نظام لتبادل العاملين الذين يتعرضون للحرارة في أماكن عملهم؛ فمثلاً تعمل مجموعة أمام الأفران ثم تنتقل للعمل داخل الورش، وتعمل مجموعة الورش أمام الأفران وبذلك تقلل معدل التعرض للحرارة.
 - استخدام مهمات الوقاية الشخصية للعمال للوقاية من الحرارة العالية.
 - تقديم كميات كبيرة من السوائل والأقراص التي تحتوي على أملاح معدنية لتعويض ما يفقده الجسم من سوائل وأملاح نتيجة التعرض للحرارة.
 - عمل كشف طبي ابتدائي ودوري على العاملين المعرضين للحرارة العالية.
 - نقل المصاب إلى مكان بارد، وعمل الإسعافات الأولية له في حالة ضربة الشمس.
- 2- البرودة: ويقصد بها الانخفاض في درجة الحرارة إلى الحد الذي يؤثر في الإنسان الموجود في بيئة العمل، ويعرضه لعدم القيام بوظائفه الحيوية بالشكل المطلوب، ويتعرض لمخاطر قد تكون نهايتها الوفاة.
- الأعمال التي يتعرض فيها العمال للتأثيرات الضارة للبرودة، هي :
- العمل داخل الثلاجات ومصانع الثلج والأيس كريم وغيرها من الأماكن الباردة.
 - الأماكن الباردة مثل القطب الشمالي.
- الأعراض التي يتعرض لها العمال عند تعرضهم لدرجات من البرودة العالية:
- شحوب اللون وتأثيرات ضارة على الأصابع والأطراف.
 - اضطراب في الدورة الدموية وهبوط حاد في القلب.

طرق الوقاية:

- أبعاد العمال المرضى المصابين بأمراض القلب عن العمل في الأماكن الباردة.
 - إعطاء العمال لسوائل دافئة لرفع درجة حرارة الجسم.
 - ارتداء الملابس الواقية من البرودة.
 - نقل المصاب إلى مكان دافئ وعمل الإسعافات الأولية له.
- 3- الإضاءة: ويقصد بها الزيادة أو النقص في شدة الإضاءة عن الحد المطلوب بما يؤثر

على سلامة العين.

الأعمال التي يتعرض فيها العمال لضعف الإضاءة:

- عمال المناجم والأنفاق والعمل تحت سطح الأرض.
 - عمال التحميص في معامل التصوير والأشعة وغيرها.
- الأعمال التي يتعرض فيها العمال لشدة الإضاءة:
- التعرض للوهج في أثناء عمليات القطع واللحام وفي أفران السباكة.
 - التعرض للإضاءة المبهرة كما يحدث للعاملين في قاعات السينما والتلفزيون بسبب شدة إضاءة كاميرات التصوير.

الأضرار التي يتعرض لها العمال عند تعرضهم للإضاءة غير المناسبة:

- ضعف شدة الإبصار.
- عتامة عدسة العين (الكاتراكتا).

طرق الوقاية:

- توفير الإضاءة المناسبة لنوع العمل الذي تجرى مزاولته سواء كانت إضاءة طبيعية أو صناعية ويراعى في ذلك أن يكون توزيع المنافذ والمناور وفتحات الإضاءة الطبيعية تسمح بتوزيع الضوء توزيعاً متجانساً منتظماً على أماكن العمل، ويكون زجاجها نظيفاً من الداخل والخارج بصفة دائمة وألا يكون محجوباً بأي عائق.
- مراعاة أن تضمن مصادر الضوء الطبيعية أو الصناعية إضاءة متجانسة، وأن تتخذ الوسائل المناسبة لتجنب الوهج المنتشر والضوء المنعكس.
- ارتداء مهمات الوقاية الشخصية، مثل: النظارات الخاصة بأعمال اللحام والقطع.

- استخدام ألوان الدهانات المناسبة التي توفر الإضاءة المناسبة.
- 4- الضوضاء: يقصد بها الخليط المتناثر من الأصوات الذي ينتشر في جو العمل أو في الشارع العام حيث يؤثر في نشاط العمال، فتتقص من إنتاجهم؛ فضلاً عما تحدثه لهم على المدى الطويل من ضعف تدريجي في قوة السمع ربما انتهى إلى الصمم الكامل الذي لا عودة فيه.

أنواع الضوضاء:

- ضوضاء مستمرة (آلات الغزل والنسيج).
 - ضوضاء متقطعة (أصوات المطارق والانفجارات).
 - الضوضاء الطرقية (الاصدامات والارتطامات المتتالية).
 - الضوضاء البيضاء (انطلاق البخار من الغلايات).
- الأعمال التي يتعرض فيها العمال للتأثيرات الضارة الناتجة عن الضوضاء:
- صناعة الغزل والنسيج وعمليات الحدادة والسمكرة.
 - عمليات الطحن والغريلة لتنقية المعادن والأحجار.
 - العمل بالمطارات عند أماكن هبوط الطائرات وصعودها.
 - اختبارات الآلات المحركة في صناعة السيارات والديزل.
- الأضرار التي يتعرض لها العمال نتيجة التعرض للضوضاء:
- تأثيرات غير سمعية: صعوبة التخاطب، والشعور بالضييق، والعصبية، ونقص القدرة على التركيز.
 - تأثيرات سمعية، وهي تصيب الجهاز السمعي، وتؤدي إلى الصمم. وتنقسم إلى نوعين: تأثيرات سمعية مؤقتة: وهي تؤثر في قوة السمع، ولكنها تزول بمجرد انتهاء التعرض.
 - تأثيرات سمعية مستديمة: وهي تحدث نتيجة لتحلل الخلايا الحسية، ويصاب الإنسان بالصمم المهني.
- طرق الوقاية:
- منع الضوضاء من مصدرها عن طريق تحسين تصميم الماكينات والأجهزة.

- استبدال بعض العمليات التي يصدر عنها ضوضاء بأخرى غير محدثة للضوضاء،
مثل: اللحام بالقوس الكهربائي أو بلهب الأكسجين والإستيلين محل عمليات وصل القطع المعدنية بالطرق (البرشام).
- عزل العمليات التي يصدر عنها الضوضاء بواسطة الجدران العازلة.
- تقليل مدة تعرض العمال للضوضاء.
- تقليل الذبذبات بتركيب الماكينات على قواعد ماصة أو عازلة للصوت.
- استخدام المواد الماصة للصوت في الأسقف والجدران للإقلال من الضوضاء غير المباشرة أو الضوضاء المنعكسة.
- زيادة المسافة بين العامل ومصدر الضوضاء.
- عمل الكشف الطبي الابتدائي والدوري على العاملين المعرضين للضوضاء لتحديد مستوى السمع لديهم عند بدء العمل واستبعاد من لديهم عيوب سمعية من العمل في الأماكن المعرضة للضوضاء.
- استخدام مهمات الوقاية الشخصية للعمال، مثل: (سدادات الأذن - سماعات الأذن - الخوذات التي تغطي الرأس والأذنين).
- 5- الضغط الجوي: يقصد به التغير في الضغط الواقع على جسم الإنسان نتيجة التواجد في أجواء معينة أو نتيجة القيام بأعمال معينة، مثل: العمل داخل الأنفاق أو أعمال الغطس أو الطيران.
- الأعمال التي يتعرض فيها العمال لاختلافات في الضغط:
- عند الارتفاع إلى طبقات الجو العليا داخل الطائرات.
- عند القيام بأعمال حفر الخنادق والأنفاق إلى أعماق كبيرة.
- عند القيام بأعمال الغطس إلى أعماق كبيرة.
- طرق الوقاية:
- تقليل تأثير الضغط عن طريق الصعود التدريجي للعامل من الخنادق والأنفاق إلى غرف مكيفة الضغط يبقى العامل بها مدداً لفترة زمنية تطول كلما قل الضغط حتى يصل إلى الضغط الجوي العادي.

6- الرطوبة: قد تكون الرطوبة عاملاً أساسياً في بعض الصناعات، مثل: الغزل والنسيج، وقد تنتج من بعض العمليات الصناعية، مثل الصباغة والدباغة وغيرها حيث تكثر السوائل، وتحدث الرطوبة الزائدة أمراضاً تنفسية وروماتزمية وآلاماً عصبية؛ وذلك نتيجة زيادة رطوبة الجو أو من بلل الجسم أو الملابس.

طرق الوقاية:

- بالنسبة لرطوبة الجو يتم التأكد أن نسبتها في الجو لا تتعدى الحدود التي تستلزمها الصناعة.

- بالنسبة للرطوبة الناشئة عن البلل يتم التخلص منها عن طريق التخلص من السوائل، وكذلك يمكن تقليل ضررها بتزويد العمال بالملابس غير النفاذة للسوائل كالقفازات والملابس وكذلك الأحذية المصنوعة من المطاط.

- يجب توفير التهوية المناسبة داخل أماكن العمل سواء كانت طبيعية أو صناعية.

7- التهوية: يجب توفير التهوية المناسبة داخل أماكن العمل سواء كانت طبيعية أو صناعية.

8- الإشعاعات: هي نوع من أنواع الطاقة (حرارية أو ضوئية أو كهربية أو ذرية).

- الإشعاعات الحرارية: التي تصدر عن الشمس والنار والمعادن المنصهرة، وتسبب أذى للعين، وتسبب تلفاً في بلورتها، فتعتم وتحجب الأبصار.

- الإشعاعات فوق الضوئية: وتعرف بالأشعة فوق البنفسجية وتنتج عن الشمس، وبعض المصابيح الكهربية. وهذه لها تأثير مطهر كما تستخدم في الصناعة لتعقيم المياه أو المواد الغذائية المحفوظة.

- الإشعاعات الذرية: وهي ثلاثة أنواع تتفاوت في قوة نفاذها واختراقها لجسم الإنسان، وتسبب التهابات جسيمة باليدين والأصابع وتآكل الأظافر والعظام والمفاصل، كما تؤدي إلى قلة كرات الدم الحمراء والبيضاء، وقد تؤدي إلى نشاط نخاع العظام في إنتاج كرات الدم البيضاء إلى الحد الذي يعدّ سرطاناً بالدم.

طرق الوقاية:

- الفحص الطبي الدوري الشهري للعمال المعرضين لهذه الإشعاعات.
- التخزين والنقل والتشغيل للمواد المشعة في إطار قواعد خاصة للسلامة.
- توعية العاملين بمخاطر الأشعة، وكيفية الوقاية منها، وارتداء أجهزة الوقاية الشخصية.

يجب استخدام وسائل الوقاية والأمان المتمثلة بإرشادات السلامة المهنية من قبل الشركات الصناعية وأرباب العمل. كما يجب وضع أجهزة كشف نسبة التلوث وأجهزة كشف الحريق بحيث تضمن سلامة العاملين وصحتهم. تستخدم أنظمة الإنذار الأتوماتيكية للكشف في الأماكن والقاعات التي تتزايد احتمالات حدوث الحرائق بها وما قد تنجم عنه من خسائر كبيرة في فترة زمنية قصيرة، وتعمل هذه الأنظمة بالتأثر بظواهر الحريق فمنها ما يتأثر باللهب أو الحرارة. وتتميز أجهزة الإنذار الأتوماتيكية عن الأجهزة اليدوية بكونها لا تعتمد على الإنسان في تشغيلها، وكذلك اختصار الفترة الزمنية الواقعة بين لحظة وقوع الحريق ولحظة اكتشافه؛ مما يفسح المجال أمام سرعة التدخل وفعالية عمليات مكافحة السيطرة على الحريق؛ وبالتالي تقليل حجم الخسائر الناجمة عنه.

تتمثل تأثيرات عدم التقيد بقواعد السلامة المهنية بالآتي:

التأثيرات على العاملين وعائلاتهم:

التأثيرات المباشرة:

- الألم والمعاناة من المرض.

- فقدان الدخل.

- فقدان المحتمل للعمل.

- نفقات الرعاية الصحية.

التأثيرات غير المباشرة:

- إن أحد التأثيرات غير المباشرة الأكثر وضوحاً هي معاناة عائلة العمال التي لا

يمكن أن تعوّض بالمال.

- التأثيرات على صاحب العمل:

التأثيرات المباشرة:

- تكلفة المدفوعات الطبية ومدفوعات التعويض.
- التناقص أو التوقف المؤقت للإنتاج.
- ازدياد نفقات التدريب والنفقات الإدارية.
- التناقص المحتمل في جودة العمل.
- التأثير السلبي في معنويات العمال الآخرين.

التأثيرات غير المباشرة :

- استبدال العامل المريض.
- تدريب العمال الجديدين واستهلاك زمن لتكليفهم.
- عادة ما تمر فترة من الزمن قبل أن يبلغ العامل الحديث معدلات إنتاج العامل السابق المريض.

أهم إجراءات السلامة والوقاية من الأمراض ؟

- الكشف الدوري على المصانع لبيان ملاءمتها من نواحٍ طبيعية - فيزيائية، مثل: التهوية الصحية الجيدة، درجة الحرارة وعدم التعرض لها باستمرار، الرطوبة، الضوضاء وعدم التعرض لها؛ لأنها تسبب أمراض عضوية.
- الحرص دوماً على وقاية العمال من الأبخرة، والغازات، والأثرية الناتجة من عمليات التصنيع، وأية تفاعلات كيميائية أو بيولوجية في موقع العمل.
- الترخيص للمصنع أو الموقع أو المنشأة المهنية الصناعية ضمن شروط محددة، والتزام أصحاب المصنع بالتقيد بهذه الشروط، والمتطلبات لما في ذلك من أهمية في وقاية العمال من الإصابة بالأمراض المهنية.
- درء المخاطر الناتجة عن عملية التصنيع مثل عمل المكثات والآلات الصناعية خاصة في الأماكن التي تكثر فيها المقصات اليدوية في عمليات الحديد والنحاس والتي تحدث إصابات مهنية كعمليات بتر الأطراف للعمال.

- الكشف الدوري على المصانع لمعرفة أي طارئ أو جديد في مجال البيئة الطبيعية.

ما سبق ذكره ينطبق على أكثر من عملية إنتاجية من حيث عوامل الأمان والسلامة المهنية أما بما يتعلق بسباكة المعادن التي تعدّ من أقدم الصناعات الأساسية في مجال تشكيل المعادن التي اكتشفت عبر العصور الأولى من التاريخ، وظهرت عند معظم الحضارات، ويرجع تاريخها إلى 4000 سنة قبل الميلاد ... (منذ عرف الإنسان طريقة التصميمات البسيطة التي تقتضيها عملية السباكة والصناعات المحدودة).

استخدمت هذه الصناعة بأسلوب بسيط وأدوات وتجهيزات محدودة، مثلها مثل أي علم من العلوم آن ذاك. وقد أخذ مجال صناعتها واستخدامها في الازدهار والتطور تدريجياً، حتى وصلت إلى ما هي عليه الآن. ولقد صقل العلم أسرار تلك الصناعة ووضع لها قواعد وأصولاً عامة.

ويمكن تعريف عملية سباكة المعادن بأنها عملية تشكيل للحصول على منتج من خلال صب المعدن المنصهر في قالب رملي أو معدني، يحتوي على فراغ بشكل المسبوك (المنتج) المطلوب، ويرفع المسبوك من القالب الرملي بمجرد تجمد المعدن وبرودته، أما إذا كان القالب من النوع المعدني (المستديم)، فإنه يمكن إخراج المسبوك بمجرد فصل جزئي القالب بعضهما عن بعض بعد تمام التجمد.

قواعد السلامة في عمليات سباكة المعادن وإرشاداتها:

تتطلب عملية سباكة المعادن إلى القيام بمراحل عديدة لإعداد الخام قبل شحنه إلى الأفران، مثل اختيار نسب الخام، وعملية التكسير، وعملية الطحن ... وغيرها من العمليات الأخرى.

ولما كانت عملية التكسير من العمليات التي تتسبب في أخطار وإصابات للمنتجين من خلال تطاير القطع الناتجة عن رد فعل المطرقة.

وعملية صهر المعادن تتطلب درجات حرارة مرتفعة عن طريق الفرن الذي يقوم بتحويل المعدن من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة.

والمعدن المنصهر يتطلب نقله من البوتقة وصبه مباشرة في القوالب المعدة والسابق تجهيزها.

تتطلب هذه العمليات السابقة إلى اتخاذ تدابير السلامة والصحة المهنية، واستخدام أدوات وأجهزة وقائية تجنب المنتجين العاملين في هذا المجال مخاطر التكسير، واحتمال انسكاب المعدن من البوتقة أثناء عملية نقل المعدن المنصهر إلى القوالب، وتطابير الشرر في أثناء صب المعدن.

الأدوات والأجهزة الوقائية:

يجب على المنتجين العاملين جميعهم في مجال سباكة المعادن استخدام الأدوات والأجهزة الوقائية للحفاظ على سلامتهم وأمنهم، وهي كالاتي:

1. واقيات الصدر مصنوعة من مادة الأمينيت المقاومة للحرارة وغير قابلة للاشتعال.
2. واقيات اليدين مصنوعة من مادة الأمينيت المقاومة للحرارة وغير قابلة للاشتعال.
3. واقيات الساقين مصنوعة من مادة الأمينيت المقاومة للحرارة وغير قابلة للاشتعال.
4. واقيات القدمين المتمثلة في أحذية مصنوعة من الجلد.
5. واقيات الأذن المتمثلة في سدادات وكاتمات للصوت.
6. واقيات النظر والوجه المتمثلة في الأوجه الشفافة المقاومة للحرارة.
7. واقيات الرأس المتمثلة في القبعة المصنوعة من المعدن والمغلقة بأحذية داخلية.
8. واقيات الجهاز التنفسي للوقاية من الأبخرة والغازات الضارة.
9. أجهزة إطفاء للوقاية من الحرائق، ينبغي أن تكون بأماكن يسهل الوصول إليها.

قواعد السلامة وإرشاداتها:

يمثل النظام والنظافة واتباع إرشادات السلامة والأمن الصناعي وقواعدهما أساس ممارسة العمل بدون حوادث؛ لذلك يجب اتباع الإرشادات الآتية:

1. يجب إخلاء مكان العمل من الأشياء غير الضرورية جميعها، وخاصة الموجودة بالممرات المتصلة ما بين الفرن والقوالب والحفاظ عليها نظيفة.
2. إزالة الزيوت والبقع الزيتية من حول الفرن وبأرضية الممرات ما بين الفرن والقوالب.

3. وضع القوالب بشكل يسهل القيام بعملية الصب.
4. عدم القيام بعمليات تحضير المعدن وصهره ونقله وصبه إلا بعد ارتداء أدوات الأمان الوقائية وأجهزتها المناسبة لكل عمل.

إضافة لما سبق ذكره، فإنه يجب ضرورة الحيلة والحذر بجانب اليقظة وحسن التقدير بجانب هذه الإرشادات.



الفصل الثاني

السباكة اليدوية

Sand Mold Casting

1-2: مقدمة:

السباكة أو الصَّب (Casting) هي عملية تشكيل معدن عن طريق صهره، ثم صبه سائلاً في قالب به فجوات ذات شكل وأبعاد، فيكتسب المعدن المنتج «المصبوك» شكلها ومقاساتها عندما يتصلب. يمكن عدّ المصبوب منتجاً نهائياً أو عدّه منتجاً نصف مصنع، حيث تجرى عليه عمليات التشطيب باستخدام آلات التشغيل بالقطع التي تنظفه وتزيل الزوائد الموجودة به.

تستخدم السباكة في تصنيع قطع ذات أشكال معقدة، يصعب معها اقتصادياً تصنيعها بطرق أخرى. وتستخدم في السباكة معادن سائلة، أو مواد متنوعة تتصلب بمزج مكوناتها، مثل: الخرسانة، والإيبوكسي، والجص. عُرِفَت عملية السباكة منذ 6000 عام. تعود أقدم مصبوبة وجدت إلى عام 3200 قبل الميلاد.

تقسم عملية السباكة إلى فرعين مميزين:

- السباكة في القوالب المستهلكة.
- السباكة في القوالب الدائمة.

السباكة في القوالب المستهلكة:

يشمل هذا التصنيف قوالب الرمل، والقشر، والبلاستيك، والجص، والسباكة الدقيقة (طريقة الشمع المفقود). هذه الطريقة في السباكة تشمل القوالب المؤقتة، وغير المجهزة للاستخدام ثانية.

السباكة في القوالب الرملية: يعد الرمل أهم طرق السباكة وأبسطها طرق السباكة التي استخدمت على مر العصور. تسمح القوالب الرملية بالحصول على مصبوبات (في

الدفعات الصغيرة) تقارن بتلك المصنوعة في القوالب الدائمة وبكلفة معقولة. وليست الكلفة هي العامل الإيجابي الوحيد لهذه الطريقة؛ بل الحجم الصغير أيضاً للورشة. يسمح الرمل أيضاً لمعظم المعادن أن تسبك؛ وذلك باختيار نوع الرمل المستخدم. تحتاج عملية السباكة في القوالب الرملية لأيام عدة كفترة إنتاجية للحصول على معدل إنتاج عال (1-20 قطعة/دقيقة لكل قالب)، وهي طريقة فعالة لإنتاج القطع الكبيرة. يتماسك الرمل بعضه ببعض بفضل الغضار (في الرمل الأخضر)، أو باستخدام مواد رابطة، أو زيت المحركات. يمكن استخدام الرمل لمرات عدة، وتضاف بعض المواد (تجديد المواد الرابطة).

السباكة في القوالب الدائمة:

تستخدم هذه الطريقة خصوصاً للمعادن غير الحديدية، تتطلب زمناً للتجهيز يمتد لعدة أسابيع لتجهيز القالب الفولاذي. تصل طاقتها الإنتاجية إلى (5-50 قطعة/ساعة لكل قالب)، يصل وزن المصبوبات الأعظمي إلى 9 كغ و الأصغري بحوالي 0,1 كغ. تطلّى فراغات القالب الفولاذي بمادة مقاومة للحرارة قبل عملية السباكة؛ وذلك لتسهيل نزع المسبوك من القالب، وإطالة عمر القالب. إن للقوالب الدائمة فترة حياة محدودة قبل الاهتراء. تتطلب القوالب المهترئة إعادة تشطيب أو استبدال. تبدي الأجزاء المسبوكة في القوالب الدائمة عادة زيادة 20% في مقاومة الشد، و30% في الاستطالة، مقارنة بمسبوكات القالب الرملّي. تحتاج هذه القوالب فقط إلى طلاء منتظم. تستخدم هذه الطريقة من السباكة في تشكيل سبائك المعادن غير الملونة كالألومنيوم، والمغنسيوم، والنحاس...

2-2: السباكة باستخدام القوالب الرملية:

1-2-2: رمال السباكة:

ندرس من خلال هذا الفصل رمال السباكة من حيث مكوناتها وخواصها، تصنيفها، والإضافات لرمال النوى والقوالب، ومواد الفصل، ومواد طلاء القوالب، واختيار رمال السباكة.

إن معظم الإنتاج المسبكي التقليدي يستخدم قوالب رملية وفي بعض مسابك صب المعادن الحديدية قد يحتاج الأمر إلى حوالي (4-5) طن رمل لكل طن واحد من المسبوكات، وفي بعض الحالات يصل إلى (10 طن) لكل (1 طن) من المسبوكات، وبالرغم من استعمال القوالب المعدنية في الإنتاج المسبكي الحديث، إلا أن 90 % من المسبوكات لا تزال تُصنع في قوالب رملية تجهز من رمل السباكة مع بعض الإضافات. تتوقف نسبة الرمل ووزنه المستخدم إلى وزن المعدن المصبوب على نوع المصبوب وحجمه، وطريقة السباكة؛ لذلك يجب التحكم بكمية الرمل اللازمة لإنتاج مصبوبات جيدة، فقالب الرمل هو الأداة التي تشكل المسبوكة، وأن رمل السباكة الرديء ينتج مسبوكات رديئة والعكس صحيح؛ لذلك يجب العناية الكبيرة عند اختيار وتحضير الرمال، إذا تعطي كلمة رمل مجالاً واسعاً من المواد الحبيبية المتضمنة؛ فضلاً عن رمال القوالب؛ ارمال المستخدمة لتبطين الأفران، ورمال السيلكا المستخدمة في صناعة الزجاج والمستخدمه بشكل كبير كمكون أساسي في رمال السباكة والنوى. وتشمل كلمة رمل: الرمال المستخدمة بالبناء، وكمواد حاكاة، والرمل المستخدم كوسيط تصفية ... وتستخدم أنواع عدة من الرمال في إعداد القوالب، وفي عمليات السباكة. ونورد بعض التعاريف لمصطلحات الرمال المستخدمة في السباكة، وهي:

الرمل الرطب الأخضر *Green Sand*:

وهو الرمل بالحالة الرطبة غير المجففة، يستخدم لسباكة القطع الصغيرة ومتوسطة الحجم من المعادن الحديدية وغير الحديدية.

الرمل الجاف *Dry Sand*:

وهو رمل السباكة الذي أزيلت منه الرطوبة كلها بالتجفيف بالفرن، يستخدم من أجل إنتاج المسبوكات كبيرة الحجم، أو عندما يراد إنتاج مسبوكات دقيقة الأبعاد ومصممة لا تحتوي على فجوات. يمكن أن يجفف القالب بشكل كامل قبل سكب المعدن أو يجفف القالب قشرياً (Skin-dry) بحيث تحدد مقدار التجفيف الخبرة، وبحيث يكون القالب مناسباً من أجل السباكة.

رمل الوجه *Facing Sand*:

يستخدم على وجه النموذج وبشكل سطح فجوة قالب، وهو رمل جيد النوعية ناعم يحضر من رمل قديم + رمل قولبة جديد أو مواد رابطة أخرى، يشكل عند ركه فجوة قالب ملساء لا تتفتت أو تجرف من مكانها عند دخول المعدن المنصهر إلى داخل تجويف القالب.

رمل الحشو أو رمل الأرض *Backing or Floor Sand*:

وهو رمل السباكة المستخدم لملء القالب، ويستخدم لمرات عدة، يتم تحضيره في منشأة تحضير الرمال، وتتم عليه الإضافات الضرورية من غضار الربط والرمل الجديد وغبار الفحم وغيره من الإضافات (بالمعامل الحديثة الممكنة لا يوجد رمل وجه).

الرمل الأسود *Black Sand*:

يستخدم هذا الرمل بشكل خاص في مسائل الحديد حيث بسبب إضافات غبار الفحم إلى الرمل، وبتأثير درجة طراوة المعدن المرتفعة تصبح حبيبات الرمل مغطاة بغشاء من مواد سوداء اللون، ويحتوي الرمل على نسبة فقيرة من الفحم الناعم وجزيئات فحم الكوك.

الرمل الصناعي (التركيبى) *Synthetic Sand*:

وهو رمال القوالب المحضرة صناعياً، ويتألف من رمل السيلكا ذي الحبيبات الحادة غير المترابطة، ويضاف له الغضار كمادة ربط مناسبة مع بعض الإضافات (أسمنت - زيوت - نشاء - سيليكات الصوديوم...).

الرمل المترابط طبيعياً *Naturally Bonded Sand*:

وهو رمل السباكة كما تم استحصاله من المقلع والذي يحتوي على نسبة من خامات الغضار (يطحن) يضاف إليه رطوبة مناسبة).

رمل النواة *Core Sand*:

يستخدم لصناعة النواة لإنشاء مسبوكة مجوفة، يتألف من حبيبات السيلكا مع مواد رابطة خاصة، ويوصف عادة برمل السيلكا.

يمكن تمييز رمال السباكة بعضها عن بعض في النواحي الآتية:

1- متوسط حجم الحبيبات وتوزيعها وشكلها: ناعمة أو خشنة، مدورة Rounded grain أو زاوية Angular أو شبه زاوية أو حبيبات مركبة، ولكل منها ميزات خاصة، ويكون حجم هذه الحبيبات كبيراً أو صغيراً، وهذا يؤثر أيضاً في الخواص الفيزيائية والميكانيكية لرمال السبابة، من ثم في استخدام هذه الرمال، ونفاذيتها.

2- قوة الاحتمال والاستقرار الحراري.

3- التركيب الكيميائي لرمال السبابة: حيث تؤثر الشوائب الموجودة فيه في مقاومة الصهر لرمال السبابة، فالمواد القلوية والجير والمغنيزيا كلما قلت كانت مقاومة الرمل للانصهار أفضل.

يمكن أن تكون رمال السبابة ذات لون أحمر أو بني فاتح أو أصفر، وتعود هذه الرمال إلى عصور جيولوجية عدة مختلفة؛ ولذلك تختلف هذه الرمال من حيث الخواص والتركيب، ويتألف الرمل الطبيعي المستخدم في المسبوكات من المادة الأساسية وهي حبيبات السيليكون SiO_2 ومن الغضار وهو المادة الرابطة، كما يحتوي على كمية قليلة من المركبات الأخرى المسماة بالمواد الفايشة (الشوائب)، مثل: CaCO_3 (كربونات الكالسيوم)، وعلى أكاسيد الحديد مثل: Fe_2O_3 وغيرها. فالتركيب التقريبي لرمال السبابة الطبيعية شائعة الاستخدام كالآتي:

أ- السيليكا (SiO_2) وتتراوح نسبتها من: 65 - 90 % وزناً.

ب- ألومينا (Al_2O_3) وتتراوح نسبتها من: 3 - 9 % وزناً.

ج- أكاسيد الحديد مثل Fe_2O_3 ، تتراوح نسبتها: 1.5 - 4.5 % وزناً.

د- كربونات الكالسيوم (CaCO_3) نسبتها: (0.2 - 2.5 %) وزناً.

هـ- مغنيزيا MgO وكربونات المغنيزيوم MgCO_3 نسبتها: (1.1 - 2.5 %) وزناً.

و- بوتاس نسبتها من: 1 - 3 % وزناً.

ز- صوديوم نسبتها من 0.1-1.5 % وزناً.

وكلما زادت نسبة السيليكا قلت نسبة الشوائب؛ وبالتالي يمكن استخدام هذا الرمل للمعادن ذات الحرارة المرتفعة (المعادن الحديدية) والعكس صحيح بالنسبة للمعادن الملونة.

ويمكن تصنيف الرمل حسب محتوى الغضار إلى الأنواع الآتية:

- 1- رمل سيليكوني يحتوي على نسبة غضار حتى 2%.
 - 2- رمل سليكوني فقير يحتوي على نسبة غضار من 2 حتى 10 %.
 - 3- رمل سيليكوني متوسط يحتوي على نسبة غضار من 20-30 %.
 - 4- رمل سليكوني غني يحتوي على نسبة غضار من 30-50 %.
- يسمى الرمل المحتوي على نسبة غضار أكثر من 50 % بالغضار.

الخواص العامة لرمال السباكة:

يجب أن تكون رمال السباكة مناسبة لعمل القوالب، وإنتاج مسبوكات خالية من العيوب، ونورد فيما يأتي أهم الخواص القياسية لاختيار الرمال، وهي:

- 1- رخص الثمن: أي أن تكون الرمال المستخدمة رخيصة الثمن.
- 2- العجينية Plasticity: هي الخاصة التي تحدد قدرة الرمل على اتخاذ شكل النموذج المختوم بدقة أو شكل النواة، والاحتفاظ بهذا الشكل بعد إبعاد النموذج عن القالب الرملي وتزداد عجينية الرمل عند زيادة كمية الغضار والماء.

3- المقاومة: (المتانة) Strength: وهي تحدد مقاومة القالب للقوى التي تحاول تحطيمه كالصدمات التي تحدث عند تجميع القالب وعند نقله وكذلك ضغط السائل عند ملء القالب بالمعدن السائل، وتزداد مقاومة الرمل مع زيادة الطمي (الغضار) وغيره من المواد الرابطة مثل الماء الزجاجي، وتتوقف المقاومة كذلك على مقاييس حبيبات الرمل وشكلها. وتحدد المقاومة بشد عينات جافة أو ضغط عينات رطبة بأجهزة مخبرية خاصة، وتقاس بالكغ / سم². حسب شكل حبيبات الرمل تكون مقاومة الحبيبات الكروية أقل من مقاومة الحبيبات الصفائحية، كما أن للرمل الناعم متانة

أكبر من الرمل الخشن وبسبب زيادة عدد نقاط التماس لواحد المساحة، وكما تزداد متانة الرمل بزيادة نسبة الرك للرمل.

4- النفاذية: Permeability: وهي تحدد قدرة الرمل والخلائط الرملية على تمرير الغازات الخارجة من المعدن عند تجمده، والنفاذية العالية للرمال ضرورية لتسهيل خروج الغازات ويخار الماء المتصاعدة من المعدن عند تبريده وتجمده في القالب. تتوقف نفاذية الرمل للغازات على أبعاد الحبيبات وشكلها (بنية الحبيبات) وعلى الرطوبة وعلى نسبة المكونات من المواد الرابطة، وعلى درجة (الرك) للرمال، وإن النفاذية القليلة للرمل تسبب فجوات في المسبوكة المنتجة، ويكون لحبيبات الرمل الناعمة نفاذية أقل من الحبيبات كبيرة الحجم. وتقل النفاذية بزيادة نسبة الرطوبة وكمية الغضار الموجود في الرمل وكما تقل النفاذية بزيادة نسبة الرك للرمال.

5- مقاومة الحرارة: هي قدرة الرمل على تحمل درجة الحرارة الكبيرة للمعدن المصبوب في القالب دون أن ينصهر أو يلين أو يحترق ملتصقاً بسطح المسبوكة، وعندما تكون مقاومة الرمل للحرارة غير كافية تتكون على المسبوكة طبقة من الرمل المحترق تعيق تنظيف المسبوكات وتشغيلها بالآلات القاطعة وترفع من تكاليفها.

6- توصيل الحرارة: (الناقلية الحرارية) يؤثر توصيل الحرارة لمادة القالب في سرعة تبريد المعدن المصبوب في القالب؛ وبالتالي في بنيته، ويتوقف توصيل الحرارة على درجة رطوبة القالب، ولذلك كثيراً ما يلزم تجفيف القوالب المستعملة لسباكة المسبوكات الكبيرة من الصلب والزهر لتقليل توصيلها للحرارة، ويمكن التوصل إلى تخفيض عامل انتقال الحرارة إلى الرمل بإضافة الفحم الحجري المسحوق إليه.

7- قابلية الانضغاط (الانكماش): هو قدرة رمل القالب والنواة على الانضغاط قليلاً تحت تأثير ضغط المعدن الذي ينكمش نتيجة التبريد، وفي حال عدم انضغاط القالب أو النواة تحت تأثير انكماش المعدن يمكن أن تحدث في المسبوكة شقوق. وللرمل النهري قدرة جيدة على الانضغاط وتزداد الانضغاطية بقلّة نسبة الرك وزيادة الفراغات الهوائية بين حبيبات الرمل.

8- عمر الاستعمال: وهي قدرة الرمل على الاحتفاظ بخواصه عند استعماله مرات عدة لصناعة القوالب.

يتم تحديد مواصفات رمل السباكة وخواصه ضمن مخبر خاص باختبار رمال السباكة ونواها، ويتم ذلك بتحديد نسبة الغضار الموجودة ضمن رمل السباكة، وتحديد تدرج حبيبات الرمل ونسبة الرطوبة ونفاذية رمل السباكة ومتانته، وتفتت هذا الرمل، وقساوة رمل القالب المبركوك، وشد وقص عينات رمل السباكة المبركوك، وتحديد مقاومة انصهار رمل السباكة.

- المركبات الأساسية لرمال السباكة:

السيليكا (SiO_2):

وهو العنصر الرئيس في الرمال وينشأ من تفكك الصخور الحاوية على نسبة كبيرة من الكوارتز سيليكون بشكل متبلور، والسيليكون عبارة عن مادة مقاومة للحرارة ودرجة حرارة انصهارها (1600-1700م). وهكذا فإن درجات الحرارة المستعملة في أفران الصب لا تسبب انصهاره، ولكن من الممكن أن يحدث التشقق والتفكك من وقت لآخر، وعند التسخين، يمكن أن يتحد السيليكون مع الصودا أو البوتاس أو الكلس، وينتج عن ذلك الاتحاد مركبات السيليكون، ولهذه المركبات درجة حرارة انصهار أقل من درجة انصهار السيليكون النقية.

أكسيد الألمنيوم Al_2O_3 :

يتصف هذا الأكسيد بتقلصه الشديد؛ مما يؤدي إلى حدوث الشقوق والكسور في القالب الرملي المجوف؛ ولذلك يجب أن تكون نسبته محددة في رمل السباكة، ولا يتعدى حدود معينة محددة وفق الاعتبارات الخاصة بالمعدن المراد سباكته.

أكاسيد الحديد (FeO , Fe_3O_4 , Fe_2O_3):

إن حبيبات السيليكون لا لون لها؛ وإنما تكتسب لونها من وجود أكسيد الحديد الذي يغلف حبة الرمل؛ لذا فإن تواجد أكاسيد الحديد في رمل السباكة يعطيه لونه المميز كاللون

الأحمر والبني والأصفر. وهذه الأكاسيد المختلطة بالسيليكون تقوم بعمل الوسيط التماسكي. إن وجود الأكاسيد مثل (Fe_3O_4 , Fe_2O_3) مفيد في رمل السباكة حيث يرفع من المقاومة الحرارية لهذا الرمل ويقاوم تغلغل المعدن ضمن حبات الرمل، بينما الأكسيد (FeO) يعدّ ضاراً في رمل السباكة؛ لأنه بدرجة حرارة السباكة يتحد هذا الأكسيد مع السيليكون، ويشكل سليكات الحديد القابلة للانصهار بدرجة حرارة أقل؛ لذا يجب أن تكون نسبته في رمل السباكة قليلة ولا تتجاوز 0.5%.

الكلس. المنغيز. البوتاس والصوديوم (قلويات أي شوائب):

تكون هذه المواد بشكل مركبات درجة حرارة انصهارها عالية نسبياً، ولكنها تتفاعل عند التسخين مع مواد أخرى، وتنتج مركبات ذات درجة حرارة منخفضة؛ مما يؤدي إلى احتراق الرمل وانصهاره والتصاقه بسطح المسبوك؛ لذا يفضل أن تكون نسبته في الرمال منخفضة.

الغضار Clay:

الغضار عبارة عن مواد ترابية تحتوي على 50% على الأقل من الغضار والباقي كسيرات من الرمل والغبار. يعد أكثر المواد الرابطة استخداماً لتوفره بالطبيعة. التركيب الكيميائي للغضار هو سيليكات الألومين المائية ($X.Al_2O_3.y.SiO_2.z.H_2O$) ويقسم الغضار إلى ثلاث مجموعات: غضار كاؤليني، غضار إيتيكي، والغضار المونموريلوني.

إن حبيبات الغضار ناعمة جداً، وتنشأ قوة الربط عند إضافة الماء. غضار البنتوبيت على سبيل المثال درجة حرارة تعجنه $1350^{\circ}C$.

إذا الغضار هي المادة الرابطة في رمل السباكة، وتتكون من حبيبات ناعمة جداً، ويحدود (من 0.01 إلى 1 ميكرون)، وتنشأ المرونة والربط عند إضافة الماء لها، حيث تنشأ قوى ربط بين حبيبات الغضار وحبيبات السيليكون، وكذلك عند تجفيف رمل السباكة فإن قوى الربط تزداد؛ لذلك يعد الغضار من المواد الرابطة الجيدة في الحالة الرطبة والجافة، ولكن بالتسخين لدرجات حرارة عالية يزيل الماء المتحد كيميائياً، ويسبب

فقداناً دائماً لقدرة الربط. ودرجة الحرارة التي تُحدث ذلك تختلف بحسب نوع الغضار حيث يبدأ بدرجة الحرارة (400°C)، ويكون فقدان الكامل للربط عند درجة الحرارة (700°C) وعند درجة الحرارة العالية أعلى من (700°C) يحدث في الغضار تغيرات بنيوية ويتبلور من جديد ويشكل مركب الموليت.

إن إضافة كمية كبيرة من الغضار إلى الرمل يضعف خاصية النفوذ فيه؛ مما يجعل عملية السكب صعبة.

المواد المضافة لرمل القوالب والنوى: (Additives):

تتم إضافة مواد مناسبة خلال عملية تحضير الرمل وذلك من أجل الحصول على خواص محددة لرمل تصنيع القوالب والنوى تبعاً لاحتياجات المعدن المصهور والمسبوكة المطلوبة. ويمكن أن تكون هذه الإضافات عضوية أو لا عضوية أو ذات طبيعة مختلفة كالألياف، أو تعمل كعامل ربط، وتساعد هذه الإضافات في تحسين متانة الرمل وعجينيته وتعطي إنهاءً سطحياً جيداً للمسبوكات، أو إضافات لتحسين نفاذية الرمال، أو لتحسين مقاومته للحرارة. ومن الضروري اختيار النوع الصحيح وكذلك تحديد النسبة اللازمة للمادة المضافة من أجل الحصول على نوعية جيدة للمسبوكة. والإضافات الأكثر استخداماً، هي:

1- غبار الفحم:

غبار الفحم شائع الاستخدام في قوالب الرمل الرطبة والجافة، ويضاف غبار الفحم لتسهيل عملية سحب النموذج من القالب، ومن أجل حماية سطوح القالب ضد تأثير المعدن المصهور، ويعطي إنهاءً جيداً لسطح المسبوكات، وتحدث هذه المادة في أثناء عملية الصب طبقة رقيقة من الغاز بين سطح المسبوكة ورمل القالب، حيث يقاوم هذا الغاز تغلغل المعدن المصهور في رمل القالب وانصهار رمل السباكة، كما إن استخدام غبار الفحم يزيد من المتانة الرطبة والجافة للرمل، يجب أن يكون غبار الفحم جيد النوعية وناعماً جداً، ويجب أن يحتوي على الأقل مواد طيارة (30%)، رماد على الأكثر (20%)، رطوبة 3%، وكبريتاً (1%)، وفوسفوراً (0.2%)، والباقي كربون.

2- المادة السوداء أو زيت الوقود:

يستخدم زيت الوقود أحياناً في خلائط الرمل الطبيعي في أعمال المصبوبات الصغيرة من حديد الصب أو الفولاذ؛ وذلك من أجل الحصول على قشرة ناعمة، وهذه المادة تزيد مقاومة الرمل للحرارة وتقلص النفاذية، وله تأثير مماثل لغبار الفحم إلا أن باحتراقه تتولد غازات قوية جداً في الورشة؛ لذلك يجب أن تكون الورشة جيدة التهوية، كما أن استعمال زيت الوقود يقلل من تماسك رمال السباكة لتواجد الزيت بين حبيبات الرمل؛ ولذلك يجب أن تضاف مادة رابطة للرمال، والاستعمال المستمر للزيت الخام كمادة مضافة يؤدي إلى تلوث رمل الورشة.

3- مسحوق أكسيد الحديد:

تضاف بودرة (مسحوق) أكسيد الحديد لكل من رمال القوالب والنوى للحصول على التمدد بدرجة الحرارة العالية لمنع تشكل الشقوق الساخنة للنوى ومقاومة تغلغل المعدن في القالب، يجب أن يكون أكسيد الحديد (Fe_2O_3) ناعماً، ويستخدم غالباً من أجل النوى للمصبوبات الحديدية، ويجب أن يحتوي على نسبة لا تقل عن (93%).

4- الدكسترين:

هي مادة صمغية تستخرج من النشاء، يستخدم الدكسترين كمادة ربط لتحسين خواص ربط الرمل، يزيد الدكسترين متانة الرمل وصلادته وقابلية تحطمه بعد عملية السباكة، ويمنع الرمل من الجفاف السريع.

خلال عملية صب المعدن يتحول الدكسترين إلى غاز منتج فجوات بين حبيبات الرمل؛ مما يسمح بتمدد هذه الحبيبات دون تشوه. يستخدم الدكسترين غالباً في رمل النواة لإضافة متانة جافة لهذا الرمل وكمادة ربط في طلاءات القوالب والنواة.

هذه المادة متوفرة بنوعين: الأصفر والأبيض كلاهما يجب أن يكونا بشكل بودرة، ويجب أن لا تزيد نسبة الرطوبة فيهما على (10%) النوع الأصفر: يجب ألا تقل نقاوته عن (85%) والرماد (1%) كحد أعظمي، بينما النوع الأبيض يجب ألا يقل محتوئ الدكسترين فيه عن (65%) ومحتوئ الرماد كحد أعظمي (0.5%)، كما يستخدم النشاء كعامل مماثل للدكسترين في القوالب والنوى الرملية.

5- المولاس:

هو عبارة عن سائل لزج بني غامق يستحصل عليه منتجاً ثانوياً خلال عملية تصنيع السكر، وهو شائع الإضافة لقوالب الرمل ونوى المسبوكات الحديدية، إنه يعطي الرمل متانة عالية، ويعطي أيضاً قابلية تحطم الرمل بعد عملية السباكة، ولكن نظراً للزوجته العالية وقابليته لتبلل الرمل فهو كذلك يزيد من المتانة الرطبة للرمل. إن تعرض المولاس لدرجة الحرارة المرتفعة يولد غاز (CO_2) ثاني أكسيد الكربون الذي يقوم بتقسية القالب، ويزيد من متانة الانضغاط بدرجة الحرارة المرتفعة، وبالإجماء الأكثر تتناقص المتانة وبذلك يصبح القالب قابلاً للتحطم، ولكن نظراً لقابليته العالية لامتصاص الرطوبة لمزيج الرمل مع مادة المولاس، فلا يفضل استخدامه للمسبوكات ذات النوعية الجيدة.

6- المواد اللينة:

تستخدم هذه المواد لتحسين قابلية التحطم بعد عملية السكب، وكما تسمح بتمدد حبيبات الرمل وتزيد من النفاذية، والمواد شائعة الاستخدام هي: نشارة الخشب الناعمة، التبن، العشب الجاف، شعر الحيوانات (الخيول أو البقر). وإن هذه المواد في تطور مستمر بنتيجة التجارب والبحوث الهندسية.

مواد الفصل ومواد طلاء القالب:

1- مواد الفصل:

تستخدم مواد الفصل في السباكة من أجل تسهيل فصل القوالب والنوى عن النماذج وصناديق النوى. تبعاً لطريقة القولبة، فقد تكون مواد الفصل بشكل بودرة أو سائل، ومواد الفصل شائعة الاستخدام بشكل بودرة، هي: الغرافيت، أو رمل السليكات الناعم، يجب أن يكون الغرافيت من النوع القشري الطبيعي المحتوي على كربون لا يقل عن (66%)، ومن مواد الفصل السائلة الزيت المعدني أو المحاليل السليكونية المائية التي تستخدم في حالة القوالب القشرية.

2- مواد طلاء القوالب:

تطلى عادة القوالب والنوى بطلاء مناسب وذلك للحصول على إنهاء سطح جيد للمسبوكة، حيث تشكل المادة الطلاء طبقة كثيفة على سطح القالب أو النواة، تساعد هذه الطبقة على تجنب تغلغل المعدن المنصهر في رمل القالب أو النواة، وكما تمنع التفاعل بين القالب والمعدن.

قد يكون الطلاء أحد النوعين التاليين إما بأساس مائي أو بأساس كحولي، وتستخدم مواد متعددة مقاومة للصهر لتشكيل الطلاءات، مثل: طحين السليكا أو طحين الزركون أو بودرة الغرافيت.

أ- طحين السليكا (SiO_2): يستخدم بشكل واسع كمادة طلاء وبشكل خاص في مسابك الفولاذ لمقاومته العالية للحرارة ومقاومته الجيدة لتغلغل المعدن المنصهر في النوى، يجب أن يحتوي طحين السليكا على الأقل على (98%) سليكا وليس أكثر من (1%) رطوبة، ويجب ألا تكون درجة الانصهار أقل من (1700°C).

ب- طحين الزركون: هي مادة مقاومة للانصهار بشكل كبير جداً، ويستخدم بشكل أساسي في مسابك الفولاذ، طحين الزركون ذو النوعية الجيدة لأعمال السباكة يجب أن يحتوي على الأقل 64% أكسيد الزركون (ZrO_2) و (30-35%) سليكا، ودرجة الانصهار يجب ألا تقل عن 2000°C .

ج- بودرة الغرافيت: شائعة الاستخدام لسباكة المعادن الحديدية واللاحديدية، الغرافيت مظهره فضي لماع يشكل بودرة ناعمة يجب أن يحتوي كحد أعظمي على (12-15%) رماداً ومواد طيارة بنسبة 3% كحد أقصى ورطوبة بنسبة لا تزيد على 1%.

معاجين إصلاح النوى (صمغ النوى):

من الضروري أحياناً في السباكة أن تجمع بالمعاجين نوى عدة بعضها إلى بعض قبل وضعهم في القالب، وغالباً ما تحتاج النوى لإصلاح عيوبها مثل المسامية، الشقوق... إلخ، ويجب اختيار نوع المعجونة المناسبة للتجميع بحيث لا يؤدي إلى عيوب في المسبوكة، ويجب أن تتصلب المعجونة في كتلة قاسية مقاومة للانصهار، وذلك عند

تجفيفها وبدون أن تتفشر أو تتشقق ويجب أن تقاوم جريان المعدن بدون أن تتجرف معه، ويجب أن يكون محتواها الغازي قليلاً، يُستخدم نوعان من المعاجين:

- 1- عجينة تتألف من الغضار المقاوم للانصهار: مثل الغضار الناري ومادة رابطة مثل البنتونيت أو الدكسترين والماء، وإن المحتوى الغازي لهذا النوع عادة يكون مرتفعاً.
- 2- عجينة تصنع بوساطة المزج الجيد لسليكات الصوديوم مع مواد مثل الغضار الناري، وطحين السليكا ... إلخ. والمحتوى الغازي لهذا النوع قليل.

اختيار الرمال:

يجب أن يتم اختيار نوع الرمل المناسب للغرض المطلوب وحسب نوع المصبوبة المراد تصنيعها، فلكذلك يجب أن يحتوي الرمل على قدر كبير للصفات والخواص الإيجابية التي تم بحثها سابقاً.

وأحد العوامل المهمة أيضاً في اختيار الرمال هو كلفة الطن الواحد واصل إلى المسبك، وكذلك نسبة الرمل الجديد إلى القديم مع المحافظة على الخواص الجيدة المطلوبة للخليط.

يعد التعرف إلى نوع معين من الرمل وتقانة استعماله من الأمور المهمة المساعدة في خلط الرمل وتحضيره، وإن أغلب أنواع الرمال يمكن أن تعطي نتائج ممتازة عندما تعالج بمهارة.

من أجل صب المسبوكات الدقيقة والمعقدة يجب استعمال الرمل ذي الحبيبات الناعمة والمتصف بخاصية التماسك الجيدة، وإن القوة المتولدة من هذا الرمل تمكننا من سحب النموذج بدون حدوث أي عطب في الأجزاء البارزة من القالب.

إن الرمل ذا الحبيبات الصغيرة ينتج مسبوكات ذات سطوح ملساء مع الملاحظة أن النفاذية المنخفضة لهذا الرمل والتماسك الشديد لا يشكلان عاملاً جدياً في الأشغال الصغيرة، لكن الأشغال الكبيرة تتطلب نفوذية عالية؛ لذلك يجب استعمال الرمل ذي الحبيبات الكبيرة.

اختيار رمال قوالب الرمل الطبيعي:

يعتمد تركيب رمل السباكة على الوظائف المطلوبة منه وعلى وزن المسبوكة ونوع المعدن المصبوب، ويعد الرمل القديم (المستعمل) المادة الأساسية في إعداد رمال السباكة، ويضاف إليه رمل جديد (غير مستعمل) وغضار، وماء، وإضافات أخرى. ونميز الرمل المستخدم لصناعة القوالب من الرمل المستخدم لصناعة النوى.

أغلب ما يكون الرمل الملامس للمعدن المصهور مباشرة من الرمال ذات النوعية الجيدة والمحضرة لهذا الخصوص، ويسمى هذا الرمل برمل النموذج، ولبقية أجزاء القالب تستخدم رمال ذات خواص أقل وأرخص، وتسمى هذه الرمال برمال التعبئة. وفي الإنتاج الكمي للمسبوكات تكون الرمال موحدة ومن نوع واحد.

إن تركيب رمال القوالب التي ستجفف يختلف عن تلك التي تصب في الحالة الرطبة، فالرمال المستخدمة في القوالب الرطبة تحتوي على كمية قليلة من الغضار، بينما تحتوي رمال القوالب المجففة على كمية أكبر من الغضار.

ويضاف أحياناً إلى رمال السباكة مواد عضوية حيث تتبخر عند التجفيف، وتسبب بذلك زيادة في المطوعية والنفاذية.

فتشكل خلانط الرمل الرطب: للمسبوكات صغيرة الحجم والتي عندها لا يتأثر الرمل إلا قليلاً بالمعدن المنصهر، ويحتوي هذا الرمل على كمية كبيرة من الفحم غير المحترق، ويكون خالياً نسبياً من الرواسب الغضارية التي تنتج عن احتراق الغضار، لذلك فإن رمل الورشة يحافظ على حالته الجيدة وعندها يمكن إضافة كمية أكبر من الرمل القديم. ويبين الجدول (1-2) التركيب النموذجي للرمل المستخدم للمسبوكات الخفيفة.

كلما كانت المسبوكات كبيرة كان الرمل معرضاً للتلف بشكل أسرع من ثم تزداد نسبة الرمل الجديد اللازم إضافته. أما المسبوكات التي تتراوح سماكتها من 40mm-13mm فيجب زيادة نسب الرمل الجديد وغبار الفحم، ويبين الجدول (1-2) نفسه تركيب الرمل الأكثر شيوعاً للمسبوكات العامة.

الجدول (1-2) تركيب رمال السبائك.

التركيب النموذجي للرمل المستخدم للمسبوكات الخفيفة		التركيب الأكثر شيوعاً لرمال السبائك.	
بالأجزاء	النسبة تقريباً	بالأجزاء	النسبة تقريباً
6 أجزاء	80%	8 أجزاء	59%
جزء واحد	13%	4 أجزاء	29%
نصف جزء	6%	1.5 جزء	11%

وللمسبوكات ذات السطوح الكبيرة يحب إضافة كمية من الرمل الجديد أكبر مما يضاف عادة لخليط الرمل الطبيعي للمسبوكات العامة المذكورة سابقاً، وكما يجب استعمال رمل خشن ذي قابلية أكبر للنفوذية.

أما تشكيل خلانط قوالب الرمل الجاف: فأهم مميزات هذه الطريقة أي استخدام قوالب رملية مجففة، هي أن احتمال الحصول على مسبوكات خاطئة يكون أقل من الطريقة الرطبة، وعندما يكون القالب مجففاً بالشكل الصحيح يكون احتمال حدوث الانجراف أو التقشر في المصبوبات قليلاً، ويلاحظ أن المسبوكات الكبيرة ومتوسطة الحجم المصنوعة بهذه الطريقة يكون دائماً سطحها العلوي نظيفاً، كما أن الفراغات وثقوب الغازات وبعض العيوب الأخرى تكون أقل.

من أجل رفع متانة القالب الرملي ونفاذية الغازات ولتقليل تكوّن البخار بها عند صب المعدن، تجفف هذه القوالب مع العلم أن عملية التجفيف تزيد عملية الإنتاج تعقيداً وترفع من تكاليف المسبوكات، تجفف القوالب الرملية والنوى في أفران التجفيف عند درجات حرارة (300-350م) في أفران خاصة.

يستوجب عند استعمال الرمل الجاف نسبة أكبر من الرمل الجديد وخاصة عندما نريد صنع مسبوكات كبيرة. ويوضح الجدول (2-2) بعض الخلانط النظامية لرمال القوالب المعدة للتجفيف حسب حجم المسبوكات.

الجدول (2-2) تركيب رمال السبائك وفقاً لحجم المسبوكات.

خليط رملي من أجل:		مسبوكات صغيرة ومتوسطة		مسبوكات عادية وكبيرة		مسبوكات كبيرة جداً	
1- رمل الورشة (قلم)	13 جزءاً	59%	11 جزء	55%	10 أجزاء	47.6%	
2- رمل جديد	8 أجزاء	36.3%	9 أجزاء	45%	10 أجزاء	47.6%	
3- مواد مضافة مثل الشادر أو السماد	جزء واحد	4.54%	جزء واحد	5%	جزء واحد	4.76%	

وفي حال المسبوكات الكبيرة جداً يجب استعمال الرمل ذي المقاومة الكبيرة للحرارة. بالنسبة لرمال النوى **Core Sand**: والتي تستخدم للحصول على التفاصيل الداخلية للمسبوكة ونظراً لإحاطة النوى بالكامل بالمعدن المصهور لذلك يجب أن تتوفر في رمال هذه النواة الصفات الآتية:

- 1- النفاذية العالية للغازات.
- 2- المتانة الكبيرة و المطواعية.
- 3- المقاومة الحرارية الكبيرة.
- 4- سهولة التفتت بعد عملية السبائك.

لتحقيق هذه الصفات يستخدم للنوى رمال خاصة، ومن هذه الرمال: رمال غضارية مع نشارة الخشب الناعمة: وتركيبها مماثل لرمال قوالب الرمل الجاف، ويستخدم في هذه الرمال رمل جديد ذو نوعية جيدة؛ نظراً لتعرضها لإجهادات حرارية كبيرة، وإذا كانت النواة معقدة، فإننا نستخدم الرمال التركيبية للنوى.

رمال الزيت: رمل زيت بذر الكتان من أكثر المواد الرابطة شيوعاً في خلطات رمال النوى، ويتألف هذا الرمل من حبيبات رمل السيليس مع مادة رابطة هي زيت بذر الكتان، إلا أن متانة هذا الرمل معدومة في الحالة الرطبة، لذلك تضاف مواد تساعد على المتانة الرطبة مثل مولاس والديكسترين، وبذلك يمكن نقل النواة من صندوق النواة إلى فرن التحميص.

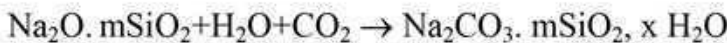
تتمتع نوى الزيت بعد التحميص بنفاذية جيدة للغازات ومتانة عالية وسهولة التحطم بعد عملية السكب، فمثلاً الخلطة العامة لرمل النوى الزيتية: تتألف من حبيبات رمل السيليس SiO_2 ومن (4-5%) مolas. و (1-1.5%) زيت بذر الكتان في هذه الخلطة المolas يعطي المتانة الرطبة وزيت بذر الكتان يعطي المتانة الجافة ودرجة حرارة التحميص هي (280-300م) وزمن التحميص يتراوح من (1-2) ساعة، حيث يمتص الزيت الأكسجين من الهواء فتتصلب النواة.

رمال سليكات الصوديوم (الماء الزجاجي): تطورت طريقة حديثة خاصة للقولبة ولصناعة النوى، وذلك بأقل مجهود ومهارة قليلة مع توفير بالوقت والتكلفة، لا تحتاج هذه الطريقة لتجفيف القوالب والنوى حيث تتم التقسية السريعة للسطوح بالمقارنة باستخدام الرمل الرطب والجاف.

إن استخدام سليكات الصوديوم كمادة رابطة تمكن من إعداد القوالب والنوى بدون أي تجفيف أو تحميص في الأفران، وبيع بعض الحالات بدون رك القالب، إن التباين بين الطرق المختلفة المستخدمة لسليكات الصوديوم تكمن بنوعية التصلب للرمل المستخدم وذلك حسب نوعية الإضافات لهذا الرمل وطبيعة التفاعل الكيميائي الحادث المؤدي للتصلب، تستخدم هذه الطرق بشكل واسع لإنتاج حديد الصب والفولاذ وكذلك المعادن الملونة وللمسبوكات الصغيرة والكبيرة، إن النماذج المستخدمة في هذه الطبقة يمكن أن تكون من الخشب أو المعدن أو البلاستيك، وتستخدم طرق متعددة لتصلب قوالب الرمل والنوى ومنها:

طريقة غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2):

يعتمد مبدأ العمل بطريقة غاز ثاني أكسيد الكربون على أنه عندما يمر هذا الغاز عبر الرمل المحتوي على سليكات الصوديوم، يتصلب الرمل مباشرة بنتيجة تفاعل سليكات الصوديوم مع غاز CO_2 ، وإن متانة التصلب الحادثة تجعل الرمل لا يحتاج إلى تجفيف أو تحميص، ويمكن أن يُصب المعدن مباشرة إلى فجوة القالب، إن عملية التصلب هي نتيجة لتفاعل كيميائي يمكن تبسيطه حسب المعادلة الآتية:



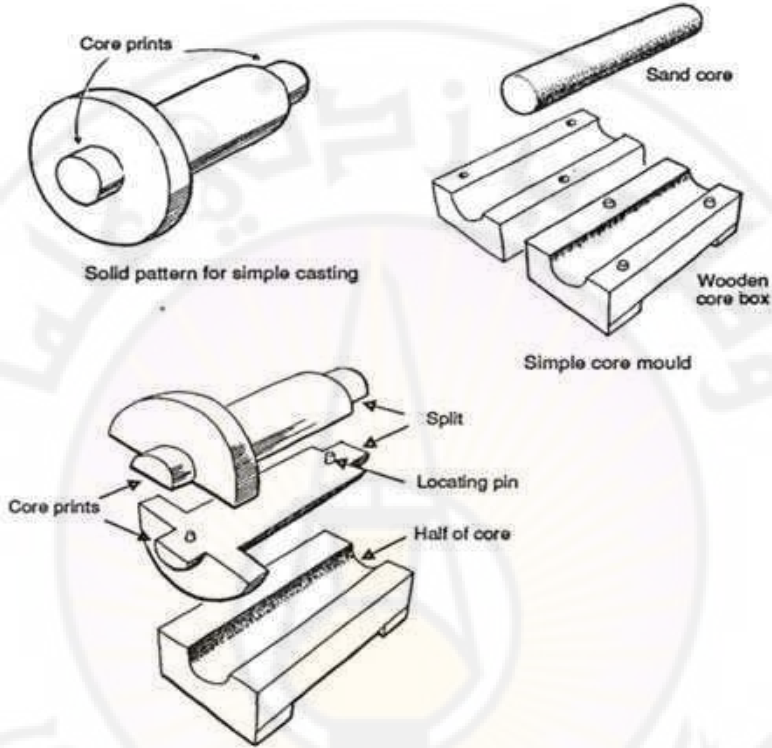
إن السليكا الناتج بالتفاعل يحتوي على الماء، وممثل بـ ($\text{SiO}_2, x\text{H}_2\text{O}$) والذي يطلق عليه جيلاتين السليكا ويؤدي إلى إعطاء المتانة لرمل سليكات الصوديوم، يجب أن يكون الرمل المستخدم خالياً من الغضار، وجافاً، ويتم خلط هذا الرمل مع (3-5%) سليكات الصوديوم، ويتم الإضافة المناسبة، مثل: بودرة الفحم، نشارة الخشب، الدكسترين وذلك لإعطاء الصفات المرغوبة للرمل. والعيب الأساسي لرمل سليكات الصوديوم أنه صعب التفنت بعد عملية السباكة؛ لذلك يضاف الدكسترين ونشارة الخشب وكذلك يعد السكر من العوامل الفعالة المساعدة على تفنت رمل سليكات الصوديوم بعد عملية السباكة.

يجب تطبيق غاز CO_2 لمدة محددة من الزمن حيث يتم التفاعل بشكل سريع في المراحل الأولى للمعالجة بالغاز، ونحصل على المتانة العظمى لخليط الرمل عندما تعبر الكمية الحرجة من الغاز، وفي حالة الاستمرار بالمعالجة بالغاز أكثر، فإن متانة الربط تتخفض. كما وجد بأنه عندما يطبق الغاز بضغط منخفض ولمدة زمنية أطول، نحصل على المتانة العظمى لخليط الرمل، ويمكن تحديد حجم الغاز لهذه العملية، إذا عرفت كمية سليكات الصوديوم الموجودة بالرمل. وكقاعدة عامة، فإن لكل (1 كغ) سليكات الصوديوم نحتاج إلى (0.5-0.75 كغ) من الغاز. يتم استخدام أسطوانات غاز (CO_2) مع صمام خافض للضغط واستطاعة التبخر للأسطوانة يصل إلى (2 كغ) بالساعة. فإن الغاز يتجمد على المخرج إذا ازداد معدل سحب الغاز من الأسطوانة، فإذا احتيج إلى معدل كبير من الغاز، فيستخدم على المخرج مبخر كهربائي وتصل استطاعة التبخير إلى (75 كغ) بالساعة.

2-2-2: النماذج:

لإعداد القالب اللازم لصب المعدن نحتاج إلى نموذج يحاكي شكله الخارجي شكل المسبوك المطلوبة، وإعداد النموذج ضروري حتى لو كان المصبوب نموذجاً واحداً. الشكل (1-2). إن الحصول على النموذج الملائم يعد الخطوة الأولى في عمل المصبوبات. تصنع النماذج في أقسام خاصة تلحق بالمسبك أو في ورش منفصلة تعرف بورشة النماذج، وتصنع النماذج من الخشب أو الجبس أو من المعدن، ويستعمل لتصنيع

النماذج الخشبية: خشب الصنوبر والجوز والزان والزيزفون، ويجب أن يكون الخشب المستعمل مجففاً جيداً ولا يحتوي على أكثر من 10% رطوبة.

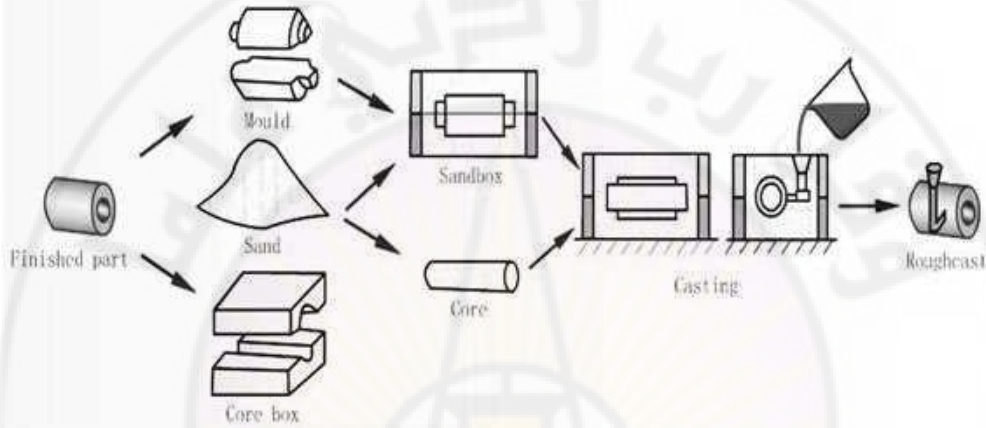


الشكل (2-1): شكل النموذج وعلبة النواة.

يتشكل السطح الداخلي لفجوة القالب من الشكل الخارجي للنموذج وهو نفسه الشكل الخارجي للمسبوكية. وتتكون التجاويف الداخلية للمسبوكية بوضع نواة معينة ضمن القالب، ويمكن أن تصنع النماذج من قطعة واحدة أو من قطعتين أو أكثر قابلة للانفصال، ويصنع النموذج قابل للانفصال حين يمكن سحبه من القالب بسهولة، وكثيراً ما يصنع أيضاً صندوق النواة قابلاً للانفصال بسهولة تجهيز النواة.

ويبين الشكل (2-2) المسبوكية المراد إنتاجها وصندوق النواة، والنموذج الذي يختلف عن المسبوكية بكونه مصمماً (وليس مجوفاً) وهو مؤلف من قسمين كما يوضحه نفس الشكل،

كما أن له بروزات تسمى بحملات أو دليل النواة، تستعمل لتكوين طبقات في القالب لترتكز عليها النواة عند وضعها فيه، وتصنع سطوح النموذج الرأسية مسلوية قليلاً لتسهيل إخراج النموذج من القالب، وتُجعل السلبية في النماذج الخشبية عادة في الحدود من (1-3) درجة.



شكل (2-2): تسلسل عملية إنتاج مسبوكة بقالب رملي

أنواع النماذج:

تستخدم المسابك أنواعاً عديدة من النماذج، وتبعاً لما يتطلبه عمل المسبوكات، وتعقيدها وحجمها. يستخدم الخشب لإنتاج أعداد قليلة من المسبوكات بينما يستخدم المعدن عند الإنتاج الكمي. يمكن تقسيم النماذج إلى الأنواع الآتية:

1- النماذج المنفصلة: Loose Pattern

نسخة مماثلة بالشكل للمسبوكة المراد إنتاجها. وللنموذج المنفصل أنواعٌ متعددة، وهي:

أ- النموذج المفرد Single Pattern:

يصنع عادة من قطعة واحدة، قليل التكلفة، يصنع بشكل عام من الخشب ويفيد بالإنتاج المحدود، يماثل المسبوكة المراد إنتاجها مع تزويده بالتسامحات المطلوبة وطابعات النواة. أبسط أنواعه النماذج ذات الخلفية المستوية التي تشكل مستوي الفصل، وفي حال الخلفية

غير مستوية يتطلب استخدام اللوح التابع Follow Board، تصنع قنوات نظام الصب ضمن القالب بواسطة قطع الرمل يدوياً.

ب- النموذج المجزأ Split pattern:

يستخدم عندما تكون المسبوكة ذات تصميم معقد أو يحتاج لها بكميات كبيرة، يكون النموذج مجزأ عند سطح الفصل الذي يحدد موضعه بحسب شكل المسبوكة، يتم قولبة نصف النموذج بالريزك السفلي، و يتوضع النصف الآخر للنموذج بالريزك العلوي. ويتم قطع قنوات نظام الصب ضمن رمل القالب يدوياً.

ت- النموذج متعدد الأجزاء Multiple piece pattern:

يستخدم النموذج المتعدد الأجزاء ذو القطع المتحركة أو طابعات النواة المتحركة إذا لم نستطع تحقيق المسبوكة بالنموذج ذي القطعة الواحدة أو النموذج المجزأ.

2- النموذج ذو الأقنية (المصب) Gated Pattern:

هذا النموذج تطور للنموذج السابق، يزيد من الإنتاجية، وذلك للاستغناء عن القطع اليدوي لأقنية نظام الصب، حيث يشكل نظام أقنية صب المعدن جزءاً من النموذج.

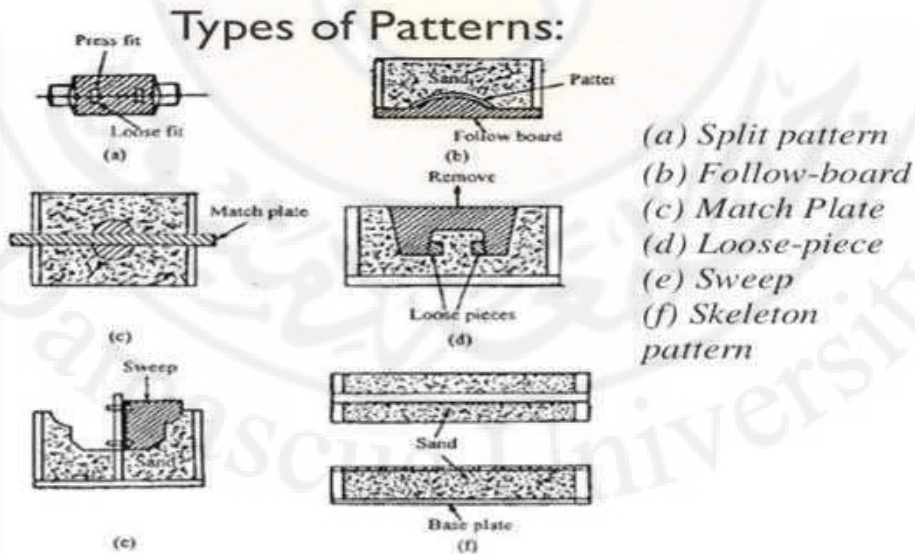
3- نماذج الألواح Match-Plate Pattern:

يستخدم نماذج الألواح من أجل الإنتاج الكمي للمسبوكات الصغيرة، وذلك باستخدام آلات القولبة حيث تثبت أجزاء النموذج للريزك العلوي والريزك السفلي مع نظام الجريان إما على جانبي اللوح الخشبي أو المعدني أو على ألواح منفصلة. يصنع النموذج من الخشب أو المعدن أو راتنج الإيبوكسي Epoxy-Resin حيث يجب أن تتوفر بالنماذج خاصية المقاومة الكبيرة تُستخدم أثناء القولبة قوى ضغط كبيرة وارتجاج كبير. يجب في هذه النماذج تأمين التطابق التام لكلا نصفي القالب، ليتحقق التسامت الدقيق لنصفي القالب حيث إن النماذج التي تشكل فجوة الريزك العلوي مثبتة على وجه اللوح والنماذج التي تشكل فجوة الريزك السفلي مثبتة على الوجه الآخر للوح أو على لوح آخر. صناعة مثل هذه النماذج أمر معقد يحتاج لدقة وخبرة، يمكننا تجنب تعقيد تصنيع ألواح النماذج باستخدام طريقة مطورة حديثاً وهي القولبة بالجبس حيث نسكب النماذج مع لوحها قطعة واحدة بشكل كامل.

4- نماذج خاصة Special Pattern:

تستخدم نماذج خاصة، مثل: النوع الكاشط sweep pattern، النموذج الموديل أو النموذج الهيكل skeleton Pattern وذلك عندما يكون تصنيع النموذج المصمت باهظ الثمن، ويسمح شكل المسبوكة باستخدام هذا النوع من النماذج، وبشكل عام تحضر المسبوكات كبيرة الحجم ذات الشكل المتناظر باستخدام النموذج الكاشط (الموديل)، مثل: الإطارات والعجلات والأجراس والقبب. حيث يصنع النموذج الهيكل باستخدام إطار خشبي، فتملأ الفراغات بين القطع الخشبية برمل السباكة، ويتم الحصول على الشكل النهائي برك الرمل في الفراغات، وقشط هذا الرمل بالشكل المرغوب. يتم استخدام النموذج الهيكل للمسبوكات كبيرة الحجم ويراد إنتاج مسبوكة واحدة أو عدد قليل جداً من المسبوكات، مثل: صناعة الأنابيب (الأسطوانات) حيث تحضر النماذج الهيكلية للأشكال الأسطوانية من نصفين، ومن ثم يُجمع النصفان مع بعضهما بواسطة خوابير أو باللصق.

يبين الشكل (2-3) بعضاً من هذه الأنواع للنماذج.



الشكل (2-2): بعض من أشكال نماذج السباكة.

5- النماذج المعدنية: Metallic Pattern

تستعمل النماذج المعدنية على نطاق واسع في الإنتاج المسبكي الحديث، وتمتاز هذه النماذج عن النماذج الخشبية كونها أكثر دقة وأطول عمراً وذات سطح أكثر نعومة، وتركب النماذج المعدنية عادة على لوحة معدنية.

وتركب اللوحة وأجزاء النموذج المركبة عليها تركيباً متيناً بلوحة النموذج، ويمكن أن تكون لوحات النماذج بجهة واحدة عندما تثبت أجزاء النموذج العلوية فقط أو السفلية فقط على ناحية واحدة من اللوحة، أو بجهتين عندما تثبت أجزاء النموذج بالتماثل بالنسبة لسطح الانفصال على ناحيتي اللوحة، أو عكسية عندما يثبت نصف النموذج على ناحية واحدة من اللوحة بحيث يمكن أن يكمل كل منهما الآخر عند إدارتهما 180°، كما تثبت على لوحة النموذج نماذج مجمعات الخبث وقنوات التغذية وقواعد المصببات.

تصنع النماذج المعدنية من حديد الزهر (الصب) الأبيض أو الرمادي أو من النحاس الأصفر أو من الألمنيوم وسبائكه، فالنحاس الأصفر صقيل ومقاوم للعوامل الطبيعية، لذا تكون نماذج النحاس الأصفر مقاومة عند تعرضها لرطوبة رمل المسبك، وقد اتسع استخدام الألمنيوم وسبائكه في صنع النماذج المعدنية في ميادين المسبوكات جميعها؛ وذلك لخفة الوزن، وجودة الصفات الميكانيكية، والمقاومة الجيدة للتآكل.

تمييز الأجزاء المختلفة للنماذج:

لتلافي الكثير من الأخطاء عند العمل في القوالب تميز الأجزاء المختلفة للنماذج وبعض خصائصها بطلبيها بالألوان المناسبة، والألوان المتعارف عليها من قبل العاملين في إنتاج النماذج والمسبوكات، هي:

- اللون الأسود: سطوح المسبوكات التي تترك دون تشغيل.
- اللون الأحمر: سطوح المسبوكات التي سوف يجري تشغيلها.
- اللون الأصفر: لطابعات (ركائز) النواة.
- خطوط حمراء على أرضية صفراء: سطوح أجزاء النماذج السائبة.
- خطوط سوداء على أرضية صفراء: لأجزاء تقوية النموذج.

تدهن النماذج الخشبية بعد إنجازها بطبقة من الورنيش أو الدهانات الأخرى، والغرض من هذا الطلاء هو حماية النموذج من الرطوبة وصقل سطوحه من ثمّ تسهيل سحبه من رمل القالب.

التسامحات والاعتبارات التكنولوجية في تصنيع النماذج: Allowances & other technological considerations in pattern making
لا يكون عادة المصبوب متطابقاً في أبعاده مع النموذج المستخدم في تصنيعه، ولإنتاج مسبوك ذات مواصفات محددة يجب أن يؤخذ بالحسبان في أثناء تصنيع النموذج تسامحات معينة، أهمها:

1- تسامح التقلص: Shrinkage Allowance

تقلص المعادن كلها بعد تجمدها؛ وبالتالي يصبح أبعاد المسبوك المنتجة أصغر من أبعاد فجوة النموذج في القالب الرملي، وللحصول على الأبعاد المطلوبة يجب أن تكون أبعاد النموذج المستخدم في تشكيل الفجوة أكبر من أبعاد المنتج المطلوب بما يعادل مقدار التقلص.

تستعمل في صناعة النموذج مساطر خاصة تسمى مساطر التقلص حيث تدرجها مكبر بنسبة معينة مكافئة لمقدار التقلص، أي مثلاً زيادة 1% تعني كل 100 سم فيها زيادة 1 سم، ويبين الجدول الآتي معدلات التقلص لأهم المعادن المستخدمة في السباكة. في الحياة العملية تحسب قيمة التقلص للمسبوكات بنسبة مئوية من أبعاد المسبوك، فمثلاً تقدر نسبة التقلص الطولي لحديد الصب الرمادي بحدود 1%، ولحديد الصب المرن من 1% حتى 1.5%، ولسبائك الفولاذ من 1.5% حتى 2%، وسبائك النحاس البرونز من 1.25% حتى 1.5%، وسبائك الألمنيوم من 1% حتى 1.5%.

وتستخدم عند صناعة النماذج مساطر خاصة للتقلص تسمى مساطر التقلص تأخذ بالحسبان مقدار التقلص.

وتضع هذه المساطر عادة للتقلصات: 1%، 1.25%، 1.5%، 1.75%، 2% .. إلخ. مسطرة الانكماش أو التقلص: هي التي يستخدمها صانع النماذج وهي عبارة عن مقياس خاص يُعني عن العمليات الحسابية اللازمة لإيجاد مقدار التسامح في بعد معين، فمثلاً

في مسطرة الانكماش ذات 8/1 بوصة يزيد طول كل قدم على الطول الحقيقي بمقدار (8/1) بوصة. وكل قسم يزيد طوله بالنسبة نفسها على الطول الحقيقي المناظر له.

في بعض الأحيان قبل صناعة النموذج المعدني يلزم صناعة نموذج خشبي له، ويلاحظ عند صناعة النموذج الخشبي إضافة مقدار الانكماش في كل من النموذج المعدني ومعدن المسبوكية المطلوبة، كما هو الحال عند استعمال النماذج الأساسية.

فمثلاً لنموذج الألمنيوم المصنوع من نموذج أساسي من الخشب يحتاج إلى تسامح كلي في أبعاد النموذج الخشبي مقداره 4/1 بوصة لكل قدم إذا كان المعدن المطلوب سبكة (صبية) هو حديد الزهر الرمادي، وفي هذه الحالة يشمل التسامح الكلي في أبعاد النموذج الأساسي المصنوع من الخشب: مقدار تقلص النموذج المصنوع من الألمنيوم وكذلك أيضاً مقدار تقلص مصبوب حديد الزهر الرمادي.

تعتمد قيمة التقلص الحادثة على عدد من العوامل وهي: تركيب المعدن المصبوب والشوائب الموجودة ضمن هذا المعدن، وتصميم قالب السباكة والمادة المصنوع منها هذا القالب وطريقة القولبة المستخدمة، ودرجة حرارة صب المعدن، وتصميم المسبوكية من حيث تعقيد شكل هذه المسبوكية وكتلتها ومقاسها.

2- تسامح التشغيل (إضافات التشغيل): Machining allowance:

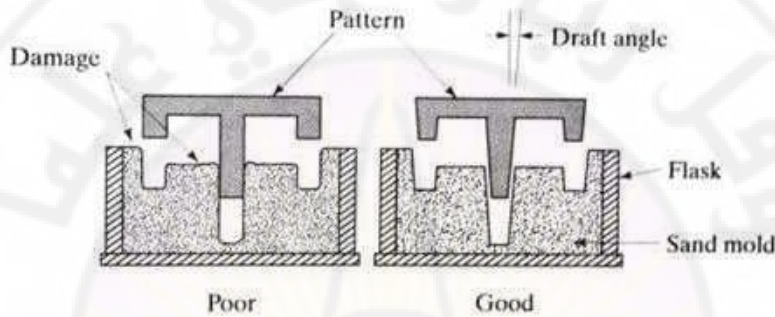
هو مقدار الإضافة على أبعاد المصبوب انتظاراً لعمليات التشغيل اللاحقة على آلات التشغيل، ويبين الجدول (2-3) إضافات التشغيل على النماذج حيث تعتمد هذه الإضافات على أبعاد المسبوكية ونوع الإنتاج فردياً أم كمياً، وعلى نوع المعدن المصنوعة منه المسبوكية وعلى درجة تعقيد شكل المسبوك وعلى وضع المسبوكية في القالب (حيث يحتاج السطح العلوي للمسبوك لإضافات أكبر بسبب وجود الخبث أو الرمل الذي يطفو على سطح السائل).

3- ميل النموذج: Draft or Taper Allowance

هو الميل الذي يسمح به في السطوح الرأسية للنموذج من أجل سهولة سحبه من الرمل دون الإضرار بسطوح فجوة القالب، والميل المعتاد للسطوح الرأسية في النماذج يساوي 16/1 بوصة لكل قدم (بحدود 1.58 مم لكل 300 مم).

أما النماذج التي ترفع ميكانيكياً، فتحتاج إلى ميل قدره درجة بشرط أن تكون السطوح نظيفة، وفي حال وجود فجوات عميقة يجب أن يكون الميل أكبر؛ تجنباً للأخطاء التي قد تتجم، وتصنع النماذج المعدنية بميل (بسلبية) $(1-0.5)^\circ$ درجة.

تعتمد قيم السلبية على العوامل الآتية: ارتفاع الجدران الشاقولية للنموذج المستخدم، وتعقيد النموذج، وطريقة القوالب المستخدمة، ومادة النموذج المستخدمة.



الجدول (2-3) تسامحات التشغيل.

سمك المعدن بعد التشغيل بالميلتر	سمك المعدن بالميلتر قبل التشغيل	أبعاد النموذج بالميلتر	مخاليط المصبوغات
2.4 3.2	3.2 4.8	لغاية 305 من 610-330	1- حديد زهر رمادي
3.21 4.8	4.8 6.35	لغاية 305 من 610-330	2- فولاذ مصبوب
1.58 1.58	1.58 2.4	لغاية 157 229-153	3- الزهر القابل للفرق
1.58	2.4	لغاية 305	4- نحاس أصفر وبرتقالي
3.2 4.8	4.8 8	610-330 مم 915-635 مم	5- حلائط الألمنيوم

4- التفاوت (تفاوت المقاس): Measurements Tolerance

هو الاختلاف الذي يُسمح به في أبعاد مصبوب معين، وهو يساوي الفرق بين النهاية الصغرى والكبرى للقياس التي تحتاج إلى أقل تفاوت ممكن، وكقاعدة عامة يجب أن يكون التفاوت مساوياً على الأقل لنصف التسامح الخاص بالانكماش.

4- تسامح طرق النموذج Rapping Shake Allowance:

يطرق النموذج عند تصنيع القالب الرملي من أجل تسهيل سحبه من رمل القالب، ونتيجة هذا الطرق تصبح فجوة القالب أكبر قليلاً من النموذج المستخدم، يجب أن يؤخذ هذا التسامح بالحسبان خاصة عند تصنيع المسبوكات الكبيرة وإنتاجها، أو عندما يراد الحصول على مسبوكات دقيقة الأبعاد.

5- التجاوز المسموح به الخاص بالتشوه: Distortion Allowance

تشوه المسبوكات من خلال عملية تبريد المسبوكة؛ بسبب الإجهادات الداخلية بهذه المسبوكات، وتتسبب الإجهادات الداخلية؛ بسبب معدلات التبريد غير المتساوية في المقاطع المختلفة للمسبوكة، يمكن أخذ احتياطات معينة من أجل منع تشوه شكل المسبوكات وتتضمن هذه الاحتياطات الآتي: تعديل تصميم المسبوكة بحيث نتجنب التغيرات المفاجئة بمقاطع المسبوكة وتجنب تركيز الحرارة، وتحسين طريقة السباكة وتقليل انفعال المسبوكة، وذلك باختيار المعدن الذي يعطي قيمة أصغرية للتقلص والتحكم بدرجة حرارة الصب مع استخدام المبردات؛ لتحقيق معدلات تبريد متجانسة، وإعطاء تسامح تشغيل كاف بحيث يمكن إزالة تأثير تشوه الشكل، وتقويم التحذب (التشوه) للمسبوكات المرنة وذلك بواسطة الضغط، يستخدم الضغط على البارد للمسبوكات الصغيرة ومتوسطة الأبعاد، والضغط على الساخن بحرارة (100-500 °C) وذلك للمسبوكات الكبيرة، وإعطاء النموذج تسامحاً مناسباً يسمى تسامح التحذب أو التشوه (انحراف معاكس للتشوه الحادث في المسبوكة المنتجة)، وتحديد قيمة التشوه مسألة صعبة تعتمد على عدد من العوامل المتغيرة لذلك تعتمد على التجربة.

6- ركانز النوى: Core Stand

تضاف بروزات أو نتوءات إلى النموذج، والغرض منها تشكيل تجاويف أو فراغات معينة تستخدم لثبيت القلوب داخل الفراغ في القالب الرملي ويجب ملاحظة ان هذه القلوب تستخدم للمسبوكات المجوفة وتقوم بتشكيل الفراغ الذي يشبه شكل التجويف الموجود في المسبوك المراد سباكته.

7- دوران الاركان: Rounded Sides

يجب مراعاة تجنب إنتاج نماذج بأركان حادة؛ لأن ذلك يؤدي إلى انهيار الرمل عند رفع النموذج.

8- سطح الاتصال: Parting Line

عند تصنيع النموذج المكون من جزئين يراعى اختيار سطح الاتصال بحيث يمكن تجميع كلا الجزئين مع بعضهما بسهولة.

وظيفة النماذج:

الغرض الأساسي من النماذج هو استخدامها في صناعة القوالب، فإذا أريد إنتاج مصبوب جيد بحيث يكون ملائماً لإجراء عمليات أخرى عليه بعد صبه أصبح للنموذج وظائف أخرى إلى جانب استخدامه في عمل فجوة القالب، ويمكن تلخيص هذه الوظائف الأخرى كالآتي:

1- تشكيل فجوة لنظام صب المعدن: الطريقة العملية لتشكيل مصبات المعدن في السباكة تتطلب بصفة عامة أن تكون القنوات وأحواض المصبات اللازمة لصب المعدن في فجوة القالب متصلة بالنموذج.

2- تحديد السطح الفاصل للقالب: يحدد السطح الفاصل للقالب في حالة استخدام النماذج ذات الألواح أو النماذج ذات النصفين العلوي والسفلي.

3- عمل طابعات دلائل النواة (تشكيل فجوة لحماية النواة): عندما يحتاج المصبوب إلى استعمال نواة يُعمل حساب ذلك بوضع طابعات لدلائل النواة في النموذج، والدلائل هي عبارة عن أجزاء من النموذج تستخدم لارتكاز النواة في وضعها الصحيح داخل فجوة القالب، وطابعات دلائل النواة في النموذج لا تظهر عند إنتاج المصبوب؛ لأنها تكون ممتلئة بالرمل.

4- التقليل من عيوب الصب التي تُنسب إلى النموذج: النماذج النظيفة وجيدة التصميم وذات السطوح الملساء ضرورية للحصول على مصبوبات جيدة، والعكس صحيح.

5- استخدام النموذج في عمل القالب والنواة: في بعض الأحيان، تستخدم نماذج مجوفة لعمل القالب والنواة في آن واحد، في هذه الحالة تثبت النواة في موضعها بواسطة الرمل المكبوس حولها.

6- الاقتصادية في عمل القالب: يجب صناعة النموذج بطريقة تكفل التوفير ما أمكن من تكاليف المصبوب.

النوى Cores

تصنع نماذج المشغولات البسيطة من قطعة واحدة (أسطوانة مصمتة) ولكن كثيراً ما تكون المشغولات معقدة تشتمل على فجوات وقنوات وثقوب، فيصعب تشكيلها من قطعة واحدة؛ لذا يلزم تثبيت نوى في موضع هذه الفجوات داخل القالب وتركها لتنتهي عملية الصب، مثل ذلك صب كتلة الأسطوانات في محركات الاحتراق الداخلي المحتوية على قنوات ماء التبريد، وبذلك يمكننا تعريف النواة بالآتي: النواة هي كتلة سابقة التشكيل من الرمل توضع داخل فراغ القالب الرملي للمساعدة في تشكيل المسبوك بحيث يحتوي فراغاً داخلياً مطلوباً. تقسم النوى بحسب وضعها إلى: نواة أفقية، نواة رأسية، نواة نائئة.

صندوق النواة Core Boxes

يمكن أن يصنع صندوق النواة إما من الخشب أو المعدن، إن صندوق النواة الخشبي أكثر شيوعاً؛ بسبب سهولة تشكيله ولصقه ووصل قطعه بعضها مع بعض، ورخص الخشب. بينما يفضل صندوق النواة المعدني عندما يراد الإنتاج الكمي للنوى (تستخدم نوى من الحديد، والفولاذ، والنحاس الأصفر، والبرونز، وخليط الألمنيوم).

يجب أن يكون تجويف صندوق النواة مضبوط الأبعاد ومماثلاً للنواة المطلوبة، كما يجب أن يحتوي على حمالة نواة موافقة لطابعة النواة بحيث لا يكون هناك صعوبة بوضعها في مكانها.

أنواع صناديق النوى هي:

الصندوق النصف النواة: يستخدم الصندوق النصف النواة عندما يسمح شكل النواة بتحضيرها من نصفين متماثلين حيث يصنع النصف ثلث الآخر وبعد أن يجف القسمان يُلصقان مع بعض.

صندوق النواة الكامل المفتوح: يعطي نواة كاملة لا تحتاج لأي لصق.

صندوق النواة المجزأ: مؤلف من قطعتين أو أكثر.

صندوق النواة القاشط: عند إنتاج النواة ذات السطح غير المنتظم يمكن استخدام صندوق النواة القاشط وهو مماثل لصندوق النواة المفتوح، إلا أنه يتم تصنيع السطح غير المنتظم بواسطة قشط رمل النواة بقطعة من الخشب تدعى لوح القشط التي تماثل محيط السطح غير المنتظم، يقلل استخدام صندوق النواة القاشط من كلفة صنع النواة. صندوق النواة ذو القطع السائبة: عندما يكون جزءا النواة غير متماثلين يمكن أن تحضر النواة في صندوق نواة مفرد، وذلك بمساعدة القطع المتحركة، وتصنع النواة في فراغها المناسب بواسطة القطع السائبة.

2-2-3: تشكيل قالب الصب الرملي وطرائق تثبيت النواة داخل فجوة القالب:

عملية السباكة الرملية تنقسم إلى أربع خطوات رئيسية، هي:

1- تصميم النموذج وصناعته وحساب التسامحات المختلفة كما مر معنا سابقاً.

2- إعداد القالب وتشكيله:

وتشمل اختيار الرمل أو مزيج الرمل وإعدادها لصناعة القالب الرملي، وذلك بعد عمل الاختبارات اللازمة لمعرفة صلاحيتها، ومن أنواع رمل السباكة حسب الاستخدام: رمل السليكا: وهو عبارة عن رمل طبيعي يحوي كمية قليلة من الطين الذي يربط حبيبات الرمل مع بعضها، وهذا النوع من الرمل يقاوم درجات الحرارة العالية، ويتوفر بحجوم حبيبات مختلفة، وتكاليفه منخفضة نسبياً.

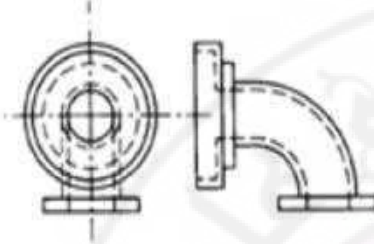
الرمل الصناعي: ويتكون من رمل السليكا مضافة إليه مادة رابطة بمقدار حوالي 4 % ، ومن عيوب هذا النوع من الرمل أنه يسبب المسامية الغازية في المسبوكات.

الرمل الأسمنتي: وهو خليط من الرمل الطبيعي والأسمنت والماء، ويمتاز بصلادته ومقاومته العاليتين، ويستخدم عادةً لسباكة المسبوكات الثقيلة نوعاً ما.

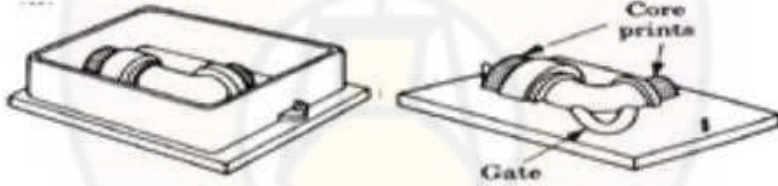
وتعتمد جودة المسبوك إلى حد بعيد على مواصفات الرمل المستخدم؛ لذلك من الضروري إجراء بعض الاختبارات على الرمل قبل استخدامه، مثل (اختبار الخشونة، واختبار

المقاومة، واختبار الصلادة، واختبار النفاذية، واختبار الرطوبة، واختبار التقلص، واختبار التمدد، واختبار الانهيار) وغيرها من الاختبارات الضرورية لرمل السباكة.

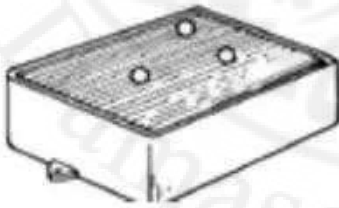
خطوات تشكيل القالب الرملي للمسبوك:



- تحضير رمل السباكة (الخليط).
- إعداد النموذج الخشبي أو المعدني ثم يقسم إلى نصفين متناظرين (عند الحاجة بحسب المسبوك المراد تصنيعها) ويكونان مصمتين تماماً. ولا يحتويان على تجاويف حتى الموجودة في الشكل الأسطواني، ولسهولة تثبيت النصفين يحفر في أحد الأسطح لأحد النصفين ثقوب، وفي الوجه الآخر أوتاد وبروزات تستقر في هذه الثقوب.



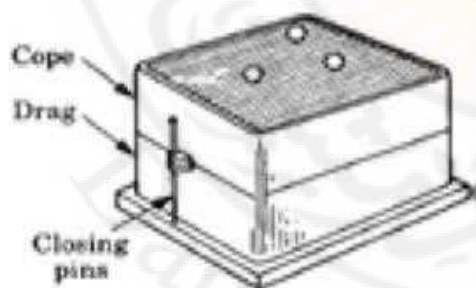
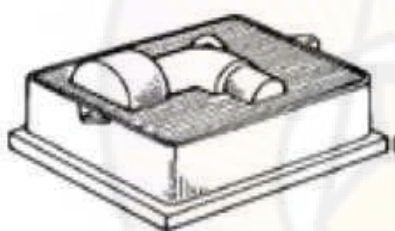
- يوضع نصف النموذج المحتوي على الثقوب مقلوباً على لوح النماذج الخشبي ويوضع حوله النصف السفلي من الريزك بعد قلبه 180 درجة.



- يؤتى بالرمال المعد مسبقاً، ويوضع حول نصف النموذج في صندوق القوالب (الريزك) ويدك بالمذك دكاً خفيفاً حول نصف النموذج. وعادة يستخدم الرمل حديث التحضير الذي لم يستخدم سابقاً حول النموذج مباشرة، ويسمى برمل الوجه، وذلك ليستنسخ تفاصيل النموذج

جميعها، مثل: (الرموز، الشعارات، الكتابات) ومن ثم يوضع باقي الرمل الذي يسمى برمل الحشو ثم يتم دكه دكاً خفيفاً. وبعد امتلاء الصندوق بالرمل يتم تسوية سطحه وإزالة الرمل الزائد بواسطة مسطرة التسوية.

- بعد ذلك يقلب نصف النموذج رأساً على عقب مع لوح النماذج، وترفع اللوحة الخشبية الأولى ثم ينظف سطح النموذج الثاني ثم يرش عليه مسحوق الفحم أو كمية من الرمل الناعم؛ وذلك لمنع التصاقه بالنصف العلوي من القالب، ثم يوضع النصف الثاني من النموذج بحيث ينطبق عليه النصف الأول بواسطة أقلام التثبيت، ويوضع النصف الثاني العلوي من الريزك على النصف السفلي ثم يتم تثبيت عمود خشبي شبه أسطواني، وآخر مخروطي الشكل مفتوح من الأعلى، وتسمى هذه الأعمدة بفتحة التغذية أو المصعد، ومن ثم يدك الرمل، كما فعلنا سابقاً.



يُفصل نصفا القالب عن بعضهما برفع الريزك العلوي وقلبه على لوح النماذج الخشبية، وذلك بعد سحب العمودين الخشبيين ثم يُفصل نصفا النموذج عن نصفي القالب بحذر شديد دون تشوه للقالب، ثم يحفر مجرى بين النهاية السفلية لقناة الصب وبين الفراغ الذي شكله النموذج.

الشكل (2-3) يظهر رسماً تخطيطياً لكيفية توضع النموذج ضمن القالب الرملي.



الشكل (2-3): رسم ثلاثي الأبعاد يظهر كيفية توضع النموذج والنواة ونظام الصب بالقالب الرملي.

3- صهر المعدن وصبه في القالب الرملية وإخراج المسبوك من القالب الرملية بعد تجمد المعدن:

تصهر المعدن في أفران خاصة ومن ثم صبها داخل القالب مع مراعاة حفر حوض حول فتحة قناة الصب الرئيسية. المعدن المنصهر يصب في هذا الحوض ومن ثم ينساب بهدوء إلى قناة الصب ومن فوائده قناة الصب الرئيسية:

- 1- تسريب الغازات والأبخرة إلى الجو الخارجي.
- 2- يعمل على تغذية الفراغ بالمعدن المنصهر لمعادلة الانكماش الذي يحصل عند تجميد المعدن.

3- تتجمع فيها المواد غير المرغوب فيها، مثل: الخبث والشوائب.

4- تنظيف المسبوك وإعداده للاستعمال وكشف عيوب المسبوك ومعالجتها:

1- تنظيف المسبوك ويتم كالاتي:

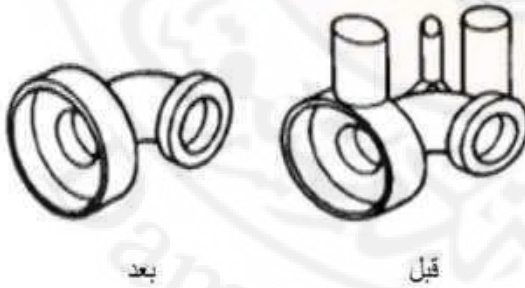
- أ- قطع الأجزاء الإضافية من المسبوك التي تكونت بسبب تصاميم فتحة التغذية والمجرى ويتم القطع بالمنشار أو أقراص الجلف أو القطع بواسطة الأوكسي أسلتن.
- ب- تنظيف سطوح المسبوك الداخلية والخارجية من حبيبات الرمل اللاصقة نتيجة الحرارة ومن طبقة الأوكسيد التي تتكون عليها.

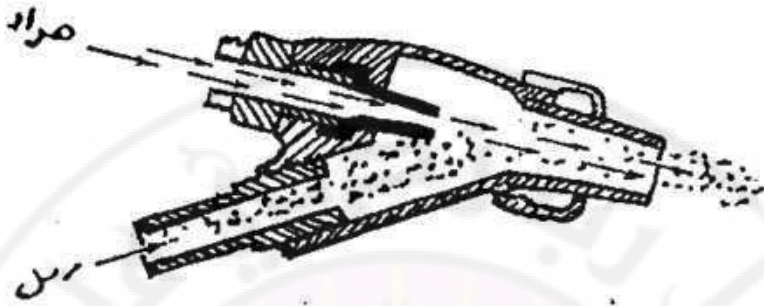
ج- تحتاج بعض المسبوكات إلى إنجاز سطحي أو مظهر خارجي، ويتم ذلك بواسطة المحاليل الكيميائية أو بالتشغيل أو الطلاء.

د- إزالة الزعانف أو أي أجزاء بارزة من الجسم غير مرغوب فيها.

هـ- إصلاح العيوب الممكن إصلاحها.

و- عمل المعالجات الحرارية اللازمة.





مردس قاذف للرمل لتنظيف المسبوكات

2- عيوب المسبوكات (أسبابها، طرق معالجتها):

أ- الترحف أو الانحراف: وهو عدم التطابق بين نصفي المسبوك أو بين نصفي صندوق القالب.

ب- الانتفاخ: وهو اتساع فراغ القالب بسبب الغازات والأبخرة؛ وذلك بسبب عدم دك الرمل جيداً أو صب المعدن بصورة سريعة، مع ملاحظة أن الدك الشديد للرمل يسبب انخفاضاً في قابلية القالب على تسريب الغازات.

ج- فجوات الانكماش أو عدم اكتمال الجزء المسبوك: وهو الفراغ الناتج عن تقلص المعدن خلال التجمد ويتم التخلص منها بواسطة التصميم الجيد لفتحة التغذية من حيث الحجم والموضع بالنسبة للقالب. أما بالنسبة للمسبوكات الثقيلة، فيتم إنتاج أكثر من فتحة للصب وذلك على حسب النموذج، وذلك للتخلص من فجوات الانكماش.

د- الفجوات الغازية وتكون للأسباب الآتية:

1- الرطوبة العالية والدك المفرط تتسبب في انخفاض قابلية النفاذ.

2- ارتفاع كمية الغازات المذابة في المعدن المنصهر التي تتحرر في أثناء التجمد مسببة الفجوات الغازية.

3- عدم توفر التنفيس الجيد للقالب الرملي وهي عبارة عن قنوات دقيقة نسبياً يزود بها القالب الرملي لغرض تسريب الغازات.

4- السطح الخشن: وذلك بسبب استعمال الرمل الخشن الحبيبات أو الدك الخفيف جداً للرمل.

3- الكشف على المسبوكات: ويتم بطريقتين، وهما:

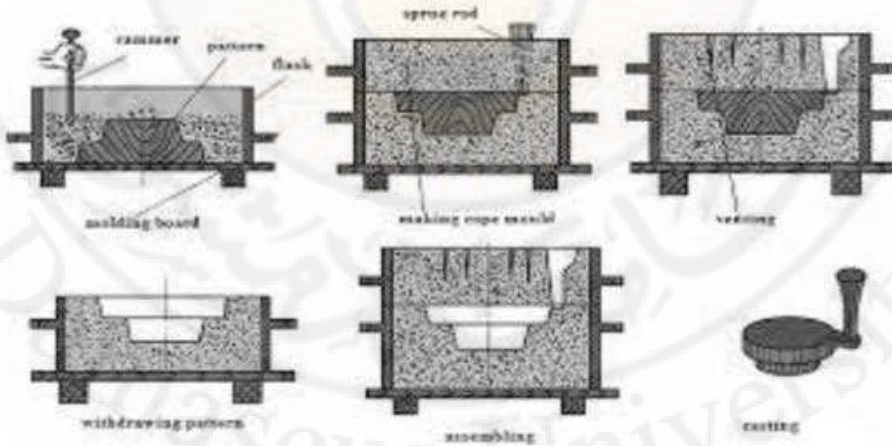
أ- الكشف الإتلافي: ويتضمن اختبار الخواص الميكانيكية، مثل: (مقاومة الشد والضغط، الصلادة، المطيلية) وما شابهها.

ب- الكشف غير الإتلافي: ويتضمن الكشف عن عيوب معينة، مثل: الفجوات الغازية، وفجوات الانكماش. ومن طرق الكشف عنها:

- الفحص البصري.
- الكشف بالأسعة السينية.
- الكشف بالجسيمات المغناطيسية.
- الكشف بالموجات فوق الصوتية.
- الكشف بالسوائل النافذة.
- الكشف بالتيارات الدوامة.

السباكة بنموذج من قطعة واحدة:

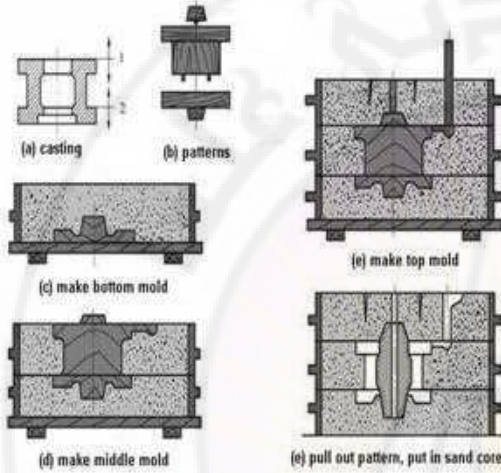
إذا كانت المسبوكة المراد إنتاجها بسيطة لا يختلف النموذج عن القطعة المطلوب سباكتها. لنستعرض بالرسم فقط القطعة الميكانيكية المراد إنتاجها و تسلسل مراحل عمليات الإنتاج للمسبوكة في قالب رملي.



السباكة بنموذج من قطعتين أو أكثر:

لسهولة عمل القالب الرملي في المسبك تصنع معظم النماذج من قطعتين أو أكثر وتثبت أجزاء النموذج ببعض بتعاشيق خاصة. يبين الشكل جلبة ذات شفتين مفرغة داخلياً مطلوب سباكتها (a)، والنموذج الخشبي لها (b)، ويكون مؤلفاً من ثلاثة أجزاء يربط بينهما أوتاد (c)، ومراحل تحضير القالب

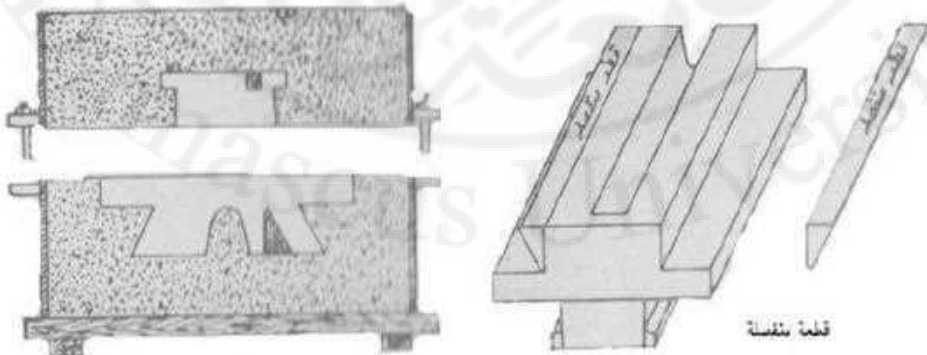
الرملي باستخدام ثلاثة ريارك يبينه الشكلان (d,e) والتوضع المناسب للصب يوضحه الشكل (f).



السباكة بالنماذج ذات الأجزاء المنفصلة:

لا تخلو السطوح الخارجية لمعظم النماذج من أجزاء بارزة وممثلات ذلك منع سحب النموذج من الرمل بعد تجهيز القالب؛ لذلك يجب أن تكون الأجزاء البارزة جميعها

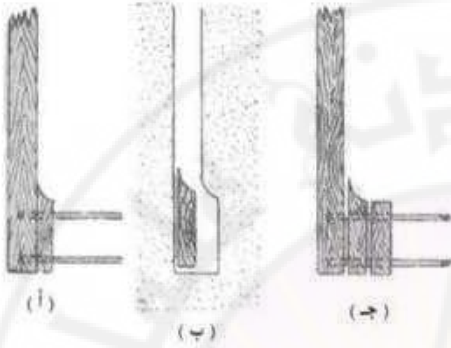
خصوصاً في السطوح الرأسية منفصلة عن النموذج ومثبتة به تثبيتاً مؤقتاً بخوابير خشبية أو مسامير قلاووظ وفي أثناء كبس الرمل عند هذه الأجزاء المنفصلة يجب فك خوابير أو مسامير التثبيت حتى يمكن سحب النموذج من الرمل ثم تسحب بعد ذلك الأجزاء المنفصلة. يبين نموذج لراسمة مخرطة، ولرفع النموذج من الرمل يجب فصل الأجزاء البارزة في كل



من الريزقين الأعلى والأسفل، ويرفع النموذج أولاً ثم تسحب الأجزاء البارزة من القالب الرملي. يبين بالشكل أدناه طريقة سحب الأجزاء المنفصلة من القالب الرملي.

كما يبين طريقة تثبيت الأجزاء المنفصلة

من النموذج بخوابير خشبية.

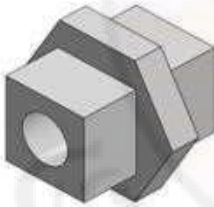


جانب عملي يبين بالتفصيل مراحل إنتاج مسبوكية:

القطعة المراد تصنيعها: حاضنة محور مع ركائز تثبيت

طريقة التصنيع: سباكة رملية

بما أن طريقة التصنيع هي سباكة رملية نحن بحاجة للآتي:



- مساقط المسبوكية - ورقة مرفقة موضحة بالشكل.

- اختيار سطح التقسيم: لاختيار سطح التقسيم يجب الأخذ بالحسبان الآتي:

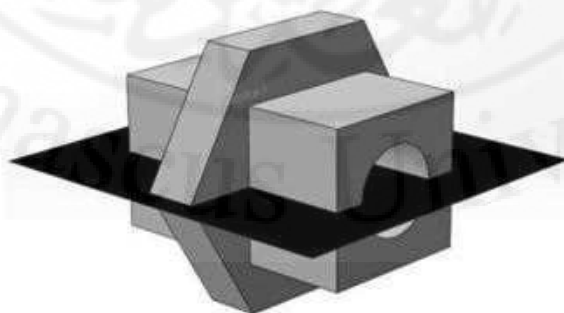
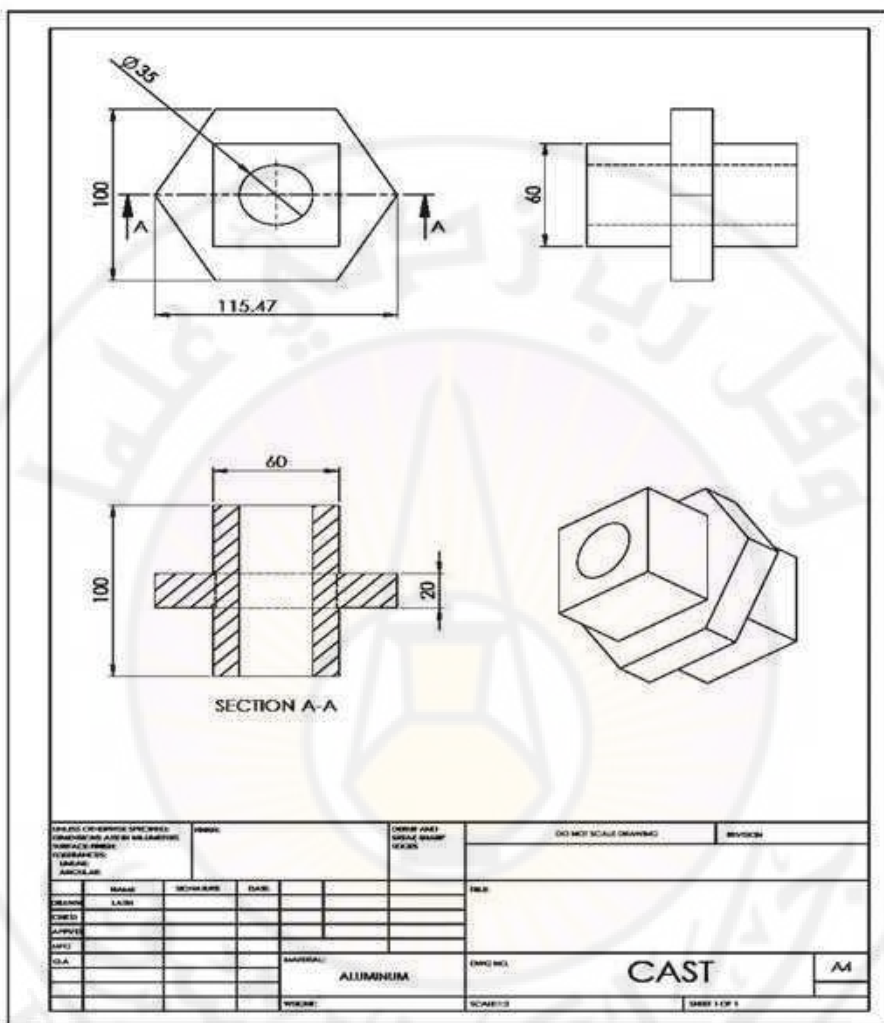
1. تعقيد النموذج - عدد أسطح التشغيل المطلوب اختيارها - وهنا سطح واحد كون الشكل ليس معقداً.

2. إمكانية سحب النموذج دون التأثير في شكل القالب الرملي.

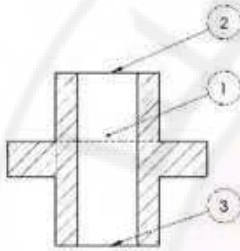
3. عدد السطوح العمودية على سطح التقسيم أقل ما يمكن.

4. الشكل يحتوي على تجويف أسطواني؛ وبالتالي يجب أن يكون وضع النواة أفقياً.

هنا نختار سطح التقسيم وهو سطح القطع A-A الموضح بورقة المسبوكية.



- إضافات التشغيل: نضع إضافات التشغيل على السطوح المراد تشغيلها بعد الصب حيث يتم تحديد هذه السطوح تبعاً لوظيفة هذه المسبوكة.
- هنا نختار السطح 1 كون السطح الداخلي للتجويف سيكون حاضناً للمحور والسطحين 2 و 3 كون القطعة ستكون متماسة مع قطع أخرى عند هذين السطحين. إضافات التشغيل هنا 2 مم لكل سطح مع الأخذ بالحسبان زيادة الأبعاد الخارجية ونقصان الأبعاد الداخلية؛ وبالتالي ستصبح الأبعاد كما يأتي:

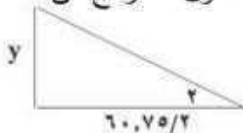


البعد الاسمي [mm]	إضافة التشغيل [mm]	البعد بعد الإضافة [mm]
100	2 للأعلى - 2 للأسفل	104
35	2 من كل طرف	31

- إضافات التقصير: وهي لكل أبعاد الشكل وتكون بالنسبة لمادة الألمنيوم % 0.0125 مع الأخذ بالحسبان أن الطول الخارجي سيزداد والداخلي سينقص.

البعد الاسمي [mm]	إضافة التشغيل [mm]	البعد بعد الإضافة [mm]
104	$0.0125 \times 104 = 1.3$	105.3
60	$0.0125 \times 60 = 0.75$	60.75
115.47	$0.0125 \times 115.47 = 1.44$	116.91
100	$0.0125 \times 100 = 1.25$	101.25
31	$-0.0125 \times 31 = -0.387$	30.61
20	$0.0125 \times 20 = 0.25$	20.25

- زاوية إمالة السحب: نقوم بإمالة السطوح المتعامدة مع سطح التقسيم بزاوية 2 درجة؛ وذلك لمنع تفتت الرمال في أثناء سحب النموذج؛ وبالتالي سيزداد طول النموذج من الأعلى ومن الأسفل بمقدار:



$$Y = \text{tg}(2) \times 60.75 / 2 = 1.06 \text{ (mm)}$$

وبالتالي سيصبح طول النموذج:

$$105.3 + (2 * 1.06) = 107.42 \text{ (mm)}$$

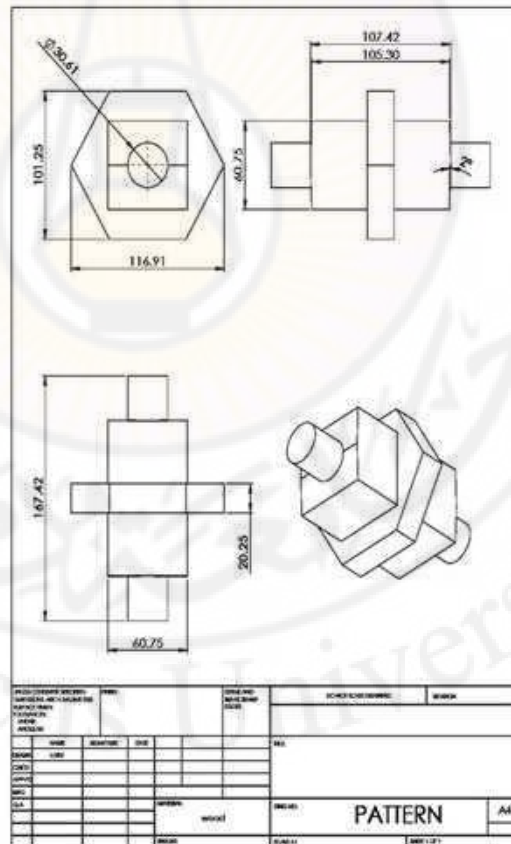
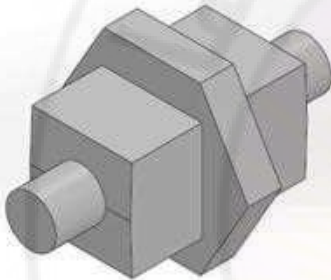
- النواة الرملية: وهي عبارة عن أسطوانة من الرمل، قطرها يساوي القطر الداخلي للمسبوكة بعد إضافات التقلص والتشغيل، أما طولها فيزيد على طول المسبوكة بمقدار معين يسمح لها بأن تتركز على ركائز النواة دون أن تنهار، وهنا هذا الطول هو 30 mm لكل طرف.

- إضافة ركائز النواة: نضيف 30 mm لكل جهة لشكل النموذج حتى تتركز عليه النواة الترابية التي سنضعها قبل صب المعدن؛ وبالتالي يصبح الطول الكلي للنموذج:

$$107.42 + 30 + 30 = 167.42 \text{ mm}$$

- مساقط النموذج: ورقة مرفقة.

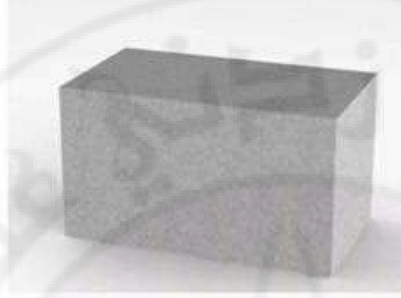
وبالتالي يصبح الشكل النهائي للنموذج هو:



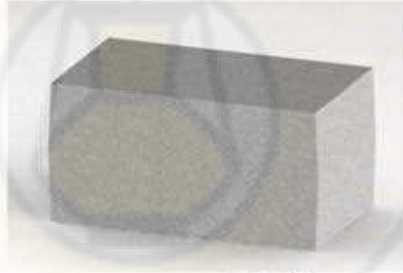
1. NAME (PRINT NAME AND SURNAME) 2. ADDRESS 3. PHONE NO. 4. E-MAIL ADDRESS		5. SEX 6. DATE OF BIRTH 7. PLACE OF BIRTH		8. SCHOOL/CLUB/COMPANY 9. ADDRESS	
10. NAME 11. CLUB 12. CITY 13. COUNTRY 14. STATE 15. ZIP CODE 16. E-MAIL ADDRESS		17. ADDRESS 18. CITY 19. STATE 20. ZIP CODE		21. NAME 22. CLUB 23. CITY 24. STATE 25. ZIP CODE	
26. NAME 27. CLUB 28. CITY 29. STATE 30. ZIP CODE		31. ADDRESS 32. CITY 33. STATE 34. ZIP CODE		35. NAME 36. CLUB 37. CITY 38. STATE 39. ZIP CODE	
40. NAME 41. CLUB 42. CITY 43. STATE 44. ZIP CODE		45. ADDRESS 46. CITY 47. STATE 48. ZIP CODE		49. NAME 50. CLUB 51. CITY 52. STATE 53. ZIP CODE	
54. NAME 55. CLUB 56. CITY 57. STATE 58. ZIP CODE		59. ADDRESS 60. CITY 61. STATE 62. ZIP CODE		63. NAME 64. CLUB 65. CITY 66. STATE 67. ZIP CODE	
68. NAME 69. CLUB 70. CITY 71. STATE 72. ZIP CODE		73. ADDRESS 74. CITY 75. STATE 76. ZIP CODE		77. NAME 78. CLUB 79. CITY 80. STATE 81. ZIP CODE	
82. NAME 83. CLUB 84. CITY 85. STATE 86. ZIP CODE		87. ADDRESS 88. CITY 89. STATE 90. ZIP CODE		91. NAME 92. CLUB 93. CITY 94. STATE 95. ZIP CODE	
96. NAME 97. CLUB 98. CITY 99. STATE 100. ZIP CODE		101. ADDRESS 102. CITY 103. STATE 104. ZIP CODE		105. NAME 106. CLUB 107. CITY 108. STATE 109. ZIP CODE	
110. NAME 111. CLUB 112. CITY 113. STATE 114. ZIP CODE		115. ADDRESS 116. CITY 117. STATE 118. ZIP CODE		119. NAME 120. CLUB 121. CITY 122. STATE 123. ZIP CODE	
124. NAME 125. CLUB 126. CITY 127. STATE 128. ZIP CODE		129. ADDRESS 130. CITY 131. STATE 132. ZIP CODE		133. NAME 134. CLUB 135. CITY 136. STATE 137. ZIP CODE	
138. NAME 139. CLUB 140. CITY 141. STATE 142. ZIP CODE		143. ADDRESS 144. CITY 145. STATE 146. ZIP CODE		147. NAME 148. CLUB 149. CITY 150. STATE 151. ZIP CODE	
152. NAME 153. CLUB 154. CITY 155. STATE 156. ZIP CODE		157. ADDRESS 158. CITY 159. STATE 160. ZIP CODE		161. NAME 162. CLUB 163. CITY 164. STATE 165. ZIP CODE	
166. NAME 167. CLUB 168. CITY 169. STATE 170. ZIP CODE		171. ADDRESS 172. CITY 173. STATE 174. ZIP CODE		175. NAME 176. CLUB 177. CITY 178. STATE 179. ZIP CODE	
180. NAME 181. CLUB 182. CITY 183. STATE 184. ZIP CODE		185. ADDRESS 186. CITY 187. STATE 188. ZIP CODE		189. NAME 190. CLUB 191. CITY 192. STATE 193. ZIP CODE	
194. NAME 195. CLUB 196. CITY 197. STATE 198. ZIP CODE		199. ADDRESS 200. CITY 201. STATE 202. ZIP CODE		203. NAME 204. CLUB 205. CITY 206. STATE 207. ZIP CODE	
208. NAME 209. CLUB 210. CITY 211. STATE 212. ZIP CODE		213. ADDRESS 214. CITY 215. STATE 216. ZIP CODE		217. NAME 218. CLUB 219. CITY 220. STATE 221. ZIP CODE	
222. NAME 223. CLUB 224. CITY 225. STATE 226. ZIP CODE		227. ADDRESS 228. CITY 229. STATE 230. ZIP CODE		231. NAME 232. CLUB 233. CITY 234. STATE 235. ZIP CODE	
236. NAME 237. CLUB 238. CITY 239. STATE 240. ZIP CODE		241. ADDRESS 242. CITY 243. STATE 244. ZIP CODE		245. NAME 246. CLUB 247. CITY 248. STATE 249. ZIP CODE	
250. NAME 251. CLUB 252. CITY 253. STATE 254. ZIP CODE		255. ADDRESS 256. CITY 257. STATE 258. ZIP CODE		259. NAME 260. CLUB 261. CITY 262. STATE 263. ZIP CODE	
264. NAME 265. CLUB 266. CITY 267. STATE 268. ZIP CODE		269. ADDRESS 270. CITY 271. STATE 272. ZIP CODE		273. NAME 274. CLUB 275. CITY 276. STATE 277. ZIP CODE	
278. NAME 279. CLUB 280. CITY 281. STATE 282. ZIP CODE		283. ADDRESS 284. CITY 285. STATE 286. ZIP CODE		287. NAME 288. CLUB 289. CITY 290. STATE 291. ZIP CODE	
292. NAME 293. CLUB 294. CITY 295. STATE 296. ZIP CODE		297. ADDRESS 298. CITY 299. STATE 300. ZIP CODE		299. NAME 300. CLUB 301. CITY 302. STATE 303. ZIP CODE	
304. NAME 305. CLUB 306. CITY 307. STATE 308. ZIP CODE		309. ADDRESS 310. CITY 311. STATE 312. ZIP CODE		313. NAME 314. CLUB 315. CITY 316. STATE 317. ZIP CODE	
318. NAME 319. CLUB 320. CITY 321. STATE 322. ZIP CODE		323. ADDRESS 324. CITY 325. STATE 326. ZIP CODE		327. NAME 3	

العمل في المخبر:

نأخذ قطعة من الخشب على شكل متوازي مستطيلات أبعادها: 60.75 , 60.75 , 107.42



نشكل زوايا إمالة السحب؛ وذلك بجعل السطوح مائلة نحو الداخل من الوسط ونحو الأطراف وذلك بعدما حسبنا γ وبالتالي تصبح القطعة كما في الشكل:



حيث يتم فعل ذلك عن طريق آلة الجليخ.

نقوم بثقّب الشكل ثقبين من أجل بروزات التثبيت، حيث نثقّب بمقدار يساوي نصف سماكة

المسبوكة ويزيد عليه مقدار 13 مم؛ أي: $60.57/2+15=45.285\text{mm}$

ثم نقوم بتشكيل الأعمدة التي سندخلها مكان الثقب حيث نأخذ عموداً من الخشب دائرياً أو

مربع المقطع، ونضعه في قطعة معدنية قاسية تحوي ثقوباً وبما أننا نريد عمود قطره 7 مم،

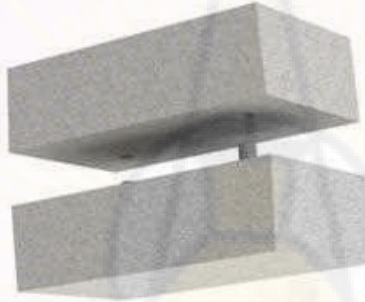
فإننا نضع العمود، ونطرقه في الفتحة ذات القطر نفسه حتى يصبح مقطعه العرضي دائرياً

بقطر 7 مم، وإذا كان قطر العمود كبيراً، فإننا ندرج في تصغيره من ثقّب لآخر للوصول إلى

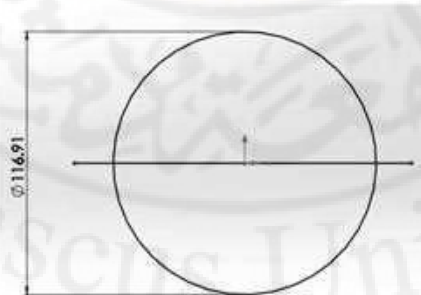
القطر المناسب.



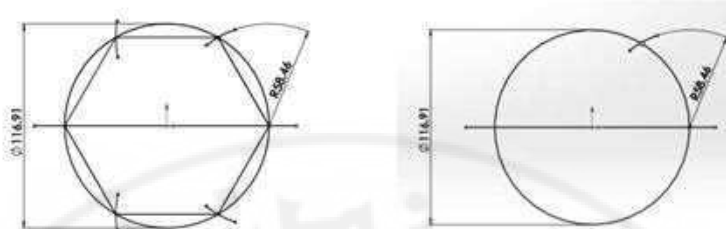
نقطع الشكل إلى جزئين متساويين ثم نشكل عمودين كل واحد منهما بطول 45.285 mm ومن ثم نثبتّه بالغراء، ويصبح شكل النموذج لدينا كما بالصورة:



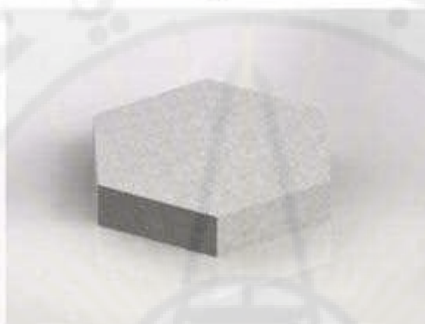
لتشكيل الشكل المسدس نأخذ قطعة من الخشب سماكتها 20.25 mm ثم نأخذ الفرجار، ونرسم على سطحها دائرة بقطر 116,11 مم، ومن ثم نرسم خطاً افقياً ماراً من مركزها.



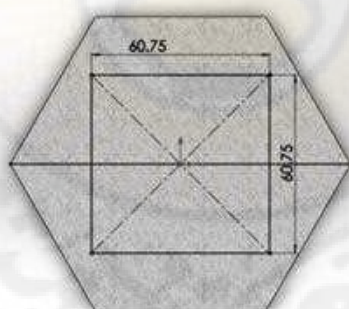
نبقى فتحة الفرجار على حالها، ومن نقطة تقاطع المستقيم مع الدائرة نرسم قوساً يلاقي الدائرة في نقطة أخرى، وهكذا حتى يتشكل المسدس معنا:



نقص قطعة الخشب حسب الرسم المتشكل لتصبح هكذا:



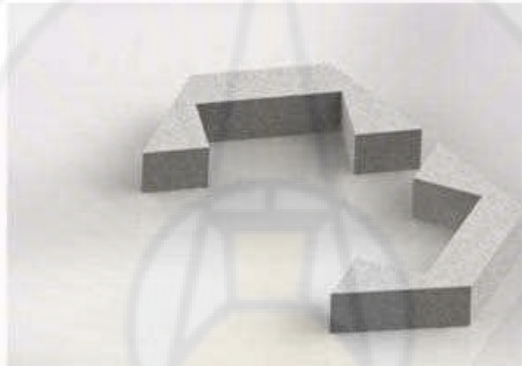
نرسم عليها المقطع العرضي للنموذج، وهو الشكل الذي سيتم إزالته منها:



ثم نقطع هذه القطعة ذات الشكل المسدس إلى قطعتين متساويتين، كما في الصورة، وذلك باستخدام المنشار الكهربائي:



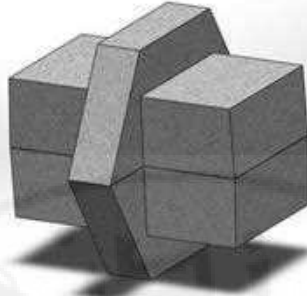
وباستخدام المنشار نفسه نقطع الشكل الذي رسمناه على سطحها لنحصل على الشكلين الآتيين:



نأخذ هاتين القطعتين ونركبهما على جسم النموذج الذي حصلنا عليه سابقاً وقطعناه إلى جزئين متساويين:



وباستخدام الغراء نلصقهما لنحصل على الشكل:



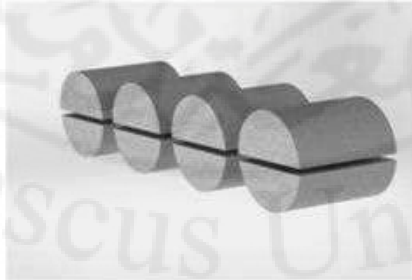
اما الآن فنحن بحاجة لتشكيل ركائز النواة التي يبلغ طول كل واحدة منها 30 مم. نأخذ قطعة من الخشب ونضعها في المخرطة ونشكل عموداً بطول 120 مم وبقطر 30.61 مم. نقسم العمود الناتج إلى أربعة أقسام بطول 30 مم.

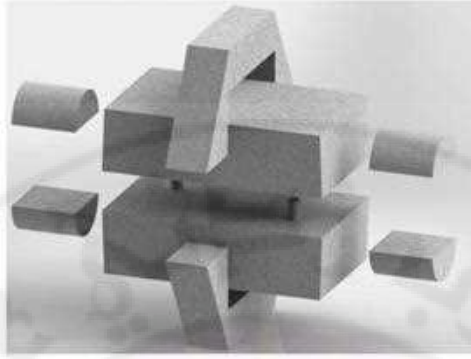


وبما أننا سنقص الشكل إلى قطعتين متساويتين آخذين بالحسبان أن شفرة المنشار ستزيل سماكة ما يقارب 2 مم منها؛ لذا نأخذ الخط الذي سنقص حسبه بحيث يبعد 1 مم عن قطر الأسطوانة.

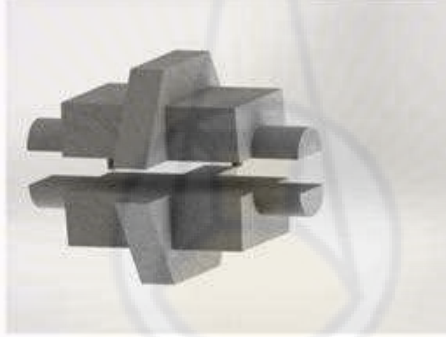


أي إن كل أسطوانة ستعطينا نصف واحدة؛ وبالتالي نحن بحاجة إلى أربع أسطوانات:

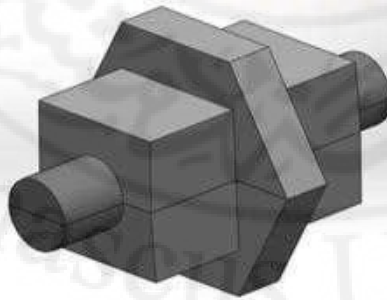




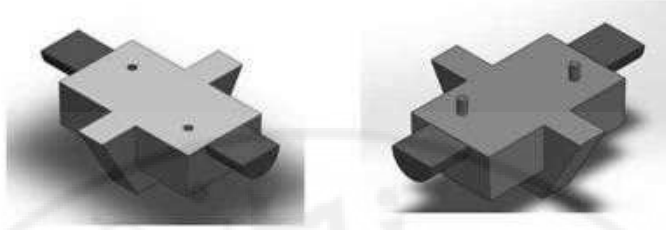
أصبحت كل قطع النموذج جاهزة، وأصبح بإمكاننا تركيبها وذلك بواسطة الغراء:



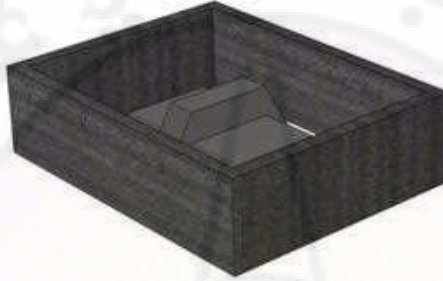
وبعد أن أصبح النموذج بهذا الشكل قمنا ببرده باستخدام ورق التبريد حتى يصبح سطحه ناعماً ثم دهناه باستخدام لونين الأصفر والأحمر.



أصبح لدينا النموذج جاهزاً وهو عبارة عن نصفين متساويين ولكن أحدهما يحوي بروزات من الداخل والآخر ثقب:



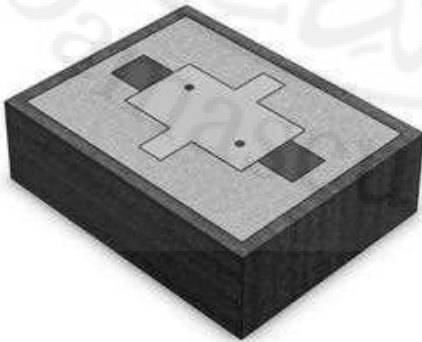
أخذنا الجزء الذي يحوي ثقوباً ووضعناه ضمن إطار خشبي، كما في الصورة:



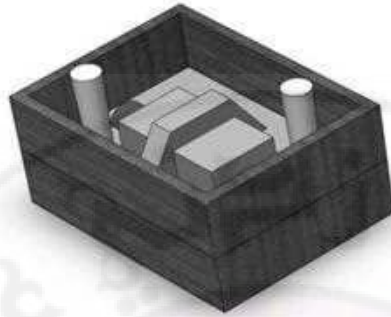
وضعنا عليه طبقة رقيقة من مسحوق ناعم أبيض لسهولة سحبه من الرمال ومن ثم وضعنا فوقه رمال السبابة باستخدام الغريال، وقمنا بدكه، واستمررنا في هذه العملية حتى الامتلاء، وسحبنا الرمل الزائد بمسطرة مستوية.



ومن ثم قلبناه ليظهر بالشكل الآتي:



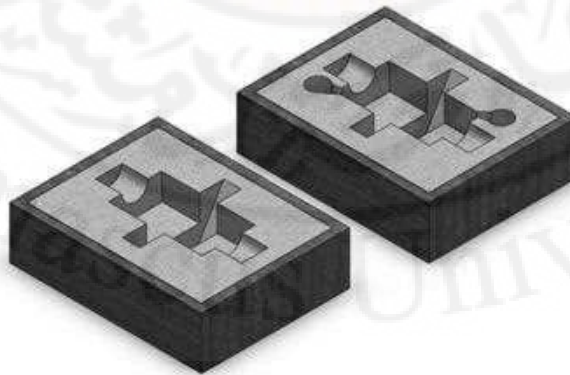
وضعنا النصف الآخر من النموذج منطبقاً على النصف الأول ثم وضعنا الإطار معه،
ووضعنا قنوات الصب:



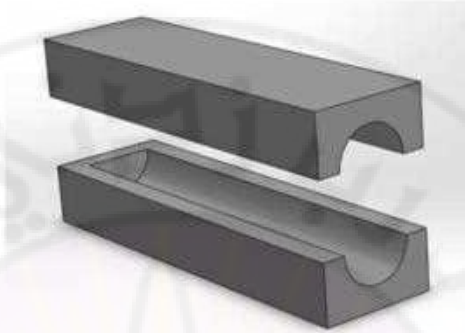
وهنا عدنا ووضعنا المسحوق الأبيض، ومن ثم بدأنا بوضع الرمال ودكها حتى امتلاء
القالب الثاني:



ثم فتحنا قناتين: إحداها تسمح للمعدن المنصهر بالوصول إلى قالب الصب؛ ليملأ الفراغ
الذي شكله النموذج والأخرى تسمح له بالخروج عند امتلاء القالب:



الآن ننتقل لتشكيل النواة الرملية: نضع الرمال في قطعة معدنية مفرغة من الداخل على شكل أسطوانة ذات قطر معين، ويمكن فكها إلى جزئين منفصلين:



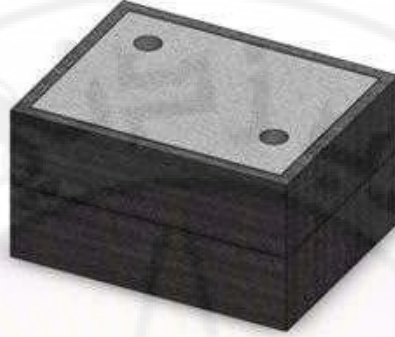
وهنا اخترنا قطعة معدنية مجوفة من الداخل بشكل أسطوانة ذات قطر 30 مم، وقمنا بملئها بالرمل ودكها حتى أصبح طول الرمال داخلها 167.42 مم. ثم فصلنا الجزئين و أخرجنا الأسطوانة الرملية:



وضعنا النواة الرملية في مكانها ضمن القالب الرملي السفلي:



ثم وضعنا فوقه القالب الرملي العلوي ثم نقبناه بالدبوس ثقباً صغيرة لخروج الهواء من الجزء العلوي في أثناء عملية صب المعدن. وأصبح القالب جاهزاً للصب....



الصورة توضح التجويف المتشكل ضمن القالب - مقطع مائل للشكل -



حساب وزن المسبوكة الناتجة:

أدخلنا شكل المسبوكة مع الأبعاد إلى الحاسب، وعددناها مصنوعة من معدن الألمنيوم، فأعطانا النتائج الآتية:

Mass = 985.48 grams

Volume = 364993.81 cubic millimeters

Surface area = 52520.06 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 0.00

Y = 0.00

Z = 50.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (grams * square millimeters)

Taken at the center of mass.

Ix = (0.00, 0.00, 1.00) Px = 1076301.70

Iy = (0.00, -1.00, 0.00) Py = 1140783.94

Iz = (1.00, 0.00, 0.00) Pz = 1140783.94

وإذا أردنا حسابها يدوياً، فإن كثافة الألمنيوم، هي: $0.0027 \text{ gr} / \text{mm}^3$

وكون حجم الشكل: 364993.81 mm^3

وبما أن الكتلة هي الكثافة مضروبة بالحجم، فإن كتلة مسبوكتنا تكون:

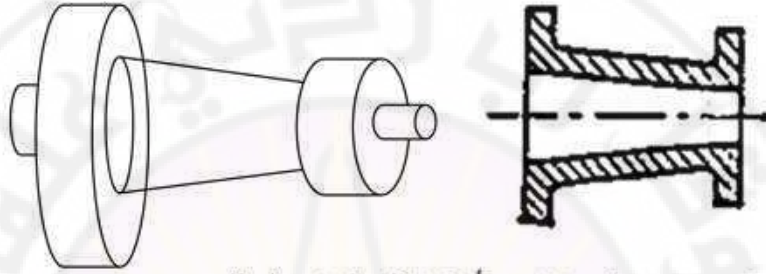
$$364993.81 * 0.0027 = 985.48 \text{ gram}$$

مثال آخر لسباكة منتج:

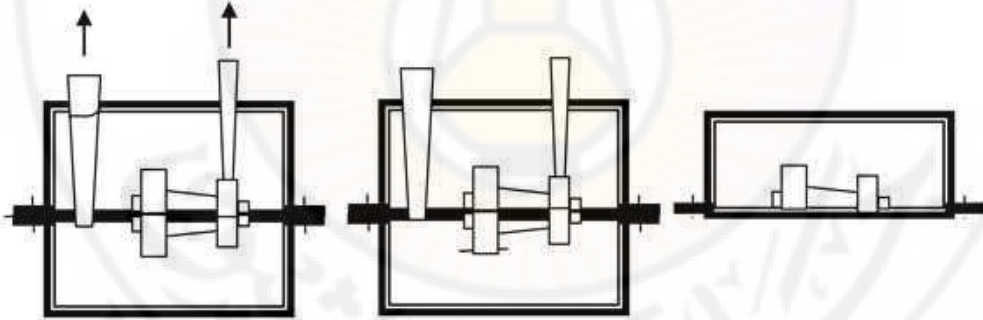
يراد إنتاج المسبوكة المبينة بالشكل. والمطلوب:

a- تصميم النموذج الخشبي المستخدم في تشكيل القالب الرمل (بالرسم فقط).

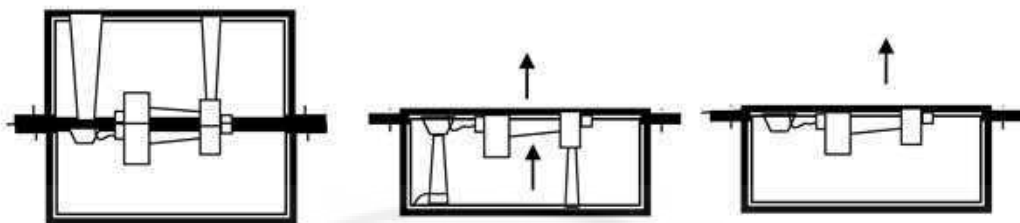
b- ارسم مراحل تشكيل القالب الرمل المستخدم لإنتاج المسبوكة مع تسمية كل مرحلة.



نقوم بتحضير نموذج خشبي يأخذ شكل المنتج المطلوب مع وجود بعض الإضافات عليه، مثل: حاملات للنوى، وتسامحات الانكماش، وتسامحات التشغيل الميكانيكي و...، بحيث يأخذ الشكل التالي، وهو مؤلف من جزئين؛ لنتمكن من إعداده بالقالب الرمل:



- نقوم بتحضير النصف السفلي للنموذج (رقم 1)، وذلك بوضع السطح المستوي منه على سطح الطاولة، ومن ثم قلب الريزك (الجزء السفلي من الريزك) بزاوية 180° ، ووضعه كما بالشكل وبعدها نرش فوق القطعة (1) رمالاً ناعمة أو هباب الفحم؛ ليعطي سطحاً أملس ناعماً لتجفيف القالب وبعدها الإملاء بالرمال الناعم مع الدك (طبعاً بعد إعداد الرمال جيداً، وإضافة نسبة (5-8)% ماء إليها لإعطائها تماسكاً جيداً بين حبيبات الرمل.



- نقوم بقلب النصف السفلي لل قالب، ليركب عليه النصف العلوي لل قالب (الريزك العلوي). ووضع ضمنه النموذج (رقم 2) والمساعد وقناة الصب الرئيسية التي من خلال فتحها يتم إملء فجوة القالب بالمعدن المنصهر وهي تأخذ شكلاً مخروطياً لتفادي حصول اضطراب بالمعدن المنصهر في أثناء دخوله. أما المساعد أو الصواعد Risers فمهمتهم هي تأمين منفث للغازات الناتجة عن المعدن المنصهر وتعد كخزان تعوض النقص بالمعدن في أثناء تجمده نتيجة الانكماش؛ وبالتالي فهي آخر نقطة يبقى المعدن فيها بحالة سيولة بعد امتلاء القالب.
- نعمل قمع الصب ثم نرفع المساعد وقناة الصب الرئيسية.
- نقوم بفصل جزئي القالب ووضعهما على الطاولة - كما هو موضح بالشكل - ونقوم برفع جزئي النموذج الخشبي منهما وبالتالي تتشكل لدينا فجوة القالب. ونضع النواة في مكانها داخل النصف السفلي لل قالب.
- تركيب النصف العلوي لل قالب على النصف السفلي (فقل القالب) ونضع أوزاناً عند صب القطع الكبيرة لمقاومة قوة رفع المعدن.
- صب المعدن المصهور ضمن القالب، والانتظار حتى يتجمد المعدن ثم نقوم بتكسير القالب الزملي ورفع المسكوبة.
- تهذيب وتنظيف وعمليات تشغيلية لاحقة للمسبوكة بهدف الحصول على المنتج النهائي.

2-3: فحص المسبوكات وتفقيشها:

فحص المسبوكات: هي عملية التأكد من مطابقة هذه المسبوكات للمواصفات الفنية التي يشترطها المستهلك أو للظروف والشروط الاستثمارية بشكل عام، والمواصفات الفنية

عبارة عن بيان موجز لمجموعة المتطلبات التي ينبغي تحقيقها في منتج ما مع إيضاح الطريقة التي يمكن بها التحقق من استيفاء هذه المتطلبات كلما كان ذلك ممكناً. يتفاوت تفتيش المسبوكات من ملاحظة الشكل الخارجي إلى الدراسة الشعاعية (الراديوغرافية) الكاملة للمسبوكات جميعها، ودراسة التحليل الميكروسكوبي لمعرفة بنية المعادن والسبائك وتحديد حجم الحبيبات وشكلها، ووجود العيوب، وطبيعة المعالجة الحرارية وتحديد مكونات السبيكة... إلخ. وسواء كان المفتش يعمل لحساب المسابك أو لحساب المستهلك، فهو يمثل في حقيقة الأمر جودة المنتج. ومن مهامه رفض المسبوكات جميعها التي لا تطابق المواصفات الفنية للقطعة المنتجة وهي التي بالنتيجة سيرفضها المستهلك.

يجب أن يتمتع مفتش الجودة بما يأتي:

1. أن يكون على اطلاع كامل بالمواصفات الفنية للمسبوكات، ورغبات المستهلك، والشروط والظروف الاستثمارية للمسبوكات المنتجة.
2. أن يكون واسع الإلمام بطبيعة العيوب وسببها في المسبوكات، ومواطن احتمال حدوثها.
3. أن يعرف كيف يربط ويقدر الظروف والإمكانات جميعها التي تحت تصرفه، ويبت بقرارات واضحة ومعقولة متخذاً موقفاً متعاوناً مع كل من المستهلك والمنتج.

2-3-1: طرائق كشف عيوب المسبوكات:

يقسم التفتيش على المسبوكات إلى:

أ- تفتيش إتلافي.

ب- تفتيش غير إتلافي.

أ- تقتطع بالمنشار في أسلوب التفتيش الإتلافي من المسبوك أو من المسبوكات نماذج تستخدم كعينات لفحص المسبوكات من حيث العيوب الداخلية، ويتوقف نجاح هذه العملية على خبرة المفتش ومقدرته على استنتاج المواقع الأكثر احتمالاً لوجود العيوب بها.

هذه الطريقة ليست يقينية بأي حال من الأحوال؛ لأن المسبوك المننقى قد لا يمثل متوسط المسبوكات، وإن كثيراً من المسبوكات قد تقبل، وكأنها جيدة قبل اكتشاف العيوب فيها.

ب- استخدامات الاختبارات غير الإتلافية NDT:

إن من أهم استخدامات NDT، هي:

- 1- اكتشاف موقع الشقوق وتقدير حجمها.
- 2- اكتشاف أماكن التسريبات.
- 3- اكتشاف البنية البلورية.
- 4- معرفة حالة الاجهادات والانفعالات وقياسها.
- 5- معرفة حالة المواد وتحديد التركيب الكيميائي.
- 6- معرفة القياسات والأبعاد.
- 7- تقدير بعض الخواص الفيزيائية والميكانيكية.
- 8- تستخدم للمساعدة في عمليات التطوير.
- 9- تستخدم في تصنيف المواد الواردة.
- 10- تستخدم للتحكم بعمليات الإنتاج.
- 11- تستخدم للتحقق من صحة عمليات التجميع.
- 12- تستخدم للتحقق من صحة عمليات الإنتاج (وخاصة بعد المعالجة الحرارية)
- 13- وتستخدم لاكتشاف، وتحري الأخطاء في أثناء العمل.

ج- تضم أساليب التفتيش غير الإتلافية الطرائق الآتية:

- 1- المشاهدة والفحص البصري.
- 2- اختبارات الصوت.
- 3- اختبارات الأمواج الصوتية.
- 4- اختبارات الضغط الهيدروستاتيكي.
- 5- التوصيل الكهربائي.

6- التفقيش بالدقائق المغناطيسية.

7- النفاذات.

1- الاختبارات البصرية:

تتعرض المسبوكات جميعها في أثناء تنظيفها لفحص بصري مهمته استبعاد المسبوكات المعيبة جميعها التي عيبتها ظاهر، والفحص البصري يجنبنا تكاليف التشغيل المرتفعة التالية؛ لذا تفحص المسبوكات من حيث صلابتها وخلوها من البخبة والفجوات كأن يستعمل المفتش مبرداً عادياً يدفعه على سطح المسبوك شوطاً واحداً؛ ليعطيه فكرة عن مدى صلابته، كما تفحص المسبوكات أيضاً من حيث الزعانف والزوائد وحوامل القلوب. غالباً ما تظهر على سطح المسبوك فتحة غاز كبيرة أو تقلص حجمي ضخم على هيئة ثقب صغيرة يبدو وكأنه فراغ صغير غير ضار، غير أن من الأسلم أن تختبر مثل هذه الفراغات بطرف سلك معدني لتحديد أعماقها ومقاساتها. الشكل (2-4).

وقد يكشف عن العيوب التي تحت السطوح بطرق المسبوك بمطرقة أو (شاكوش) مدبب، فإذا ما كان العيب مستوراً بقشرة رقيقة غاص الطرف المدبب للمطرقة في المسبوك مهشماً هذه القشرة، أما إذا كانت القشرة سميكة ولم تنكسر، فإن صوت الصدمة قد يدل على عدم استمرار المعدن في المسبوك.



الشكل (2-4): تفقيش المسبوكات بالفحص البصري.

2- اختبارات الصوت بصدمة من مطرقة:

تتلخص اختبارات الصوت بأن يعلق المسبوك إلى خطاف، ويطرق بمطرقة أو شاكوش صغيرة ثم تقارن درجة أو نوع نغمة صوت المسبوك الخاضعة للاختبارات بمثلتها في مسبوك تالف.

تعطي هذه الطريقة فكرة عن عدم الاستمرار الكبير للمعدن، ولكن لا يعتمد عليها اعتماداً كلياً؛ نظراً إلى أن أي شرخ في اتجاه ما في المسبوك قد لا يحدث تغييراً كبيراً في طول موجة الصوت من ثم لا يعطي اختلافاً في النغمة، كما أن عوامل مختلفة، مثل التعقيد في التصميم، وتركيب البنية البلورية يمكن أن تعمل على تبديل النغمة. يضاف إلى ما سبق أنه باستعمال هذه الطريقة قد يشتبه بعيب إلا أن من الصعب تحديد مدى هذا العيب والحكم على تأثيره الضار في وظيفة المسبوك، يتم هذا النوع من الاختبارات باحتراس شديد وإلا نشأ عنه تلف في المسبوكات السليمة ولهذا يصعب تطبيق مثل هذه الطريقة.

3: اختبار الضغط الهيدروستاتيكي:

يستعمل الماء والهواء والبخار في اختبار التسرب في كثير من المسبوكات، مثل: الوصلات والصمامات وغيرها، ومع أن الاختبار يكشف، ويحدد في الحال مكان التسرب الموجود إلا أنه لا يؤكد أن التسرب قد لا يحدث فيما بعد عند استعمال المسبوك. إذاً قد لا تمتد الشروخ الخيطية في المقطع حالياً، إلا أنها قد تنمو عند استعمال المسبوك، ويتعاطم خطرهما.

يفضل الاختبار باستعمال البخار على الاختبار باستعمال الماء؛ لأن البخار يؤدي إلى نمو الشروخ بسبب التمدد، ولكي نتجنب الحوادث نختبر المسبوكات بالماء أولاً، ثم يعاد اختبارها بالبخار.

4: اختبار نفاذ السوائل:

تتلخص هذه الطريقة بأن يدهن سطح المسبوك بزيت نفاذ، ويترك لمدة معينة، فيتسرب الزيت بتأثير الخاصية الشعرية إلى الشروخ إن وجدت، ينظف سطح المسبوك من الزيت

بعدئذ ثم يوضع جانباً للفحص، فإذا ما وجدت الشروخ، فإن الزيت ينز باتجاه عكسي عبر الشرخ مظهراً مكان العيب، ولكي تساعد على كشف العيب بشكل واضح يدهن المسبوك بعد تنظيف سطحه من الزيت بدهان أبيض أو بمسحوق الطاق، وعندما ينز الزيت للخارج، فإن طبقة الدهان تمتصه وتغير لونها دالة على وجود العيب.

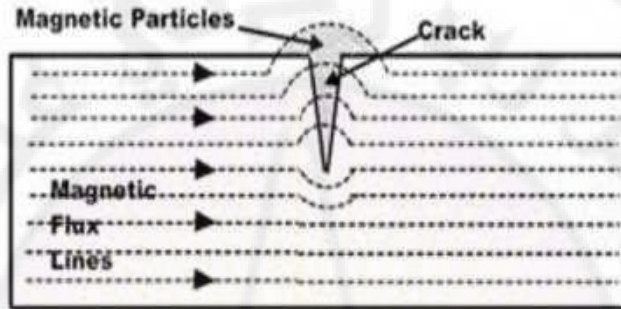
5: التفتيش بالدقائق المغناطيسية:

من المعروف أنه كلما كانت البنية البلورية للمسبوك جيدة ومتجانسة ومعدنه مستمراً كانت نفاذية المسبوك للمغناطيسية جيدة، والعكس صحيح؛ لأن عدم الاستمرار في معدن المسبوك ووجود العيوب فيه يقلل من نفاذه للمغناطيسية، فإذا ما عرض مسبوك خال من العيوب لمجال مغناطيسي، فإن خطوط الطيف المغناطيسي تجتاز معدن المسبوك متوزعة بانتظام. أما في حال وجود عدم استمرار في معدنه كوجود الشروخ أو الفجوات فإن خطوط الطيف تتركز حول حدود العيب متجنبته عبوره. وعلى هذا الأساس عندما تنتثر برادة الحديد في مسار مجال مغناطيسي تصطف الدقائق المغناطيسية في اتجاه خطوط القوى وتوزع نفسها بشكل يتناسب مع شدة تركيز هذه الخطوط، فإذا وجد عيب في المسبوك، فإن الدقائق تتركز حول منطقة العيب، وتعمل على إحاطتها بغير انتظام (لاحظ الشكل 2-5) تمغنط المسبوكات بطرائق مباشرة أو غير مباشرة، ففي الطريقة غير المباشرة يوضع المسبوك بين قطبي مغناطيسيين أو يحاط بملف يغذى بتيار ثابت أو يلف حوله سلك مرن، ويعمل المسبوك في هذه الحالة عمل القلب الحديدي للمغناطيس الكهربائي، أما في الطريقة المباشرة، فيمغنط المسبوك كلياً بإمرار تيار كهربائي فيه، ويمكن التحكم باتجاه المجال في هذه الحالة بالتوقيع المناسب لنقط التلامس على المسبوك حتى يمر التيار في الاتجاه المختار، تكون خطوط المجال مساراً دائرياً في مستو عمودي على خط انسياب التيار؛ أي بما يشبه المجال المغناطيسي الذي ينشأ حول سلك ناقل للتيار، لاحظ الشكل (2-6).

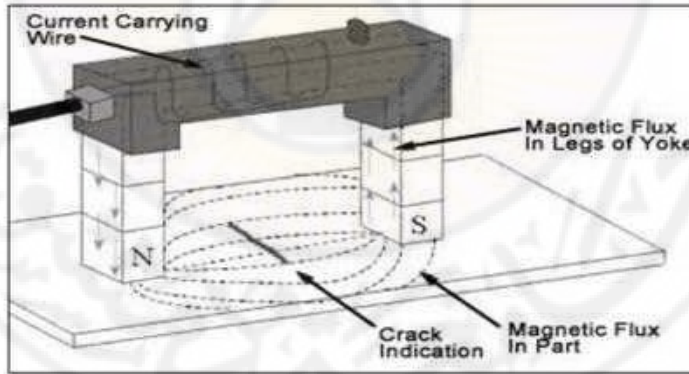
يلون مسحوق الحديد المستخدم باللون الأحمر، ويمكن أن يكون جافاً أو رطباً، فالمسحوق الجاف يوضع على السطوح الأفقية بمساعدة هزاز يدوي، وعلى السطوح

الرأسية بمساعدة منفاخ أنبوبي، أما المسحوق الرطب، فيرش أو يصب مباشرة على السطح.

عدا ذلك يمكن أن يكون المسحوق معلقاً في سوائل، مثل: الكيروسين أو الغازولين أو ثالث كلوريد الكربون، إلا أن الكيروسين والغازولين يتعرضان لأخطار الحريق، أما ثالث كلوريد الكربون فهو سام.



الشكل (2-5): تفتيش المسبوكات بالدقائق المغناطيسية (الطريقة غير المباشرة).
يظهر بالشكل: برادة الحديد، خطوط المجال، تسرب المجال، العيب.

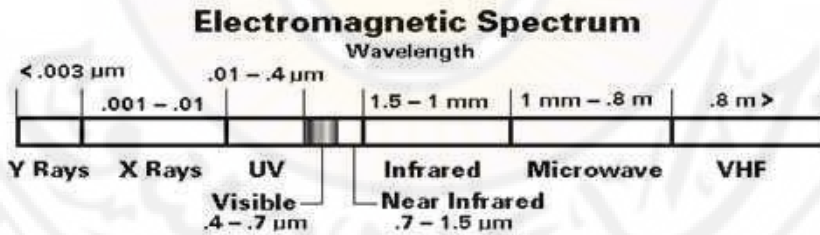


الشكل (2-6): تفتيش المسبوكات بالدقائق المغناطيسية (الطريقة المباشرة)
يظهر بالشكل: برادة الحديد، وتسرب المجال، ومسار خطوط المجال، واتجاه التيار.

6: الفحص الراديوجرافي:

يعتمد الفحص الراديوجرافي على بعض خواص المواد كالشفافية والإعتام، فالمواد الشفافة هي المواد التي يمر خلالها الضوء دون أن يمتص، ويعبر عن درجة الشفافية للمواد بقابلية العين البشرية لكشف الأجسام خلالها، وتتوقف درجة الشفافية على مقدار الضوء الذي يمر خلال المادة دون أن يمتص أو ينكسر، وقد كشف عن أشعة كهرومغناطيسية لها خواص تشبه خواص أشعة الضوء التي تقع أطوال موجاتها خارج مدى حساسية الإنسان إلا أن طول موجات الأشعة الكهرومغناطيسية أقل من تلك التي للضوء، تخترق الأشعة الكهرومغناطيسية المواد المعتمدة (بالنسبة للضوء) وتزداد قدراتها على الاختراق كلما قلت أطوال موجاتها.

وتختلف قدرة الأشعة على اختراق المواد باختلاف كثافتها أيضاً، فيتطلب الفولاذ عند التفتيش الراديوجرافي موجات أقصر من التي تلزم للألمنيوم أو المغنيزيوم، ويمكن تصنيف الإشعاعات الكهرومغناطيسية المختلفة حسب أطوال موجاتها، كما هو مبين على الشكل (2-7)، ويفضل في التفتيش الراديوجرافي استعمال أشعة (X) أو أشعة جاما (γ)

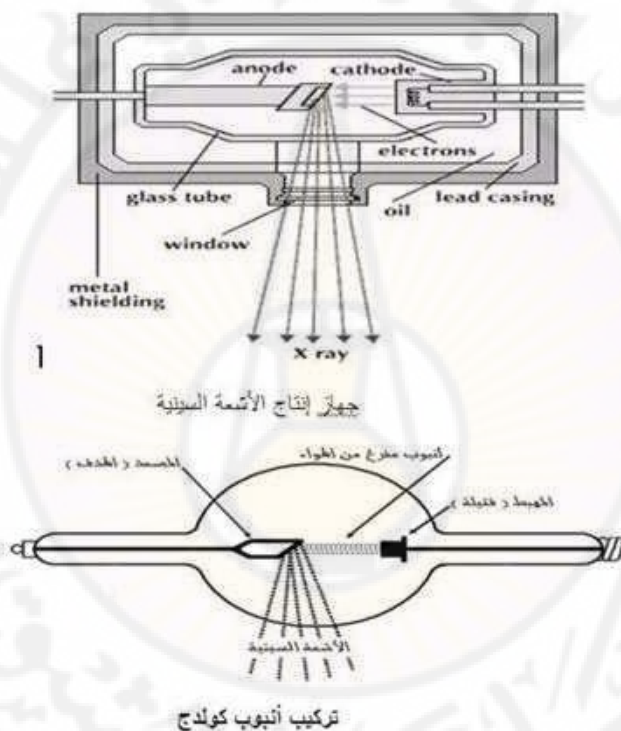


الشكل (2-7): تصنيف الإشعاعات الكهرومغناطيسية حسب أطوالها.

مبدأ توليد أشعة (X):

يتألف جهاز توليد أشعة (X) من عنصرين نحاسيين، أحدهما: سالب، والآخر موجب موجودان في أنبوبة مفرغة الشكل (2-8)، يوضع في العنصر السالب ملف حراري، ويوضع في العنصر الموجب من التتجستين، عندما يسخن الملف كهربائياً تندفع كمية من الإلكترونات ذات الشحنة السالبة من القطب السالب نحو القطب الموجب،

وباصطدام هذه الإلكترونات بمعدن التجسّست تَقف عن الحركة، وتتحول معظم طاقتها إلى طاقة حرارية تبدد من خلال زعانف التبريد، أما باقي الطاقة، فتتحول إلى موجات كهرومغناطيسية تسمى عادة أشعة (X)، تمر هذه الموجات خلال فتحة الأنبوبة وتكون شعاع (X) المضيء ذي الفائدة، بينما تمتص باقي الموجات المبعثرة بالقطين السالب والموجب والغطاء الرصاصي الذي يحيط بالأنبوبة:



الشكل (2-8): جهاز توليد أشعة (X).

وتتناسب شدة شعاع (X) مع كمية التيار المار في الملف الحراري الذي ينتج عنه زيادة في عدد الإلكترونات المتدفقة، ومن ثم تركيز في أشعة (X). أما طول موجة الشعاع، فيتناسب عكسياً مع الجهد المؤثر في القطبين.

ونظراً إلى أن الفراغ لا يعيق اختراق الأشعة، فإن مقداراً أكبر منها يمر في المسبوك المعيب عند موقع العيب إذا ما عرض لها، ويتبع ذلك أن جزء الشاشة (أو اللوح) المقابل للعيب يتعرض أكثر من باقي الشاشة، ويعطي صورة مختلفة.

وبما أن المسبوكات نادراً ما تكون منتظمة السماكة أو المقطع، فإنه يلجأ إلى زيادة الجهد لمنع تعرض القطاعات الرقيقة، وقلة تعرض القطاعات السميكة (القدرة على الاختراق تتناسب مع قصر الموجة ومع زيادة الجهد).

وعندما لا تتوفر ماكينة ذات جهد مرتفع، فإن القطاعات الرقيقة تغطي بطبقة معينة من الرصاص لتخفيف الأشعة النافذة؛ ولتعطي تعرضاً منتظماً.

ويتراوح جهد ماكينة أشعة (X) المستعملة في فحص مسبوكات الألمنيوم والماغنيزيوم من (3000-150000) فولت. ويتوقف ذلك على مقاس المسبوكات، فتستعمل في فحص مسبوكات الفولاذ التي تكون سماكتها حتى (50) مم ماكينات ذات جهد يتراوح بين (60000) إلى (250000) فولت. أما السماكات التي تصل إلى (125) مم، فتحتاج إلى ماكينات ذات جهد يبلغ حتى (1.000.000) فولت. كما أن السماكات التي تصل إلى (200) مم فتحتاج إلى جهد نحو (2.000.000) فولت. هذا وتستعمل حالياً ماكينات بجهد تتراوح من (10-20) مليون فولت.

أشعة جاما (γ):

تنتج أشعة (γ) عن تحليل الراديوم، ويعادل طول موجاتها طول موجات أشعة (X) الناتجة عن جهد قدره (1.5) مليون فولت، ونلقى صعوبة قليلة باستخدام أشعة (γ)؛ نظراً لقدرة الأشعة العالية على الاختراق، وهذا ما يجعل للمقاطع الرقيقة والسميكة التعرض نفسه؛ لذا نجد أن من السهولة التصوير بأشعة (γ) للمقاطع التي تتراوح من (25-100) م.

7: الاختبارات بالأمواج فوق صوتية Ultrasonic Testing:

تعد من أهم طرق الاختبارات غير الإتلافية، ويعتمد مبدأ هذه الطريقة بشكل أساسي على انعكاس الأمواج فوق الصوتية عند الحدود الفاصلة للأطراف القطعة أو حدود الأخطاء

والانقطاعات وعبر متابعة مسير الأمواج وانعكاساتها، وبواسطة مجسات خاصة نستطيع تشخيص الخطأ بدقة ومعرفة شكله، وطبيعته وأبعاده.

إن هذه الموجات فوق الصوتية هي موجات ميكانيكية (أو صوتية) عالية التردد، وتستخدم في الطب والصناعة بتوسع، ويتم توليد هذه الموجات من بلورات خاصة، تسمى ببلورات بيزوالكترية، وهي تحول الطاقة الكهربائية إلى صوتية وبالعكس. فعندما يطبق على هذه البلورات نبضات كهربائية تحولها إلى نبضات ميكانيكية، مثل: الصوت، ولكن لا يسمعها الإنسان، لأنها عالية التردد، و تنفذ هذه النبضات الميكانيكية داخل المعدن وعندما تصادف جسماً غريباً، مثل: الهواء أو الخبث أو الشروخ تنعكس من هذه العيوب، وترجع إلى البلورة التي تحولها إلى نبضة كهربائية يحس بها جهاز الموجات فوق الصوتية وتظهر على شكل إشارة على الشاشة، وتحليل هذه الإشارة يمكن معرفة نوع العيب ومكانه، كما هو مبين بالشكل (2-9).

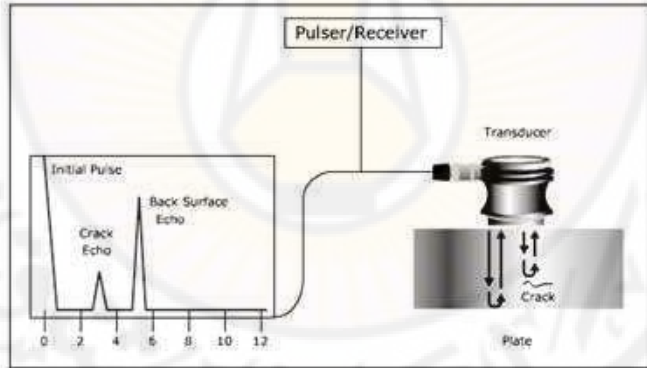
تستخدم هذه الطريقة بشكل كبير في الكشف على عيوب المنتجات وأجزاء السيارات، مثل: العمود المرفقي، والتروس، وغيرها، وكذلك على أجزاء القاطرات والماكينات واللحامات وغيرها.

• مميزات هذه الطريقة :

1. طريقة سهلة الاستخدام، وتعطي نتائج فورية ومباشرة.
2. يمكن كشف كلاً من الأخطاء السطحية والداخلية.
3. ذات دقة وفاعلية عالية، حيث يمكن اكتشاف عمق الانقطاع وأبعاده.
4. لا تسبب أي أضرار بالعامل أو البيئة وهي طريقة آمنة تماماً.
5. كما أنها تعطي نتائج ممتازة إذا كان المفتش متمكناً من مهنته، وعلى دراية نظرية وتطبيقية جيدة بها.
6. يمكن تطبيقها على المعادن كافة.
7. يمكن من خلالها قياس السماكة والأبعاد للقطع.
8. يمكن من خلالها تحديد خصائص الجسم المختبر الطبيعية والميكانيكية مثلاً معامل المرونة.

• مساوي هذه الطريقة :

1. تحتاج إلى مهارة وخبرة أكبر من بقية الطرق الأخرى.
2. يجب أن تكون القطع المختبرة قابلة لإرسال الأمواج فوق الصوتية.
3. تحتاج غالباً إلى وسيط ناقل للطاقة الصوتية بين المرسل والقطعة.
4. صعوبة فصل النتائج بين عمل المشغل وعمل محلل النتائج.
5. صعوبة إجراء الاختبار على المواد الخشنة والقطع غير منتظمة الشكل والقطع الصغيرة، والقطع ذات السماكة القليلة جداً أو غير منتظمة السماكة.
6. صعوبة إجراء الاختبار على حديد الصب وغيره من المواد ذات حجم الحبيبات الكبير. وذلك لأن الحجم الكبير للحبيبات يضعف من نفاذية الأمواج مما يؤدي إلى زيادة التشويش بشكل كبير.



الشكل (2-9): الاختبار بالأمواج فوق الصوتية.

مبادئ أساسية في الاختبارات بالأمواج فوق الصوتية:

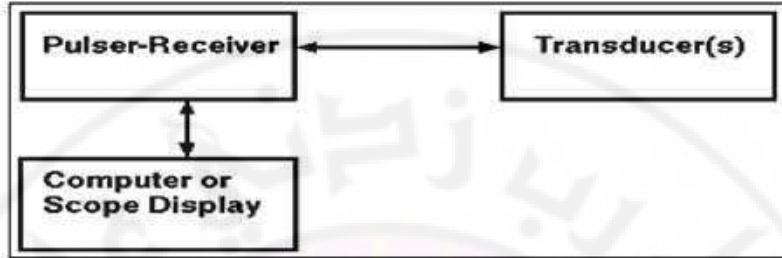
1- فكرة عامة عن الاختبار:

يتألف نظام الأمواج فوق الصوتية من مكونات أساسية هي:

- المرسل و المستقبل Pulser-Receiver

- محول الطاقة Transducers

- جهاز الإظهار والمعالجة Computer or Scope Display
والعلاقة بين هذه الأقسام موضحة بالشكل (10-2)



الشكل (10-2): العلاقة بين مكونات نظام الأمواج فوق الصوتية.

المرسل والمستقبل هو عبارة عن جهاز كهربائي يمكنه أن ينتج نبضة كهربائية ذات ترددات عالية ، وتبعاً للمرسل فإن جهاز تحويل الطاقة يولد أمواجاً فوق صوتية ذات ترددات عالية. تدخل الطاقة الصوتية المادة المختبرة على شكل أمواج وتنتشر فيها وعندما تواجه انقطاعاً في المادة (شق مثلاً)، فإن جزءاً من طاقة الأمواج سوف ينعكس عائداً من سطح الانقطاع، تحول إشارة الموجة المنعكسة بواسطة المستقبل إلى إشارة كهربائية، ويتم عرضها على الشاشة، ومن خلال حساب الزمن اللازم لعودة الإشارة إلى المستقبل يمكن تحديد بعد الانقطاع بدقة، كما في الشكل (9-2) السابق.

من دراسة الموجة العائدة بشكل أكثر تعمقاً يمكن معرفة شكل الانقطاع، وحجمه، وتوجهه، وطبيعته بدقة.

إن أساس الفحص والاختبار بالأمواج فوق الصوتية هو تحويل النبضات الكهربائية إلى اهتزازات ميكانيكية صادرة ثم تحويل الاهتزازات الميكانيكية الواردة إلى نبضات كهربائية.

2- المجسات (المسابر) Probes:

أنواع المجسات: يتم إنتاج المجسات بأشكال مختلفة قياسية، ويمكن الحصول على أشكال خاصة لتطبيقات معينة، ويجب اختيار المجس بعناية فائقة من أجل التطبيق المطلوب؛ وذلك للحصول على النتائج المثالية المرغوبة وفقاً لـ :

1- التردد الاسمي.

2- مجال التردد.

3- التركيز Focusing.

و يتم تصنيف أنماط المجسات تبعاً للاستخدام الى مجموعتين أساسيتين، هما: المجسات المستخدمة في عملية الفحص بالتماس، والمجسات المستخدمة في عملية الفحص بالغمس.

أ. مجسات التماس *contact Transducer* :

تستخدم عند الفحص بالتماس المباشر، وغالباً ما يتم استخدامها باليد، ويتم تغليف هذه المجسات في صندوق خارجي بحيث تقاوم ظروف الاستخدام التي تتطلب تماساً مباشراً مع أنماط المواد المختلفة.

هذه المجسات يجب أن تتوفر بتصاميم مناسبة للعمل اليدوي بحيث يسهل إمساكها وزلقها على القطع المختبرة، كما يتم تزويدها غالباً برقاقات خارجية للحماية، وهذه الرقاقات قابلة للتبديل لإطالة العمر الفعلي للمجس.

يمكن استخدام سوائل ازدواج مثل الماء أو الزيت أو بعض المستحضرات التجارية لإزالة الفجوة الهوائية المناسبة عند التلامس بين المجس والمادة المختبرة.

ب. مجسات مغموسة *Immersion Transducer* :

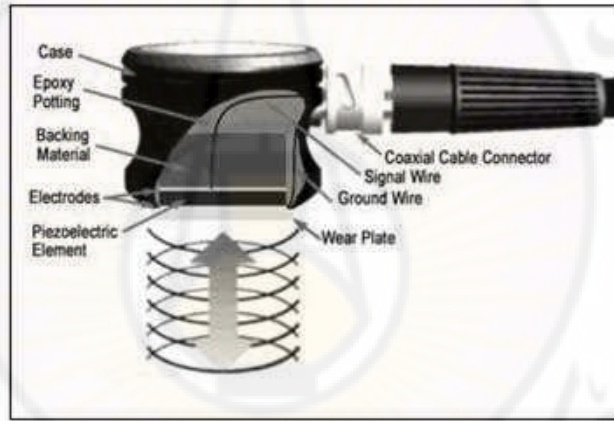
هذه المجسات تصمم للاستخدام دون تماس مع القطع المختبرة وذلك في ظروف غمس بالماء؛ لذلك فإن التوصيلات والقطع جميعها يجب أن تكون غير نفوذة للماء ومحكمة بشكل جيد وهذه المجسات تكون عادة مزودة بطبقة معاوقة صوتية وظيفتها هذه الطبقة هي تركيز الطاقة الداخلة إلى الماء؛ وبالتالي الطاقة المنقولة إلى القطعة المدروسة.

يتم تزويد هذه المجسات من قبل الشركات الصانعة وفق نمطين، فإما أن تكون مزودة بعدسات ذات محرق كروي أو محرق أسطواني حيث إن تزويد المجس بعدسة تركيز سيحسن من الحساسية، ويزيد من تركيز الشعاع الصوتي وفق المحور، وبذلك يقوم بتركيز الطاقة الصوتية وفق مساحة أصغر.

أشكال مجسات التماس: تصنع مجسات التماس وفق أشكال وترتيبات عدة، وذلك لزيادة الفعالية للتطبيقات المختلفة، وتحتوي معظم مجسات التماس على صفائح مقاومة للاهتراء تتوضع على سطح البلورة البيزوكهربائية؛ لحمايته ماعدا حالة استخدام بلورة كوارتز، و من أهم أشكال مجسات التماس:

آ - المجس القائم العادي *Normal Beam Transducer*:

يستخدم هذا المجس لإنتاج شعاع صوتي لفحص السطوح المستوية تقريباً، وإذا كان السطح منحنياً وغير مستو، فإن المجس يزود بملحقات خاصة؛ لإعطائه شكل نقوس السطح، و يبين الشكل (2-11) هذا النوع من المجسات.

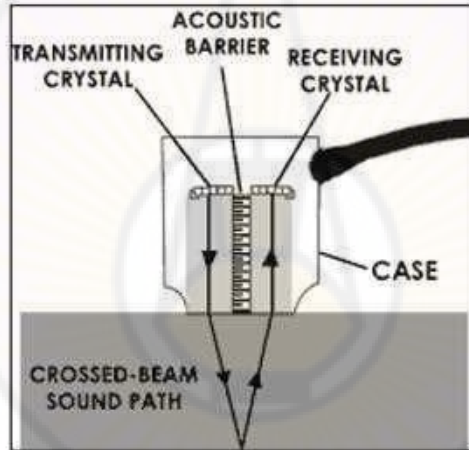


الشكل (2-11): مقطع في مجس قائم عادي

ب- المجسات ثنائية العنصر *Dual element transducers*:

يحتوي هذا المجس عادة على عنصرين حساسين يتوضع كل منهما في جزء منفصل عن المجس بحيث يرسل أحد العنصرين الأمواج، ويقوم الآخر باستقبالها. يمكن اختيار عنصري المجس وفق استطاعتهما للإرسال والاستقبال بحيث تحقق أقصى إشارة، ويمكن اختيار العنصرين لتوافق بعض التطبيقات الخاصة مثل استخدام المجس لاختبار القطع المصنعة من مواد ذات حبيبات خشنة.

إن المجس المزدوج يستطيع التغلب على ظاهرة الرنين التي يعاني منها المجس أحادي العنصر (المشكلة هذه تظهر في المجس أحادي العنصر) حيث إن المجس الذي يعمل وفق طريقة نبضة - صدى لا يستطيع استقبال الموجة المنعكسة إلا بعد أن يتوقف عن الرنين الناتج عن إصدار الموجة ، وبذلك فإن المجس ثنائي العنصر يصبح مثالياً لقياس أبعاد القطع صغيرة السماكة أو عند اكتشاف الأخطاء القريبة من السطح. يتم توضع كل من العنصرين بحيث يحدث انتقال للشعاع من العنصر الأول وفق زاوية معينة إلى القطعة المدروسة، ويعود بزاوية معاكسة إلى العنصر الثاني المستقبل، كما هو موضح بالشكل (2-12)

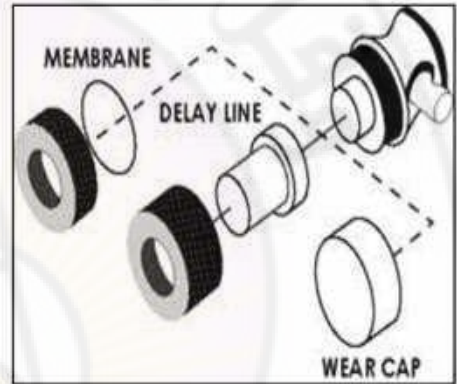
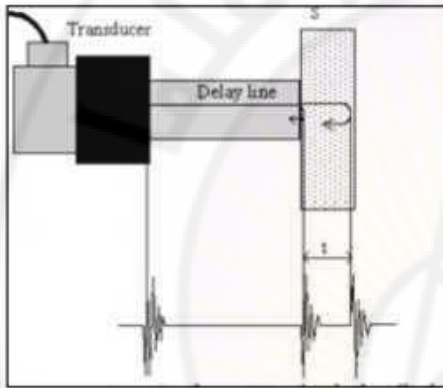


الشكل (2-12): مقطع عرضي في مجس ثنائي العنصر .

ج- المجسات ذات خط الإعاقة (التأخير) *Delay line Transducer*:

يتم تزويد هذه المجسات بملحقات مختلفة قابلة للتغير ، مثل : خط الإعاقة القابلة للتغير ، وسطح المطابقة مع السطح المدروس وأغطية مقاومة للتآكل والاهتزاز . هذه الإضافات تجعل من المجسات هذه صالحة للاستخدام وفق مجالات واسعة من التطبيقات. وكما هو واضح من اسم هذا النوع، فإن وظيفة مجسات الإعاقة هي توفير فترة إعاقة أو تأخير بين توليد الأمواج فوق الصوتية ووصول الأمواج المنعكسة. وهذا يضمن أن يقوم

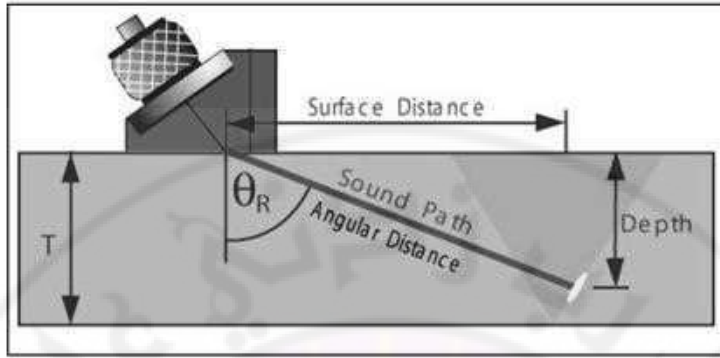
المجس بإكمال وظيفة إرسال الأمواج قبل أن يبدأ بوظيفة " الإصغاء " وبذلك فإننا نحسن من وظيفة الكشف بالقرب من السطح، كما هو مبين في الشكل (2-13).
تستخدم هذه المجسات في التطبيقات الخاصة مثل إيجاد الأبعاد الدقيقة للشرائح رقيقة السماكة كذلك في اختبارات المواد المركبة تفيد هذه المجسات أيضاً في مجال الاختبار تحت شروط صعبة، مثل: التطبيقات ذات درجات الحرارة العالية، حيث يسمح خط الإعاقه بتوفير العازلية الحرارية للعنصر الحساس.



الشكل (2-13): المجسات ذات خط التأخير.

هـ- المجسات المائلة (الزاوية) Angle beam transducers :

تستخدم هذه المجسات بحيث تنتشر حزمة من الأمواج العرضية المنكسرة ضمن المادة المختبرة وتزود هذه المجسات من قبل الشركات الصانعة إما على شكل مجسات ذات زوايا ثابتة معينة من قبل المنتج أو تكون على شكل مجسات ذات زوايا قابلة للضبط بإمكان المستخدم تغييرها للحصول على قيم زوايا ورود وانكسار مختلفة، كما هو مبين بالشكل (2-14).



الشكل (2-14): مجس مائل.

في المجسات الثابتة فإن المجس تكتب عليه زاوية انكسار ثابتة معينة، لكن هذه الزاوية تصلح فقط لنوع معين من المواد حيث يكون غالباً الفولاذ. تستخدم الأشعة الصوتية المائلة بزاوية من أجل اكتشاف الأخطاء الموجودة في الدرزة اللحامية، حيث تزيد هذه الطريقة من قابلية اكتشاف هذه الأخطاء، كما يمكن استخدامها من أجل توليد أمواج سطحية لاكتشاف الأخطاء السطحية في القطعة.

و- مجسات قائمة بأمواج عرضية Normal incidence shear wave transducers:

هذه المجسات تعدّ فريدة؛ لأنها تسمح بتوليد أمواج عرضية مباشرة في القطعة المختبرة ودون استخدام تقنية المجسات المائلة. إن التصميم الجيد للمجس يسمح بتوليد أمواج عرضية مع نسبة قليلة جداً من الأمواج الطولية بحيث لا يتجاوز مستواها في الغالب -30 dB.

ز- المجسات على شكل فرشاة Paint brush transducers :

تستخدم هذه المجسات في فحص الأماكن الكبيرة. يكون المجس مكوناً من مجموعة من المجسات الطويلة والرفيعة، حيث تصنع من مجموعة من البلورات الصغيرة، ويتم ربطها

معاً بحيث تحقق أقل قدر من الاهتزاز عند العمل، وبحيث يكون لها حساسية جيدة على كامل المنطقة التي تعمل عليها.

تسمح هذه المجسات باختبار مناطق أكبر بكثير وبسرعة أكبر لاكتشاف الأخطاء فيها حيث يتم تحديد الموقع بشكل عام ثم يتم استخدام مجسات ذات حساسية أكبر لتعيين الأخطاء بدقة أكبر.

3- الشكل العام للمجس وأجزاؤه الأساسية:

يتألف المجس بشكل أساسي من عنصر مصدر للأمواج (البلورة البيزوكهربائية) والتي تعمل على توليد الاهتزازات الميكانيكية (مجس مرسل)، أو تعمل على تحويل الاهتزازات الميكانيكية إلى نبضات كهربائية (مجس مستقبل) كما هو مبين بالشكل (2- 14) السابق.

تؤدي عوامل عدة أدواراً مهمة في عملية تصميم المجس تتضمن شروط التحميل الميكانيكي والكهربائي، والمادة المختبرة، والبنية الميكانيكية والكهربائية للمجس... الخ. وتشمل البنية الميكانيكية والكهربائية أموراً مختلفة، مثل: مساحة السطح الذي سينتشر عليه الاهتزاز، والتخميد الميكانيكي، والغطاء الواقي، والوصل إلى جهاز عرض بشاشة أو جهاز كمبيوتر...

البلورة (محول الطاقة) Transducers :

إن العنصر الفاعل هو قطعة من مادة قطبية (أي إن بعض الجزيئات فيها مشحونة بشحنة موجبة، وبعضها الآخر مشحونة بشحنة سالبة. وهذا العنصر الفاعل يوصل قطباه إلى إلكترودين يقومان بإيصال النبضات الكهربائية.

المبدأ الأساسي لهذه الفكرة هو أنه عند إخضاع هذه المادة إلى حقل كهربائي، فإن الجزيئات المشحونة ستضطر إلى الاصطفاف وفق الحقل الكهربائي المتشكل، وبذلك فإنها ستغير من أبعاد القطعة الأساسية، ومع تتابع تغير شكل القطعة تنشأ اهتزازات موافقة للترددات الكهربائية العالية المؤثرة على هذه البلورة، وتتولد الأمواج.

آ - مواد تصنيع البلورة:

إن محول الطاقة هو صميم نظام الاختبار بالأمواج فوق الصوتية. تصنع بلورة محول الطاقة من مادة بيزوكهربائية مثل الكوارتز أو سلفات الليثيوم أو أنواع السيراميك القطبي. الكوارتز : هو أول المواد المستخدمة في محولات الطاقة، يولد ترددات مستقرة جداً، لكنه مولد سيئ للطاقة الصوتية، وحالياً تم استبداله بشكل عام بمواد أكثر مردوداً. سلفات الليثيوم: تعد أحد أكثر المواد مردوداً من حيث استقبال الأمواج، لكنها سهلة الكسر وقابلة للانحلال في الماء، كما أنها صعبة الاستخدام في درجات الحرارة أقل من 74°C .

السيراميك القطبي: يعد أحد أكثر المواد مردوداً من حيث توليد الطاقة الصوتية، لكنه يميل إلى الاهتراء، وتتضمن عائلة السيراميك القطبي تيتانات الباريوم، وميتانيوبات الرصاص Lead Metaniobate، وزكونات الرصاص أو تيتانات الرصاص.

ب - المقادير التي توصف استطاعة محول الطاقة :

يمكن توصيف استطاعة محول الطاقة من خلال ثلاثة مصطلحات:

- 1- الحساسية : هي القدرة على اكتشاف الانقطاعات الصغيرة.
- 2- الدقة (التباين): القدرة على الفصل بين انعكاسين لخطأين متقاربين من حيث العمق أو زمن الارتداد.
- 3- المردود: فاعلية تحويل الطاقة.

أولاً: الحساسية Sensitivity :

هي قدرة المحول على اكتشاف قياس محدد لتقّب موجود ضمن كتلة مرجعية قياسية. كلما صغر التقّب المكتشف ازدادت الحساسية. تقاس الحساسية بواسطة سعة الاهتزاز المنعكس عن انقطاع صناعي في الكتلة المرجعية القياسية، إن هذه الكتلة ضرورية جداً، حيث إنه حتى المجسات المصنعة من المواد نفسها و الحجم والتردد نفسهما، لا تعطي دوماً سعة الإشارة المنعكسة نفسها عن العاكس نفسه.

ثانياً: الدقة Resolution:

هي القدرة على الفصل أو التمييز بين انعكاس الأمواج عن انقطاع قريب من حدود القطعة أو بين انقطاعين قريبين من بعضهما في العمق والزمن.

ج- العوامل التي تحدد خواص محول الطاقة:

أولاً: حجم البلورة:

إن حجم البلورة عامل مهم في أداء محول الطاقة:

1. كلما كبر قطر المحول، فإن انتشار الشعاع الصوتي سيكون أقل (من أجل تردد معطى).
2. كذلك فإن المحولات ذات القطر الصغير والتردد المرتفع لها قدرة على اكتشاف أخطاء أصغر.
3. كلما ازداد حجم المحول ازدادت كمية الطاقة المرسلة إلى القطعة، وبذلك فإنه مع ازدياد حجم المحول وانخفاض التردد يزداد عمق الاختراق.
4. يقتصر عمل المحولات ذات الحجم الكبير عادة على توليد الترددات المنخفضة في حين أن البلورات التي تولد ترددات مرتفعة معرضة للتضرر كونها ذات سماكة منخفضة جداً.

ثانياً: تردد محول الطاقة Transducers Frequency:

إن تردد محول الطاقة عامل مهم جداً حسب التطبيق الذي يستخدم لأجله :

1. كلما ازداد التردد يتناقص انتشار الشعاع الصوتي وتزداد الحساسية والدقة.
2. عندما يزداد انتشار الشعاع الصوتي فإن كمية أقل من الطاقة الصوتية ستعكس عن الانقطاع.
3. كلما قل التردد ازدادت قدرة الشعاع على الاختراق، وقلت كمية الطاقة المشتتة "Scattered". كما أن ذلك يزيد من انتشار الشعاع الصوتي، وبذلك تزداد القدرة على اكتشاف الأخطاء التي ليست بشكل عمودي على محور الشعاع الصوتي.
4. سماكة البلورة لها دور مهم في تردد محول الطاقة، حيث إنه مع ازدياد التردد، فإنه يجب استعمال بلورات أرفع (أقل سماكة).

إن معظم الاختبارات بالأموح فوق الصوتية تستخدم ترددات بين: 25 MHz → 0.2 MHz وإن البلورات التي تولد الأمواج ذات الترددات الأكبر من 10 MHz ستكون عرضة للتلف في اختبار التماس؛ لذلك فإن معظم المجسات التي تولد تردداً فوق 10 MHz تستخدم بشكل أساسي في تقنية الغمس فقط.

إن سماكة البلورة لها تأثير كبير على التردد، حيث إن الشرائح الرقيقة يمكنها أن تهتز وفق طول موجة يساوي ضعف سماكتها؛ لذلك فإن البلورة يجب أن يتم قطعها بحيث تساوي سماكتها نصف طول الموجة المراد توليدها. أي: $\lambda / 2$. وبذلك كلما قلت سماكة البلورة، فإننا نستطيع توليد أمواج ذات ترددات أعلى. وبهذا فإن سعر المجسات، وتكلفتها تزداد بشكل كبير مع زيادة التردد المطلوب.

4- مواد الازدواج (المواد الرابطة) couplant:

مواد الازدواج هي عبارة عن مواد سائلة - غالباً - تسهل انتقال الطاقة الصوتية من المجس إلى المادة المختبرة.

تستخدم مواد الازدواج عادة لأن عدم التوافق في المعاوقة الصوتية بين الهواء والجسم الصلب يكون عادة كبيراً وبذلك فإن معظم الطاقة سيتم عكسها، وجزء صغير منها فقط سوف ينتشر ضمن المادة المختبرة.

تحل مادة الازدواج مكان الهواء، وبذلك تؤمن انتشار الأمواج ضمن القطعة المختبرة؛ وبالتالي تؤمن وجود موجة صوتية فاعلة وصالحة لإجراء الاختبار، وتستخدم عادة طبقة رقيقة من الزيت أو الغليسرين أو الماء.

في حال إجراء اختبارات دقيقة على القطعة يتم اللجوء عادة إلى أسلوب الغمس، حيث يتم في هذه التقنية غمس كل من القطعة المختبرة والمجس في مادة الازدواج التي تكون في الغالب هي الماء. هذه الطريقة تؤمن الحفاظ على ازدواج دقيق وثابت خلال تحريك المجس واستخدامه على القطعة.

نراعي عند اختبار نوع المادة الرابطة الأمور الآتية:

1. خشونة سطح الجسم المختبر.
2. درجة حرارة سطح الجسم المختبر.

3. إمكانية حدوث التفاعل بين المادة الرابطة والجسم المختبر .
 4. إمكانية إزالة المادة الرابطة عن السطح بعد انتهاء الاختبار .
- الشرط الأساسي لمادة الازدواج هو تأمين المسار الصوتي فضلاً عن كونه يبذل كامل السطح المعرض للازدواج (سطح محول الطاقة والسطح المختبر) لذلك:
1. يجب أن تلغي طبقة الازدواج كامل الفراغ الهوائي بين السطحين لأن الهواء ناقل سيئ للصوت.
 2. يجب أن تملأ طبقة الازدواج كامل الفراغات الناتجة عن عدم انتظام السطح وخشونته ، حيث يجب أن يتحول إلى سطح ناعم.
 3. تساعد طبقة الازدواج على تسهيل حركة محول الطاقة فوق سطح المادة المختبرة.
 4. يجب أن تكون مادة الازدواج عملية، بحيث يسهل تطبيقها وإزالتها من على السطح ، كما يجب ألا تؤثر على السطح وألا تؤذيه.
- أحد أكثر مواد الازدواج انتشاراً الزيت أو الماء الممزوج مع الغليسرين بنسبة 1:2 كما يمكن استخدام مواد إزواج أكثر كثافة مثل الشحوم والزيوت الثقيلة على السطوح الخشنة أو السطوح الشاقولية. كما يمكن استخدام بعض المواد الصناعية الخاصة للحالات الخاصة.
- إن زيادة هذه السماكة قد تؤدي إلى انحراف في اتجاه الشعاع الصوتي عن المسار المطلوب، وبالتالي يظهر لنا تأثير مشابه لتأثير الإسفين المستخدم في المجسات المائلة لذلك من المهم الحفاظ على سماكة أقل ما يمكن للطبقة الزيتية أو طبقة الازدواج.

5- تقنيات الاختبار:

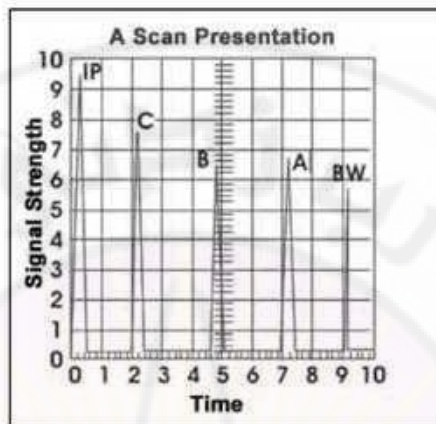
1: أنماط إظهار النتائج وعرضها:

هناك ثلاث طرق إظهار مرئية مستخدمة ومألوفة في الاختبار بالأوج فوق الصوتية، هي:

أولاً: A - Scan:

هو تخطيط بين الزمن والسعة، ويظهر فيه الانقطاع على شكل إشارة على شاشة الأشعة المهبطية، وتتم قراءة المخطط المنشأ حسب الشكل A- Scan من اليسار إلى اليمين،

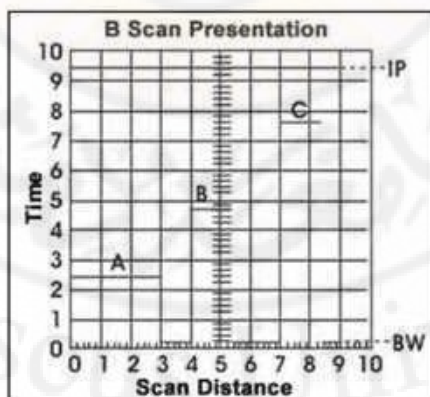
ويمكن مقارنة ارتفاع الإشارة الناتجة عن الانقطاع مع ارتفاع الإشارة الناتجة عن عاكس معروف لمعرفة حجم الانقطاع، كما هو مبين بالشكل (2-15).



الشكل (2-15): A-scan.

ثانياً: B - Scan

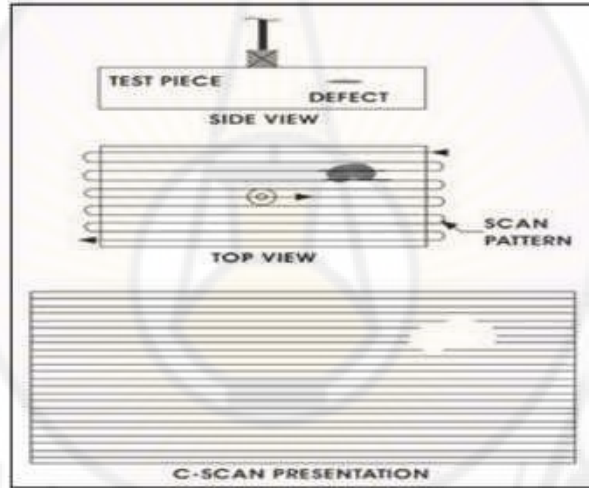
هو عبارة عن عرض يظهر من خلاله مقطع عرضي للقطعة المفحوصة؛ أي يظهر عمق الخطأ، ويتم ذلك باستخدام راسمة للذبذبات oscilloscope يتم الاحتفاظ بالصورة على الشاشة، كما هو مبين بالشكل (2-16).



الشكل (2-16): B-scan.

ثالثاً : C - Scan :

وهو يشابه الصورة الناتجة عن التصوير بالأشعة السينية حيث يظهر العرض C-Scan شكل الخطأ، وتوضعه، لكن لا يظهر عمقه، كما هو مبين بالشكل (2-17). ويستخدم هذا النوع في المسح السريع باستخدام الأمواج فوق الصوتية، وتستخدم بعض أجهزة التسجيل لتسجيل المسح حيث تتم العملية بتسجيل النتائج على ورقة لها خواص كيميائية محددة، وتكون حركة الورقة بشكل متزامن مع حركة المجس على السطح المدروس. إن ميزة C-Scan هو سرعة إنجازه العالية، ولقدرته على الحصول على مخطط وتسجيل دائم للمسح، لكن لا يظهر سوى طول الانقطاع وعرضه، ولا يظهر العمق.



الشكل (2-17): C - scan.

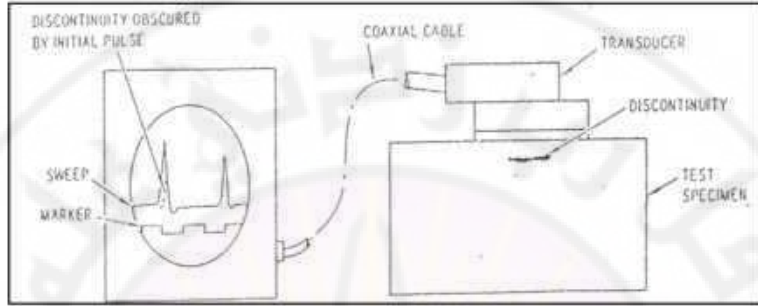
2: نظم الاختبار:

هناك نظامان أساسيان لأنظمة الاختبار بالأمواج فوق الصوتية:

أولاً: نظام النبضة صدى Pulse - Echo :

هي الطريقة الأكثر انتشاراً والمستخدمه في أنظمة الاختبارات بالأمواج فوق الصوتية، حيث يتم إرسال أمواج متعاقبة على شكل نبضات يفصل بينها فواصل زمنية متساوية وقصيرة، تنتشر هذه الأمواج ضمن المواد المختبرة. تنعكس هذه الأمواج من الانقطاعات

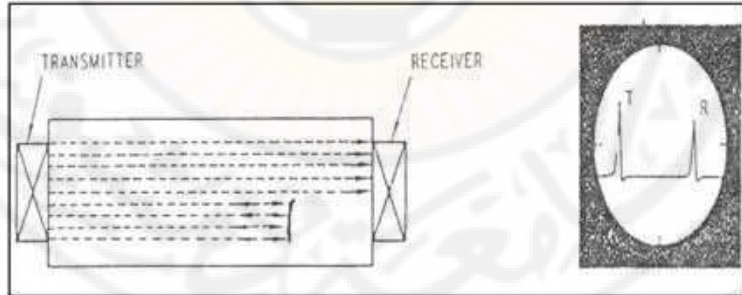
التي تواجهها في طريقها أو من أي حد فاصل تصطدم به، ويتم عرض الأمواج المنعكسة بعد ذلك على جهاز عرض CRT، كما هو مبين في الشكل (2-18). يمكن استخدام محول الطاقة ذاته من أجل عملية إرسال الأمواج واستقبالها.



الشكل (2-18): نظام النبضة - صدى.

ثانياً: نظام النفاذ Through Transmission:

تحتاج هذه التقنية إلى محولين للطاقة، الأول للإرسال والآخر للاستقبال، كما يمكن استخدام حزم أمواج مستمرة (غير منقطعة) أو استخدام نبضات من هذه الأمواج، كما هو مبين بالشكل (2-19).



الشكل (2-19): نظام النفاذ.

3: تصنيف طرق الاختبار وتقنياته:

بشكل عام هناك طريقتان أو تقنيتان للاختبار حسب نوع الوسيط بين القطعة والمجس:

أولاً: تقنية الاختبار بالتماس Contact Test Technique:

يتم إحداث ازدواج بين سطح المادة المختبرة ومحول الطاقة من خلال طبقة رقيقة من مادة الازدواج وتستخدم هذه التقنية في الاختبار بالتماس نظام النبضة - صدى أو الاختراق.

ففي نظام الاختراق تستخدم تقنية التقاط الموجة الموجهة المخترقة للقطعة حيث تمر الأمواج في المادة التي لا تعاني من انقطاع، وعند استخدام هذه الطريقة نلاحظ على الشاشة إشارتين: إشارة النبضة المرسل، وإشارة النبضة المخترقة المستقبل، تتناقص طاقة الإشارة المستقبلية (المخترقة) مع ازدياد الطاقة المنعكسة بواسطة الانقطاع. إن الانعكاس الكلي للطاقة الصوتية بسبب وجود عاكس، كما هو في انقطاع كبير، مثلاً يؤدي إلى عدم ظهور أي إشارة مستقبلية على مجس الاستقبال إن هذه الطريقة لها فوائد عديدة، منها:

1. اكتشاف أخطاء قريبة من السطح بشكل أفضل : حيث نستطيع اكتشاف أخطاء قريبة من السطح لها أبعاد يقدر بأجزاء عدة من الألف من الإنش.
 2. إمكانية اختبار قطع ذات سماكة أكبر (حيث إن نسبة التخميد أقل).
- إن سيئة هذه الطريقة هي أنها لا تستطيع رؤية الخطأ؛ بل تعطي فقط مؤشراً عن تناقص الطاقة الصوتية.

إذا كانت الموجة المرسل والمستقبلية لها نسبياً الارتفاع نفسه، فإن ذلك يعد دليلاً على أن القطعة سليمة، ولا يوجد انقطاع واضح داخل القطعة.

في اختبار التماس يمكن استخدام الشعاع الصوتي بأحد الأنماط الآتية:

1. الانتشار يكون عمودياً على السطح.
2. الانتشار يكون على طول السطح المختبر.
3. الانتشار يكون بشكل مائل على السطح.
4. الانتشار يكون خلال سماكة القطعة بشكل اختراق من أحد الأطراف إلى الطرف الآخر.

تستخدم الترددات المنخفضة لاختبار القطع ذات الحبيبات الخشنة مثل المسبوكات. وفي اختبار السطوح الخشنة أو المنقرة " Pitted "؛ بسبب التآكل، حيث يتم سفعها بالرمال أو شحذها لتحسين التماس مع المجس.

أما الترددات العالية، فإنها تستخدم لاختبار المواد ذات الحبيبات الناعمة، حيث إنه مع زيادة التردد تزداد حساسية الاختبار، وتزداد إمكانية اكتشاف أخطاء أصغر، لكن يجب مراعاة الاعتبارات الآتية:

1. تزداد حساسية اكتشاف الأخطاء الأصغر مع ازدياد التردد، لكن انخفاض التردد يعطي قدرة للأمواج على الاختراق بشكل في القطع.
 2. تستخدم المجسات ذات الأقطار الكبيرة عند اختبار القطع السمكية.
 3. مع ازدياد حجم البلورة، فإن الشعاع الصوتي سيكون مستقيماً أكثر؛ أي سيكون انتشاره أقل، كذلك الأمر بالنسبة لازدياد التردد إن ذلك يؤدي إلى إنقاص الانتشار.
- يبين الجدول (1-2) مجالات الترددات الممكن استخدامها حسب التطبيق.

جدول (1-2): مجالات الترددات الممكن استخدامها.

التطبيق	مجال التردد
المسبوكات؛ حديد الصب الرمادي - القضبان ذات العقد - المواد ذات حجم الحبيبات الكبيرة مثل النحاس والفولاذ غير القابل للصدأ.	200 KHz- 1 MHz
المسبوكات: الفولاذ والألومنيوم والنحاس الأصفر والمواد الأخرى ذات الحبيبات الأنعم.	400 KHz- 5 MHz
البلاستيك والمواد المشابهة للبلاستيك مثل القود الدافع الصلب للصواريخ والمواد على شكل مساحيق.	200 KHz-2.25 MHz
المنتجات المدرفلة: الصفائح المعدنية ، الألواح ، القضبان ، البليتات Billets	1 - 5 MHz
منتجات السحب والبيق : القضبان والأنابيب والأشكال المختلفة.	2.25- 10 MHz
المطروقات	1- 10 MHz
الزجاج والسيراميك	2.25- 10 MHz
الدرزات اللحامية	1 - 1.25 MHz
اختبارات الصيانة - وبخاصة شقوق التعب	1 - 10 MHz

ثانياً: تقنية الغمس Immersion Test Technique:

وفيه يتم غمس كل من محول الطاقة والمادة المختبرة في برميل يملأ بمادة الازدواج (يستخدم عادة الماء).

من مزايا تقنية الفحص المغمور:

1. المساعدة بسهولة على إرسال أمواج زاوية في الجسم المختبر بإدارة المجس بالنسبة لسطح الجسم المختبر.
2. لا يلمس المجس السطح المختبر؛ وبالتالي يمكن استخدام المجسات ذات الترددات العالية باستعمال شرائح بلورية رقيقة.
3. يمكن تركيز الحزمة فوق الصوتية وزيادة الحساسية.
4. تكون سرعة الاختبار أكبر بالمقارنة مع تقنية النبض - الصدى بالتلامس المباشر.

الترددات المستخدمة:

بما أن محول الطاقة لا يتعرض لأي تماس مع القطعة المختبرة في تقنية الغمس، فإننا بذلك نستطيع أن نستخدم شرائح أرق من البلورات؛ وبالتالي نستطيع توليد ترددات أعلى قد تصل إلى 25 MHz وعادة تتراوح الترددات في هذه التقنية بين 2.25 25 MHz → وبذلك نضمن دقة أكبر لتمييز الانقطاعات الصغيرة.

يمكن استخدام تقنية الغمس من أجل اختبار الجدران ذات السماكات الكبيرة أو القليلة على حد سواء كما قد تستخدم من أجل فحص الوصلات اللحامية في الأنابيب وفي فحص وصلات اللحام المتقابل Butt welds.



الفصل الثالث

آلات تشكيل القوالب الرملية والنوى

Forming Machines of Sand Molds and Cores

بازدياد الطلب على المسبوكات، أصبحت عملية المكننة ضرورة ملحة، وهكذا أصبح استخدام الآلات في حقل السباكة يحقق جملة أغراض، منها:

- ضغط أو رك الرمل في القوالب.

- قلب الريازك.

- مناولة القالب في وضع مقفل.

تمتاز القوالب المصنعة باستخدام الآلات بما يأتي:

1- توفير كبير بزمان القوالب، وخاصة عندما يراد إنتاج عدد ضخم من المسبوكات صغيرة الحجم والمتماثلة.

2- عندما يكون عدد المسبوكات المراد إنتاجها كبيراً، فهذا يعوض التكلفة الإضافية للقولبة الآلية مثل النماذج المعدنية والتجهيزات الأخرى.

3- المسبوكات المنتجة بالقولبة الآلية أكثر انتظاماً في الحجم، وأكثر دقة من المسبوكات المنتجة بالقولبة اليدوية.

4- لا تحتاج القولبة الآلية لعمال ماهرين كما بالقولبة اليدوية.

3-1: تصنيف آلات صناعة القوالب:

وفقاً للطاقة المستخدمة تصنف آلات صناعة القوالب كالتالي:

أ- آلات قولبة يدوية.

ب- آلات قولبة باستخدام طاقة: هواء مضغوط، وسائل مضغوط، وقوة كهرومغناطيسية، وقوة ميكانيكية.

وتقسم آلات تشكيل القوالب باستخدام الطاقة بحسب طريقة رك الرمال إلى الأنواع الآتية:

1- آلات سحب النموذج من الرمال.

2- الآلات الضاغطة (آلات ضاغطة سفلية- وآلات ضاغطة علوية)

3- الآلات الهزازة.

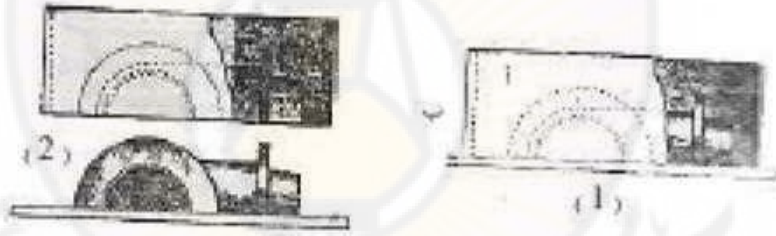
4- الآلات الهزازة الضاغطة.

5- الآلات القاذفة للرمال.

سنستعرض باختصار كلاً منها:

1- آلات سحب النموذج من الرمال:

هناك آلات لرفع الريزك، حيث يظهر بالشكل (1a-3) النموذج المراد ختمه بالرمال (1) وطريقة سحب النموذج بواسطة رفع الريزك (2)، وهناك آلات لخفض اللوحة والنموذج آلياً كما بالشكل (1b-3) ويسحب النموذج من أسفل الريزك، حيث يبين الشكل (1) عند إتمام الرك، والشكل (2) الريزك والنموذج بعد خفض النموذج، وآلات لرفع النموذج (3-1c)، وأخرى وآلات لخفض الريزك (1d-3).



الشكل (1a-3): النموذج المراد ختمه بالرمال (1) وطريقة سحب النموذج بواسطة رفع الريزك (2).



الشكل (1b-3): يبين الشكل (1) عند إتمام الرك، والشكل (2) الريزك والنموذج بعد خفض النموذج.



الشكل (1c-3)



الشكل (1d-3)

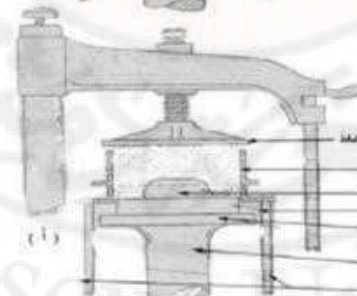
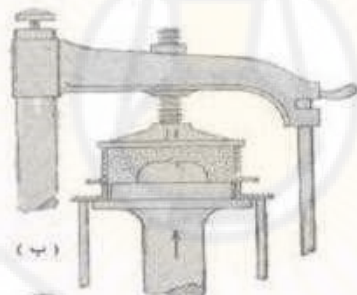
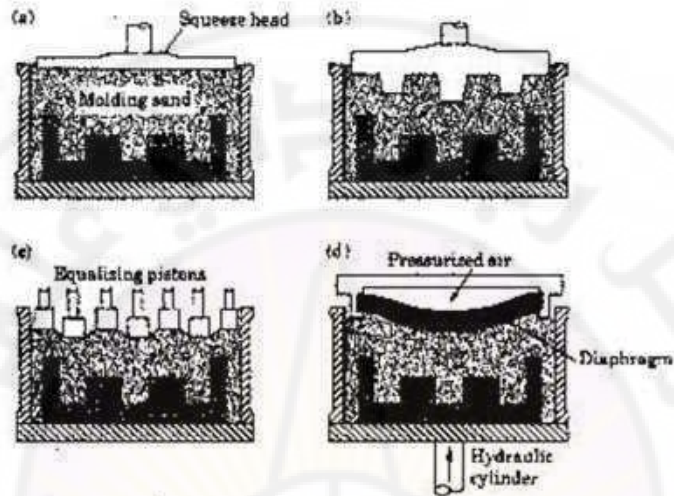
2- الآلات الضاغطة: تتلخص طريقة عملها بكبس الرمل ضمن الريزك، الشكل (2-3) وتصنف إلى:

أ- الآلات الضاغطة العلوية: تبلغ درجة الانضغاط في هذا النوع من الآلات القيمة القصوى أسفل رأس الكبس مباشرة؛ وتتناقص درجة الانضغاط بالابتعاد عن رأس المكبس؛ وبالتالي تتفاوت كثافة رمل القالب بالابتعاد عن السطح العلوي للريزك والاقتراب من النموذج. تستخدم لتشكيل قوالب النماذج الصغيرة والريزك قليلة الارتفاع. هذا النوع غير مرغوب فيه لقلة النفاذية الناتجة عن الكثافة العالية عند قمة القالب.

ب- الآلات الضاغطة السفلية: يجب أن يكون شوط الطاولة مساوياً تماماً لارتفاع h بحيث ينطبق السطح العلوي للنموذج عند انتهاء الكبس على سطح الفصل للريزك. نتائج الكبس أفضل من الآلات الضاغطة العلوية؛ لأن كثافة الرمل حول النموذج جيدة، لذلك تستعمل هذه الطريقة للنماذج الكبيرة وذات الشكل المعقد.

من أهم عيوب الآلات الضاغطة بشكل عام هو أن كثافة الرمل بعد الضغط تعتمد على شكل النموذج وأبعاده، أدخلت على هذه الآلات تحسينات باستخدام حواجز مرنة تضغط

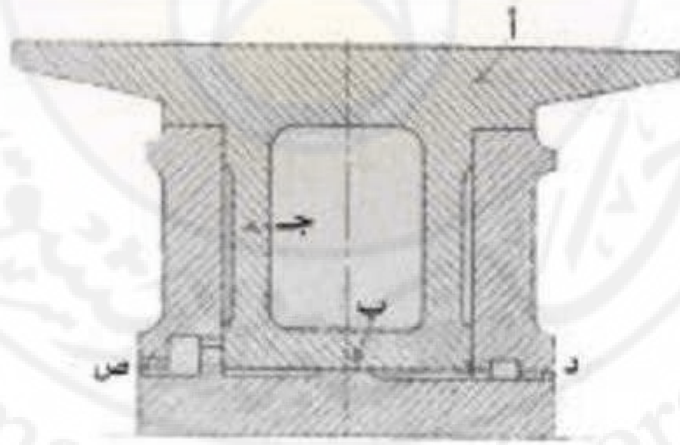
الرمال داخل الريزك بواسطة الهواء المضغوط، وذلك للحصول على تجانس بكثافة الرمل داخل الريزك.



الشكل (2-3): آلات ضاغطة.

3- آلات الرك الاهتزازية:

لا تصلح مكابس الرمل لتشكيل القوالب الرملية للنماذج معقدة الشكل أو كبيرة الحجم، ويستخدم لهذا الغرض ماكينات هزازة حيث تدك الرمل في الريزك بالاهتزاز المستمر. تعمل بالهواء المضغوط يوضع الريزك مع ريزك الملاء فوق لوحة النموذج المركب على طاولة الآلة ومن ثم ترفع طاولة الآلة مع النموذج والريزك المملوء بالرمل بواسطة مكبس يعمل بالهواء المضغوط مسافة تتراوح بين (30-100mm) وفي أثناء الحركة يكشف المكبس فتحة تؤدي إلى الهواء الجوي، فيخرج منها الهواء المضغوط؛ مما يُحدث انخفاضاً للضغط تحت المكبس، فتسقط الطاولة بتأثير ثقلها مصطدمة على مصادم الآلة محدثة صدمة قوية للطاولة تؤدي إلى امتصاص الرمل جزءاً من طاقة الصدم، ويكتسب طاقة معينة ليتكاثف الرمل فذلك بتحريك جزيئاته بالنسبة بعضها لبعض، والتغلب على قوى الاحتكاك بين الذرات، وتكرر عملية الصدم ما يعادل 100 مرة في الدقيقة. يكون هناك تفاوت بانضغاط الرمل حيث يكون أعلى شيء حول النموذج (في قاع القالب وأقلها على السطح العلوي للقالب حيث تبقى الطبقة العليا غير مرككة).



الشكل (3-3): آلات الرك الاهتزازية.

هناك آلات أخرى تعمل على مبدأ العمل نفسه، كما يبينه الشكل (3-3) الذي يبيد قطاعاً لماكينة هزازة تتركب من صينية مسطحة (أ) يثبت عليها لوحة النماذج وفوقها الريزك المطلوب كبسه بالرمل والجزء الأسفل للصينية عبارة عن مكبس (ج) يتحرك حركة ترددية رأسية داخل تجويف أسطواني في قاعدة الماكينة، ويرتكز المكبس في نهاية مشواره على قاعدة ارتكاز (ب). يتحرك المكبس حركة ترددية بدخول هواء مضغوط حوالي 4.5 كجم / سم² من الفتحة (د) الموصلة لقاع الأسطوانة، فيرتفع المكبس مسافة بسيطة من (2.5 سم إلى 12.5 سم حسب تصميم الماكينة) ثم يصرف الهواء من فتحة (ص) على هذا الارتفاع في الأسطوانة، فيسقط المكبس فجأة ويطلق طريقة على القاعدة (ب) ويتأثر الهواء المضغوط ترتفع الأسطوانة، وتنخفض حوالي 120 دفعة في الدقيقة.

لذلك الرمل في الريزك يثبت على سطح صينية الماكينة (أ) لوحة النماذج والنموذج المطلوب تشكيله ثم يثبت الريزك فوق لوحة النموذج، ويملاً بالرمل، ويوضع فوق سطح الريزك مقدار زائد من الرمل بارتفاع حوالي 10 سم، ويفتح صمام دخول الهواء المضغوط، فيبدأ المكبس في الاهتزاز والطرق، ويدك الرمل للدرجة 42 هزة، المطلوبة في الريزك، ويتغير عدد الهزات اللازمة لذلك الرمل بين 15 و 40 هزة.

يتلف الطرق المستمر الأسطوانة والقاعدة، ويحدث صوتاً مرتفعاً واهتزازاً في الورشة، وأساس البناء. لذلك تستخدم في الوقت الحاضر ماكينات هزازة يختلف تصميمها عن



السابق شرحها. ويحدث فيها الطرق بين مكبسين متقابلين بحيث يرتكز المكبس الأسفل على مخمدات حلزونية حتى لا ينتقل الاهتزاز لقاعدة الماكينة وأساس الورشة. الشكل (3-4) يبين رسماً كاملاً لماكينة هزازة حديثة التصميم ذات أربعة أصابع ترفع الريزك وتفصل رمل القوالب عن النموذج بعد كبس الرمل.

الشكل (3-4): يبين رسماً كاملاً لماكينة هزازة حديثة التصميم.

4- آلات الرك الاهتزازية الضاغطة:

تؤدي هذه الآلة عمليتين؛ أي اهتزاز مع ضغط؛ وبالتالي تعطي انتظام رك الرمل على كامل ارتفاع الريزك. حيث بعد عملية رك القالب بالاهتزاز ترفع طاولة الآلة مقابل لوح السند العلوي الذي يقوم بعملية ضغط الرمل من الأعلى.

5- الآلات القاذفة للرمل:

تستخدم هذه الآلات لإنتاج قوالب المسبوكات الكبيرة التي لا يمكن وضع ريزكها وركها على آلات الرك الأخرى. الشكل (3-5). مبدأ عمل هذه الآلة يقوم على وجود سير نقال يحمل الرمل من القمع، ويدعه يسقط على شفرات مروحة القذف التي تدور حول محور أفقي بسرعة عالية مساوية (1400-1600) دورة بالدقيقة، فتحول حفلات الرمل المتجمعة على شفرات المروحة بفعل سرعة الدوران العالية على كرات متماسكة تاركة مكانها من على الشفرات، ومندفعة؛ ليفذف بها الريزك، تمتاز هذه الطريقة عن غيرها من طرق التشكيل الأخرى بما يأتي:

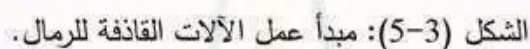
1- سهولة الاستخدام والمرونة في التشغيل، حيث يمكن توجيه فتحة مروحة القذف إلى أركان القالب المختلفة.

2- سرعة العمل حيث تقوم الآلة بعملية ملء الريزك و رك الرمل ضمن الريزك في وقت واحد.

3- انتظام كثافة الرمل في أجزاء الريزك جميعه.

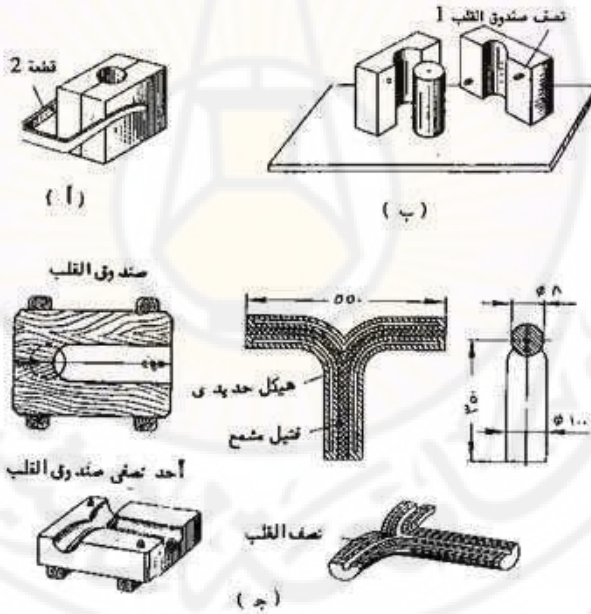
4- التحكم بدرجة الرك للرمل بالتحكم بسرعة دوران مروحة القذف.

5- نفاذية جيدة لرمل القالب، وذلك لتعرض طبقاته في أثناء القذف للتهوية، والتخلص من الرطوبة الزائدة لرمل السباكة.

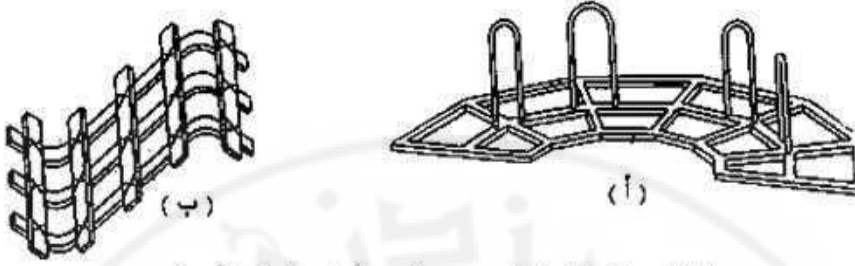


في حالة الإنتاج الفردي تصنع النوى (القلوب) يدوياً، الشكل (3-6). حيث تصنع عادة القلوب الصغيرة بملء صناديق القلوب يدوياً بالرمل، وهي موضوعة على مناضد، ويعرف ذلك بشغل المنضدة وفي هذه الحالة يحتاج الأمر فقط إلى صندوق النواة ولوحة، ويملاً الصندوق برمل القلب، ويدك ثم يسوى، وينقل القلب بعد ذلك إلى لوحة القلب لتحميمه، ويتم ذلك بوضع اللوحة فوق صندوق القلب، وقلبها ثم سحب الصندوق بعيداً عن القلب، وتستعمل الصناديق لتشكيل القلوب ذات المقطع الدائري أو البيضاوي أو المستطيل، كما يبينه الشكل (3-6أ) ويتكون الصندوق من نصفين يجمعان معاً بواسطة الأوتاد، ويربطان معاً بواسطة قامطة يوضع الصندوق المجمع على لوحة أو على لوح من الخشب، ويدك فيه من أعلى رمل القلب ثم تنزع القامطة، ويبعد نصفا الصندوق عن القلب بالطرق برفق بمطرقة. الشكل (3-6ب) وعند تشكيل القلوب ذات الشكل الأكثر تعقيداً. الشكل (3-6ج) يدك الرمل في كل من نصفي الصندوق على حدة، وبعد تجفيف نصفي القلب يُلصق هذان النصفان بواسطة طين صلصالي سائل أو بمخلول الدكسترين والدقيق في الماء

الساخن. تتقّب القلوب المستطيلة الشكل بوضع أسلاك حديدية عند دك الرمل بصناديق القلوب - وعند إزالة هذه الأسلاك تبقى في القلب قنوات تنفيس دائمة - ولصنع مثل هذه القنوات في القلوب ذات الشكل المنحني، حيث لا يمكن ثقب قنوات نافذة توضع فتائل مشبعة بالشمع أو أي مواد أخرى تنصهر عند تجفيف القلوب مكونة من قنوات للتنفيس في القلوب. وعند إعداد القلوب المكونة من نصفين ملصوقين وتجهيزها، يستحسن حفر قنوات تهوية التنفيس في مستوي سطح الفصل في أحد أو كلا النصفين كذلك لرفع متانة القلوب البسيطة أو معقدة الشكل تزود هذه القلوب بهيكل معدني و أساس هذا الهيكل المعدني عبارة عن إطار من الزهر المسبوك بداخله قضبان معدنية أو إطار ملحوم من قطع حديدية. الشكل (3-7&ب)



الشكل (3-6): تصنيع النوى يدوياً بقلب النوى.



الشكل (3-7): قطع حديدية من أجل تقوية الأنوية.

أما في إنتاج الجملة، فتصنع عادة النوى بأعدادها الكبيرة آلياً، حيث تزيد هذه الآلات الدقة في الأبعاد وتخفف من المجهود. ويستعمل في حالة استخدام آلات صنع النوى خلنط رملية قليلة التماسك في حالتها الرطبة؛ وذلك كي تملأ أرجاء قالب النواة كافة. تستخدم عدة آلات لصناعة النوى، أكثرها شيوعاً:

1- آلات البثق اللولبية والمكبسية.

2- آلات صنع النوى بالضغط.

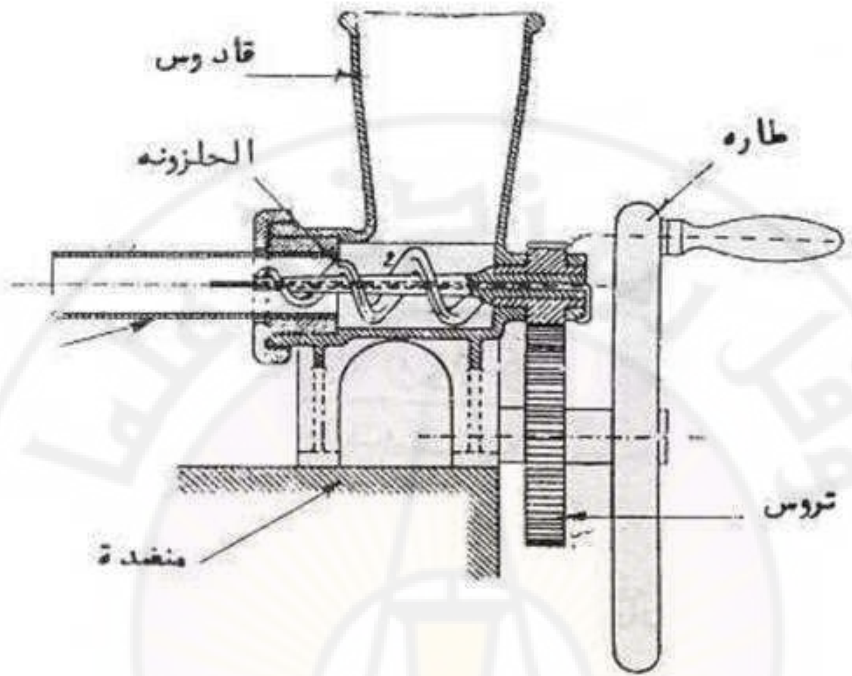
3- آلات صناعة النوى بالاهتزاز.

4- آلات صناعة النوى بالنفخ.

5- آلات صناعة النوى بالقذف.

3-2-1: آلات البثق اللولبية والمكبسية:

تشبه مفرمة اللحم حيث يقوم حلزون بعصر خليطة الرمل الهابطة من قمع الشحن بمقاطع متباينة، وذلك عبر فوهة قابلة للتبديل، هذا الحلزون يدار يدوياً أو بواسطة جملة مسننات مع محرك كهربائي، وتخرج النواة من هذه الآلة على شكل شريط مستمر وتقطع بأطول مناسبة، وتستقبل على حوامل يدوية، وبعد عملية التجفيف تدبب الأقسام الطرفية المعلمة من القلب، وبعدها يمكن استخدام القلب في العملية الإنتاجية أو التخزين، تكون الآلات الحلزونية بسيطة التركيب مقبولة المردود ومأمونة الاستخدام. الأقطار الممكن إنتاجها تتراوح بين (10-65 mm) وسرعة الإنتاج (40-60) متراً في الساعة. الشكل (3-8).



الشكل (3-8): مبدأ عمل آلات البثق اللولبية.

3-2-2: الآلات الضاغطة لصنع القلوب:

تشبه من حيث المبدأ آلات القولية بالضغط. يمكن بالضغط أن تصنع القلوب الصغيرة، ومن أجل ذلك يثبت النصف العلوي للصندوق المعدني بالقسم العلوي من الآلة، بينما يثبت القسم السفلي على الطاولة الضاغطة، تعد القدة المركبة على النصف السفلي من الصندوق إطاراً للماء، كما تقوم في الوقت نفسه بعمل الموجة، وبحسب علوها استناداً إلى حجم الخليطة الضرورية للقلب.

يدهن الصندوق قبل التشكيل بالكيروسين والغرافيت ثم يملأ فراغه وفراغ إطار الماء بخليطة رمل القلوب. ويعد عملية الضغط تنزل طاولة الآلة مع النصف السفلي للصندوق والقلب ثم يبعد الجزء العلوي، وينزع القلب من الصندوق.

3-2-3: آلات صناعة النوى بالاهتزاز :

تشبه آلات القولية بالهز، يصنع كل نصف نواة على حدة ويعدّها تلتصق. يمكن بمساعدة الآلات الهازة صنع القلوب المتوسطة وأحياناً الكبيرة وذلك في صناديق مفتوحة، أما من أجل الحصول على القلوب الأكبر، فستستخدم الآلات الهازة المجهزة بطاولة قلبية. بعد رك خليطة الرمل المشكّلة بالهز، يدور الصندوق المثبت على طاولة الآلة مع القلب الموجود فيه ولوحة التجفيف بزاوية (180) درجة، ويستقر على طاولة مستقبلية، يتم رك القلب في الصندوق بواسطة هزاز مثبت على طاولة الآلة، يمكن بهذه الطريقة الحصول على قلوب ذات أبعاد دقيقة إذا ما قورنت بعملية التشكيل اليدوي.

3-2-4: آلات صناعة النوى بالنفخ:

من أكثر هذه الآلات مردوداً؛ والنوى المصنعة بهذه الطريقة جيدة النوعية مهما كانت درجة تعقيدها تتناسب الإنتاج الكمي، وتقسم حسب مرور الهواء إلى آلات أفقية وآلات شاقولية. وهذه الآلة عبارة عن خزان فيه الرمال، وفتحة لخروج الرمال حيث يخرج منها الرمل بسرعة كبيرة نتيجة النفخ بالخزان الذي يعادل من (5-7) ضغطاً جويّاً، ويعتمد زمن عملية الرك على حجم علبة النواة، ويتراوح بين $\frac{1}{4}$ وحتى 1 دقيقة. شكل (3-9).

3-2-5: آلات صناعة النوى بالقذف:

يستخدم قاذف للرمل مشابه للقاذف المستخدم في عملية تشكيل القوالب، وذلك للقوى ذات الأحجام المتوسطة والكبيرة، وعادة يكون قاذف رمل النواة من النوع الثابت وأصغر من القاذف المستخدم في تشكيل القوالب الرملية.

تجفيف القوالب والنوى:

إن الهدف الأساسي من تجفيف القوالب والقلوب (النوى) هو تخليصها من الرطوبة وإكسابها متانة ونفاذية جيدة للغازات، فالرطوبة الموجودة في خليطة رمال القوالب والنوى تتحول في أثناء صب المعدن المنصهر فيها إلى بخار يسبب بخبضة المسبوكات؛ فضلاً عن ذلك، فإن كثيراً من خلائط تشكيل القوالب والنوى لا تكتسب المتانة الجيدة إلا بتجفيف المادة الرابطة.

تختلف درجة حرارة التجفيف وزمنه باختلاف حجم القوالب والنوى ونوع خليطة الرمل المستخدم في تشكيلها، فبينما تجفف القوالب والنوى المشكلة في خليط الرمل الرطب مع إضافات عضوية في غضون (12-18) ساعة وعند درجة حرارة تتراوح من (300-350°م)، فإن قوالب الرمل الرطب الذي لا يدخل به إضافات أخرى تجف في غضون (12-24) ساعة وعند درجة حرارة (350-400°م) درجة مئوية. أما القلوب الزيتية فتجفف عند درجة حرارة (200-250°م) وعند التجفيف يجب التقيد الدقيق بالحرارة والزمن حتى لا يفقد الرمل خاصية الترابط.



الشكل (3-7): مبدأ عمل آلة صناعة النوى بالنفخ.

أفران تجفيف القوالب والنوى:

يستعمل في تجفيف القوالب والنوى أفران تجفيف يتوقف تصميمها على حجم الإنتاج، أما الوقود المستخدم، فيمكن أن يكون الفحم الحجري أو الغاز الطبيعي أو الطاقة الكهربائية، ففي ظروف الإنتاج الكبير والإنتاج بالجملة تستخدم أفران تجفيف مستمرة العمل أفقية أو

رأسية. عند استخدام الأفران الأفقية توضع القلوب على منضدة متعددة الطبقات معلقة إلى سير حلقي أفقي، يشكل السير في الفرن انعطافات عدة تتفاوت عندها درجة الحرارة، وفي أثناء اجتياز المنضدة لمنعطافات الفرن (أقسام)، فإن القلوب تسخن في القسم الأول ثم تجفف في القسم الذي يليه، ثم تبرد في القسم الأخير، وتنزع من على الرفوف. أما الأفران الرأسية، فصعبة الاستعمال، وتحتاج إلى مكننة كاملة، لهذا لا تستخدم هذه الأفران إلا نادراً.

تجهز حجرة التجفيف بمروحة تدفع غازات الاحتراق الساخنة والخارجة من الموقد إلى ممر متصل بحجرة التجفيف، فيجتاز رفوف عدة منقبة توضع عليها القلوب، تسري الغازات بعد ذلك كعادهم في ممر آخر خلف الحجرة، ومنه إلى المدخنة التي تنقلها إلى الخارج، وتعمل الثقوب في الرفوف على تحسين تهوية عملية تخلخل الغازات الساخنة وتسهيلها من وإلى جميع النواحي. يمكن التحكم في درجة حرارة غرفة التجفيف بكمية الغازات المارة منها.

تقتضي الضرورة في بعض الأحيان تجفيف قوالب ونوى ذات أحجام متباينة، بعضها صغير والآخر كبير؛ مما ينتج عنه عدم انتظام عملية التجفيف لعدم انتظام توزيع الغاز الساخن على الأسطح المراد تجفيفها بالتساوي، وبهذا الشكل تجفف القوالب والنوى الصغيرة قبل مثيلاتها الكبيرة؛ مما يستدعي الانتظار حتى تكتمل عملية التجفيف وهذا بدوره يسبب فقداً كبيراً في الطاقة الحرارية المستخدمة.

هناك طرق تجفيف أخرى، يمكن من خلالها تسريع عملية التجفيف باستخدام الأشعة فوق الحمراء؛ وذلك لأن انتقال الحرارة بالإشعاع أسرع منه بالحمل بمرات عدة، ويستخدم لهذا الغرض مصابيح كهربائية خاصة (250) واطاً مع عاكس للحرارة، أو لوح صلب معدني لامع مسخن من الخلف بشعلة لهب، فيعكس هذا بدوره الحرارة التي هي عبارة عن الأشعة فوق الحمراء، وقد تستخدم في عملية التجفيف الذبذبات الكهربائية، وهنا توضع الأجزاء المراد تجفيفها بين لوحين مكثف كهربائي، ويكون جزءاً من دائرة كهربائية عالية الذبذبات، وتستغرق عملية التجفيف في هذه الحالة بضع دقائق.

الفصل الرابع

نظام الصب

Gating System

1-2: تعريف نظام الصب، وظيفته وأنواعه:

نظام الصب هو مجاري الصب وأقنيته النازلة والصاعدة التي ينساب خلالها المعدن المنصهر ليملاً جوف القالب، والتي يتجمع فيها المعدن المنصهر الزائد عن عملية إملائه.

وظيفة نظام الصب:

1. تأمين تغذية مستمرة متجانسة وغير مضطربة للمعدن المنصهر إلى فجوة القالب، على أن تتم بمعدل تدفق مناسب وبدون فقد كبير في درجات الحرارة.
2. النقاط الخبث أو الرمال أو المحتويات غير المعدنية، ومنعها من الدخول إلى فجوة القالب.
3. منع أو تلافي حدوث ظاهرة حت أو تآكل جدران القالب بتيار المعدن المنصهر خلال زمن امتلاء القالب.
4. تزويد القالب بالمعدن المنصهر في أثناء عملية التجمد والنقلص المرافق.

أنواع أنظمة الصب:

يمكن تقسيم أنظمة الصب حسب المستوى الذي يتم بموجبه تزويد القالب بالمعدن أو تغذيته إلى:

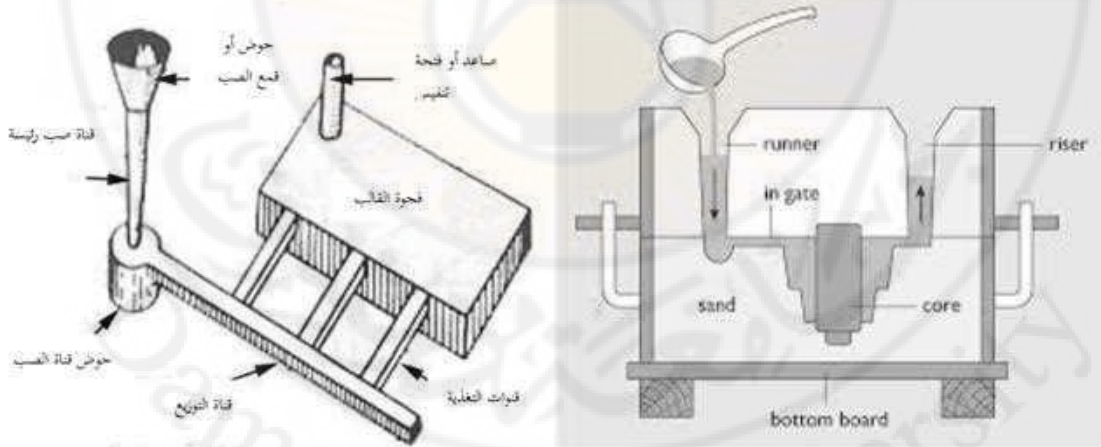
1. أنظمة الصب الأفقية، وبموجبها يندفع المعدن إلى فجوة القالب عند مستوى أفقي.
2. أنظمة الصب الرأسية أو الشاقولية، حيث يدخل المعدن المنصهر طبقاً لهذا النوع إلى فجوة القالب محاذياً لمستوى شاقولي.

2-4: أجزاء نظام الصب:

الغرض من عمل نظام الصب هو توصيل المعدن المنصهر بالكمية المناسبة وخلال الزمن المعين إلى الفجوة الموجودة داخل القالب لملئها. ويتألف الشكل العادي لنظام الصب من الأجزاء الآتية:

1. حوض أو قمع الصب Pouring basin أو Funnel.
2. قناة الصب الرئيسية (القناة النازلة) Sprue.
3. حوض قناة الصب أو مجمع الخبث Slag remover.
4. قناة التوزيع Runner.
5. فتحات أو قنوات التغذية Ingate.
6. إضافة إلى الصواعد Riser أو الممرضعات.

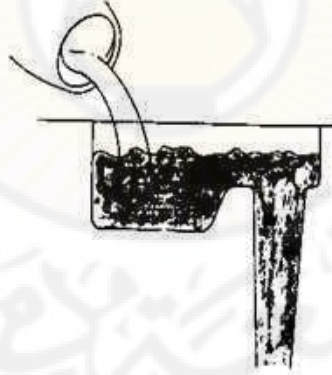
ويوضح الشكل (1-4) أجزاء نظام الصب.



الشكل (1-4): أجزاء نظام الصب.

4-2-1: حوض الصب:

وهو عبارة عن خزان يصب فيه المعدن من بوتقة الصب، فيوجهه إلى مجرى قناة الصب الرئيسية، ويجب أن يضمن تغذية مستمرة للقالب بالمعدن المصهور. يصمم حوض الصب بحيث تتولد به دوامات؛ لحجز الخبث، ومنع سقوطه إلى داخل فجوة القالب، ولكي يحجز الشوائب يجب أن يكون حوض الصب ممثلاً دائماً بالمعدن، الشكل رقم (4-2) يبين حوض الصب وحركة جريان المعدن ضمنه. يجب أن يؤمن حوض الصب وقمع الصب دخول المعدن لتجويف القالب بأسرع ما يمكن، ويؤمن نظام جريان مناسب للمعادن وخاصة التي تتأكسد بالهواء، مثل: الألمنيوم والمغنزيوم. يفضل أحياناً استخدام حوض صب منفصل مصنع من رمل النواة أو من حديد الصب وموجود على سطح القالب. التصميم النموذجي لحوض الصب. كما يجب أن يكون حوض الصب كبيراً، وأن يتوضع ما أمكن بالقرب من حافة القالب حتى يستطيع عامل الصب تعبئة القالب بالمعدن المصهور بأسرع ما يمكن، كما يصمم حوض الصب بحيث يمنع دخول الشوائب والخبث إلى داخل تجويف القالب.



الشكل (4-2): حوض الصب وحركة جريان المعدن ضمنه.

ولضمان حوض الصب ممثلاً تستخدم إحدى الطرق الآتية. الشكل (4-3):

أ- يستخدم حوض صب مغلق بواسطة سدادة مربوطة بسلك درجة حرارة انصهاره أكبر من درجة حرارة انصهار المعدن المسبوك ولا يتفاعل معه، ترفع بعد امتلاء حوض

الصب.

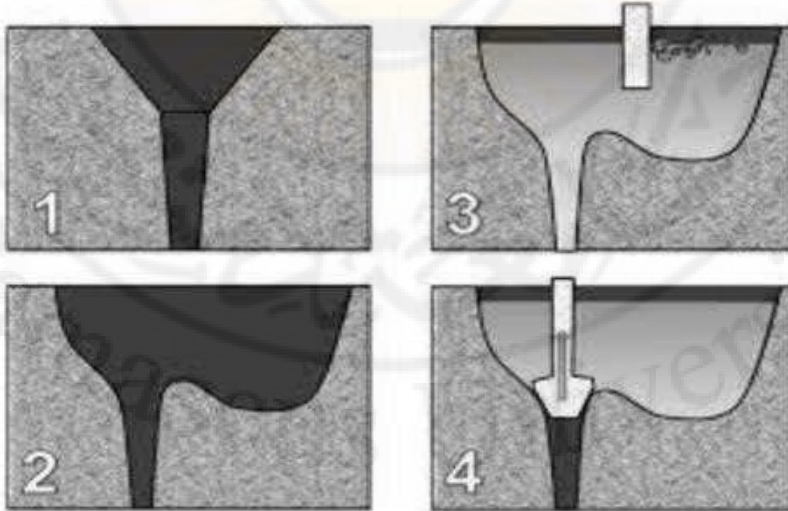
ب- يستخدم حوض صب مغلق بواسطة سدادة معدنية تتصهر بعد فترة، وذلك بتأثير درجة حرارة المعدن المصبوب.

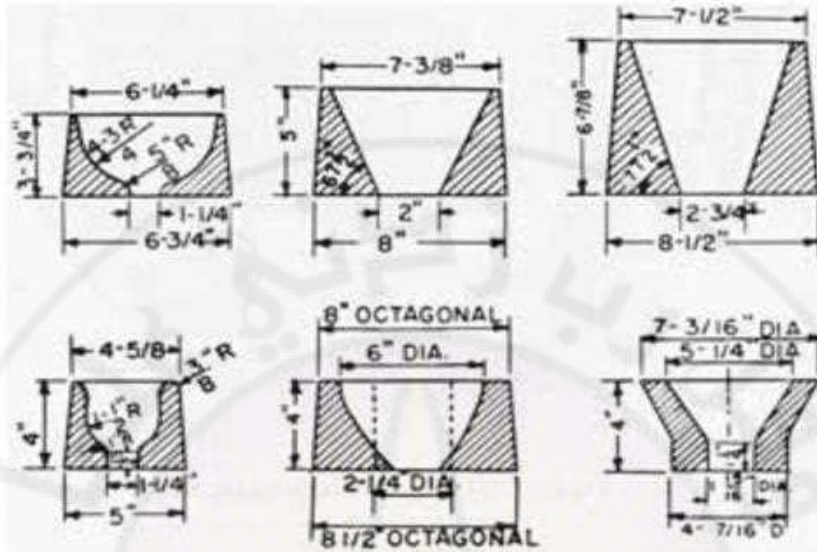
ج- يستخدم حوض صب سيفوني حيث يضمن الحاجز الرملي الموجود فيه امتلاء الحوض بالمعدن المنصهر، ويمنع دخول الخبث.

إذاً يستخدم حوض الصب للتحكم بجريان المعدن وحجز الشوائب حتى لا تدخل إلى تجويف القالب، بينما يستخدم قمع الصب فقط من أجل توجيه المعدن إلى قناة الصب الرئيسية.

كمثال: نظراً لسيولة حديد الصب الجيدة؛ لذلك لا تحتاج إلى ضاغط كبير (المسافة بين سطح المعدن في فجوة القالب وسطح المعدن في حوض الصب) لإملاء فجوة القالب، بينما عند صب الفولاذ ولأن سيولته أقل تحتاج إلى قمع صب للحصول على قدرة حركية كبيرة للمعدن المصبوب.

يتراوح حجم حوض الصب بين $\frac{1}{4}$ وحتى $\frac{1}{12}$ من حجم المسبوكة، وفي مسبوكات الألمنيوم يساوي أحياناً حجم الحوض حجم المسبوكة المنتجة.





الشكل (3-4): أشكال مختلفة من حوض أو قمع الصب.

2-2-4: قناة الصب الرئيسية:

وهي عبارة عن قناة رأسية، غالباً ما تكون على هيئة مخروط ناقص مسلوب إلى أسفل بسلبية تتراوح بين (4-6%)، وهي تصل بين حوض الصب ومجمع الخبث، وفي حالة القوالب ذات الارتفاع الكبير تستعمل قناة الصب متدرجة لتقليل أثر سقوط المعدن. تعد قناة الصب الرئيسية الممر الشاقولي لنظام الصب في الريزك العلوي التي تصل حوض الصب ومجمع الخبث أو قناة التوزيع، وفي حالة القوالب ذات الارتفاع الكبير تستعمل قناة صب متدرجة لتقليل أثر سقوط المعدن ولالتقاط الخبث من المعدن في المنتصف بين قناتي الصب. الشكل (4-4).

يجب أن تحقق قناة الصب شروطاً محددة وهي الآتية:

أ- يجب أن تكون قناة الصب الرئيسية صغيرة المقطع بشكل كاف من أجل:

1. أن يحافظ العامل على امتلاء القناة الرئيسية خلال عملية الصب.

2. أن يدخل المعدن المصهور إلى تجويف القالب بسرعة مناسبة بحيث لا يحدث اضطراب في المعدن المصهور.

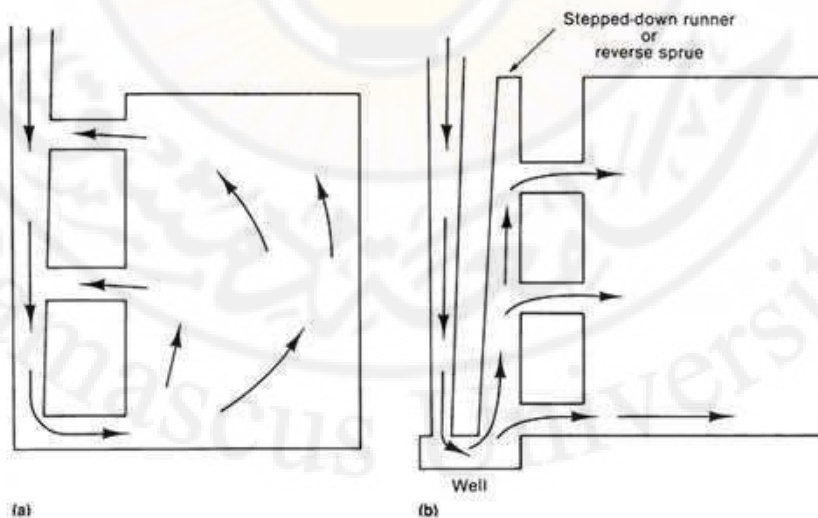
3. وبالوقت نفسه يجب أن تكون قناة الصب الرئيسية كبيرة بشكل كاف من أجل:

1. أن تمتلئ فجوة القالب بشكل كامل.

2. ألا يحدث امتصاص للغازات إلى داخل المعدن المصهور المناسب من خلال قناة الصب الرئيسية.

تتراوح مساحة مقطع قناة الصب الرئيسية عادة من 10 mm^2 للمسبوكات ذات الوزن الأقل من 12 Kg إلى حوالي 50 mm^2 للمسبوكات الضخمة، كما يمكن استخدام قنوات صب رئيسية ذات مقاطع عرضية أو مربعة أو مستطيلة أو دائرية ولكن غالباً ما يستخدم المقطع الدائري لقناة الصب الرئيسية.

قناة الصب الرئيسية عادة مستدقة للأسفل، يمكن استخدام أكثر من قناة صب إذا كان حجم المسبوكة كبيراً، والصب بأكثر من بوتقة بوقت واحد، يستخدم في أسفل قناة الصب تضخم بالمقطع يدعى حوض قناة الصب، يعمل كوسادة للمعدن المتساقط. عمق وعرض حوض قناة الصب في حدود 1.5 مرة من عمق وعرض قناة التوزيع.



الشكل (4-4): قناة صب متدرجة.

4-2-3: قناة التوزيع أو مجمع الخبث:

ينقل المعدن عادة في المسبوكات الكبيرة من قاعدة قناة الصب الرئيسية إلى قنوات متعددة حول فجوة القالب عبر ممر يدعى قناة التوزيع. الشكل (4-5).

التفرع من قنوات التوزيع إلى فجوات القالب تدعى بقنوات التغذية، يفضل أن تكون قناة التوزيع في الريبك السفلي، وأن يصمم مقطعها بحيث لا يحدث اضطراب للمعدن المصهور أو امتصاص الغازات إلى تيار المعدن المصهور.

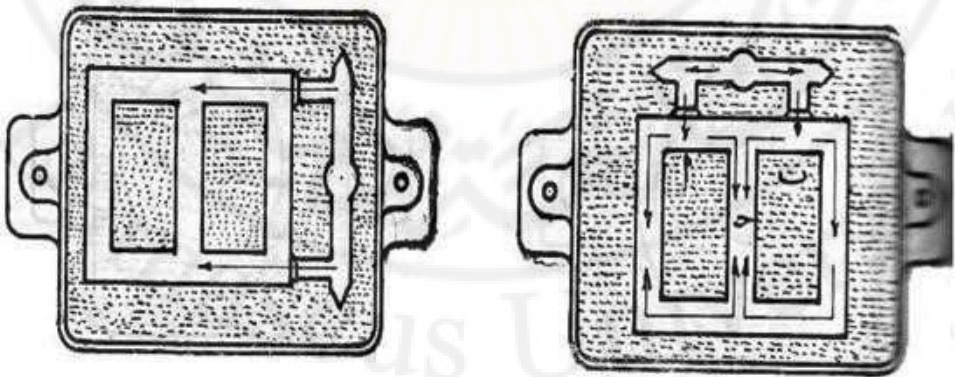
تستعمل قناة التوزيع كمجمع للخبث عندما ينصب الخبث مع المعدن المصهور، حيث تعمل على النقاط الخبث والشوائب، ومنعهم من الدخول للمسبوكة.

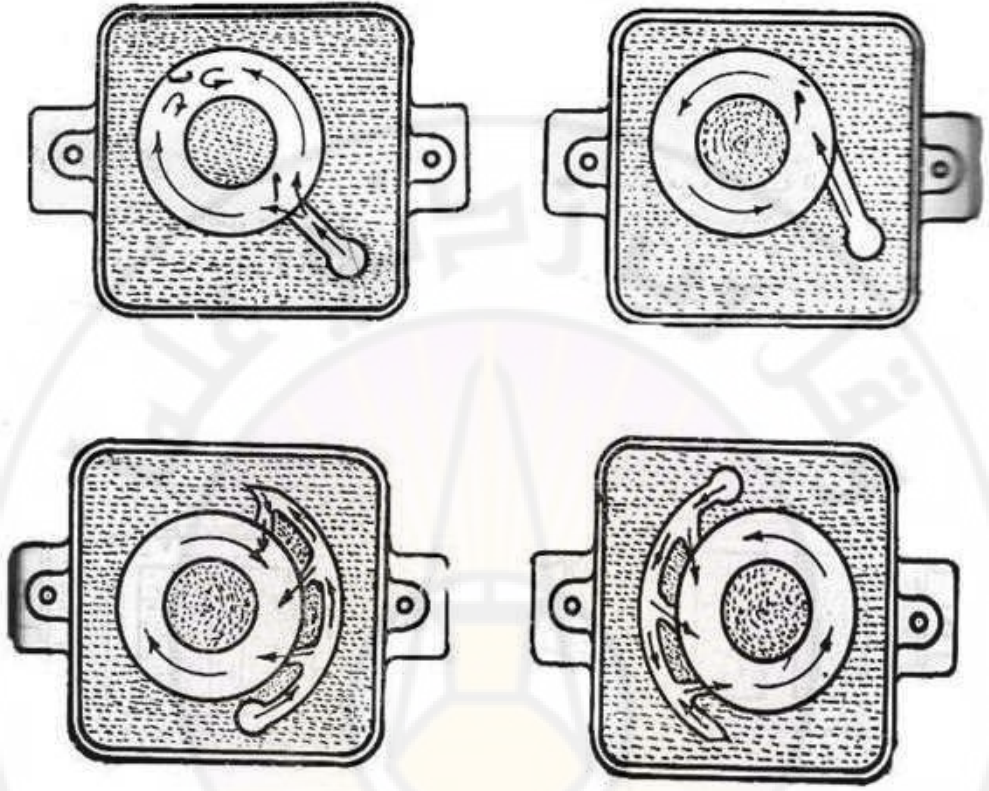
يجب أن يحقق المقطع العرضي وحجم مجمع الخبث الآتي:

1- أن يخرج المعدن منه بسرعة أبطأ من سرعة دخول المعدن إليه، أي مجموع المقاطع العرضية لقنوات التغذية أقل من المقطع العرضي لقناة الصب الرئيسية.

2- ألا يمتلئ فوراً بالمعدن؛ وبالتالي ليسمح للشوائب بأن تطفو في مجمع الخبث. إذا يجب أن يكون المقطع العرضي لمجمع الخبث كبيراً بحيث يمتلئ ببطء؛ أي يعمل كخزان توازن بين قنوات التغذية وقناة الصب الرئيسية.

تكون قنوات التغذية متصلة مع مجمع الخبث في أسفل نقطة منه.





الشكل (4-5): توضعات مختلفة لقناة التوزيع وفقاً للمسبوكية المراد إنتاجها.

4-2-4: قنوات التغذية:

تقوم المعدن المنصهر من قناة التوزيع إلى داخل تجويف القالب، شكلها نصف دائري أو مثلثي للخلائط المعدنية للبرونز والفولاذ وحديد الزهر ومستطيلة لسبائك الألمنيوم.

عمل قنوات التغذية هو تزويد فجوة القالب بالمعدن المصهور دون حدوث اضطراب بالمعدن أو تبريد حراري. الشكل (4-6).

تصنف قنوات التغذية بحسب موضعها في فجوة القالب إلى الآتي:

أ- قنوات علوية: حيث يصب المعدن المصهور مباشرة من قناة علوية عبر المغذي (المرضع) للمسبوكية، يجب أن يكون القالب قاسياً وقوياً بحيث يقاوم الحث والتآكل

الحادث نتيجة المعدن المتساقط من ارتفاع كبير، كما أنه يحدث اضطراب بالمعدن؛ لذلك يفضل استخدامها للمعادن قليلة التأكسد، ميزتها أنها تحقق التجمد الموجه للمعدن باتجاه الموضع العلوي.

ب- قنوات الحد الفاصل: حيث يمر المعدن المصهور عبر قناة الصب الرئيسية ويصل إلى السطح الفاصل للقالب حيث تتصل قناة الصب الرئيسية مع قناة التغذية في اتجاه أفقي للمسبوكية. أهم مميزاتها: سهولة التصنيع، في حال كون المسبوكية ذات ارتفاع كبير هذا يؤدي بأن قنوات الحد الفاصل تشبه القنوات العلوية التي تحدث اضطراباً بالمعدن. يمكن أن يستخدم بها تجهيزات حجز الشوائب أو الخبث أو الرمل التي يمكن أن تمر مع المعدن المصهور عبر قناة الصب الرئيسية.

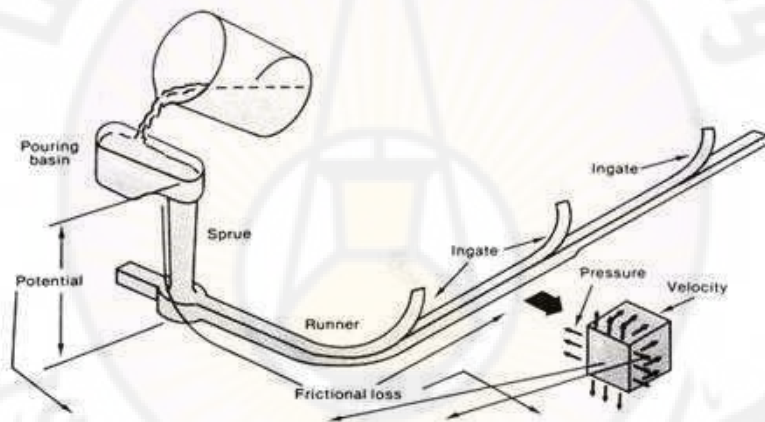
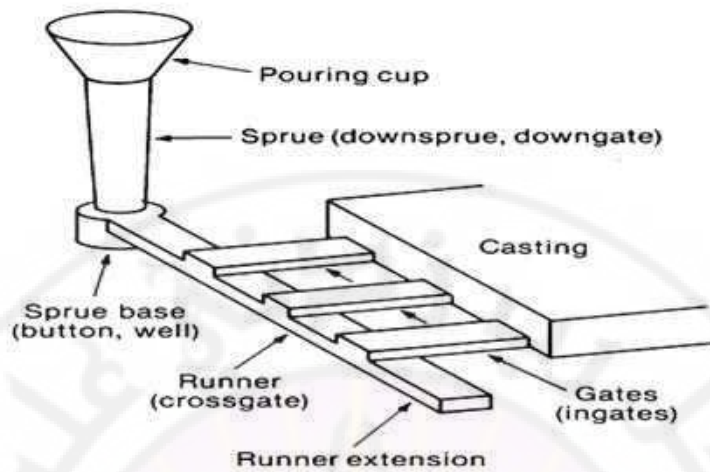
ج- قنوات التغذية السفلية: تستخدم هذه القنوات للتقليل ما أمكن من اضطراب المعدن المصهور خلال الصب، ولتجنب تآكل القالب بفضل استخدامه للمسبوكات الفولاذية ضخمة الحجم.

للقنوات السفلية عدد من المساوئ:

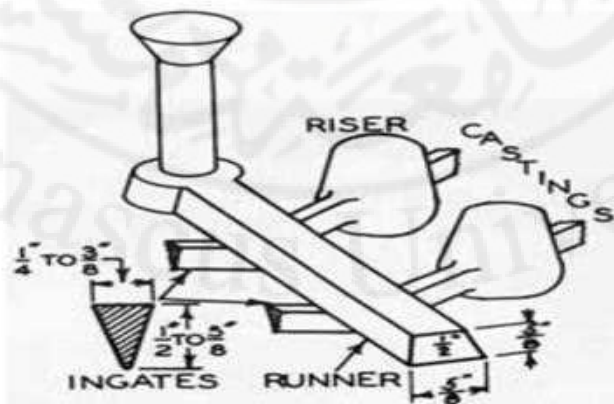
1. لا يفضل استخدام قنوات التغذية السفلية مع الموضعات العلوية؛ لأن المعدن سيتجمد بالموضع قبل قناة التغذية؛ وبالتالي لا يحقق غايته، وتتشكل فجوة في المسبوكية.

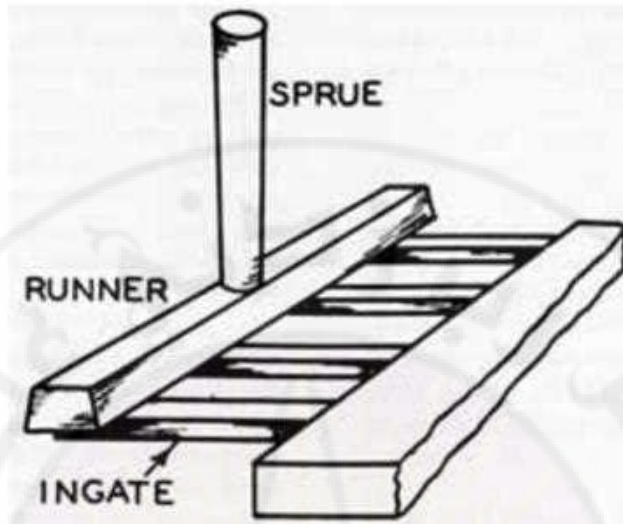
2. تفضل قنوات التغذية السفلية مع الموضعات الجانبية حيث تسخن جدران الموضع في أثناء جريان المعدن خلالها لإملاء فجوة القالب،

د- القنوات المدرجة: تستخدم هذه القنوات للاستفادة من مميزات القنوات السفلية، وتجنب سيئاتها حيث يتدفق المعدن المصهور في القنوات المدرجة من القناة الأولى حتى يمتلئ القالب بالمعدن المصهور إلى مستوى القناة الثانية حيث يبدأ بالتدفق من القناة الثانية وهكذا .. تصنع عادة القنوات بميل نحو الأعلى.



$$\text{Potential head (} wZ \text{)} + \text{Pressure head (} wP_v \text{)} + \text{Velocity head (} wV^2/2g \text{)} + \text{Friction loss of head (} wF \text{)} = \text{Constant (} K \text{)}$$





الشكل (4-6): بعض أشكال قنوات التغذية.

نسب مقاطع قنوات نظام الصب:

يستخدم هذا المصطلح للدلالة على مساحة المقطع العرضي لمكونات نظام الصب. فمثلاً 1:3:3 تدل إلى نسب مقطع قناة الصب الرئيسية (هنا مساحة مقطعها العرضي

1cm^2) وقناة التوزيع مساحة مقطعها العرضي 3 cm^2 وثلاث قنوات تغذية كل منها بمساحة مقطع عرضي مساوٍ إلى 1 cm^2 .

يصنف نظام الصب إلى النوعين اللاتيين:

- نظام الصب المضغوط: تختار نسب المساحات لقناة الصب الرئيسية وقناة التوزيع وقنوات التغذية بحيث يؤدي إلى ضغط مرتفع للمعدن المصهور ضمن النظام، وذلك بواسطة إعاقة الجريان في قنوات التغذية، لذا يتطلب أن تكون مساحة مقطع قناة الصب الرئيسية أكبر من مجموع مساحات قنوات التغذية؛ فمثلاً نسب مقاطع قنوات نظام الصب: $2:1:1$ --- $1:2:1$ --- $1:0.75:0.5$

مميزات نظام الصب المضغوط وهي الآتية:

- أ. يقلل هذا النظام ما أمكن من سحب الغازات إلى داخل تيار المعدن المصهور.
 - ب. حجم هذا النظام مقارنة بالغير مضغوط صغير؛ وبالتالي لا يحتاج إلى كمية كبيرة من المعدن وبالتالي يكون مردود عملية السباكة باستخدام هذا النظام أفضل.
- سنة هذا نظام الصب المضغوط، هي الآتية:

• سرعة جريان المعدن المصهور سريعة؛ مما يسبب اضطراباً للمعدن الداخل لتجويف القالب.

• هذا النظام يناسب المعادن الحديدية والنحاس.

- نظام الصب غير المضغوط: سرعة جريان المعدن المصهور أقل؛ مما يقلل من اضطراب المعدن، ومساحة مقاطع قنوات النظام أكبر من المضغوط؛ وبالتالي نحتاج لمعدن مصهور أكبر؛ مما يعطي مردوداً أقل بعملية السباكة. يستخدم للمعادن، مثل: الألمنيوم والمغنيزيوم.

نسب مقاطع قنوات هذا النظام: $1:3:3$ --- $1:2:2$... إلخ .

4-2-5: صواعد المسبوكات:

الصاعد Riser هو عبارة عن تجويف يحفر أو يقوالب في الريزك العلوي؛ ليسمح للمعدن المصهور بالارتفاع فوق أعلى نقطة في المسبوكة. الشكل (4-7).

إن للصاعد عدداً من المهام، وهي:

أ. تمكن عامل الصب من مراقبة عملية الصب والحكم على نجاح المسبوكية، حيث عدم ظهور المعدن بالصاعد يعني أن المعدن غير كاف لملء تجويف القالب أو هناك إعاقة بجريان المعدن بين قناتي الصب الرئيسة والصاعد.

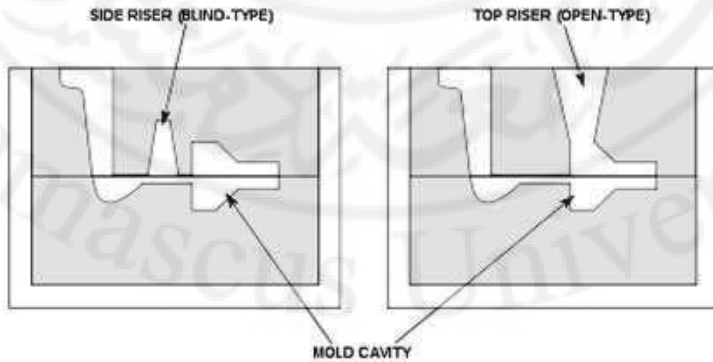
ب. يساعد الصاعد على خروج الغازات والأبخرة والهواء من تجويف القالب عند صب المعدن المصهور ضمن تجويف القالب.

ج. أهم عمل له هو العمل كمغذٍ يعوض المعدن الناقص بالمسبوكية نتيجة النقص في أثناء عملية التبريد.

للمسبوكات المعقدة ذات المقاطع الرقيقة قد يكون من الضروري استخدام أكثر من مرضع.

للحصول على مرضع فاعل يجب أن يحقق المرضع الآتي:

1. حجمه كافٍ بحيث يتجمد بعد تجمد المسبوكية.
2. يجب أن يغطي بشكل كامل سماكة المقطع المحتاج إلى تغذية.
3. يجب المحافظة على سيولة المعدن المصهور بحيث يستطيع الاختراق إلى تجويف القالب الواصل إلى آخر مراحل التجمد.
4. يجب أن يصمم، بحيث يحقق تجمد موجه (تدرج حراري يؤمن التجمد بعد تجمد المناطق من المسبوكية التي يقوم بإرضاعها)



الشكل (4-7): بعض أشكال صواعد المسبوكات.

التجمد الموجه:

ينقلص المعدن داخل فجوة القالب بأحد ثلاثة أشكال:

1- تقلص المعدن السائل: عندما يبرد المعدن من درجة حرارة الصب إلى درجة بدء التجمد.

2- تقلص التجمد: خلال تحول المعدن من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة.

3- تقلص المعدن الصلب: خلال مرحلة تبريد المعدن من درجة حرارة التجمد وحتى درجة حرارة الغرفة. الشكل (4-8).

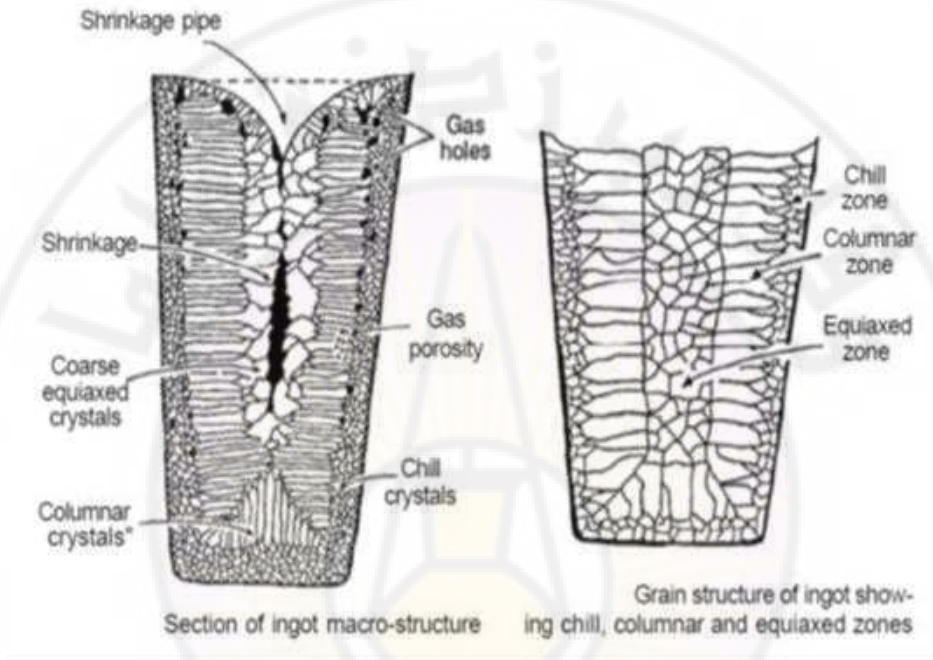
تقلص المعدن السائل مهم، لكن تقلص التجمد جوهري، لا تبرد كافة أجزاء المسبوك دفعة واحدة؛ وإنما تختلف باختلاف سماكة جدران المسبوك؛ مما يسبب حدوث عيوب وتشققات وفجوات؛ لذا يجب أن يتم دراسة تصميم المسبوك، ونظام الصب بحيث يؤدي إلى تجمد موجه وهذا التجمد الموجه يتم التحكم به باستخدام الآتي:

1. التصميم و التوضع المناسب لنظام الصب والمرضعات.
2. باستخدام جلب عازلة للحرارة من أجل المرضعات.
3. باستخدام التبطين لزيادة سماكة مقاطع محددة من المسبوك.
4. بإضافة مادة ناشرة للحرارة في المرضعات أو على رمل وجه القالب حول بعض أماكن المسبوكات.
5. استخدام المبردات في القالب.
6. استخدام المرضعات المغلقة.

3-4: تصميم نظام الصب:

تحدد أبعاد أنظمة الصب على أساس مساحات مقاطع أفقية التغذية، وهي العنصر قبل الأخير في نظام الصب، فمعدل امتلاء فجوة القالب بالمعدن المنصهر وأبعاد كل العناصر الأخرى من النظام تتعلق بحجم هذه الأقفية ومقطعها، والعوامل التي يجب أن تؤخذ بالحسبان لدى تعيين مقاطع أفقية التغذية، هي: سماكة جدران المسبوك، وشكل المسبوك، وحجم المسبوك العلوي، ووزن المسبوك.

ويفيد في تصميم أنظمة الصب في المقام الأول الدراسة الأولية لسريان المعدن في المجاري الرأسية والأفقية لهذه الأنظمة، ويتم هذه الدراسة باستخدام قانون ثبات التدفق ومعادلة برنولي.



الشكل (4-8): التركيبة البنيوية المتوقعة نتيجة اختلاف سرعة تبريد المعدن السائل.

4-4: طرائق حساب نظام الصب:

تحسب أبعاد نظام الصب على مرحلتين:

- حساب المقطع العرضي لفتحات التوزيع (أصغر مقطع عرضي) F_z .
- حساب أبعاد المقاطع العرضية لباقي عناصر نظام الصب.

يحدد أصغر مقطع في نظام الصب (F_z) وزمن إملء القالب، وهذا هو العنصر المهم الذي عنده نبدأ في الحساب. ويوضح الشكل (4-9) المقاطع العرضية لعناصر نظام الصب.

آ- القانون الأساسي لحساب المقطع العرضي لفتحات التوزيع:

تُحسب حسب القوانين الهيدروليكية لكمية السائل G_0 المارة في زمن قدره t عبر قناة مقطوعها العرضي f وبسرعة قدرها v بالعلاقة:

$$G_0 = \gamma \times F \times v \times t \quad (1)$$

وتُحسب السرعة الخطية v للمعدن من العلاقة المعروفة:

$$v = \sqrt{2gH_p} \quad [\text{Cm/sec.}]$$

حيث:

γ : الوزن النوعي للمعدن السائل.

g : تسارع الجاذبية الأرضية.

H_p : الضاغط الهيدروستاتيكي الفاعل.

t : زمن الصب.

تحتاج هذه العلاقة إلى إصلاح:

1- المقطع العرضي للسائل F_1 في الانحناءات يتناقص، يُعطي بالعلاقة:

$$F_1 = \alpha \cdot F$$

α - عامل تناقص المقطع العرضي $\alpha < 1$.

2- سرعة جريان المعدن الحقيقية (v_1) ستكون أقل من القيمة المعطاة بالعلاقة:

$$v = \sqrt{2gH_p}$$

F_z : المقطع العرضي لفتحات التوزيع.

F_s : المقطع العرضي لمجمع الخبث.

F_k : المقطع العرضي لقناة الصب الرئيسية في أدنى مقطع لها.

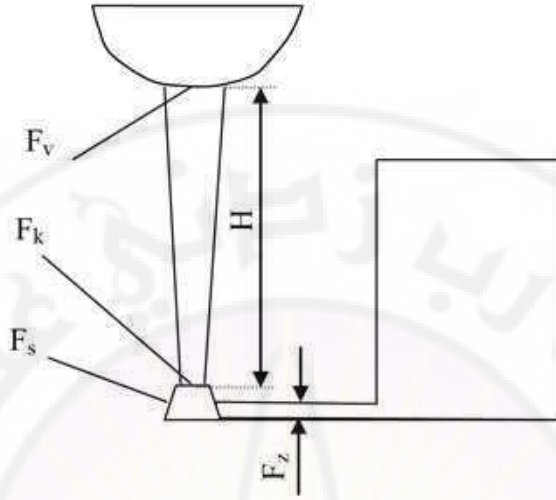
F_v : المقطع العرضي لقناة الصب الرئيسية في أعلى مقطع لها.

H : ارتفاع قناة الصب الرئيسية.

وذلك بسبب المفاهيم الناتجة عن الاحتكاك وتغيير الاتجاه.

$$V_1 = \varphi V \quad \text{لذا فإن:}$$

حيث φ عامل تناقص السرعة ($\varphi < 1$).



الشكل (4-9): المقاطع العرضية لعناصر نظام الصب.

3- الوزن الحقيقي للمعدن G المار من فتحة التوزيع F_z خلال زمن t سيكون أقل من القيمة المحسوبة بالعلاقة (1)، وستساوي:

$$G = \alpha \cdot \varphi \cdot G_o = \mu \cdot G_o$$

حيث (μ) عامل يعتمد على التركيب الكيميائي للمعدن ودرجة حرارة الصب، والميوعة، ونعومة سطح القالب والقنوات، وشكل المسبوكة وتعقيدها ... إلخ. لذا يمكن كتابة المعادلة كالآتي:

$$G = \mu \cdot G_o = \mu \cdot \gamma \cdot F \cdot t \cdot \sqrt{2gHp} \quad (2)$$

إذا عددنا: $\beta = \gamma \sqrt{2g}$ قيمة ثابتة لمعدن المسبوكة.

عندها تصبح العلاقة:

$$G = \mu \cdot \beta \cdot F \cdot t \cdot \sqrt{Hp} \quad (3)$$

ومن العلاقة (3) بحسب المقطع العرضي ($F_z = F$) لفتحات التوزيع (OSAN).

$$F_z = F = \frac{G}{\mu \cdot \beta \cdot t \cdot \sqrt{H_p}} \quad [\text{Cm}^2] \quad (4)$$

حيث إن:

$G = [\text{kg}]$: وزن المسبوكة بما فيها المرصعات ونظام الصب.

$\mu = (0.42 - 0.65)$ ويسمى عامل المقاومة، ويعتمد على نوع المعدن (حديد صلب، فولاذ . معادن ملونة).

$\beta = 0.31$ للفولاذ وحديد الصب.

$\beta = 0.33$ للبرونز.

$\beta = 0.1$ للألمنيوم.

بحسب الضاغط الفعلي H_p من العلاقة:

$$H_p = H - \frac{P^2}{2C} \quad [\text{Cm}]$$

حيث يوضح الشكل (4-10) هذه الأبعاد.

ويحسب زمن الصب (t) من العلاقة:

$$t = K\sqrt{G} \quad [\text{sec}]$$

حيث

G : وزن المسبوكة.

K : عامل يعتمد على سماكة جدران المسبوكة.

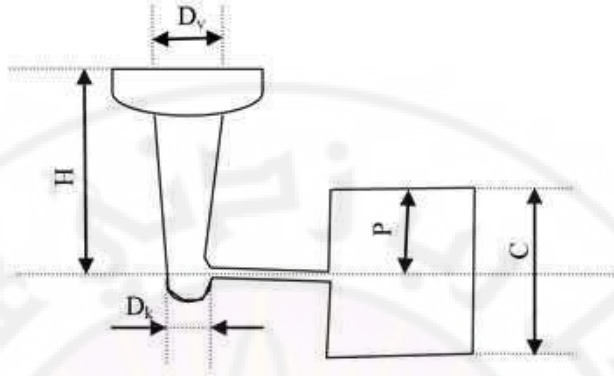
وتتراوح قيمة:

1.6 للسماكات (3-3.5) مم.

1.8 للسماكات (4.5-8) مم.

1.8 للسماكات (4.5-8) مم.

2.2 للسماكات (8-15) مم.



الشكل (4-10): لحساب الضاغط الفعلي H_p .

ب- حساب المقاطع العرضية لعناصر نظام الصب:
ليكون نظام الصب ملائماً، فيجب أن تتحقق العلاقة:

$$F_z < F_s < F_k$$

حيث:

F_z : المقطع العرضي لفتحات التوزيع.

F_s : المقطع العرضي لمجمع الخبث.

F_k : المقطع العرضي لقناة الصب الرئيسية في أدنى مقطع لها.

ويعبر عن العلاقة بين هذه المقاطع العرضية بالنسب التالية حسب الخبرات:

. مسبوكات الفونت تحت 10 طن : $F_z: F_s: F_k = 1 : 1.2 : 1.4$

. مسبوكات الفونت فوق 10 طن : $F_z: F_s: F_k = 1 : 1.3 : 1.6$

. مسبوكات الفونت للجدران الرقيقة : $= 1 : 1.1 : 1.15$

. مسبوكات الفولاذ : $= 1 : 1.2 : 1.4$

. مسبوكات الألمنيوم : 0.5 : 1.1 : 1 =

تصنع قناة الصب الرئيسية على شكل مخروط بمخروطية يتراوح % (4-6) Δ ويحسب القطر (Dv) في أعلى نقطة لقناة الصب الرئيسية:

$$D_v = \frac{\Delta \times H}{1000} + D_k$$

حيث:

$$D_k = \sqrt{\frac{4 \times F_k}{\pi}}$$

D_k : القطر الأدنى في قناة الصب الرئيسية.

مثال:

المطلوب: حساب أبعاد نظام الصب: F_z , F_s , F_k لأسطوانة من معدن حديد الصب، كما هي مبينة في الشكل (4-11) علماً أن وزن المسبوكة $G = 125 \text{ kg}$.
الحل:

1- نحسب أولاً المقطع العرضي لفتحات التوزيع (F_z) من علاقة OSAN (4):

$$F_z = \frac{G}{t \cdot 0.31 \cdot \sqrt{H_p}}$$

a- يحسب زمن الصب من العلاقة: $t = k \sqrt{G}$

$$t = 2.2 \sqrt{125} = 24 \text{ sec}$$

نختار $\mu = 0.5$.

حساب H_p (الضاغط الفعلي).

$$H_p = H - \frac{P^2}{2C}$$

P = C في المسبوكة هذه

$$H_p = H - \frac{C}{2} \quad \text{لذا:}$$

$$H_p = 85.6 - \frac{60.6}{2} = 55 \text{ Cm}$$

$$F_z = \frac{125}{24 \times 0.5 \times 0.31 \cdot \sqrt{55}} = 4.6 \text{ cm}^2$$

2- يحسب المقطع العرضي F_s لمجمع الخبث من العلاقة:

$$F_z: F_s: F_k = 1: 1.1: 1.15$$

$$F_s = 1.1 \times F_z = 1.1 \times 4.6 = 5.06 \text{ cm}^2$$

3- يحسب المقطع العرضي لقناة الصب في أسفل نقطة لها F_k :

$$F_k = 1.15 \times F_s = 1.15 \times 5.06 = 5.82 \text{ cm}^2$$

ويحسب قطر قناة الصب الرئيسية:

$$F_k = \frac{\pi \times D_k^2}{4} \rightarrow D_k = 2.72 \text{ Cm}$$

يؤخذ رقم أقرب إلى القياس $D_k = 30 \text{ mm}$.

قطر قناة الصب في أعلى نقطة لها: يحسب من العلاقة:

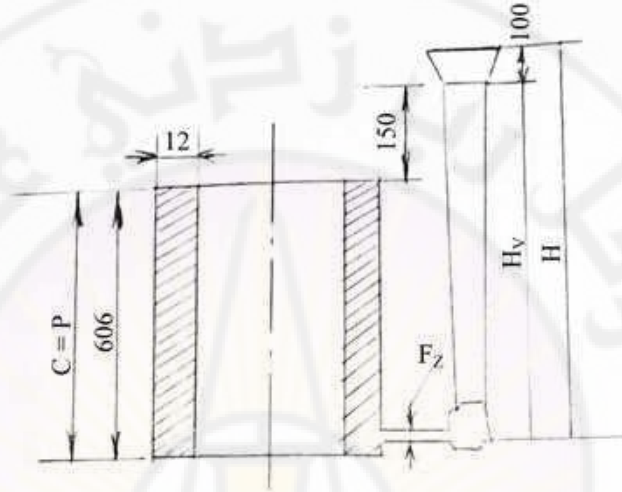
$$D_v = \Delta H_v + D_k$$

حيث:

Δ : مخروطية قناة الصب، ونعدها $\Delta = 4\%$

$$D_v = \frac{4}{100} + \left(\frac{606 + 150}{10} \right) + 30 = 33 \text{ mm}$$

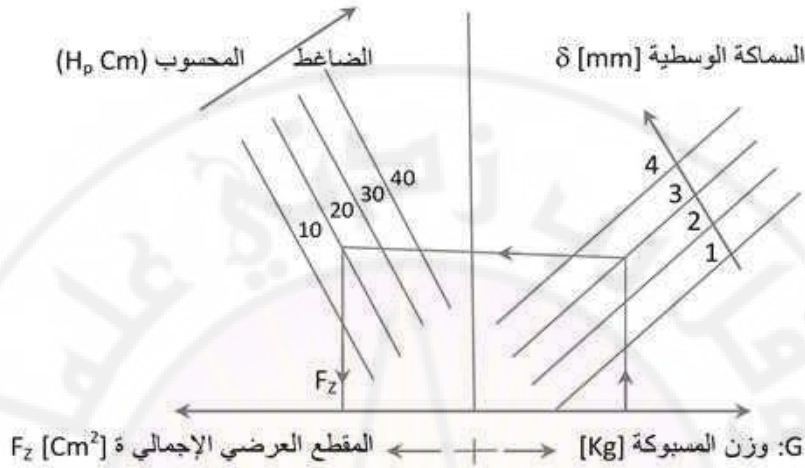
تؤخذ: $D_v = 35 \text{ mm}$



الشكل (11-4): مثال لحساب أبعاد عناصر نظام الصب.

هذا، وتوجد طرائق أخرى في حساب أبعاد نظام الصب، مثل النوموغرامات Nomogram (الحل البياني) وهي التي بها نستطيع حساب أبعاد نظام الصب بسرعة، مثل نوموغراف سوبولييف، ويمثل الحل البياني للمعادلة العامة في حساب أبعاد نظام الصب، والشكل (12-4) يوضح الحل البياني لحساب أبعاد نظام الصب.

من وزن المسبوكة $G(\text{kg})$ يرفع خط شاقولي ليلقي خط السماكة $(S.\text{mm})$ لجدران المسبوكة من نقطة التقاطع السابقة، يرسم خط أفقي ليلقي خط الضاغطة (H_p) الذي يتم حسابه، كما في الطريقة السابقة، ومن نقطة التقاطع يُسقط خط شاقولي؛ ليلقي الخط الأفقي الذي يحدد المقطع العرضي لفتحات التوزيع.



الشكل (4-12): الحل البياني لحساب أبعاد نظام الصب /سوبوليف/.

4-5: موازنة قوى الدفع عند صب المعدن المنصهر:

عند صب المعدن المنصهر في فراغ القالب تنشأ عنه قوة دفع (دافعة أرخميدس) تتجه من الأسفل إلى الأعلى محاولة فصل جزئي القالب أحدهما من الآخر، لذلك وكى لا ينفصل الريزك العلوي عن السفلي، لا بد من موازنة هذه القوة بإضافة أُنْقال توضع على سطح الريزك العلوي أو يربط الريزكان ربطاً ميكانيكياً محكماً.

وبما أن ضغط المعدن المنصهر متساوٍ في أرجاء القالب المختلفة، فإن قوة الدفع المذكورة تعادل الدفع الحقيقي الناتج عن عمود المعدن المنصهر فوق السطح العلوي للقالب، تقدر هذه القوة بحاصل ضرب مساحة القالب المسقط *Projected area* في ارتفاع المعدن المنصهر في مجرى عمود الصب عن سطح المسبوك، فإذا رمزنا للوزن النوعي للمنصهر بالحرف ρ ، فإن القوة تعطى بالعلاقة: $F = A \cdot h \cdot \rho$ ، إلا أن هذه القيمة هي القوة الناتجة عن الدفع الستاتيكي وهي أصغر من القوة الحقيقية المؤثرة؛ لذلك يضاف إلى القيمة السابقة قوة دفع أخرى ناتجة عن الضغط الديناميكي الذي يسببه تحرك

أو سريان المعدن المنصهر داخل القالب، ولصعوبة حساب الضغط الديناميكي تصحح قوة الدفع الستاتيكي بضربها بمعامل تتراوح قيمته من 1.3 – 1.5.

مثال (1):

المطلوب حساب الوزن اللازم إضافته إلى سطح الريزك العلوي لقالب المسبوك الموضح بالشكل (4-13) كي لا يطفو، علماً أن:
 أبعاد الريزك هي: $200 \times 300 \times 300$ مم.
 الوزن النوعي للصلب المنصهر هو 7.2 غ/سم³.
 الوزن النوعي لخليطة الرمل المستعملة في تشكيل القالب هو 1.67 غ/سم³.
 يحسب الوزن اللازم بالعلاقة:

$$F = Fi_2 - W_m$$

حيث: W_m وزن الريزك العلوي Fi_2 – قوة الدفع الهيدروليكية الديناميكية.
 تحسب قوة الرفع الستاتيكية من العلاقة:

$$Fi_1 = A_b \times \rho \times h_m$$

حيث:

A_b : المساحة الأفقية لفجوة القالب في الريزك العلوي.

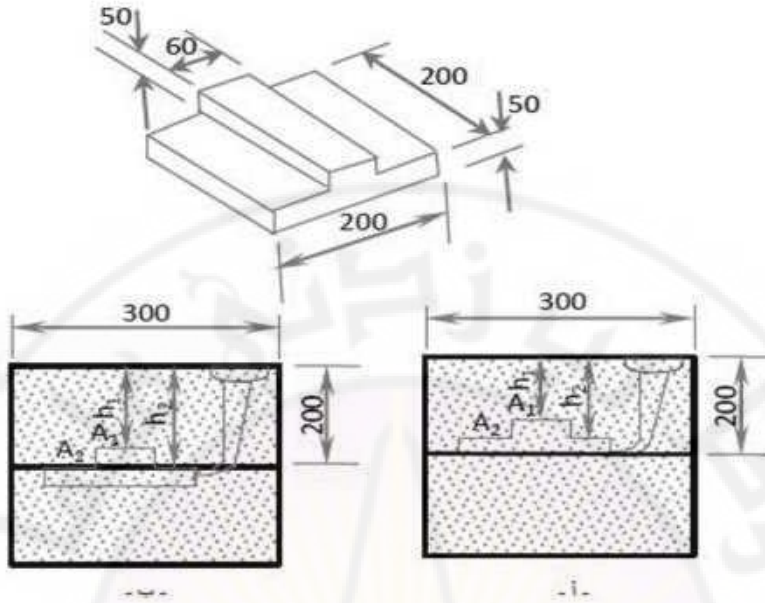
ρ : كثافة المعدن.

h_m : ارتفاع المعدن فوق المساحة A_b .

وتكون قوة الدفع الديناميكية: $Fi_2 = 1.5 \times Fi_1$

الحل:

يمكن أن يصادفنا حالات عدة لوضع فراغ القالب بالنسبة لكل من الريزكين؛ لذا سوف نعالج كلاً من الحالتين (أ) و (ب) على انفراد.



الشكل (4-13): حسابات موازنة قوى دفع المعدن المنصهر.

الحالة الأولى (أ):

قوة دفع الريزك العلوي الستاتيكية تعطى بالعلاقة الآتية:

$$F_1 = A \cdot h \cdot \rho = \rho (A_1 h_1 - A_2 h_2)$$

$$A_1 = 6 \times 20 = 120 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 2(7 \times 20) = 280 \text{ cm}^2$$

$$h_2 = 15 \text{ cm}, h_1 = 10 \text{ cm}$$

$$F_1 = 7.2 (120 \times 10 + 280 \times 15) / 1000 = 38.8 \text{ kg}$$

قوة الدفع الديناميكي:

$$F_2 = F_1 \times 1.5 = 58.2 \text{ kg}$$

وزن الرمل داخل الريزك مع إهمال وزن الغاز تعطى بالعلاقة:

$$F_3 = 1.67 [30 \times 30 \times 20 - (20 \times 20 \times 5 - 20 \times 6 \times 5)] = 25.72 \text{ kg}$$

$$F_4 = 6 \text{ kg} \quad \text{وزن الريزك:}$$

الوزن اللازم إضافته:

$$F = F_2 - (F_3 + F_4) = 58.2 - 31.72 \text{ kg} = 26.5 \text{ kg}$$

الحالة الثانية: (ب):

$$h_2 = 20 \text{ cm}, h_1 = 15 \text{ cm}$$

$$F_1 = 7.2 (120 \times 15 + 280 \times 20) / 1000 = 53.28 \text{ kg.}$$

$$F_2 = 53.28 \times 1.5 \sim 80 \text{ kg.}$$

وزن الرمل داخل الريزك مع إهمال حجم النازل تحسب كالآتي:

$$F_3 = 1.67 (30 \times 30 \times 20 - 6 \times 5 \times 20) \sim 29 \text{ kg.}$$

الوزن اللازم إضافته:

$$F = 80 - (29 + 6) = 45 \text{ kg.}$$

مثال 2:

إذا كان المسبوك الموضح على الشكل (4-14) من الصلب، فاحسب قوة الدفع المؤثرة على النواة وعزم الانحناء وإجهاد القص الأعظمين، علماً أن الوزن النوعي للصلب ρ هو 7.2 غ/سم³ والوزن النوعي للرمل هو 1.67 غ/سم³.

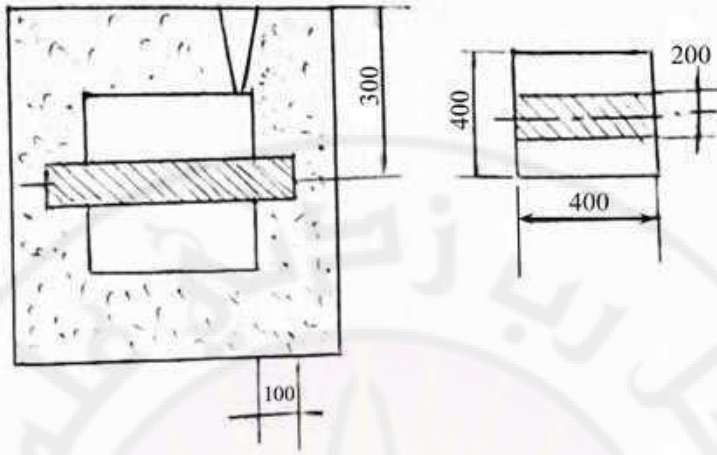
الحل:

قوة الدفع إلى الأعلى هي الفرق بين دافعة أرخميدس ووزن القلب (النواة)، دافعة أرخميدس تساوي إلى وزن المعدن المنصهر المزاح، أي:

$$= \left(\frac{220 \times 3.14}{4} \times 40 \right) \times 7.2 = 90 \text{ Kg}$$

$$\text{وزن القلب} = \left(\frac{220 \times 3.14}{4} \times 60 \right) \times 1.67 = 31 \text{ كغ}$$

قوة الدفع تساوي: 90 - 31 = 59 كغ.



الشكل رقم (4-14): حساب قوى المؤثرة على القلب (النواة).

وبما أن القلب عبارة عن نواة مرتكزة على مسندين بسيطين من طرفيها ومحملة بحمل موزع بانتظام، فإن الانحناء الأعظمي المؤثر فيه يعطي بالعلاقة:

$$M = \frac{qL^2}{8} = \frac{59 \times 40^2}{40.8} = 295 \quad [\text{kg.Cm}]$$

$$q = \frac{59}{40} \quad \text{حيث:}$$

إجهاد القص يعطي بالعلاقة الآتية:

$$\Gamma = \frac{qL/2}{A} = \frac{50 \times 40.4}{40.2 \times \pi \times 20^2} = 0.093 \quad [\text{kg/cm}^2]$$

حيث: A - مساحة مقطع النواة.



الفصل الخامس

السباكة في القوالب الدائمة

Permanent Mold Casting

درسنا السباكة الرملية بالفصول السابقة، إلا أن الحاجة إلى المسبوكات متميزة بالدقة وبنعومة السطح والحاجة إلى الإنتاج الكمي أدت لدخول طرق خاصة بالسباكة، ندرس منها تقانة بعض الطرق:

1- اختيار الطرائق الخاصة في السباكة:

يُنْتِج بالطرائق الخاصة (20-40%) من المسبوكات غير الحديدية ونسبة أقل من حجم المسبوكات الحديدية. وإن اختيار الطرائق الخاصة يؤخذ من وجهة نظر نوعية الإنتاج واقتصاديته. فاختيار أي طريقة يعتمد على الفرق بين كمية العمل المبذول بالطريقة الكلاسيكية وكمية العمل المبذول باستعمال الطريقة الخاصة. أي على فرق تكاليف الإنتاج للقطع الجاهزة وعلى خواصها الميكانيكية، فإذا كانت تكاليف الإنتاج (العدد والآلات) بالطريقة الكلاسيكية (N_n) وتكاليف إنتاج القطعة الجاهزة بالطريقة نفسها (N_o)، وإذا كانت تكاليف وسائل الإنتاج في الطريقة الخاصة (N_{ns}) وتكاليف إنتاج القطعة الجاهزة بالطريقة الخاصة (N_{os}) تشمل (N_o) و (N_{os}) أيضاً على جزء من التكاليف الخاصة بالمسبوكات العاطلة في كلتا الحالتين.

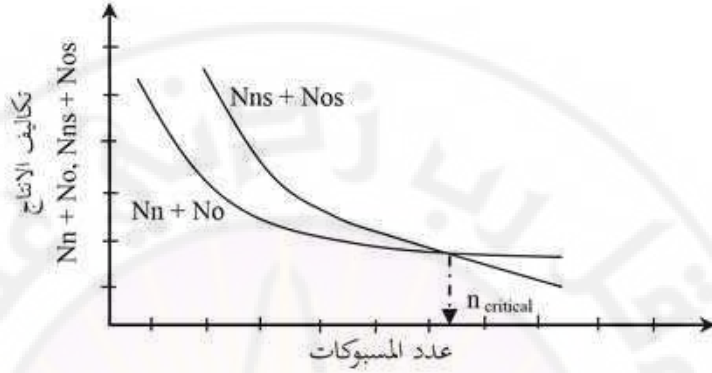
يتضح من الشكل (5-1) أنه عندما يزيد عدد المسبوكات على $n_{critical}$ يصبح استخدام الطريقة الخاصة أفضل. ويمكن حساب عدد المسبوكات الحدي بطريقة بسيطة من العلاقة:

$$(N_o - N_{os} * n_{cr} = (N_{ns} - N_n)$$

$$n_{cr} = (N_{ns} - N_n) / (N_o - N_{os})$$

إذا كان عدد المسبوكات المطلوبة أكبر من العدد الحدي، فيعد استخدام الطريقة الخاصة مفيداً.

يستحصل على التكاليف No , Nos , Nn , Nns باستعمال طرائق حساب التكاليف. وعند حساب Nns , Nn يؤخذ في الحسبان اهتلاك وسائل الإنتاج.



الشكل (1-5): اختيار الطرائق الخاصة في السبابة.

لو استعرضنا بشكل سريع طرق السبابة:

- الطرق التقليدية.
- الطرق المتقدمة.
- الطرق الحديثة.

الطرق التقليدية: وهي التي تستخدم في الورش.

Bench sand casting: يستخدم في المنتجات صغيرات الحجم. تتم هذه العملية في أرضية المسبك.

Pit casting: يستخدم في المنتجات كبيرة الحجم. تتم هذه العملية في أرضية المسبك. يتم حفر عمق بمقدار مناسب ثم تسوية أرض الحفرة. وضع قاعدة الفورما في الحفرة وتثبيتها ووضع لوحين من الخشب على جانبي الحفرة ووضع فحم نباتي على الفورما. يتم وضع عمود الفورما بارتفاع المنتج. قص الشكل الخارجي للمنتج المراد سبابة على قطعة من الصاج (2 مم) ثم تثبيتها على ذراع الفورما. تثبت ذراع الفورما في عمود الفورما. تم دوران ذراع المركب عليها الشكل الخارج للمنتج بعد وضع التسامحات؛ ليأخذ الرمل شكل المنتج المراد سبافته. ثم يتم فك مسمار العمود، ويتم فك ذراع الفورما. يسحب

اللوحيين من على جانبي الحفرة وملئها بالفحم النباتي؛ وذلك لخروج الغازات الناتجة من المعدن المنصهر. يتم دهان الجزء الخارجي بطبقة من الجرافيت حتى لا يلتصق الرمل الآخر، نحضر نصف ريزق علوي يناسب حجم المنتج. يتم تقسيم الريزق إلى عدد من الاقسام. عمل فورمة على شكل الثقب ثم تركيبها بعمود الفورما ودورانها؛ لتأخذ شكل الثقب نفسه. تركيب القوالب بالتوالي. عمل فتحة المصب. صب المعدن.

Loom moulding: طريقة الـ pit casting نفسها، ولكن يستبدل الرمل بالطوب الطفل.

Shell moulding:. وفيها يصنع النموذج من المعدن من نصفين، ويتم فيها استخدام مادة راتنجية مع الرمل لتشكيل قالب السباكة عن طريق وضع نصف النموذج المعدني على لوح من المعدن، وتثبيتته، يتم وضعه على الهوير، وقلب الهوير 180 درجة ثم تسخين النموذج عن طريق سخان حراري إلى أن تتصهر المادة الراتنجية مع الرمل، ليأخذ شكل المسبوكية. المسبوكات الناتجة نادراً ما تحتاج إلى عمليات تشغيل. لا يوجد أي مواد عضوية، وبالتالي لا يوجد غازات.

يتم خلط البلاستيك مع الرمل بطريقتين:

- الخلط على البارد: وذلك بإضافة الـ phenolic إلى الرمل الجاف، ويتم خلطها خطأ تاماً وطحنها عند درجة حرارة لا تزيد على 50 درجة.

- الخلط على الساخن: يتم طحن الرمل مع phenolic عند درجة حرارة تعادل بين 170:150 مع إضافة مادة محفزة، تعرف باسم hexamatilin titramin مذبابة في الماء مع استخدام الزيت السيلكوني لفصل الغلاف عن الأورنيك، وتكرر هذه العملية من 20:15 مرة.

Carbon dioxide molding: وفيها يخلط الرمل مع سيليكات الصوديوم وعند تعرضها لثاني أكسيد الكربون يتحول لمادة جيلاتينية تعمل على تماسك وتصلد حبيبات الرمل يتم تعريضها للهواء الجوي وتسخينها لدرجة حرارة 150 حتى تتم عملية التجمد لتأخذ الشكل المطلوب. يمكن تشكيل القوالب الصغيرة دون الحاجة إلى ريزق. إن الحصول على أسطح دقيقة وناعمة مكلفة للغاية (لا يمكن استخدام القالب مرة أخرى).

تستخدم للأجزاء المتوسطة والصغيرة الأكثر تعقيداً منها في السباكة بالأغلفة. إذا تم تخزينها لفترة لا تصلح للاستخدام؛ وذلك لزيادة تصلدها؛ مما يؤدي إلى الثغرات التي يمكن للغاز أن يمر من خلالها.

Die casting: تسمى هذه الطريقة الصب في القوالب نصف الدائمة؛ نظراً لاستخدامها دلائيك معدنية ورملية، ويكون قالب السباكة من المعدن ويستخدم في سباكة المواد غير المعدنية والحديد الزهر. هذه الطريقة تمتاز بمنتجات ذات أسطح ناعمة (سماعات دقيقة حتى 0.01 بوصة)، يمكن عمل ثقوب أدق حتى 1/4 بوصة، قلة المساحة المستخدمة وكمية المعدن المنصهر، اقتصادية إذا استخدمت في الإنتاج الكمي الغزير، لا يمكن تعديل القالب، الحد الأقصى للمسبوك يقل كثيراً عن الطرق السابقة، الحد الفاصل بين الأجزاء رأسي، بعض المسبوكات لا تلائم هذه الطريقة.

Centrifugal casting: وتتم فيها عملية الصب بالطرود المركزي. تصنف إلى: **True centrifugal casting:** وتستخدم هذه الطريقة لإنتاج المواسير سواء كانت: طويلة: نستخدم نظام الصب الأفقي مع مراعاة شكل النهاية للماسورة (داليك) وعند وجود أشكال في القالب يتم تشكيل النهاية حسب الشكل. إما من الرمل أو في القالب، وتستخدم إذا كانت الماسورة طويلة.

قصيرة: ويكون فيها القطر أكبر من الطول والصب يكون رأسياً، ويتم فيها صب المعدن أولاً، ثم عملية الدوران، وتأخذ النهاية الشكل المطلوب.

Semi centrifugal casting: تستخدم لإنتاج الأشكال المتماثلة حول المحور الرأسي ويمكن إنتاج منتجات عدة في وقت واحد، ويتم فيها صب المعدن أولاً ثم عملية الدوران. **Centrifugal casting:** هي الطريقة السابقة نفسها، ولكن يمكن إنتاج أشكال عدة غير متماثلة حول المحور الرأسي وبالطريقة نفسها، ولكن المنتجات تأخذ شكلاً دورانياً حول المحور الرأسي.

Investment casting: تستخدم للحصول على منتجات غاية في الدقة، وسرعة في الإنتاج، ولا تحتاج لعمليات تشغيل لاحقة. تستخدم هذه الطريقة الشمع الإسكندراني لصبه في الريزق، ليحصل على شكل المنتج. ثم تركه حتى يبرد، ويتم صب العدد المطلوب

من المنتجات، ويتم ذلك بعمل أسطوانة رأسية طويلة وأخرى صغيرة ثم ربط الأسطوانات الصغيرة مع المنتجات مع الأسطوانة الرأسية ثم غمرهم في مادة حرارية مذبذبة ثم يتم تجفيفها وتترك لمدة عشر ساعات حتى يجف الغلاف ثم تتم عملية إزالة الشمع، وذلك عن طرق التسخين، ووضع القالب مقلوباً ثم تتم عملية الصب، وذلك في حالة المسبوكات الحديدية يتم استعمال أفران القوس الكهربائي عن طريق التناقل ثم تسليط هواء ساخن على فتحة المصب بغرض إجبار المعدن على ملء الفراغات ثم يترك حتى يتجمد ثم تتم عملية التنظيف بتكسير الغلاف وإزالة قنوات الصب.

Pressures die casting: وجه التشابه بينها وبين Die casting أنه يتم استخدام قوالب معدنية، ولكن الدليك يكون من المعدن، ولا يستخدم إلا في الإنتاج الكمي. ويتم فيها دخول المعدن تحت ضغط، ويمكن إنتاج منتجات رقيقة السمك تصل إلى 0.015 بوصة وبطول 6 أقدام ومعدل إنتاجه عالٍ، ويمكن إنتاج أشكال غاية في التعقيد ذات خواص ميكانيكية عالية. ولا يستخدم لأي معادن حديدية، ولا يمكن سبائك المشغولات الكبيرة، ولا تستخدم إلا في إنتاج أكثر من 2000 منتج. أنواع ماكينات الضغط:

Hot chamber

Plunger: يصلح للماكينات ذات الغرف الساخنة. ويتم دخول المعدن إلى القالب عن طريق الوزة مع فرق الضغوط عن طريق المكبس، ومنها إلى الـ nozzle ثم إلى القالب لملء الفراغات.

Air ignition: ويتم دخول المعدن إلى القالب عن طريق ضغط هواء من الخارج، ويتم دخول المعدن عن طريق ميل رقبة الوزة عن طريق المفصلة، ومنها إلى فتحة الدخول التي تقوم بالتحكم في حجم المعدن حسب قطرها، ومنها إلى الـ nozzle ثم إلى القالب لملء الفراغات.

Cold chamber: وفيها يتم صهر المعدن في أفران، ويتم نقلة عن طريق بوتقة ثم تتم عملية الصب عن طريق فتحة الصب، ويتم الضغط عليها بالمكبس؛ ليضغطه داخل القالب؛ لتتم عملية الصب.

هناك العديد من المعادن منها ما يقبل التشكيل على البارد أو الساخن وبعد الانتهاء من عملية التشكيل يكون هناك اختلاف في خواص المادة؛ ولذلك يتم عمل معالجة حرارية، وذلك حتى يكسب المادة بعض الخواص. وطريقة السباكة تصلح لأنواع المعادن جميعها، سواء كان هشا أو طرياً. وإن معدل التبريد يتحكم بشكل كبير في خواص المعدن، وفيه يتم إزالة الإجهادات الداخلية للمعدن.

النظرية التكنولوجية: وهي تحويل نتائج العلم إلى واقع. هنالك أساليب بدائية في عملية السباكة، وتؤدي هذه العمليات إلى حدوث عيوب في المنتجات، مثل: عميلة السباكة بالرمل، وتستخدم أساليب بدائية في عملية السباكة، وتحتاج إلى عمليات تشغيل وتستخدم الحديد الزهر، وذلك بعد استخلاصه من الحديد الغفل من الفرن العالي حيث يضاف إليه بعض الإضافات، مثل: الحجر الجيري وذلك للتخلص من الشوائب. وهناك العديد من الأفران تستخدم لاستخلاص الحديد من الخام، مثل أفران القوس الكهربائي. ويكون شكل الحديد بعد استخلاصه على شكل ألواح ومقاطع، ويكون على شكل منتجات نصف مصنعة.

و هذه الأساليب البدائية تستخدم للإنتاج الأحادي، وتستخدم رملًا ذا مواصفات خاصة، ولا يمكن استخدامها في عمليات التصنيع.

أما الطرق المتاحة حديثاً:

- Shell molding
- Carbon dioxide process
- Full mold process
- Investment casting
- Ceramic mold casting
- Plaster molding

Ceramic molding process: من مميزاتا أنها تتحمل درجة حرارة عالية بخلاف

ال plaster حيث إنه يتحمل درجة حرارة أقل من 100 درجة.

الطرق المتقدمة: تعطي منتجات غاية في الدقة، وتستخدم الكمبيوتر في عملية الإنتاج، مثل ماكينات CNC وتكون فيها الدقة متناهية. وتستخدم لصناعة mold من المعدن ويكون له مواصفات:

1- يتم تصنيعه من معدن درجة انصهاره أعلى من درجة انصهار المادة المنصهرة.

2- عدم التفاعل مع مادة القالب.

3- لا تتغير صفات القالب عند درجة الحرارة العالية.

4- أن يكون القالب مقاوماً للتآكل.

وهناك طرق لمعالجة التآكل مثل تغطية القالب، وذلك بوضع طبقة من السيراميك، وتعمل هذه الطبقة أيضاً على مقاومة الحرارة العالية.

وكما ذكرنا في السابق أن من الطرق الحديثة في الإنتاج هو استخدام الـ CAD في عمليات الإنتاج وفي السابق كان تُستخدم الروافع الميكانيكية في عملية الإنتاج. وفي عمليات الإنتاج الحديث يتم رسم المنتج ثم عملية التصنيع عن طريق CAM. ويتم تصنيف الماكينات المستخدمة في عمليات السباكة حسب درجة الحرارة وذلك أن هناك معادن درجة انصهارها 1600 درجة، وتسمى SUPER MATERIAL وذلك في القرن الحديث ظهرت SMART MATERIAL وهناك مواد أخرى درجة انصهارها أقل من 600 درجة. وهناك نوعان من الماكينات تستخدم في عملية السباكة، تم ذكرهما في السابق. HOT CHAMBER & COLD CAMBER.

وهناك عيوب تحدث في المعدن، مثل: البخبة، وهناك طرق للتخلص منها، مثل السباكة بتأثير الضغط.

5-1: السباكة في القوالب الدائمة الحرارية

تصنع هذه القوالب من مواد تتحمل درجات الحرارة العالية التي يمكن أن تتعرض لها من جراء ملامستها لمعدن المسبوك المنصهر. وتستخدم في هذا السبيل مواد عديدة، أهمها: السيراميك (أو المواد الخزفية) التي تتشكل من أنواع معينة من الطمي. وبعد تشكيل القالب يعفر سطحه بالهباب ثم يجفف في درجة حرارة تقترب من 300 م° ثم يدهن بالماء الزجاجي (NaSiO_2) لتترك طبقة زجاجية على السطح، وبعدها يحمّص القالب بعد أن يعاد تعفير سطحه بالهباب في درجة حرارة 350 م° ، وقبل عملية الصب يسخن القالب حتى لا يتعرض لإجهادات حرارية مفاجئة تؤدي إلى تصدعه، وعند الانتهاء من الصب تنزع المسبوكات وهي ساخنة بدرجة حرارة بحدود 900 م° وتترك لتبرد على فرشاة من

الرمل، وقبل إعداد القالب للصب مرة أخرى يرمم إذا كان ذلك ضرورياً ثم يعفر من جديد.

هذا وقد تصنع القوالب الخزفية من مادة خاصة تعرف باسم "مركب الشاموت" وهو يتكون من الغضار، والشاموت، ونشارة الخشب، وتراب فحم الكوك، ورماد المرشحات الذي تحتجزه المرشحات الكهربائية في قنوات الغازات المنطلقة في محطات الطاقة الحرارية والمتخلقة عن احتراق الفحم البني.

وبعد تشكيل القالب (برك هذا المركب في الريزك)، يجفف ثم يدهن بأسود الرصاص، وتصبح للقالب بعد تجفيفه بنية صلبة مع احتفاظه بنفاذية جيدة للغازات، وليس ثمة حاجة في هذه الحالة لمرضعات مفتوحة، لكنه ينبغي جعل أبعاد المصب صغيرة.

تستخدم هذه القوالب في صنع المسبوكات المعقدة و كبيرة الحجم كأسطوانات القاطرات، وفي إنتاج مصبوبات حديد الزهر الرمادي والبرونز ومصبوبات السبائك الخفيفة، هذه القوالب يمكن استخدامها بإنتاج من (20) إلى (40) مسبوكة وقد يزيد العدد على ذلك. وقد يمكن عدّ قالب الرمل الغريني الذي ينشأ لإنتاج أكثر من مسبوك واحد قالباً دائماً، إلا أن في هذه الحالة ينبغي ربط وحدات الطوب الذي يُبنى منها القالب بإحكام جيد، كما يجب أن يتوفر في البناء الطوبي ما يكفي من المرونة والمقاومة لامتناس الإجهادات الناجمة عن تقلص المسبوكات. هذا ويجب ترميم الأجزاء المعطوبة من القالب من جراء فتحه وإخراج المسبوكات منه قبل تجميعه وإعداده للعملية التالية.

ومن القوالب دائمة الحرارة قوالب كربيد السيليكون التي تصنع من مسحوق كربيد السيليكون المعجون بالماء الزجاجي كمادة رابطة، وبعد أن يشكل القالب من عجينة كربيد السيليكون يجفف ثم يدهن بخليط من الغرافيت والماء الزجاجي، ويمكن استخدام مثل هذا القالب لعدد من الصببات يتراوح بين 500 إلى 800 صبة.

5-2: السباكة بالقوالب المعدنية التي تعمل بالثقالة والضغط:

يتوقف عدد القطع الممكن إنتاجها بالقالب المعدني على نوع المعدن المصبوب وعلى شكل المسبوكة، لإطالة عمر القالب نخفف من الصدمة الحرارية عن طريق تسخينه لدرجة الحرارة المناسبة للصب، وبطلاء السطح العامل للقالب بمواد مقاومة للحرارة.

وبحسب درجة تعقيد المسبوكة يمكن أن يكون القالب مؤلفاً من قطعة واحدة أو أكثر، حيث يكون بالقالب ذي القطعة الواحدة الجزء المتبقي من القالب رملياً. تصنع القوالب المعدنية إما من حديد الزهر أو الفولاذ منخفض الكربون، يزود القالب بتسامح ميلان وتمدد حراري وتسامح تقلص، كما تستخدم نوى معدنية أو رملية أو قشرية، تشكل قناة صب رئيسية ومرضعات بالقالب، تتشكل عند سكب المعدن غازات بالقالب المعدني ناتجة عن طلاء سطح القالب، وعن الهواء المزاح من تجويف القالب، يتم إخراج هذه الغازات عن طريق سطح الفصل بأقنية تهوية (تنفيس). تتميز مسبوكات القوالب المعدنية بما يأتي:

1. خلوها من الرمال.
 2. خلوها من المسامية الناتجة عن الغازات بسبب التبريد السريع.
 3. نعومة بنيتها نتيجة التبريد السريع.
 4. دقة أبعاد المسبوكات ونعومة سطحها.
 5. خلو المسبوكات من التقلصات الداخلية.
- إن خطوات السباكة بالقوالب المعدنية الدائمة هي الآتية:

1. تنظيف القالب وتسخينه لدرجة حرارة مناسبة للصب (تتبع لنوع المعدن المراد صبه).
2. طلاء السطح العامل للقالب بالمادة المقاومة للحرارة.
3. وضع النواة بمكانها وإحكام إغلاق القالب.
4. سكب المعدن المصهور داخل تجويف القالب.
5. إبقاء المسبوكة داخل تجويف القالب حتى يتصلب المعدن.
6. فتح القالب وإخراج المسبوكة المتجمدة.

يجب أن تحقق المسبوكات المصنعة بالقوالب المعدنية بعض الشروط، وهي كالآتي:

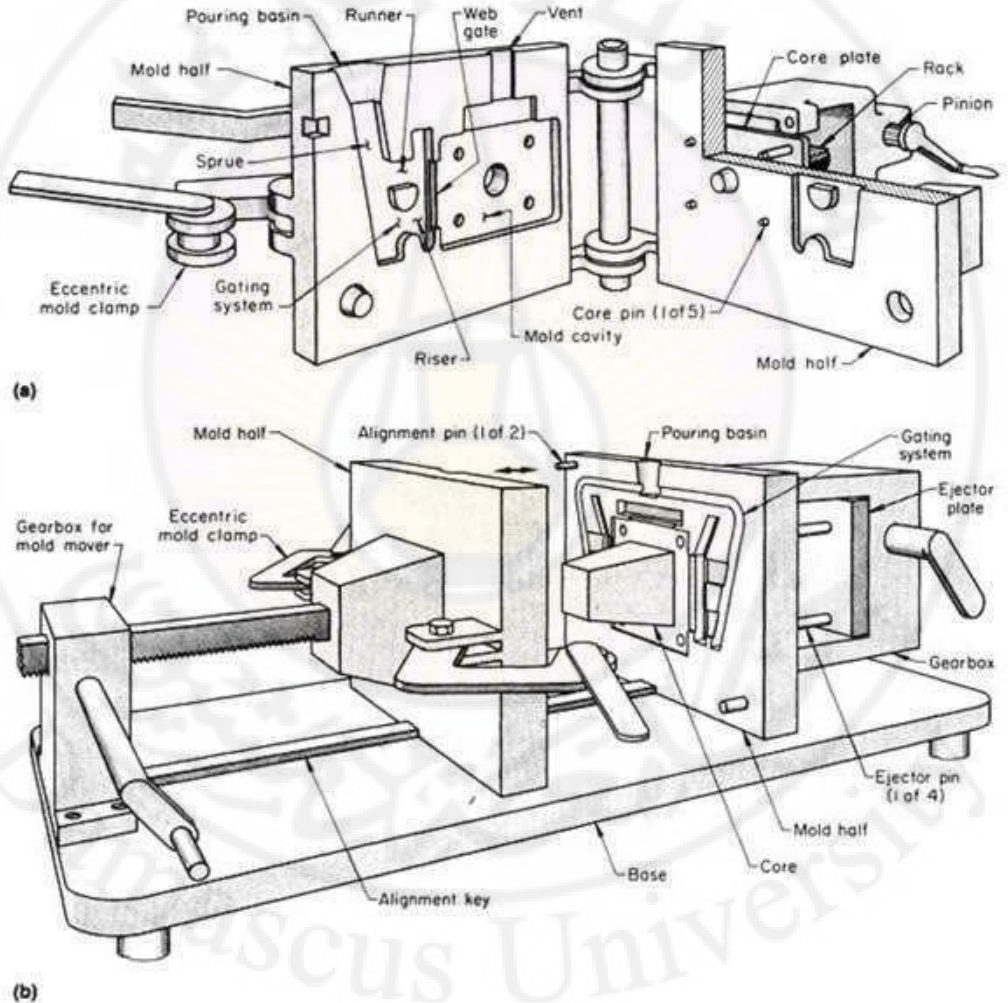
1. أن تكون سماكة جدار المسبوكة مناسباً بحيث تمتلئ فجوة القالب بالمعدن.
2. أن يكون لجدران المسبوكة ميلانات مقبولة حتى نستطيع إخراج المسبوكة من القالب المعدني بسهولة.

3. لا يسمح أن يكون لجدار المسبوكة تغيرات فجائية بالسماكة، وكذلك لا يسمح بالحواف الحادة وبالزوايا الداخلية.

تقسم القوالب المعدنية إلى الأنواع الآتية. الشكل (2-5):

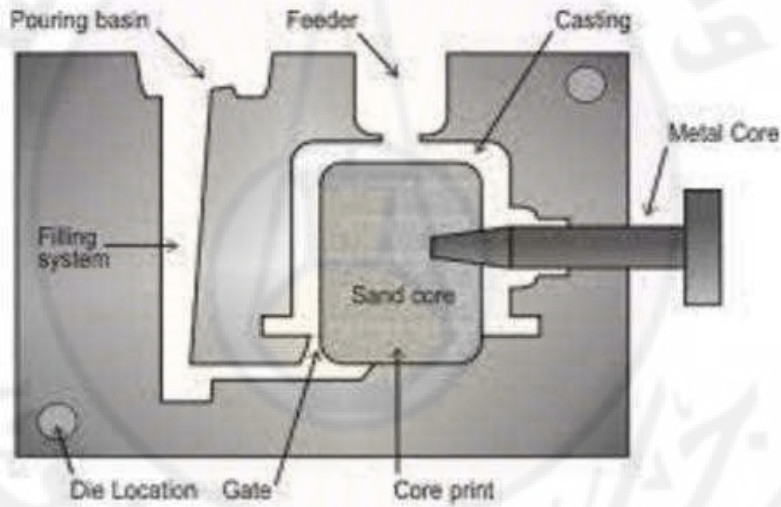
آ- القوالب المعدنية التي تعمل بالثقالة.

ب- القوالب المعدنية التي تعمل بالضغط.



الشكل (2-5): نوعان من آلات صب القالب الدائم التي تدار يدوياً. (a) قوالب بسيطة للمسبوكات ضحلة التجويف. (b) قوالب عميقة التجويف.

أ- القوالب المعدنية التي تعمل بالنقالة Gravity Die Casting: تشابه القوالب المعدنية حيث يتم إملء فجوة القالب بتأثير ثقالة المعدن، الشكل الآتي: يجهز القالب بتنظيف سطحه الداخلي، ويسخن إلى درجة حرارة مناسبة للصب، كما يطلى سطحه العامل بالطلاء المقاوم للحرارة والذي يساعد على عدم التصاق المسبوكة بـ سطح القالب، توضع النواة المجمعة ضمن تجويف القالب ويغلق القالب. يصب المعدن المصهور ضمن القالب وبعد تجمد المعدن يتم إخراج النواة، تتحرر عند ذلك المسبوكة، ويفتح القالب لإخراج المسبوكة، ويكرر العمل لإنتاج مسبوكة جديدة. الشكل (3-5).



الشكل (3-5): القوالب المعدنية التي تعمل بالنقالة.

ب- القوالب المعدنية التي تعمل بالضغط Pressure Die Casting: تتم السباكة بالضغط بدفع المعدن المصهور إلى داخل فجوة القالب بسرعة كبيرة وتحت تأثير ضغط عالٍ، يتألف قالب السباكة بالضغط من جزئين أحدهما ثابت مربوط على اللوح الثابت لآلة السباكة بالضغط ويوجد ضمنه قناة الصب، والثاني متحرك ويرتبط بالنظام المتحرك لآلة السباكة ويحتوي الجزء المتحرك على نظام لفظ المسبوكة،

تصنع هذه القوالب من الفولاذ الخلائطي الذي يجب أن يتحمل درجات حرارة السكب المرتفعة والصدمات الحرارية وألا يلتحم بالمعدن المسكوب ضمن القالب، وأن يقاوم التآكل الاحتكاكي الحادث بالمعدن المصهور.

إن آلات السباكة بالضغط تقوم بالعمل حسب التسلسل الآتي:

1. إغلاق نصفي القالب، وذلك بتحريك الجزء المتحرك للقالب باتجاه الجزء الثابت.
 2. تطبيق ضغط على القالب يسمى ضغط الإطباق بحيث لا يفتح القالب بتأثير ضغط المعدن المصهور.
 3. دفع المعدن المصهور إلى داخل تجويف القالب.
 4. فتح القالب وذلك بتحريك الجزء المتحرك للقالب عن الجزء الثابت.
- يجب أن يكون لآلة السباكة بالضغط جسم قوي يتحمل فتح القالب وإغلاقه بتسامت صحيح، وضغط الإطباق يصل إلى 100 طن.
- فيما يلي استخدام طرق متعددة لإغلاق القالب وإحكام هذا الإغلاق:

- هيدروليكية.

- هيدروليكية وميكانيكية.

- ميكانيكية.

تتميز طريقة السباكة بالمميزات الآتية:

1. تعطي معدلات إنتاج عالية جداً، فمثلاً معدل الإنتاج بآلات السباكة بالضغط ذات الحجرة الساخنة حوالي 300-350 مسبوكة بالساعة، و ذات الحجرة الباردة 75-150 مسبوكة بالساعة.
2. الحصول على دقة جيدة للمسبوكات المنتجة.
3. يمكن سباكة المعادن الرقيقة (للتوتياء أصغر سماكة 0.5mm ولألومنيوم 0.8mm).
4. ينتج المسبوكات بتفاصيل دقيقة جداً.
5. الحصول على إنهاء سطحي جيد.

6. يستطيع القالب الجيد إنتاج عدد كبير من المسبوكات يصل إلى 5 ملايين مسبوكة لخلائط التوتياء.

7. طريقة السباكة بالضغط اقتصادية لا تحتاج إلى عمليات تشغيل للمسبوكات وتوفر باليد العاملة.

مساوي طريقة السباكة بالضغط، هي الآتية:

1. يمكن فقط السباكة بشكل اقتصادي لبعض الخلائط غير الحديدية.
2. الحجم الأعظمي للمسبوكات الممكن إنتاجها محدود (90Kg لخلائط التوتياء، و 30Kg لخلائط الألمنيوم، وذلك باستخدام قوة إطباق بحدود 2000 طن).
3. يجب أن يكون عدد المسبوكات المطلوبة كبيراً (2000 مسبوكة) لكي تكون عملية السباكة اقتصادية.
4. تحتوي عادة مسبوكات الضغط بعض المسامية، وذلك بسبب الهواء المحتجز ضمن القالب.

تقسم آلات السباكة بالضغط إلى الأنواع الآتية:

1. آلات سباكة بالضغط ذات الحجرة الساخنة.
2. آلات سباكة بالضغط ذات الحجرة الباردة.

- آلات سباكة بالضغط ذات الحجرة الساخنة:

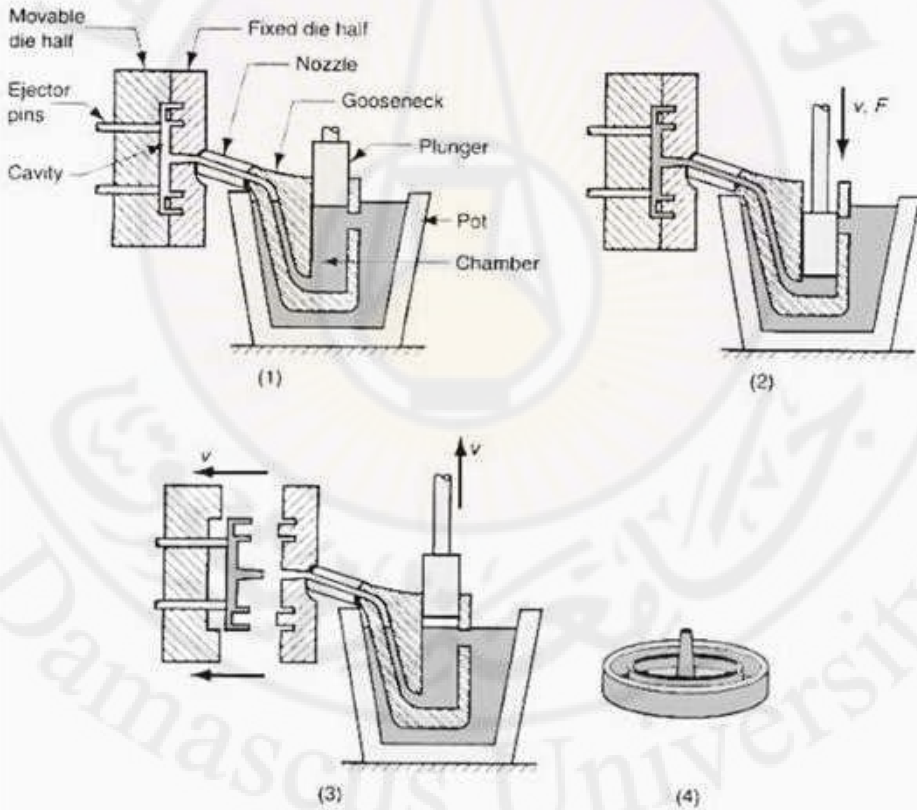
سباكة بالضغط بمكبس الحقن: تتألف الآلة من فرن صهر المعدن، يوجد ضمن الفرن حجرة الضغط مغمور بالمعدن المصهور، وتتألف الحجرة من أسطوانة متصلة بقناة التغذية متصلة بفوهة القالب، للأسطوانة فتحة لدخول المعدن المصهور ودافع لدفع المعدن وحقنه عبر قناة التغذية إلى داخل تجويف القالب. تعمل هذه الآلة بضغط لا يتجاوز 150 Kg/cm^2 . يُستخدم نوعان من هذه الآلات:

أ- الآلات ذات مكبس الضغط:

تستعمل للحصول على مسبوكات درجة انصهارها قليلة بحدود 450 م مثل المسبوكات القصديرية والرصاصية وغيرها، ويصب المعدن المصهور في حمام (حجرة) من حديد الزهر. الشكل (4-5)، وتبقى درجة حرارة الحمام ثابتة بتسخينه بوشائع، ويملأ المعدن

السائل خلال الفتحة تجويف الأسطوانة، وقناة التغذية، وعند إدارة يد التشغيل يغلق نصفا القالب ويلتصق طرف الأنبوبة بفوهة قناة التغذية، وعند تشغيل أسطوانة آلية الضغط أوتوماتيكياً، تتحرك تحت تأثير مكبس الحقن في أسطوانة الحقن، فيضغط المعدن المنصهر من خلال قناة التغذية إلى القالب.

ويتجمد المسبوكة في القالب يرتفع المكبس، فينساب المعدن السائل من القناة، وينفتح القالب بتراجع النصف المتحرك من القالب وتحرر المسبوكة، وبعد نفخ القالب تكرر العملية. يصل إنتاجية مثل هذه الآلات نصف آلية من 50 إلى 250 مسبوكة في الساعة، والآلية تصل إلى 1000 مسبوكة في الساعة.



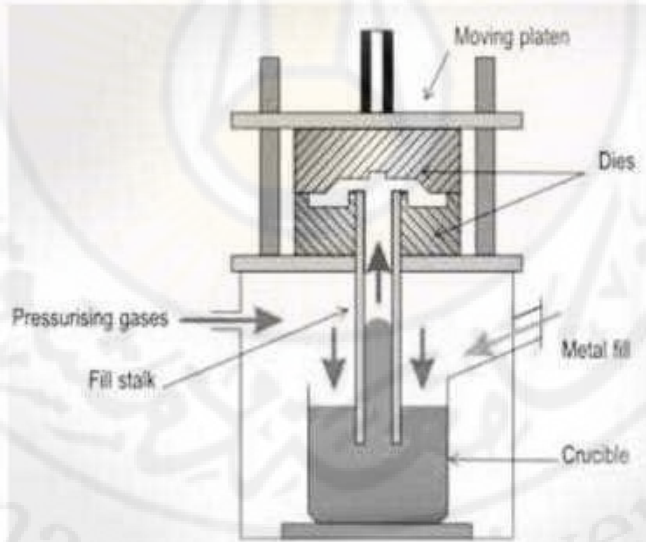
الشكل (4-5): آلة مكبسية للسباكة تحت الضغط بغرفة ساخنة ومكبس ضغط.

ب- الآلات التي تعمل بضغط الهواء مباشرة على سطح المعدن السائل:
الشكل (5-5) يوضح آلية عمل هذه الآلات التي تعمل بهواء مضغوط تحت ضغط (من 10 إلى 100 ضغط جوي).

سبابة بالضغط بالهواء المضغوط: تختلف عن سابقتها بأنها تستخدم الهواء المضغوط لدفع المعدن المصهور إلى داخل تجويف القالب.

الوضعية الأولى: هي وضعية الإملاء بالمعدن المنصهر حيث تفتح سدادة الحجرة، وتغمر الفتحة بالمعدن المنصهر.

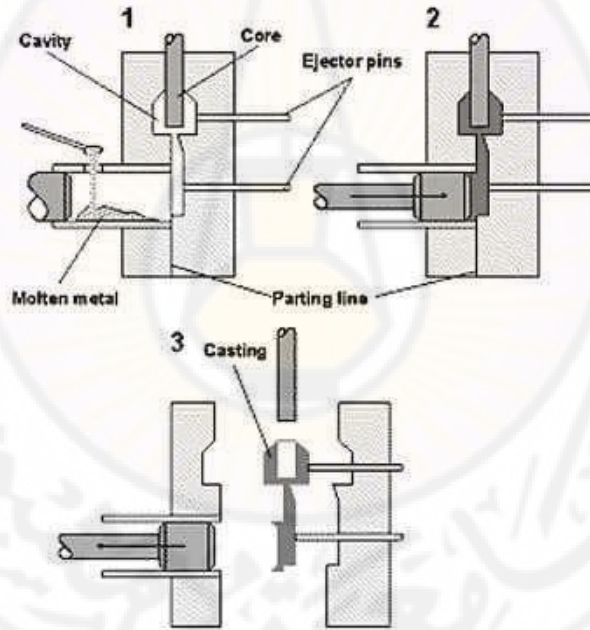
الوضعية الثانية: هي وضعية نفخ الهواء حيث ترفع الفتحة الجانبية من المعدن المصهور، وتغلق بواسطة سدادة، وتلتصق فوهة الضغط بقناة صب القالب المعدني المغلق، ويتم نفخ الهواء الذي يدفع المعدن المصهور إلى داخل تجويف القالب، من مساوئها: المسامية الكبيرة للمسبوكات نتيجة تعرض المعدن مباشرة للهواء المضغوط.



الشكل (5-5): آلة تعمل بضغط الهواء مباشرة على سطح المعدن السائل.

- آلات السباكة بالضغط ذات الحجرة الباردة:

تستعمل لسباكة المعادن التي تتفاعل مع غرفة الضغط، مثل الألمنيوم (يتفاعل مع الفولاذ) كما يستعمل للمعادن غير الحديدية ذات درجة حرارة الانصهار المرتفعة. تحتوي الآلة على حجرة ضغط أفقية، عادة يصب المعدن المصهور يدوياً وبكمية معيارية أكثر بقليل من الكمية المطلوبة لإنتاج المسبوكة، يتقدم الدافع للأمام أوتوماتيكياً، ويقوم بدفع المعدن داخل حجرة الضغط الباردة حيث يتراوح الضغط بين $(300-1600 \text{ Kg/cm}^2)$. للمسبوكات المنتجة بهذه الطريقة دقة عالية، وبنيتها مصمتة لا تحتوي على تجاويف، كما أن معدل الإنتاج مرتفع. الشكل (5-6).

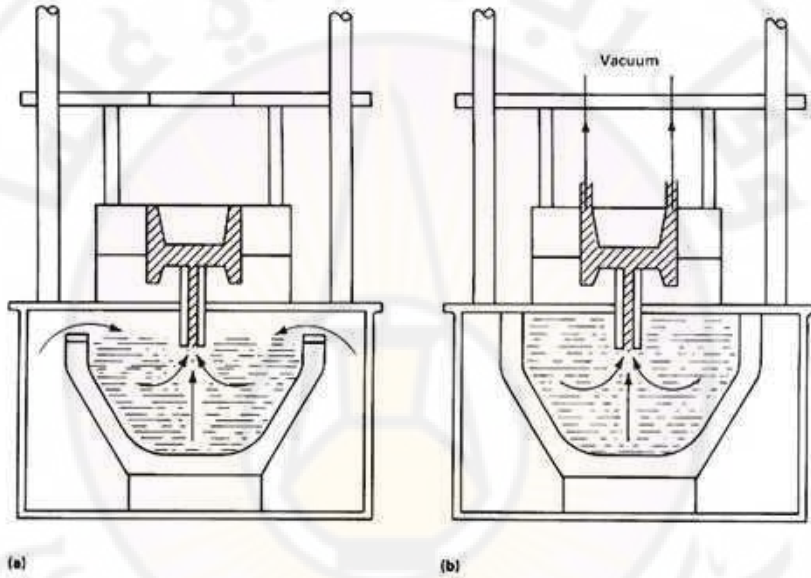


الشكل (5-6): آلة السباكة بالضغط ذات الحجرة الباردة.

- السباكة بالضغط المنخفض:

تمكن هذه الطريقة من إنتاج مقاطع رقيقة جداً، تستخدم لتصنيع أجزاء الطائرات والسيارات، وتصنيع عنفات المضخات. كمثال إنتاج عنفات مضخات من خليط ألومنيوم

قطرها 250 mm يطبق عليها ضغط 0.75 Kg/cm^2 لمدة حوالي (30-45 Sec)، يسخن القالب والنواة قبل السكب إلى درجة حرارة مساوية 250°C ، ضغط إغلاق القالب بحدود 30 Kg/cm^2 ، ويتم ذلك بواسطة أسطوانة هوائية. تصنع النوى لهذه الصفات من الجبي، والمنتجات ذات سماكة أصغر من 1mm، وهي عالية الدقة والإنهاء وجيدة النوعية، ومعدل المسبوكات المرفوضة لا يتجاوز 2%. الشكل (5-7).



الشكل (5-7): آلة السباكة بالضغط المنخفض. (a): مع تخلية بالهواء، (b): وحدات تستخدم مع القوالب الدائمة.

3-5: السباكة بالطرد المركزي:

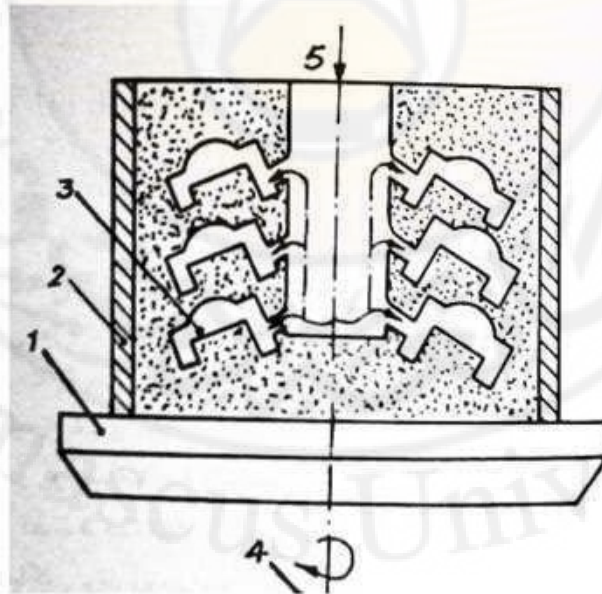
يتم صب المعدن المنصهر إلى داخل قالب دوار حيث يدفع هذا المعدن إلى محيط هذا القالب بواسطة قوة الطرد المركزية، تتعلق قوة الطرد المركزي، بنصف القطر وبعدد الدورات ووزن الجسم المتأثر بقوة الطرد المركزية، تبقى الشوائب الأخف وزناً عند مركز القالب، بينما يدفع المعدن النظيف ذو الوزن النوعي الأكبر إلى محيط القالب، والمنتجات تكون كثيفة، وخالية من المسامات وذات متانة جيدة. هذه الطريقة لا تحتاج إلى نوى ولا

إلى نظام الصب ولا مرصعات (أحياناً يستخدم نوى معدنية أو رملية CO_2)، تصنع القوالب من حديد الصب الرمادي أو الفولاذ الخلائطي كما يمكن أن تستخدم قوالب غرافيتية.

تصنف طريقة السباكة بالطرد المركزي حسب وضعية محور دوران القالب إلى:

- طريقة السباكة بالطرد المركزي في قالب محور دورانه شاقولي: وتقسم إلى:
- أ- مسبوكات الدفع المركزي:

يصب المعدن إلى قالب دوار يحوي فجوات مسبوكات منظمة حول قناة صب مركزية، يدخل المعدن التنظيف إلى داخل تجويف القالب عبر قنوات تغذية قطرية. يبين الشكل (5-8) طريقة صب كتلة من القوالب المجهزة بواسطة النماذج الشمعية المفقودة بالطرد المركزي، فيثبت الريزق 2 وبه كتلة النماذج المحمصة 3 على صينية مكثة الطرد المركزي 1، بحيث ينطبق محور دوران المكثة الرأسية 4 على محور دوران القوالب والمصب الأوسط 5، وبعد صب المعدن وتجمده تخرج المسبوكات، وتخلص من مصباتها ثم ترسل إلى التنظيف.



الشكل (5-8): آلة سباكة بالدفع المركزي.

- مسبوكات شبه الدفع المركزي:

تستخدم هذه الطريقة لصنع المسبوكات ضخمة الحجم المنتظمة حول محورها، مثل: الطارات والمسننات وعنفات المضخات، يصب المعدن من خلال قناة الصب المركزية (يمكن استخدام نواة رمل جاف أو رمل CO_2 للحصول على ثقب بمركز المسبوكة)، عدد الدورات أقل من مسبوكات الدفع المركزي، بسبب كبر حجم القالب؛ وبالتالي عملية فصل الشوائب بفعل الدفع المركزي أقل فاعلية، السرعة السطحية المطبقة على المحيط الخارجي للمسبوكة بحدود غير واضح. الشكل (5-9). وتصب في وضع رأسي المسبوكات التي لا تتجاوز ارتفاعاتها قطر الجوف. وتعمل قوة الدفع شبه المركزي على تسلق المعدن للجوانب الرأسية للقالب، ويبرد في هذا الوضع مكوناً في الداخل منحنى قطع مكافئ، ويصل الميل الداخلي لحوالي من 10 إلى 20 مم للمتر (0.5 درجة إلى 1 درجة) حسب ارتفاع القالب وسرعة المكنة. وتحسب سرعة المكنة للحصول على قوة نابعة في داخل المسبوك من 75 إلى 100 مرة قوة الجاذبية.



الشكل (5-9): مسبوكات شبه الدفع المركزي بقالب محمور دورانه رأسي.

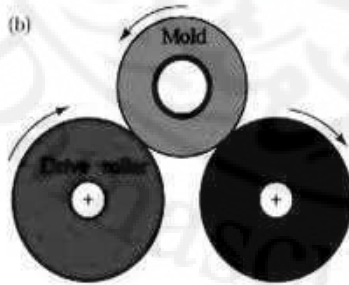
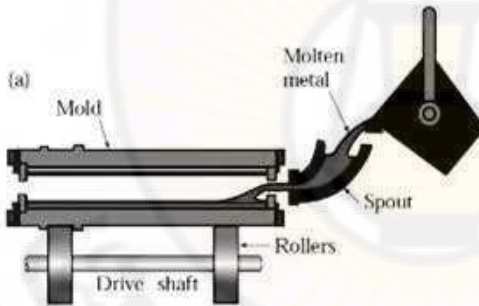
- السباكة بالطرد المركزي في قالب محور دورانه أفقي:

تستخدم هذه الطريقة لإنتاج مسبوكات طولها أكبر من أربعة أضعاف قطرها. تستخدم نواة عند نهاية القلب لمنع المعدن من الخروج من القالب، وملء كامل بالمعدن، تستخدم

حركة انسيابية لقالب الصب أو المجرى مع حركة دورانية لقالب الصب. باستخدام هذه الطريقة يمكن إنتاج مسبوكات يصل قطرها إلى 1200 mm وبطول 4800 mm وذات سماكة صغيرة بحدود 6mm .

يستخدم محور الدوران المائل عندما يكون طول المسبوكة أقل من أربعة أضعاف قطر هذه المسبوكة، وفجوة المسبوكة المنتجة غير أسطوانية، بسبب المحور المائل مع سرعة دوران كبيرة يقترب السطح من الأسطواني، بهذه الطريقة تسهل إملء القالب بالمعدن. اختيار سرعة دوران مناسبة أمر جداً للحصول على مسبوكة سليمة خالية من العيوب.

تحسب سرعة دوران الآلة بحيث نحصل على قوة قطرية للمعدن المصهور مساوية (75-100) مرة من قوة الجاذبية، وذلك عند استخدام قوالب رملية ومساوية إلى 60 مرة في حالة استخدام قوالب معدنية. الشكل (5-10)



Setup for true horizontal centrifugal casting



الشكل (5-10): السبائك بالطرد المركزي في قالب محور دورانه أفقي.

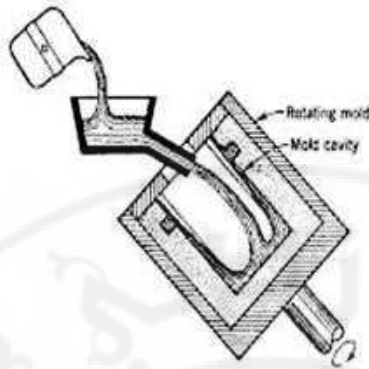


Fig. 71—True centrifugal casting process.

الشكل (10-5)

مائل .

حددت عدد الدورات الدنيا اللازمة من علاقة قسطنطينين الآتية:

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\gamma \cdot R}}$$

حيث:

n : عدد الدورات بالدقيقة (r.p.m)

γ : الوزن النوعي للمعدن (g/cm^3)

R : نصف القطر الداخلي للمسبوكة (cm^2)

4-5: السباكة المستمرة:

لا تستخدم طريقة الصب بالطرد المركزي لإنتاج الأنابيب (المواسير) الطويلة ذات الأقطار الكبيرة، وذلك لاعتبارات اقتصادية مهمة، ولهذا السبب ابتكرت طريقة الصب المتواصل التي أمكن بواسطتها إنتاج مواسير تصل أقطارها الاسمية 1500 مم، وتصل أطوالها إلى تسعة أمتار.

تستخدم هذه الطريقة بصورة عامة لإنتاج القضبان والمواسير والألواح المعدنية وغيرها، وفيها يصب المعدن خلال ممر رأسي يُبرد باستمرار بواسطة ترتيبية مناسبة، فإذا ما تجمد

المصبوب يغذى وهو ما زال ساخناً لدرجة الاحمرار أو يقطع إلى أجزاء حسب الأطوال المطلوبة.

وتتمتاز الأجزاء المنتجة بهذه الطريقة بمقاومتها الميكانيكية العالية وبإمكان الحصول منها على مصبوبات رقيقة وباقتصاد في المعدن المستخدم في صبها، وعندما كان التبريد في هذه الطريقة يتم بسرعة، فإن مصبوباتها ذات بنية بلورية دقيقة، ولهذا السبب تصل مقاومة الشد في مصبوبات حديد الزهر الرمادي المنتجة بهذه الطريقة إلى أكثر من ضعف مقاومة الشد في المنتجات المصبوبة في قوالب رملية أو بطريقة الصب بالطررد المركزي. ويمكن تقسيم هذه الطريقة إلى نوعين، هما:

أ- صب الأنابيب والأعمدة. ب- صب الألواح.

- صب الأنابيب بالطريقة المستمرة.

يبين الشكل (5-11) رسماً تخطيطياً لجهاز (آلة) صب الأنابيب بالطريقة المستمرة، ويتألف الجهاز من الأجزاء الآتية:

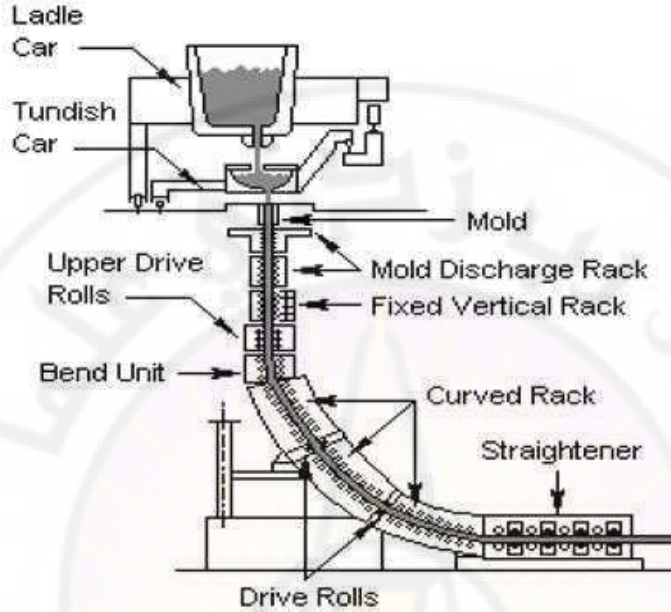
1- مبرد معدني خارجي أسطواني الشكل مبرد بالماء الجاري، ويطابق قطره الداخلي القطر الخارجي للمسيوكة.

2- مبرد داخلي معدني أسطواني الشكل يُبرد بالماء الجاري، ويطابق قطره الخارجي القطر الداخلي للمسيوكة.

3- لوح جذب يتحرك على عمودي جر مقلوظين لتأمين حركة خطية نحو الأعلى والأسفل، ويركب عليه نواة معدنية.

4- محرك كهربائي لإدارة عمودي الجر.

يجمع القالب، ويبدأ بصب حديد الزهر المنصهر من البوتقة الحرارية وبعد أن يملأ المعدن فجوة القالب (الفراغ ما بين المبردين) يتجمد نتيجة ملاسته لسطوح المبردات الباردة وفي الوقت نفسه يدور المحرك، وينسحب لوح الجذب نحو الأسفل ببطء، فيحصل للماسورة تحت تأثير ثقلها ما يشبه عملية السحب من المبرد. أما لصنع ماسورة جديدة، فلا علينا إلا وضع نواة أخرى على لوح الجذب ثم رفعه نحو المبردات ومباشرة صب حديد الزهر من جديد.



الشكل (5-11): رسم تخطيطي لماكينة صب المواسير بالطريقة المستمرة.

- صب الأعمدة والقضبان بالطريقة المستمرة:

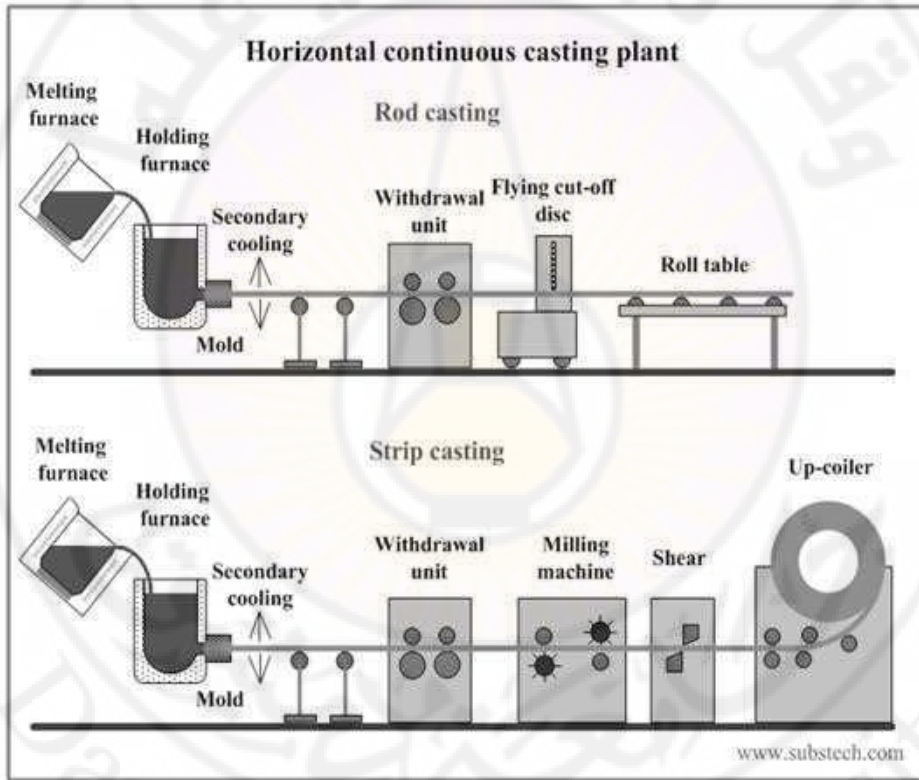
يبين الشكل (5-12) رسماً تخطيطياً لآلة صب الصلب صلباً مستمراً لإنتاج الأعمدة أو القضبان أو البروفيلات الأخرى حسب الطلب، وهي تعمل بمبدأ عمل الآلة السابقة نفسه حيث يصب المعدن من البوتقة في حوض وسيط، ومنه إلى المبرد حيث يمثل القطر الداخلي للمبرد قطر العمود أو قطر القضيب المراد صبه، ويسحب العمود (المسبوكة) بواسطة درافيل صاحبه وحسب الطول المطلوب يتم قص هذه الأعمدة بلهب غازي أو أي وسيلة أخرى.

- صب الألواح بالطريقة المستمرة:

تتلخص هذه الطريقة لإنتاج ألواح من الزهر في الآتي:

كما موضح على الشكل (5-13) حيث يصب حديد الزهر من بوتقة في قمع الصب، وقناة تغذية ذات مصب عريض ثم إلى الخلوص بين درفيلين دائريين للآلة، وينساب

الزهر السائل بين الدرفيلين على طول المماس لهما، وعند مرور الزهر في الفرجة (الخلوص) بين الدرفيلين يتجمد لتلامسه مع السطح البارد لهما على شكل لوح عريض (شريط) يمكن تغيير سماكته بتغيير المسافة (الخلوص) بين سطحي الدرفيلين في الحدود (0.6-1.2) مم ويقطع لوح المعدن الخارج من منطقة الدرافيل مباشرة في أثناء حركته وهو في حالة التوهج بلون أحمر فاتح نحو (1000) °م بواسطة مقصات إلى ألواح مستطيلة متساوية أبعادها (500 × 700) مم.

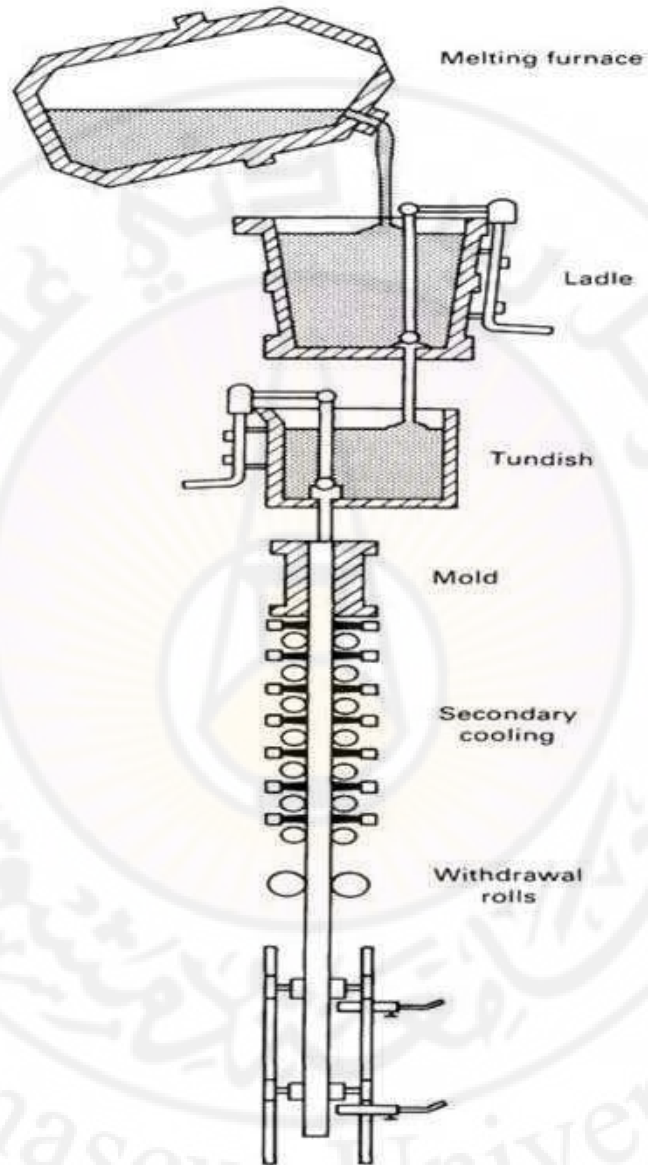


الشكل (5-12): رسم تخطيطي لآلية صب قضبان الصلب صبا مستمرا وآلية صب الشرائح المعدنية.

وترتيب ألواح الزهر الأبيض الناتجة بهذه الطريقة في مجموعات من (18-20) لوحاً تعامل بالتلدين بالنظام التالي: تسخين بطيء (ساعتان) حتى (950-1000) درجة مئوية، ثم الإبقاء لمدة ساعتين، والتبريد حتى (650-700) درجة لمدة (4) ساعات، ثم إتمام التبريد في الهواء، وتتحول ألواح الزهر الأبيض نتيجة للتلدين إلى زهر طروق ذي أساس معدني فيريتي واحتواءات من كربون التلدين، وتكون الخواص الميكانيكية لألواح الزهر بعد تلدينها كخواص الزهر الفيريدي الطروق، وهذا الزهر يمكن ثقبه وتنشيه بمسمار كما أنه يتشكل في الأسطوانة (المكابس).

VERTICAL SCHEMATIC





الشكل (5-13): رسم تخطيطي للسبائك المستمرة لألواح الزهر.

الفصل السادس

السباكة الدقيقة

Precision Casting

تستخدم السباكة الدقيقة إما لإنتاج مسبوكات مطابقة بشكلها وأبعادها النهائية لشكل المشغولات المكتملة وأبعادها، أو على الأقل لإنتاج مسبوكات أبعادها في حدود تسامحات ضيقة جداً، ومن أمثلة المسبوكات المنتجة بهذه الطريقة المسبوكات التي ينبغي عدم تشغيلها ميكانيكياً (وذلك لصعوبة التشغيل خاصة إذا كانت الأشكال معقدة كريش العنفات الغازية... وغيرها) أو الاقتصاد على تشطيب سطحها بالتلميع فقط. وأهم طرائق السباكة الدقيقة، هي:

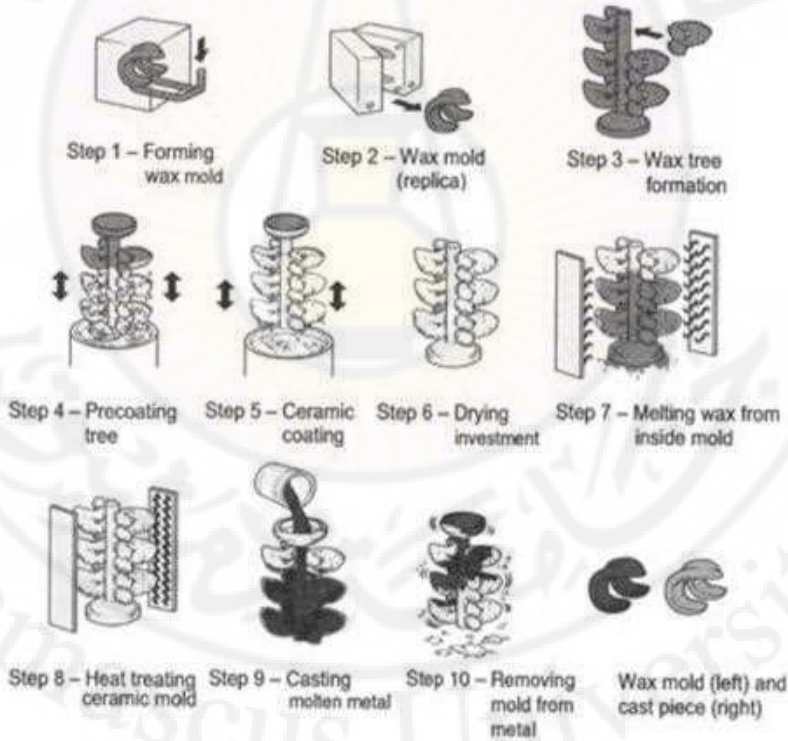
1. الصب باستخدام نماذج الشمع المفقود.
2. الصب في قوالب قشرية.
3. القولية بطريقة النموذج المتبخر.
4. القولية بالضغط المنخفض.
5. السباكة بقوالب الجص.
6. الصب بالقوالب السيراميكية.

6-1: السباكة الدقيقة باستخدام نماذج الشمع المفقود:

وهي طريقة قديمة استخدمت في القرن التاسع عشر في صناعة الأسنان، حيث تتطلب في المسبوكة المطلوب صناعتها دقة متناهية في أبعادها لتلائم الفراغ المعد لها بين الأسنان الأخرى، وقد تطورت السباكة الدقيقة باستخدام نماذج الشمع المفقود في السنوات الأخيرة، وشاع استخدامها في سباكة كثير من أجزاء المنتجات الدقيقة في أبعادها والتميزة بنعومة أسطحها مما يغني عن استخدام أي عمليات تشغيلية لاحقة لإنهاء (تشطيب) أسطحها، إلا في حدود ضيقة كاستخدام الصقل أو الجلع الدقيق.

ولصعوبة تشكيل بعض السبائك كسبائك ريش العنفات الغازية، بطرائق التشكيل الأخرى، فإن ريش هذه العنفات تصنع حالياً باستخدام الشمع المفقود، فعلاوة على أن هذه الطريقة تساعد في إنتاج منتجات صقيلة السطوح ودقيقة الأبعاد والأشكال، فإنها تعطي سطوحاً خالية من الإجهادات الناشئة عن التشغيل الميكانيكي التي تكون في العادة من أهم أسباب الشروخ الدقيقة التي تصبح مصدراً للتآكل بفعل عوامل الصدأ عند تعرضها لغازات الاحتراق في العنفة.

- مراحل إنتاج المسبوكات باستخدام نماذج الشمع المفقود:
تتكون تكنولوجيا إنتاج المسبوكات بالطريقة المذكورة من المراحل الآتية: كما يوضح الشكل (1-6):



الشكل (1-6): مراحل إنتاج مسبوكات بطريقة الشمع المهدور.

- 1- تجهيز نموذج قياسي للمنتج.
 - 2- تجهيز قالب لصب النماذج الشمعية.
 - 3- صب النماذج الشمعية بالحقن وتجهيزها.
 - 4- تجهيز شجرة النماذج، وذلك بتثبيت النماذج على قضبان شمعية تمثل المصب وقنوات التغذية وقمع الصب وذلك باستخدام أدوات يدوية ساخنة لصهر النماذج الشمعية بعضها مع بعض.
 - 5- تطلّى مجموعة النماذج (أو شجرة النماذج) الشمعية بغمرها بمحلول الرمل السيليسي الناعم جداً مع مادة رابطة من السليكا، وذلك للمعادن ذات درجة الانصهار العالية يرش سطحها بالرمل الناعم.
 - 6- تجفف الطبقة الرملية المترسبة على النماذج الشمعية عند درجة حرارة (20°C) وذلك لمدة (6) ساعات.
 - 7- يدخل الريزك مع مجموعة النماذج في فرن بدرجة حرارة من (100 - 120) مئوية حتى يسيل الشمع منه.
 - 8- ترفع حرارة القالب إلى درجة حرارة (1000 م°) حتى يتصلب، ويجفف، وتزال آثار الشمع.
 - 9- إجراء عملية صب المعدن المصهور في القالب وهو بدرجة حرارة بحدود (700 - 900) درجة مئوية، وذلك إما بطريقة تفريغ الهواء أو بطريقة الصب تحت الضغط أو بالطرد المركزي.
 - 10- إخراج المسبوكات من القالب، وتنظيفها حتى تصبح جاهزة للاستثمار.
- يتم صنع النموذج القياسي للمسبوك من الصلب أو السبائك النحاسية بالتشغيل الميكانيكي القياسي للمسبوك من الصلب أو السبائك النحاسية بالتشغيل الميكانيكي الدقيق مع الأخذ بالحسبان انكماش الشبكة التي ستصنع منها المسبوكات الدقيقة، وقد يصنع النموذج القياسي التي ستصنع منها المسبوكات الدقيقة، وقد يصنع النموذج القياسي من بعض أنواع الخشب الجيد، وتصنع طبقاً للنموذج القياسي قوالب من السبائك

الخفيفة ذات درجة الانصهار المنخفضة أو من الجيلتين لكبس النماذج الشمعية، ويتكون القالب من نصفين ويمكن فتحه.

وتجرى بمساعدة هذه القوالب سباكة النماذج الشمعية من سبائك شمعية منصهرة، أو من مواد تسيل بالحرارة، أو من الزئبق بالطريقة نفسها التي تسبك بها المعادن تحت الضغط، وتتكون السبائك الشمعية المستعملة لتجيز النماذج المفقودة عادة من بدائل الشمع الطبيعي كالسيريزين واليرافين وغيرها، أما في حالة استخدام الزئبق، فلا بد من تبريد القالب الرئيس إلى حوالي (60) °م كي يتسنى تجمد النموذج، ويجب أن تكون سطوح النموذج، سواء كان شمعيًا أم زئبقياً سطوحاً ناعمة خالية من الفجوات أو الخدوش أو أي عيوب أخرى.

تؤخذ مجموعة النماذج الشمعية، وترص في صفوف ثم يوصل بينها بقضبان شمعية باستخدام أدوات لصق ساخنة، ثم توصل في النهاية بقضيب واحد يمثل مع الوصلات المذكورة المجاري التي يسري فيها المعدن عند صبه، ويضاف للمجموعة في أسفلها حوض صب أو فتحة صب شمعية ترتكز بها على قاعدة من الصلب.

تطلى كتلة النماذج الشمعية هذه بغمرها في محلول الرمل السيليسي الناعم جداً وكمية صغيرة من الجرافيت والماء الزجاجي ثم يرش سطحها بمسحوق الكوارتز المحمص عند درجة (400 - 500) مئوية، وذلك لتحسين تماسكها مع رمل القالب ثم تجفف عند الدرجة (20) °م تقريباً لمدة (5-6 ساعات).

توضع كتلة النماذج في صندوق أو ريزك، وتصب حولها المادة التي سيصنع منها القالب، ومادة القوالب تصنع عادة من المواد التي تتحمل درجات الحرارة العالية كمسحوق السليكا ومادة رابطة كعجينة باريس، وتخلط بالماء لتكون معجوناً سائلاً يمكن صبه حول النموذج، فيحيط بها، ويرتبط بالمادة المغطية لها، وتعرض المجموعة كلها للاهتزاز لفترة وجيزة (قد تطول لمدة ساعة) حتى يترسب المعجون حول أركان النموذج وفجواته، ويأخذ شكله، وليسهل طرد فقاعات الهواء التي قد تحبس بالمعجون، وتترك المعجونة للتجمد بالجفاف.

وقد تصنع مادة القوالب من الرمل الكوارتزي المضاف إليه الماء الزجاجي أو خليط من الرمل الكوارتزي، وإضافات من الغضار الحراري بنسبة (5-6%) ويجفف القالب عند درجة (20) °م لمدة 2-3 ساعات.

ويراعى عدم فصل النموذج عن القالب الذي ينبغي أن يظل مقللاً بعد عملية تشكيل القالب.

تنزع بعد ذلك قاعدة الصندوق المصنوعة من الصلب، ويكشف عن فتحه الصب الشمعي؛ لأنه من المحتمل أن تتسرب إليها العجينة، وتفصل بينها وبين القاعدة، وتترك فتحة الصب في اتجاهها نحو الأسفل بالنسبة للقالب، وينزع الريزك المحيط بالقالب ثم يدخل إلى الفرن على حصيرة درفيلية تنقله بالتدرج إلى داخل الفرن ثم إلى نهايته الأخرى، وبالتسخين التدريجي ينصهر النموذج الشمعي عند درجة حرارة (100-120) °م، وينساب الشمع السائل مخلطاً في القالب فجوة على درجة عالية من الدقة، ولضمان إزالة النموذج تماماً يبقى استمرار تسخين القالب لدرجة حرارة (150) °م ولمدة (1.5-2 ساعة) وبعد ذلك يبرد القالب عند درجة (1000) °م تقريباً لتحسين مقاومته، ثم يبرد في النهاية إلى درجة حرارة (700-900) °م تمهيداً لإجراء عملية السباكة.

يتم صهر السبائك المستخدمة في أفران كهربائية قوسية أو بالمقاومة، وذلك حسب نوع السبيكة ثم يجري صبها في القوالب تحت ضغط يتراوح من (2-5 ضغط جوي) أو بطريقة الطرد المركزي.

6-2: السباكة الدقيقة باستخدام القوالب القشرية:

لوحظ عند سباكة المعادن في قوالب رملية أنه لا يسخن من الرمل إلا الطبقة الرقيقة الملامسة للمسبوك؛ أي إن باقي الرمل لا يتعرض لدرجة حرارة عالية، وقد استغلت هذه الحقيقة في الطرق الحديثة للحصول على المسبوكات بصبها في قوالب رقيقة الجدران (قشرية) من خليط خاص لمواد السباكة يتكون من رمل الكوارتز الناعم وإضافات من البكاليت نسبتها (5-6%) وللبكاليت قابلية للانصهار عند ملامسته لسطح النموذج

المعدني الساخن، وتغليف حبيبات الكوارتز ثم التحميص مكوناً قشرة متماسكة ذات ناقلية جيدة للغازات.

يمكن استخدام هذه الطريقة لمعادن السباكة كافة كالصلب، وسبائك الصلب الخاصة، وحديد الزهر، وسبائك النحاس والتيتانيوم. وتصلح هذه الطريقة بصفة خاصة لصب المسبوكات ذات الجدران الرقيقة.

- عناصر خلطة القوالب القشرية:

تتركب الخلطة التي تصنع منها القوالب القشرية من الرمل، والمادة الراتنجية الرابطة، وإضافات تحسين الخواص، والمزلاقات.

1- الرمل:

تحتوي الرمال المستعملة في السباكة بالقوالب القشرية على نسبة مرتفعة من السليكا والزيروكون ونسبة منخفضة من المواد العضوية والغضار، وكلما قلت النسبة المثوية للمواد العضوية قل استهلاك المادة الراتنجية والعكس صحيح، كما أن استهلاك المادة الراتنجية الرابطة يزداد بازدياد دقة حبيبات الرمل، ولهذا يفضل استعمال رمال خشنة الحبيبات نسبياً، ويكون لرمل القوالب القشرية أحد الأشكال الآتية:

- حبيبات كروية: وهي ذات نفوذية جيدة وإجهادات حرارية منخفضة، وتتطلب أقل كمية من المادة الراتنجية الرابطة؛ مما يجعلها ملائمة لصنع القلوب بشكل خاص.

- حبيبات زاوية: وتفضل لإنشاء القوالب.

- حبيبات شبه زاوية: وهي تكون وسطاً بشكلها وخواصها بين الحبيبات الكروية والحبيبات الزاوية، وتستعمل في صناعة القلوب أكثر من استعمالها في صناعة القوالب.

2- المادة الراتنجية الرابطة:

إن الراتنج الاصطناعي المستعمل في السباكة بالقوالب القشرية هو مادة لدنة حرارياً يضاف إلى مواد مبلمرة لاكتساب الراتنج خواص التصلد بالحرارة.

ويعد راتنج (الفينول . فورما ألدهيد) أكثر المواد الراتنجية استعمالاً في السباكة بالقوالب القشرية، وهو راتنج مقاوم للحرارة والرطوبة وذو خواص انسيابية جيدة، وتصبح قوة تماسكه عندما يتحد بالرمل عالية.

وللراتنج الفينولي المستعمل في القوالب القشرية أنواع عدة، منها:

- ورنيش الفوفولاك: وهو يحتوي نحو (60-70%) من المواد الصلبة، ويذوب ببطء في الماء، كما أنه مزود بمذيبات عضوية كالكحول.
- النوفولاك المائي: يحتوي نحو (70-80%) من المواد الصلبة ويجب ان يستعمل مع الرمل أو الهواء الساخن (60-100) °م.
- الراتنج الرقائقي الكتلي: ويتطلب رملًا ساخنًا أيضاً.

3- الإضافات الأخرى:

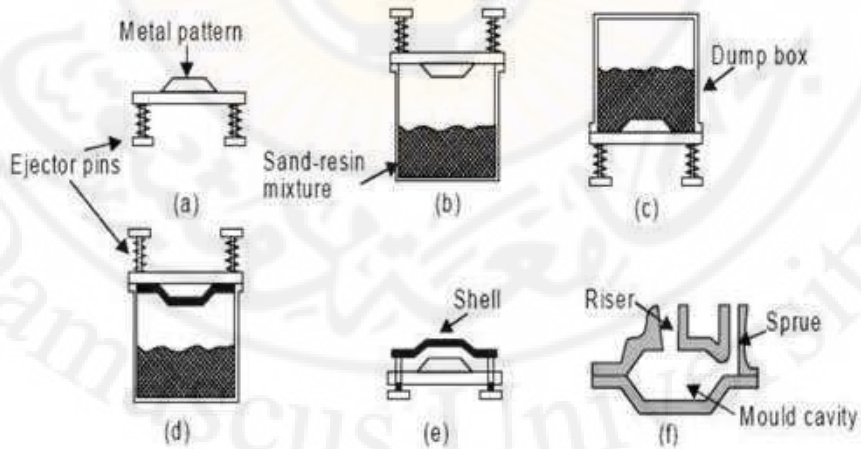
يعد وجود بعض الإضافات الأخرى في خليطة الرمل - راتنج ضرورياً، لتحسين جودة تشطيب السطوح والأبعاد، وإنفاص الانهيارات الحرارية في أثناء عملية الصب، ويعد الفينزول أحد الإضافات الشائعة، ومن الإضافات المعروفة تجارياً الآتي: غبار الفحم البنيتونيت، ومسحوق الخبث، وثاني أكسيد المنغنيز، وراتنج لتسهيل عملية سحب النموذج من القالب، ولتحسين انسيابية الرمل، وزيادة قوة الشد للقالب. ومن أنواع المزلقات المستعملة سترات الكالسيوم، وستيرات الزنك، والشمع الكارنوبي. وتبلغ نسبة المنزلق عادة (2.5%) من احتواءات الراتنج من المواد الصلبة.

- خطوات صنع القالب القشري:

لصنع القالب القشري الشكل (6-2) تُتبع الخطوات حسب التسلسل الآتي:

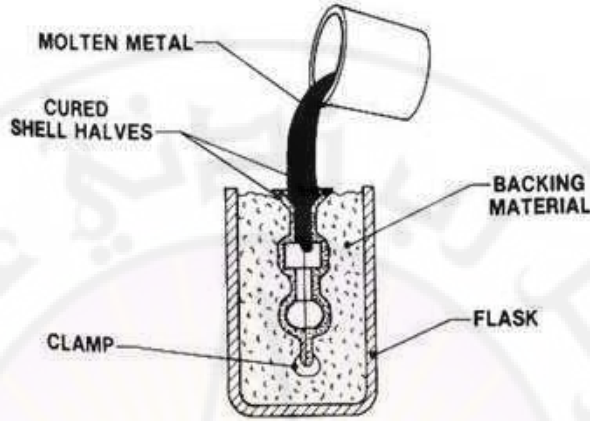
- تصنيع النموذج، ويوضع على لوح النموذج المصنوعة من المعدن ثم يتم تسخين كل من النموذج ولوحة النموذج تبعاً لدرجة انصهار المادة الراتنجية، إلى درجة حرارة تتراوح بين (200-300) °م.
- يتم تثبيت لوحة النماذج على مستودع الرمل القشري، ومن ثم قلب مستودع الرمل بحيث يغطي لوحة النماذج.

- تتصهر المواد الرابطة المختلطة بالرمل عند ملاستها لسطح النموذج الساخن، وتكون مع الرمل في ثوان معدودة طبقة منتظمة الشكل، تتراوح سماكتها تبعاً لطول فترة التسخين من (4-12) مم.
- نقلب لوحة النموذج بعد ذلك فيسقط الرمل السائب الباقي وغير المتأثر بالحرارة، ويبقى الغلاف القشري المتماسك.
- تجمص قشرة الرمل المتوضعة فوق النموذج، وذلك بحرارة (450) °م ولمدة (3-5) دقائق ويتم ذلك في أفران خاصة أو أي وسيلة أخرى، لكي تتصلب القشرة بشكل كامل.
- تزال القشرة عن النموذج بواسطة لواظ موجودة في لوحة النموذج أي وسيلة أخرى.
- يصنع النصف الثاني بالطريقة نفسها، ثم يجمع النصفان، ويربطان معاً لتكوين قالب السباكة المتناظرة، وبعد ذلك يوضع القالب في وعاء، ويحاط بالرمل.
- يصب المعدن المصهور، ويترك ليتجمد، ويبرد. الشكل (6-3).
- يستطيع القالب مقاومة ضغط المعدن المصهور حتى يتجمد المعدن ثم يفتت القالب بعد ذلك حيث تحترق المادة الرابطة، ومن ثم يصبح من السهل تنظيف المسبوكات.



الشكل (6-2): مراحل إنتاج مسبوكة بطريقة القوالب القشرية.

SHELL MOLD CASTING



الشكل (3-6): صب المعدن المصهور في قالب قشري.

- صناعة النواة للقوالب القشرية:

يمكن استخدام نواة رملية مصنوعة من أحد رمال النوى المذكورة سابقاً، أو يمكن استخدام نواة قشرية حيث تحضر بإحماء قالب النواة المعدنية، ويملأ بعد ذلك بالرمل القشري الذي يترك لفترة من الزمن ضمن القالب حتى تتصلب سماكة محدودة من الرمل القشري وبعدها يفرغ القالب المعدني من الرمل القشري الزائد (غير متأثر بالحرارة)، وبذلك نحصل على نواة قشرية حيث نقوم بتحميمها بالحرارة اللازمة لتستخدم ضمن تجويف القالب حسب المسبوكة المطلوبة.

- مزايا السباكة في القوالب القشرية ومساوئها:

أهم مميزات السباكة بالقوالب القشرية:

- 1- مناسبة للإنتاج الكمي من المسبوكات.
- 2- تكون مسبوكاتها دقيقة الأبعاد، وناعمة السطوح مقارنة بالسباكة بقوالب رمل السباكة الطبيعي.

3- تحتاج هذه الطريقة (10-20%) رملًا قشرياً مقارنة بطرق السباكة برمل السباكة الطبيعي.

4- تتميز القوالب القشرية بنفاذية عالية للغازات وبعدم امتصاص الرطوبة، وبذلك يمكن تخزينها.

5- لا تحتاج هذه الطريقة إلى ريزاك.

6- انخفاض تكاليف الإنتاج بدرجة كبيرة لقلة النفايات ولصغر احتمال رفض المسبوكات لعدم صلاحيتها.

مساوئ السباكة بالقوالب القشرية:

1- ارتفاع تكاليف النماذج والرمل والمادة الرابطة.

2- تعقيد تجهيزات النموذج المعدني (لوح النموذج ولواظ على هذا النوع).

3- اختصار استخدامها على إنتاج المسبوكات الصغيرة حجماً ووزناً.

4- حاجتها إلى تجهيزات إضافية ودقة مراقبة.

6-3: السكب بالقالب الكامل (النموذج المتبخر):

يصنع النموذج المستخدم في هذه الطريقة من مادة البوليسترين كاملاً مع نظام الصب والمرضعات، وذلك بواسطة عمليات التشغيل والتشكيل. يطلى بعد ذلك النموذج بطلاء مناسب للقوالب، يغطس النموذج في رمل سباكة يتصلب في درجات الحرارة العادية، مثل رمل سيليكات الصوديوم مع غاز CO_2 . يصب بعد ذلك المعدن المصهور الذي يقوم بتبخير النموذج وتحويله إلى غاز؛ وبالتالي يحل المعدن المصهور مكان النموذج المتبخر. درجة حرارة المعدن المسكوب يجب أن تكون أعلى بحوالي (20 - 30) درجة مئوية عن طرق السباكة الأخرى كي يحدث تبخر النموذج بشكل جيد. الشكل (6-4).

مميزات طريقة السباكة بالنموذج المتبخر:

1- تمكن هذه الطريقة من إنتاج المسبوكات المعقدة بشكل سريع وبتكلفة منخفضة.

2- دقة مرتفعة لأبعاد المسبوكات.

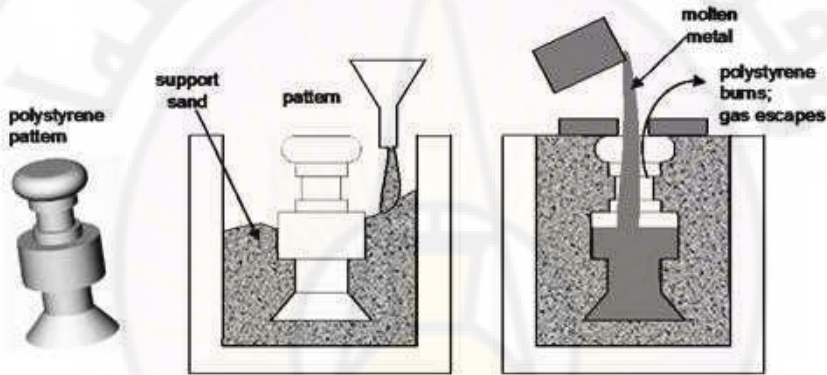
3- المسبوكات المنتجة خالية من العيوب، مثل الفجوات الهوائية.

4- المسبوكات المنتجة لا يوجد لها آثار عند سطح الفصل (عدم وجود سطح فاصل).

5- يمكن إنتاج المسبوكات الضخمة ومعقدة الشكل، فلا يوجد محدودية للمسبوكات المنتجة.

6- يمكن إنتاج الطريقة بسهولة لإنتاج المسبوكات التجريبية (المنتج الأولي).

7- تستخدم الطريقة لإنتاج المسبوكات من المعادن الحديدية والمعادن غير الحديدية.

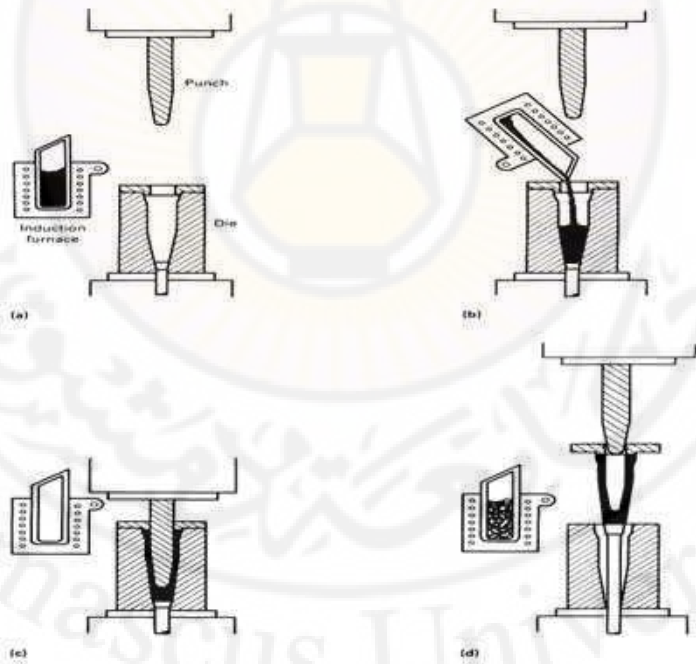


الشكل (4-6): السباكة بطريقة القالب الكامل.

4-6: القولية بالضغط squeeze casting

الصب بالضغط والمعروف أيضاً باسم حدادة السائل المعدني liquid-metal forging، هو العملية التي يتجمد فيها المعدن المنصهر تحت تأثير الضغط الهيدروليكي في قالب مغلق (إسطمبة) closed Dies متوضع على قاعدة، كما يوضحه الشكل (5-6). يحدث نتيجة تلامس المعدن مع القالب والحركة السريعة للمكبس تبدد حراري سريع يؤدي إلى بنية خالية من المسامات، ناعمة البلورات، سطحها أملس، تتصف بخواص ميكانيكية جيدة شبيهة بخواص المنتج المطاوع wrought product.

أول مرة استخدمت هذه الطريقة كانت عام 1960 م في الولايات المتحدة الأمريكية، واكتسبت منذ ذلك الوقت قبولاً واسع النطاق في قطاع الصناعة لسبائك المعادن غير الحديدية كالألومنيوم والمغنيسيوم وسبائك النحاس والنيكل ... وبشكل محدود للمسبوكات الحديدية. هذه الطريقة تعطي توفيراً باليد العاملة وجودة بالمنتجات، ودقة بالأبعاد بتسامحات من ± 0.05 ملم. تم تطبيق هذه الطريقة بنجاح لمجموعة متنوعة من السبائك الحديدية وغير الحديدية في تصنيع مكابس المحركات من سبائك الألومنيوم، وصناعة أقراص الفرملة، عجلات السيارات، محاور الشاحنات، بطانات وجوانات نحاسية ومن البرونز وفي صناعة المسننات وقذائف الهاون من الحديد الزهر وفي صناعة الصواريخ. ضغط الصب هو بسيط واقتصادي، كفاءة في استخدام المواد الخام، وسرعة في عمليات الإنتاج.



الشكل (5-6): تسلسل عملية السبائك بالضغط .

6-5: القولية بالجبس:

يحضر القالب من الجبس حيث يمزج الجبس مع الكمية الصحيحة من الماء (أضف الجبس إلى الماء) قد تضاف عند الحاجة بعض المواد، مثل الإسبستوس، والتالك وطحين السيلكا، وذلك لإعطاء الجبس متانة إضافية و نفوذية ومقاومة انصهار. يتم التصلب خلال مدة 30 دقيقة تقريباً ، حيث ينزع النموذج من القالب، ويجفف هذا القالب بتسخينه ببطء إلى حدود 200 درجة مئوية، عندما يفقد القالب الماء بشكل كامل يصب المعدن المصهور في هذا القالب .

إن السيئة الأساسية لهذه القوالب أن الجبس ضعيف النفاذية للغازات؛ لذلك يفضل أن يحضر القالب ويصب المعدن المصهور تحت تأثير التخلية، كما يمكن استخدام ضغط الهواء لتغذية المعادن غير الحديدية، وذلك بسبب المقاومة الحرارية المنخفضة للجبس. مميزات هذه الطريقة:

- 1- إمكانية الحصول على مسبوكات رقيقة الجدران، وذلك بسبب انخفاض الناقلية الحرارية للجبس حيث لا يتجمد المعدن ضمن القالب بشكل سريع.
- 2- يمكن صب المعدن المصهور ضمن القالب ببطء وهذا يساعد على خروج الغازات من القالب.
- 3- الدقة العالية للمسبوكات المنتجة.
- 4- الإنهاء الجيد لسطح المسبوكات المنتجة.

مساوئ هذه الطريقة:

- 1- الجبس ضعيف النفاذية للغازات.
 - 2- الجبس مناسب فقط لسباكة المعادن غير الحديدية، وذلك بسبب المقاومة الحرارية المنخفضة للجبس.
- تستخدم هذه الطريقة لإنتاج القطع الهندسية، كما تستخدم بشكل خاص لمسبوكات التماثيل والمجوهرات. الشكل (6-6)

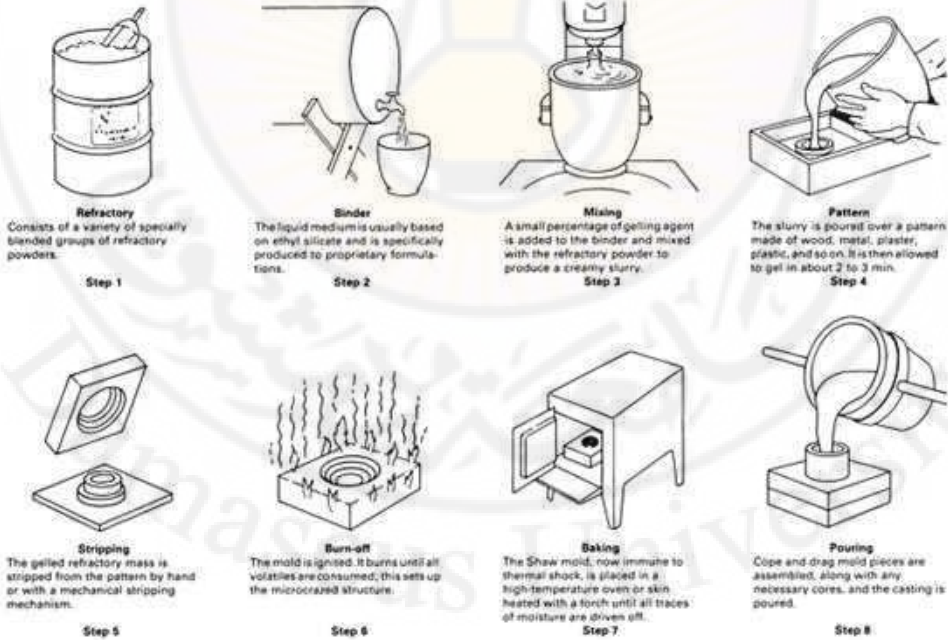


الشكل (6-6): قالب جيس جاهز ومجموعة نماذج لقوالب معدة للصب.

5-6: القولبة بالسيراميك:

تستخدم هذه الطريقة لإنتاج مسبوكات عالية الدقة واستثنائية بجودة السطح حيث يستخدم في تصنيع القالب ملاط سيراميكي مع مادة رابطة كيميائية. هذه الطريقة مناسبة لكل أنواع المعادن والخلائط المعدنية، لا تحتاج مرضعات أو تهوية أو مبردات، حيث معدل التبريد بطيء جداً.

هذه الطريقة مناسبة بشكل خاص لإنتاج قوالب التطريق، وقوالب الإطارات، وقوالب البلاستيك وقوالب السحب، والبتق، وقوالب السكب بالضغط، وقوالب تصنيع الزجاج، ونماذج القوالب القشرية، ومراوح المضخات ذات الممرات الضيقة وأجزاء المفاعلات.... يُستخدم في طريقة القولية هذه نماذج من الخشب أو المعدن أو الريزين، ويتم تحضير الملاط الحراري بمزج حبيبات سيراميكية خاصة مختارة مع رابطة كيميائية مثل (رابع إيثيل السيلكات)، يصب الملاط السيراميكي المحضر فوق النموذج الموضوع ضمن الإطار، بحيث يملأ تجاويف النموذج ونتوءاته كلها بدون الرك أو الرج للقالب. تستقر المادة الرابطة بمدة تتراوح (3-5) دقيقة، وترتبط الحبيبات الحرارية بعضها ببعض، ينزع بعد ذلك النموذج، وتزال الكتلة السيراميكية من الإطار. يسخن القالب لدرجة حرارة 980°C للحصول على المتانة الكاملة. هذه الدرجة تعتمد على حجم وسماكة مقطع القالب. يصب بعد ذلك المعدن المصهور ضمن القالب، ويترك ليبرد ببطء ضمن هذا القالب. الشكل (6-7).



الشكل (6-7): مراحل تصنيع قالب سيراميكي.



المادة الثانية لحام المعادن (طرائق التصنيع باللحام)

- الفصل الأول : الأسس الفيزيائية للحام المعادن.
- الفصل الثاني : تصنيف أنواع اللحام.
- الفصل الثالث : لحام التماس الكهربائي (لحام المقاومة).
- الفصل الرابع : اللحام بالقوس الكهربائي.
- الفصل الخامس : تصنيف أساليب اللحام بالقوس الكهربائي.
- الفصل السادس : حساب أنظمة اللحام وأبعاد الدروة اللحامية عند اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي والآلي.
- الفصل السابع : اللحام الكهربائي الخبثي.
- الفصل الثامن : اللحام في وسط من الغازات الواقية.
- الفصل التاسع : اللحام بالبلازما.
- الفصل العاشر : اللحام بالأشعة الإلكترونية وبأشعة الليزر.

الفصل الحادي عشر: لحام الفولاذ متوسط وعالي نسبة الكربون والفولاذ
السبائكي ولحام الفونت.

الفصل الثاني عشر: لحام المعادن الملونة وخلانظها.

الفصل الثالث عشر: أنواع الوصلات اللحامية ومقاومتها التصميمية.

الفصل الرابع عشر: الكترودات اللحام.

الفصل الخامس عشر: عيوب الوصلات اللحامية.

الفصل السادس عشر: السلامة المهنية في عمليات اللحام.

الجزء العملي:

الفصل السابع عشر: اختبار جودة اللحام.

الفصل الثامن عشر: ترميز اللحامات على المخططات طبقاً للنظام العالمي.

الفصل التاسع عشر: مراحل تنفيذ المشاريع الإنتاجية المعدنية وأهم طرائق رفع

متانة الوصلات اللحامية.

الفصل الأول

الأسس الفيزيائية للحام المعادن

لا تقتصر تقانة اللحام في الوقت الحاضر على المعادن فحسب، وإنما تتعداها إلى المواد غير المعدنية (كالزجاج واللدائن وغيرها) وإلى لحام مواد مختلفة التركيب والخواص مع بعضها (المعادن مع المواد غير المعدنية مثلاً). ومع كل هذا يبقى لحام المعادن الأكثر استخداماً عند إعداد أجزاء الآلات والإنشاءات المختلفة، لهذا سوف يقتصر بحثنا في هذا الكتاب على لحام المعادن فقط.

1-1 المفهوم الفيزيائي للارتباط المعدني:

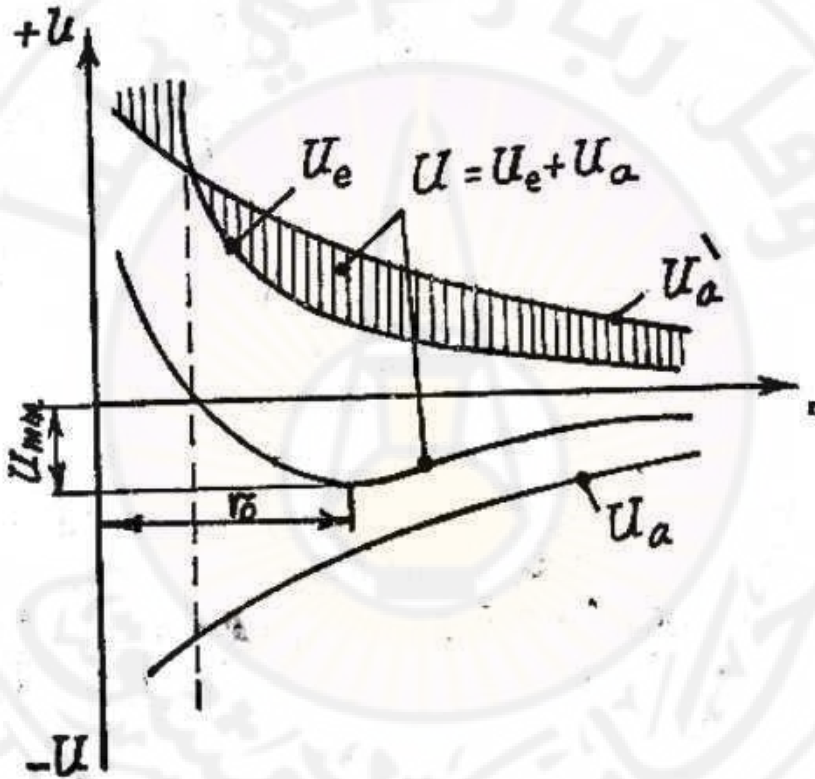
إن الهدف النهائي من هذه العملية التكنولوجية المعروفة باسم اللحام إيجاد ارتباط بين سطوح القطع المعدنية المراد وصلها، إذ يؤدي هذا الارتباط للحصول على وصلات معدنية تكون خواصها مطابقة لشروط الاستثمار المطلوبة من هذه القطع. من المعروف أن كل جسم سواء أكان صلباً أم سائلاً يتألف من مجموعة من الذرات أو الشوارد أو الجزيئات المرتبطة فيما بينها بقوى داخلية، وتكون ارتباطات الجزيئات المادية مع بعضها إما تكافؤية أو أيونية (شاردية) أو جزيئية أو معدنية، فالأنواع الثلاثة الأولى من هذه الارتباطات معروفة جيداً لدينا من علم الكيمياء، وليس لهذه الارتباطات مكاناً في لحام المعادن مع بعضها، أما الارتباط المعدني فيمكن التعرف إليه من دراسة علم المعادن، ويتبين أن الارتباطات المعدنية تحدث بواسطة قوى التجاذب الكهروستاتيكية التي تنشأ بين الأيونات الموجبة (أي الذرات التي فقدت إلكتروناتها الخارجية) والإلكترونات الحرة السالبة التي تشكل ما يسمى الغاز الإلكتروني (الضباب الإلكتروني)، والتي تشد الأيونات إلى بعضها الآخر. وبصفة عامة يمكننا القول إن قوى الارتباط في المعدن تتحدد بقوى التناثر بين الأيونات الموجبة وقوى التجاذب بينها وبين الإلكترونات السالبة. يبين المخطط البسيط. الشكل (1-1) كيف تتغير طاقة الارتباط

لذرتين شحنتهما موجبة، وتقعان في حقل إلكترونات سالبة، وعلاقة هذا الارتباط بالمسافة بين الذرتين.

نلاحظ من الشكل أن ازدياد قوى التجاذب (Attractive forces) عند اقتراب الذرتين من بعضهما يكون أبطأ من ازدياد قوى التنافر (expulsive forces)، وأن قوى التنافر والتجاذب تتعادل عند مسافة معينة تسمى r_0 إذ تكون الطاقة الكامنة عند هذه المسافة أصغر ما يمكن وتساوي قيمة معينة U_{min} . ونلاحظ من الشكل أن المساحة المهيشرة تمثل الفرق بين طاقة التجاذب (U_a) وطاقة التنافر (U_e) لذرتين فقط؛ إذ تشكل هذه المساحة الفرق بين $U_e = f(r)$ و $U_a = f(r)$ (حيث U_a يناظر U_a بالنسبة لمحور المسافة r)، فإذا بحثنا في عدد كبير من الذرات حيث تتوضع هذه الذرات لتشكل نظاماً هندسياً معيناً فيما بينها؛ فإن المسافة المماثلة لـ (r_0) هي طول ضلع هذا النظام الهندسي المسمى الهيكل الشبكي، ومن المعلوم حالياً أن طول ضلع الهيكل الشبكي لغالبية المعادن يراوح بين $(3 \div 5)$ أنغستروماً. فإذا زادت المسافة بين هذه الذرات على هذا الحد، فإن قوى الارتباط تقل بينها. فالمسافة r_0 (التي كما ذكرنا أنفاً هي طول ضلع الهيكل الشبكي) لا تبقى ثابتة، فهي المسافة الوسطى بين الذرات ذاتها، وهذه الذرات تبقى دائماً في حركة اهتزازية حول مكان مركزها، ويشكل مطال الاهتزاز عادةً وعند درجة الحرارة العادية نحو $5 \div 10$ % من المسافة الوسطى بين الذرات. وتزداد الاهتزازات بارتفاع درجة الحرارة تماماً، كما يزداد طول ضلع الهيكل الشبكي وهذا يؤدي عامةً إلى إضعاف الارتباط بين الذرات.

ولكن ما يجب أن نعرفه هنا أن قوى ارتباط جميع ذرات القطعة المعدنية (عدا الذرات السطحية) متوازنة ومتعادلة فيما بينها، بينما يكون لذرات السطح ارتباطات حرة، لهذا تستطيع هذه الذرات ضمن شروط معينة أن تتضمن إليها ذرات أو جزيئات أخرى من الوسط المحيط، فمثلاً تستطيع أن تمتص غازات مختلفة أو أن تدخل في ارتباط مع ذرات سطحية لجسم آخر صلباً سواء أكان أم سائلاً. من هنا نستطيع أن نقول: إنه لوصل جسمين ببعضهما والحصول على جسم واحد، لابد من إيجاد ارتباط مباشر بين سطحيهما أو وصلهما ببعضهما عن طريق رابط وسيطي. وهذا يعني أنه لإيجاد الارتباط

المباشر بين السطحين من دون استخدام أي رابط وسيطي يجب تقريب هذين السطحين من بعضهما لمسافة مساوية طول ضلع الهيكل الشبكي _ أي ألا تزيد هذه المسافة على (5÷3) أنغستروماً، وهذا هو المبدأ الذي يعتمد عليه في فهم المعنى الفيزيائي لعملية اللحام.



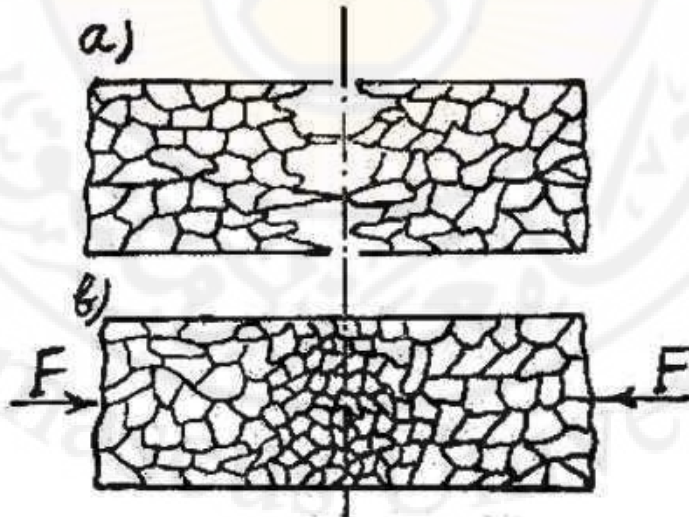
الشكل (1-1): علاقة طاقة ارتباط ذرتين بالمسافة بينهما

1-2: فيزياء اللحام باستخدام الحرارة والضغط:

لنبحث في إمكان إيجاد ارتباط بين سطحي قطعتين من المعدن نفسه موجودتين في الحالة الصلبة. نحن نعلم أن الطرق الحديثة لتشغيل السطوح (بما فيها تسوية هذه السطوح وصلها) لا تستطيع أن تضمن الحصول على سطوح لها الدقة الكافية حيث

يمكن تقريب نقاط السطحين جميعها من بعضهما لمسافة تساوي $(5 \div 3)$ أنغستروماً، وإن أكبر دقة للتشغيل تضمن انحرافاً في أحرف السطوح بحدود $(10^{-4} \div 10^{-5})$ سم، لهذا عند تقريب هذه السطوح من بعضها، فإن الارتباط سوف يحصل في نقاط محدودة من هذه السطوح، ولا تشكل هذه النقاط بالمساحة سوى جزء صغير جداً من السطح الكلي، وبالتالي فإن متانة الوصلة الناتجة تكون منخفضة إذا ما قورنت بمتانة المعدن الأساسي، هذا إذا لم يعترض ارتباط الذرات السطحية أي عناصر معيقة لعملية الارتباط هذه مثل الغازات والقشور الأكسيدية والزيوت وشوائب أخرى.

للتوضيح أكثر نحذف التأثير المعيق للشوائب السطحية ونفرض أنه بوجدنا إيجاد ارتباط بين البلورات الحدودية لسطحي القطعتين. الشكل (2a-1) شريطة أن تشمل هذه الارتباطات السطح كاملاً. انظر الشكل (2b-1). وهذا يعني أنه يجب أن تسلط قوى ضغط F حسب اتجاه السهمين في الشكل (2b-1)، حيث تكون قوى الضغط هذه كافية لإزالة البروزات الميكروية على السطوح، وإحداث ما يسمى الانفعال اللدن الموضعي والكافي لتداخل البلورات السطحية مع بعضها بعضاً والحصول على الوصلة اللحامية.



الشكل (2-1): ارتباط سطحي قطعتين وتشكل الوصلة اللحامية.

إن هذا النموذج الفيزيائي للحام الذي بحثناه آنفاً يتطلب نشاطاً للسطوح المعدنية التي ستلتحم، ويكون هذا النشاط ضرورياً، ولأسيما عندما يوجد على هذه السطوح أوساخ وزيوت تعيق عملية اللحام. ويمكن لهذه الطاقة النشطة أن تُعطى للسطوح على شكل حرارة وذلك بتسخين القطع المراد لحامها _ وتسمى في هذه الحالة الطاقة النشطة الميكانيكية.

ونود أن نذكر هنا أن استخدام التسخين حتى درجات حرارة معينة يقلل من مقاومة المعدن للتشوهات (الانفعالات) ويسرع من عمليات الانتشار، ويؤدي أحياناً إلى إعادة التبلور. وطبقاً لهذا فإن رفع درجة حرارة القطع يسهل العمليات كلها التي توفر الحصول على وصلة لحامية مكفولة وجيدة.

1-3: العلاقة بين العناصر التكنولوجية للحام بالضغط:

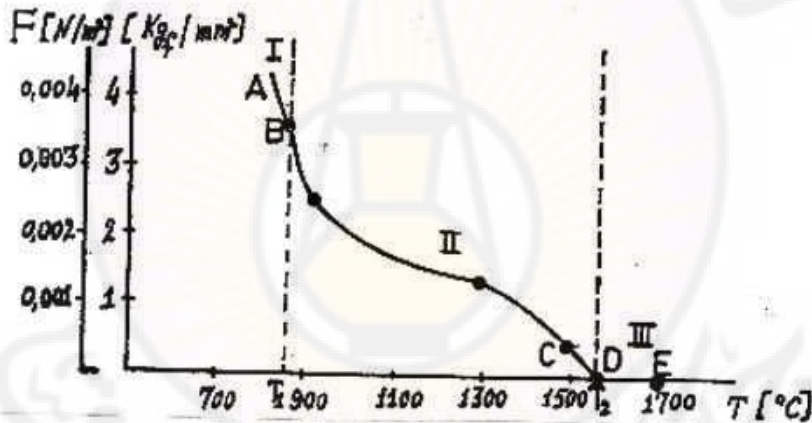
تختلف العلاقة المتبادلة بين العناصر التكنولوجية لعملية اللحام بالضغط التي بحثناها آنفاً، وهي: درجة الحرارة التي يتم تسخين القطع إليها ومقدار قوى الضغط المطبقة على هذه القطع. وتختلف هذه العلاقة باختلاف نوعية المعدن المراد لحامه. ويوضح الشكل (1-3) هذه العلاقة في حالة لحام الحديد الصناعي وضمن شروط تكفل عدم وجود أي شوائب أو زيوت أو أوساخ على سطوح القطع. من الشكل (1-3) نلاحظ أن المنحني ABCDE يقسم حقل العناصر التكنولوجية (وهي الضغط F ودرجة الحرارة T) إلى مجالين:

الأول - هو مجال الحصول على وصلة لحامية لها خواص قريبة من خواص معدن الأساس _ وهذا المجال واقع أعلى المنحني.

الثاني - هو مجال الحصول على وصلات رديئة، ويسمى مجال انعدام إمكانية اللحام _ ويقع هذا المجال تحت المنحني.

وتقسم المستقيمات الشاقولية (الخطوط المتقطعة) مجالات الحرارة. فمثلاً عندما تكون درجة حرارة الحديد أقل من T_1 ، فإنه للحصول على وصلات لحامية ذات نوعية جيدة يجب تسليط قوى ضغط كبيرة جداً، وهذا لا يمكن تحقيقه عملياً في أغلب الأحيان، لهذا

يسمى هذا المجال إمكان اللحام المحدود (I). أما لإجراء عملية اللحام في مجالات الحرارة من T_1 إلى T_2 (حيث T_2 درجة انصهار الحديد الصناعي)، فإنه من الضروري تسليط ضغط خارجي غير مرتفع نسبياً (المجال II) وكلما كانت درجة حرارة الحديد أعلى كان الضغط اللازم لإجراء عملية اللحام أقل، لهذا يمكن تسمية هذا المجال بمجال أنظمة اللحام بالضغط وبالنسبة للحديد الصناعي فقط، ذلك لأن لكل معدن من المعادن الأخرى أنظمة خاصة به ويمكن إيجادها تجريبياً. ونلاحظ من الشكل (1-3) أنه عندما تكون درجة حرارة الحديد أعلى من T_2 ، فإن المنحني ينطبق على محور السينات وهذا يعني أنه لا يلزم تسليط أي ضغط خارجي لإجراء عملية اللحام ($F=0$). ويسمى المجال III مجال اللحام بالصهر.



الشكل (1-3): العلاقة بين العناصر التكنولوجية لعملية اللحام بالضغط.

4-1: فيزياء اللحام بالصهر وبعض من مزايا فيزياء لحام المعادن:

يمكن أن نتصور عملية اللحام على الشكل الآتي: يتم صهر حواف القطعتين باستخدام مصدر حراري معين. انظر الخطوط المتقطعة على الشكل (4a-1)، وعندها يصبح المعدن السائل (انظر المنطقة المباشرة على الشكل نفسه) واقعاً بين حواف المعدن التي لم تتصهر (أي كما لو أن هذا المعدن المصهور

موجود في إناء). وتبدأ ذرات المصهور بالاقتراب من ذرات جدران الإناء إلى أقصر مسافة ممكنة؛ وذلك بسبب الاختلاط وتوفر الطاقة اللازمة لارتباط هذه الذرات، وينساب المعدن المصهور على السطح النشط للجدران الصلبة؛ مما يوفر تماسه الكامل مع هذه الجدران وارتباطه معها. فإذا نزعنا المصدر الحراري، فإن المصهور يبدأ بالتجمد، وأول ما تتجمد طبقات المصهور القريبة والمتلامسة مع الجدران مما يؤدي إلى تشكل بلورات مشتركة ناتجة عن ارتباط المعدن المصهور مع المعدن الصلب؛ بالإضافة إلى ارتباط المعدن الذي تجمد لتوه مع الصلب الموجود أيضاً في درجات حرارة عالية. ونحصل بالتالي على الوصلة اللحامية دون تسليط أي ضغط خارجي.



الشكل (1-4): وصلة لحام بالمصهر.

بعض من مزايا فيزياء لحام المعادن:

لا بد في نهاية هذا الفصل من ذكر بعض من مزايا فيزياء لحام المعادن التي من المفيد التعرف إليها قبل البدء بدراسة تكنولوجيا اللحام وطرقه المختلفة، وهي:

1- تختلف مجالات درجات حرارة اللحام لمعدن عن آخر ولخليطة عن أخرى. فكما لاحظنا أن الحد الأدنى لدرجة حرارة تسخين الحديد الصناعي عند لحامه بالضغط هو: $T_1 = 700^\circ \text{C}$. هذا بالإضافة إلى أن هناك بعض المعادن، مثل: الألمنيوم، الرصاص، النحاس.... وغيرها والتي ليس من الضروري تسخينها قبل أو في أثناء

تسليط قوى الضغط، ويكفي هنا إحداث انفعالات لدنة كبيرة نسبياً للحصول على الوصلة اللحامية.

- 2- لا يستخدم اللحام لوصل المعادن المتجانسة فحسب، وإنما يمكن لحام المعادن والخلائط المعدنية التي تختلف فيما بينها بالتركيب - أي تختلف نسب تركيز العناصر المتجانسة الداخلة في تركيب هذه الخلائط أو أن يختلف المبدأ في تركيبها.
- 3- يمكن أن يحدث أثناء عملية اللحام بالضغط أن تنتشر ذرات بعض العناصر (بما فيها ذرات معدن الأساس) من سطح إلى آخر، وتسمى هذه الظاهرة الانتشار. ويؤدي الانتشار دوراً مهماً في لحام المعادن المتجانسة حيث يوفر الحصول على وصلات ذات خواص جيدة. أما عند لحام المعادن غير المتجانسة، فإن انتشار الذرات من معدن في آخر يؤدي للحصول على وصلات رديئة؛ وذلك بسبب تشكل طبقات وسيطة هي اتحادات كيميائية هشة أو أن تكون على شكل قشور غير مرغوب بها، لهذا ينصح عادةً بزيادة تسخين القطعتين عند لحام المعادن المتجانسة وذلك لزيادة دور الانتشار، بينما لا ينصح بزيادة التسخين عند لحام المعادن المختلفة (غير متجانسة التركيب) وذلك للإقلال من دور الانتشار.

تعريف اللحام:

بتعميم ما ورد آنفاً يمكن أن نعطي اللحام التعريف الآتي:
اللحام هو عملية تكنولوجية هدفها الحصول على وصلات لحامية غير قابلة للتفكك، وذلك بإيجاد ارتباط بين ذرات سطحي القطعتين المراد وصلهما. ويتم ذلك:

1. إما بالصهر الموضعي أو الكامل.
2. أو بإحداث انفعالات لدنة.
3. وإما بالتسخين (سواء الموضعي أو الكامل) مع إحداث انفعالات لدنة في الوقت نفسه.

الفصل الثاني

تصنيف أنواع اللحام

يمكننا أن نصنع سماتٍ مختلفة عند تصنيف أنواع اللحام المعروفة حالياً. ولكن أكثر هذه السمات شيوعاً وأهمية، هي: نوع الطاقة المستخدمة عند اللحام، وحالة المعدن في منطقة اللحام في أثناء إجراء عملية اللحام.

2-1: تصنيف أنواع اللحام حسب نوع الطاقة المستخدمة:

يمكن حسب الطاقة المستخدمة تقسيم أنواع اللحام المعروفة كلها في الوقت الحاضر إلى المجموعات الآتية: الميكانيكية، والكيميائية، والكهربائية، والكهروميكانيكية، والكيميوميكانيكية. وسوف نبين فيما يأتي السمة الأساسية لكل مجموعة من هذه المجموعات:

أ- في طرق اللحام التي تستخدم فيها الطاقة الميكانيكية يجب أن تسبب هذه الطاقة في منطقة اللحام انفعالات لدنة، حيث تكون هذه الانفعالات كافية للحصول على الوصلة اللحامية. ومن أمثلة استخدام الطاقة الميكانيكية في عملية اللحام هناك: اللحام على البارد، واللحام الاحتكاكي، واللحام بالانفجار.

ب- تتميز طرق اللحام التي تستخدم فيها الطاقة الكيميائية بأن تسخين المعدن في هذه الحالة يتم بتحويل الطاقة الكيميائية إلى حرارية، وتوصل هذه الطاقة المعدن إلى حالة الانصهار، وعندها يمكن إجراء عملية اللحام من دون تسليط أي ضغط خارجي. ومن أمثلة استخدام الطاقة الكيميائية للحام هناك اللحام الغازي بالصهر.

ج- تركز طرق اللحام الكهربائية على مبدأ تحول الطاقة الكهربائية إلى حرارية، ويتم هذا التحول: إما باستخدام القوس الكهربائي أو نتيجة لانتشار حرارة عالية عند مرور تيار كهربائي بالخبث، أو بسبب تحول الطاقة الحركية لحزمة الإلكترونات إلى طاقة حرارية، وإما بتحريض تيار كهربائي ذي ترددات عالية إلخ. وتعد الطرق

الكهربائية التي توصل المعدن إلى حالة الانصهار عند لحامه هي أكثر طرق اللحام استخداماً ومردوداً في مجالات الصناعة المختلفة.

د- تعتمد طرق اللحام الكهروميكانيكية على مبدأ تسخين المعدن إلى درجة حرارة اللحام المطلوبة، وذلك بتحويل الطاقة الكهربائية إلى حرارية، ثم يتبع هذا التسخين إحداث انفعالات لدنة في المعدن المسخن وذلك بتسليط قوى ضغط خارجية على القطعتين المراد وصلهما. وأكثر أنواع اللحام الكهروميكانيكية شيوعاً واستخداماً في الوقت الحاضر اللحام الكهربائي بالتماس، ولاسيما أن أساليبه المختلفة تستخدم على نحو واسع في الإنتاج الكمي في الصناعات المختلفة.

هـ - تعد طرق اللحام الكيمياءميكانيكية معروفة منذ زمن بعيد؛ إذ بتحويل الطاقة الكيميائية إلى حرارية يتم تسخين المعدن إلى درجة حرارة اللحام المطلوبة، ويتبع هذا التسخين إحداث انفعالات لدنة في المعدن المسخن، وذلك بتسليط قوى ضغط خارجية على القطعتين المراد وصلهما. ومن أمثلة طرق اللحام الكيمياءميكانيكية لحام التطريق واللحام بالغاز والكبس وغيرها.

2-2- تصنيف أنواع اللحام حسب حالة المعدن في منطقة اللحام:

حسب حالة المعدن في منطقة اللحام في أثناء إجراء عملية اللحام، فإن كل أنواع اللحام تقسم إلى مجموعتين كبيرتين، هما: مجموعة لحام الضغط، ومجموعة لحام الصهر.

مجموعة لحام الضغط: تتم عملية الضغط عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة انصهار المعدن المراد لحامه، إذ بتسليط ضغوط خارجية يمكن لحام القطعتين وهما في الحالة الصلبة شريطة أن تكون هذه الضغوط كافية لإحداث الانفعالات اللدنة المطلوبة. وللحام الضغط ميزات محدودة إذا ما قورن بلحام الصهر، ومن ميزاته:

1- تسخين المعدن إلى درجة حرارة أقل من تلك في لحام الصهر، وهذا يعني أن المعدن سوف يخضع لتأثير حراري أقل؛ إذ إن التأثير الحراري يمكن في أغلب الأحيان أن يسيء إلى خواص المعدن المراد لحامه.

2- إن التسخين إلى درجات حرارة غير مرتفعة نسبياً يوفر في الطاقة الحرارية المصروفة على عملية اللحام.

ولكن هناك بعض العوامل التي تحد من الاستخدام الواسع للحام الضغط. وينسب إلى هذه العوامل:

(1) ضرورة استخدام قوى ضغط كبيرة؛ وبالتالي ضرورة توفير آلات ومعدات كبيرة ومعقدة وذلك من أجل تثبيت (أي قبض) القطع المراد لحامها من جهة، وتسليط قوى الضغط اللازمة لإجراء اللحام من جهة أخرى.

(2) ضرورة تنظيف السطوح قبل اللحام - أي إزالة طبقة الأكاسيد والزيوت وأوساخ أخرى. وبيّن لنا المثال التالي (وبالأرقام) الناحية العملية لاستخدام قوى ضغط كبيرة عند لحام الضغط لقطع غير كبيرة نسبياً:

لإجراء لحام الضغط التناكبي لقضيبين من الفولاذ قطر كل منهما (100mm)؛ أي إن مساحة المقطع لكل منهما (8000mm²)، ويفرض أن أقل ضغط يلزم لإجراء عملية اللحام (2 kgf/mm²)، فإن قوة الضغط الكلية اللازمة هي (16000 kgf) أو (16 Tons). وبما أن القوة اللازمة لقبض القطع ومنعها من الانزلاق عند ضغطها محورياً هي أكبر بمرتين من قوة الضغط المحسوبة. أي إن قوة القبض تساوي (32 Tons)، فإن المعدات اللازمة لقبض القطع وضغطها يجب أن تتحمل هذه القوى جميعها دون أن يحدث بها أي انفعالات أو تشوهات؛ وبالتالي يمكن القول: إن آلات اللحام بالضغط المعدة لوصل هذه المقاطع تكون كبيرة جداً، وغالباً ما تكون هذه الآلات معدة خصيصاً لهذه الأغراض، ويجب أن نعلم أن مساحة المقطع الذي درسناه في المثال السابق هي مساحة غير كبيرة بالنسبة إلى أكثر الإنشاءات اللحامية. ومن الواضح أن الصعوبات سوف تكون أكبر من ذلك كثيراً عند لحام المقاطع الكبيرة.

بقي أن نعلم أن ضرورة توافر سطوح نظيفة لإجراء لحام الضغط تقضي ليس فقط تنظيف هذه السطوح مسبقاً (أي قبل عملية اللحام)؛ وإنما يتطلب في بعض الحالات وقاية هذه السطوح من التأكسد عند تسخين القطع. وكل هذا يؤدي إلى وجود صعوبات إضافية عند لحام الضغط لبعض المعادن، ومن هذه الصعوبات مثلاً: ضرورة استخدام

مساعدات صهر أو غازات واقية أو أن تجري عملية اللحام في وسط مفرغ تماماً من الهواء (أي وسط مخلخل).

مجموعة لحام الصهر: يتم لحام الصهر عادةً بإحداث صهر موضعي للقطع المراد لحامها ، وكما عرفنا من الفصل الأول أن إجراء عملية لحام الصهر يتطلب فقط توافر مصدر حراري ذي استطاعة كافية لإحداث الصهر الموضعي . و عندما يكون المصدر الحراري متحركاً، فإن عملية الصهر تتم من جزء إلى آخر، لهذا فإن زيادة مقطع القطع المراد لحامها لا يتطلب ضرورة استخدام آلات لحام خاصة و كبيرة. و لكن يجب أن نعلم أن صهر المعدن يرافقه ازدياد ارتباطات بعض ذرات هذا المعدن مع الوسط المحيط؛ مما يؤدي إلى حدوث مجموعة تفاعلات تشابه العمليات التعدينية التي تحدث عند إنتاج المعادن، وتؤثر هذه التفاعلات في أغلب الحالات سلباً في خواص المعدن في منطقة اللحام، لهذا تستخدم أحياناً مساعدات الصهر أو الغازات الواقية؛ وذلك لضبط العمليات التعدينية التي تحدث في منطقة اللحام أثناء لحام الصهر، ويمكن أن يتم لحام الصهر في بعض الحالات في وسط مخلخل. يبين الجدول (2-1) تصنيفاً عاماً لطرق اللحام المعروفة حتى يومنا هذا. نلاحظ من هذا الجدول أن هناك بعض الطرق معروفة أو يمكن التعرف إليها في مراجع اللحام وهناك بعض الطرق الحديثة، والتي مازالت تقاننتها ومبادئ عملها غير معروفة بسبب عدم توافر المراجع العربية المختصة في هذا المجال، لهذا فإن اهتمامنا في هذا الكتاب لم ينصب على طرق اللحام التقليدية فقط؛ وإنما على طرق اللحام الحديثة والخاصة، فضلاً عن موضوعات مهمة أخرى.



الفصل الثالث

لحام التماس الكهربائي (لحام المقاومة)

يعد لحام التماس الكهربائي أحد أنواع اللحام بالضغط، إذ تسخن القطع المراد لحامها بتمرير تيار كهربائي عبرها مع إحداث انفعالات لدنة في منطقة تماس القطعتين بتأثير قوى ضغط خارجية على هاتين القطعتين ويضم لحام التماس مجموعة كبيرة من الطرق المختلفة ويمكن تلخيص المزايا الرئيسة لهذه الطرق بما يأتي:

أ- الجودة العالية للوصلات اللحامية الناتجة.

ب- المستوى الرفيع في المكننة والأتمتة المستخدمة في آلات اللحام.

ج- الإنتاجية العالية.

يلقى لحام التماس حالياً استخداماً واسع النطاق في الصناعات الحديثة؛ إذ تشكل الوصلات الناتجة بهذا النوع من اللحام بحدود 30% من مجموع الوصلات اللحامية وفي مجالات الصناعة المختلفة، وتتنوع السماكات الملحومة بهذه الطريقة؛ إذ تتراوح ما بين ميكرونات عدة حتى (30 mm).

أهم طرائق لحام التماس:

_ لحام التماس التناكبي.

_ لحام التماس النقطي.

_ لحام التماس التدريزي.

3-1: لحام التماس التناكبي:

يتم في هذه الطريقة لحام مساحة التماس بين القطعتين كاملة، وطبقاً لحالة المعدن في منطقة اللحام يمكننا أن نميز شكلين للحام بهذه الطريقة؛ وهما لحام التماس بالمقاومة، ولحام التماس بالصهر.

3-1-1: لحام التماس بالمقاومة:

تثبت القطع المراد لحامها 1 في فكوك الآلة 2 و 3 إذ تتصل هذه الفكوك بمنبع التغذية الكهربائي، كما يوضح الشكل (3-1a)، شريطة أن يكون الفك (2) قابلاً للحركة ومرتبباً مع ناقل قوة الضغط من الآلة. وعند لحام المقاومة تُضغَط القطعتان بقوة كبيرة (f) ثم تُغذَى الوشيعَة الأولى من محولة اللحام 4 بالتوتر الكهربائي؛ مما يؤدي إلى مرور تيار كهربائي في الوشيعَة الثانوية.

وبما أن القطع المراد لحامها هي جزء من الوشيعَة الثانوية، فإن التيار الكهربائي يمر فيها مسبباً بالتدريج تسخين المعدن في منطقة التناكب إلى درجة حرارة قريبة من درجة حرارة الانصهار (أي حوالي 0.8-0.9 من درجة حرارة انصهار المعدن). نرفع بعد ذلك من قيمة قوة الضغط؛ مما يؤدي إلى زيادة الانتقال (S) للفك القابل للحركة، وهذا يؤدي إلى احداث انفعالات لدنة في منطقة التناكب، فتتشكل الوصلة اللحامية.

عند لحام المقاومة لا يتم على نحو كافٍ إزالة القشور الأكسيدية، ومن الصعب أيضاً الحصول على تسخين منتظم للقطع بكامل مقطعها، لهذا يكون استخدام لحام المقاومة محدوداً، ويقتصر على لحام القضبان والأنابيب التي لا يزيد مقطعها على (200-250) ملمتر مربع ومصنوعة من الفولاذ قليل نسب الخلط.

3-1-2: لحام التماس بالصهر:

يتم تقريب القطعتين من بعضهما ببطء؛ وذلك بتسليط قوى ضغط صغيرة (انظر الخط المنقطع على الشكل 3 - 1a) شريطة أن تكون محولة اللحام موجودة في الوقت نفسه في وضع التشغيل.

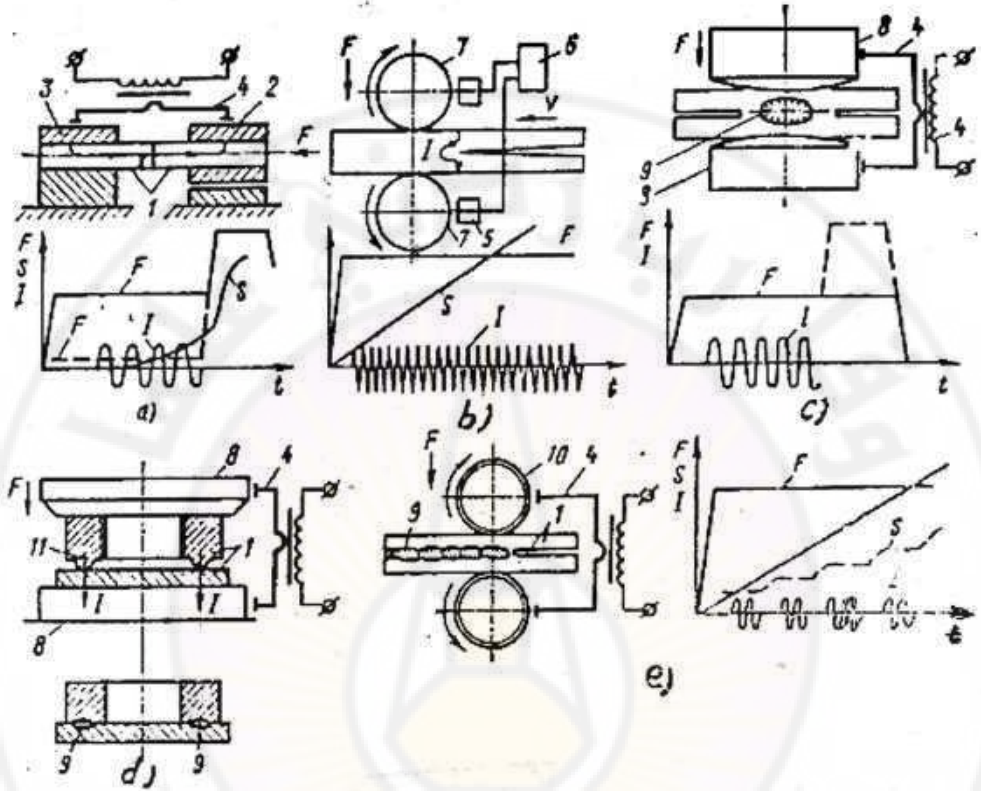
تنصهر حواف القطعتين نتيجة التماس بين هذه الحواف؛ إذ تتشكل طبقة كاملة من المعدن المنصهر تضغط إلى خارج منطقة التناكب جارفة معها القشور الأكسيدية، وبذلك نحصل على الوصلة اللحامية وللحصول على تسخين منتظم للقطع المراد لحامها يستخدم التسخين المسبق بتيار كهربائي يغذي هذه القطع بشكل مستمر.

يستخدم لحام التماس بالصهر للحصول على وصلات مختلفة ذات مقاطع صغيرة وكبيرة (تصل أحياناً مساحة مقطع الوصلة إلى 100000 mm^2) ويمكن بهذه الطريقة لحام قطع طويلة كالأنابيب والسكك الحديدية والمحاور ، ويستخدم أيضاً في الحصول على وصلات معقدة من قطع بسيطة.

وفي آلات اللحام الآلية ذات الإنتاجية العالية المستخدمة للحام الدرزات الطويلة في الأنابيب رقيقة الجدران المصنوعة من معادن مختلفة (فولاذ أو نحاس أصفر.... إلخ) يستخدم ما يسمى باللحام ذي الترددات الصوتية، ويتميز هذا النوع من اللحام من غيره بأن التسخين يتم باستخدام تيارات كهربائية ذات تردد عالٍ يتراوح $450 - 70 \text{ KHZ}$ ويتمركز التسخين في منطقة اللحام بالذات (انظر الشكل 3-1b). وينتج هذا التسخين عند استخدام المحرض 5 الموصل مع المولد 6. أما ضغط المعدن المنصهر، فيتم بواسطة ضغط الأسطوانتين 7.

3-2: لحام التماس النقطي:

يتم اللحام في نقاط تماس معينة، وليس على المقطع كاملاً. ولهذا الغرض تجمع القطعتان المراد لحامهما بالشكل التراكمي (كما هو موضح في الشكل 3-1c)، ثم تُضغط هاتان القطعتان بالإلكترودات (8) التي تقوم في الوقت نفسه بنقل التيار الكهربائي إلى القطع من محولة اللحام 4، فعند تشغيل محولة اللحام فإن القطع تسخن بتيار كهربائي ذي نبضات قصيرة، حيث يراوح زمن النبضة الواحدة $(0.01 \div 0.5 \text{ Sec})$ ، ويستمر تسخين القطع حتى ظهور المنطقة المرنة، تسمى عادة بنواة النقطة اللحامية، ويشكل قطر النواة وعمق صهرها أبعاد هذه النواة، إذ يتم اختيار قطر النواة طبقاً لسماكة القطع المراد لحامها. بينما يشكل عمق الصهر عند لحام قطع لها السماكة نفسها نحو $(30 \div 80 \%)$ من سماكة القطعة، وينحصر المعدن المنصهر في النواة، ويتم وقايته من التفاعل مع الوسط المحيط بواسطة الحزام الكثيف المتشكل نتيجة الانفعالات اللدنة الكثيفة في المعدن المجاور للنواة.



الشكل (1-3): الطرائق الرئيسية في لحام التماس الكهربائي.

F: قوة الضغط، S: انتقال (حركة) القطع المراد لحامها، I: تيار اللحام.

يحافظ على قوة الضغط المؤثرة على القطع مدةً زمنيةً معينةً بعد قطع التيار الكهربائي، وذلك حتى يتم تبلور المعدن بتأثير القوى الضاغطة؛ إذ يمكن بهذا الشكل الحد من تشكل العيوب ذات الطابع التبلوري (مثل الشقوق والمسامات وغيرها). وعند لحام قطع ذات سماكات كبيرة تزيد على (1.5÷2 mm) ومصنوعة من معادن منخفضة اللدونة (مثل سبائك الألمنيوم عالية نسب الخلط أو الفولاذ وغيرها)؛ فإن قوة الضغط ترفع بمقدار

(1.5÷2 مرة من قيمتها) بعد قطع التيار الكهربائي مباشرة، وذلك من أجل الحصول على قوة كبس إضافية للنواة.

يُعد لحام البروز أحد طرق لحام النقطة، وذلك عندما تكون مساحة التماس للقطعتين محددة ببروزات، ويأخذ مقطع هذه البروزات أشكالاً مختلفة (منها نصف الدائري وشبه المنحرف وغيرها). ويتم تشكيل البروزات على القطع المراد لحامها ميكانيكياً وقبل إجراء عملية اللحام.

إن وجود البروز 11 أثناء المرحلة الأولى من مراحل عملية اللحام (كما موضح على الشكل (3-1d)) يسمح بتسخين مركز في مكان التماس من أجل كثافات تيار كهربائي عالية. وتتشوه فيما بعد هذه البروزات، وفي مرحلة معينة من مراحل عملية اللحام ينصهر معدن البروز وتتشكل نواة النقطة اللحامية، يتم عادةً صنع عدة بروزات على سطح القطعتين المراد لحامهما، وأحياناً يصنع بروز مستمر على شكل حلقة، لهذا ينتج لحام القطعتين في نقاط عدة أو يكون على شكل درزة لحامية حلقة مستمرة.

يستخدم اللحام النقطي في وصل قطع مختلفة، ويشغل اللحام النقطي ولحام البروز حجماً كبيراً في الصناعات الإلكترونية، وذلك عند عناصر الدارات الإلكترونية جميعها، وتعد إنتاجية اللحام النقطي عالية جداً، ويمكن أن تصل إلى 200 نقطة لحام في الدقيقة الواحدة.

3-3: لحام التماس التدريزي:

تتشكل بهذه الطريقة الوصلة اللحامية المستمرة (الدرزة اللحامية) نتيجة لوضع نسق متتابع من نقاط اللحام؛ إذ تغطي كل واحدة منها جزءاً من سابقتها، وتستخدم الإلكترونيات القرصية الدورانية (10) لإيصال التيار الكهربائي إلى القطع المراد لحامها ولتحريك هذه القطع؛ بالإضافة إلى إيصال القوة الضاغطة إلى هذه القطع أيضاً. ويتم جمع القطعتين المراد لحامهما تراكبياً كما في حالة اللحام النقطي، وتُسخن هذه القطع بتيار كهربائي من دون استخدام أي وسائط خاصة لوقاية المعدن من التفاعل مع الوسط المحيط. وطبقاً لوضع الإلكترونيات في أثناء مرور التيار الكهربائي فيها يمكننا تمييز

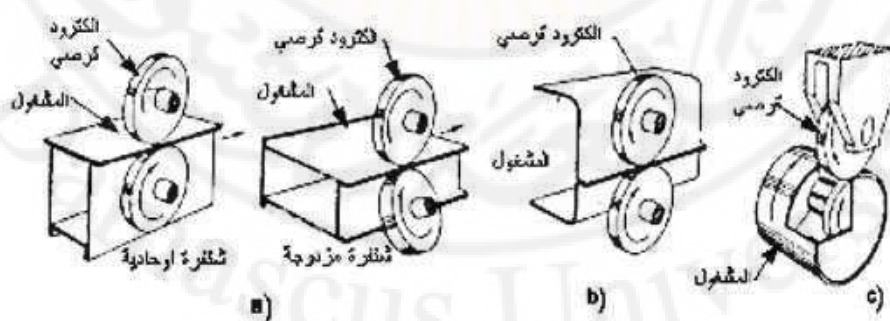
نوعين من اللحام التدريزي، وهما: اللحام التدريزي المستمر، واللحام التدريزي المتقطع، ففي النوع الأول يمر التيار الكهربائي عندما تكون الإلكتروودات في حالة حركة دورانية، وأما في النوع الثاني، فيمر التيار الكهربائي عندما تكون الإلكتروودات ثابتة. أي بدون حركة (انظر الخط المتقطع على الشكل 3-1e).

3-3-1: أنواع وصلات اللحام التدريزي ومجالات استخدامها:

يتضمن اللحام التدريزي أنواعاً مختلفة لوصلات اللحام هي: التراكبية والتناكبية والرقعية ووصلات لحام التدريز بالهرس، إلا أن الوصلات الأساسية منها التراكبية والتناكبية:

أ- لحام التدريز التراكبي:

وهو أكثر التطبيقات العملية استعمالاً، وفيه تركيب الصفائح فوق بعضها إذ لا تسمح بانبثاق المعدن المصهور من بينها. ومن تطبيقات اللحام التدريزي التراكبي ختم العلب المعدنية غير القابلة للفاك كخزانات الماء والوقود الصغيرة وكاتمات الصوت والغاز. ويستخدم اللحام التدريزي التراكبي في لحام الوصلات ذات الشفة البسيطة؛ أي الوصلات التي لها طرف مستقيم، وآخر ذو شفة كما، هو مبين في الشكل (3-2a). هذا ويمكن أن يكون الجزءان الموصلان مشفهين من الخارج أي لهما شفة خارجية.

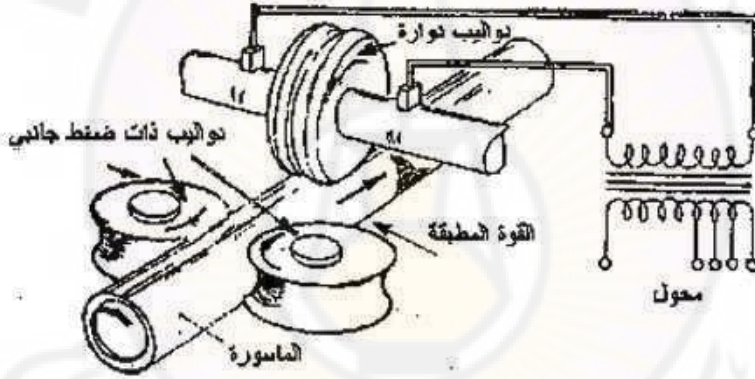


الشكل (3-2): بعض من أشكال لحام التدريز التراكبي.

ب- لحام التدريز التناكبي:

يتم اللحام التدريزي التناكبي بواسطة عملية تكنولوجية خاصة تقوم فيها بإحداث تناكب لطرفي القطعتين المستقلتين والمسخنتين، وذلك بتقريبهما من بعضهما مع تطبيق ضغط خفيف عليهما. ويزداد الضغط تدريجياً في أثناء عملية اللحام.

يستخدم لحام التدريز التناكبي خاصة لصناعة المواسير والأنابيب، كما هو مبين على الشكل (3-3)، ويوضح آلة لحام تدريزي تناكبي مؤلفة من دولابين دوارين يستعملان لتحريك الأنبوب حركة مستقيمة ودولاب آخر يضغط على الأنبوب، ويتم لحامه (انظر الشكل (3-3)).



الشكل (3-3): صناعة أنبوب بواسطة لحام التدريز التناكبي.



الفصل الرابع

اللحام بالقوس الكهربائي

مفهوم اللحام بالقوس الكهربائي:

تتفوق طريقة اللحام بالقوس الكهربائي على سائر الطرق الأخرى حتى إنها تبلغ نحو 90% من مجموع استخدامات طرق لحام الصهر المختلفة، ويتم في هذه الطريقة تحويل الطاقة الكهربائية إلى حرارية تستخدم في الصهر الموضعي لحافتي الوصلة، ولإدراك جوهر هذه الطريقة لابد من دراسة طبيعة تكوين القوس الكهربائي.

4-1: طبيعة تكوين القوس الكهربائي:

يعرف القوس الكهربائي على أنه: عملية تفريغ مستمرة للتيار الكهربائي في وسط غازي متأين موجود بين إلكترودين صلبين أو سائلين ويغذيهما توتر كهربائي، وتعد عملية التفريغ هذه المنبع حراري المركز والمستخدم للصهر الموضعي للمعدن عند اللحام، ويبدأ التفريغ الكهربائي بخلق انبعاث إلكتروني من قطب سالب ساخن يمثل المهبط نحو قطب موجب آخر يمثل المصعد، فالعوامل الأساسية في خلق القوس الكهربائي إذاً هي: الحرارة، التأين، الانبعاث.

1- الحرارة:

عند اتصال إلكترود اللحام بالمشغول المراد لحامه ثم انفصاله عنه تدريجياً تبدأ ممرات التيار بالانقطاع فترتفع شدة التيار في الممرات الباقية بالتدريج حتى تصل إلى مقدار يتيح لها (نظراً لكبر المقاومة في منطقة التماس) أن تسخن إلى درجة الغليان جزءاً من ذراتها ثم انفجارها.

يتم بهذه الظروف تحرير تيار من الإلكترونات السطحية للذرات المتلامسة (انطلاق أيوني حراري). غير إن الإلكترونات المنبعثة من المصعد لا تلبث أن تعود أدراجها إليه، بينما تتطلق الإلكترونات المنبعثة من المهبط بتسارع كبير نحو المصعد.

ونتيجة لوقوع الإلكترونات في مجال كهربائي جهده U (فولطاً) نجد أن كل إلكترون يقع تحت تأثير قوة دفع في اتجاه المجال الكهربائي تعادل: $F = e \cdot U$ (حيث e : شحنة الإلكترون)، وتمنح هذه القوة كتلة الإلكترون m تسارعاً نحو المصعد مقداره:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{eU}{m}$$

أي إن سرعة الإلكترون تزداد بتأثير هذا المجال حتى يصطدم الإلكترون بذرات الهواء، فالمجال الكهربائي إذاً يعطي الإلكترونات طاقة حركية، بينما لا تتأثر به ذرات الهواء الأخرى إلا تأثيراً غير مباشر؛ وذلك باصطدام الإلكترونات المتكرر بها واكتسابها جزءاً من طاقتها؛ مما يؤدي إلى رفع درجة حرارتها بسرعة كبيرة.

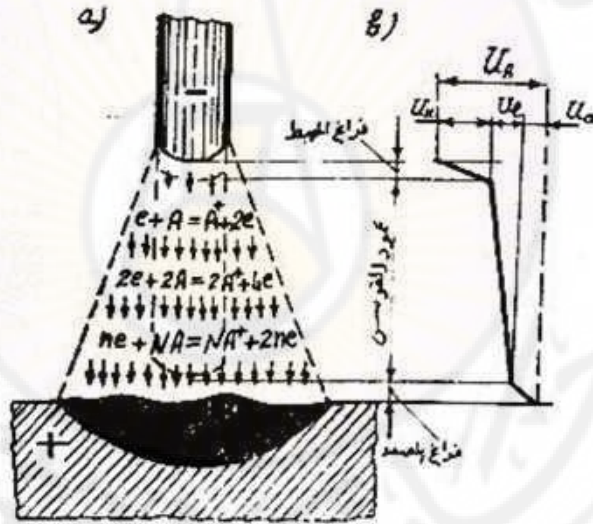
2- التأين:

عند التأثير بالذرة بطاقة خارجية تنتقل إلكتروناتها من المدارات القريبة من النواة إلى المدارات الأكثر بعداً عنها، ثم تعود من فورها إلى مداراتها الأصلية معطية مقداراً كمياً من الضوء (موجات إلكترومغناطيسية) يعادل الطاقة التي بذلت على زحزحة تلك الإلكترونات من مداراتها الأصلية، وتدعى الذرة في تلك المدة الوجيزة التي بقيت الإلكترونات في غير مداراتها بالذرة المثارة (المتهيجة).

إذا زيدت الطاقة المؤثرة في الذرة على حد يمكن معه التغلب على الارتباط بين الإلكترونات الخارجية والنواة، فإن هذه الإلكترونات تتحرر من ارتباطه بالذرة. وتدعى الذرة التي افتقدت بعض إلكتروناتها بالذرة المتأينة (أو الذرة في حالة تأين)، فإذا سلط على ذرات متأينة مجال كهربائي، فإن الإلكترونات ستتجه نحو المصعد بينما تتجه الأيونات نحو المهبط، ولذلك يتميز الغاز المتأين بخاصة توصيل الكهرباء.

وفي عملية اللحام بالقوس الكهربائي يحدث التأين من جراء الاصطدام المتكرر بين الإلكترونات والذرات الساخنة (ذات الطاقة الحركية العالية). وتتصف هذه الاصطدامات بالتزامها الاحتفاظ بطاقة الحركة وكمية الحركة قبل التصادم وبعده _ أي أن تصادمها يكون مرناً، والصفة التي تميز القوس الكهربائي عن أي تفريغ كهربائي آخر هي أن التفريغ الحادث بالقوس الكهربائي ناشئ من اصطدامات مؤينة بين ذرات متعادلة ساخنة

جداً، والكثرونات ذات طاقة حركية عالية (انظر الشكل 4-1). بينما تتصف التفريغات الأخرى بارتفاع سرعة الإلكترونات عند اصطدامها بالذرات الباردة، وحتى لا يحدث خلط بين طبيعة القوس الكهربائي والشرر الكهربائية نعلم أن الشرر لا يعقبه تكون قوس؛ لأن الجهد الكهربائي المكون للشرر لا يرقى إلى الدرجة التي تحدث تأيناً، ويجب ألا يغيب عن الذهن أنه ليس من المحتمل أن تتحرك الذرات كلها بالسرعة الكافية لتشارك في اصطدامات التأين لتكوين القوس الكهربائي، ولذلك كي يمكن المحافظة على خاصة توصيل القوس الكهربائي للطاقة الكهربائية، فإن الأمر يقتصر على تسخين عدد ضئيل من الذرات لتمكينها من التأين بينما تصل باقي أجزاء القوس إلى درجة حرارة تبلغ 6000°C لتعطي ذرات سريعة الحركة.



الشكل (4-1): مخطط القوس الكهربائي.

a- عملية التفريغ في القوس. b: توزيع انخفاض الجهد في القوس حيث:

U_k : انخفاض الجهد في منطقة فراغ المهبط.

U_a : انخفاض الجهد في منطقة فراغ المصعد.

U_z : انخفاض الجهد في عمود القوس.

3- الانبعاث:

كي تتم عملية التأين التي سبق شرحها بتسخين الغاز بواسطة المجال الكهربائي، لابد من وجود بعض الإلكترونات لتقوم بمهمة تحويل طاقة المجال إلى طاقة حركية. فالإلكترونات المنبعثة من المهبط والمتحركة بسرعة متزايدة نحو المصعد تصدم ذرات الغاز وتكسبها جزءاً من طاقتها. ويتوالي الاصطدامات ترتفع درجة حرارة ذرات الغاز إلى درجة يسهل معها نزع بعض إلكتروناتها الخارجية محولة الهواء بذلك إلى خليط من الأيونات والإلكترونات الحرة هذه، التي ليست هي إلا دقائق مشحونة (انظر الشكل 4-4-1) تتحرك الإلكترونات الحرة نحو المصعد، وتصطدم به في حين تتحرك الأيونات الموجهة في اتجاه المهبط وتصطدم به أيضاً وبذلك يصبح الهواء موصلاً للتيار الكهربائي، ونتيجة هذه الاصطدامات تتحول طاقة حركة الدقائق إلى طاقة حرارية تحافظ على درجة حرارة المصعد والمهبط مرتفعة.

ويجب أن يكون فرق الجهد بين الإلكترودين في لحظة اشتعال القوس عالياً؛ وذلك لإكساب الإلكترونات طاقة حركية تزيد من تأين الهواء. ولكن بعد لحظة الاشتعال، عندما يصبح الفراغ الهوائي ساخناً ومتأيناً، فإن فرق الجهد اللازم لاستمرار اشتعال القوس يقل.

4-2: قدح القوس الكهربائي وأقسامه:

يمكن أن يتم قدح القوس بالطرق الآتية:

- 1- بتلامس الإلكتروود مع المشغول لحظياً وسحبه مسافة قليلة.
- 2- بواسطة جهاز يسبب شرارة تقفز من الإلكتروود إلى المشغول.
- 3- بواسطة جهاز يكون شرارة ويحافظ على إبقاء قوس ثانوي يمهد طريقاً مؤيناً للقوس الرئيس.

وتستعمل هذه الطريقة عندما يكون التيار متناوباً. أما أقسام القوس الكهربائي فهي ثلاثة أقسام (أو مناطق). انظر الشكل (4-4b).

- 1- فراغ المهبط: وهو الحيز الذي تنبعث منه الإلكترونات باتجاه المصعد. وتكتسب هذه الإلكترونات سرعة نتيجة لوقوعها في المجال الكهربائي لمنطقة المهبط، ولتقع في نهاية

المطاف في منطقة عمود القوس، وهناك تصطدم بذرات الهواء المعتدلة وتسبب تأينها وفق المعادلة:

$$e + A = A^+ + 2e$$

وكما نلاحظ يؤدي هذا الاصطدام إلى الحصول على إلكترونين يتحركان ببطء باتجاه المصعد، ويمكن أن يصطدما في طريقهما ذرات معتدلة أخرى ويسبب تأينها، وعلى أيونات موجبة تتجه إلى المهبط.

ويجب أن ننوه إلى أن جزءاً كبيراً من جهد القوس الكلي يتمركز في منطقة المهبط التي يساوي طولها نحو 10^{-5} cm فقط، ويسمى انخفاض الجهد في هذه المنطقة انخفاض الجهد في فراغ المهبط، ويرمز له (U_k) .

2- فراغ المصعد: ويقع هذا الحيز بالقرب من المصعد (أي سطح مشغول) ويساوي طول هذا الحيز مقدار الانتقال الحر للإلكترون، ويسمى الجهد المتمركز في هذه المنطقة انخفاض الجهد في فراغ المصعد (U_a) .

3- عمود القوس: وهو الجزء الأساسي للقوس الكهربائي، وفيه يحدث تأين ذرات الهواء كما أسلفنا، ولهذا يحتوي هذا الجزء من القوس على مزيج من الإلكترونات السالبة والأيونات الموجبة والذرات التي لم تتأين بعد (الذرات المعتدلة).

لقد ثبت بالتجربة أن انخفاض الجهد في منطقة عمود القوس يتغير وفق قيم ثابتة. فمثلاً عند اللحام بالكترودات من الفولاذ منخفض الكربون، فإن انخفاض الجهد في عمود القوس يساوي $40 \div 20$ فولتاً لكل 1 cm من طول العمود. ولهذا يتعلق انخفاض الجهد في عمود القوس بطول هذا العمود:

$$U_A = U_k + U_a + U_e$$

$$U_A = a + bL \quad \text{أو}$$

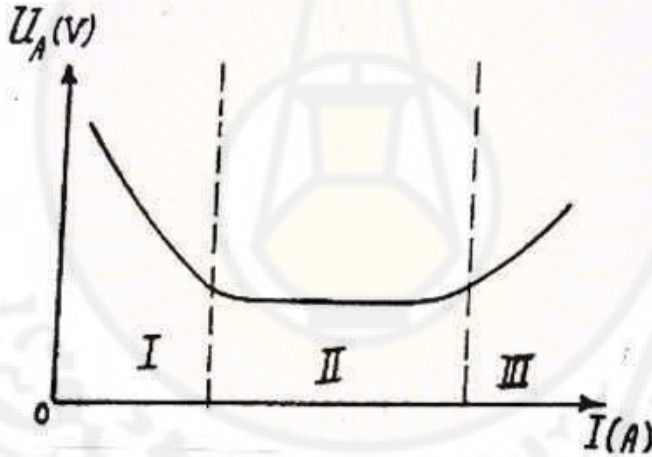
حيث: a - مجموع انخفاض الجهد في منطقتي المهبط والمصعد (فولتاً)

b - مقدار انخفاض الجهد لكل 1 mm من عمود القوس (فولتاً/مم).

L - طول عمود القوس (mm)

3-4: الخاصة الستاتيكية للقوس الكهربائي:

تدعى العلاقة بين جهد القوس، وشدة التيار المار به بالخاصة الستاتيكية للقوس الكهربائي. ويوضح الشكل (2 - 4) الخاصة الستاتيكية للقوس بشكل عام. من الشكل نلاحظ أن الجزء الأول للمنحني (المنطقة I) يتناقص التوتر بسرعة كلما ازدادت شدة التيار من الصفر وحتى قيمة معينة وغير كبيرة نسبياً. وعندما تكون شدة التيار متوسطة (المنطقة II)، فإن جهد القوس لا يتعلق بشدة التيار في أثناء عملية اللحام (سواء أكان اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي أم بالقوس المغمور بالفلاكس). ويتعلق جهد القوس في هذه الحالة بطول عمود القوس وذلك حسب المعادلة التي ذكرناها في البند (4-2).

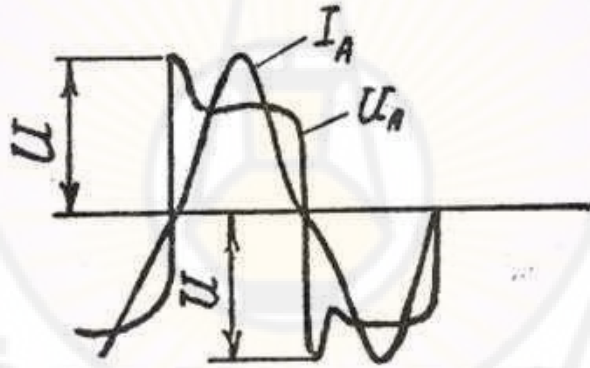


الشكل (2-4): الخاصة الستاتيكية للقوس الكهربائي عند اللحام بالتيار المستمر.

أما في (المنطقة III) فإن توتر القوس يزداد عندما تكون شدة التيار عالية جداً (ويحصل هذا عند اللحام الآلي بالقوس المغمور بالفلاكس أو عند اللحام بالقوس في وسط من الغازات الواقية).

إن الخاصة الستاتيكية التي توقفنا على شرحها آنفاً تصلح فقط في حالة اللحام بتيار مستمر. أما عند اللحام بتيار متناوب (تردده 50 هرتزاً مثلاً)، فإن شدة التيار اللحظية

سوف تمر بالصفر 100 مرة في الثانية، وسوف يؤثر ذلك في عملية انبعاث الإلكترونات من فراغ المهبط؛ وبالتالي في عملية التأين في عمود القوس. أي إن التأين غير منتظم والقوس الكهربائي غير مستقر. إذ كلما مرت شدة التيار بنقطة الصفر، فإن قطبية التيار تتغير وتتطفئ القوس في بداية كل نصف طول ونهايته، وتنخفض درجة حرارة كل من القوس نفسه والبقع النشطة (البقعة النشطة التي على سطح الإلكترود والبقعة النشطة التي على سطح حوض اللحام). ويؤدي هذا كله إلى انخفاض مستوى التأين؛ وبالتالي إلى انخفاض الناقلية الكهربائية لعمود القوس، ونتيجة لذلك فإن إعادة اشتعال القوس في بداية كل نصف طور تتم فقط عندما يكون الجهد بين الإلكترودين مرتفعاً. أي إن الجهد في هذه اللحظة سوف يكون أكبر من الجهد اللازم لاستمرار اشتعال القوس في الزمن المتبقي من نصف الطور (انظر الشكل 3-4)



الشكل (3-4): منحنيات تغير شدة التيار والتوتر في القوس الكهربائي عند اللحام في

القوس الكهربائي بتيار متناوب:

I_A : شدة تيار القوس.

U_A : جهد القوس.

U : التوتر اللازم لإعادة اشتعال القوس.

4-4: تأثير المجالات المغناطيسية والكتل الفيرومغناطيسية في القوس

الكهربائي:

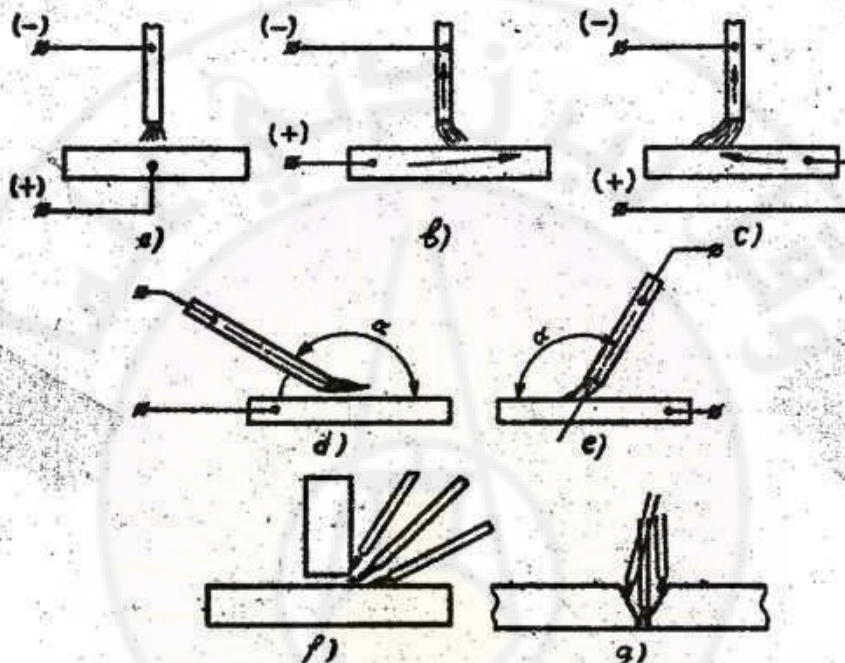
يلاحظ عند اللحام بتيار مستمر أن القوس الكهربائي غالباً ما ينحرف عن وضعه الطبيعي؛ مما يؤدي إلى عدم اكتمال الصهر الموضعي للدرزة، وتتشكل بالتالي بعض العيوب في الوصلة اللحامية.

ويحدث انحراف القوس نتيجة لانحراف مجاله المغناطيسي؛ إذ يمكن أن يتفاعل المجال المغناطيسي للقوس مع المجال المغناطيسي المتشكل حول الوصلة اللحامية، أو قد تؤثر كتلة الوصلة نفسها في المجال المغناطيسي للقوس إذا كانت هذه الوصلة فيرومغناطيسية.

يظهر المجال المغناطيسي حول الإلكترود وحول القوس الكهربائي، كما هي الحال عند مرور تيار كهربائي في سلك معدني، وتتوضع خطوط القوى لهذا المجال عمودياً على اتجاه التيار. وتظهر مجالات مغناطيسية أخرى أيضاً حول الوصلة اللحامية. ويمكن في بعض الأحيان أن تتفاعل هذه المجالات (مجال القوس ومجالات الوصلة) مع بعضها؛ مما يسبب الانحراف الواضح في القوس الكهربائي (انظر الشكل 4-4). تسمى هذه الظاهرة ظاهرة النفخ المغناطيسي. ويتلخص سبب ظهور النفخ المغناطيسي بما يأتي:

يمكن أن نتصور عمود القوس على أنه سلك مرن يقع تحت تأثير مجال كهرومغناطيسي، ويمكن لهذا السلك المرن أن ينحرف تحت تأثير خطوط القوى المغناطيسية الأكثر كثافة باتجاه خطوط القوى المغناطيسية الأقل كثافة، فإذا كانت نقطة وصل التيار الكهربائي إلى الوصلة تقع مباشرة أسفل القوس الكهربائي (انظر الشكل 4-4a) فإن القوس يقع في مجال مغناطيسي منتظم، ولن يحدث أي انحراف لهذا القوس، أما إذا كانت نقطة وصل التيار إلى الوصلة تقع على يسار القوس أو يمينها، فإن خطوط القوى المغناطيسية الناتجة في الوصلة سوف تؤثر في المجال المغناطيسي للقوس، مما يسبب انحرافه (انظر الشكل 4-4 b+c).

تؤثر زاوية ميل الإلكترود على سطح الوصلة في مقدار انحراف عمود القوس الكهربائي، إذ كلما ازدادت زاوية ميل الإلكترود ازداد انحراف القوس بالاتجاه المعاكس لميل الإلكترود (انظر الشكل 4-4 d+e).

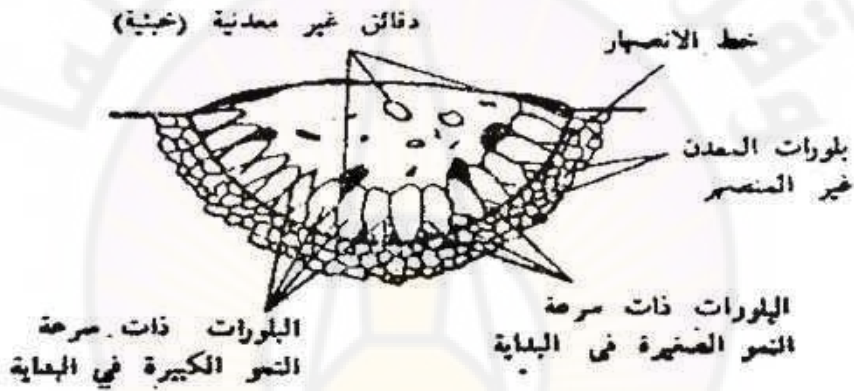


الشكل (4-4): تأثير المجالات المغناطيسية والكتل الفيرومغناطيسية في القوس الكهربائي.

وللكتل الفيرومغناطيسية تأثير كبير في عمود القوس الكهربائي. فإذا وقع القوس الكهربائي بالقرب من كتلة فيرو مغناطيسية ضخمة، فإن هذه الكتلة سوف تحرف عمود القوس نحوها، ويحدث مثل هذا عند لحام الوصلات الفولانية المتعامدة أو التاكبية المشنفرة على شكل Y (انظر الشكل 4-4 f,g).

4-5: بنية معدن الدرزة للحامية ومعدن منطقة التأثير الحراري:

إن الدرزة للحامية هي حصيللة انصهار معدن الأساس والإلكتروود وتبلورها معاً. فالشكل (4-5) يمثل رسماً تخطيطياً لتبلور المعدن في حوض اللحام. ومن المعلوم أنه كلما ابتعد القوس انخفضت درجة حرارة المعدن نتيجة تسرب الحرارة إلى المعدن الأساس عن طريق التوصيل والإشعاع في الوسط المحيط.



الشكل (4-5): رسم تخطيطي لتبلور المعدن في حوض اللحام.

تبدأ البلورات في التكون عند الحد الفاصل بين حوض اللحام ومعدن الأساس الصلب ذي درجة الحرارة المنخفضة نسبياً، وتنمو البلورات بدرجات مختلفة لاختلاف ظروف نموها، فبعضها ينمو بسرعة والآخر ينمو ببطء.

وتدفع البلورات النامية باضطراب نموها الدقائق الخبيثة التي في حوض اللحام باتجاه سطح الدرزة للحامية. أما في المناطق القريبة من الدرزة للحامية (أي المتاخمة لها مباشرة)، فتحدث تغيرات بنيوية مهمة؛ وذلك بسبب تأثر هذه المنطقة بحرارة القوس، وتدعى هذه بمنطقة التأثير الحراري.

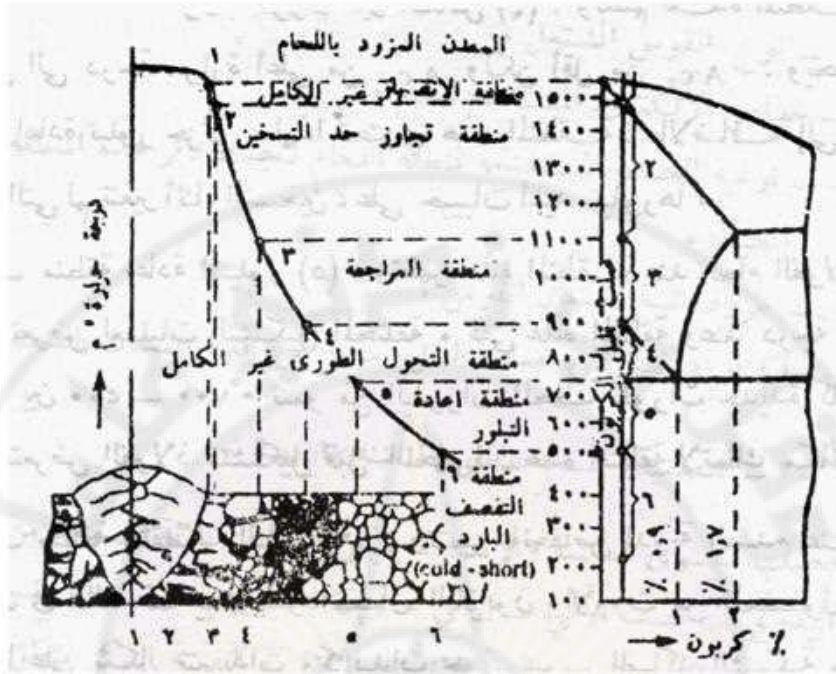
ويمكننا أن نبين ما التغيرات البنيوية التي تحدث في منطقة التأثير الحراري باستعراضنا لمقطع في وصلة لحامية من الفولاذ منخفض الكربون، وتمت عملية اللحام تتاكبياً ويدرزة

لحام وحيدة. ولقد رسمنا في الأعلى كيف تتوزع درجات الحرارة العظمى في أثناء اللحام، وبمقياس الرسم نفسه بيناً جزءاً جانبياً من مخطط توازن الحديد والكربون، فبالمقارنة يمكن أن نحصل تقريباً على حدود كل جزء من التأثير الحراري (انظر الشكل 4-6). وطبقاً لدرجة حرارة التسخين؛ وبالتالي للتغيرات البنيوية والفيزيائية الميكانيكية، يمكننا القول: إن منطقة التأثير الحراري تتألف من مناطق صغيرة عدة، هي:

- منطقة الانصهار غير الكامل (1): وهي منطقة متاخمة تماماً للدرزة اللحامية، وتتكون من معدن الأساس فقط، ودرجة حرارتها أقل من درجة حرارة خط السيولة وأعلى من درجة - منطقة خط التجمد - أي إنها توجد في حالة تجمع بين الصلابة والسيولة، وتسهل في هذه المنطقة عملية الانتشار بين الطورين الصلب والسائل، ولهذا يختلف التركيب الكيميائي لهذه المنطقة عن التركيب الكيميائي لكل من معدن الأساس ومعدن الدرزة اللحامية، ويتعلق عرض هذه المنطقة بتركيب المعدن ونوعية مصدر التسخين المستخدم، ويتراوح عرضها بين 0.1-0.4 mm ولخواص هذه المنطقة تأثير حاسم في عمل الوصلة اللحامية بشكل كامل.

- منطقة تجاوز حد التسخين (2): يحدث للحديد في هذه المنطقة تحول ألوتروبي. وبما أن معدن هذه المنطقة سخن إلى درجة أعلى كثيراً من درجة حرارة الخط Ac_3 ، فإنه يلاحظ نمو حبيبات الأوستينيت، فإذا كان نمو هذه الحبيبات كبيراً، فإن ذلك يؤدي إلى انخفاض لدونة الوصلة اللحامية بشكل عام. ويتراوح عرض هذه المنطقة بين (1-3) mm.

- منطقة المراجعة (3): وتضم هذه المنطقة المعدن المسخن إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الخط Ac_3 ولكن أقل من $1100^{\circ}C$ وتكون حبيبات المعدن صغيرة في هذه المنطقة وخواصه الميكانيكية أفضل من الخواص الميكانيكية لمعدن الأساس الذي لم يتعرض للتسخين في أثناء اللحام. وتبعاً لطريقة اللحام ونظامه المستخدم، فإن عرض هذه المنطقة يتراوح بين (1.2÷4) mm.



الشكل (4-6): بنية المنطقة القريبة من الدرزة اللحامية.

- منطقة التحول الطوري غير الكامل (4): وتضم هذه المنطقة المعدن المسخن إلى درجة حرارة أعلى من $Ac1$ ولكن أقل من $Ac3$; ويحدث لهذا المعدن إعادة تبلور جزئي، لهذا تحتوي هذه المنطقة، بالإضافة إلى حبيبات المعدن التي لم تتغير في أثناء التسخين، على حبيبات أعيد تبلورها.

منطقة إعادة التبلور (5): وتظهر هذه المنطقة عند لحام الفولاذ الذي سبق وتعرض لعمليات التشكيل المختلفة، ففي هذه المنطقة وعند درجة حرارة تتراوح بين $(500 \div 700)^\circ C$ تنمو من البلورات المحطمة بلورات جديدة كاملة، أما إذا لم يتعرض الفولاذ للتشكيل قبل اللحام فإن هذه المنطقة لا تملك مكاناً هنا.

- منطقة التقصف البارد (6): وتتميز بانخفاض لدونة الصدم عندها. والسبب في ذلك كما يبدو هو انفصال الكربون والأكسجين من المحلول الصلب وتجمعها على شكل نتريدات وكربيدات حول عيوب الهياكل الشبكية مما يؤدي إلى زيادة المتانة وانخفاض اللدونة.

الفصل الخامس

تصنيف أساليب اللحام بالقوس الكهربائي

يمكننا أن نتبع سمات كثيرة لتبويب أساليب اللحام بالقوس الكهربائي ولكن أكثر هذه السمات أهمية، هي:

- مستوى المكننة والأتمتة المستخدمين في أسلوب اللحام.
- نوعية التيار الكهربائي المستخدم للحام وقطبيته.
- نوع القوس المشتعل.
- خواص الإلكترود المستخدم للحام.
- نوعية الحماية المستخدمة لمنطقة اللحام؛ لتجنب تأثر هذه المنطقة بالوسط المحيط.
- ظروف تتبع اشتعال القوس.

وسوف نورد فيما يلي تفسيراً لكل سمة من هذه السمات الست:

5-1: التصنيف حسب مستوى المكننة والأتمتة:

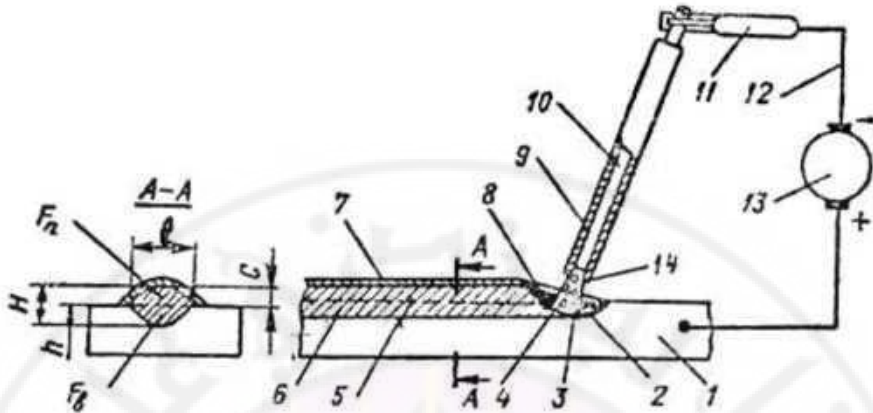
حسب مستوى المكننة والأتمتة يمكن أن نميز ثلاثة أنواع من اللحام، هي: اليدوي - نصف الآلي - الآلي. وإن نُسب أي أسلوب من أساليب اللحام بالقوس الكهربائي إلى أحد الأنواع الثلاثة آنفة الذكر يتعلق بما يأتي:

1- كيف يتم قدح القوس، وكيف يتم المحافظة على طول معين للقوس في أثناء اللحام؟

2- كيف يمكن التحكم بحركة الإلكترود وفق خط اللحام المرسوم؟

3- كيف يتم إيقاف عملية اللحام؟

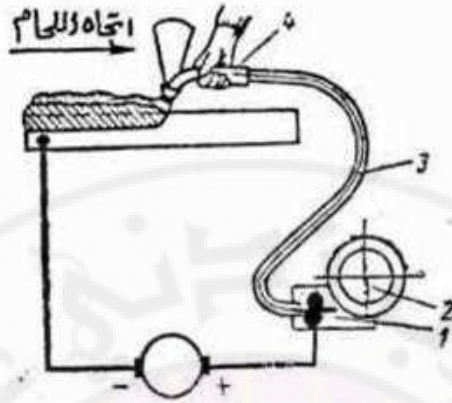
فعند اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي (انظر الشكل 5-1)، فإن هذه العمليات الثلاث تتم يدوياً، ومن قبل عامل اللحام بالذات، ومن دون استخدام أية ميكانيزمات مساعدة.



الشكل (1-5): اللحام اليدوي بالإلكترود مغلف.

- 1- معدن الأساس. 2- حوض اللحام. 3- فوهة. 4- قوس اللحام.
- 5- المعدن المضاف من الإلكترود.
- 6- معدن الأساس المشارك في بنية الدرزة اللحامية.
- 7- القشرة الخبثية المتجمدة. 8- الخبث المنصهر.
- 9- غلاف الإلكترود.
- 10- قضيب الإلكترود المعدني.
- 11- ماسك الإلكترود.
- 12- دائرة اللحام الكهربائية. 13- مصدر التيار الكهربائي.
- 14- نهاية الإلكترود السفلي.
- h - عمق الصهر. C - ارتفاع ندبة الدرزة اللحامية. H - ارتفاع الدرزة الكلي. e - عرض الدرزة. Fn - المقطع العرضي للمعدن المضاف. Fb - المقطع العرضي لمعدن الأساس المشارك في بنية الدرزة.

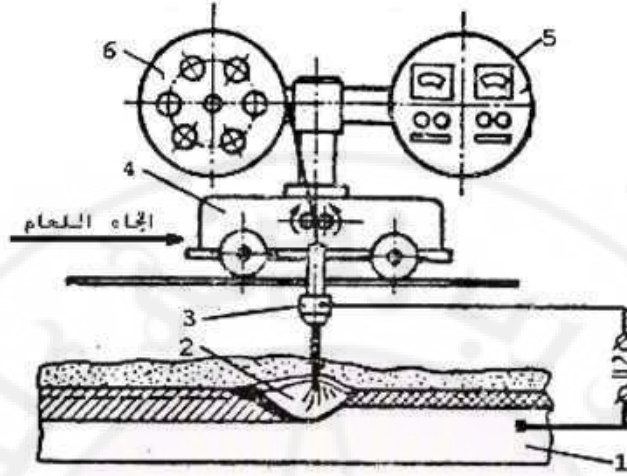
وعند اللحام نصف الآلي بالإلكترود المستهلك (انظر الشكل 2-5) فإن تغذية حوض اللحام بالسلك المعدني تتم آلياً، أما باقي العمليات، فتتم يدوياً من قبل عامل اللحام.



الشكل (5-2): اللحام نصف الآلي.

- 1- ميكانيزم التغذية بالسلك المعدني. 2- بكرة لف عليها السلك المعدني.
- 3- خرطوم مرن. 4- ماسك السلك.

وعند اللحام الآلي بالقوس المغمور بالفلاكس، فإن العمليات كافة (قدح القوس - المحافظة على طول معين له - حركة القوس وفق الخط المرسوم) تتم آلياً بدون عامل اللحام (انظر الشكل 3-8). ولكن يجب أن ننوه هنا إلى أن اللحام الآلي بالقوس المغمور بالفلاكس يتم عادة باستخدام إلكترونيات مستهلكة والتي هي أسلاك معدنية من المعدن نفسه المراد لحامه، ويتراوح قطرها من $(1 \div 6 \text{ مم})$ ، وذلك طبقاً لسماكة المعدن، ولهذا الأمر يعين نظام اللحام مسبقاً، وقبل البدء بعملية اللحام، ويجب أن تكون عناصره (شدة التيار - توتر القوس - سرعة اللحام - وعناصر أخرى) ثابتة في أثناء إجراء اللحام؛ مما يساعد على الحصول على درزة لحامية متجانسة الأبعاد على كامل طولها. ويتطلب هذا أيضاً توخي الدقة في إعداد القطع المراد لحامها بهذه الطريقة، وجمعها بشكل سليم وتثبيتاً محكماً قبل البدء بعملية اللحام.



الشكل (3-5): اللحام الآلي بالقوس المغمور بالفلاكس.

- 1- معدن الأساس. 2- حوض اللحام. 3- ماسك السلك المعدني.
- 4- عربة متحركة. 5- لوحة التحكم الآلي. 6- آلية تغذية السلك المعدني.

2-5: التصنيف حسب نوع التيار وقطبيته:

يمكن أن تتم تغذية القوس الكهربائي بتيار مستمر ذي قطبية مباشرة (أي أن الإلكترود موصول مع القطب السالب لمصدر التيار) أو بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة (أي إن الإلكترود موصول مع القطب الموجب لمصدر التيار) أو أن تتم التغذية بتيار متناوب. ويتم استخدام هذا النوع من التيار ذلك طبقاً لنوعية المعدن المراد لحامه ولأسلوب اللحام المستخدم، فاللحام اليدوي مثلاً يمكن أن يُجرى وفق أي واحد من الأنواع الثلاثة آنفة الذكر، ويتعلق الأمر هنا بنوع المعدن للحام، أما اللحام بالقوس المغمور بالفلاكس أو في وسط من الغازات الواقية، فيتم وفق القطبية المعكوسة، وذلك لاعتبارات تكنولوجية لا مجال للحديث عنها الآن.

3-5: التصنيف حسب نوع القوس المشتعل:

يتم التصنيف هنا إلى نوعين من الأقواس، وهما:

أ- قوس ذو تأثير مباشر: وهو القوس الذي يشتعل بين الإلكترود ومعدن الأساس، ويعد معدن الأساس في هذه الحالة جزءاً من الدارة الكهربائية، وتكون الحرارة المستخدمة في اللحام هي الحرارة المتولدة في عمود القوس وفي منطقتي المصعد والمهبط.

ب- قوس ذو تأثير غير مباشر: وهو القوس الذي يشتعل بين الإلكترودين. ولا يعد معدن الأساس في هذه الحالة كجزء من الدارة الكهربائية، ويتم صهر هذا المعدن من الحرارة المنطلقة من غازات عمود القوس. و يجب أن ننوه هنا إلى أن التيار المستخدم في هذا الأسلوب من اللحام هو تيار متناوب، ولا يلقي هذا الأسلوب استخداماً واسع النطاق؛ نظراً لأن مردوده ضعيف إذا ما قورن بأسلوب القوس ذي التأثير المباشر.

4-5: التصنيف حسب خواص الإلكترود:

يمكن أن تجرى عمليات اللحام بأحد أسلوبين:

أ- باستخدام إلكترود لا ينصهر: ويتم اللحام هنا باستعمال إلكترود فحامي أو غرافيتي أو إلكترود مصنوع من معدن التنجستين. ويمكن استعمال سلك المعدن المضاف (معدن الملاء) في بعض حالات اللحام. ويتم اللحام في وسط من الغازات الواقية أو من دون ذلك.

ب- باستخدام إلكترود ينصهر: وهذا الأسلوب شائع الاستخدام.

و يشتعل القوس في هذه الحالة بين معدن الأساس والإلكترود المعدني الذي ينصهر بالتدريج، وتتساقط قطراته المنصهرة في منطقة اللحام لتشكل بعد تجمدها ما يسمى المعدن المضاف في الرزة اللحامية. ويتم اللحام بالإلكترود واحد أو إلكترودات عدة، فإذا تم وصل الإلكترودين معاً إلى قطب موجب واحد لمصدر التيار نفسه سُميَ ، أسلوب اللحام بالإلكترودين، وإذا وصلت عدة إلكترودات إلى القطب نفسه سُميَ أسلوب اللحام

بالكترودات عدة. أما إذا كانت تغذية كل إلكترود تتم من مصدر تيار مستقل، فإن أسلوب ثنائي الأقواس أو متعدد الأقواس وذلك حسب عدد الإلكترودات المستخدمة. ويجب أن ننوه هنا إلى أن مردود القوس الكهربائي في هذه الحالة يتراوح بين $(0,9 \div 0,7)$. ويقصد بمردود القوس: نسبة طاقة القوس الحرارية المستفاد منها في التسخين والصهر إلى الطاقة الحرارية الكلية التي يعطيها هذا القوس.

5-5: التصنيف حسب نوع الحماية المستخدمة لمنطقة اللحام:

يتم التصنيف هنا إلى مجموعة كبيرة من أساليب اللحام، فمثلاً يمكن أن يتم اللحام بدون حماية لمنطقة اللحام كأن يتم بالإلكترود عارٍ أو بالإلكترود مغلف رقيق، أو أن يتم اللحام باستخدام حماية لمنطقة اللحام كأن تكون هذه الحماية من الخبث، وذلك باستخدام إلكترودات ذات غلاف سميك أو باستخدام طبقة من الفلاكس تقي المعدن المنصهر من التفاعل مع الوسط في أثناء اللحام، أو أن تستخدم حماية من الخبث والغاز في آن واحد، أو أن يتم اللحام بالإلكترودات عارية في وسط من الغازات الواقية (هليوم، أرجون، آزوت أو مزيج من هذه الغازات)، أو أن تستخدم حماية مركبة كأن يتم اللحام بالإلكترودات مغلفة وفي وسطك من الغازات الواقية.

نود أن ننوه هنا إلى أن أغلفة الإلكترودات تتألف بصفة عامة من مزيج لمساحيق مختلفة (معادن وغير معادن)، ويتم خلطه ميكانيكياً، وتغلف به القضبان المعدنية المعدة للحام بطرق كثيرة لا مجال لذكرها هنا. وفائدة هذه العناصر المختلفة كثيرة، نذكر منها:

- 1- يحترق جزء من هذه العناصر مطلقاً غازات تقي منطقة الصهر من التفاعل مع الوسط المحيط.
- 2- ينصهر جزء من هذه العناصر مشكلاً خبثاً يطفو على سطح منطقة الصهر ويبقيها أيضاً.
- 3- يدخل بعض من هذه العناصر في تركيب الدرة للحامية كعناصر خلط.
- 4- تحافظ هذه العناصر على اشتعال القوس على نحو مستقر، إذ تزيد الغازات المنطلقة من احتراق بعض هذه العناصر من خاصية التأين عند القوس، مما يساعد على اشتعاله على نحو مستقر.

5-6: التصنيف حسب ظروف تتبع اشتعال القوس:

يمكن حسب الظروف التي تسمح أو لا تسمح بمراقبة اشتعال القوس أن نميز ثلاثة أساليب مختلفة للحام بالقوس الكهربائي، وهي:
الحام بالقوس المفتوح . الحام بالقوس المحجوب . الحام بالقوس نصف المحجوب (أو نصف المفتوح).

فالحام بالقوس المفتوح يعني أن الظروف التي تتم بها عملية اللحام تسمح بمراقبة اشتعال القوس، وذلك باستخدام الزجاج الواقي الذي يستعمل عادةً في ورشات اللحام العادية، ويستخدم الحام بالقوس المفتوح في الكثير من الأحيان، نذكر منها: اللحام بالكتروودات معدنية أو فحمية، وفي وسط من الغازات الواقية أو بدونها.
أما اللحام بالقوس المحجب فيعني أن عملية اللحام تتم دون توافر إمكان لمراقبة اشتعال القوس؛ وذلك لأن القوس في هذه الحالة تشتعل وهي مغطاة كما في حال اللحام الآلي ونصف الآلي بالقوس المغمورة بطبقة الفلاكس.

أما اللحام بالقوس نصف المحجب فيعني أن جزءاً من القوس يشتعل تحت طبقة من الفلاكس، بينما يشتعل الجزء الآخر فوق هذه الطبقة. ويعد هذا الأسلوب نادر الاستعمال، إذ يستخدم فقط في الوقت الحاضر في حال لحام الألمنيوم الآلي بالقوس المغمور بالفلاكس.



الفصل السادس

حساب أنظمة اللحام وأبعاد الدرزة اللحامية عند اللحام

بالقوس الكهربائي اليدوي والآلي

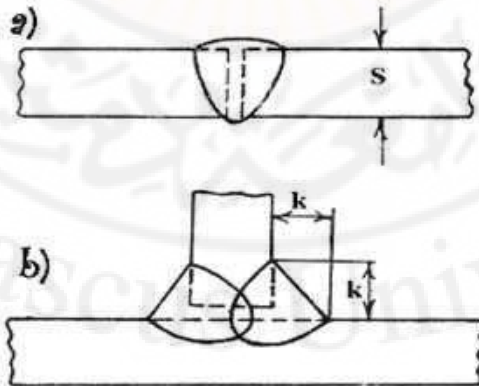
1-6: حساب عناصر نظام اللحام وأبعاد الدرزة اللحامية عند اللحام بالقوس

الكهربائي:

يتألف نظام اللحام في حالة بالقوس الكهربائي اليدوي من العناصر الآتية: قطر الإلكترود، وشدة التيار الكهربائي، وتوتر القوس الكهربائي، ومساحة مقطع معدن الدرزة المضاف والناتج بمسار لحام واحد للقوس الكهربائي، ونوع التيار وقطبيته، والطاقة الطولية.... الخ.

1- اختيار قطر الإلكترود:

يتم عادة اختيار قطر الإلكترود تبعاً لنوع الوصلة المراد لحامها، وتبعاً لسماكة هذه الوصلة (S)، وذلك في حالة اللحام التناكبي، أو تبعاً للبعد (K) وذلك في حالة اللحام الزاوي. انظر الشكل (1a,b-6). ويعد البعد (K) طول ضلع الدرزة الزاوية.



الشكل (1-6): وصلة تناكبية وأخرى زاوية.

وبين الجدول (1-6) التوصيات العملية المتبعة عادة لاختيار قطر الإلكترود وذلك في كل من حالتَي اللحام: التناكبي، والزاوي.

جدول (1-6): توصيات عملية لاختيار قطر الإلكترود.

(S,mm) سماكة القطعة عند اللحام التناكبي	1,5 ÷ 2,0	3	4 ÷ 8	9 ÷ 12	13 ÷ 15	16 ÷ 20	>20
(d,mm) قطر الإلكترود	1,6 ÷ 2,0	3	4	4 ÷ 5	5	5 ÷ 6	6 ÷ 10
(K,mm) طول ضلع الدروة الزاوية	3			4 ÷ 5		6 ÷ 9	
(d,mm) قطر الإلكترود	2			4		5	

ونود هنا أن ننوه إلى أنه عند اللحام التناكبي لحواف مشنفرة وبمسارات عدة، فإن عملية لحام الدروة الأولى تتم بالإلكترودات لا يتجاوز قطرها (5mm).
وذلك لأن استخدام إلكترودات ذات قطر أكبر لا يحقق صهر جذر الذرة اللحامية، والسبب هو عدم إمكان إدخال رأس الإلكترود ذي القطر الكبير إلى عمق الزاوية بين الحواف المشنفرة بشكل كامل.

عند اللحام الزاوي بمسار واحد، فإنه يمكن الحصول على درزات لحامية لا تتجاوز قيمة (K) فيها (8÷9 mm)، أما عند الضرورة لتحقيق درزات لحامية زاوية بقيمة (K) أكثر من ذلك، تجرى عملية اللحام بمسارين أو أكثر.

2- حساب شدة التيار:

تتعلق شدة تيار اللحام بقطر الإلكترود، وكثافة التيار المسموح بها، وتحدد عادةً بالعلاقة الآتية:

$$I = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot J \quad (1-6)$$

حيث: d: قطر الإلكترود (mm).

J: كثافة التيار المسموح بها (A/mm^2).

وبين الجدول (2-6) قيم J المسموح بها عند اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي.

الجدول (2-6): قيم J المسموح بها عند اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي.

نوع التغطية	كثافة التيار المسموح (A/mm^2) بها في الإلكترود ولأقطار مختلفة (mm)			
	3	4	5	6
حامضية	14 ÷ 20	11.5 ÷ 16	10 ÷ 13.5	9.5 ÷ 12.5
أساسية (قلوية)	13 ÷ 18.5	10 ÷ 14.5	9 ÷ 12.5	8.5 ÷ 12.0

يمكن في بعض الحالات استخدام أي من المعادلات التجريبية لحساب شدة التيار الكهربائي في قوس اللحام:

$$I = k' d \quad (2-6)$$

$$I = K_1 d^{1.5} \quad (3-6)$$

$$I = d(K_2 + \alpha \cdot d) \quad (4-6)$$

حيث:

α, K_1, K_2 : عوامل عينت قيمها تجريبياً كالآتي:

$$K_1 = 20 \div 25, \quad K_2 = 20, \quad \alpha = 6$$

ومن السهل تعيين شدة التيار وفق المعادلة (2-6)، حيث يؤخذ قيمة K' من الجدول الآتي وتبعاً لقطر الإلكترود المستخدم:

الجدول (3-6): قيم k' تبعاً لقطر الإلكترود المستعمل في اللحام اليدوي

قطر (d, mm) الإلكترود	2	3	4	5	6
k'	25 ÷ 30	30 ÷ 45	35 ÷ 50	50 ÷ 55	45 ÷ 60

3- اختيار توتر القوس:

يتغير توتر القوس عند اللحام بالقوس الكهربائي في حدود ضيقة نسبياً، فإذا عرفنا أن شدة التيار عند اللحام اليدوي تتراوح بين (70÷380A)، فإن توتر القوس يتراوح بين (20÷36V)، ولهذا من السهل تحديد قيمة توتر القوس إذا علمنا شدة التيار، ويجب أن ننوه إلى أنه في بعض الأحيان وعند إعداد تقانة اللحام، فإنه يتم اختيار توتر القوس على أساس المواصفات التي في النشرة الفنية للإلكتروود المستخدم في عملية اللحام.

4- حساب مساحة المقطع العرضي لمعدن الدرزة المضاف:

يتم إيجاد مساحة المقطع العرضي لمعدن الدرزة للحامية المضاف عند اللحام التناكبي، وبعد كل مسار لحام وفق المعادلتين الآتيتين:

- بعد المسار الأول (أي عندما يتم صهر جذر الدرزة للحامية):

$$F_1 = (6 \div 8).d \quad (5-6)$$

- بعد كل مسار من المسارات الأخرى:

$$F_n = (8 \div 12).d \quad (6-6)$$

أما في حالة اللحام الزاوي، فإن مساحة المقطع العرضي للمعدن المضاف والناتج بمسار واحد أو مسارات عدة تحسب من العلاقة الآتية:

$$F = K_y \cdot \frac{K^2}{2} \quad (7-6)$$

حيث: K_y عامل الزيادة، ويتعلق بمقدار الخلوص بين حافتي الوصلة الزاوية وبمقدار تحذب الدرزة للحامية (أي بمقدار تقوية الدرزة للحامية).
وتؤخذ قيمة عامل الزيادة (K_y) من الجدول الآتي:

جدول (4-6): علاقة قيم معامل الزيادة (K_y) بطول ضلع الدرزة الزاوية (K)

K, mm	3 ÷ 4	5 ÷ 6	10 ÷ 12	12 ÷ 20	20 ÷ 30	30
K_y	1,5	1,35	1,25	1,15	1,10	1,05

ويجب أن ننوه إلى أن مساحة مقطع الدرزة المضافة على سطح قطعة معدنية (وعلى شكل ندبة لحام) تحسب وفق العلاقة (6-6). ويتم أيضاً استخدام العلاقة نفسها عند لحام قطعتين من دون شنفرة حوافهما.

5- حساب قيمة الطاقة الطولية:

من الضرورة في أغلب الأحيان استنتاج قيمة الانفعالات الناتجة في الوصلة اللحامية عن عملية اللحام، وكذلك معرفة عمق تغلغل الصهر بشكل تقريبي. ويتطلب معرفة هذا أو ذاك حساب قيمة الطاقة الطولية (أي معرفة مقدار التأثير الحراري في معدن الوصلة)، والطاقة الطولية هي نسبة استطاعة القوس الكهربائي (q) إلى سرعة اللحام (V)، أي إن:

$$q_n = \frac{q}{V} = \frac{0,24.I.U.\eta}{V} [cal / cm] \quad (8-6)$$

حيث: U : توتر القوس، I : شدة التيار.

η : مردود القوس الكهربائي اليدوي، تتراوح قيمته بين (0.7 ÷ 0.9)

ويمكن لسرعة اللحام (V) أن تعين وفق العلاقات الآتية:

$$V = \frac{\alpha_m.I}{3600.\gamma.F_n} [cm/sec] \quad (9-6)$$

حيث: α_m : معامل صهر معدن الإلكترود [g/A.h].

γ : الوزن النوعي لمعدن الإلكترود [g/cm³].

F_n مساحة المقطع العرضي لمعدن الدرزة المضاف بعد كل مسار من مسارات اللحام $[Cm^2]$.

يمكن لسرعة اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي أن تفرض عادة، وأن تختبر على نحو غير مباشر، وذلك حسب أبعاد الدرزة اللحامية المراد الحصول عليها. لهذا وبمعرفة نظام اللحام يمكن حساب الطاقة الطويلة (q_n) بالعلاقة (8-6).

أما إذا أدخلنا في المعادلة (8-6) قيمة (V) من العلاقة (9-6) فإننا نحصل على:

$$q_n = \frac{0.24 \cdot I \cdot u \cdot \eta \cdot 3600 \cdot \gamma}{\alpha_m \cdot I} \cdot F_n \quad (10-6)$$

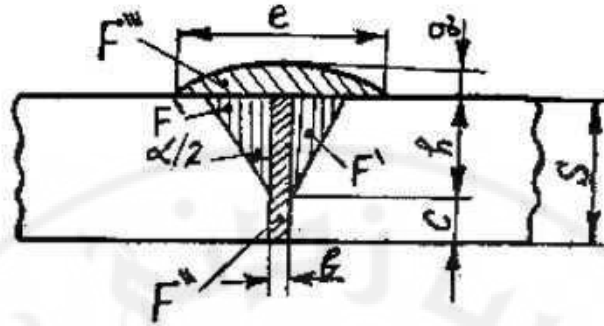
$$q_n = 0.24 \cdot 3600 \cdot \eta \cdot \gamma \cdot \frac{U}{\alpha_m} \cdot F_n$$

إن نسبة: U/α_m في المعادلة (10-6) تتغير في حدود ضيقة نسبياً، ولو أن هناك فرقاً واضحاً في قيم عوامل الانصهار (α_m) للإلكترويدات من أنواع مختلفة، لهذا فإن قيمة الطاقة الطويلة (q_n) تتناسب طردياً مع مساحة المقطع العرضي لمعدن الدرزة المضاف، وتصبح العلاقة (10-6) محددة بقيمة الثابت (A) مضروباً بمساحة المقطع، ففي لحام الفولاذ، وباستخدام أنواع مختلفة من الإلكترويدات، تكون قيمة (A) مساوية (14500)؛ لهذا تصبح العلاقة (11-6) على الشكل الآتي (بالنسبة للحام الفولاذ فقط):

$$q_n = 14500 \cdot F_n \quad (11-6)$$

6- حساب عدد المسارات:

تحدد عدد مسارات اللحام بصفة عامة عند لحام حواف مشنفرة. فمثلاً عند اللحام التتاكبي وبوجود حواف مشنفرة (ولنفرض أن شنفرة الحواف تمت على شكل V- انظر الشكل 6-2)، فإن من الضروري حساب المساحة الكلية للمقطع العرضي (أي المساحة التي تملأ في أثناء اللحام بمعدن الإلكتروود - أي المعدن المضاف):



الشكل (2-6): إيجاد المساحة الكلية للمقطع العرضي لمعدن الدرزة المضافة.

$$F = 2F' + F'' + F''' \quad (12-6)$$

$$F = h^2 \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} + b \cdot s + \frac{2}{3} g (2h \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} + b + 6) \quad (13-6)$$

وبمعرفة المساحة الكلية للمقطع العرضي لمعدن الدرزة اللحامية المضافة من العلاقة (13-6) ومساحة المقطع العرضي لمعدن الدرزة المضافة بعد المسار الأول وبعد كل مسار من المسارات الأخرى من العلاقة (5-6 و 6-6) يمكننا أن نوجد عدد مسارات اللحام من العلاقة الآتية:

$$n = \frac{F - F_1}{F_n} + 1 \quad (14-6)$$

7- حساب أبعاد الدرزة اللحامية:

إن أبعاد الدرزة اللحامية، هي: عرض الدرزة (e) وارتفاع الندبة (g) وعمق تغلغل الصهر (r)، ففي حالة اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي، فإن هذه الأبعاد الثلاثة تحدد طبقاً لأبعاد الحواف المشنفرة للوصلات المعدة للحام، ولهذا فإنه ليس هناك من ضرورة لتعيين هذه الأبعاد، وبخاصة عمق تغلغل الصهر (r) إلا عند لحام الحواف غير المشنفرة أو عند

وضع ندبة لحام على سطح قطعة معدنية، ذلك لأن إيجاد عمق الصهر في هاتين الحالتين وبدقة مفيد للأهداف العملية. ويتم تعيين عمق الصهر بالشكل الآتي:

- إن درجة الحرارة العظمى على بعد (r) من نقطة تأثير قوس اللحام تحسب بالعلاقة:

$$T_{\max} = \frac{2q_n}{\pi \cdot e \cdot c \cdot \gamma \cdot r^2} \quad (15-6)$$

حيث: e- أساس اللوغاريتم الطبيعي: (e=2.714.....).

c: الحرارة النوعية لمعدن الأساس: [Cal / g.°C]

γ: الوزن النوعي لمعدن الأساس: [g / Cm³]

من العلاقة (15-6) نجد أن:

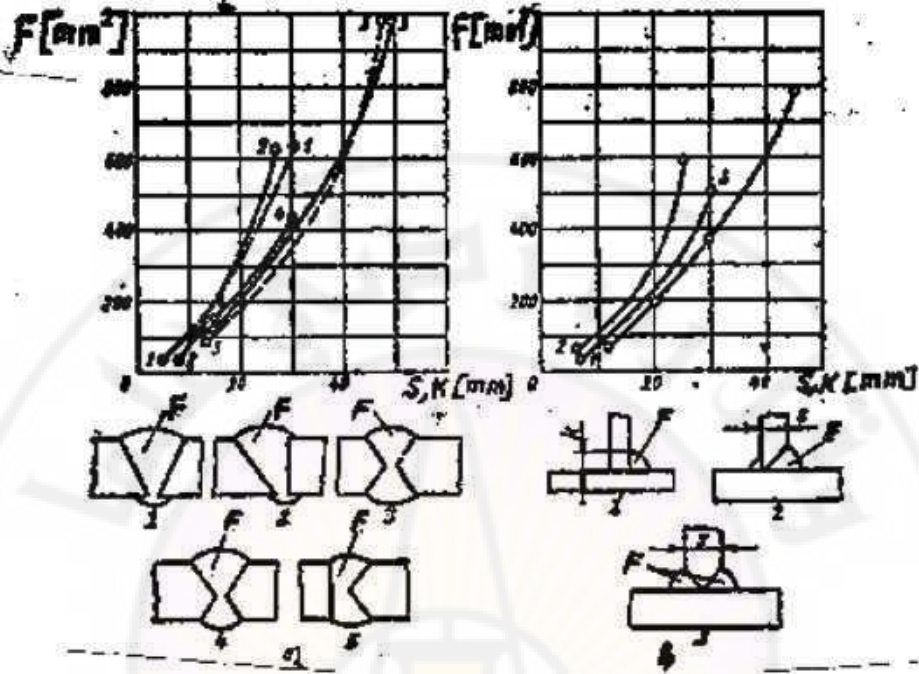
$$r = \sqrt{\frac{2q_n}{\pi \cdot e \cdot c \cdot \gamma \cdot T_{\max}}} \quad (16-6)$$

ففي حالة لحام الفولاذ الكربوني أو السبائكي قليل نسب الخلط، فإن قيم الثوابت في العلاقة (16-6) تكون متساوية تقريباً عند هذه الأنواع من الفولاذ، هذه باستبدال بهذه الثوابت قيمتها العددية يمكننا أن نجد المسافة (r) من نقطة تأثير القوس وحتى خطوط الأيزوترم التي درجة حرارتها 1500 °C:

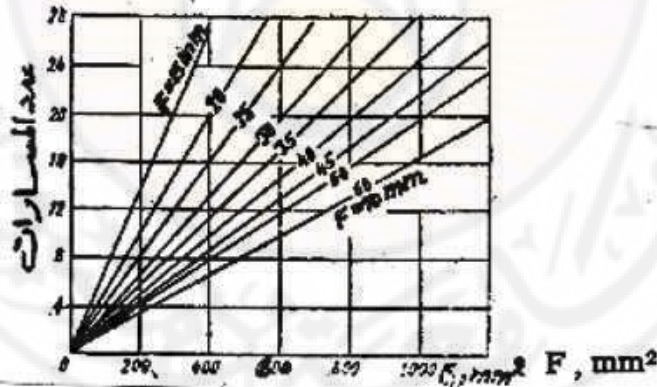
$$r = 0.0112 \sqrt{q_n} \quad (17-6)$$

بما أن الشروط الحقيقية لانتشار الحرارة في القطعة عند اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي تختلف عن المخطط الحسابي النظري الذي نتج منه استخراج العلاقة (15-6)، فإن عمق الصهر الحقيقي (H) يؤخذ عادةً مساوياً: r.(0.5÷0.7)

بهدف تسهيل الحسابات تستخدم المنحنيات البيانية (النوموغرامات) المستنتجة على أساس نظري أو عملي.



الشكل (3-6): منحنيات لإيجاد المقطع العرضي لمعدن الدروة المضاف.



الشكل (4-6): نوموغرام لإيجاد عدد المسارات.

فمثلاً لتعيين عدد المسارات يستخدم النوموغرام المبين في الشكل (4-6)، إذ تستخدم في البداية المنحنيات المبينة في الشكل (3-6) أو المعادلات (5-6 و 6-13) وذلك لإيجاد المساحة الكلية للمقطع العرضي لمعدن الدروة المضاف، وبعد ذلك وبمعرفة المقطع

العرضي لمعدن الدرزة المضاف بعد المسار الأول وبعد كل مسار وطبقاً للمعادلة (5-6) و (6-6) يمكن إيجاد عدد المسارات اللازمة للحام الوصلة.
مثال: أوجد نظام اللحام اللازم للحام قطعتين من الفولاذ منخفض نسبة الكربون إذا علمت أن سماكة كل منهما (S=8mm)، وأن اللحام يتم بدون شنفرة الحواف. ثم أوجد تغلغل الصهر.



1- نختار قطر الإلكترود اللازم لعملية اللحام في الجدول (1-6)، فنجد أن:
 $d = 4mm$. ويجب أن نلاحظ هنا أن عملية اللحام يجب أن تتم من الوجهين، كما في الشكل المبين جانباً، وذلك من أجل الحصول على صهر كامل لحافتي القطعتين (كامل المقطع).

2- نوجد مساحة المقطع العرضي لمعدن الدرزة المضاف من العلاقة (6-6) :

$$F_n = (8 \div 12)d \rightarrow F_n = 10.4 = 40 \text{ mm}^2 = 0.4 \text{ cm}^2$$

3- تحسب شدة التيار الكهربائي بإحدى العلاقات (2-6 و 4-6) وللسهولة نستخدم العلاقة (2-6) حيث تأخذ قيمة K من الجدول (3-6)

$$I = K \cdot d = (35 \div 50)d \rightarrow I \approx 42.5 \cdot 4 = 170 \text{ A}$$

4- نوجد سرعة اللحام في العلاقة (9-6) حيث نوجد أولاً معامل صهر معدن الإلكترود (α_m)، وذلك تبعاً لشدة التيار، وتوتر القوس. ويجب أن نعلم أن توتر القوس هنا وبناء على معطيات البند (1-6): يساوي (U=25V)، ومنه نجد أن:

$$\alpha_m = 9.2 \frac{g}{A \cdot h}$$

لهذا تكون سرعة اللحام:

$$V = \frac{\alpha_m \cdot I}{3600 \cdot \gamma \cdot F_n} = \frac{9.2 \cdot 170}{3600 \cdot 7.8 \cdot 0.4} = 0.14 \frac{cm}{sec} \approx 5 \frac{m}{h}$$

ملاحظة: تتراوح عادة سرعة اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي:

$$V = 5 \div 12 \frac{m}{h}$$

وذلك تبعاً لشروط اللحام ومهارات العامل الفني الذي يقوم بإجراء عملية اللحام.

5- إن قيمة الطاقة الطولية q_n يمكن إيجادها بالعلاقة (6-8):

$$q_n = \frac{0.24 \cdot I \cdot U \cdot \eta}{V} = \frac{0.24 \cdot 170 \cdot 25 \cdot 0.8}{0.14} \approx 5400 \text{ cal / cm}$$

أو بالعلاقة (6-11)

$$q_n = A \cdot F_n = 14500 \cdot 0.4 = 5800 \text{ cal / cm}$$

ويمكن في هذه الحالة أن نحسب القيمة الوسطى، وتساوي:

$$q_n = 5600 \text{ cal / cm}$$

6- نوجد عمق تغلغل الصهر على الشكل الآتي:

أ- نحسب المسافة r من نقطة تأثير القوس وحتى خطوط أيزوتيرم الصهر بالعلاقة (6-17):

$$r = 0.0112 \sqrt{q_n} = 0.0112 \sqrt{5600} = 0.84 \text{ cm} = 8.4 \text{ mm}$$

ب- نوجد عمق الصهر الحقيقي (H) من العلاقة:

$$H = (0.5 \div 0.7) r = 0.6 \cdot 8.4 = 5 \text{ mm}$$

ومنه نلاحظ أن تغلغل الصهر بهذا الشكل ومن كل وجه من الوجهين كافياً لصهر كامل المقطع.

6-2: حساب عناصر نظام اللحام المحكم آلياً لأنواع مختلفة من الوصلات:

إن العناصر الأساسية في نظام اللحام المحكم آلياً (سواء أكان نصف آلي أم آلياً كاملاً، وسواء أكانت عملية اللحام تتم بالقوس المغمور بالفلاكس أم في وسط من الغازات الواقية)، هي: شدة التيار الكهربائي، وكثافة التيار الكهربائي في سلك اللحام، وقطر سلك اللحام، وتوتر القوس، وسرعة اللحام، وسرعة سحب سلك اللحام، ونوع التيار وقطبيته، والطاقة الطولية..... الخ. ولهذه العناصر تأثير كبير في أبعاد الدرزة للحامية الناتجة وشكلها. ولهذا يجب عند تعيين عناصر نظام اللحام الأساسية الأخذ بالحسبان أن هذه العناصر سوف توفر الحصول على درزات لحامية معروفة الأبعاد والشكل مسبقاً، وذات نوعية جيدة.

ولنورد فيما يلي كيف يتم إيجاد عناصر نظام اللحام، وذلك عند لحام قطعتين تتأكبياً ومن الوجهين ودون شفرة الحواف. ففي هذه الحالة يكون تدرج حساب نظام اللحام كالآتي:

1- إيجاد عمق الصهر: إن عمق الصهر في هذه الحالة يحسب من العلاقة الآتية:

$$H_1 = S / 2 + (2 \div 3)mm \quad (18-6)$$

وهذا هو عمق الصهر من وجه واحد، ونلاحظ من المعادلة أنه يزيد على نصف سماكة القطعة بنحو $(2 \div 3)mm$ ذلك كي لا يوجد خلوص بين جذري الدرزتين اللحاميتين؛ مما يشكل عيباً كبيراً في الوصلة اللحامية الناتجة.

2- اختيار شدة التيار الكهربائي: يتم اختيار شدة التيار التي توفر عمق الصهر المحسوب بالعلاقة:

$$I = \frac{H_1}{K_h} \cdot 100 \quad (19-6)$$

حيث: K_h - عامل التناسب. وتتعلق قيمته بالشروط التي يتم وفقها إنتاج الوصلة اللحامية (نوع التيار وقطبيته، وقطر سلك اللحام، ونوع الوسط المحيط بالقوس الكهربائي). انظر الجدول (5-6) الآتي:

الجدول (5-6): علاقة عامل التناسب (K_h)

بشروط إنتاج الوصلة اللحامية بالقوس المحكم آلياً.

نوع الوسط المحيط بالقوس الكهربائي أثناء عملية اللحام	قطر سلك اللحام (mm)	$K_h(mm/100A)$		
		تيار متناوب	تيار مستمر	
			قطبية مباشرة	قطبية معكوسة
فلكس (مؤكسد شديد)	2	1.25 ÷ 1.30	1.15	1.40 ÷ 1.45
	3	1.10 ÷ 1.15	0.95	1.25 ÷ 1.30
	4	1.00 ÷ 1.05	0.85 ÷ 0.90	1.10 ÷ 1.15
	5	0.90 ÷ 0.95	0.75 ÷ 0.85	1.05 ÷ 1.10
	6			
غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2)	1,2	-	-	2,10
	1,6	-	-	1,75
	2,0	-	-	1,55
	3,0	-	-	1,45
	4,0	-	-	2,1
	5,0	-	-	1,20

3- اختيار قطر سلك اللحام: يتحدد قطر سلك اللحام بالعلاقة الآتية:

$$d = 1.13\sqrt{I/J} \quad (20-6)$$

حيث: J: كثافة التيار المسموح بها.

وتتعلق كثافة التيار بقطر سلك اللحام في حالة اللحام المحكم آلياً للوصلات التناكبية

غير المشنفرة، ويبين الجدول (6-6) الآتي هذه العلاقة:

الجدول: (6-6) علاقة كثافة التيار بقطر سلك اللحام في حالة اللحام المحكم آلياً:

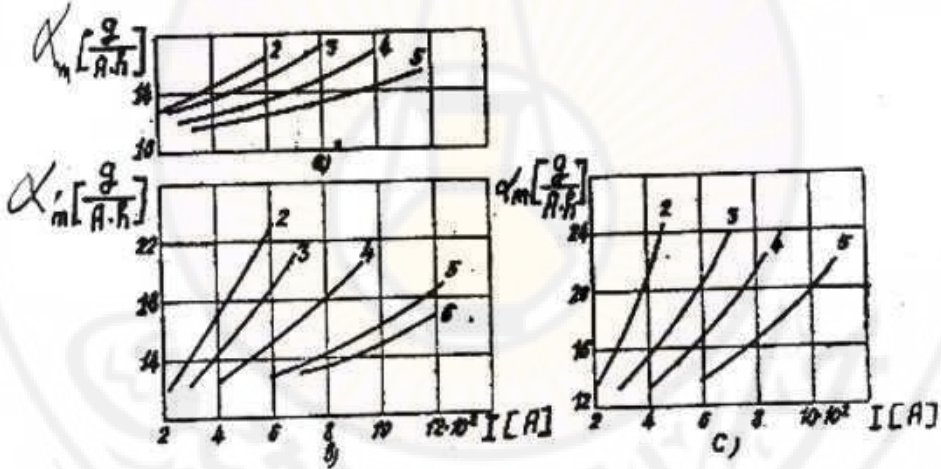
$j(A/mm)^2$ كثافة التيار	d(mm) قطر سلك اللحام
200÷5	2
90÷45	3
60÷35	4
50÷30	5
45÷25	6

ولهذا يتم في بداية الأمر تحديد قطر سلك اللحام بشكل تقريبي من حيث اختبار صحة الاختيار بالعلاقة (20-6).

4- توتر القوس الكهربائي: بعد معرفة شدة التيار، وقطر سلك اللحام يتم تعيين توتر القوس بالعلاقة الآتية:

$$U = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{d^{0.5}} \cdot I \pm 1 \quad (21-6)$$

5- سرعة اللحام: تتعين سرعة اللحام بالعلاقة نفسها التي استخدمت عند تعيين سرعة اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي العلاقة (6-6)، إلا أن معامل صهر معدن سلك اللحام (α_m) يختلف من حيث القيمة؛ إذ يتعين هذا العامل هنا من المخططات التجريبية الآتية، وذلك حسب شدة التيار ونوع سلك اللحام المستخدم وقطره (انظر الشكل 5-6).



الشكل (5-6): علاقة معامل صهر معدن سلك اللحام بنظام اللحام المستخدم (شدة التيار وقطر السلك). (a): تيار مستمر ذو قطبية معكوسة. (b): تيار متناوب. (c): تيار مستمر ذو قطبية مباشرة. (الأرقام 2÷6 تدل على أقطار سلك اللحام).

أما تعيين مساحة المقطع العرضي لمعدن الدرزة المضاف (F) والتي تدخل في مخرج العلاقة (6-9) فسوف نتحدث عنه فيما بعد.

ونود أن ننوه هنا إلى أنه يمكن استخدام علاقات تجريبية أخرى لتعيين سرعة اللحام المحكم آلياً. وإحدى العلاقات مبينة على أساس أنه للحفاظ على الشكل الهندسي لحصول اللحام، من الضروري أن يبقى معامل شكل الحوض ثابتاً، ويعطي معامل الشكل هذا بالعلاقة الآتية:

$$\varphi = \frac{L}{e} = \text{const} \quad (22-6)$$

حيث: L: طول حوض اللحام، e: عرض حوض اللحام. ولقد تبين من خلال تجارب كثيرة أجراها الباحثون في هذا المجال أنه للحفاظ على الشكل الهندسي لحوض اللحام، فإن جداء شدة التيار بسرعة اللحام يجب أن يكون ثابتاً وواقعاً ضمن حدود معينة، أي إن:

$$I.V=A \quad (23-6)$$

ولهذا وعند اختيار سرعة اللحام المحكم آلياً، يمكن استخدام العلاقة آنفة الذكر (23-6). أما قيم الثابت (A) الواردة في هذه العلاقة، فلقد استنتجت تجريبياً كما أسلفنا. وفي تلك الحالات التي تم فيها الحصول على درزات لحامية وفق الشكل المطلوب والمتمتعة بمتانة عالية إذا ما قورنت بمعدن الأساس، ويبين الجدول الآتي قيم A المستنتجة:

الجدول (7-6): علاقة قيم الثابت (A) بقطر سلك اللحام المستخدم في اللحام المحكم آلياً.

الثابت A(A.m/h)	d(mm) قطر سلك اللحام
$(2 \div 5) \cdot 10^3$	1,2
$(5 \div 8) \cdot 10^3$	1,6
$(8 \div 12) \cdot 10^3$	2,0
$(12 \div 16) \cdot 10^3$	3,0
$(16 \div 20) \cdot 10^3$	4,0
$(20 \div 25) \cdot 10^3$	5,0
$(25 \div 30) \cdot 10^3$	6,0

6- الطاقة الطولية: نعين الطاقة الطولية بالعلاقة نفسها (6-8) التي استخدمت سابقاً في حالة اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي.

7- سرعة سحب سلك اللحام: يتم تعيين سرعة سحب سلك اللحام بالمعادلة التجريبية الآتية:

$$V_{electrode} = \frac{4 \alpha_m \cdot I}{\pi d^2 \cdot \gamma} \quad (24-6)$$

وكما نلاحظ فإن سرعة سحب سلك اللحام (كما في سرعة اللحام) تتعلق بمعامل صهر معدن السلك (الإلكترود) وبشدة التيار وبقطر السلك وبالوزن النوعي للمعدن المصنوع منه هذا السلك.

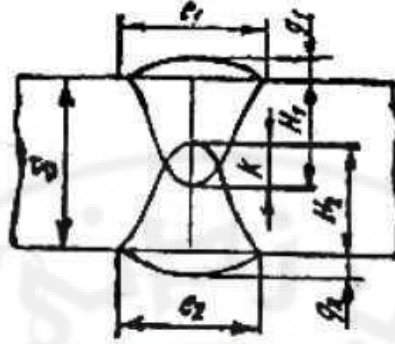
• حساب أبعاد الدرزة اللحامية في حالة اللحام المحكم آلياً:

لقد ذكرنا آنفاً أنه عند تعيين نظام اللحام يجب التركيز على اختيار العناصر الأساسية التي توفر الحصول على درزات لحامية معروفة الشكل والأبعاد، وتتمتع بخواص ميكانيكية لا تقل بقيمتها عن الخواص الميكانيكية لمعدن الأساس. وسنورد فيما يأتي مثالين في كيفية حساب أبعاد الدرزات اللحامية في حال اللحام التناكبي واللحام الزاوي. فإذا فرضنا أن اللحام التناكبي يتم من الوجهين ومن دون شنفرة الحواف، فإن أبعاد الدرزة تحسب كما يأتي:

1- عمق الصهر: إن الشرط الأساسي للحصول على عملية صهر كامل مقطوع الوصلة ومن الوجهين يحدد من العلاقة الآتية:

$$H_1 + H_2 = S + K \quad (25-6)$$

حيث: H_1 و H_2 : عمق الصهر من الوجهين الأول والثاني للوصلة.
S: سماكة الوصلة.



الشكل (6-6): أبعاد الدرزة اللحامية.

لقد ثبت تجريبياً أن هذا الشرط غير كاف للحصول على درزات لحامية ذات نوعية جيدة ومتمتعة بمتانة عالية. إذ تبين أنه من الضروري إيجاد قيم معينة أخرى وأبعاد أخرى أيضاً قبل إعطاء التصور النهائي لأبعاد الدرزة اللحامية التي سوف نحصل عليها من استخدام نظام معين للحام المحكم آلياً. فمن هذه القيم مثلاً: معامل شكل الصهر ψ_f ومعامل شكل التقويم ψ_a . ومن الأبعاد: عرض الدرزة (e) وارتفاع ندبتها (g). ونورد فيما يلي علاقة أبعاد الدرزة اللحامية ببعضها من خلال هذين العاملين:

$$\psi_f = \frac{e}{H} \quad (26-6)$$

ونسبة عرض الدرزة اللحامية إلى ارتفاع ندبتها تسمى معامل شكل التقويم:

$$\psi_a = \frac{e}{g} \quad (27-6)$$

ولقد ثبت تجريبياً أن قيم ψ_f يجب أن تراوح بين (1.5 ÷ 5).

فإذا كانت قيم ψ_f أقل من ذلك، فإننا نحصل على درزات لحامية ذات ميل كبير لحدوث تشققات ساخنة فيها، وإذا كانت قيم ψ_f أكبر من ذلك حصلنا على درزات عريضة جداً وعمق الصهر فيها قليل؛ مما يؤدي إلى زيادة التشوهات الناتجة من اللحام، فضلاً عن أن الحصول على درزات بهذه الصفات يكون غير اقتصادي. أما قيم ψ_a فيجب أن

تتراوح بين (7÷10)، فإذا كانت أقل من ذلك حصلنا على درزات ضيقة وعالية البروز، وهذه الدرزات، كما هو معروف لا تملك القدرة الكافية على تحمل الاجهادات المتغيرة، وذلك بسبب تركز هذه الإجهادات الكبيرة في نقط اتصال الدرزة مع معدن الأساس وسببه التغير المفاجئ في المقطع. وإذا كانت قيم ψ_n أكبر من ذلك، فهذا يعني أن الدرزات اللحامية الناتجة عريضة وارتفاع ندبتها قليل، وهذه الدرزات غير مرغوب فيها للأسباب نفسها أنفة الذكر، لهذا وللحصول على درزات لحامية ذات شكل أمثل، فإنه من الضروري إيجاد العلاقة بين عناصر نظام اللحام والأبعاد الرئيسة للدرزة اللحامية، ونبدأ هذه العلاقة بإيجاد عمق الصهر: يتعين شكل الدرزة اللحامية وأبعادها بكمية الحرارة التي تعطى للوصلة في أثناء عملية اللحام وبكيفية إعطاء هذه الكمية من الحرارة، فمثلاً عند استخدام قوس كهربائي بصفة مصدر حراري نقطي عالي السرعة، فإن مربع المسافة حتى خطوط إيزوثيرم الصهر يعين بالعلاقة:

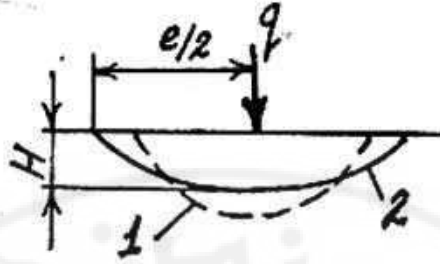
$$r^2 = \frac{2q_n}{\pi \cdot e \cdot c \cdot \gamma} \quad (28-6)$$

فإذا افترضنا أن المساحة المحددة بخطوط ايزوثيرم الصهر هي نصف دائرة، فإن:

$$F = \frac{\pi \cdot r^2}{2} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{2q_n}{\pi \cdot e \cdot c \cdot \gamma \cdot T} = \frac{1}{e \cdot c \cdot \gamma \cdot T} \cdot q_n \quad (29-6)$$

ولكن الشكل الحقيقي للصهر، وكما افترضه العالم الروسي دياتلوف هو نصف قطع ناقص مساحته تساوي مساحة نصف الدائرة المعينة بالعلاقة (29-6). وبما أن مساحة نصف القطع الناقص الذي نصف محوره الكبير يساوي (L/2) ونصف محوره الصغير يساوي (H) يمكن أن تعين بالعلاقة:

$$F = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{e}{2} \cdot H = \frac{\pi \cdot \psi_f \cdot H^2}{4} \quad (30-6)$$



الشكل (6-7): الشكل المتوقع لحوض اللحام عند اللحام بالقوس الكهربائي.
1- نصف الدائرة 2- نصف قطع ناقص.

وبمطابقة الأجزاء اليمنى من المعادلتين (6-29) و (6-30) وحل المعادلة بالنسبة لـ H نجد أن:

$$H = 2 \sqrt{\frac{q_n}{\pi \cdot e \cdot c \cdot \gamma \cdot T \cdot \psi_f}} = A \sqrt{\frac{q_n}{\psi_f}} \quad (6-31)$$

وهذه هي العلاقة المستخدمة في تعيين عمق الصهر في حالة اللحام بالقوس المحكم آلياً. أما الثابت A ففي حالة لحام الفولاذ بالقوس المغمور بالفلاكس وباستخدام سلك لحام من الفولاذ أيضاً فإن قيمة الثابت تساوي 0,0156 ولا تتغير قيمة هذا الثابت عند لحام الفولاذ في وسط من غاز ثاني أكسيد الكربون. ولكن يجب أن نعلم أنه لتعيين عمق الصهر، فإنه يجب معرفة الطاقة الطولية (q_n) ومعامل شكل الصهر ψ_f . قد بحثنا آنفاً في كيفية إيجاد (q_n)، أما ψ_f فيمكن إيجاد قيمته بإحدى الطريقتين الآتيتين:

1- بيانياً: ويتم ذلك باستخدام المخططات التجريبية التي تم الحصول عليها في هذا المجال. ويبين الشكل (6-8) أحد هذه المخططات، وذلك عند اللحام الآلي بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة.

2- حسابياً: ويتم ذلك باستخدام العلاقة التجريبية المناسبة، إذ أدت معالجة النتائج التجريبية التي حصل عليها الباحثون في سنوات كثيرة إلى الحصول على علاقة رياضية بين معامل شكل الصهر والعناصر الأساسية لنظام اللحام:

$$\psi_f = K' (19 - 0.01.I) \frac{d.u}{I} \quad (32-6)$$

حيث K' : معامل، تتعلق قيمته بنوع التيار وقطبيته. D : قطر سلك اللحام، I : شدة التيار، U : توتر القوس.
فعندما تكون كثافة التيار:

$$j \leq 120 \text{ [A / mm}^2\text{]}$$

ويتم اللحام بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة، فإن قيمة K' تعطي بالعلاقة:

$$K' = 0.367 \cdot j^{0.1925} \quad (33-6)$$

وإذا تم اللحام بتيار مستمر ذي قطبية مباشرة، فإن K' تحدد بالعلاقة:

$$K' = 2.82 / j^{0.1925} \quad (34-6)$$

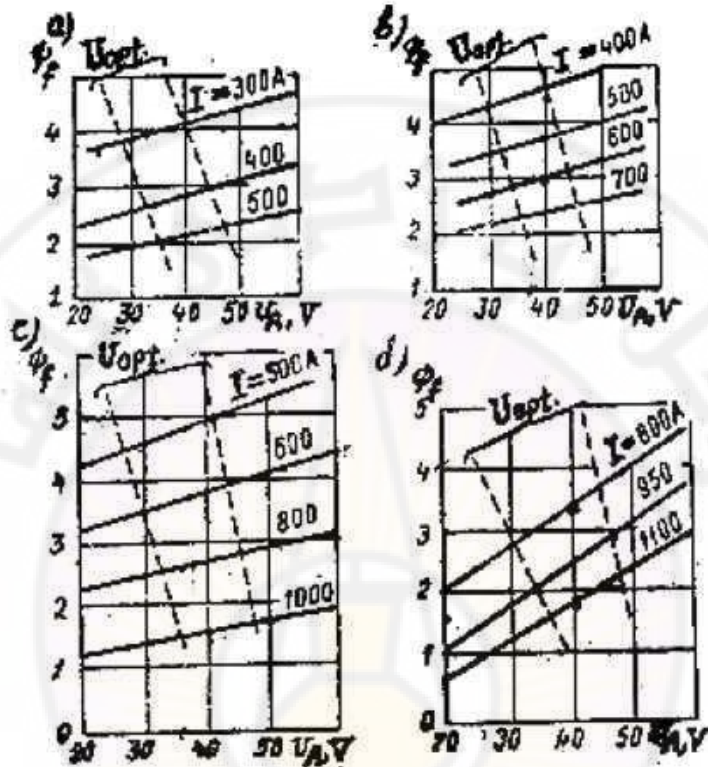
أما عندما تكون كثافة التيار:

$$j \geq 120 \text{ [A / mm}^2\text{]}$$

فإن قيمة المعامل K' تبقى ثابتة، وتساوي (0.92) للتيار المستمر ذي القطبية المعكوسة، وتساوي (1.12) للتيار المستمر ذي القطبية المباشرة. أما عند اللحام بتيار متناوب، فإن قيمة K' ثابتة، وتساوي 1 مهما تغيرت قيم كثافة التيار.

3- حساب عرض الدرزة اللحامية: بمعرفة عمق الصهر (H) ومعامل شكل الصهر ψ_f يمكننا من العلاقة (26-6) أن نعين عرض الدرزة اللحامية.

$$e = \psi_f \cdot H \quad (35-6)$$



الشكل (6-8): العلاقة بين قيم U_f وشدة التيار الكهربائي وتوتر القوس.

A: عندما يكون قطر الإلكترود ($d=2mm$).

B: عندما يكون قطر الإلكترود ($d=4mm$).

C: عندما يكون قطر الإلكترود ($d=5mm$).

D: عندما يكون قطر الإلكترود ($d=6mm$).

U_{opt} : قيم توتر القوس المثلى.

4- حساب ارتفاع بروز الدرزة اللحامية: يتم حساب ارتفاع ندبة اللحام بإحدى علاقيتين

إما بالعلاقة (6-27)، ومنه نجد أن:

$$g = \frac{e}{\psi_a} \quad (36-6)$$

- أو بالعلاقة (9-6) عندما تكون معلومة لدينا سرعة اللحام (V). فمن هذه العلاقة نستطيع إيجاد مساحة المقطع العرضي لمعدن الدرزة المضاف (F). ربما أن مساحة هذا المقطع يمكن أن تكتب بالعلاقة:

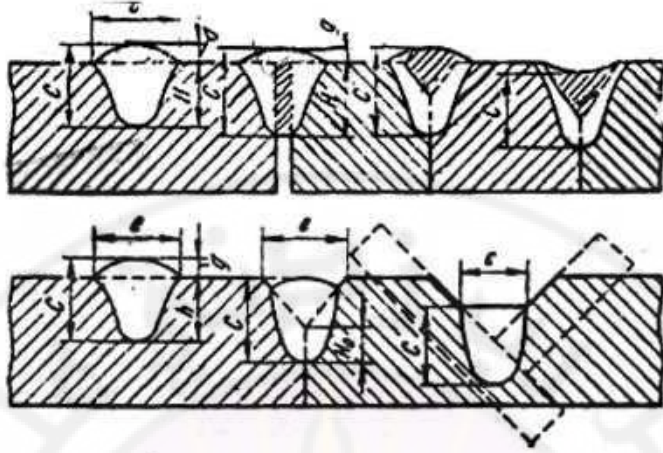
$$F = \mu . g . e \quad (37-6)$$

حيث: μ : معامل ملء ندبة اللحام (أي نسبة مساحة المقطع العرضي لندبة اللحام إلى مساحة مستطيل قاعدته e وارتفاع بروزه g). قد تثبت تجريبياً أنه عند اللحام المحكم ألياً فإن معامل ملء الندبة μ يتغير في حدود ضيقة، وتعد قيمته ثابتة وتساوي 0.75، ومنه نستطيع إيجاد قيمة g:

$$g = F / 0.75 . e \quad (38-6)$$

ونود هنا أن ننوه إلى أن حساب ارتفاع بروز الدرزة للحامية في الوقت الحاضر يتم بطريقة أخرى مغايرة تماماً لما ذكر آنفاً، فقد تبين تجريبياً أن الارتفاع الكلي للدرزة للحامية (أي عمق الصهر + البروز) يبقى في حال الوصلات التناكبية والزاوية ثابتاً إذا استخدم نظام اللحام نفسه سواء أكانت الحواف مشنفرة أو دون شنفرة، وسواء توفر خلوص بينها أم لم يتوفر. والاختلاف في نوعية الوصلة المعدة للحام يؤثر على نحو رئيس في نسبة مشاركة معدن الأساس والمعدن المضاف في عملية الصهر (أي يختلف عمق الصهر وارتفاع الندبة كل على حدة)، أما الارتفاع الكلي، فيبقى ثابتاً - انظر الشكل (9-6). ولهذا يمكننا لنظام اللحام نفسه المستخدم أن نكتب:

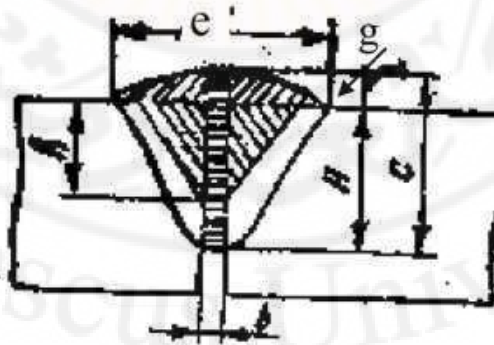
$$C = H + g = H' + g' = \text{const.} \quad (39-6)$$



الشكل (6-9): الارتفاع الكلي c للدرزة للحامية يكون ثابتاً ولوصلات مختلفة إذا لم يتغير نظام لحام هذه الوصلات.

ولهذا يجب في بداية الأمر إيجاد الارتفاع الكلي للدرزة للحامية تجريبياً، وذلك بوضع ندبة لحامية على سطح قطعة معدن خصيصاً لهذا الغرض مصنوعة من معدن الوصلة نفسه ثم قياس الارتفاع الكلي للدرزة الناتجة. بعد ذلك يتم إيجاد عمق الصهر في الوصلة المعدة للحام حسابياً بالمعادلة (6-31) وبالمقارنة نجد أن:

$$g' = c - H' \quad (40-6)$$



الشكل (6-10): وصلة تتاكية ذات حواف مشنفرة.

ومن الشكل (6-10) نلاحظ أنه حتى في حال لحام وصلات ذات حواف مشنفرة ووجود خلوص بينها، فإن g توجد بالعلاقة:

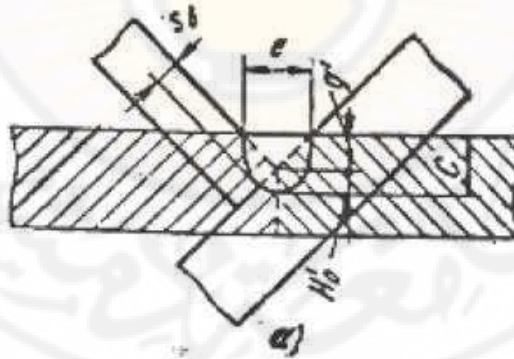
$$g' = \frac{F - h^2 \operatorname{tg} \alpha / 2 - cb}{0.75.e - b} \quad (41-6)$$

1- أما حساب أبعاد الدرزة اللحامية في حالة اللحام الزاوي فيتم كالآتي:

1- العلاقة بين عرض الدرزة (e) والارتفاع الكلي لها (c):

إن تدرج حساب أنظمة لحام الوصلات الزاوية التي ينم لحامها في وضع أرضي لا يختلف كثيراً عن تدرج حساب أنظمة لحام الوصلات التناكبية التي تكون زاوية الشنفرة فيها قائمة $\alpha = 90^\circ$.

ولكن يجب اختيار نظام لحام الوصلات الزاوية انطلاقاً من الميزات الخاصة لتشكل الدرزة اللحامية في هذه الحالة، فمثلاً: حتى لو حصلنا على درزات لحامية مستوية أو مقعرة، فإنه يجب أن يكون عرض الدرزة اللحامية الناتجة مساوياً المسافة الأفقية بين القطعتين الملحومتين (انظر الشكل (6-11)).



الشكل (6-11): وصلة لحامية زاوية.

ولهذا فإن معامل شكل الدرزة اللحامية في حالة اللحام الزاوي يساوي نسبة عرض الدرزة اللحامية إلى ارتفاع الكلي $\psi = e / c$ والذي يجب ألا تزيد قيمته على 2، فإذا قلت قيمة ψ عن هذا الحد، فإن الدرزة اللحامية الناتجة تكون ضيقة وعميقة، وهذا يؤدي في

أغلب الأحيان إلى تشكل كسور ساخنة في هذه الدرزات بسبب عدم توفر الشروط المناسبة للتبلور.

لقد ثبت تجريباً أن الدرزة اللحامية للوصلات الزاوية تكون ذات شكل ونوعية مقبولين وذلك عندما لا تزيد كثافة التيار في سلك اللحام على الحدود المبينة في الجدول أدناه:

الجدول (8-6): علاقة كثافة التيار المستخدم في اللحام الزاوي بقطر سلك اللحام.

المسموح	$j(A/mm^2)$ كثافة التيار بها	d(mm) قطر سلك اللحام
	150÷60	2
	85÷45	3
	55÷35	4
	50÷30	5

2- حساب المقطع العرضي لمعدن الدرزة اللحامية المضاف:

يتم حساب المقطع العرضي F بناء على المعرفة المسبقة لطول ضلع الدرزة الزاوية K (انظر الشكل (6-1)). وتتحدد قيمة K مسبقاً بناء على اعتبارات تصميمية وتكنولوجية، إذ يتطلب مثلاً أن تتوفر في الدرزة الزاوية شروط المتانة اللازمة، هذا الأمر لا يتحقق إلا باختيار ضلع مناسب للدرزة الزاوية المراد لحامها. وبمعرفة K تتحدد مساحة المقطع بالعلاقة:

$$F = \frac{K^2}{2} \quad (42-6)$$

3- إيجاد ارتفاع بروز الدرزة اللحامية:

من الشكل (6-11) نلاحظ أن مساحة المقطع العرضي لمعدن الدرزة المضاف هي مساحة مثلث قائم الزاوية ارتفاعه g' تحسب بالعلاقة:

$$g' = \sqrt{F} \quad (43-6)$$

4- حساب عمق الصهر:

بما أن الارتفاع الكلي c يمكن إيجاد تجريبياً أو حسابياً، فإن عمق الصهر Ho' يكون بالعلاقة:

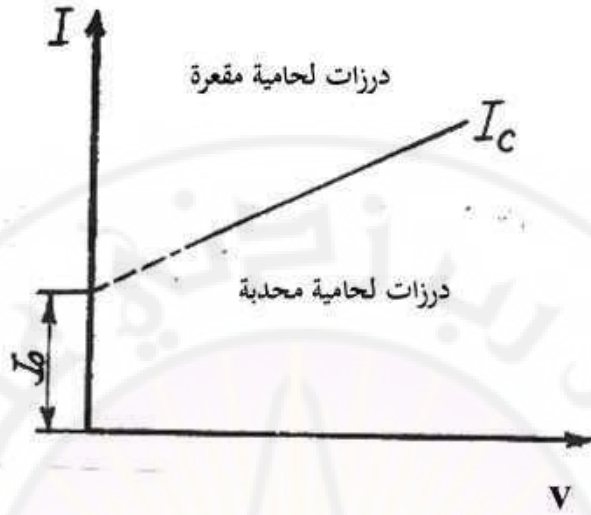
$$Ho' = C - g^1 \quad (44-6)$$

أما عمق الصهر في جدار الوصلة الزاوية Sb (انظر الشكل 6-11)، فيكون إيجادها بالعلاقة التجريبية الآتية:

$$S_b = (0.8 \div 1.0) \cdot H'o \quad (45-6)$$

ولابد في نهاية هذا البند من التنويه إلى نقطة أساسية ومهمته بالنسبة للدرزة للحامية الزاوية. فمن العلاقة (6-42) يتضح أن عملية الحساب تجري عادة وكأن الدرزة للحامية ذات سطح مستوٍ. إذ بعد أن يتم اختيار قطر الإلكتروود، وانطلاقاً من التيار المسموح به يتم تعيين شدة التيار، ومن ثم سرعة اللحام التي تؤمن الحصول على مساحة مقطع معدن الدرزة المضاف وفق العلاقة (6-9). من هنا نستطيع القول: إن الحصول على درزات لحامية مقعرة أو محدبة يعتمد على نسبة شدة التيار إلى سرعة اللحام، فإذا كانت شدة التيار عالية والسرعة قليلة، فإن الدرزة الناتجة محدبة، وإذا كان عكس ذلك فالدرزات مقعرة. ولهذا يبين الشكل (6-12) قيم شدة التيار الحدية (وهي مستقيم يفصل حقل أنظمة اللحام التي تؤدي للحصول على درزات لحامية مقعرة عن ذلك الذي يعطي درزات محدبة). وتكتب معادلة المستقيم على الشكل الآتي:

$$I_c = I_0 + m \cdot v \quad (46-6)$$



الشكل (12-6): علاقة شدة التيار الحدية (I_c)
بسرعة اللحام (V) عند اللحام الزاوي.

حيث: I_c : شدة التيار الحدية (أي شدة التيار التي تؤدي للحصول على درزات لحامية ذات سطح مستوي إذا استخدمت سرعة اللحام المناسبة).
 I_0 : شدة التيار الحدية المشروطة (أي شدة التيار عندما تكون سرعة اللحام مساوية للصفر). وتساوي I_0 عند اللحام المحكم آلياً نحو (350 A).
 m - ثابت يحدد ميل المستقيم على الأفق وتؤخذ قيمتها من الجدول (9-6) الآتي:

الجدول (9-6): علاقة الثابت (m) بقطر سلك اللحام (d).

d(mm) قطر سلك اللحام	2	3	4	5
M(A.h/m) الثابت	2	4.5	7	10

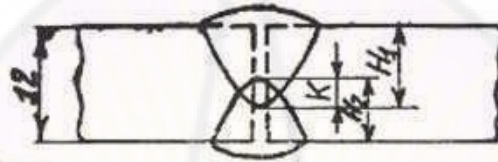
مثال 2: يراد لحام قطعتين من الفولاذ الكربوني سماكة كل منهما ($s=12\text{mm}$) تناكيباً من دون شنفرة الحواف شريطة أن يتم اللحام من الوجه الأول بالقوس الكهربائي آلياً باستخدام سلك لحام قطره ($d_1=5\text{ mm}$) والتيار مستمر ذو قطبية معكوسة، ومن الوجه

المقابل بالقوس اليدوي بالكترود قطره ($d_2 = 4 \text{ mm}$). المطلوب: أوجد عناصر نظامي اللحام اللذين يحققان عمق الصهر المطلوب في كلتا الحالتين بغية الحصول على وصلة لحامية خالية من العيوب.

الحل: آ- يمكن إيجاد عناصر نظام اللحام اللازم لتنفيذ الدرزة اللحامية على الوجه الأول للوصلة وفق الترتيب الآتي:

1- نوجد عمق الصهر الواجب الحصول عليه من الوجه الأول بالعلاقة (9,18):

$$H_1 = \frac{S}{2} + (2 \div 3) \text{ mm} = \frac{12}{2} + 2.5 = 8.5 \text{ mm}$$



2- يتم حساب شدة التيار الكهربائي بالمعادلة (19-6):

$$I_1 = \frac{H}{K_h} \cdot 100 = \frac{8.5}{(1.05/1.10)} \cdot 100 = \frac{8.5}{1.075} \cdot 100 = 744.18 \text{ A}$$

حيث أخذت قيم k_h من الجدول (5-6).

ولتسهيل الحساب نأخذ شدة التيار مساوية ($I_1 = 750 \text{ A}$).

3- نتأكد من صحة اختيارنا لقطر سلك اللحام، وذلك باستخدام العلاقة (20-6):

حيث أخذت قيم j من الجدول (9-6).

$$d_1 = 1.13 \sqrt{I/j} = 1.13 \sqrt{\frac{750}{(30 \div 50)}} = 1.13 \sqrt{\frac{750}{40}} = 4.88 \text{ mm} \approx 5 \text{ mm}$$

4- نوجد قيمة توتر القوس الكهربائي بالعلاقة (21-6):

$$U_1 = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d^{0.5}} I \mp 1 = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{5^{0.5}} \cdot 750 \mp 1 = 37 \mp 1$$

5- يمكن إيجاد سرعة اللحام بالعلاقة (23-6):

$$V_1 = \frac{A}{I_1} = \frac{(20 \div 25) \cdot 10^3}{750} = \frac{22.5 \cdot 10^3}{750} = 30 \frac{m}{h} = 0.83 \text{ cm/sec}$$

حيث أخذت قيم A من الجدول (7-6).

6- نوجد الطاقة الطولية بالعلاقة (8-6):

$$q_{m1} = \frac{0.24 \cdot I_1 \cdot U_1 \cdot \eta_1}{V_1} = \frac{0.24 \cdot 750 \cdot 37 \cdot 0.9}{0.83} = 7551 \text{ [cal/cm]}$$

حيث أخذ المورد في حالة اللحام بالقوس المحكم آلياً:

$$\eta_1 = (0.85 \div 0.95)$$

7- يتم حساب معامل شكل الصهر بالعلاقة (32-6):

$$\psi_f = K'(19 - 0.01I) \frac{d.u}{I}$$

حيث:

$$K' = 0.367 \cdot j^{0.1925} = 0.367 \cdot 40^{0.1925} = 0.74$$

ومنه:

$$\psi_f = 0.74(19 - 0.01 \cdot 750) \frac{5.37}{750} = 2.1$$

8- نوجد سرعة سحب سلك اللحام بالعلاقة (24-6):

$$V_{elect} = \frac{4 \cdot \alpha_m \cdot I}{\pi d^2 \cdot y} = \frac{4 \cdot 13.750}{\pi \cdot 5^2 \cdot 7.65} = 64.91 \text{ m/h}$$

حيث أخذت قيم α_m من الشكل (5a-6).

9- نتأكد من أن قيم عناصر اللحام هذه تحقق عمق الصهر المسحوب في الفقرة (1) وذلك باستخدام العلاقة (31-6):

$$H_1 = 0.0156 \sqrt{q_{m1} / \psi_f} = 0.0156 \sqrt{\frac{7221}{2.1}} = 0.91 \text{ cm} = 9.1 \text{ mm}$$

أي إن عناصر النظام اللحام المستخدمة تحقق عمق الصهر المطلوب من الوجه الأول للوصلة.

ب- لإيجاد عناصر نظام اللحام اليدوي اللازمة لتنفيذ الدرزة للحامية من الوجه المقابل، فإننا نجري الحساب وفق الترتيب الآتي:

1- يتم حساب شدة التيار الكهربائي بالعلاقة:

$$I_2 = K' d_2 = (35/50).4 = 42.5.4 = 170A$$

2- يمكن إيجاد توتر القوس بالطريقة المتبعة نفسها في المثال السابق، حيث نجد أن:

$$U_2 = 25V$$

3- يتم حساب المقطع العرضي لمعدن الدرزة المضاف بالعلاقة (6-6):

$$F_2 = (8 \div 12).d_2 = 10.4 = 40 \text{ mm}^2 = 0.4 \text{ cm}^2$$

4- لحساب سرعة اللحام نستخدم العلاقة المعروفة (6-9):

$$V_2 = \frac{\alpha_m \cdot I_2}{3600 \cdot \gamma \cdot F} = \frac{9.5 \cdot 170}{3600 \cdot 7.65 \cdot 0.4} = 0.143 \text{ cm/sec}$$

5- نستخدم العلاقة (6-8) لإيجاد الطاقة الطولية:

$$q_{n2} = \frac{0.24 \cdot I_2 \cdot U_2 \cdot \eta_2}{V_2} = \frac{0.24 \cdot 170 \cdot 25 \cdot 0.8}{0.143} = 5706 \text{ [cal/cm]}$$

6- نوجد عمق الصهر النظري بالعلاقة:

$$r_2 = 0.0112 \sqrt{q_n} = 0.0112 \sqrt{5706} = 0.85 \text{ cm} = 8.5 \text{ mm}$$

7- يتم حساب عمق الصهر الفعلي بالعلاقة:

$$H_2 = (0.5/0.7) r_2 = 0.6.8.5 = 5.1 \text{ mm}$$

وهكذا نلاحظ وطبقاً للعلاقة (6-25) أن عمق الصهر من الوجهين الأول والثاني يحقق

المطلوب، حيث:

$$H_1 + H_2 = S + K$$

$$9.1 + 5.1 = 12 + K$$

ومنه:

$$K = 14.2 - 12 = 2.2 \text{ mm}$$

إذا نحن نعلم مقدار التغطية k يتراوح (K = 2 ÷ 3 mm).

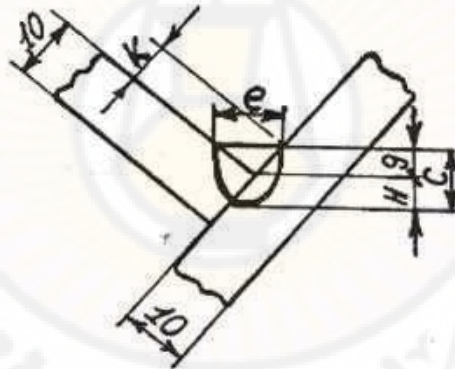
أمثلة غير محلولة:

مثال (1): يلزمنا الحصول على وصلة فولاذية متعامدة من قطعتين سماكة كل منهما (S=10mm)، كما هو مبين في الشكل شريطة أن تتم عملية اللحام بالقوس الآلي المغمور بالفلكس وباستخدام تيار مستمر ذي قطبية معكوسة وحيث تتم عملية اللحام في الوضع الأرضي من الجانبين وباستخدام قيم عناصر نظام اللحام المسحوبة نفسها، فإذا علمت أن:

1- طول ضلع الدرزة الزاوية (K=5 mm).

2- معامل شكل الدرزة اللحامية الزاوية $\psi_f = \frac{e}{c} = 1$

3- قطر سلك اللحام المستخدم (d=5 mm).



والمطلوب:

أ- احسب عمق الصهر H اللازم تحقيقه هندسياً.

ب- أوجد قيم عناصر نظام اللحام المستخدم.

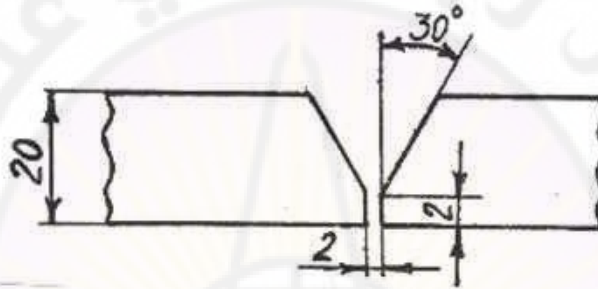
ج- تأكد من أن عناصر نظام اللحام المسحوبة تحقق عمق الصهر H، وذلك

بالعلاقة الآتية:

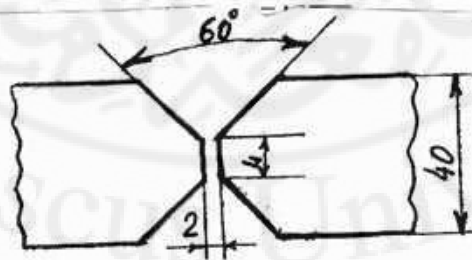
$$H = 0.0156 \sqrt{q_n / \psi_F}$$

مثال (2): نود لحام قطعتين من الفولاذ الكربوني سماكة كل منهما ($S = 20 \text{ mm}$) بعد شنفرة الحواف، كما هو مبين في الشكل شريطة أن يتم لحام المسار الأول بالقوس اليدوي وباستخدام إلكترود قطره ($d_1 = 4 \text{ mm}$) ولحام بقية المسارات بالقوس الآلي بسلك لحام قطره ($d_1 = 5 \text{ mm}$). والمطلوب:

أوجد عناصر اللحام في كلتا الحالتين (اليدي والآلي)، ثم احسب عدد المسارات اللازم تنفيذها للحصول على وصلة لحامية جيدة وخالية من العيوب.



مثال (3): احسب عناصر نظام اللحام في كلتا الحالتين اليدوي والآلي، وأوجد عدد المسارات اللازمة، وذلك عند لحام قطعتين من الفولاذ الكربوني سماكة كل منهما ($S = 40 \text{ mm}$)، وتمت شنفرة الحواف، كما هو مبين في الشكل، على أن يتم لحام المسار الأول يدوياً بإلكترود قطره ($d_1 = 4 \text{ mm}$) ولحام المسارات الأخرى جميعها آلياً بإلكترود قطره ($d_2 = 5 \text{ mm}$) تحت طبقة من الفلاكس.



المعطيات:

$$K^I = (35/50) \frac{A}{\text{mm}}$$

أ- في حالة اللحام اليدوي:

$$\alpha_{m1} = 10 \frac{g}{A.h} \quad \eta_1 = 0.85$$

ب- في حالة اللحام الآلي:

$$j = (30/50) \frac{A}{mm^2}$$

$$A = (20/25) 10^3 \frac{A.m}{h} \quad \eta_2 = 0.9$$

$$\alpha_{m2} = 13 \frac{g}{A.h} \quad \delta = 7.8 \frac{g}{cm^3}$$

ارتفاع بروز الدرزة اللحامية (g = 3 mm).

• التقييم الحسابي للخواص الميكانيكية المتوقعة للدرزة اللحامية:

إن متانة الوصلة اللحامية وقدرتها على تحمل الإجهادات المختلفة يعتمدان بشكل رئيس على شكل هذه الوصلة وعلى النسبة بين الخواص الميكانيكية لكل من الدرزات اللحامية والمنطقة المجاورة لها (منطقة التأثير الحراري) ومعدن الأساس. لإجراء عملية التقييم الحسابي للخواص الميكانيكية المتوقعة للدرزة اللحامية من الضروري الأخذ في الحسبان تأثير العوامل التكنولوجية الآتية:

1- نسبة مشاركة معدن الأساس في تشكل الدرزة اللحامية والتركيب الكيميائي له: يمكن للعناصر التي تدخل في تركيب معدن الأساس المشارك في تشكل الدرزة اللحامية أن يكون تأثيراً كبيراً؛ خاصة إذا كان معدن الأساس يحوي أصلاً بعض المعادن التي تؤثر في الخواص الميكانيكية للدرزة.

2- نوعية المواد المستخدمة للحام وتركيبها الكيميائي:

إن دور التركيب الكيميائي لمواد اللحام (إلكترودات، مساعدات صهر، غازات واقية وغيرها) واضح- أي باختيار مناسب لمواد اللحام يمكن التحكم بالتركيب الكيميائي والخواص الميكانيكية لمعدن الدرزة اللحامية.

3- طريقة اللحام المستخدم ونظامه:

تحدد طريقة اللحام عادة بنوع الوسط الواقي لمنطقة اللحام في أثناء إجراء عملية اللحام، ومدى فاعلية هذا الوسط الكيميائية. أما نظام اللحام، فيحدد نسبة مشاركة معدن الأساس والمعدن المضاف (إلكترودات، مساعدات صهر).

4- نوع الوصلة وعدد المسارات المجراة للحصول على الدرزة اللحامية:

يؤثر نوع الوصلة وعدد مسارات اللحام في التركيب الكيميائي للدرزة اللحامية، ويعود هذا إلى أنهما (أي نوع الوصلة وعدد المسارات) يحددان أيضاً نسبة مشاركة مواد اللحام في تشكيل الدرزة اللحامية، فضلاً عن أنهما يحددان مزايا التفاعلات والتحويلات الكيميائية - التعدينية التي تجري في منطقة الصهر والمنطقة المجاورة لها.

5- أبعاد الوصلة اللحامية:

إن لأبعاد الوصلة تأثيراً في مزايا الحقل الحراري والدورة الحرارية اللتين تعدّان الأساس في تشكيل الدرزة اللحامية، وهذه المزايا هي: درجة حرارة التسخين العظمى التي يتواجد فيها معدن الدرزة اللحامية عند درجة حرارة أعلى من درجة الحرارة الحدية، وسرعة تبريد الدرزة اللحامية.

6- قيمة التشوهات اللدنة في الدرزة اللحامية:

تنتج هذه التشوهات تحت تأثير إجهادات الشدة الداخلية في الدرزة اللحامية في أثناء تجميدها، وتؤثر هذه التشوهات فقط في قيمة حد السيولة للدرزة اللحامية σ_{TW} فبازدياد هذه التشوهات تزداد النسبة $(\sigma_{yw} / \sigma_{bw})$ ، وتصل هذه النسبة أحياناً إلى $(0,80 \div 0,78)$ في حين لا تتجاوز هذه النسبة $(0,70 \div 0,65)$ عند فولاذ الدرفة.

حيث σ_{bw} : إجهادات الشد الأعظمي لمعدن الدرزة اللحامية. بعد الدراسة العميقة للعوامل السابقة، ومدى تأثير كل منها على الخواص الميكانيكية للدرزة اللحامية تم إيجاد علاقة

تقريبية لتقييم هذه الخواص. قد تم التأكد مراراً من صحة هذه العلاقات، وذلك بمقارنة القيم الحسابية الناتجة مع القيم التجريبية، وتبين أن الخطأ النسبي في الحالات جميعها لا يتجاوز (10÷15%). تتعلق الخواص الميكانيكية للدرزة اللحامية بشكل أساسي بسرعة تبريد هذه الدرزة بعد اللحام وبمقدار التشوهات اللدنة الناتجة منها.

ويبين الشكل (6-13) تغير العوامل: $F(v), F(\sigma_s), F(\sigma_h), F(H_v)$ بتغير سرعة تبريد الدرزة اللحامية وتستخدم هذه العوامل (والتي ليس لها واحدات قياس) لإيجاد الخواص الميكانيكية المتوقعة لمعدن الدرزة اللحامية على الشكل الآتي:

1- يجب أن يكون معلوم لدينا الخواص الميكانيكية لمعدن الأساس.

2- توجد سرعة تبريد معدن الدرزة اللحامية بإحدى العلاقتين الآتيتين:

أ- في حالة وضع ندبة لحام على سطح جسم كبير العلاقة:

$$W = 2\pi\lambda \left[(T - T_o)^2 / (q/V) \right] \quad (46-6)$$

ب- في حالة لحام ألواح فولاذية على أن يتم صهر كامل على عمق السماكة لهذه الألواح بالعلاقة:

حيث:

$$W = 2\pi\lambda C\gamma \left[(T - T_o)^3 / \left[q / (v.\delta) \right]^2 \right] \quad (47-6)$$

W: سرعة التبريد، v: سرعة اللحام، δ : سماكة اللوح الفولاذي، γ : الوزن النوعي.

3- بعد إيجاد سرعة التبريد تحدد قيم العوامل من الشكل (6-13).

4- تتم عملية حساب الخواص الميكانيكية المتوقعة لمعدن الدرزة باللحمة الآتية:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bw} &= f(\sigma_b) \cdot \sigma_b \\ \sigma_{yw} &= f(\sigma_y) \cdot \sigma_y \\ \psi_w &= f(\psi) \cdot \psi \\ HV_w &= f(\sigma_b) \cdot HV \\ \sigma_w &= 0.43 \cdot \psi_w \end{aligned} \right\} \quad (78-6)$$

$$(HV \cdot \psi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_b)$$

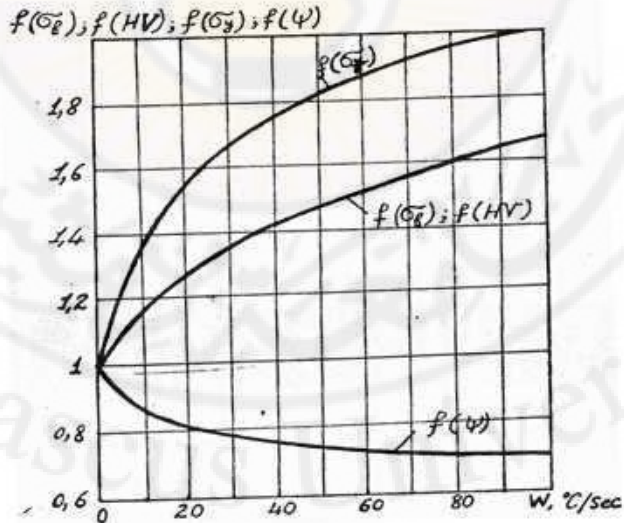
حيث:

- إجهاد الشد الأعظمي، حد الانسياب، التقصص النسبي للمقطع، القساوة السطحية (لمعدن الأساس - بالترتيب).

$$(\sigma_w \cdot HV_w \cdot \psi_w \cdot \sigma_{yw} \cdot \sigma_{bw})$$

وحيث إن:

- إجهاد الشد الأعظمي، حد الانسياب، التقصص النسبي للمقطع، القساوة السطحية الاستطالة النسبية (لمعدن الدروة اللحامية - بالترتيب):



الشكل (6-13): التغير النسبي للخواص الميكانيكية للدروة اللحامية بتغير سرعة تبريدها.

ويجب أن ننوه هنا إلى أن العلاقة آنفة الذكر تستخدم لتقييم الخواص الميكانيكية للدرزة اللحامية الناتجة عند لحام الفولاذ الكربوني. أما عند لحام الفولاذ السبائكي، فيجب أن يأخذ في الحسبان تأثير التركيب الكيميائي لمعدن الدرزة في خواصها الميكانيكية على نحو أدق كثيراً مما هو عليه في الحالة آنفة الذكر. ولهذا تم إيجاد علاقات تجريبية لحساب الخواص الميكانيكية لمعدن الدرزة اللحامية من لحام الفولاذ السبائكي، إذ يبين إجهاد الشد الأعظمي بالعلاقة:

$$\sigma_{bw} = 4.8 + 50c + 25.2Mn + 17.5si + 23.8C_r + 7.7Ni + 70Ti + 17.6Cu + 29Al + 16.8Mo \quad (49-6)$$

ولإيجاد الاستطالة النسبية (%) تستخدم العلاقة الآتية:

$$\delta_w = 50.4 - [21.8C + 15Mn + 49Si + 2.4Ni + 5.8Cr + 6.2Cu + 2.2W + 6.6Ti] + 17.1Al + 2.7Mo \quad (50-6)$$

ويحسب حد الانسياب لمعدن الدرزة من العلاقة:

$$\sigma_{yw} = 0.73 \cdot \sigma_{bw} \quad (51-6)$$

التقلص النسبي من العلاقة:

$$\psi_w = 2.32 \cdot \delta_w \quad (52-6)$$

ويؤخذ من المعادلات آنفة الذكر كل عنصر بنسبته المئوية عند الحساب.



الفصل السابع

اللحام الكهربائي الخبثي

1-7: مفهوم اللحام الكهربائي الخبثي وتقنيته:

يُستخدم اللحام الكهربائي الخبثي للوصلات ذات السماكة الكبيرة (أكثر من 16 مم). وإذا أخذنا في الحسبان الناحية الاقتصادية، يمكننا القول: إن طريقة اللحام هذه تستخدم في الوقت الحاضر للحم الوصلات التي تزيد على 40 مم. ويلحم بهذه الطريقة أنواع الفولاذ و الفونت كلها تقريباً والسبائك المختلفة لكل من معادن النحاس والتيتان. وتتميز هذه الطريقة من غيرها من طرق اللحام الآلي بالقوس المغمور بالفلكس (والتي تعد تطوراً عن هذه الطرق) بأن عملية اللحام الكهربائي الخبثي (ومهما كبرت سماكة القطعتين المراد وصلهما) تتم بمسار لحام واحد، ويكون توضع حوض اللحام عمودياً في أثناء إجراء عملية اللحام. ويؤدي الفلكس المصهور دور المصدر الحراري لإتمام عملية اللحام بهذه الطريقة. وتعطى كمية الحرارة المنطلقة من الفلكس المصهور (نتيجة لمرور تيار كهربائي فيه ذي شدة عالية) بالعلاقة الآتية:

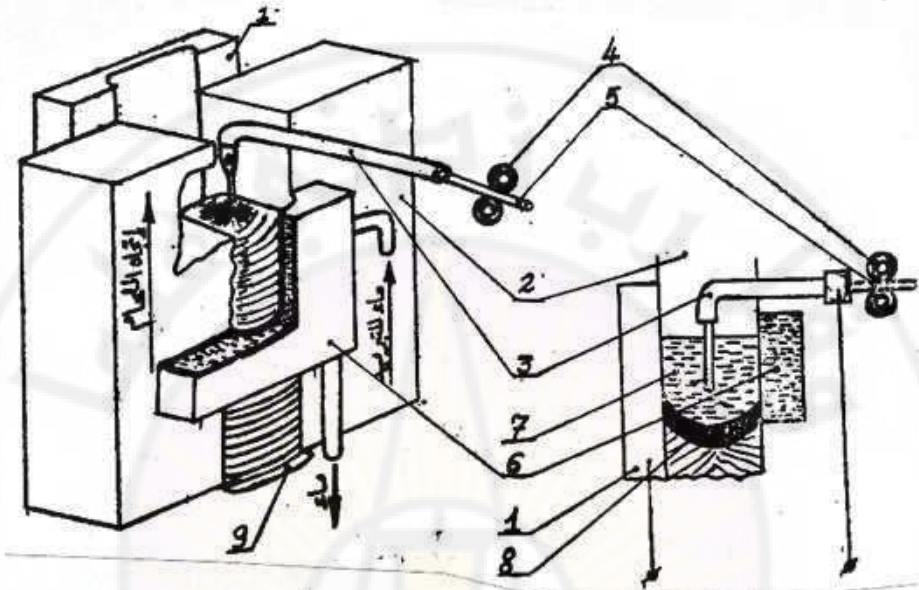
$$Q = 0,24 \cdot I^2 \cdot R \quad (1-7)$$

حيث:

I - شدة التيار الكهربائي.

R - مقاومة حوض الفلكس المصهور.

يبين الشكل (1-7) كيف تتم طريقة اللحام الكهربائي الخبثي للوصلات المعدنية، ويمكن تلخيص تقانة اللحام بهذه الطريقة بما يأتي:

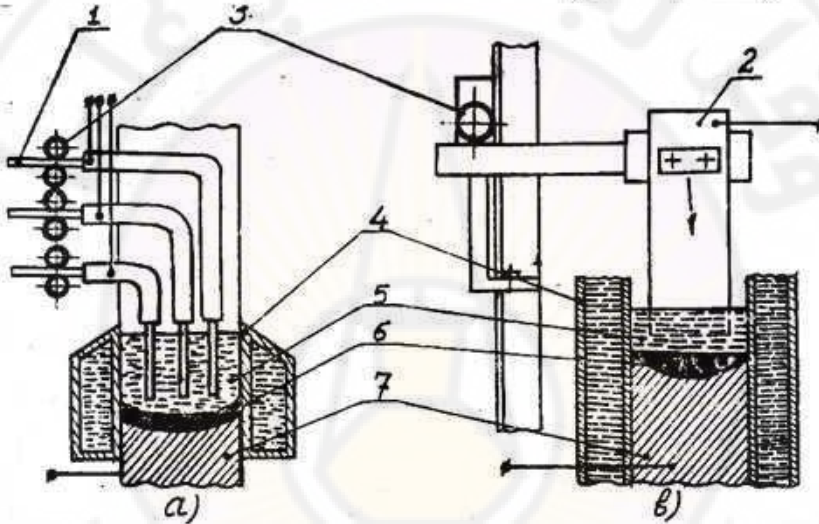


الشكل (1-7): مخطط اللحام الكهربائي الخبثي للوصلات المعدنية بالكترود واحد.
 1- صفيحة نحاسية. 2- الوصلة اللحامية. 3- حملاج اللحام. 4- بكرتان. 5- سلك
 اللحام. 6- صفيحة نحاسية متحركة. 7- حوض الخبث. 8- الحوض المعدني.
 9- الدرزة اللحامية.

إن ارتفاع درجة حرارة الخبث المصهور (نتيجة لمرور تيار كهربائي فيه) إلى درجة عالية يجعل كمية الحرارة المنطلقة من هذا الخبث كافية لصهر حواف الوصلة اللحامية وسلك اللحام المغمور وتشكيل حوض اللحام. وتستخدم الصفائح النحاسية من الطرفين (يمكن أن تكون إحداها متحركة، الشكل 1-7) للحفاظ على حوض اللحام المنصهر من الاندلاع.

تتم عملية اللحام آلياً وبسرعة سحب مناسبة لسلك اللحام. وبهذا الشكل يمكن الحفاظ على عمق مناسب للحوضين (المعدني والخبثي) المنصهرين. ويشكل حوض اللحام المعدني المتجمد في الأسفل ما يُسمى الدرزة اللحامية.

ويمكن أن تتم عملية اللحام الكهربائي الخبثي بالكتروود واحد (شكل 7-1) أو بالكتروودات عدة (7-2a). وتستخدم طريقة اللحام بالكتروودات عدة في حال وصل القطع ذات السماكات الكبيرة جداً (حتى 500 mm). ولا يتجاوز قطر كل إلكترود من الإلكترودات المستخدمة (2,5 ÷ 3,5 mm).



الشكل (7-2): مخطط اللحام الكهربائي الخبثي بعدة إلكترودات أو بصفيحة معدنية. سلك اللحام. 2- صفيحة اللحام. 3- ميكانيزم سحب سلك اللحام. 4- صفائح نحاسية تبرد بالماء. 5- حوض خبثي. 6- حوض المعدن المنصهر. 7- الدرزة اللحامية.

يمكن أن تستخدم في اللحام الكهربائي الخبثي (وبدلاً من إلكترودات عدة) صفيحة معدنية أو صفائح عدة (شكل 7-2b). وتغذي هذه الصفائح المعدنية حوض اللحام آلياً، ويستخدم اللحام بهذه الطريقة للحصول على درزات لحامية مقطعتها مستطيل (أحياناً يصل عرض المقطع إلى 2m وارتفاعه إلى 1m). وبصفة عامة تمتاز طريقة اللحام الكهربائي الخبثي عن غيرها من الطرق بإنتاجيتها العالية وبساطتها وإمكان التحكم بها آلياً والجودة العالية للوصلات اللحامية الناتجة.

7-2: أنظمة اللحام الكهربائي الخبثي:

إن العناصر الأساسية في نظام اللحام الكهربائي الخبثي (وفي حال استخدام إلكترودات عدة) هي:

- قطر الإلكترود d: ويتراوح (كما ذكرنا سابقاً) بين (2,5 ÷ 3,5 mm)، وأحياناً تستخدم إلكترودات قطرها (5 مم).

- شدة التيار الكهربائي I: وتتراوح شدة التيار الكهربائي في كل إلكترود بين (100 ÷ 600 A). ويمكن أحياناً استخدام تعبير كثافة التيار الكهربائي، وتتراوح قيمتها بين:

$$15 \div 60 [A/mm^2]$$

- سرعة سحب سلك اللحام (V_e): ويتراوح قيمتها بين: 100 ÷ 500 [m/h]

- فرق الكمون (التوتر) لحوض الخبث (U).

- سرعة اللحام (V).

- سماكة الوصلة اللحامية (S).

- طول الجزء الظاهر من الإلكترود (L): ويراوح طول هذا الجزء بين (60 ÷ 80 mm).

- الخلوص الموجود بين طرفي الوصلة (b): ويتعلق بسماكة الوصلة، وتتراوح قيمته بين (16 ÷ 35 mm).

- عدد إلكترودات اللحام (n).

- عمق حوض الخبث (h): ويتراوح عمق الحوض الخبثي بين (25 ÷ 70 mm).

- سرعة الانتقالات العرضية للإلكترود (V_{e'}) والمسافة بين الإلكترود (m).

- نوع الفلكس وتركيبه الكيميائي.

تؤثر هذه العناصر كلها كثيراً في نوع الدرزة اللحامية وتركيبها، ويجب اختيار هذه العناصر بشكل دقيق يتناسب ونوع الوصلة اللحامية وسماكتها. ويجب الانطلاق عند اختيار هذه العناصر من تحقيق شرطين أساسيين:

أ- يجب أن يحقق نظام اللحام المختار الحصول على درزات لحامية خالية من العيوب الداخلية والخارجية، ويجب أن يتحقق عمق صهر في طرفي الوصلة قدره $(10 \div 6 \text{ mm})$ في كل طرف.

ب- يجب أن يُراعى عند اختيار نظام اللحام ومواده إمكان عدم الحصول على تشققات ساخنة في الدرزة اللحامية، أو في المنطقة المجاورة لها (منطقة التأثر الحراري).
إن جودة الدرزة اللحامية وتركيبها يعتمدان - على نحو رئيس - على عرض الدرزة اللحامية والسبب في ذلك يعود إلى أنه بتغير عرض الدرزة اللحامية تتغير شروط تجمد حوض اللحام، وتتغير نسبة اشتراك معدن الأساس في الدرزة اللحامية، وهنا لابد من التطرق إلى العناصر الأساسية الأكثر تأثيراً في عرض الدرزة اللحامية، وهي:

1- شدة التيار الكهربائي:

بازدياد شدة التيار الكهربائي إلى حد معين يزداد عرض الصهر. ولكن تجاوز شدة التيار لهذا الحد يؤدي إلى ازدياد عمق حوض الصهر بسبب كمية الحرارة الكبيرة التي يحتوي عليها وهذا يؤدي إلى نقصان في كمية الحرارة التي يحتوي عليها الحوض الخبثي، ثم نقصان عرض الصهر. بصفة عامة تتعلق شدة التيار الكهربائي بسماكة الوصلة وعدد الإلكتروودات، وتحدد العلاقة التجريبية الآتية:

$$I = A + B \frac{S}{n} \quad (2-7)$$

حيث: S - سماكة الوصلة.

A - B - عوامل ثابتة $(A = 220 \div 280)$ و $(B = 3,2 \div 4)$.

2- فرق الكمون (التوتر) لحوض الخبث:

بازدياد توتر حوض الخبث يزداد عرض الصهر، ولكن زيادة التوتر فوق حد معين تؤدي إلى حدوث غليان في حوض الخبث وهذا يؤدي بدوره إلى عدم استقرار عملية اللحام بشكل عام، وأحياناً يمكن أن تتشكل تشققات ساخنة. إن اختيار توتر حوض الخبث يتم بالعلاقة التجريبية الآتية:

$$U = 12 + \sqrt{125 + \frac{S}{0.075 \cdot n}} \quad (3-7)$$

أما عمق حوض الخبث، فيتم تحديده بالعلاقة التجريبية الآتية:

$$h = I(0.0000375I \div 0.0025) + 30 \quad (4-7)$$

3- سرعة اللحام:

تتعلق سرعة اللحام بصفة عامة بسرعة سحب سلك اللحام، وشدة التيار الكهربائي، ومقدار الخلوص بين حافتي الوصلة. ويمكن تعيين سرعة اللحام بإحدى العلاقتين الآتيتين:

$$V = \frac{n \cdot \alpha_m \cdot I}{\gamma \cdot b \cdot S \cdot K_y} \quad (5-7)$$

$$V = \frac{n \cdot V_e \cdot \pi \cdot d^2 / 4}{\gamma \cdot b \cdot S \cdot K_y} \quad (6-7)$$

حيث: γ - الوزن النوعي لمعدن الإلكترود: $[g/Cm^3]$

α_m - عامل صهر معدن الإلكترود: $[g/A.h]$

K_y - عامل تحذب الدرزة للحامية، وتتراوح قيمته $(Ky = 1,05 \div 1,1)$.

4- مقدار الخلوص بين حافتي الوصلة:

بازدياد الخلوص بين طرفي الوصلة يزداد عرض الصهر؛ وبالتالي عرض الدرزة للحامية ولكنه يؤدي (في الوقت نفسه) إلى زيادة كمية المعدن المنصهر واللازم لملء هذا الخلوص؛ مما يسبب انخفاضاً في مستوى الإنتاج. أما تقليل الخلوص بين حافتي الوصلة، فإنه يؤدي إلى رفع مستوى الإنتاج، ولكن هذا يؤدي بدوره إلى انخفاض في قيمة عامل شكل الصهر (يتغير عرض حوض الصهر ولكن عمقه يبقى ثابتاً)؛ مما يسبب تشكل التشققات الساخنة.

إن اختيار مقدار الخلوص الموجود بين طرفي الوصلة للحامية (في أثناء استخدام اللحام الكهربائي الخبثي) يتم حسب الجدول (1-7) الآتي:

الجدول (7-1): اختيار الخلوصل بين طرفي الوصلة اللحامية.

مساحة الوصلة (mm)	مقدار الخلوصل بين طرفيها (mm)
500	35 ± 3
$500 \div 150$	30 ± 3
$150 \div 100$	25 ± 3
$100 \div 30$	22 ± 2
$30 \div 0$	16 ± 2

5- طول الجزء الظاهر من الإلكترود:

إن ازدياد طول الجزء الظاهر من الإلكترود ولحد أكثر من المسموح به يؤدي إلى نقص في كمية معدن الإلكترود المنصهرة بخاصة إذا لم تتغير سرعة سحب سلك اللحام؛ مما يؤدي إلى انخفاض شدة التيار الكهربائي؛ بسبب الارتفاع المسبق لدرجة حرارة هذا السلك؛ وبالتالي تزداد مقاومته للتيار الكهربائي. يكون طول الجزء الظاهر من الإلكترود عادةً بين (60-80 mm) وكما ذكر سابقاً.

6- سرعة الانتقالات العرضية للإلكترود:

يؤدي ازدياد سرعة الانتقالات العرضية للإلكترودات إلى نقصان في عرض الصهر. وتتعلق هذه السرعة (علاقة عكسية) بسرعة سحب سلك اللحام. ولكن بصفة عامة يتم اختيار سرعة الانتقالات العرضية للإلكترودات بالعلاقة الآتية:

$$V'_e = 60 - 0.22 \frac{S}{n} \quad (7-7)$$

7- قطر الإلكترود:

يؤدي ازدياد قطر الإلكترود إلى زيادة عرض الصهر، ولكنه يؤدي في الوقت نفسه إلى نقصان في عمق الحوض المعدني المنصهر. ولذلك يجب ألا يزيد قطر سلك اللحام على (3.5 mm). أما الإلكترودات التي يصل قطرها إلى (5 mm)، فتستخدم في حالات خاصة.

8- المسافة بين الإلكتروودات:

تعطى المسافة بين الإلكتروودات (أثناء وجود انتقالات عرضية) بالعلاقة الآتية:

$$m = \frac{S}{n} + 8 \quad (8-7)$$

وأثناء عدم وجود انتقالات عرضية بالعلاقة الآتية:

$$m = \frac{S}{n} \quad (9-7)$$

وهناك عناصر أخرى في نظام اللحام الكهربائي الخبثي، نذكر منها:

أ- زمن توقف الصفيحة النحاسية المتحركة في أثناء اللحام (t). حيث يعطى هذا الزمن بالعلاقة التجريبية الآتية:

$$t = 0.0375 \frac{S}{n} + 0.75 \quad (10-7)$$

ب- المسافة بين الإلكتروودات الجانبية والصفائح النحاسية. وتعطى هذه المسافة عادةً بقيمة تجريبية ثابتة، وتساوي (5-7 mm).

الفصل الثامن

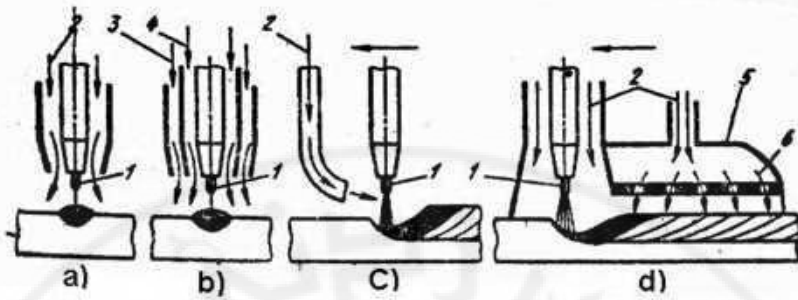
اللحام في وسط من الغازات الواقية

8-1: مفهوم اللحام في وسط من الغازات الواقية ومزاياه:

تُستخدم طريقة اللحام في جو من الغازات الواقية في الإنشاءات المصنوعة من أنواع مختلفة من الفولاذ الكربوني والسبائكي والإنشاءات المصنوعة من المعادن غير الحديدية ومن سبائك هذه المعادن. ويمكن أن تتم عملية اللحام هذه يدوياً أو نصف آلياً أو آلياً، وتستعمل كغازات واقية غازات خاملة (مثل الأرجون والهيليوم) أو غازات أخرى (مثل ثاني أكسيد الكربون، الهيدروجين، الأزوت، الأوكسجين ... الخ)، أو مزيج من غازين أو أكثر من هذه الغازات، وأكثر هذه الغازات استخداماً في الوقت الحاضر الأرجون وغاز ثاني أكسيد الكربون أو مزيج منها، وتتميز طريقة اللحام هذه عن غيرها من طرق اللحام بالقوس الكهربائي بأن الغاز المستخدم يقي القوس الكهربائي وحوض المعدن المنصهر من التأثير الضار للهواء المحيط. أما طريقة استخدام الغازات للوقاية، فتتم إما بدفع هذه الغازات في منطقة اللحام مركزياً (الشكل 8-1 a,b) أو جانبياً (الشكل 8-2 c,d). ويمكن إجراء عملية اللحام في وسط من الغازات الواقية باستخدام إلكترود ينصهر (وعادة يكون تركيبه الكيميائي مطابقاً للتركيب الكيميائي لمعدن الوصلة) أو باستخدام إلكترود لا ينصهر (مصنوع من معدن التنجستين).

وتتشكل الدرزة اللحامية في الحالة الثانية نتيجة لانصهار حافتي الوصلة، أو نتيجة لانصهار المعدن المضاف (معدن الملاء).

- إن اختيار طريقة اللحام هذه (يدوية كانت أو نصف آلية أو آلية، بإلكترود ينصهر أو لا ينصهر، في جو من أحد الغازات الواقية أو في مزيج من غازين ... الخ) يتعلق بالتركيب الكيميائي لمعدن الوصلة اللحامية وشكلها وسماكتها وشكل الدرزات اللحامية المراد الحصول عليها وجودة هذه الدرزات الخ.



الشكل (1-8): مخطط اللحام في وسط من الغازات الواقية

- a, b: دفع الغاز الواقى مركزياً بتيار واحد وبتيارين. c: دفع الغاز جانبياً.
d: دفع الغاز في حجرة متحركة. 1- الإلكترود. 2- الغاز الواقى. 3-4- تيارا الغاز الواقى «الخارجي والداخلي». 5- الحجرة المتحركة. 6- شبكة التوزيع.

بصفة عامة لطريقة اللحام في جو من الغازات الواقية مجموعة من مزايا التقنية والمزايا الإنتاجية والاقتصادية نوردتها باختصار:

أ- مزايا التقنية: وتكمن في الجودة العالية للدرزات اللحامية الناتجة بهذه الطريقة وإمكان استخدام اللحام اليدوي ونصف الآلي لوصلات معدنية قصيرة، وفي أوضاع مختلفة (بما فيها الوضع السقفي).

ب- المزايا الإنتاجية: وتكمن في الإنتاجية العالية وإمكان إجراء المراقبة المستمرة لعملية اللحام وعدم وجود نفايات ضارة في أثناء إجراء عملية اللحام أو بعدها؛ مما يحسن ظروف العمل.

ج- المزايا الاقتصادية: وتكمن في القيمة المنخفضة نسبياً لآلات اللحام ومواده المستخدمة وعدم الحاجة لاستعمال مساعدات صهر أو إلكترودات مغلفة.

2-8: تقنية اللحام في وسط من الغازات الخاملة:

تلقى تقنية اللحام في وسط من الغازات الخاملة تطوراً سريعاً واستخداماً واسع النطاق في الوقت الحاضر، ويمكن أن تتم عملية اللحام هذه باستخدام إلكترودات لا تنصهر

(الكثرويدات مصنوعة من الغرافيت أو من معدن التنجستين) أو باستخدام إلكثرويدات تنصهر (إلكثرويدات عارية).

إن استخدام إلكثرويدات من الغرافيت محدود جداً حالياً، ويقتصر على لحام بعض أنواع الفولاذ المقاوم للصدأ والفولاذ الذي يحافظ على متانته بارتفاع درجات حرارته. أما اللحام باستعمال إلكثرويدات من معدن التنجستين وفي وسط من أحد الغازات الخاملة أو في مزيج من هذه الغازات. فتستخدم للحام أكثر المعادن وسبائكها. ويمكن أن تتم عملية اللحام باستخدام تيار مستمر أو متناوب. وقد أثبتت التجارب أن لحام المعادن وسبائكها، وفي وسط من الغازات الخاملة، يمكن أن يتم باستخدام إلكثرويدات مصنوعة ليس من معدن التنجستين النقي؛ وإنما مضاف إليه نسبة قليلة ($2\% \div 1,5\%$) من معدن الثوريوم أو الإيثوريوم أو اللانتانيوم أو الزركونيوم (Zr). فمثلاً إضافة أكاسيد الإيثوريوم والانتانيوم بنسبة ($1,5 \div 2\%$) تزيد من صلابة الإلكثرويد، وتسمح بمرور تيار كهربائي تزيد شدته بمقدار (15%) على شدة التيار المسموح بها في حالة استخدام إلكثرويد من معدن التنجستين النقي. تجري قبل اللحام عملية شنفرة نهاية الإلكثرويد على شكل مخروط زاوية رأسه تساوي 60 درجة ويكون طول هذا المخروط مساوياً (2-3) أمثال قطر الإلكثرويد. وتؤثر عملية الشنفرة هذه في شكل الدرزة للحامية الناتجة وأبعادها. فمثلاً كلما صغرت زاوية رأس المخروط وصغر قطر نهاية الإلكثرويد كان عمق تغلغل الصهر أكبر.

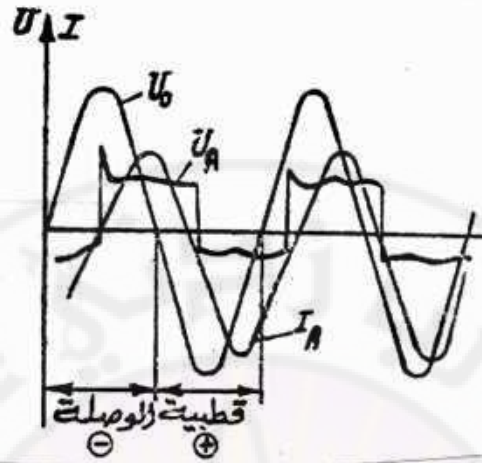
تتعلق الميزات التقنية للقوس الكهربائي بصفة أساسية بنوع التيار المستخدم وقطبيته، فعند استخدام قطبية مباشرة تصل كمية الحرارة التي تعطيها القوس للوصلة إلى (70%) من كمية حرارته الكلية، وهذا يفيد كثيراً في إمكان تحقيق عمق الصهر اللازم في معدن الأساس، وفي حالة استخدام القطبية المعكوسة يكون توتر القوس أكبر منه في حال استخدام القطبية المباشرة، وتكون كمية الحرارة التي يكتسبها المصعد (الإلكثرويد) كبيرة؛ مما يؤدي إلى رفع درجة حرارته وإمكان صهر نهاية الإلكثرويد؛ لذا يجب أن تكون كثافة التيار المسموح بها في هذه الحالة أقل (انظر الجدول 8-1). بصفة عامة يكون استخدام التيار ذي القطبية المعكوسة محدوداً؛ وذلك للأسباب آتية الذكر.

- إن قطبية الإلكترود والوصلة في حالة اللحام باستخدام تيار متناوب تتغير تبعاً لتردد التيار. لهذا تكون كل من كمية الحرارة التي يكتسبها الإلكترود والوصلة متساوية تقريباً، وتختلف الناقلية الكهربائية للقوس في أنصاف الأدوار المختلفة لقطبية التيار المتناوب، فهي تزداد في أنصاف الأدوار التي يؤدي فيها الإلكترود دور المهبط (قطبية مباشرة)، وتنقص في أنصاف الأدوار التي تؤدي فيها الوصلة دور المهبط (قطبية معكوسة)، ويزداد في هذه الحالة توتر القوس اللازم لاشتعاله، ويأتي القوس متأخراً (شكل 8-2). يمكن أحياناً استخدام إلكترود من التتجستين قطره كبير نسبياً، ويمر فيه تيار ذو شدة عالية، وتسمى طريقة اللحام في هذه الحالة اللحام بالقوس المغموس (انظر الشكل 8-3).

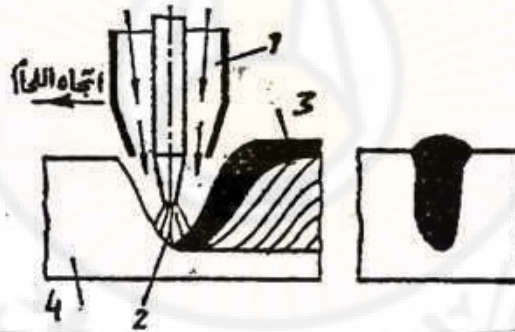
الجدول (8-1): شدة التيار المسموح بها في إلكترودات مصنوعة من معدن التتجستين النقي.

شدة التيار المسموح بها مقترحة بـ (A) من أجل قطر الإلكترود مقترأ بـ (mm)					نوع الغاز المستخدم	نوع التيار
6	5	4	3	1-2		
300-250 250-200	280-220 200-160	220-140 160-100	160-100 100-60	100-20 60-10	آرغون هيليوم	تيار متناوب
450-350 400-300	400-300 350-250	340-250 300-200	180-140 200-100	150-65 110-50	آرغون هيليوم	تيار مستمر ذو قطبية مباشرة
100-60 80-40	80-40 70-30	50-30 40-20	40-20 30-15	30-10 20-10	آرغون هيليوم	تيار مستمر ذو قطبية معكوسة

ملاحظة: عند استخدام إلكترودات من معدن التتجستين المضاف إليه أكاسيد الإيثوريوم واللانثانيوم فإن شدة التيار تزيد بمقدار (15%).



الشكل (8-2): عدم تناسق قوس التيار المتناوب، وذلك عند اللحام بالكترود من التنجستين وفي وسط من الغازات الواقية U_0 - توتر منبع تيار اللحام. U_A - توتر القوس الكهربائي. I_A - شدة تيار اللحام.



الشكل (8-3): اللحام بالقوس المغموس في وسط من الغازات الواقية وباستخدام إلكترود من التنجستين يتم في البداية جمع الوصلة التناكبية من دون شنفرة الحواف ودون ترك خلوص بين هذه الحواف.

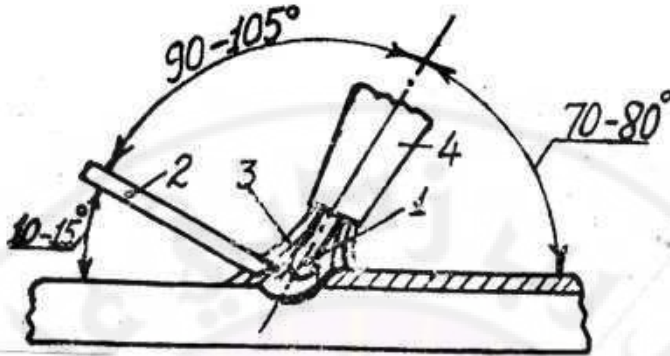
يصل تصريف الغاز في هذه الحالة إلى $(40 \div 50 \text{ L/min})$ ، فيضغط الغاز القوس المشتعل من جميع جوانبه؛ مما يؤدي إلى رفع درجة حرارة الأخير. بسبب ضغط الغاز (1) والقوس (2) جرف المعدن المنصهر (3) جانباً ومن تحت القوس المشتعل بالذات؛

مما يؤدي إلى تغلغل هذا القوس في معدن الأساس (4). ويتابع القوس في هذه الحالة اشتعاله تحت طبقة المعدن المنصهر. وبشكل حوض المعدن المنصهر الناتج بهذه الطريقة الدرزة للحامية. يمكن بهذه الطريقة لحام سماكات حتى (36 mm) ومن الوجهين من معدن التيتان أو الألمنيوم أو الفولاذ عالي نسب الخلط أو معادن أخرى. وكلما كان الوزن النوعي للمعدن المراد لحامه أقل أمكن لحام سماكات أكبر.

تصلح عملية اللحام بالكترود من التيجستين بصفة عامة للحام سماكات تتراوح بين (0,1 ÷ 6mm) ولكن يمكن استخدامها للحام سماكات أكبر من ذلك. ويمكن أن يتم اللحام دون استخدام معدن مضاف، فتكون الدرزة للحامية في هذه الحالة ناتجة من صهر حواف القطعتين المراد وصلهما، أو باستخدام معدن مضاف، وذلك إما بوضعه في المكان الذي سوف تتشكل فيه الدرزة للحامية وذلك قبل البدء بعملية اللحام أو أن يضاف على شكل سلك معدني تكون نهايته في منطقة اشتعال القوس. يتم لحام الوصلات الزاوية أو التناكبية جميعها وفي جميع الأوضاع إما يدوياً أو نصف آلي أو آلياً.

تعتمد جودة الدرزات للحامية وبشكل كبير على نزع الهواء من منطقة اللحام، وتتوقف كمية الغاز اللازمة للوقاية على تركيب المعدن المراد لحامه وسماكته ونوعية الوصلة وسرعة اللحام.

تتم عملية اللحام التناكبي، وللسماكات حتى (10 mm)، يدوياً ومن اليسار إلى اليمين (الشكل 4-8). وعند لحام سماكات أقل من ذلك، فإن الزاوية بين الإلكترود والوصلة تساوي 60 درجة. وأما عند لحام سماكات كبيرة فإن الزاوية بين الإلكترود والوصلة تساوي 90 درجة، وتتم عملية اللحام في هذه الحالة من اليمين إلى اليسار.



الشكل (4-8): توضع الإلكترود وسلك المعدن المضاف عند اللحام في وسط من غاز الأرجون. 1- الإلكترود. 2- سلك المعدن المضاف. 3- الغاز الواقي. 4- ماسك الإلكترود.

وفي حالة اللحام الآلي ونصف الآلي، فإن الإلكترود يتوضع عمودياً على سطح الوصلة. وتكون الزاوية بينه وبين سلك المعدن المضاف والذي قطره $(2 \div 4 \text{ mm})$ تكون هذه الزاوية مساوية 90 درجة تقريباً. ويكون اتجاه اللحام في أغلب الحالات بحيث يسمح بتوضع سلك المعدن المضاف في مقدمة القوس.

يمكن (وكما ذكرنا أنفاً) أن تتم عملية اللحام في وسط من الغازات الواقية وباستخدام إلكترود منصهر. وتتعلق نوعية الغاز المستخدم للوقاية بنوع معدن الوصلة وسماكتها، يضاف إلى ذلك أنه يفضل استخدام التيار المستمر ذي القطبية المعكوسة في هذه الحالة، وذلك لأن القوس يشتعل بشكل هادئ (متزن)، فعند استخدام التيار المستمر ذي القطبية المباشرة، فإن كمية معدن الإلكترود المنصهر تزيد بمقدار $(25 \div 30\%)$ على تلك في حال استخدام القطبية المعكوسة، بينما يضعف اتزان القوس المشتعل، وتزداد في هذه الحالة كمية المعدن الضائع على شكل قطرات منصهرة تتطاير حول منطقة اللحام. ولا يمكن استخدام التيار المتناوب للحام بالإلكترود منصهر وفي وسط من الغازات الواقية، وذلك لأن اشتعال القوس لا يكون هادئاً.

عند اللحام باستخدام إلكترود منصهر، فإن الدرزة اللحامية تنتج عن انصهار معدن الأساس وانصهار معدن الإلكترود في الوقت نفسه. لهذا فإن شكل الدرزة اللحامية وأبعادها تتعلقان بكيفية انصهار معدن الإلكترود وانتقال القطرات المنصهرة من الإلكترود إلى حوض اللحام، فضلاً عن تعلّقهما بسرعة اللحام ووضعية الإلكترود والوصلة في الفراغ في أثناء اللحام.

لا يتجاوز قطر الإلكترود المستخدم في حالة اللحام هذه (3 mm).
ويبين الجدول (2-8) قيم شدة التيار المستنتجة تجريبياً تبعاً لقطر الإلكترود ونوعية الغاز المستعمل للوقاية.

الجدول (2-8): قيم شدة التيار الدنيا التي من أجلها يكون اشتعال القوس هادئاً
(الإلكترودات مصنوعة من فولاذ سبائكي قليل نسب الخلط)

شدة التيار في وسط من (A) CO ₂	شدة التيار في وسط من الآرغون (A)	قطر الإلكترود (mm)
35	30	0,6
60	50	1,0
90	90	1,6
120	120	2,0

يمكن في بعض الحالات استخدام إلكترودات منصهرة قطرها (3 ÷ 5 mm)، وتصل شدة التيار عندها إلى نحو (2000 A)، ولكن مثل هذه الشدات العالية لا تعطي شكلاً جيداً للدرزات اللحامية في الوصلات التناكبية فضلاً عن أنها يمكن أن تؤدي إلى إحداث شقوق تسمى شقوق الاحتراق في هذا النوع من الوصلات.
يؤثر طول الجزء الظاهر من الإلكترود في اتزان القوس المشتعل وأبعاد الدرزة اللحامية الناتجة. ويبين الجدول الآتي علاقة طول هذا الجزء بقطر الإلكترود المستخدم.

الجدول (3-8): قطر الإلكترود وطول الجزء الظاهر منه.

2,0	1,6	1,0	0,8	0,5	قطر الإلكترود (mm)
12-14	12-10	10-8	8-6	7-5	طول الجزء الظاهر (mm)

3-8: الخواص التعدينية للغازات المستخدمة في الوقاية:

يمكن أن تكون الغازات المستخدمة للوقاية خاملة (لا تتحد مع معدن الوصلة) أو نشطة (تتحد مع معدن الوصلة). مثلاً: يتفاعل غاز الآزوت مع الحديد والكروم ولا يتفاعل مع النحاس والكوبالت، بينما لا تتفاعل الغازات الخاملة (الهليوم والآرغون) مع أي من المعادن المختلفة أو سبائكها.

ولقد ذكرنا في بداية الفصل أنواع الغازات المستخدمة، ولكننا تحدثنا بشكل مفصل عن اللحام في وسط من غازات الهليوم والآرغون. وسوف نتحدث في هذا البند عن خواص الغازات جميعها المستخدمة للوقاية (سواء أكان استخدام الغاز بشكل إفرادي أم مزيجاً مع غازات أخرى) وتأثير هذا كله في نوعية الوصلة اللحامية الناتجة. يتم اختيار الغاز الواقى عادةً انطلاقاً من خواص المعدن المراد لحامه والشروط الواجب توافرها في الدرزات اللحامية الناتجة للحصول على وصلات لحامية جيدة.

تستخدم الغازات الخاملة في حالة لحام المعادن النشطة كيميائياً، وفي كل حالات اللحام الأخرى التي يطلب فيها الحصول على درزات لحامية متجانسة التركيب بالنسبة للمعدن الأساس والمعدن المضاف. أما الغازات النشطة كيميائياً، فتستخدم في الحالات التي يطلب فيها (وبعد إجراء عملية اللحام) إجراء عمليات تعدينية معينة على الوصلة اللحامية، مثل: الأكسدة، والإرجاع، النترجة... الخ.

يبين الجدول (4-8) الخواص الفيزيائية للغازات المستخدمة في الوقاية.

الجدول (4-8) الخواص الفيزيائية للغازات المستخدمة في الوقاية

اسم الغاز	الوزن الذري النسبي	الوزن الجزيئي النسبي	الكثافة عند درجة الحرارة 0°C والضغط الجوي العادي (760 مم زئبقي)	درجة الغليان $^{\circ}\text{C}$	التأقية الحرارية النوعية $\text{Cal/cm.sec}^{\circ}\text{C}$	السعة الحرارية عند درجة الحرارة 0°C $\text{Cal/g}^{\circ}\text{C}$
الأرغون	39,348	-	1,7833	-185,5	$0,378 \cdot 10^{-4}$	0,125
الهليوم	4,003	-	0,17847	-268,9	$3,32 \cdot 10^{-4}$	1,251
الهيدروجين	1,008	2,016	0,08988	-259	$4,72 \cdot 10^{-4}$	3,40
الأزوت	14,008	28,016	1,251	-196	$0,580 \cdot 10^{-4}$	0,248
الأكسجين	15,999	31,998	1,429	-183	$0,624 \cdot 10^{-4}$	0,219
ثاني أكسيد الكربون	-	44,009	1,977	-78,9	$0,380 \cdot 10^{-4}$	0,196

- إن الهدف من استخدام مزيج من الغازات الخاملة والنشطة في بعض حالات اللحام هو: الحفاظ على اشتعال القوس بشكل هادئ، وزيادة عمق الصهر، والحصول على شكل مقبول للدرزات اللحامية، والتخفيف من تطاير القطرات المنصهرة حول منطقة اللحام، وزيادة كثافة معدن الدرزة اللحامية، والتأثير في انتقال معدن الإلكترود المنصهر، رفع إنتاجية اللحام. ويجب الأخذ في الحسبان الناحية الاقتصادية أولاً عند اختيار مزيج من هذه الغازات.

ونورد فيما يأتي حالات اللحام التي تستخدم فيها نسب مزج مختلفة من هذه الغازات، ومقدار هذه النسب:

مزيج من $[Ar + (1-5\%O_2)]$ يُستخدم هذا المزيج للحام الفولاذ السبائكي قليل نسب الخلط ومتوسطها واللحام في وسط من هذا المزيج يقلل من شدة التيار الحرجة، ويقلل من وجود شقوق احتراق في الدرزات اللحامية، كما يحسن في عملية الصهر، ويرفع من إنتاجية اللحام.

مزيج من $[Ar + (10-20\%CO_2)]$: يستخدم هذا المزيج للحام الفولاذ الكربوني منخفض نسبة الكربون والفولاذ السبائكي قليل نسب الخلط، يشتعل القوس بشكل هادئ في هذا المزيج. ويمكن باستخدام هذا المزيج الحصول على درزات لحامية خالية من الفقاعات الغازية، والحصول على درزات لحامية جيدة في حالة السماكات القليلة.

مزيج من $[75\%Ar + 20\%CO_2 + 5\%O_2]$: يستخدم هذا المزيج في حالة لحام الفولاذ بالكتروودات تنصهر، إذ يحافظ هذا المزيج على اشتعال القوس بشكل هادئ، ويقلل من تطاير القطرات المنصهرة لمعدن الإلكترود حول منطقة اللحام، كما ويؤدي إلى تشكل درزة لحامية جيدة وخالية من الفقاعات الغازية.

مزيج من $[Ar + (10-30\%N_2)]$: يستخدم هذا المزيج في لحام النحاس وفي بعض أنواع الفولاذ الأوستينيتي المقاوم للصدأ. يزيد هذا المزيج في خاصية الصهر عند القوس. مزيج من $[80\%CO_2 + 20\%O_2]$: يستخدم هذا المزيج للحام الفولاذ الكربوني منخفض نسبة الكربون والفولاذ السبائكي قليل نسب الخلط. يتميز هذا المزيج بخاصية الأكسدة العالية فيه، وهذا يؤدي إلى تشكل طبقة من الخبث فوق الدرزة اللحامية أكبر من تلك في

حالة اللحام في وسط من CO_2 وحده. ويؤدي هذا المزيج إلى: تغلغل في عمق الصهر أكبر، وتشكل درزة لحامية جيدة، والتخفيف من تطاير القطرات المنصهرة لمعدن الإلكترود، وزيادة كثافة معدن الدرزة اللحامية.

نود أن ننوه في نهاية هذا الفصل إلى أن عامل صهر معدن الإلكترود (α_m) لا يتعلق بنوعية الغاز المستخدم للوقاية؛ وإنما يتعلق على نحو كبير بقطبية التيار، ويعطي الجدول (5-8) أرقاماً استنتجت تجريبياً لهذا العامل، وفي حالة اللحام بالإلكترود منصهر ومصنوع من الفولاذ السبائكي قليل نسب الخلط قطره (1.6 mm) وشدة التيار (350 A) وطول الجزء الظاهر من الإلكترود (20 mm).

الجدول (5-8): قيم عامل صهر معدن الإلكترود (α_m) (g/A.h)

القطبية		اسم الغاز
مباشرة	معكوسة	
26,8	15,6	أرغون
27,2	15,3	هليوم
25,2	15,3	أزوت
25,2	16,0	ثاني أكسيد الكربون

الفصل التاسع

اللحام بالبلازما

9-1: تعريف البلازما:

تعرف البلازما على أنها الغاز المتأين جزئياً أو كلياً. ويتألف هذا الغاز من ذرات وجزيئات معتدلة ومن شوارد (أيونات) وإلكترونات. ويمكن عد الغاز المشرد كهربائياً هو الحالة المثلى للبلازما. إن البلازما الناتجة عن غاز متأين وتحت ضغط عالٍ يزيد على: $(1 \text{ Kgf} / \text{Cm}^2)$ تملك خاصية التوازن الحراري المركز (أي أنه في مكان صغير وبالقرب من النقطة المعدّة تتساوى درجات الحرارة للإلكترونات و الشوارد والجزيئات المعتدلة).

وهناك نوعان من البلازما:

أ- البلازما الساخنة: وتسمى عادة (بلازما النواة الحرارية). تتميز بدرجات حرارتها العالية نسبياً التي تبلغ عشرات الملايين من الدرجات.

ب- البلازما الباردة: وتسمى عادة (بلازما التأين الغازي). وتتميز بدرجات حرارتها المنخفضة نسبياً. وتتعلق قيم هذه الدرجات بنوع الوسط الغازي المتأين. لهذا هناك ثلاثة أنواع من هذه البلازما:

- بلازما درجة حرارتها $(2000 \div 3000 \text{ }^\circ\text{C})$: وتستخدم فيها المعادن القلوية كعناصر مضافة.

- بلازما درجة حرارتها $(5000 \div 20000 \text{ }^\circ\text{C})$: وتتولد في أقواس ذات استطاعة متوسطة. وتبلغ شدة التيار المستخدم $(1000 \div 1500 \text{ A})$ ، وتبرد هذه الأقواس بتيار غازي من أحد الغازات الآتية: آرغون، أو آزوت، أو أكسجين، أو هيدروجين.

- بلازما درجة حرارتها $(40000 \div 50000 \text{ }^\circ\text{C})$: وتتولد في أقواس ذات استطاعة عالية، وتبرد هذه الأقواس بتيار مائي.

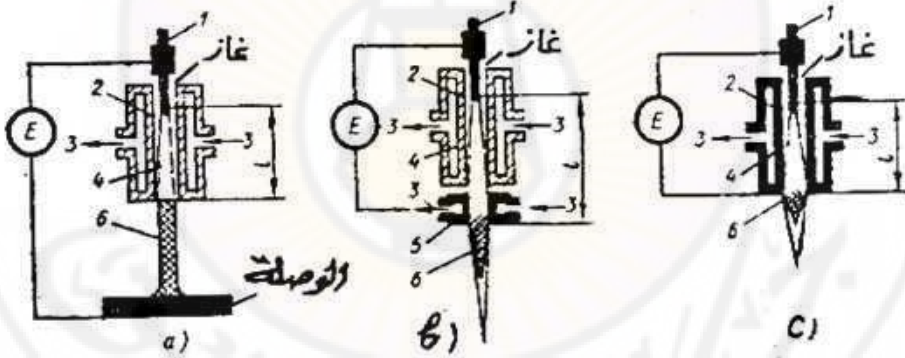
9-2: طرق الحصول على البلازما:

تنتج البلازما في معدات خاصة. وتسمى هذه المعدات في تقنية اللحام مشاعل البلازما. وتستخدم في الصناعة بشكل رئيس مشاعل البلازما التي تنتج في أقواس تغذى بتيار مستمر. وأكثر طرق الحصول على البلازما شيوعاً هي تلك التي يستخدم فيها الغاز للتبريد المكثف لقوس يشتعل في قنال ضيقة نسبياً ومبردة بالماء.

يوجد من الناحية التصميمية نوعان من مشاعل البلازما:

1- مشاعل للحام بقوس البلازما:

وتسمى عادةً المشاعل ذات التأثير المباشر (شكل 9-1a) ويكون أحد الإلكترودات في هذه المشاعل هو المعدن المراد لحامه. ويستخدم في هذه الحالة منبعان للطاقة: تيار البلازما، أو بقعة القوس النشطة كهربائياً. ويبلغ مردود هذه المشاعل (أي مقدار الطاقة الكهربائية المستخدمة) نحو $(60 \div 80\%)$



الشكل (9-1): الأشكال المبدئية لمشاعل البلازما، وذلك للحصول على:

- a- قوس البلازما (تتحد الفوهة مع القنال - أي يتحد تيار البلازما مع عمود القوس).
- b- تيار البلازما (تتفصل الفوهة عن القنال، أي يفصل تيار البلازما عن عمود القوس).
- c- تتحد الفوهة مع القنال 1- إلكترود 2- قنال 3- ماء للتبريد 4- عمود القوس 5- فوهة نحاسية 6- تيار البلازما. E- مصدر للتيار الكهربائي. L- مقدار تغلغل الإلكترود في القنال.

2- مشاعل للحام بتيار البلازما:

وتُسمى عادةً المشاعل ذات التأثير غير المباشر (شكل 9-9, b). وللتخفيض من الحمل الحراري على الإلكتروودات تستخدم مشاعل البلازما التي يكون القوس فيها واقعاً تحت تأثير مغناطيسي. وتبلغ القيمة العظمى لمردود هذه المشاعل (وفي حال تصريف كميات كبيرة من الغاز) نحو (50% ÷ 70%).

يتم اختيار قطر الإلكتروود ونوعية الغاز المشكل للبلازما حسب الشروط المطلوب توافرها في عملية اللحام. ويُستعمل كغازات منظّمة: الأزوت، أو الأرجون، أو الهيدروجين، أو الهليوم، أو الهواء، أو مزيج من غازين أو أكثر من هذه الغازات وتُصنع الإلكتروودات عادةً من النحاس أو التنجستين.

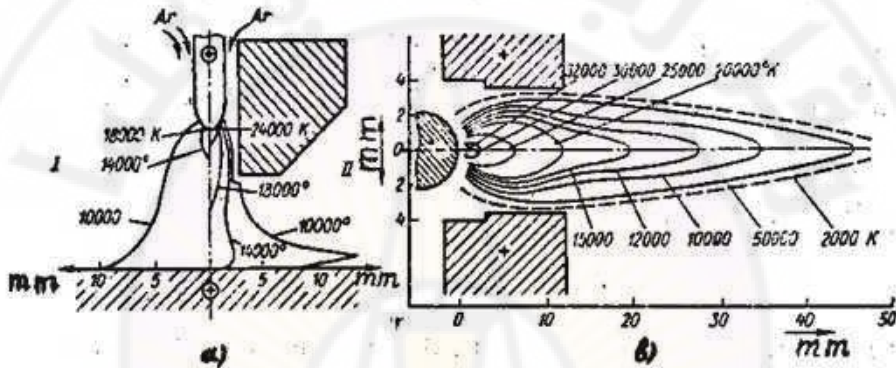
لا تتحول الاستطاعة الكهربائية الواصلة إلى شحنة القوس في مشعل البلازما إلى طاقة كامنة وطاقة حركية لتيار البلازما، ذلك لأن جزءاً من طاقة القوس يصرف على تسخين الإلكتروودات، بينما يتسرب جزء آخر في الهواء المحيط نتيجة لوجود ما يسمى بالتبادل الحراري والإشعاعي. إن شدة التبادل الحراري للقوس مع عناصر أخرى من مشعل البلازما تتحدد بشكل رئيس بالعوامل الآتية لتيار البلازما، مثل: الاستطاعة، ودرجة الحرارة، والإنتالبيا، والسرعة، ومقاسات القنال، والفوهة النحاسية. ويجب أن نذكر هنا أن شدة التيار الكهربائي وطول القوس وتصريف الغاز تؤثر جميعها وبشكل رئيس في الاستطاعة المصروفة على تسخين الإلكتروودات.

9-3: مزاي تيار البلازما:

إن نواة تيار البلازما هي أكثر المناطق إشعاعاً كلما ابتعدنا عن النواة قل الإشعاع، أما طول تيار البلازما، فيمكن تحديده بعد معرفة استطاعة القوس وأبعاد الفوهة ونوع الغاز المصروف وكميته، فعندما تكون حركة الغاز خطية، فإن تيار البلازما يكون طويلاً وقليل الاختلاط مع الهواء المحيط، وعندما تكون حركة الغاز دورانية، فإن تيار البلازما يكون قصيراً.

أما شكل تيار البلازما، فيمكن تحديده بمعرفة شكل الفوهة النحاسية. وبعد معرفة هذه المزايا كلها لتيار البلازما يمكن تحديد كيف سيكون توزيع التأثير الحراري لهذا التيار على سطح الوصلة.

تتوزع درجة حرارة قوس البلازما وتياره قطعياً وطولياً بشكل غير منتظم (شكل 2-12). وتكون درجة الحرارة العظمى في مركز التيار. وتصل درجة الحرارة في مقدمة تيار البلازما، أي بالقرب من الكاثود إلى نحو $(24000 \div 32000^\circ\text{C})$.



الشكل (2-9): توزيع الحرارة.

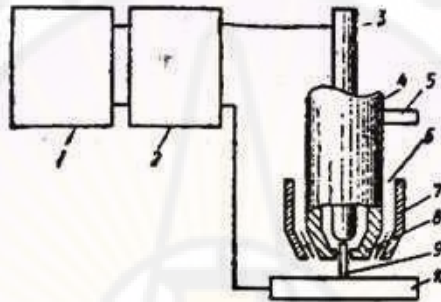
a- في قوس البلازما: I- شحنة القوس غير منتظمة بتيار غازي عند اللحام في وسط من الأرجون: شدة التيار الكهربائي (200A)، توتر القوس (14.5 V)، II- تشتعل شحنة القوس في قنال مشعل البلازما وفي تيار الأرجون بين إلكترود من التتجستين وصفيحة نحاسية: قطر القنال (4.9 mm)، تصريف الأرجون $(1.08 \text{ m}^3/\text{h})$ ، شدة التيار (200A)، توتر القوس (29V). b- في تيار البلازما.

4-9: تقانة اللحام بقوس البلازما:

يستخدم قوس البلازما في لحام الفولاذ المقاوم للصدأ والتيتان وسبائك النيكل والموليبدنيوم والتتجستين ومعادن وسبائك أخرى كثيرة تستعمل في مجالات الصناعة المختلفة، مثل: صناعة الطائرات، والالكترونيات، والبواخر، والصناعات البيتروكيميائية، ومجالات أخرى.

وتختلف طريقة اللحام بقوس البلازما الأرجوني (أي غاز الأرجون يشكل البلازما) عن طريقة اللحام في وسط من غاز الأرجون (أي غاز الأرجون يستخدم للوقاية) بأن اشتعال القوس في الأولى يكون أكثر اتزاناً، ويصهر هذا القوس وبشكل متساوٍ حواف القطعتين المراد وصلهما.

إن أكثر طرق اللحام بقوس البلازما شيوعاً هي تلك الطريقة التي يتم فيها بدء اشتعال القوس بين الإلكترود غير المنصهر، ومعدن الوصلة (شكل 9-3).



الشكل (9-3): اللحام بقوس البلازما

1- منبع التغذية بالتيار الكهربائي 2- مولد ذو تردد عال 3- إلكترود من معدن التجسّتين 4- الغاز المشكل للبلازما 5- ماء للتبريد 6- الغاز المستخدم للوقاية. 7- فوهة للغاز المستخدم للوقاية. 8- فوهة لتشكيل القوس. 9- القوس. 10- الوصلة.

يأخذ قوس البلازما عادةً شكلاً أسطوانياً، لهذا لا تتعلق مساحة سطح المعدن التي من خلالها يتم نقل الحرارة من تيار البلازما إلى معدن الوصلة بالبعد بين الإلكترود والوصلة. ولهذا ويفضل الشكل الأسطواني لقوس البلازما فإن اللحام بوساطته أقل تأثراً بتغير طول القوس من اللحام العادي في وسط من الأرجون الوافي.

إن تغير طول القوس الذي نهايته على شكل مخروط (عند اللحام في وسط من الأرجون) يؤدي إلى تغير قطر القطعة المسخنة بهذا القوس، ويتغير نتيجة لذلك عرض الدرزة اللحامية. أما اللحام بقوس البلازما، فإنه يمكن الحصول على بقعة مسخنة ذات قطر ثابت على طول الوصلة؛ مما يؤدي في النتيجة إلى تنظيم عملية صهر معدن الأساس.

هذه الخاصية لقوس البلازما يستفاد منها في الوقت الحاضر وبنجاح كبير في عمليات لحام السماكات الرقيقة.

إن عملية تصريف الغاز للبلازما يجب أن تتم بحيث تكون حركة البلازما من مصدرها غير دورانية ومن ثم لا يؤدي دفع تيار البلازما على سطح حوض الصهر إلى تطاير المعدن المنصهر.

إن الغازات التي تستخدم لتشكيل البلازما، هي: الأرجون أو مزيج منه مع الهيدروجين أو الهليوم. وأما الغازات التي تستخدم لحماية حوض الصهر من التأكسد، وذلك عند لحام الفولاذ السبائكي والنحاس والنيكل وسبائكها، فهي: الأرجون مع (5 ÷ 8%) من الهيدروجين، ولا يمكن استعمال الهيدروجين كغاز واق في حالة لحام التيتان، وذلك لأن الهيدروجين يتفاعل مع هذا المعدن.

وأما عند لحام الفولاذ الكربوني قليل نسب الكربون والفولاذ السبائكي قليل نسب الخلط، فإن الغاز المستخدم للوقاية هو ثاني أكسيد الكربون.

يؤثر تركيب الغاز المستخدم للوقاية في عمق الصهر، ومن أجل شدة التيار نفسها. وعلى سبيل المثال نذكر أن زيادة كمية قليلة من الهيدروجين مع الأرجون تزيد في عمق الصهر. لهذا يجب ألا تزيد كمية نسبة الهيدروجين في هذا المزيج على (7%). وأما عمق الصهر عند استخدام غاز الهليوم للوقاية، فإنه أقل مما لو استخدم الأرجون أو مزيج منه مع الهيدروجين.

إذا كانت نسبة الهيدروجين في المزيج مع الأرجون قليلة جداً، وذلك عند لحام الفولاذ المقاوم للصدأ بقوس البلازما، فإن ذلك يمكن أن يؤدي إلى تشكل الفقاعات الغازية في الدرزة اللحامية. وتتعدم هذه الظاهرة إذا ازدادت نسبة الهيدروجين في المزيج حتى (7,5%). ويمكن تعليل ذلك بتنوع الشروط الحرارية لتبلور المعدن في كل من الحالتين. يمكن باستخدام قوس البلازما إجراء عملية اللحام التناكبي لسماكات حتى (9.5 mm) من دون شفرة الحواف، ومن دون استخدام سلك المعدن المضاف، ويمكن في بعض الأحيان إجراء عملية اللحام التناكبي وبنجاح ولسماكات حتى (12.5 mm) وبمسار واحد فقط. أما عند لحام السماكات حتى (25 mm)، فإن ذلك يتطلب شفرة الحواف

على شكل V أو U. ويجب أن يكون عمق الشنفرة وزاويتها أقل منه في حالة اللحام في وسط من غاز الأرجون الواقي، لهذا تكون كمية المعدن المضاف في حالة اللحام بقوس البلازما أقل بنحو ثلاث مرات من تلك في حالة اللحام في وسط من الأرجون الواقي. يمكن أن تتم عملية اللحام بقوس البلازما في الأوضاع جميعها (أفقياً، عمودياً، سقياً.... الخ)، ويبين الجدول (9-1) أنظمة اللحام بقوس البلازما المستخدمة في الوقت الحاضر للحام بعض المعادن والسبائك المعدنية:

الجدول (9-1): أنظمة اللحام بقوس البلازما لوصلات تراكبية ودون استخدام سلك المعدن المضاف

الغاز الواقى		الغاز المشكل للبلازما		عناصر القوس		قطر الفوهة	سرعة اللحام	سمائة الوصلة	اسم المعدن
التصريف m ³ /h	التركيب	التصريف m ³ /h	التركيب	توتر الفوس V	شدة التيار A	mm	m/min	mm	
0,99		0,14 0,28		31 32	160 145	.	0,97 0,61	2,4 3,2	الفولاذ المقاوم للصدأ
1,27 1,41	Ar + 7,5%H ₂	0,34 0,50	Ar + 7,5%H ₂	38	240	.	0,41 0,36	4,8 6,4	
1,40		0,14		35	305	2,4	0,19	12,7	
0,85	Ar	0,23	Ar	21	185	.	0,51	3,2	
1,27 0,85		0,34 0,113		26 38	190 285	.	0,38 0,254	4,8 12,7	التيتان
1,13		0,34 0,057		27	180	2,4	0,40	3,5	
1,40 0,85		0,085 + + 0,028	He + Ar	35 27	305 85	2,4	0,254	6,4	فولاذ قليل نسب الكربون المنوم *

ملاحظة: يتم لحام الألمنيوم بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة. أما لحام بقية المعادن، فيتم بتيار ذي قطبية مباشرة.

9-5: تقانة اللحام بقوس ميكرو البلازما:

يمكن باستخدام قوس ميكرو البلازما لحام السماكات التي تتراوح بين (0.025-0.8 mm) من الفولاذ الكربوني والفولاذ الذي لا يصدأ (stainless steel) والنحاس والنيكل والتيتان والتنتاليوم والموليبيدينيوم والتنجستين ومعادن وسبائك أخرى كثيرة. تتراوح شدة التيار المستخدمة في هذه الحالة بين (0.1-10 A).

يلقى اللحام بقوس ميكرو البلازما استخداماً واسعاً في الوقت الحاضر في الصناعات الإلكترونية المختلفة وفي صناعة الأجهزة.

إن تغير طول قوس ميكرو البلازما (وبالمقارنة مع تغير طول القوس في حالة اللحام في وسط من الأرجون الواقي) يؤثر وبشكل قليل جداً في جودة الوصلة اللحامية، ويتغير طول قوس ميكرو البلازما في حدود (1.27 mm $\pm$). بينما يتغير طول القوس عند اللحام العادي وفي وسط من الأرجون في (0,127 mm $\pm$).

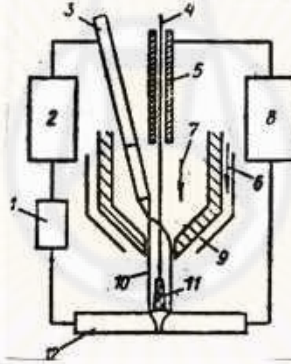
يُبين الجدول (9-2) أنظمة اللحام بقوس ميكرو البلازما لصفائح معدنية تناكبية.

الجدول (2-9): أنظمة لحام ميكرو البلازما لصفائح تناكبية (الغاز المشكل للبلازما هو الأرجون: تصريفه (17 L/h).

سرعة اللحام Cm/min	الغاز الواقي		شدة التيار A	سمائة الصفائح mm
	التركيب	التصريف L/h		
الفولاذ المقاوم للصدأ				
7,6 12,7 20,2	Ar	710 425	10	0,79 0,76
	0,5%H ₂ + Ar	566	6	
38,1	3%H ₂ + Ar	510	5,6	0,25
12,7 33 15,2 12,7	0,5%H ₂ + Ar 50%H ₂ + Ar	566	2	0,12
	0,5%H ₂ + Ar		1,6	
				0,3
التيتان				
22,9 14	75%He + Ar	566	12 5,8	0,56 0,38
12,7 15,2	50%He + Ar		5 3	0,20 0,02
النيكل				
15,2 38,1	1%H ₂ + Ar 75%He + Ar	566	3,5 6	0,41 0,30
النحاس				
15,2	75%He + Ar	566	10	0,08

9-6: تقانة اللحام بقوس البلازما وباستخدام إلكترود ينصهر:

يمكن عد هذه الطريقة بأنها تجمع ما بين طريقة اللحام بقوس البلازما، وطريقة اللحام بالإلكترود المنصهر في وسط من الغاز الخامل (انظر الشكل 9-4). يكون وضع الإلكترود المنصهر عادة بحيث ينطبق محوره على محور قوس البلازما. وأما إلكترود التجسيتين والمتوضع في حجرة القوس لمشعل البلازما، فإنه يميل عادةً بزاوية معينة على محور هذا المشعل. يمكن أن ينعقد وجود إلكترود التجسيتين في بعض مشاعل البلازما، ويعوض عنه في هذه الحالة بفوهة داخلية. يغذي الإلكترود المنصهر بمصدر تيار كهربائي خاص به. يوضح الجدول (9-3) كمية معدن الإلكترود المنصهرة التي تتعلق بمجموعة عناصر نظام اللحام (شدة التيار، وقطر الإلكترود، وقطبية التيار، وقطر الفوهة...الخ).



الشكل (9-4): مخطط اللحام بقوس البلازما مع إلكترود ينصهر.

- 1- منبع التيار. 2- جهاز التقوية للتيار. 3- إلكترود من التجسيتين. 4- إلكترود ينصهر. 5- موصل للتيار. 6- غاز واق. 7- الغاز المشكل للبلازما. 8- منبع للتيار. 9- فوهة نحاسية. 10- قوس البلازما. 11- قوس اللحام. 12- الوصلة اللحامية.

الجدول (9-3): علاقة كمية الإلكترود المنصهر بعناصر نظام اللحام.

كمية معدن الإلكترود المنصهر Kg/h	القطبية	الإلكترود المنصهر		عناصر القوس			
		قطر الإلكترود mm	نوع المعدن	قوس اللحام (بين الإلكترود المنصهر والوصلة)		قوس البلازما (بين الإلكترود المتجهتين والوصلة)	
				توتر القوس V	شدة التيار A	توتر القوس	شدة التيار A
0,66	مباشرة	0,5	فولاذ قليل نسب الكربون	.	0	25	170
1,68		1,2				41	134
4,62		1,6	نسب الخلط	.	0	46	264
11,4		1,2	فولاذ سيالكي قليل نسب الخلط			42	230
23,4	مكسبة	1,2	فولاذ قليل نسب الكربون	35	220	49	350
1,26				38	470	41	126
5,40			نسب الخلط	.	0	45	105
13,2*			فولاذ قليل نسب الكربون	30	225	48	92
7,2			فولاذ مقاوم للصدأ	37	300	39	125
29,4*				35	250	52	100
1,68		1,2	الأمونيوم	47	470		
21,0*				21	115	33	85
				36	390	43	105

* - في حالة الحركة الدورانية لقوس البلازما.

ويمكن أن تصل هذه الكمية في بعض الأحيان إلى نحو: (30 Kg /h). يجب أن نذكر هنا أنه إذا كانت عملية اللحام هذه تجري باستخدام قطبية معكوسة وبكلا الإلكترودين (المنصهر وغير المنصهر)، وإذا كانت شدة التيار المغذي للإلكتروود المنصهر عالية، فإننا نلاحظ أن لقوس البلازما حركة دورانية. ونتيجة لهذه الحركة الدورانية لقوس البلازما ينتج لدينا درزات لحامية عريضة، وأما عمق الصهر فيها فقليل جداً.





الفصل العاشر

اللحام بالأشعة الإلكترونية وبأشعة الليزر

اللحام بالأشعة الإلكترونية

1-10: مبدأ توليد الأشعة الإلكترونية:

تُستخدم الإلكترونات في النقانة الحديثة لتحرير الضوء الوارد على شاشة أنابيب الأشعة الإلكترونية لرواسم الاهتزاز المهبطية والتلفزيونات. وتُستخدم الظواهر (الناجمة عن إطلاق الإلكترونات على مواد معينة) في المجاهر الإلكترونية وأجهزة الأشعة السينية وأجهزة التحليل الطيفي - الكمي وفي أجهزة أخرى كثيرة.

يعد الإلكترون أصغر جزيئة مشحونة كهربائياً من المادة وأقلها استقراراً، ويمكن الحصول عليه حرّاً؛ أي باستخدام الطاقة المناسبة يمكن أن يحدث انبعاث الإلكترون من سطح المعدن. وغالباً ما يستعمل للحصول على إلكترونات حرة ما يسمى المهابط الترمو الإلكترونية. ويتم ذلك بتسخين المهبط لدرجات حرارة عالية تستطيع عندها الإلكترونات أن تكتسب السرعة الكافية لأن تهجر المهبط إلى الفراغ المحيط به. ونتيجة لذلك يحدث ما يسمى الانبعاث الترمو - إلكتروني. وتتعلق شدة تيار الانبعاث الترمو إلكتروني بدرجة حرارة المهبط، وعمل مخرج الإلكترون، وخواص سطح المعدن (المهبط). ويمكن التعبير عن هذه العلاقة بالمعادلة الآتية:

حيث:

$$j_e = AT^2 e^{-e\phi_0/KT} \quad (1-10)$$

j_e - كثافة تيار الانبعاث الترمو إلكتروني: $\left(\frac{A}{cm^2}\right)$

A - ثابت الانبعاث، ويتعلق بخواص السطح المشع ويساوي لأغلب المعادن:

$$\left[40 \div 70 \frac{A}{cm^2 \cdot ^\circ C^2}\right]$$

-T درجة الحرارة المطلقة للمهبط (K°).

-e أساس اللوغاريتم الطبيعي.

- $e\phi_0$ عمل مخرج الإلكترون من المعدن (J).

$$1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$$

-K ثابت بولتزمان ويساوي:

وتبين المعادلة (1-10) أن كثافة تيار الانبعاث تتعلق كثيراً بدرجة حرارة المهبط. ولكن زيادة درجة الحرارة تؤدي وبشكل مفاجئ إلى زيادة سرعة تبخر معدن المهبط. ونتيجة لذلك تقل مدة استخدامه.

تستطيع الإلكترونات الحرة تحت تأثير المجالات الكهربائية أو المغناطيسية أن تتحرك، وبما أن الإلكترون يملك أصغر كتلة من بين الجزيئات المادية المشحونة، فإن الإلكترون يستطيع أن يتحرك وبتسارعات كبيرة جداً. فإذا وجد الإلكترون في مجال كهربائي ذي توتر E ومحصور بين صفيحتين متوازيتين (الشكل 1-10)، فإن القوة المؤثرة في الإلكترون تساوي جداء شحنة الإلكترون بتوتر المجال (في المكان الموجود فيه الإلكترون)، العلاقة:

$$F = -eE \quad (2-10)$$

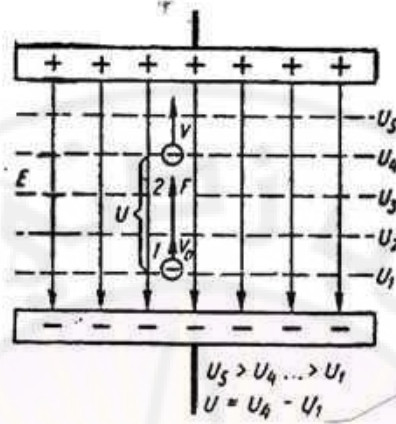
وتبين إشارة السالب في المعادلة (2-10) أنه نتيجة لشحنة الإلكترون السالبة فإن اتجاه القوة سيكون معاكساً لاتجاه توتر المجال الكهربائي. إن العمل الذي يبذله المجال الكهربائي على حركة شحنة الإلكترون من نقطة إلى نقطة أخرى يساوي جداء الشحنة بفرق التوتر بين هاتين النقطتين:

$$A = eU = e(U_2 - U_1) \quad (3-10)$$

حيث U- فرق الكمون بين النقطتين 1 و 2 (الشكل 1-10). ويُصرف هذا العمل على اكتساب الإلكترون لطاقة حركية. وتكتب هذه الطاقة الحركية بالمعادلة الآتية:

$$W_K = \frac{m_e (V^2 - V_0^2)}{2} \quad (4-10)$$

حيث: V_0 و V - سرعة الإلكترون في النقطتين 1 و 2 على الترتيب.



الشكل (1-10): حركة الإلكترون في مجال كهربائي مسرع.

إن مجموع الطاقة الحركية والطاقة الكامنة للإلكترونات (وعند حركة هذه الإلكترونات في مجال كهربائي) يبقى ثابتاً. لهذا من المعادلتين (3-10) و (4-10) نجد أن:

$$\frac{m_e(V^2 - V_0^2)}{2} = eU \quad (5-10)$$

- فإذا كانت سرعة الإلكترون البدائية (V_0) مساوية الصفر، فإن العلاقة:

$$\frac{m_e V^2}{2} = eU \quad (6-10)$$

يمكن من المعادلة (6-10) أن نستنتج أن طاقة الإلكترونات تتعين بكتلتها وسرعتها. ويمكن أن تصل طاقة الإلكترونات إلى قيم كبيرة جداً. ويتعلق هذا بفرق التوتر في المجال الكهربائي المسرع. ويمكن للسرعة أن تعين من خلال توتر المجال الكهربائي المسرع وذلك وفق المعادلة الآتية:

$$V = \sqrt{\frac{2e}{m_e} U} \quad (7-10)$$

فإذا استبدلنا في المعادلة (10-7) بكتلة الإلكترون ($m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ Kg}$) وشحنة الإلكترون ($e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ K}$) يمكن إيجاد علاقة تقريبية لحساب سرعة الإلكترون:

$$V = 600\sqrt{U} \quad \text{Km/sec} \quad (8-10)$$

- من العلاقة (10-8) تبين أن السرعة التي يحصل عليها الإلكترون عند حركته في حقل كهربائي مسرع تتعلق فقط بفرق الكمون. ومن هذه العلاقة نلاحظ أن سرعة الإلكترونات يمكن أن تكون عالية جداً من أجل فرق كمون كبير نسبياً. فمثلاً: عند فرق كمون ($U = 10000 \text{ V}$)، فإن سرعة الإلكترونات تصبح ($V = 60.000 \text{ Km/sec}$). وعند هذه السرعة العالية للإلكترونات، فإن العمليات كلها الناجمة عن حركة الإلكترونات سوف تجري بسرعة عالية أيضاً. فإذا تحكمنا باتجاه السرعة البدائية للإلكترونات وقيمتها وباتجاه الحقل الكهربائي المسرع وقيمتها، فإنه يمكننا أن نجبر الإلكترونات على الحركة بالمسار المحدود مسبقاً.

وهذا يؤدي إلى إمكان التحكم بحركة الإلكترونات، والحصول على الطاقة المطلوبة من حركة الإلكترونات وكثافتها في الحزمة الإلكترونية... الخ.

إن للحقل المغناطيسي التأثير نفسه في حركة الإلكترونات كما لهذا الحقل تأثير في تيار كهربائي يمر في سلك معدني. وتُعين القوة المؤثرة في الإلكترون المتحرك في الحقل المغناطيسي بالعلاقة الآتية:

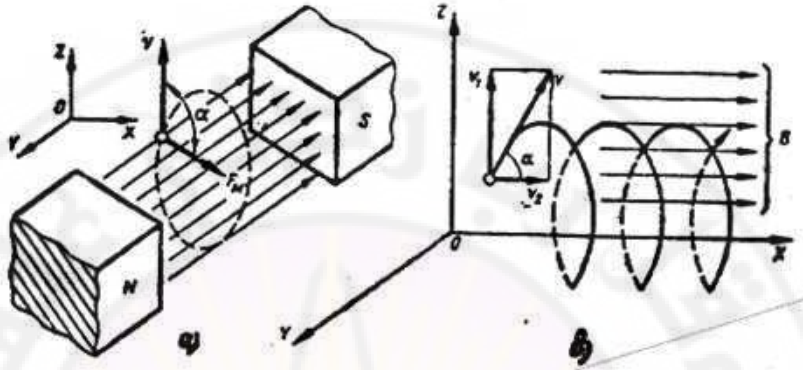
$$F = BeV \sin\alpha \quad (9-10)$$

حيث: Be- التحريض المغناطيسي.

α - الزاوية بين اتجاه التيار وخطوط القوى في الحقل المغناطيسي. من العلاقة (10-9) نجد أن الإلكترون الذي يتحرك باتجاه خطوط القوى المغناطيسية نفسه ($\alpha = 0$) لا يتأثر بهذا المجال المغناطيسي، وتبقى حركته بالسرعة البدائية V_0 نفسها.

أما إذا كان اتجاه حركة الإلكترون عمودياً على خطوط القوى المغناطيسية ($\alpha = \frac{\pi}{2}$) وكما في الشكل (10-2)، فإن القوة المؤثرة في الإلكترون:

$$F = B_e V \sin \frac{\pi}{2} = B_e V$$



الشكل (2-10): مسار الإلكترون في الحقل المغناطيسي.

يُعيّن اتجاه هذه القوة حسب قاعدة اليد اليسرى. وتكون هذه القوة دوماً عمودية على اتجاه السرعة اللحظية للإلكترون (V) واتجاه خطوط القوى المغناطيسية. وحسب قانون نيوتن الثاني فإن هذه القوة تكسب الإلكترون الذي كتلته (m) تسارعاً يساوي (BeV/me). وبما أن التسارع عمودي على اتجاه السرعة V ، فإن الإلكترون (تحت تأثير هذا التسارع العمودي والمتجه دوماً نحو المركز) سوف يتحرك على محيط دائرة عمودية على خطوط القوى المغناطيسية. يمكن أن يكون اتجاه السرعة البدائية غير عمودي على التحريض المغناطيسي، أي إن: ($\alpha < \frac{\pi}{2}$) وعندها، فإن مسار حركة الإلكترون يُعيّن بمركبتي السرعة البدائية: المركبة العمودية V_1 و المماسية V_2 (انظر الشكل 2-10). وتكون المركبة الأولى عمودية على اتجاه خطوط القوى المغناطيسية، وأما الثانية فتكون موازية لها.

يتحرك الإلكترون تحت تأثير المركبة العمودية في محيط دائري، وتحت تأثير المركبة المماسية يتحرك الإلكترون باتجاه خطوط القوى المغناطيسية نفسها ونتيجة تأثير هاتين المركبتين معاً، فإن مسار حركة الإلكترون يأخذ شكلاً حلزونياً (انظر الشكل 2-10b).

ويستخدم إمكان تغيير اتجاه حركة الإلكترون الواقع تحت تأثير حقل مغناطيسي للتحكم في توجيه التيار الإلكتروني وتركيزه في نقطة معينة (والتي تسمى المحرق). تخترن الإلكترونات التي تتحرك في حقل كهربائي طاقة كبيرة جداً. وعندما تصطدم هذه الإلكترونات بسطح المعدن (المصعد)، فإن سرعتها سوف تقل وبشكل مفاجئ نتيجة اصطدام هذه الإلكترونات بسطح المعدن (المصعد)؛ مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارته. فإذا فرضنا أن الإلكترونات عددها (N) في الثانية تصطدم بسطح المعدن (المصعد) فإن الاستطاعة التي يكتسبها هذا المعدن على شكل حرارة تساوي:

$$P_a = N \cdot e \cdot U \quad (11-10)$$

إن جداء (N.e) هو كمية الكهرباء (مقدرة بالكولونات) والتي يكتسبها المصعد في واحدة الزمن (sec). وهذا ما هو إلا شدة التيار مقدرة بالأمبيرات (A). لذا فإن الاستطاعة التي يكتسبها المصعد:

$$P_a = I_a \cdot U \quad (12-10)$$

10-2: مبدأ اللحام بالأشعة الإلكترونية:

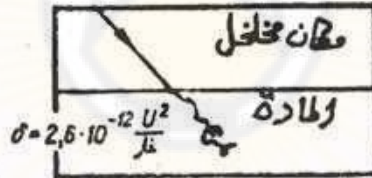
إن تسخين المعدن عن طريق رمية بالإلكترونات هو في أغلب الأحيان ظاهرة غير مرغوب فيها. ولكن هذه الظاهرة بدأت في السنوات الأخيرة تستعمل كعامل إيجابي في طرق عدة متعلقة بالتأثير الحراري (اللحام، والصهر، والتشغيل، وإزالة الأكاسيد السطحية... الخ). وهذا ما جعل استخدام الشعاع الإلكتروني كبيراً في الوقت الحاضر. لقد ثبت أن الإلكترونات التي تملك طاقة معينة تستطيع أن تنفذ في المادة. وتحدد سماكة الطبقة من المادة التي يستطيع الإلكترون أن ينفذ منها، ويخسر كل سرعته مسافة الإلكترون.

وُتُعين مسافة الإلكترون بالمعادلة الآتية:

$$\delta = 2.6 \cdot 10^{-12} \frac{U^2}{\rho} \quad (13-10)$$

حيث: δ - مسار الإلكترون (cm). U - التوتر المسرع (V).
 ρ - الوزن النوعي للمادة (g/cm^3).

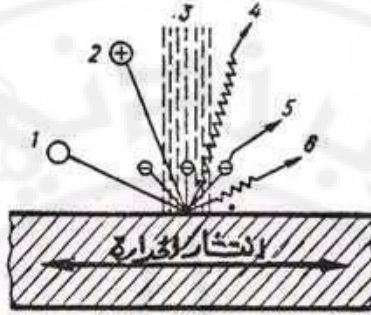
لقد بينت الحسابات التي أجريت وفق المعادلة (13-10) أن الإلكترونات تستطيع أن تتغذى في عمق المعدن مسافة عشرات الميكرومترات وحتى مئات الميكرومترات، وهذا يتعلق بقيمة التوتر المسرع وخواص المعدن (المصعد).
 إن عمق نفاذ الإلكترونات في المعدن غير كبير، إلا أن أخذه في الحسبان يسمح بتفسير بعض الظواهر المتعلقة بخواص التسخين الإلكتروني عند اللحام.
 يتبعثر الإلكترون الذي ينفذ إلى داخل المادة ويخسر طاقته نتيجة لارتطامه بمجموعة أنوية والكثرونات في الهياكل الشبكية؛ مما يؤدي في النهاية إلى تغير سرعة الإلكترون وانحراف مسار حركته (انظر الشكل 3-10).



الشكل (3-10): مسار الإلكترون في المادة.

تفقد الإلكترونات الجزء الأساسي من طاقتها في نهاية المسار داخل المادة. لهذا فإن التسخين الإلكتروني (اللحام بالأشعة الإلكترونية) يختلف عن طريق اللحام الأخرى بأن التسخين في الأخيرة يتم عن طريق انتشار الحرارة من السطح إلى الداخل، بينما يتم التسخين الإلكتروني في داخل المادة، لهذا فإن الإلكترونات تفقد طاقتها بشكل غير متساو وعلى طول مسارها في المادة، وهذا يؤدي إلى أن الانتشار الحراري الأكثر كثافة يكون عادة على عمق معين من سطح المادة.

إن الصورة الفيزيائية للظواهر الخارجية المرافقة لتأثير الإلكترونات في المعدن تتألف من الإشعاع السيني (أشعة رونتجن والإشعاع الحراري والضوئي وظهور الإلكترونات الثانوية والمنعكسة وتبخّر المعدن على شكل ذرات وشوارد معدنية - انظر (الشكل 10-4)).



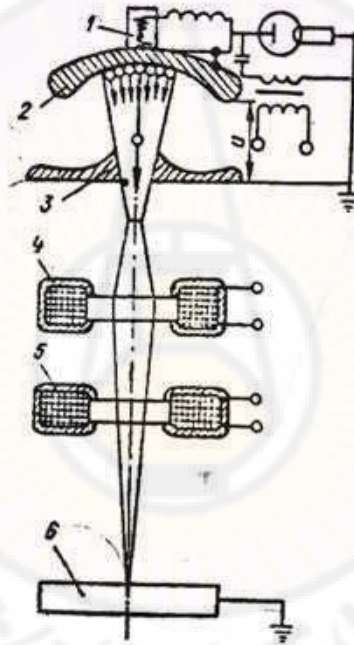
الشكل (10-4): الصورة الفيزيائية للظواهر المرافقة لنفاذ الإلكترون في المادة.

- 1- جزيئات المعدن 2- شوارد 3- الشعاع الإلكتروني 4- الإشعاع السيني 5- الإلكترونات المنعكسة والثانوية 6- الإشعاع الحراري والضوئي.

10-3: تقانة اللحام بالأشعة الإلكترونية في وسط مخلخل:

إن الميزة الأساسية لعملية اللحام بالأشعة الإلكترونية تكمن في استخدام الطاقة الحركية للإلكترونات التي تتحرك بسرعة هائلة جداً في الوسط المخلخل. عند ارتطام هذه الإلكترونات بسطح المعدن، فإن الجزء الأكبر من طاقتها الحركية سوف يتحول إلى حرارة تستخدم لصهر المعدن. وفي حالة استخدام الأشعة الإلكترونية كمصدر حراري لعمليات اللحام فإنه من الضروري في البداية الحصول على إلكترونات حرة، ومن ثم جمعها في حزمة وإعطاؤها سرعات عالية جداً من أجل رفع طاقتها الحركية. هذه الطاقة التي تتحول كلياً فيما بعد إلى حرارة عند نفاذ الإلكترون داخل المعدن المراد لحامه. يتم الحصول على إلكترونات حرة بواسطة مهبط معدنية تصدر هذه الإلكترونات، وأما تسريعها فيتم في حقل كهربائي ذي توتر عالٍ بين المهبط والمصدر، ويستخدم الحقل المغناطيسي لجمع هذه الإلكترونات في حزمة وتركيز اتجاهها نحو المحرق، ويحدث التوقف المفاجئ (الفرملة) لتيار الإلكترونات، وبشكل آلي داخل المعدن المراد لحامه.

يتم توليد الشعاع الإلكتروني في جهاز خاص يُسمى المدفع الإلكتروني. ويوضح الشكل (5-10) رسماً تخطيطياً لآلة اللحام بالأشعة الإلكترونية. والمدفع الإلكتروني في هذه الآلة هو جهاز يتم بواسطته الحصول على حزمة إلكترونية ضيقة ولها كثافة طاقة عالية. ويتألف هذا الجهاز من المهبط (1) والذي يمكن تسخينه إلى درجات حرارة مرتفعة. ويتوضع المهبط داخل الإلكترود المهبطي (2). وعلى مسافة معينة يتوضع الإلكترود المسرع (3).



الشكل (5-10): رسم تخطيطي لآلة اللحام بالأشعة الإلكترونية.

ويكون شكل الإلكترود المهبطي والمصعد حيث يؤمنان وجود حقل كهربائي بينهما قادر على جمع الإلكترونات في حزمة قطرها يساوي قطر فتحة المصعد. يمكن أن يصل فرق الكمون الموجب للإلكترود المسرع إلى عشرات الآلاف من الفولتات؛ لذا تكتسب الإلكترونات الصادرة عن المهبط سرعة وطاقة عاليتين. وتتحرك الإلكترونات بعد خروجها من المصعد بسرعات متساوية تقريباً.

- يتم تغذية المدفع الإلكتروني بالكهرباء من منبع تيار مستمر ذي توتر عالٍ فتنتافر الإلكترونات؛ لأن شحنتها الكهربائية متشابهة؛ مما يؤدي إلى توسع قطر الحزمة الإلكترونية، ومن ثمّ تناقص كثافة الطاقة فيها. لهذا ولزيادة كثافة الطاقة في الشعاع الإلكتروني الخارج من فتحة المصعد يتم تجميع هذا الشعاع بواسطة حقل مغناطيسي صادر عن عدسة مغناطيسية (4)، وهذا يؤدي في النهاية للحصول على حزمة إلكترونية ذات كثافة، وطاقة عالية، وقطرها صغير جداً، وسوف ترتطم هذه الحزمة بالمعدن المراد لحامه (6) بسرعة عالية جداً، ونتيجة لفرملة هذه الحزمة الإلكترونية داخل المعدن، فإن الطاقة الحركية للإلكترونات سوف تتحول إلى حرارة تسخن المعدن إلى درجة حرارة عالية.

لتحريك الشعاع على طول الوصلة المراد لحامها يتم وضع نظام مغناطيسي موجه (5) والذي بوساطته يمكن تسديد الشعاع الإلكتروني على المنطقة المراد لحامها من الوصلة. تُفَرِّغ الآلة عادةً من الداخل ليصبح ضغطها نحو (4-10 مم زئبقي) وذلك لأجل حركة الإلكترونات الحرة من المهبط إلى المصعد وبعدها إلى الوصلة اللحامية ولعزل المهبط حرارياً وكيميائياً وللتخلص من إمكان تولد قوس كهربائي بين الإلكترودين (الإلكتروود المهبطي والإلكتروود المسرع). ويتم التفريغ بجهاز تفريغ خاص يوصل بالآلة. لا ترافق حركة الإلكترونات في الفراغ أي ظواهر ضوئية، لهذا فإن الشعاع الإلكتروني لا يمكن رؤيته، ولكن تأثيره في المعدن يمكن متابعته وذلك بتسخين هذا الشعاع للمكان الذي يرتطم به من سطح المعدن.

تعد كثافة الطاقة في مصدر اللحام إحدى المزايا الأساسية لهذا المصدر. فهي التي تحدد مردوده الحراري، وشكل الصهر، وأبعاد منطقة التأثير الحراري، وعناصر أخرى كثيرة. يعد التيار الإلكتروني من أكثر المصادر الحرارية مردوداً في عمليات اللحام؛ ذلك لأن كثافة طاقة الحزمة أعلى كثيراً من كثافة طاقة القوس الكهربائي. يبين الجدول التالي أصغر المساحات لبقع تسخين يمكن تحقيقها بأكبر كثافة طاقة لمصادر حرارية مختلفة.

الجدول (1-10): كثافة الطاقة لمصادر حرارية مختلفة والمساحة الصغرى لبقع التسخين.

المصدر الحراري	المساحة الصغرى لبقعة التسخين cm^2	القيمة الأعظمية لكثافة الطاقة W/cm^2
لهب الإكسي - إستيلين	10^{-2}	5.10^4
القوس الكهربائي	10^{-3}	1.10^5
الشعاع الإلكتروني أو شعاع الليزر	10^{-7}	5.10^8

نلاحظ من الجدول (1-10) أن كثافة الطاقة في الشعاع الإلكتروني تزيد نحو 5000 مرة على تلك في القوس الكهربائي. كما نلاحظ أن كثافة الطاقة في الشعاع الإلكتروني هي 5.108 W/cm^2 أي (500000 KW/cm^2) ، أي إنه بواسطة حزمة الإلكترونية يمكن تركيز طاقة على مساحة (1 cm^2) لا تعطيها عنفة غازية ضخمة.

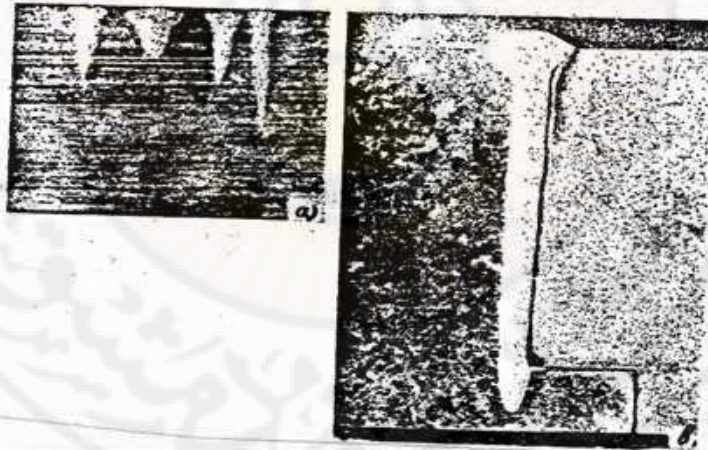
يمكن الحصول على درجات حرارة عالية جداً في معدن مُعرَّض للشعاع الإلكتروني وفي فترة زمنية قصيرة جداً. فقد أظهرت الحسابات أنه إذا كانت سماكة المعدن لا تتعدى مسافة الإلكترون، فإن درجة حرارة منطقة التسخين سوف تصل إلى نحو $^{\circ}\text{C}$ $(107 \div 108)$ في ثانية واحدة. ولكن المعدن في الشروط العملية لا يمكن أن تصل درجة حرارته إلى هذا الحد؛ ذلك لأن سطحه يتبخر عند ارتطام الحزمة الإلكترونية به، ومن المعروف أن السطح يكتسب الجزء الأكبر من طاقة هذه الحزمة. عدا ذلك يؤدي تبخر سطح المعدن إلى اختلاط المعدن المنصهر بنواتج التبخر؛ مما يسبب تعديل درجات الحرارة.

يجب أن تكون كثافة طاقة الحزمة الإلكترونية محدودة في حالات اللحام؛ ذلك لأنه عند استخدام حزمة إلكترونية ذات كثافة طاقة عالية، فإن عملية صهر المعدن يرافقها عملية تبخر، وهذا يؤدي في النهاية إلى قص المعدن بدلاً من لحامه. وعلى هذا الأساس يتم تصميم المدافع الإلكترونية فيما يخص عمليات تقب المعادن أو قصها أو لحامها.

إن كثافة طاقة الحزمة الإلكترونية تمكننا من لحام أنواع المعادن جميعها وبسماكات مختلفة. ولكن عملية اختيار كثافة الطاقة في الحزمة الإلكترونية المستخدمة لعمليات

اللحام تُحدد بمجموعة عوامل: خواص المعدن (درجة انصهاره، الناقلية الحرارية... الخ)، وسماكة الوصلة، وشكل الوصلة... الخ. فعند لحام المعادن التي درجات انصهارها مرتفعة والمعادن ذات الناقلية الحرارية الجيدة وفي حالة لحام السماكات الكبيرة، فإن كثافة طاقة الحزمة الإلكترونية يجب أن تكون عالية، وعند لحام المعادن التي درجات انصهارها وتبخرها منخفضة وفي حالة لحام السماكات القليلة، فإنه من الأفضل استخدام حزم إلكترونية ذات كثافة طاقة منخفضة، وأحياناً وفي مثل هذه الحالات يمكن استخدام الحزم الإلكترونية النبضية (الحزم المتولدة من إلكتروود مهبطي يغذيه تيار نبضي).
يبين الشكل (10-6) كيف يتغير شكل منطقة الصهر وأبعادها عند اللحام بالأشعة الإلكترونية، وذلك تبعاً لتغير استطاعة آلة اللحام وفرق كمون الإلكتروود المسرع (المصدر).

بقي أن نذكر أنه توجد في الوقت الحاضر آلات لحام بالأشعة الإلكترونية تكفي استطاعتها للحام سماكات كبيرة تراوح بين (200 - 500 mm).



الشكل (10-6): تغير شكل منطقة الصهر وأبعادها تبعاً لتغير استطاعة آلة اللحام وتوتر الإلكتروود المسرع.

اللحام بأشعة الليزر

10-4: المولدات الكوانتية ومبدأ توليد أشعة الليزر:

ظهرت المولدات الكوانتية منذ أمدٍ بعيد. ولكن يمكن بواسطة هذه المولدات في الوقت الحاضر الحصول على حزم ضوئية عالية الكثافة وموجهة، ويمكن تركيز طاقة هذه الحزم على مساحات لا تتعدى أجزاء من الألف من المليمتر المربع. وعلى هذا الأساس صُمِّمت في العصر الحاضر آلات أشعة الليزر وإنتاجها التي تُستخدم في عمليات اللحام والقص والمعالجات الحرارية المختلفة... الخ، ويعد تحريض الضوء هو الأساس الذي يركز عليه عمل المولد الكوانتي وجهاز تقوية الأشعة الضوئية. ويحدث التحريض الضوئي عندما تمتص الهياكل الشبكية للذرات الأمواج الكهرومغناطيسية أو الفوتونات، فعندما يمتص الهيكل الشبكي فوتوناً، فإن طاقة هذا الفوتون تُعطى للذرة، فتصبح الذرة مثارة.

وبعد فاصلٍ زمني معين تبدأ الذرة بإشعاع هذه الطاقة ذاتياً وعلى شكل فوتونات، وتعود بعد ذلك الذرة إلى وضعها الأصلي. وعندما تكون الذرة مثارة، فإنه يمكن وتحت تأثير فوتون خارجي (موجة ضوئية ساقطة) أن نجبر هذه الذرة على أن تشع فوتوناً. وتكون طاقة الفوتون الخارجي المحرّض للذرة مساوية تماماً طاقة الفوتون الذي تشعه ذاتياً، ويُسمى هذا الإشعاع الإشعاع المحرّض. من هذا كله نستنتج أن إسقاط موجة ضوئية على هيكل شبكي لذرات يُقوّي الموجة الضوئية التي تشعها هذه الذرات المثارة. والشيء المهم في هذه العملية كلها هو أن قاعدة الموجة الضوئية الناتجة تنطبق على قاعدة الموجة الضوئية المحرّضة. وهذه هي الظاهرة التي تستخدم في أجهزة التقوية الكوانتية.

تقوم المولدات الكوانتية بتحويل الطاقة الكيميائية والكهربائية والضوئية والحرارية إلى إشعاعات ضوئية عادية هي أمواج كهرومغناطيسية. ويقع مجال هذه الأشعة في مجال الأشعة فوق البنفسجية المرئية والأشعة تحت الحمراء.

يمكن أن يكون المشع جسماً صلباً مصنوعاً من الزجاج والنيوديوم أو الياقوت... الخ. فالمولدات الكوانتية التي تحوي جسماً صلباً مصنوعاً من الألمنيوم والصوديوم والنيوديوم

على شكل سبيكة يمكن أن تصل استطاعة هذا النوع من المولدات إلى (1KW). ويكون الإشعاع مستمراً. وتسمى المولدات التي تحوي جسماً صلباً كمشح المولدات الكوانتية الصلبة، ويمكن أن تستخدم بعض السوائل كمشعات، مثل: محاليل أكاسيد النيوديوم أو مواد الصباغة. وتكون مزايا المولدات الكوانتية التي تحتوي على السوائل غير العضوية كعناصر إشعاع قريبة جداً من مزايا المولدات الكوانتية الصلبة النبضية ولكن طاقة الأولى في النبضة أعلى، ويمكن استخدام بعض الغازات أو مزيج منها كمشعات مثل: الهيدروجين، والأزوت، والأرغون، وثاني أكسيد الكربون... الخ.

وتعطي المولدات الغازية إشعاعات مجالها الإشعاعي كبير نسبياً واستطاعتها عالية وذات إشعاع مستمر ومردود عالٍ نسبياً يصل نحو (15 ÷ 20%).

ولقد تم في السنوات الأخيرة تصميم مشعات من أنصاف نواقل مصنوعة من الكريستال الأحادي (مونو كريستال): أرسينيدات الغاليوم والإنديوم أو خلائط الكاديوم مع الكبريت. وتنصف المولدات التي تستخدم فيها أنصاف النواقل كمشعات بالوزن الخفيف والمردود العالي الذي يمكن أن يصل لنحو (70%)؛ فضلاً عن أنها اقتصادية.

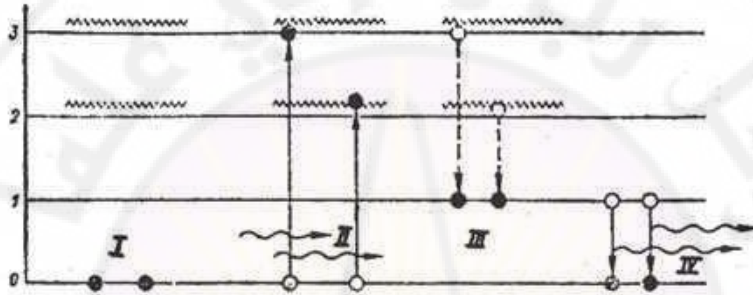
لكي تثار المشعات التي ذكرت آنفاً، وتصدر إشعاعات يتم تحريضها بالشكل الآتي:

- تحريض المشعات السائلة والصلبة بضوء مصباح نبضي.
 - تحريض الغازات أو مزيج منها بالطاقة التي يصدرها قوس غازي.
 - تحريض أنصاف النواقل بطاقة تيار مستمر يمر في مجال التحويل (p-n).
- صُممت في الوقت الحاضر أنظمة ليزر غازية تستخدم فيها حرارة التفاعلات الكيميائية وطاقتها لتحريض الغازات. ويعمل الليزر إما نبضياً أو مستمراً، وذلك تبعاً لنوعية نظام التحريض المستخدم.

يستعمل اللياقوت كعنصر إشعاع في المولدات التقانية (أي التي تستخدم في التقانات المختلفة)، فاللياقوت ما هو إلا أكسيد الألمنيوم، استبدلت فيه ذرات من الكروم مكان ذرات من الألمنيوم (الذوبان التبادلي).

ويستعمل عادةً في المولدات الكوانتية اللياقوت ذي اللون الأحمر الوردي الباهت الذي يحتوي على (0.05 Cr) بالإضافة إلى أكسيد الألمنيوم.

ويصنع الكريستال الوردي (الياقوت) على شكل قضيب، ويحدد طول هذا القضيب وقطره استطاعة الإشعاع الناتج. يُبلور طرفا القضيب وذلك للحصول على سطحين مستويين. ويطلق السطحان بالفضة ليصبحا عاكسين للضوء. ويوضع بعد ذلك قضيب الياقوت بالقرب من مصباح إلكتروني يُصدر ضوءاً عريضاً. ويستخدم هذا الضوء في التحريض. ويبين الشكل (7-10) مخطط المولد الكوانتي الذي يحوي الياقوت كمشح.



الشكل (7-10): مخطط الطاقة لمولد كوانتي يحوي كريستال الياقوت.

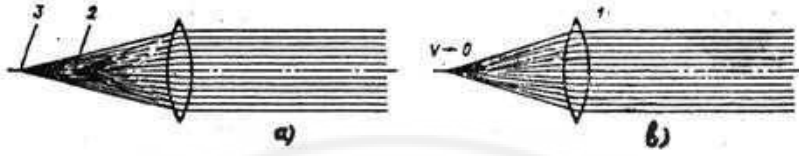
تمتص ذرات الكروم التي تكون في وضعها البدائي (I) موجودة في كريستال الياقوت لفوتونات (الخطوط المتعرجة في الشكل 7-10). وتتحول هذه الذرات نتيجة لذلك إلى مستوى (II) أعلى من المستوى الذي كانت فيه. ويتحول جزء من طاقة هذه الذرات إلى الهيكل الشبكي؛ مما يرفع درجة حرارته، وتتحول الذرات إلى مستوى أكثر استقراراً (III). وبعد ذلك ونتيجة لتأثير الفوتونات المحرّضة التي تطلقها ذرات كروم أخرى، فإن هذه الذرات تصدر فوتونات لها أطوال أمواج مميزة وتعود بعدها هذه الذرات إلى وضعها المبدئي (IV). يتم تغذية الليزر الياقوتي من مصباح نبضي، فعندما يشع هذا المصباح بضوئه على قضيب الياقوت، فإن الجزء الأكبر من ذرات الكروم يصبح في وضع مثار. وعندما تطلق الذرة المثارة فوتوناً من ذاتها (فوتوناً ذاتياً) وباتجاه محور الكريستال فإن هذا الفوتون يجبر ذرة أخرى مثارة أن تصدر فوتوناً آخر (فوتوناً تحريضياً)، وتستمر هذه العملية بشكل سرب ضوئي، ذلك لأن الفوتونات المنعكسة عن طرف الكريستال، تتحرك في الكريستال نفسه وباتجاه محوره. وتزداد كثافة الحزمة الضوئية نتيجة للانعكاسات

الضوئية المستمرة عن طرفي القضيب. فإذا ما وصلت كثافة الحزمة الضوئية الصادرة عن المصباح الضوئي إلى مستوٍ يفوق المستوى الحدي يبدأ عندها ما يسمى ظاهرة النفقية الكوانتية، وعند ذلك في أجزاء من الألف من الثانية ينطلق من الطرف الشفاف لهذا الكريستال تيار كثيف من الفوتونات بطول موجة يساوي ($6943 \text{ \AA}$). وتتميز هذه الحزمة الضوئية الصادرة بضيق قطرها واستطاعتها العالية؛ فضلاً عن أن أشعتها متجانسة ذاتياً.

وهكذا يكون إشعاع الليزر الصادر ضيق القطر وموجهاً، وذلك لأن عدد الأمواج الصادرة يفوق عدد الأمواج المنعكسة بآلاف المرات، ويكون اتجاه هذه الأمواج الصادرة موازياً تماماً لمحور الكريستال ومن دون أي انحراف في مسارها، وتكون استطاعة هذا الإشعاع عالية، ذلك لأن الإشعاع المحرّض (الصادر عن الذرات المثارة) يحدث قبل الإشعاع الذاتي بوقت كبير.

إن وجود الدرجة العالية من التجانس الذاتي في الإشعاع مشروطاً بأن الإشعاع المحرّض هو عملية توافقية (resonance)، ونتيجة لذلك فإن هذا الإشعاع يكون مشدوداً إلى مركز نطاق الترددات أكثر من الإشعاع الذاتي. تحرّض هذه الترددات المميزة إشعاعاً له التردد نفسه. لهذا فإن الموجة في المولد الكوانتي تكون في مجال ضيق جداً من الترددات وأطوال الأمواج.

إن الضوء الأبيض العادي والمولف من أمواج كهرومغناطيسية ذات أطوال مختلفة يتجمع في محرق العدسة وفي حجم كبير نسبياً وهذا ناتج من ظاهرة الانتشار عند الضوء العادي. فظاهرة الانتشار هذه تؤدي إلى أن حزمة ضوئية ضيقة جداً من الضوء العادي تتوسع بعد مرورها من العدسة وتشكل طيفاً ضوئياً، أما شعاع الليزر الضوئي المتجانس ذاتياً، فإنه يتألف من أمواج كهرومغناطيسية لها أطوال واحدة (متساوية)؛ لذا فإن هذا الشعاع يتجمع في محرق العدسة، ويشغل حجماً صغيراً جداً (عملياً يتجمع في نقطة - انظر الشكل 10-8).



الشكل (8-10): تجمع الضوء الأبيض في محرق العدسة (a)

وتجمع الضوء المتجانس ذاتياً (b).

1- عدسة تجمع الأشعة الضوئية. 3.2- أشعة بنفسجية وحمراء.

تُعَيَّن كثافة طاقة الشعاع الضوئي في محرق عدسة بالعلاقة الآتية:

$$\rho = \frac{E}{V} \quad (14-10)$$

حيث: ρ - كثافة الطاقة، E - طاقة الشعاع، V - حجم المحرق الذي يشغله الشعاع. بما أن حجم المحرق للضوء الأبيض كبير نسبياً نتيجة لانتشار الضوء؛ لذا فإن كثافة الطاقة في هذا المحرق تكون قليلة. أما حجم المحرق لشعاع الليزر، فهو صغير جداً (V_0) لهذا تكون لكثافة الطاقة قيم كبيرة جداً، ويمكن أن تصل إلى نحو:

$$10^7 \div 10^8 \frac{W}{cm^2} \Rightarrow$$

ولكن زمن النبضة قصير جداً ولا يتجاوز (10-9 sec).

يشكل مردود المولدات الكوانتية الحاوية الياقوت نحو (0.1%). لهذا يمكننا القول: إن تصميم مولدات كوانتية عالية الاستطاعة والمردود يتطلب إعادة النظر بمجموعة العمليات التقنية الموجودة حالياً. وعلى الرغم من المردود المنخفض جداً للمولدات الكوانتية الضوئية الحاوية الياقوت، فإن هذا النوع من المولدات يستخدم عملياً في اللحام. ويوضح الشكل (9-10) رسماً تخطيطياً لمولد من هذا النوع يستخدم في اللحام. وتحتوي آلة اللحام هذه على مجموعة عناصر كهربائية وضوئية - ميكانيكية والعنصر الأساسي في هذه الآلة هو المولد الكوانتي. تتألف هذه الآلة من المولد وجهاز التغذية بالكهرباء

وطاولة تحوي مكثفات ومجهرًا مجسمًا (stereoscope microscope). يقوم المولد بتحويل الطاقة المخزنة في مجموعة المكثفات إلى حزمة ضوئية متجانسة ذاتياً وضيقة جداً.

10-5: تقانة اللحام بأشعة ليزر المولدات الكوانتية الصلبة:

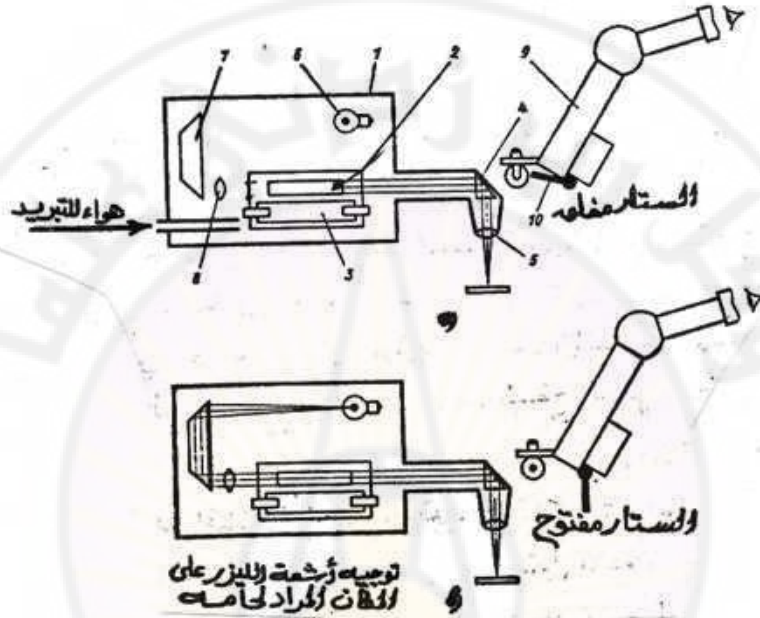
تعد الحجرة الضوئية (1) العقدة الأساسية في المولد (انظر الشكل 10-9a). ويوضع بداخل الحجرة كريستال الياقوت (2). ويكون توضع المصباح النبضي (3) حيث يكون موازياً لكريستال الياقوت.

وتُوصل نهايات الكريستال بتوتر عالٍ. ويجب أن يكون السطح الداخلي للحجرة مستوياً ولماعاً وعاكساً للضوء.

يُمرر الهواء المضغوط إلى داخل الحجرة لتبريد كريستال الياقوت. ويخرج هذا الهواء من الحجرة إلى المحيط الخارجي. ليشكل الإشعاع الصادر عن الكريستال وتوجيهه إلى منطقة اللحام يستخدم ما يسمى نظام التشكيل الضوئي. ويتألف هذا النظام من مؤشر (4) وعدسة ومجسم يمكن تبديله (5). ويُزود نظام التشكيل هذا بعدسات مرئية يمكن بواسطتها جمع الأشعة الضوئية المتوازية (التي يصدرها المولد) في المحرق ويقطر نحو (0.25 - 0.05 mm). ولتجهيز المولد يُستخدم جهاز ضوئي مؤلف من المصباح (6) والمؤشر (7) والعنسة المكثفة (8). يمر الشعاع الضوئي الصادر من المصباح عبر الياقوت والنظام الضوئي للمولد (انظر الشكل 10-9b). يستخدم المجهر المجسم (9) لمشاهدة منطقة اللحام، وذلك عند وصول الشعاع إلى هذه المنطقة ولرؤية الوصلات الملحومة. ويستخدم الستار (10) والذي يمكن تحريكه بواسطة مغناطيس كهربائي لوقاية عين العامل النازرة إلى الآلة من الإشعاع في لحظة اللحام.

ويتألف الجزء الكهربائي لآلة اللحام من منبع تغذية للمصباح النبضي وطاولة يدخل الستار فيها؛ فضلاً عن محول كهربائي للإضاءة. ويضم الجزء الكهربائي مولداً أيضاً. ويغذى المصباح النبضي بتوتر قدره (18 KV).

للتحكم بزمان اشتعال المصباح توضع في دارته وشائع تحريض، وبتغيير مقاومة هذه الوشائع يمكن أن نغير زمن النبضة.



الشكل (9-10): رسم تخطيطي لمولد كوانتي يستخدم في اللحام
a- المولد في أثناء اللحام. b- تجهيز المولد قبل اللحام.

يعد القص بأشعة ليزر أكثر عمليات التقانة شيوعاً. ويمكن بهذه الأشعة قص الزجاج والألماس والمعادن والسيراميك... الخ. ويستخدم للقص شعاع الليزر المستمر، ويملك طاقات إشعاع عالية وينحصر مجال هذه الأشعة في مجال الأشعة تحت الحمراء (حيث طول الموجة يساوي 10,6 ميكرون). يمكن أن تتم عملية قص صفائح من الجرمانيوم والسليسيوم إلى أجزاء صغيرة تستخدم في صناعة أنصاف النواقل. وتتم عملية القص هذه بشعاع ليزر مستمر، ويمكن بأشعة الليزر إجراء ما يسمى مطابقة (توفيق) الريزيستورات أو في صناعة الدارات التكاملية. وتتم صناعة الدارات هذه إما في

الهواء أو الفراغ أو في وسط من غازات مختلفة. ويستطيع شعاع الليزر أن يخترق الزجاج والكوارتز والهواء بحرية كاملة.

بما أن مردود المولد الكوانتي الحاوي للياقوت لا يتجاوز (0.1%)، فهذا يعني (0.001) من طاقة شعاع الليزر يعطي لقطعة التشغيل على شكل نبضة قصيرة، وتؤدي الطاقة العالية لهذه النبضة القصيرة إلى تبخر كثيف للمعدن في منطقة اللحام، لهذا من الضروري التحكم بزمان النبضة، ويتم ذلك عن طريق مجموعة من المكثفات.

لإجراء عملية اللحام، فإنه من الضروري أن يكون للنبضات زمن أعظمي والفواصل الزمني بين هذه النبضات صغير جداً. وبما أن مردود المولدات الكوانتية منخفض جداً، فإن الجزء الكبير من طاقة المصباح يتحول إلى حرارة، ونتيجة لذلك فإن هذا المصباح لا يعمل من أجل تردد عالٍ للنبضات؛ فضلاً عن ارتفاع درجة حرارة القضيب المصنوع من اللياقوت.

لتصغير الفاصل الزمني بين النبضات من الضروري طرح كمية حرارة كبيرة تنتج في الآلة نفسها عند توليد أشعة ليزر. ويتم ذلك باستخدام نظام تبريد يطرد الحرارة الناتجة في المولدات الكوانتية.

تعطي المولدات الكوانتية الضوئية المستخدمة حالياً في عمليات اللحام إمكان الحصول على أشعة ليزر نبضية (من 1 إلى 100 نبضة في الدقيقة)، ويكون قطر البقعة المنصهرة نتيجة تأثير النبضة الواحدة أقل بكثير من 0.1 mm، لهذا فإن هذه المولدات الكوانتية الضوئية لا تُستخدم حالياً للحصول على درزات لحامية؛ وإنما تستعمل فقط للحصول على وصلات لحامية نقطية.

- إن أهم ما يميز طريقة اللحام بشعاع ليزر المولد الكوانتي الصلب هو إمكان الحصول على كثافة طاقة من مرتبة الطاقة نفسها التي نحصل عليها من الحزمة الإلكترونية. وفي طريقة اللحام هذه، ونتيجة لعدم وجود شحنة في شعاع الليزر، فإنه من السهل تركيز هذا الشعاع محرقياً في أي مكان. لذا فإن عملية لحام المعادن بهذه الطريقة يمكن أن تتم في الهواء وفي وسط من الغازات الواقية وفي مكان مفرغ من الهواء (مخلخل). وإن إمكان تجميع (تركيز) طاقة شعاع الليزر في نقطة معينة تجعل طريقة اللحام هذه صالحة

لإجراء اللحامات الميكروية. وبما أن الدورة الحرارية في طريقة اللحام هذه قصيرة جداً، فهذا يعطي أيضاً إمكان الحصول على وصلات لحامية للمعادن التي تتأثر تأثيراً سلبياً بطول مدة الدورة الحرارية.

تجد طريقة اللحام بأشعة ليزر المولد الكوانتي الصلب في الوقت الحاضر استخداماً واسعاً في لحام الدارات الإلكترونية المختلفة. ويمكن باستخدام شعاع الليزر الضوئي إجراء لحامات لوصلات متنوعة من معادن وأشباه معادن مختلفة في حقل الصناعة الإلكترونية مثل: لحام الذهب مع السيليسيوم والجرمانيوم مع الذهب والنيكل والتيتانيوم والنحاس مع الألمنيوم... الخ.

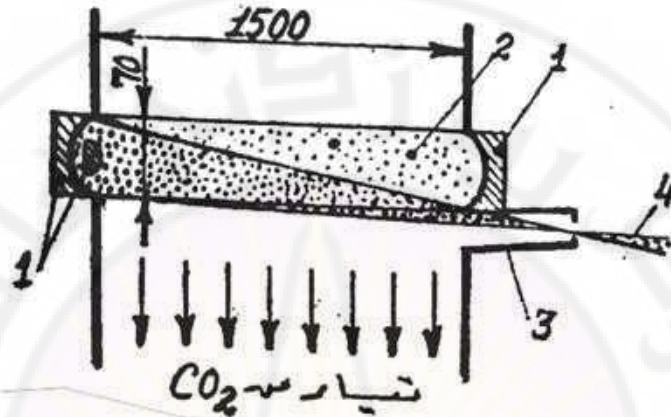
إن إمكان الحصول في الوقت الحاضر على أشعة ليزر المولدات الغازية ذات الطاقة العالية يفسح المجال لاستخدام هذه الأشعة لتقانات مختلفة. فقد حصل الباحثون مؤخراً على أشعة ليزر المولدات الغازية ذات التأثير المستمر، وأشعة ليزر المولدات الغازية النبضية، وتسمى هذه الأشعة حسب نوع الغاز المستخدم: أشعة ليزر غاز النيتروجين، ليزر هالوجين الغازات الخاملة - هيليوم، أرجون، كزينون، كريبتون، أو مزيج من هذه الغازات، ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون... الخ.

10-6: اللحام بأشعة ليزر المولدات الغازية:

يتميز شعاع ليزر المولد الغازي بأنه يفقد طاقة قليلة في الوسط الغازي، ومن السهل تجميعه محرقياً، وثمة إمكان كبير لتوصيل تأثير هذا الشعاع إلى المناطق صعبة الوصول، وذلك باستخدام مجموعة من المرايا. ويتم حماية حوض اللحام في هذه الحالة بوساطة أحد الغازات الخاملة أو مزيج منها.

يأخذ شعاع ليزر المولد الغازي ذي التأثير المستمر شكلاً حلقياً عند خروجه من المولد. ويمكن تجميع أشعة الليزر هذه بوساطة مجموعة المرايا (انظر الشكل 10-10). وبما أن ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون يملك أكبر طاقة ومردود بين ليزر الغازات، فإنه يستخدم حالياً في لحام المعادن المختلفة. إذ يمكن بوساطته لحم الفولاذ الذي تصل

سماكته إلى (15 mm). ويوجد هذا النوع من الليزر الغازي حالياً تطوراً سريعاً لاستخدامه في المعالجات الحرارية للسبائك المعدنية وفي عمليات القص المختلفة.



الشكل (14-4): جهاز توليد أشعة ليزر ذات التأثير المستمر.

- 1- مجموعة مرايا. 2- المنطقة الفعالة (النشطة). 3- فتحة لخروج الشعاع.
- 4- شعاع الليزر الخارج.

الفصل الحادي عشر

لحام الفولاذ متوسط وعالي نسبة الكربون

والفولاذ السبائكي ولحام الفونت

يمكن استخدام طرق اللحام آنفة الذكر جميعها (سواء طرق لحام الضغط أو الصهر) في لحام الفولاذ الكربوني منخفض نسبة الكربون (أي الفولاذ الذي يحوي نسبة من الكربون لا تزيد على 0.25% C)، ونحصل عادةً على وصلات لحامية ذات نوعية جيدة، ويمكن معاملتها بأدوات القطع بسهولة. أما لحام الفولاذ الكربوني متوسط نسب الكربون وعاليها فله تقانة معينة يجب اتباعها.

1-11: تقانة لحام الفولاذ الكربوني متوسط وعالي نسب الكربون :

يُنسب للفولاذ الكربوني متوسط نسب الكربون أنواع الفولاذ الكربوني كلها الحاوية نسباً من الكربون تتراوح بين (0.3 - 0.5 % C) وللفولاذ الكربوني عالي نسب الكربون أنواع الفولاذ الكربوني كلها الحاوية نسباً من الكربون تراوح بين (0.5 - 1 % C). فعند لحام الفولاذ متوسط نسب الكربون، فإنه يجب الانتباه إلى أنه إذا بردت الوصلات للحامية تبريداً أسرع من الحد المسموح به، فإن منطقة التأثير الحراري سوف تحتوي على بنية تروستيتية أو مارتنسييتية وكلتاها هشتان؛ مما يؤدي إلى تصدع الوصلة للحامية تصدعاً هشاً، وكلما ازدادت نسبة الكربون ازداد احتمال وجود فقاعات غازية في الدرزات للحامية. لهذا وللتخلص من ظاهرة حدوث التشققات الباردة، فإنه يجب تسخين الفولاذ تسخيناً مسبقاً قبل لحامه إلى درجة الحرارة (200-350 °C) ومن ثم معالجة الوصلات للحامية الناتجة حرارياً، وذلك بإجراء مراجعة حرارية لهذه الوصلات بتسخينها إلى درجة حرارة (675-700 °C) ثم تبريدها مع القرن ببطء حتى درجة الحرارة (100-150 °C) وبعد ذلك تبريدها في الهواء حتى درجة حرارة الوسط المحيط.

- لدى الوصلات اللحامية المصنوعة من الفولاذ الكربوني عالي نسبة الكربون ميولٌ أكبر للتصدع الهش إذا ما قورن بالوصلات المصنوعة من الفولاذ متوسط نسبة الكربون، ويمكن أن توجد في هذه الوصلات الشقوق الساخنة والباردة على حد سواء، لهذا ينصح عادةً بتسخين الفولاذ عالي نسبة الكربون تسخيناً مسبقاً إلى درجة الحرارة (350-400 °C) ثم إجراء عملية تخمير مباشرة للوصلة، وبمجرد أن تصل درجة حرارة هذه الوصلة إلى (20 °C).

ونود أن ننوه إلى أن لحام الفولاذ عالي نسب الكربون يجب ألا يُجرى إذا كانت درجة حرارة القطع المراد لحامها (5 °C+) وأقل من ذلك.

11-2: تقانة لحام الفولاذ السبائكي:

يضم الفولاذ السبائكي ثلاث مجموعات من الفولاذ:

1- مجموعة الفولاذ السبائكي قليل نسب الخلط:

وينسب إلى هذه المجموعة أنواع الفولاذ السبائكي التي لا تزيد نسبة عناصر الخلط فيها (مثل: Ti, Cu, Cr, Si, Mn وغيرها) على 5%.

2- مجموعة الفولاذ السبائكي متوسط نسب الخلط:

وهي أنواع الفولاذ قليل نسب الخلط بعد أن يضاف إليها في أثناء صهرها بعض عناصر الخلط الإضافية، مثل: (W, V, Mo وغيرها)، حيث ترفع هذه المعادن من متانة الفولاذ الستاتيكية في درجات الحرارة المرتفعة (400 - 600 °C)، وتتراوح نسبة عناصر الخلط في هذه المجموعة بين (5÷10%) لهذا يمكن استخدام هذه الأنواع من الفولاذ في الوصلات اللحامية التي تستثمر في درجات الحرارة (400 - 600 °C)، وكذلك تزيد عناصر الخلط الإضافية من مقاومة الصدم عند هذه الأنواع من الفولاذ.

3- مجموعة الفولاذ السبائكي عالي نسب الخلط:

وينسب إلى هذه المجموعة أنواع الفولاذ السبائكي التي تزيد نسبة عناصر الخلط فيها على (10%) شريطة ألا تقل نسبة عنصر الخلط الواحد في السبيكة الفولاذية على (5%).

لهذا تتنوع تقانات لحام الفولاذ السبائكي تبعاً لنسب عناصر الخلط الداخلة في تكوينه.

11-2-1: لحام الفولاذ السبائكي قليل نسب الخلط:

يمكن أن نميز هنا نوعين من الفولاذ:

- إذا كانت نسبة الكربون أقل من (0.25%) فإن هذا النوع من الفولاذ يلحم جيداً، ذلك لأن منطقة التأثير الحراري في وصلاته اللحامية لا تصبح ذات بنية مقساة بعد إجراء عملية اللحام مهما اختلفت طريقة اللحام المستخدمة، ومهما اختلفت عناصر نظام اللحام. ولهذا يلحم هذا الفولاذ من دون تسخين مسبق وبدون إجراء معالجة حرارية للوصلات اللحامية الناتجة.

- أما إذا كانت نسبة الكربون أكبر من (0.3%)، فإنه يمكن أن تظهر في منطقة التأثير الحراري بنية مقساة، وهذه البنية عادة ذات ميول كبيرة للتصدع الهش نتيجة لتشكيل التشققات فيها. وكلما ازداد كل من نسبة الكربون في الفولاذ عن الحد المذكور آنفاً وسرعة تبريد الوصلة اللحامية ازدادت الشقوق في منطقة التأثير الحراري، ولهذا فإن لحام هذه الأنواع من الفولاذ يتم يدوياً بالكترودات مغلقة أو آلياً بالقوس المغمور بالفلاكس أو في وسط من الغازات الواقية أو باللحام الكهربائي الخبثي. ويمكن استخدام التسخين المسبق في لحام بعض أنواع هذا الفولاذ، وكذلك المعالجة الحرارية اللاحقة. وهناك في الوقت الحاضر جداول خاصة أعدت تجريبياً تحتوي على أنظمة اللحام ودرجات حرارة التسخين المسبق ودرجات حرارة المعالجة الحرارية اللاحقة وزمن الإبقاء.

11-2-2: لحام الفولاذ السبائكي متوسط نسب الخلط:

تسبب عملية الصهر الموضعي، والتبريد اللاحق (في أثناء اللحام) لهذه الأنواع من الفولاذ حدوث تغيرات كبيرة ليس فقط في بنية الدرزة اللحامية؛ وإنما في بنية منطقة التأثير الحراري، وتتوافر في هذه المنطقة إجهادات داخلية مختلفة القيم والنوعية (تسمى حالة الإجهاد المعقد)، وهذا يسبب انخفاض متانة الوصلات اللحامية. لهذا كله يتطلب تسخين القطع قبل اللحام إلى درجة حرارة تتراوح بين (200-300 °C) ومن ثم إخضاع الوصلات اللحامية الناتجة إلى معالجة حرارية لاحقة (عملية تخمير)، حيث تسخن بعض أنواع هذه الوصلات إلى درجة حرارة تزيد على (700 °C) وتحفظ عند هذه الدرجة لمدة لا تقل عن 5 دقائق لكل (1 mm) من سماكة المعدن، ومن ثم تبرد ببطء.

11-2-3: لحام الفولاذ السبائكي عالي نسب الخلط:

تتنوع بنية هذه المجموعة من الفولاذ تبعاً لتنوع نسب عناصر الخلط الداخلة في تكوينها. (مثل: Cu, N, Mn, Ni, Nb, Ti, W, Mo, Si, Cr وغيرها). فمن هذه الأنواع ما تكون بنيته أحادية الطور (فيريتية أو أوستينيتية أو مارتينسيتية) ومنها ما تكون بنيته ثنائية الطور (فيريتية - أوستينيتية أو فيريتية - مارتينسيتية). وتبعاً لذلك سوف تختلف طرق اللحام المستخدمة لهذه الأنواع مختلفة التركيب، والبنية من الفولاذ عالي نسب الخلط، وسوف تختلف معها قيم عناصر أنظمة اللحام، وكذلك درجات حرارة التسخين المسبق ونوع المعالجة الحرارية المستخدمة للوصلات اللحامية. وتتوافر في الوقت الحاضر أنواع كثيرة جداً من هذا الفولاذ، وتتوافر معها جداول تجريبية تحتوي على طرق لحام نوع الفولاذ المراد استخدامه، وقيم عناصر نظام اللحام طبقاً للسماكة المستعملة، وكذلك درجات حرارة التسخين المسبق، ونوع المعالجة الحرارية اللازمة للوصلات اللحامية.

11-3: تقانة لحام الفوننت:

11-3-1: تصنيف الفوننت وخواصه:

يلقى الفوننت في الوقت الحاضر استخداماً واسع النطاق في مجالات الصناعة المختلفة. ويعود ذلك إلى سهولة التحضير والكلفة غير العالية في إعداد قطع التشغيل منه؛ فضلاً عن الخواص السبائكية الجيدة للفوننت، ومقاومته للتآكل، وإمكان استخدامه في الإنشاءات التي تخضع لتأثير إجهادات متغيرة ودرجات حرارة عالية... الخ.

و الفوننت سبيكة من الحديد والكربون، تحوي الحديد والكربون فضلاً عن مجموعة من العناصر الأخرى. فهي تحوي أكثر من (2% C) وحتى (5% Si) بالإضافة إلى كمية محدودة من المنغنيز. أما عنصري الكبريت والفوسفور، فيوجدان في الفوننت على شكل شوائب.

ويدخل في تركيب الفوننت السبائكي فضلاً عن هذا كله بعض العناصر الأخرى، مثل: الكروم والنيكل و الموليبدنيوم وغيرها التي تكسب هذا الفوننت مزايا خاصة.

يمكن أن يوجد الكربون في الفوننت إما متحداً مع الحديد ومشكلاً ما يسمى السمنتيت (Fe_3C) أو على شكل بنية بلورية حرة (الغرافيت). ويتعلق وجود الكربون بأحد الشكلين السابقين بالتركيب الكيميائي للفوننت وشروط تبلوره وسرعة تبريده.

إن وجود السمنتيت في الفوننت يضيف على مكسر الأخير لوناً ناصعاً، لهذا يسمى الفوننت في هذه الحالة الفوننت الأبيض، ويضيفي الغرافيت على مكسر الفوننت لوناً رمادياً، ويسمى الفوننت في هذه الحالة بالفوننت الرمادي.

يُعدّ الكربون والسيليسيوم والألمنيوم والنحاس والنيكل وغيرها من العناصر التي تساعد على تشكل الغرافيت؛ إذ تتحد هذه العناصر مع الحديد، وتشكل محاليل صلبة. وتزيد هذه المحاليل من عدد الفراغات والانتقالات في الهيكل الشبكي للحديد، وتسهل عملية الانتشار (diffusion)، وتقلل من القدرة النشطة (energy of activation)، وتضعف من الارتباط بين ذرات الحديد والكربون. لهذا تُسهل بما يسمى عملية تشكل الغرافيت، يكون مستوى تأثير كل عنصر من هذه العناصر في عملية تشكل الغرافيت مختلفاً،

وأكثر العناصر تأثيراً هما عنصر السيليسيوم والكربون، إذ بتغير نسبة هذين العنصرين تتغير بنية الفونت أو بمعنى آخر يتغير المستوى الذي يمكن أن تصل إليه عملية تشكّل الغرافيت (أي تشكّل كامل أو غير كامل). ويبين الشكل (a1-11) كيف يمكن التحكم ببنية الفونت بتغير نسبة الكربون و السيليسيوم في خليطته.

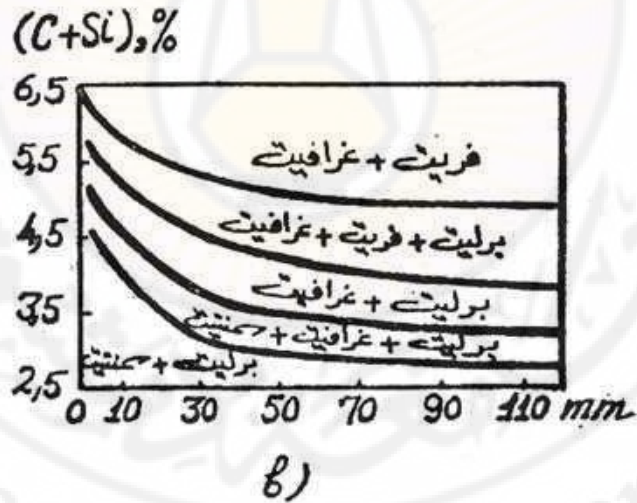
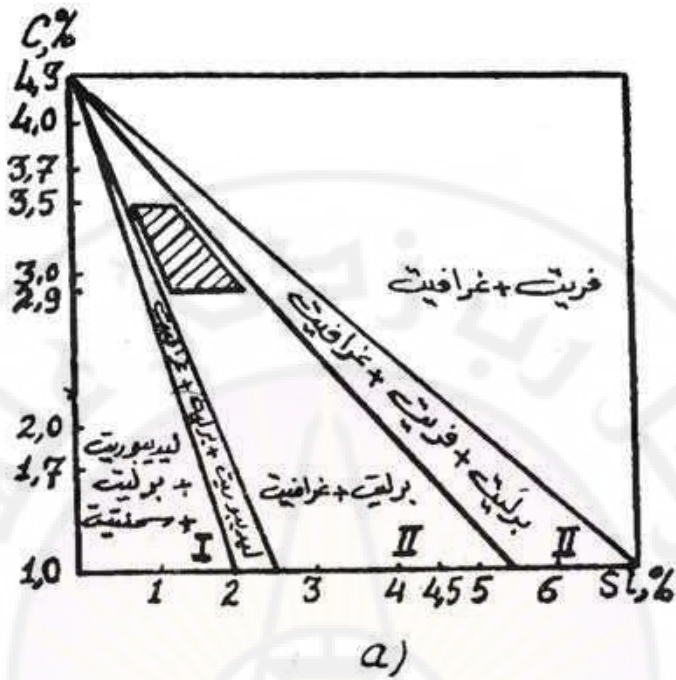
وتتعلق عملية تشكّل الغرافيت بسرعة تبريد السبيكة. فكلما قلّت سرعة التبريد تمت عملية تشكّل الغرافيت كاملة. وتتعلق سرعة تبريد سبيكة الفونت من الناحية العملية بسماكة جدارها. فكلما صغرت سماكة جدار السبيكة ازدادت سرعة تبريدها وعند الظروف نفسها. لهذا ولجعل عملية تشكّل الغرافيت تتم كاملة في حالة صغر سماكة جدار السبيكة فإنه من الضروري زيادة نسبة الكربون والسيليسيوم معاً في الخليطة (انظر الشكل b1-11).

يمكن تصنيف الفونت حسب بنيته البلورية إلى المجموعات الآتية:

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

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

لهذا فإن هذا النوع من الفونت لا يمكن عملياً معاملته بالقص. ولكن في الصناعة يُستخدم ما يسمى الفونت المبيّض ولا سيما في سباكة قطع آلات التكسير والجرش وغيرها. حيث يتطلب في هذه القطع توافر القساوة السطحية العالية ومقاومة التآكل. ففي سبيكة الفونت المبيّض، ونتيجة لاختلاف شروط التبريد، يتشكل في الطبقة السطحية ما يسمى اليوتكتيك السمنتيتي، حيث تبلغ قساوته (400-500 HB). وفي وسط السبيكة يتشكل اليوتكتيك الغرافيتي. ويمكن توفير شروط التبريد هذه وذلك بصب الفونت في قوالب معدنية أو في قوالب رملية جافة. ويستخدم لهذا الغرض الفونت الحاوي نسبة قليلة من السيليسيوم.



الشكل (1-11): مخططات البنية للفونت

a- تأثير نسبة الكربون والسيليسيوم في بنية الفونت. b- تأثير كل من سرعة التبريد

(سماكة جدار السبيكة) ونسبة (C+Si) في بنية الفونت.

I- الفونت الأبيض II- الفونت الرمادي.

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 الهيبويوتكتيكي الذي يحتوي على (2.4-3.8% C). فإذا زادت نسبة الكربون على هذا الحد، فإن ذلك يؤثر سلباً في الخواص الميكانيكية للفونت. ويمكن توفير أفضل الخواص السبائكية في هذا النوع من الفونت إذا كانت نسبة الكربون فيه لا تقل عن (2.4%).

ويكون الغرافيت في الفونت الرمادي صفائياً، وتحدد نسبته بنية الأساس المعدني لسبيكة الفونت، إذ كلما ازداد مستوى تشكل الغرافيت تحولت البنية من برليتيّة إلى برليتيّة - فريتيّة. ويقسم الفونت الرمادي عادةً إلى أربع مجموعات، حيث تحوي كل مجموعة أنواعاً من الفونت الرمادي تتشابه تقريباً بالتركيب الكيميائي، ولا تزيد قيم خواصها الميكانيكية على حدٍ معين. وتستخدم أنواع الفونت في هذه المجموعات الأربع في صناعة قطع التشغيل وقواعد الآلات الضخمة والمكابس والمحاور وأحياناً في صناعة أجزاء الآلات التي تعمل على الاحتكاك.

وأما الفونت عالي المتانة والحاوي الغرافيت الكروي، فيشبه الفونت الرمادي من حيث التركيب الكيميائي، ولكن بإضافة بعض المعادن ذات الطبيعة القلوية والمعادن النادرة وبكميات قليلة جداً تُكسب الغرافيت الشكل الكروي، وغالباً ما يُستخدم لهذا الغرض المغنزيوم بنسبة (0.03 ÷ 0.07Mg). ويمكن أن تكون بنية الأساس المعدني برليتيّة أو برليتيّة - فريتيّة أو فريتيّة. يختلف الغرافيت الكروي عن الغرافيت الصفائحي بأن الأول لا يكون موضعاً لتركز الإجهادات، ويملك الفونت ذي الغرافيت الكروي خواص سبائكية جيدة ومقاوم للتآكل، ويمكن معاملته بالقص، وله خواص ميكانيكية شبيهة بالخواص الميكانيكية للفولاذ الكربوني، وتُستخدم سبائك الفونت عالي المتانة في الصناعة الثقيلة وفي الصناعات النفطية والكيميائية.

وينتج الفونت المطروق بتسخين سبائك من الفونت الأبيض إلى درجات حرارة عالية ولفترة زمنية طويلة، حيث تؤدي هذه المعالجة الحرارية إلى تحول الغرافيت إلى شكل زهرة القطن. وهذا الشكل للغرافيت لا يخفّض كثيراً من متانة الأساس المعدني لهذا الفونت

ولدونته، ويستخدم في الصناعة الفونت المطروق ذي البنية الفيريتية، والسبب في ذلك هو لدونته العالية. وأما الفونت المطروق ذي البنية البرليتية، فهو أقل استخداماً من الأول.

يحتوي الفونت المطروق على نسب قليلة من الكربون والسيليسيوم ($2.5 \div 3\% \text{ C}$ ، $0.7 \div 1.5\% \text{ Si}$)؛ إذ تؤدي هذه النسبة القليلة من الكربون للحصول على سبائك فونت عالية اللدونة، ذلك لأن كمية العرافيت المتشكلة تكون قليلة، وتؤدي نسبة السيليسيوم القليلة إلى انعدام وجود غرافيت صفائحي في بنية السبيكة بعد تبريدها. تستخدم سبائك الفونت المطروق في صناعة قطع التشغيل التي تخضع لقوى صدم وحمولات ترددية.

11-3-2: قابلية اللحام عند الفونت:

يستخدم اللحام بصفة عامة لإصلاح العيوب المختلفة في سبائك الفونت. ونادراً ما يستخدم اللحام في وصل قطع الإنشاءات أو الآلات المصنوعة من الفونت، إذ يرافق لحام الفونت مجموعة من الصعوبات، وليس بالأمر السهل التغلب عليها. فكل أنواع الفونت التي ذكرناها سابقاً تملك قابلية ضعيفة جداً للحام. ويعد الفونت الرمادي أكثر هذه الأنواع قابلية للحام. لهذا تستخدم في الوقت الحاضر مجموعة من الطرق وتقانات اللحام المختلفة للوصلات المصنوعة من هذا الفونت.

ويمكن تفسير قابلية اللحام الضعيفة عند الفونت كما يأتي: إن للفونت ميولاً كبيراً نحو تشكل التشققات المختلفة فيه، مما يؤدي إلى خفض المتانة واللدونة عنده؛ فضلاً عن أنه يمكن ومن أجل سرعات تبريد عالية أن تتشكل في منطقة اللحام ومنطقة التأثر الحراري بلورات هشة. ويشكل وجود هذه البلورات صعوبة كبيرة في تشغيل الفونت.

- يمكن أن تظهر التشققات في معدن الدرزة اللحامية، وفي منطقة التأثر الحراري، وذلك بسبب عدم انتظام تسخين الوصلة اللحامية وتبريدها. ويمكن أن تظهر التشققات في مناطق أخرى من الوصلة نتيجة الانفعالات الإضافية التي يسببها اللحام أو التسخين المسبق الموضعي، حيث يؤدي اللحام أو التسخين المسبق إلى ظهور إجهادات تفوق حد المتانة لمعدن الوصلة، ولا يوجد زمن محدد لظهور التشققات فيه، إذ يمكن أن تظهر في

بداية اللحام (أي عندما يسبب التسخين المسبق إجهادات ضغط)، ويمكن أن تظهر في أثناء إجراء عملية اللحام، ويمكن أن تظهر بعد عملية اللحام (أي ظهور إجهادات شد عند تبريد الوصلة).

- وللتخلص من التشققات والبلورات القاسية الهشة في معدن الدرزة اللحامية، أو بمعنى آخر لكي نوجد في الدرزة اللحامية بلورات فونت رمادي فقط، يجب أن يكون التركيب الكيميائي لمعدن الدرزة وكذلك شروط تبريده، حيث يوفر ذلك عملية تشكل الغرافيت في هذه الدرزة كاملة.

11-3-3: توصيات عامة للحام الفونت:

يتم اختيار طريقة اللحام، وكذلك الأسلوب التقني لتحضير القطع المراد لحامها بناءً على مكان توضع العيب وأبعاده في هذه القطع. ويبين الجدول (11-1) تصنيف العيوب التي يمكن أن تكون في سبائك الفونت، وذلك حسب أشكالها وأبعادها.

يمكن أن تتم الشنفرة المسبقة للعيوب إما بالطريقة الميكانيكية أو بالقص بالقوس الكهربائي. ولكن طريقة تجهيز العيب للحام تختلف باختلاف طريقة اللحام التي سوف تستخدم.

بما أن عملية اللحام بالقوس الكهربائي (وباستخدام تسخين مسبق) تتم عادة بما يسمى طريقة الحوض (أي صهر منطقة العيب كاملاً باستعمال أنظمة لحام ذات قيم عالية). لذا بعد إجراء عملية الشنفرة وخوفاً من انسياب المعدن عبر الأطراف، فإنه توضع عادة حول مكان العيب المشنفر حماية مصنوعة من مادة مقاومة للحرارة (أو مزيج مقاوم للحرارة - انظر الجدول 11-2).

عند وجود عيوب نافذة (أي تخترق كامل المقطع)، فإن الحماية تثبت من الجهة السفلى للعيب. ويتم تجهيز السطح الداخلي للحماية؛ ليكون مستوياً، وبعد ذلك تتم عملية التثبيت بواسطة لولب معدنية، يجب أن توفر الحماية ارتفاع المعدن المصهور حتى (5 mm) فوق سطح القطعة الملحومة. ويبين الشكل (11-2) نماذج لأنواع حمايات مختلفة.

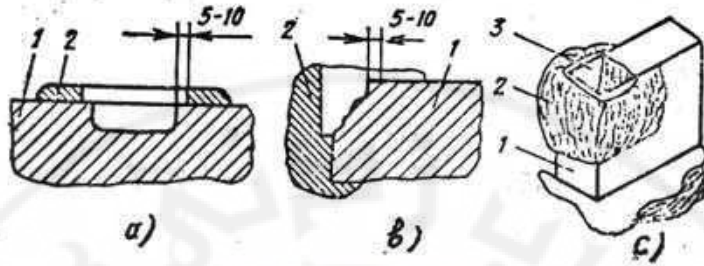
الجدول (1-11): تصنيف العيوب حسب الشكل والأبعاد.

أبعاد العيب (مساحة العيب)		ميزة العيب	نوع العيب
حتى 12 cm^2		صغير	عيب غير نافذ (فجوات سطحية)
$30-120 \text{ cm}^2$		كبير	
في مراحل تعمل تحت الضغط حتى 20 cm^2	في مراحل تعمل بدون ضغط حتى 200 cm^2	صغير	ثقب
$20-100 \text{ cm}^2$	$200-600 \text{ cm}^2$	كبير	
في محيط غير صلد حتى 250 mm	في محيط صلد حتى 50 mm	صغير	ثقب نافذ (تشقق)
أكبر من 600 mm	$250 \div 600 \text{ mm}$	كبير	

الجدول (2-11): تركيب المزيج المقاوم للحرارة.

تركيب المزيج				اسم العنصر
4	3	2	1	
.	.	30	30	المزيج المشكل (مصنوع مسبقاً)
.	40	.	30	تراب أبيض
85	10	50	40	رمل الكوارتز
.	50	.	.	الغرافيت الفضي
15	.	20	.	السائل الزجاجي

عند اللحام دون تسخين مسبق، فإن العيوب التي يقع بعضها على مسافة أكثر من 20 mm عن بعضها الآخر تُقَطَّع أو يحدث فيها ثقوب. وعندما تكون العيوب قريبة من بعضها بعضاً تجري عملية شنفرة كاملة لمنطقة العيب، ويتعلق نوع الشنفرة بسماكة القطعة (الشكل 3-11)، فعندما تكون سماكة القطعة ($5 \div 7 \text{ mm}$) تجري عملية الشنفرة بزاوية ($70^\circ \div 80^\circ$)، وعندما يراد أن تجري عملية اللحام من الوجهين ومن أجل سماكة القطعة أكثر من (20 mm)، فإن عملية الشنفرة تتم على شكل حرف X.

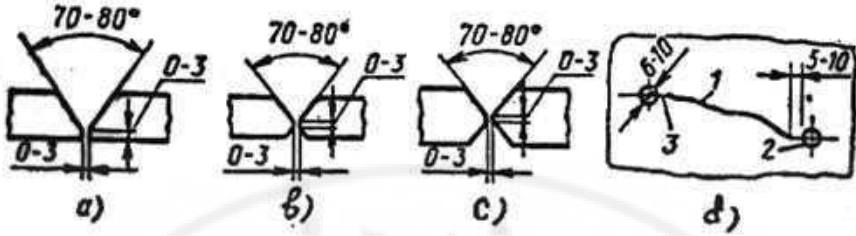


الشكل (3-11): مخططات تجهيز الحماية عند اللحام بالقوس الكهربائي وباستخدام تسخين مسبق.

a- في حالة الفجوة غير النافذة. b- في حالة وجود عيب جانبي.
c- الشكل العام للحماية.

1- القطعة المراد لحامها. 2- المزيج المقاوم للحرارة (الحماية).
3- الوجه الداخلي الناعم للحماية.

إذا كانت النهايات حاوية التشقق لا تخرج إلى سطح القطعة، فتحدث ثقباً عند هذه النهايات، ويتم قطع المنطقة ميكانيكياً أو بواسطة القوس الكهربائي (الشكل 3-11). يتم إحداث ثقب على عمق (2 ÷ 4 mm) عند نهايات التشقق غير النافذ، أما عند نهايات التشقق النافذ، فيتم إحداث ثقب بكامل العمق ويقطر (6 ÷ 10 mm). بعد التسخين المسبق لقطع الفونت المراد لحامها من العمليات المهمة جداً، وتحدد أبعاد القطعة المراد لحامها وجساعتها، وكذلك طريقة اللحام التي سوف تستخدم وحجم المعدن المراد صهره والتركيب الكيميائي والبنية البلورية للفونت هذه العوامل كلها تحدد درجة حرارة التسخين المسبق، وتتراوح درجة الحرارة هذه بين (400 ÷ 700 °C). انظر الجدول (3-11).



الشكل (11-3): شنفرة الشقوق.

- a- الشنفرة من وجه واحد.
- b- الشنفرة على شكل حرف X عندما تكون السماكة أقل من (20 mm).
- c- الشنفرة على شكل حرف X عندما تكون السماكة أكثر من (20 mm).
- d- إحداث ثقب عند نهايات التشقق:

1- التشقق. 2- ثقب محددة.

يستخدم عادةً التسخين المسبق حتى ($400 \div 550^\circ\text{C}$). ولكن عند لحام القطع المعقدة، فيسمح بالتسخين المسبق حتى ($600-700^\circ\text{C}$). فإذا زادت درجة حرارة التسخين على هذه الحدود، فإنها تسبب الانخفاض المفاجئ في الخواص الميكانيكية للفوننت. للحصول على تسخين منتظم للقطع، ولا سيما تلك التي تتمتع بسماكات مختلفة يجب ألا تزيد سرعة التسخين على (150°C/h). ويتم التسخين في أفران كهربائية أو في أكوام (مواقد) تسخين غازي أو في مواقد مصنوعة من الطوب المقاوم للحرارة، وأحياناً يتم التسخين بواسطة لهب الأكسي إستيلين المتنقل (المحمول) أو بواسطة التحريض الكهربائي.

الجدول (11-3): الطرق المستخدمة للتسخين المسبق ودرجات حرارة هذا التسخين لقطع الفونت.

أنواع العيوب	طرق التسخين المستخدمة	درجة حرارة التسخين المسبق [°C]	طرق التحكم بسرعة تبريد الوصلة للحامية
عيوب صغيرة في محيط غير قاسي (الأجزاء البارزة في السبائك).	تسخين موضعي بلهب الأكسي - إستيلين المتثقل بحيث يتراوح تصريف الغاز بين (5-10 m ³ /h).	300-400	يتم التسخين بلهب الغاز المتثقل أن الذي يبتعد بالتدريج عن الوصلة للحامية خلال (1-2 min).
عيوب كبيرة في محيط غير قاسي.	تسخين موضعي بمشعل الأكسي - إستيلين المتثقل، أو التسخين الموضعي في أكوار غازية.	450-600	يتم التسخين حتى الدرجة (600-700) والإبقاء على هذه الدرجة نحو (1-2 h)، ومن ثم التبريد البطيء في الرمل أو في الكور الغازي.
عيوب صغيرة وكبيرة في محيط قاسي (العيوب الموجودة) في السبائك ذات العقد الضخمة، ذلك لأن هذه العقد تسبب الانتقال السريع للحرارة.	تسخين موضعي في أكوار غازية، أو تسخين عام في أفراد كهربائية.	600-700	يتم التسخين حتى الدرجة (700 °C) والإبقاء على هذه الدرجة (1-2 h) ومن ثم تبريد القطعة مع الفرن.

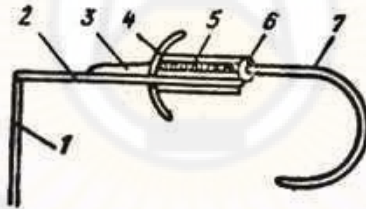
11-3-4: اللحام بالقوس الكهربائي وباستخدام تسخين مسبق (اللحام الساخن):

1- اللحام اليدوي بالإلكتروودات المغلفة:

يُستخدم هذا النوع من اللحام في إصلاح العيوب المختلفة، وأحياناً في لحام العيوب الكبيرة التي في أماكن من السبائك يصعب الوصول إليها بطرق اللحام الأخرى. ويعد اللحام بالإلكتروودات المغلفة (التي تكون نواتاتها قضبناً من الفونت) من أكثر طرق لحام الفونت استخداماً، والسبب في ذلك إنتاج هذه الإلكتروودات يتم بالسكب. توفر قضبان الفونت هذه وصلات لحام ذات نوعية جيدة. ويدخل في تركيب غلاف الإلكتروود تلك العناصر التي تؤدي إلى اشتعال القوس بشكل هادئ، وتوفر تشكل الخبث

الواقى لمنطقة اللحام؛ فضلاً عن خلط معدن الدرزة اللحامية ببعض العناصر، مثل: الكربون والسيليسيوم. ويجب ألا تتجاوز سماكة طبقة التغطية (0.5 mm). وتتم عملية اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي عادةً إما باستخدام تيار متناوب أو تيار مستمر ذي قطبية مباشرة. ويجب أن يوفر ماسك الإلكترود تلامساً جيداً مع إلكترود الفونت، وألاً يسخن هذا الماسك بسرعة. ويستخدم في الوقت الحاضر ماسك الإلكترود الذي يحوي في نهايته قضيباً فولادياً يلحم به إلكترود الفونت قبل البدء بعملية اللحام (انظر الشكل 4-11).

تتراوح شدة التيار الكهربائي بين (900-1000A) عند اللحام بطريقة الحوض، حيث يتم قبل البدء بملء منطقة العيب بمعدن الإلكترود المنصهر فصل أول وجبة منصهرة من هذا الإلكترود، وذلك للتخلص من الشوائب التي فيها من جهة، ولتحقيق تسخين إضافي لمنطقة اللحام من جهة أخرى. ويتم عادة فصل الخبث باستمرار من على سطح حوض الصهر في أثناء عملية اللحام.



الشكل (4-11): ماسك الإلكترود المستخدم عند لحام الفونت مع التسخين المسبق
1- إلكترود الفونت. 2- قضيب فولاذي قطره (12 mm). 3- مكان وصل الكبل الكهربائي إلى القضيب الفولاذي. 4- الواقى. 5- المقبض. 6- حلقة. 7- الكبل الكهربائي.

تتعلق خواص المعدن المضاف في منطقة اللحام بشكل كبير بسرعة التبريد، فكلما كانت سرعة التبريد قليلة كانت خواص معدن الدرزة اللحامية قريبة من خواص المعدن الأساسي.

2- اللحام نصف الآلي:

تستخدم هذه الطريقة لإصلاح العيوب الكبيرة في سبائك الفونت، ويمكن أن تتم عملية اللحام بسلك واحد أو بثلاثة أسلاك دفعة واحدة؛ مما يرفع في إنتاجية اللحام، حيث تصل إنتاجية اللحام في هذه الحالة إلى (17-20 Kg/h)، بينما تبلغ الإنتاجية عند اللحام اليدوي بالإلكترودات المغلفة (10-15 Kg/h).

11-3-5: اللحام بالقوس الكهربائي بدون تسخين مسبق (اللحام البارد):

1- اللحام اليدوي:

ويتم هذا النوع من اللحام باستخدام إلكترودات مصنوعة من سبائك المعادن الملونة التي تغلب فيها نسبة النحاس على المعادن الأخرى، ذلك لأن النحاس لا يشكل مع الحديد أي اتحادات كيميائية ولا يذوب في الحديد؛ لذا فإنه عند استخدام هذه الإلكترودات نحصل على درزة لحامية غير متجانسة، حيث تحوي الدرزة اللحامية النحاسية دقائق من الحديد فيها نسبة عالية من الكربون، وتكون بنية هذه الدقائق في أغلب الأحيان مارتنسيتية. وأما على خط الصهر وفي معدن الأساس بالذات ينتج منطقة عالية الصلادة، وذلك نتيجة لتشكيل الليديبورت؛ لذا فإن معالجة هذه الوصلات ميكانيكياً فيها صعوبة بالغة. وتصنع الإلكترودات إما على شكل قضبان من سبائك النحاس، ويكون معدن الحديد موجوداً في طبقة التغطية أو تُصنع على شكل أنابيب نحاسية تحوي بداخلها قضباناً من الحديد. وتستخدم هذه الإلكترودات في إصلاح العيوب الصغيرة والكبيرة، وتعطي الوصلات اللحامية الناتجة متانة جيدة تصل إلى:

$$\sigma_b = 18 - 25 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$$

أما اللحام بالإلكترودات التي تحوي قضباناً من سبائك النيكل، فيستخدم في إصلاح العيوب الصغيرة، وفي تلك الحالات التي تتطلب فيها معالجة الوصلة ميكانيكياً بعد اللحام. ويزوب النيكل في الحديد ذوباناً مطلقاً، ويشكل معه ما يسمى الأوستينيت النيكلي. ويستطيع هذا الأخير أن يذيب كمية كبيرة من الكربون من دون أن تتشكل

كربيدات. ويملك الأوستينيت النيكلي خاصية اللدونة العالية والصلادة المنخفضة. وتستخدم في صناعة الإلكترودات خلائط من النحاس والنيكل أو من النيكل والحديد، وعند إصلاح العيوب في السبائك المهمة تستخدم الإلكترودات التي تحوي قضباناً مصنوعة من خليطة النحاس والنيكل بحيث تزيد نسبة النيكل فيها على (90%).

2- اللحام اليدوي بالإلكترودات تحوي في تغطيتها عناصر مشكلة للكربيدات:

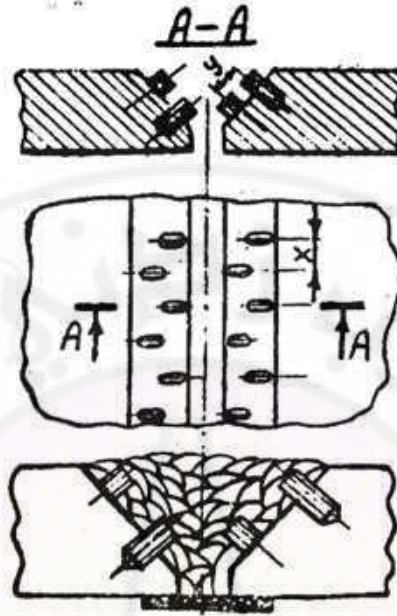
يستخدم هذا النوع من اللحام في إصلاح العيوب الصغيرة الموجودة على سطوح السبائك، ويحصل عند استخدام هذه الأنواع من الإلكترودات أن الكربون الذي ينتشر من معدن الأساس إلى الدرزة للحامية يتفاعل مع الفناديوم أو التيتان (الموجودين أصلاً في التغطية) ويشكل دقائق كربيدية صغيرة جداً، وتكون بنية الدرزة بنية فيريتيّة تحوي دقائق من الكربيدات. ويمكن معالجة هذه الوصلات ميكانيكياً بعد اللحام.

وأكثر أنواع هذه الإلكترودات استخداماً هي تلك الإلكترودات التي تحوي في تغطيتها الفيروفيناديوم، وتتم عملية اللحام باستخدام تيار منخفض الشدة (حيث تبلغ شدة التيار 23-30A لكل 1 mm من قطر الإلكترود)، ولا يزيد قطر الإلكترود على (4 mm)، ويكون التيار مستمراً ذا قطبية معكوسة.

3- اللحام بالإلكترودات الفولاذية:

تستخدم هذه الإلكترودات في إصلاح العيوب الصغيرة والكبيرة في القطع التي لا يلزم عادةً معالجتها ميكانيكياً بعد اللحام. ولا يأخذ لمتانة الوصلة أي جوانب تصميمية. وتتم عملية اللحام بالإلكترودات التي تستعمل عادةً في لحام الفولاذ قليل نسبة الكربون، ويستعمل نظام لحام منخفض القيم، وتتم عملية اللحام على مسافات قصيرة، وتعطى فرص كافية لتبريد معدن الأساس.

يمكن أن يتم إصلاح العيوب بهذه الطريقة، وذلك بتهيئة لوائب فولاذية، كما في الشكل (5-11). ويؤدي هذا إلى الحصول على وصلة لحامية ذات متانة متجانسة.



الشكل (11-5): مخطط توزيع اللولب الفولاذية وكيفية إجراء لحام الوصلة المشنفرة

$$X = 4d, y = 2d$$

حيث: d قطر اللولب (mm).

يمكن ألا تجرى عملية شنفرة العيب إذا كانت سماكة القطعة أقل من (20 mm). أما عندما تكون السماكة أكبر من ذلك، فإن الشنفرة تجرى بزاوية من (90-120°)، عندما تكون السماكة أقل من (10 mm) تثبت لولب أقطارها (6 mm) وعندما تكون السماكة أقل من (20 mm) تثبت لولب أقطارها (10 mm)، أما للسماكات الأكبر من ذلك، فتكون أقطار اللولب (16 mm)، وتثبت اللولب بالطريقة الشطرنجية، وتتم عملية اللحام بالشكل الآتي:

تصهر في البداية اللولب الفولاذية، ويغطي سطح الفونت بطبقة فولاذية. وتتم هذه العملية بالإلكتروودات التي تحوي في تغطيتها الفيروفناديوم أو بالإلكتروودات التي تحوي قضباناً مصنوعة من سبائك النيكل. وتتم عملية اللحام بعمق تغلغل صهر أقل ما

يمكن. وبعد ملء منطقة اللحام (المنطقة المشنفرة) تتم عملية تقوية خط اللحام بصهر قضبان فولاذية فقط.

11-3-6: لحام الفونت عالي المتانة:

إن للحام الفونت عالي المتانة مزايا خاصة به، ذلك لأن هذا النوع من الفونت يملك خواص لحام أسوأ من الفونت الرمادي، ويمكن استخدام اللحام بالقوس الكهربائي مع التسخين المسبق لإصلاح العيوب الصغيرة والكبيرة في هذا النوع من الفونت، ويمكن لحم العيوب المكشوفة قبل المعالجة الحرارية أو بعدها، أما اللحام بالقوس الكهربائي من دون تسخين مسبق، فيستخدم لإصلاح العيوب الصغيرة في السبائك، ويمكن أن تتم عملية الإصلاح هذه قبل المعالجة الحرارية أو بعدها، ويتم تجهيز العيوب ميكانيكياً أو بالقص بالقوس الكهربائي، وذلك قبل البدء بلحامها. أما عملية اللحام، فتتم إما بالإلكتروودات التي تستخدم في لحام الفولاذ أو بالإلكتروودات تحوي قضباناً من سبائك النيكل.



الفصل الثاني عشر

لحام المعادن الملونة وختلاطها

12-1: لحام الألمنيوم و خلائطه:

يعد الألمنيوم النقي من المعادن ذات الاستخدام المحدود في الصناعة، وذلك بسبب متانته المنخفضة نسبياً ولدونته العالية، بينما تلقى خلائط الألمنيوم، مثل: (الديور ألمنيوم والسيلومين) استخداماً أكثر في مجالات الصناعة المختلفة، وهناك بعض الصعوبات التي تعترض تنفيذ لحام الألمنيوم وختلائطه، وأهمها:

1- تتشكل على سطح الألمنيوم المنصهر قشرة من أكسيد الألمنيوم Al_2O_3 تعيق انصهار جزيئات معدن الأساس، وتصل درجة حرارة انصهار أكسيد الألمنيوم إلى نحو $(2050\text{ }^{\circ}C)$ ، بينما تبلغ درجة حرارة انصهار الألمنيوم النقي $(658\text{ }^{\circ}C)$ ، وهذا يعيق تنفيذ عملية اللحام.

2- إن توافر الناقلية العالية للحرارة عند الألمنيوم وختلائطه تتطلب عمليات تكنولوجية خاصة، وفي بعض حالات لحام القطع ذات السماكات الكبيرة يلزم استخدام التسخين المسبق قبل إجراء اللحام.

3- يمكن أن تتشكل في وصلات الألمنيوم وختلائطه الفقاعات الغازية، أو أن تحدث تشققات في أثناء اللحام أو بعده.

يتم لحام الألمنيوم باستخدام القوس الكهربائي اليدوي أو نصف الآلي، في وسط من الأرجون أو دونه أو باستخدام اللحام الغازي. وبغض النظر عن أسلوب اللحام المستخدم، فإن قطع الألمنيوم يجب أن تخضع لعمليات تحضير أولية، وتطبق هذه العمليات نفسها على سلك المعدن المضاف، وعلى قضبان الألمنيوم قبل تغليفها (تغطيتها).

1-1-12: تحضير قطع الألمنيوم قبل اللحام:

يستخدم لإزالة الدهون والشحوم والزيوت من على سطح القطع، كذلك القشرة الأكسيدية، مجموعة من العمليات نوجزها فيما يأتي:

1- تستخدم لإزالة الدهون والشحوم محاليل عضوية (مثل بنزين الطائرات أو الأسيتون الصناعي أو ثاني كلور الإيثان).

2- تستخدم لإزالة القشرة الأكسيدية الطريقة الميكانيكية أو الطريقة الكيميائية (أي باستخدام حموض كيميائية) وتتلخص الأخيرة فيما يأتي:

أ- تغطس القطع لمدة (0.5÷1 min) في محلول يحتوي على (45÷55 g) من الصودا الكاوي مع (40÷50 g) من فلوريد الصوديوم على ليتر من الماء.

ب- تغسل القطع بالماء الجاري.

ج- تغطس القطع في محلول يحتوي على 30% من حمض الآزوت لمدة (1÷2 min).

د- تغسل القطع بالماء الجاري ثم بالماء الساخن.

هـ- تجفف القطع حتى تزال الرطوبة من عليها تماماً.

ويجب أن تجري هذه العمليات جميعها قبل اللحام نحو ساعتين إلى أربع ساعات.

تلحم صفائح الألمنيوم التي لا تزيد سماكتها على (5 mm) دون شنفرة حوافها، ويمكن

أن تلحم السماكات التي لا تزيد على (20÷25 mm) دون تسخين مسبق، وعادةً

يستخدم التسخين المسبق حتى (300÷400 °C) عندما تزيد السماكة على (20 mm).

أما مسبوكات السيلومين، فتسخن إلى درجة الحرارة (200-300 °C).

2-1-12: لحام الألمنيوم و خلانطه بالقوس الكهربائي اليدوي:

تتم عملية اللحام اليدوي باستخدام إلكترودات فحمية أو معدنية. وتجري عملية اللحام

بالإلكترودات فحمية بتيار مستمر ذي قطبية مباشرة، ويبين الجدول (1-12) أنظمة اللحام

اليدوي للألمنيوم و خلانطه باستخدام إلكترودات فحمية أو غرافيتية.

الجدول (1-12): أنظمة اللحام اليدوي للألمنيوم و خلائطه عند استخدام إلكتروادات
فحمية أو غرافيتية.

سماكة المعدن المراد لحامه mm	قطر سلك اللحام المستخدم mm	قطر الإلكترود الفحمي أو الغرافيتي mm	شدة التيار الكهربائي A
5-2	6-1	8	200-120
10-5	7-5	10	280-200
15-10	10-7	12	350-280
أكثر من 15	12-10	15	450-350

وتجري عملية اللحام بالإلكتروادات معدنية بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة، ويبين الجدول
(2-12) أنظمة اللحام اليدوي للألمنيوم و خلائطه باستخدام إلكتروادات معدنية.

الجدول (2-12): أنظمة اللحام اليدوي للألمنيوم و خلائطه عند استخدام إلكتروادات
معدنية.

سماكة المعدن المراد لحامه (mm)	قطر الإلكترود (mm)	شدة التيار (A)
3÷1	3	130÷80
5÷3	4	180÷150
8÷5	5	320÷250
10÷8	6	350÷300
15÷10	8	400÷350
أكثر من 15	10	450÷400

12-1-3: لحام الألمنيوم و خلائطه بالقوس الكهربائي الآلي:

تتم عمليات لحام الألمنيوم و خلائطه الآلية باستخدام إلكتروادات معدنية مستهلكة
(تنصهر)؛ إذ تكون سرعة سحب سلك اللحام ثابتة، وتكون حواف القطع المراد لحامها
بدون شفرة. ويبين الجدول (3-12) أنظمة اللحام الآلية باستخدام إلكتروادات معدنية
مستهلكة، وذلك عند لحام وصلات تناكبية من الألمنيوم أو خلائطه وبحيث تتم عملية
اللحام من الوجهين.

الجدول (12-3): أنظمة اللحام الآلي للألمنيوم وخصائصه باستخدام إلكترونيات مستهلكة.

مقدار الخلوص بين حافتي القطعتين (mm)	سرعة اللحام (m/h)	توتر القوس (V)	شدة التيار (A)	قطر سلك اللحام (mm)	سماعة المعدن (mm)
1÷0	16	38÷36	300-280	1.8	12
1÷0	16	40÷38	400-350	2.5	16
1.5÷0	16	41÷39	430-400	2.85	18
2÷0	16	42÷40	600-500	4.5	25

12-1-4: لحام الألمنيوم وخصائصه بالقوس الكهربائي في وسط من الأرجون:

تتميز هذه الطريقة من غيرها من طرق لحام الألمنيوم وخصائصه بصفة رئيسة وهي أنه لا يستخدم في هذه الطريقة الفليكسات أو الإلكترونيات المغلفة، ويستعمل اللحام بهذه الطريقة الأرجون الخالي من الرطوبة وتصل درجة نقاوته إلى (99.8%). وتتم عمليات اللحام يدوياً أو نصف آلياً أو آلياً. وتستخدم لعمليات اللحام اليدوية إلكترونيات مصنوعة من معدن التنجستين وباستعمال ماسكات إلكترونيات خاصة. ويتم اختيار قطر الإلكترود تبعاً لسماعة القطع المراد لحامها:

سماعة المعدن المراد لحامه (mm): حتى 2 5÷2 أكثر من 5.
قطر الإلكترود المستخدم (mm): 1,5÷1 3÷1,5 4÷3

ويمكن أن تتم عملية اللحام بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة أو بتيار متناوب. ويبين الجدول (12-4) أنظمة اللحام اليدوي باستخدام إلكترونيات غير مستهلكة. وتتم عمليات اللحام الآلية باستخدام إلكترونيات مستهلكة أو غير مستهلكة وعلى آلات لحام معدة خصيصاً لهذا الغرض. وتجري عملية اللحام بالإلكترونيات غير مستهلكة مع استخدام سلك المعدن المضاف أو بدونه. ويبين الجدول (12-5) أنظمة اللحام الآلي عند استخدام إلكترونيات غير مستهلكة ومن دون استعمال سلك المعدن المضاف، وذلك عند لحام وصلات تناكبية من معدن الألمنيوم وخصائصه.

الجدول (12-4): أنظمة اللحام اليدوي في وسط من الأرجون باستخدام إلكترونيات غير مستهلكة وعلى وسادة من النحاس أو الفولاذ المقاوم للصدأ.

وصلة تناكيبية مشفهة من دون استخدام سلك المعدن المضاف		وصلة تناكيبية بدون استخدام سلك المعدن المضاف		وصلة تناكيبية مع استخدام سلك المعدن المضاف		سماعة المعدن (mm)
تصريف الأرجون (L/min)	شدة التيار (A)	تصريف الأرجون (L/min)	شدة التيار (A)	تصريف الأرجون (L/min)	شدة التيار (A)	
5÷4	45÷40	5÷4	55÷45	.	.	0,8
5÷4	55÷45	5÷4	65÷50	5÷4	85-65	1,0
6÷5	70÷55	6÷5	70÷60	6÷5	90-70	1,2
8÷7	85÷70	8÷7	90÷70	8÷7	100-80	1,5
.	.	8÷7	110÷90	8÷7	110-90	2,0
.	.	9÷8	120÷100	9÷8	120-100	3,0

الجدول (12-5): أنظمة اللحام الآلي في وسط من الأرجون وباستخدام إلكترونيات غير مستهلكة من دون استعمال سلك المعدن المضاف.

تصريف الأرجون I/min	سرعة اللحام عندما يتم اللحام في وضع أرضي (m/h)	شدة التيار (A)	قطر إلكترود التنجستن (mm)	سماعة المعدن (mm)
6÷5	50÷25	70÷40	2	1
7÷6	45÷20	80÷50	3	1,5
8÷7	40÷20	120÷80	4	2,0
9÷8	30÷15	200÷150	4	3,0

12-1-5: اللحام الغازي للألمنيوم وخلائطه:

تتميز هذه الطريقة من غيرها بأنها ذات مردود قليل، ومن عيوبها: ضرورة استخدام الفليكسات عند اللحام، يبقى تركيز الحرارة قليلاً إذا ما قورن بأسلوب اللحام بالقوس الكهربائي، ويتم اختيار استطاعة لهبة اللحام تبعاً لسماعة المعدن المراد لحامه:

سماكة المعدن المراد لحامه (mm):

4÷3 2,0÷1,5 1,2 1,0 0,8÷0,5

استطاعة لهبة اللحام (L/min):

500÷300 300÷150 150÷75 75 50

ويجب أن يتم اللحام بلهبة معتدلة، ويستعمل للحام سلك المعدن المضاف المصنوع من الألمنيوم وخلاتظه، ويتعلق قطر هذا السلك بسماكة المعدن المراد لحامه:

سماكة المعدن المراد لحامه (mm):

10-7 7-5 5-3 3-1,5 1,5

قطر سلك المعدن المضاف (mm):

5,5-4,5 4,5-4 4-3 3-2,5 2-1,5

12-1-6: معالجة وصلات الألمنيوم اللحامية ميكانيكياً وحرارياً:

يجب أن تخضع الدرزات اللحامية المنفذة بالقوس الكهربائي أو باللحام الغازي مع استعمال إلكترونيات مغلقة أو فلكسات إلى معالجة ميكانيكية لإزالة الخبث الذي على سطح هذه الدرزات؛ لأنه يسبب تآكل المعدن. أما الوصلات اللحامية المصنوعة من الديور ألومنيوم و السيلومين، فيجب أن تخضع لعملية تخمير، وذلك بتسخينها إلى درجة حرارة (300÷370 °C) مع مدة إبقاء لا تزيد على (1.5-2h)، ومن ثم تبريدها ببطء. أما وصلات اللحام المصنوعة من الديور ألومنيوم المسقى، فتخضع لعملية سقاية، وذلك بتسخينها حتى درجة حرارة (500÷510 °C) ومن ثم تبريدها بالماء، وبعد ذلك تجري لها عملية تعتيق. وتستخدم هذه الطريقة من المعالجة الحرارية للقطع ذات الأهمية في الصناعة.

12-2: لحام النحاس:

على الرغم من الاستخدام الواسع للنحاس في مجالات الصناعة المختلفة إلا أن هناك بعض الصعوبات التي تعترض تنفيذ عمليات لحامه، وأهمها:

1- الناقلية العالية للحرارة.

2- سيولته العالية.

3- تأكسده السريع عند ارتفاع درجة حرارته؛ وبخاصة في حالة انصهاره. وتؤثر الشوائب التي تدخل في تركيب النحاس في قابليته للحام (مثل الأوكسجين والزنك والكبريت والفسفور والقصدير والزرنيخ). ويتأكسد النحاس عند تسخينه أو صهره ويتشكل أكسيد النحاسي (Cu_2O)، ويتفاعل هذا الأخير مع الهيدروجين، ويسبب تشكل تشققات سطحية للدرزات اللحامية. وأفضل أنواع النحاس قابلية للحام هو النحاس المستحصل بالطريقة الإلكترونية، وذلك لأنه يحتوي على شوائب لا تزيد نسبتها على (0.05%).

12-2-1: لحام النحاس بالقوس الكهربائي اليدوي:

تستخدم طريقة اللحام اليدوية عند لحام النحاس بالكترودات معدنية أو فحمية، وتستخدم لصناعة إلكترودات اللحام قضبان مصنوعة من النحاس أو من البرونز السيلييسي المنغيزي أو من اللاتون أو من البرونز الفوسفوري القصديري، وتغطي هذه القضبان بغلاف خاص، ويتم عملية اللحام بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة، ويبين الجدول (12-6) أنظمة اللحام اليدوي عند استخدام إلكترودات معدنية.

أما عند اللحام بالكترودات فحمية أو غرافيتية، فتستخدم أسلاك المعدن المضاف المصنوعة من المواد نفسها التي صنعت منها قضبان اللجام أنفة الذكر، ولجعل عملية اللحام تجري بشكل أفضل تستخدم فلكسات خاصة تظلي بها أسلاك المعدن المضاف أو ترش على سطوح القطع قبل إجراء عملية اللحام، ويبين الجدول (12-7) أنظمة اللحام اليدوي للنحاس عند استخدام إلكترودات فحمية أو غرافيتية.

الجدول (12-6): أنظمة اللحام اليدوي للنحاس عند استخدام إلكترودات معدنية مغلقة.

سماعة المعدن (mm)	قطر الإلكترود (mm)	شدة التيار (A)
2	3	150÷120
3	4÷3	210÷160
4	4	280÷240
5	5	350÷300
6	6÷5	380÷330

ويجب أن ننوه هنا إلى أن قطع النحاس التي لا تزيد سماكتها على 4 mm تلحم من دون شنفرة الحواف. تُجمع الوصلات التتاكبية للحامها من دون أن يترك خلوص بينها، ويجب تسخين القطع التي تزيد سماكتها على 5 mm إلى درجة حرارة $200 \div 300^{\circ}\text{C}$ قبل إجراء عملية اللحام.

الجدول (7-12): أنظمة اللحام اليدوي للنحاس عند استخدام إلكتروادات فحمية أو غرافيتية.

سماكة المعدن (mm)	قطر الإلكترود (mm)	شدة التيار (A)
1	4	180÷135
2	6	260÷195
4	6	330÷250
6	8	430÷315
12	10	550÷420

2-2-12: لحام النحاس بالقوس الكهربائي المحكم آلياً:

يمكن لحام النحاس آلياً بالقوس المغمور بالفيلكس، وتستخدم لهذا الغرض إلكتروادات فحمية أو معدنية وتتم عملية اللحام بالإلكتروادات الفحمية باستخدام رأس لحام يتحرك بسرعة ثابتة على طول الدرزة اللحامية. ويستخدم الإلكترود الفحامي الذي قطره يساوي 20 mm للحام النحاس الذي سماكته (4-8 mm). ويبين الجدول (8-12) أنظمة اللحام الآلي للنحاس باستخدام إلكتروادات فحمية.

الجدول (8-12): أنظمة اللحام الآلي للنحاس بالقوس المغمور بالفيلكس وباستخدام إلكتروادات فحمية

سماكة المعدن (mm)	قطر الإلكترود (mm)	شدة التيار (A)	توتر القوس (V)	سرعة اللحام (m/h)
4	20	800-780	18	22,4
6		980-960		
8		1000	19-18	16

وتتم عملية لحام النحاس ألياً بالقوس المغمور بالفليكس عند استخدام إلكترودات معدنية على آلات اللحام العادية. ويراوح قطر سلك اللحام بين $3 \text{ mm} \div 1.6$ ويتم اللحام بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة. ويبين الجدول (9-12) اللحام الآلي للنحاس عند استخدام إلكترودات معدنية شريطة أن تتم عملية اللحام المنفذة باستعمال هذه الأنظمة دون شنفرة الحواف ولوصلات تناكبية فقط. أما للوصلات التناكبية ذات الحواف المشنفرة ولوصلات أخرى فتمت أنظمة لحام أخرى أيضاً.

الجدول (9-12): أنظمة اللحام الآلي للنحاس بالقوس المغمور بالفليكس وبالإلكترودات المعدنية ولوصلات تناكبية من دون شنفرة الحواف.

سرعة اللحام (m/h)	توتر القوس (V)	شدة التيار (A)	قطر الإلكترود (mm)	سمائة المعدن (mm)
25	35-32	160+140	1,6	2
20		210+190	2	3
25	35-30	280+250		4
25		340+300		5
20	38-33	350+330		6
16		450+400	3	8

12-2-3: لحام النحاس في وسط من الغازات الواقية:

يمكن لحام النحاس في وسط من الأرجون أو الآزوت وباستخدام إلكترودات من التنجستين أو إلكترودات معدنية مستهلكة. وأكثرها انتشاراً هو اللحام في وسط من الأرجون وبإلكترودات من التنجستين وبتيار مستمر ذي قطبية مباشرة. ويبين الجدول (10-12) أنظمة لحام النحاس يدوياً وباستخدام إلكترودات من التنجستين.

12-2-4: اللحام الغازي للنحاس:

تستعمل طريقة اللحام هذه على نحو واسع في لحام القطع المصنوعة من النحاس التي تصل سماكتها حتى 5 mm ؛ إذ يستعمل سلك المعدن المضاف من الماركات العادية للنحاس. أما عند لحام سماكات أكبر بهذه الطريقة، فيستعمل السلك الذي يحتوي في

تركيبه إما على (0.2%) فوسفور، وإما على (0.15-0.3%) سيليسيوم أو (0.2-0.7%) فوسفور، ويبين الجدول (11-12) أنظمة اللحام الغازي للنحاس.

الجدول (10-12): أنظمة لحام النحاس بالقوس الكهربائي اليدوي وباستخدام إلكترونيات من التنجستين وفي وسط من الأرجون.

سماعة المعدن (mm)	قطر سلك المعدن المضاف (mm)	قطر إلكترود التنجستين (mm)	شدة التيار (A)	تصريف الأرجون (L/min)
1,6	2,4	2,4	100÷80	3,3÷2,8
3,2	3,2	3,2	200	6
6,4	4,8	4,8	300	7
10	4,8	4,8	350	8
12	6,4	4,8	400	8
16	6,4	4,8	400	8

الجدول (11-12): أنظمة اللحام الغازي للنحاس.

سماعة المعدن (mm)	قطر سلك المعدن المضاف (mm)	رقم فالة شلمون اللحام
حتى 1,5	1,5	1
2,5÷1,5	2	2
4÷2,5	3	3
8÷4	5	5-4
15÷4	6	6
أكثر من 15	8	7-6

12-2-5: معالجة وصلات اللحام النحاسية حرارياً:

مهما كانت طريقة اللحام المستخدمة للنحاس، فإنه يفضل إخضاع الدرزات اللحامية الناتجة إلى عملية الدرفلة، فعندما تكون سماعة الوصلة أقل من 5 mm، فإن عملية الدرفلة تكون على البارد، وعندما تكون سماعة الوصلة أكبر من ذلك، فإن عملية الدرفلة

تكون على الساخن وعند درجة الحرارة ($250-350^{\circ}\text{C}$)، ويمنع درفلة وصلات النحاس عند درجة حرارة تزيد على 400°C ، ذلك لأن النحاس يصبح هشاً، ويمكن أن يتصدع. ولتحسين خواص وصلات اللحام النحاسية تُستخدم عملية التخمير، وتتخصص بتسخين هذه الوصلات إلى درجة حرارة نحو ($500-600^{\circ}\text{C}$) ومن ثم تبريدها بالماء.

12-3: لحام التيتان وخلائطه:

يجد معدن التيتان و خلائطه استخداماً واسع النطاق في الصناعة في الوقت الحاضر، وتعد شراهة التيتان الكبيرة للأوكسجين و الأزوت العتبة الوحيدة التي تعترض تنفيذ عمليات لحام التيتان و خلائطه. ويؤثر في قابلية التيتان للحام كثيراً كل من الأوكسجين و الأزوت والهيدروجين والكربون، فكلها عناصر ضارة على خواص التيتان. وللحصول على درزات لحامية جيدة، فإن نسب الشوائب في التيتان، وفي سلك المعدن المضاف يجب ألا تزيد على النسب الآتية: الأوكسجين (0.15%)، والأزوت (0.04%)، والهيدروجين (0.01%)، والكربون (0.1%).

وعند لحام التيتان، فإنه يجب توفير حماية كاملة من التأثير الضار للهواء المحيط لكل من: منطقة اللحام (المعدن المصهور) - أجزاء الوصلة التي ترتفع درجة حرارتها إلى أعلى من 500°C - جذر الدرزة اللحامية. ويتم لحام التيتان و خلائطه بالقوس الكهربائي في وسط من الأرجون أو بالقوس المغمور بالفليكس والمحكم آلياً أو بواسطة لحام التماس الكهربائي (التاكي أو النقطي أو التدريزي).

12-3-1: لحام التيتان وخلائطه بالقوس الكهربائي في وسط من الأرجون:

تعد هذه الطريقة الأكثر استخداماً من غيرها في لحام التيتان و خلائطه. وتتم عمليات اللحام بهذه الطريقة باستخدام إلكترودات من معدن التيتان، ولا يسمح باستعمال إلكترودات فحمية. ويجب ألا تقل درجة نقاوة الأرجون عن (99.7%).

ويمكن أن تستعمل في اللحام أسلاك المعدن المضاف المصنوعة من التيتان و خلائطه، ويُفضل استخدام وسادات فولاذية مع تسليط تيار من الأرجون، وذلك لحماية الوجه

العكسي للدرزة اللحامية (جذر الدرزة). ويجب تنظيف حواف القطع المراد لحامها وأسلاك اللحام من الأوساخ والقشور الأكسيدية قبل البدء بعملية اللحام.

وتتم عملية اللحام بهذه الطريقة بالكثود من التجستين وبتيار مستمر ذي قطبية معكوسة. ويبين الجدول (12-12) أنظمة لحام التيتان وخلائطه بالقوس الكهربائي اليدوي في وسط من الأرغون.

يمكن أن تلحم الصفائح التي لا تزيد سماكتها على (6 mm) تناكبياً بالطريقة الآلية ومن دون استخدام سلك المعدن المضاف، شريطة أن تلحم الصفائح التي لا تزيد سماكتها على (3 mm) من وجه واحد، أما الصفائح التي تراوح سماكتها بين (3-6 mm) فتلحم من الوجهين. وتتوافر حالياً أنظمة لحام لاستخدامها في هذا الأسلوب من لحام التيتان.

جدول (12-12): أنظمة اللحام اليدوي بالقوس الكهربائي في وسط

من الأرغون للتيتان وخلائطه

سماكة المعدن (mm)	شدة التيار (A)	توتر القوس (V)	قطر الإلكترود (mm)
0,8	40-50	14-18	1,5-2,0
1,0	50-60		
1,2	50-60		
1,5	70-80		
2,0	90-100		
2,5	110-120		
3,0	120-140		

12-3-2: لحام التيتان و خلائطه بالقوس المغمور بالفلاكس:

يتم لحام التيتان وخلائطه آلياً على آلات لحام عادية. ويحضر سلك المعدن المضاف من التيتانيوم الصناعي أو من خلائطه، ويتم تنفيذ الوصلات التناكبية على وسادة من التيتانيوم أو النحاس. ويبين الجدول (13-12) أنظمة لحام التيتان لوصلات تناكبية على وسادة من التيتان.

12-3-3: لحام التيتان وخلانطه بالتماس الكهربائي:

يستخدم لحام التماس النقطي والتدريزي للتيتان وخلانطه على نحو واسع في الوقت الحاضر. وتبين الجداول (12-14) و (12-15) أنظمة لحام التماس النقطي والتدريزي للتيتان وخلانطه.

الجدول (12-13): أنظمة لحام التيتان وخلانطه على وسادة من التيتان باستخدام الطريقة الآلية.

أبعاد وسادة التيتان (mm)	سرعة اللحام (m/h)	سرعة سحب سلك اللحام (m/h)	شدة التيار (A)	توتر القوس (V)	سمانة المعدن (mm)	قطر الإلكترود (mm)
12x105	55÷60	150	180÷160	34÷30	1,8÷1,5	2
15x2,0	50	175÷162	220÷190	36÷34	2,5÷2,0	
18x2,5		221÷175	250÷220	38÷34	3,0÷2,8	
20x2,0		239÷211	320÷300	38÷34	4,5÷4,0	
18x2,8		204÷189	260÷230	34÷32	3,0÷2,8	2,5
20x3,0		150÷139	340÷310	32÷30	5÷4,0	
20x3,0		111÷25	340÷310	32÷30	5÷4,0	3

الجدول (12-14): أنظمة لحام التماس النقطي للتيتان الصفائحي.

شدة التيار (A)	القوة المطبقة على الإلكترودات Kgf	زمن اللحام sec	قطر الإلكترود في منطقة تلامسه مع الصفائح (mm)	سمانة المعدن (mm)
10000÷6000	350÷250	0,2÷0,1	5÷4	1+1
	450÷350	0,2÷0,1	5÷4	1,5+1,5
	550÷450	0,4÷0,3	6÷5	2+2
	650÷550	0,5÷0,4	7÷6	2,5+2,5

الجدول (12-15): أنظمة لحام التماس التريزي للتيتان (عند استخدام أسطوانات الدرفلة للحام التريزي).

عرض الدرزة للحامية (mm)	سرعة اللحام (m/h)	القوة المطبقة على الأسطوانات Kgf	شدة التيار (A)	عرض الاسطوانة (mm)	سماعة المعدن (mm)
3,5	0,85÷0,65	200	6000	5÷4	0,5+0,5
4	0,8÷0,7	250	6500	5÷4	0,8+0,8
5	0,6÷0,7	300	7500	6÷5	1+1
5,5	0,65÷0,55	350	8500	7÷6	1,2+1,2
6	0,6÷0,5	400	9000	7÷6	1,5+1,5
7	0,6÷0,5	450	11500	8÷7	2+2

12-3-4: المعالجة الحرارية لوصلات التيتان وخلائطه:

يفضل أن تخضع وصلات التيتان اللحامية المنفذة بالقوس الكهربائي لعملية تخمير؛ إذ لا تتأخر عملية التخمير هذه عن ساعتين بعد الانتهاء من عملية اللحام. ويتم تخمير القطع المصنوعة من التيتان وخلائطه بحرارة تتراوح بين (600-650 °C) لفترة تتراوح بين (30-45 min).

12-4: لحام النيكل وخلائطه:

يحتوي النيكل الصناعي على شوائب لا تزيد نسبتها على (1%) وهذه الشوائب، هي: الحديد، والكربون، والسليسيوم، والنحاس، وغيرها، ويتم لحام النيكل الصناعي وخلائطه بالقوس الكهربائي وبالغاز، فلحام النيكل بالقوس الكهربائي في وسط من الأرجون يتم عادةً باستعمال إلكترودات غير مستهلكة وبتيار مستمر ذي قطبية مباشرة. ويجب ألا تقل درجة نقاوة الأرجون عن 99.8%. أما اللحام بالقوس الكهربائي عند استخدام إلكترودات مستهلكة، فيتم بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة. وعندما تكون سماعة المعدن قليلة، فإنه يمكن استعمال اللحام الغازي. ويتم اختيار رقم فالة شلمون اللحام بعد الأخذ في الحسبان أنه لكل (1mm) من سماعة المعدن يجب أن يكون تصريف الغاز (100L/h).

12-5: لحام البرونز:

تُستخدم طرق اللحام آنفة الذكر لإصلاح العيوب في سبائك البرونز، (مثل: الفقاعات والتشققات والفجوات... الخ). وعامةً يتم إصلاح عيوب البرونز بالقوس الكهربائي باستعمال إلكترودات فحمية أو معدنية أو إصلاح هذه العيوب باللحام الغازي.

12-5-1: إصلاح عيوب البرونز باللحام بالقوس الكهربائي:

عند اللحام بالإلكترودات فحمية، فإن قطر سلك المعدن المضاف يتراوح بين (5÷12mm)، ويجب أن يكون تركيب هذا السلك من تركيب قطعة البرونز المراد لحامها نفسها، وتطلى هذه الأسلاك البرونزية بغلاف خاص، أما عمليات اللحام باستعمال إلكترودات معدنية، فتتخذ بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة، وأما اللحام بالإلكترودات فحمية، فينفذ بتيار ذي قطبية مباشرة، ويفضل تسخين القطع الكبيرة قبل اللحام إلى درجة حرارة تتراوح بين (350 ÷ 450 °C).

12-5-2: إصلاح عيوب البرونز باللحام الغازي:

يتم اختيار رقم فالة الشلمون في هذه الحالة بعد الأخذ بالحسبان أن لكل (1 mm) من سماكة المعدن المراد لحامه يجب أن يكون تصريف الغاز (100÷150 L/h)، ويجب أن تكون لهبة اللحام معتدلة، والتركيب الكيميائي لسلك المعدن المضاف قريب من تركيب المعدن المراد لحامه.

ويستعمل للحام البرونز الألوميني الفليكسات نفسها التي تستعمل عند لحام الألمنيوم، أما للحام أنواع البرونز الأخرى، فتستعمل الفليكسات التي تصلح للحام النحاس. ويفضل أن يتم اللحام الغازي بعد تسخين القطع تسخيناً مسبقاً إلى درجة حرارة (350 ÷ 450 °C).

12-5-3: المعالجة الحرارية لسبائك البرونز التي تم إصلاحها باللحام:

يفضل أن تخضع سبائك البرونز إلى إصلاح عيوبها باللحام بالقوس الكهربائي أو باللحام الغازي إلى عملية تخمير وذلك بتسخينها إلى درجة حرارة (450 ÷ 500 °C). ويمكن أن تستخدم عملية الدفلة للقطع التي يتم إصلاح عيوبها باستخدام أسلاك المعدن المضاف المصنوع من البرونز المسحوب.



الفصل الثالث عشر

أنواع الوصلات اللحامية ومقاومتها التصميمية

1-13: تصنيف الوصلات اللحامية:

هناك العديد من تصاميم الوصلات اللحامية، أهمها:

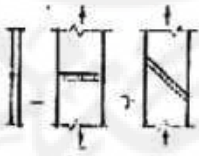
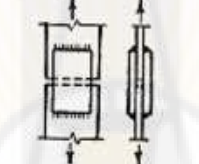
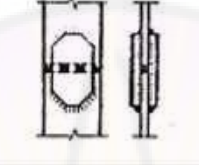
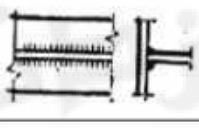
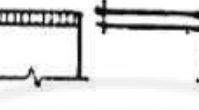
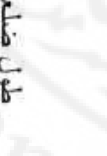
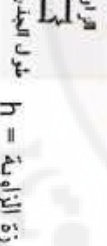
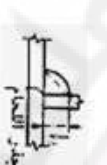
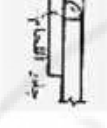
- وصلات تتاكبية (But joints).
- وصلات تراكيبية (Lap joints).
- وصلات مركبة (Composite joints).
- وصلات متعامدة بشكل حرف T، (T-joints).
- وصلات زاوية (Corner joints) وغيرها.

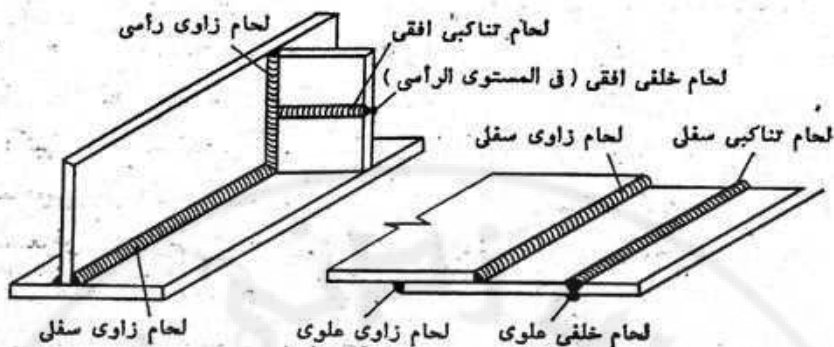
يبين الجدول (1-13) أسماء الدرزات الملحومة، وأنواع الوصلات الملحومة.

وتصنف الدرزات الملحومة التي يتم بوساطتها لحام أو إنجاز الوصلات إلى الأنواع الآتية طبقاً لعدد من الخصائص، هي:

- تبعاً لوضعها على القطع الملحومة إلى: درزات سفلية، درزات رأسية، درزات أفقية وعلوية (شكل 1-13).
- تبعاً لتصميم الدرزات للوصلات: درزات تتاكبية وزاوية، وتنقسم اللحامات الزاوية تبعاً للقوى المؤثرة إلى: لحامات زاوية جانبية ولحامات زاوية طرفية.
- تبعاً للطريقة المتبعة في تشكيل حافات أو أطراف الألواح المعدنية: وصلات مشنفرة بشكل (x) أو (K) أو وصلات مشنفرة بشكل (U) لجدول (1-13-2).
- تبعاً لطول اللحامات: لحامات متواصلة، ولحامات منقطعة.
- تبعاً لعدد الطبقات التي تتألف منها الدرزات: درزات ذات طبقة واحدة، ودرزات متعددة الطبقات.

الجدول (1-13): أنواع اللحامات والوصلات الملحومة.

أنواع الوصلات الملحومة	نوع اللحام	وصلات تتأكيب لحام تتأكيب	وصلات تراكيب لحام زائوي		وصلات مركبة تتأكيب طرفي جانبى	وصلات شكل T	وصلات زاوية
			جانبى	طرفي			
تفاصيل اللحام	طول ضلع الذروة الزاوية = h						
تفاصيل اللحام	طول ضلع الذروة الزاوية = h						



الشكل (1-13): تصنيف اللحامات من حيث موقعها في الفراغ.

الجدول (2-13): تصنيف الدرزات اللحامية تبعاً لطريقة تشكيل حافات الألواح.

ملحوظات	تستخدم عندما يبلغ ثخن اللوح 1 مم	رسم تخطيطي يبين كيفية تشكيل حافات الألواح	نوع اللحام تبعاً لطريقة تشكيل الحافات
a - خلوص ، b - طول الجنر ، α - الزاوية المحصورة	حتى 8-10		بدون تشكيل
	من 10-20		شكل V
	أكثر من 20		شكل X
	كذلك		شكل K
	كذلك		شكل U
يتم اللحام عند δ حتى 16 مم، باستعمال الوصلات المربعة، و بخلوص يبلغ 1 مم	أكثر من 16		شكل V- في حالة اللحام الأوتوماتيكي

يذكر عادة رموز الدرزات وأبعادها على الرسم التخطيطي المعين، ويذكر بالإضافة إليه نوع الإلكتروود، في ملحوظة تكتب بقرب اسم الرسم التخطيطي، في الزاوية السفلى اليمنى من الورقة.

13-2: المقاومات التصميمية للوصلات اللحامية (الإجهادات المسموح بها):

تحدد متانة الوصلات اللحامية بمقارنة الإجهادات المحسوبة مع الإجهادات المسموح بها:

$$\sigma < [\sigma], \tau < [\tau]$$

يتم وضع الإجهادات المسموح بها وفقاً للعوامل الآتية:

- خواص المعدن.
- درجة دقة الحساب.
- مواصفات الحمولة.
- نوع القوة (شد، ضغط، قص.... الخ).

الإجهادات المسموح بها في منشآت بناء الآلات التي تعمل على الشد عند الحمولات الستاتيكية تساوي:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_T}{n}$$

حيث:

σ_T : حد الخضوع للمعدن.

n : عامل أمان المتانة.

يأخذ عامل الأمان في الحسبان إمكانية زيادة الحمولة والانحراف عن الشكل في التركيب الكيميائي أو شروط استثمار الوصلة، ويتراوح عامل الأمان للقطع المصنوعة بطريقة السحب أو الطرق أو الكبس بين (1,6 ÷ 1,2).

الإجهاد المسموح به على الضغط $[\sigma_m]$ يساوي الإجهاد المسموح به على الشد $[\sigma_p]$ أو أقل منه وفقاً لأشكال العناصر المضغوطة وأبعادها.

الإجهاد المسموح به على القص:

$$\tau = 0.6 [\sigma_p]$$

الإجهاد المسموح به على الهصر : $\sigma_{Cr} = 1.5 [\sigma_p]$
يتم اختيار الإجهاد المسموح به لوصلات اللحام وفقاً لسير العملية التقنية. ويعطي الجدول (3-13) العلاقات اللازمة من أجل تحديد الإجهادات المسموح بها لدرزات اللحام المستعملة في بناء الآلات والمصنوعة من الفولاذ منخفض الكربون ومتوسطة.

الجدول (3-13): الإجهادات المسموح بها للوصلات اللحامية المخصصة لمنشآت بناء الآلات.

الإجهادات المسموح بها في الدرزات اللحامية عند الاختبار على:			نوع العملية التقنية
الشد	الضغط	القص	
σ_p	$[\sigma_m]$	$0.65 [\sigma_p]$	اللحام الآلي ونصف الآلي تحت طبقة من الفليكس أو في وسط من الغازات الواقية.
$0.9 [\sigma_p]$	$[\sigma_p]$	$0.6 [\sigma_p]$	اللحام اليدوي بالقوس الكهربائي اليدوي.

يتم تعيين الإجهاد المسموح به في الوصلات اللحامية التي تعمل في شروط ثقيلة، مثل: درجات الحرارة العالية أو في وسط حمضي أو قلوي بعد إجراء اختبارات وتجارب خاصة من أجل الاستثمار ضمن الشروط المذكورة.
يساعد حساب الإجهادات الحدية تبعاً لشروط عمل وصلة اللحام إفرادياً، وتتضمن هذه الطريقة ما يأتي:
تدرس وصلة اللحام في الحالة الحدية، أي في حالة إجهادات إذا تخطيناها يصبح عمل الوصلة غير طبيعي.

تحسب منشآت اللحام بحالتين حديثتين:

حسب صلاحية الوصلة للعمل وحسب تطور تشوهات الوصلة نتيجة الإجهادات المتبقية الناتجة عن اللحام، ويجب أن تكون الإجهادات أقل من مقاومة المعدن المحسوبة ($\sigma \leq R$) أو مساوية لها.

ويتم تحديد الحمولة الحسابية بالمعادلة الآتية:

$$P = P_H \times n \quad (1-13)$$

حيث:

P_H : الحمولة الاسمية.

n : عامل زيادة الحمولة.

يأخذ عامل زيادة الحمولة في الحسبان خطر ازدياد الحمولة بالمقارنة مع القيم المعيارية ($n = 1.0 \div 1.1$) الموجودة في الجداول، وتتعلق قيمة العامل بنوع الحمولة، مثال: للحمولة العادية.

($n = 1.2 \div 1.3$) للحمولة المستخدمة في الروافع.

$n = 1.4$: للحمولة الناتجة من الثلج.

تتعلق الحمولة الحسابية بالخواص الميكانيكية للمعدن وخصائص المقاطع الهندسية (مساحة المقطع وعزم المقاومة W) وشروط عمل المنشآت. يتم تحديد المقاومة الحسابية بالمعادلة الآتية:

$$R = K \cdot R_H \cdot m \quad (2-13)$$

حيث:

R_H : المقاومة المعيارية للمعدن تساوي القيمة الصغرى لحد السيولة (σ_T) وهي بالنسبة إلى الفولاذ منخفض نسبة الكربون ($R_H = 2100 \text{ Kg/Cm}^2$).

K : عامل تجانس المعدن يأخذ في الحسبان خطر انخفاض مقاومة المعدن بمقارنتها مع القيم المعيارية.

حيث: $K = 0.9$ للفولاذ الكربوني العادي.

$K = 0.85$ لكل من الفولاذ منخفض نسب الخلط وخليط الألمنيوم.

m: عامل شروط العمل يأخذ في الحسبان إمكانية الانحراف عن شروط الاستثمار الطبيعية وخصائص عمل المنشآت.

على سبيل المثال:

نستعمل ($m = 0.8$) عند حساب خزانات لحفظ منتجات النفط و ($m = 0.9$) عند حساب عوارض الروافع التي تعمل بشروط ثقيلة.





الفصل الرابع عشر

إلكتروادات اللحام

تعريف الإلكتروود:

يطلق اسم الإلكتروود في اللحام بالقوس الكهربائي على أنه القضيب المخصص لإيصال التيار الكهربائي إلى منطقة قوس اللحام، وفي الوقت نفسه غالباً ما يكون الإلكتروود مادة ترسيب.

وتكون الإلكتروودات المستخدمة في اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي عبارة عن قضبان ذات مقطع دائري، مختلف الطول والقطر. أما في اللحام الآلي أو النصف آلي، فتستخدم أسلاك فولاذية بشكل لفات عارية أو أسلاك تكون حاوية في داخلها بعض المساحيق. تصنف الإلكتروودات إلى إلكتروودات غير مستهلكة (غير منصهرة)، والإلكتروودات مستهلكة (منصهرة).

14-1: الإلكتروودات غير المنصهرة:

هي الإلكتروودات التي لا تستهلك في عملية اللحام، ومهمتها قذح القوس الكهربائي واستمرارية اشتعال القوس في أثناء عملية اللحام. ولها أنواع عدة:

- 1- إلكتروودات من الكربون (C).
- 2- إلكتروودات من الغرافيت (G).
- 3- إلكتروودات من التنغستن (W).
- 4- إلكتروودات من الزركونيوم (Zr).
- 5- إلكتروودات من الهافنيوم (Hf).

يكنم الفرق بين الإلكتروود الفحمي والكربوني في قيمة المقاومة الكهربائية؛ إذ تصل قيمة المقاومة الكهربائية عند الإلكتروود الكربوني إلى (0.0032Ω) ودرجة حرارة بدء التأكسد (500°C) أما الغرافيتي، فتصل مقاومته إلى (0.0008Ω) ودرجة حرارة بدء

تأكسد (640°C). أما إلكترودات التتغستن، فتتمتع بقابليتها لإصدار الإلكترونات وتوصيلها الكهربائي أفضل، وعمرها أطول. والتتغستن من المعادن صعبة الانصهار ودرجة انصهاره (3410°C). وعند إجراء اللحام بالإلكترودات من التتغستن يستخدم التيار المستمر ذي القطبية المباشرة.

تستخدم إلكترودات من التتغستن النقي أو من التتغستن مع إضافة (1-2%) من أكسيد اللانثانيوم أو أكسيد النوريوم. أو إضافة (1,5-2%) من أكسيد الإتيريوم، وتساعد هذه العناصر المضافة في استقرار اشتعال القوس الكهربائي؛ فضلاً عن أنها تسمح بزيادة كثافة التيار المار في الإلكترود. وينفذ اللحام في وسط من الغازات الخاملة (الواقية)، وذلك بهدف حماية كل من الإلكترود وحوض الصهر من التأكسد.

14-2: الإلكتروادات المنصهرة:

14-2-1: أسلاك اللحام الفولاذية:

تستخدم أسلاك اللحام الفولاذية بصفة عامة في حالة اللحام الآلي والنصف آلي. وتكون هذه الأسلاك ملساء مسحوبة على البارد ومصنوعة من الفولاذ منخفض الكربون أو الفولاذ السبائكي منخفض نسب عناصر الخلط أو متوسطها أو عاليها، وتكون على شكل لفات (أو بكرات).

يحتوي السلك المصنوع من الفولاذ السبائكي منخفض ومتوسط عناصر الخلط، عناصر سبائكية بنسبة من (2,5÷10%)، أما الفولاذ عالي السبائكية، فيحتوي عناصر بنسبة تزيد على (10%).

ويجب ألا تتجاوز نسبة الكربون عن (0,12%) في السلك المصنوع من الفولاذ السبائكي منخفض نسب عناصر الخلط. ويؤدي وجود الكربون بنسبة عالية عند اللحام اليدوي بالإلكتروادات المغلفة، فيؤدي إلى تشكيل المسامات.

وتتشكل المسامات في الدرزة بسبب الغازين (CO , CO_2) اللذين ينتجان من تأكسد الكربون. ويسهم السيليسيوم الموجود في سلك الإلكترود المصنوع من الفولاذ المخمد في

تشكيل هذه الغازات. وفي هذه الحالة، وعند درجة الحرارة المرتفعة لحوض اللحام، يتأكسد أولاً السيليسيوم بصفته أكثر فاعلية من الكربون، ومن ثم يتأكسد الكربون في أثناء تبريد حوض اللحام ليشكل غازات (CO , CO_2) التي تؤدي عند خروجها من حوض اللحام الأخذ في التجمد، إلى تكوين المسام الصغيرة والفراغات الكبيرة. وعند إجراء اللحام بواسطة إلكترود مصنوع من الفولاذ غير المخمد، فإن نسبة الكربون الأعلى من نسبة السيليسيوم تسفر عن تشكيل (CO , CO_2) عند درجات حرارة أعلى؛ ولذا فإن هذه الغازات تخرج من حوض اللحام المنصهر قبل تجمد المعدن. وبالإضافة إلى المسامية، فإن استخدام الأسلاك المصنوعة من الفولاذ المخمد (المختزل)، يستدعي التطاير الشديد لقطرات معدن الإلكترود وعمق صهر أقل في المعدن الأساس، والتشكيل الرديء للدرزة اللحامية.

14-2-2: الإلكترودات المغلفة:

إن الإلكترود المغلف عبارة عن قضيب لحام له أبعاد معينة، وسطحه مغطى بغلاف خاص، إما بواسطة التغطيس، أو تحت الضغط. إن طبقة التغطية تولد عند اللحام سحابة واقية من أكسجين وأزوت الهواء، تحمي المعدن المنصهر في أثناء انتقاله في حوض اللحام، وفي حوض الانصهار ذاته، وكذلك تعمل هذه التغطية على استقرار اشتعال القوس، وتبقى المعدن في حوض الانصهار من الشوائب الضارة، وتدخل في بعض الإضافات المفيدة إلى معدن الدرزة؛ مما يعمل على تحسين خواصه الميكانيكية.

ويتم التوصل إلى حماية المعدن المنصهر من الأكسجين والأزوت في أثناء عملية اللحام، بواسطة الخبث والغازات التي تتشكل في منطقة القوس بفضل طبقة التغطية. ولتوليد الحماية الغازية لمنطقة القوس يضاف إلى تغطية الإلكترود النشاء والسيلولوز والمواد العضوية الأخرى.

وللاشتعال المستقر للقوس يضاف إلى التغطية مواد تتمتع بمقدار منخفض لجهد التأين، وهي بشكل رئيس أملاح المعادن القلوية، مثل: ثاني أكسيد التيتان (TiO_2)،

والزجاج المائع البوتاسي أو الصوديومي، وغيرها. أما العناصر السبائكية التي تدخل في تركيب تغطية الإلكترود، فهي الفيرومنغنيز والفيروسليكون والفيروتيتان وغيرها من سبائك الحديد.

وفيما يأتي أهم العناصر والمركبات المكونة لتغطية إلكترودات اللحام ورموز هذه العناصر ومزاياها وهي على النحو التالي:

- أكسيد السيليكون (SiO_2): مهمته خفض درجة حرارة انصهار الأكاسيد وتكون الخبث.
- أكسيد التيتانيوم (الروتيل TiO_2): يساعد في خفض درجة حرارة انصهار الأكاسيد واستقرار اشتعال لقوس وكما يساعد على الانبعاث من المهبط (التأين) بشكل سريع وهذا الأكسيد سهل الانصهار ويكون خبثاً سريع التجمد.
- أكسيد الحديد (FeO): مساعد صهر يصنع منه خبث نقي يدخل في تغطية الإلكترودات.
- أكسيد المغنيزيوم (MgO): يدخل في صورة ألياف اسبستوس للمساعدة على تماسك طبقة التغليف للإلكترود.
- أكسيد الصوديوم (Na_2O): يدخل مع الزجاج المائع كمادة رابطة ويساعد على استقرار القوس والصهر، كما أنه يقلل من التوتر السطحي للخبث المنصهر.
- أكسيد الألمنيوم (Al_2O_3): يساعد على عملية بثق التغطية على الإلكترودات وليس له فائدة كيميائية أو كهربائية.
- أكسيد الكالسيوم (CaO): يضاف بوصفه مساعد صهر في صورة حجر جيرى يتحلل ويولد أول أكسيد الكربون.
- فلوريد الكالسيوم (CaF_2): مساعد صهر يساعد على خفض درجة حرارة الخبث ويثبت قلوية الخبث.
- فلوريد ألومينات الصوديوم (Na_3AlF_6): يساعد على خفض درجة حرارة الخبث.

ولابد من الإشارة إلى ثمة فرق شاسع بين مهمة مساعد الصهر وتكوين الخبث، فمساعد الصهر يكون أساساً مادة (مادة أكسيد معدني) تذيب أو تتحد معها المواد غير المرغوب فيها، ويكون معها في النهاية الخبث الذي يطفو على السطح المنصهر، ويتجمد في النهاية، إذ يسهل إزالته بفصله عن المعدن المتجمد النظيف، وفي عمليات اللحام، لابد أن يتم تنظيف السطح المطلوب لحامه باستخدام مساعد الصهر؛ لأن قطرات المعدن المنصهر المنقولة من الإلكترود إلى المشغولة لا تستطيع أن تلتصق بشطح المشغولة ما لم يكن هذا الأخير نظيفاً، عدا أنه دون أن يتم هذا الالتصاق لا يسهل صهر المشغولة، وتظل قطرة اللحام المنصهرة تتدحرج على سطح المشغولة دون الاندماج معها؛ أي إن المهم هنا التخلص من المواد الغريبة التي على سطح المشغولة بوساطة مساعدات الصهر.

ومعظم هذه المواد الغريبة هي أكسيد الحديد والمنغنيز والكروم والسيليكون (SiO_2 , Cr_2O_3 , MnO_2 , FeO) وهي كونها تمثل عائقاً للاندماج مع المشغولة، فهي تكون أيضاً عائقاً للانتقال الحراري بين القطرة المنصهرة وسطح المشغولة المطلوب لحامها. ويتم التخلص من هذه الأكاسيد بوساطة مساعد الصهر، إما بالاتحاد معها أو بإذابتها مثل أكسيد الكروم.

وعندما تتساقط قطرات المعدن من الإلكترود، فإنها تنفذ إلى ما تحت طبقة مساعد الصهر المنصهرة (بسبب زيادة وزنها النوعي)، وتبدأ هذه القطرات في الانتشار على سطح المشغولة للحظة أن ينتهي مساعد الصهر من تنظيف هذا السطح، وتكوين خبث منصهر ذي سيولة محددة تكون بدرجة كافية، نتيج له تغطية درزة لحامية وحمايتها.

14-3: تصنيف الإلكترودات:

14-3-1: تصنيف الإلكترودات المغلفة التي تستخدم في اللحام القوسي اليدوي

ولحام التعبئة، حسب الغاية منها، إلى الآتي:

1. للحام أنواع الفولاذ الإنشائي قليل ومتوسط الكربون الذي تصل مقاومة الشد عندها إلى (600 MPa).

2. للحام أنواع فولاذ سبائكية تزيد مقاومة الشد عندها على (600 MPa).
3. للحام الفولاذ السبائكي المقاوم للحرارة.
4. للحام أنواع الفولاذ عالي السبائكية المتمتع بخصائص متميزة.
5. للحام السطوح المتآكلة وتعبئتها.

14-3-2: وتقسّم الإلكتروودات حسب سماكة التغطية وتبعاً لنسبة قطر الإلكتروود

D إلى قطر النواة الفولاذية d، كآلاتي:

1. بتغطية رقيقة ($D / d \leq 1.2$).
2. بتغطية متوسطة السماكة ($1.2 < D / d \leq 1.45$).
3. بتغطية سميكة ($1.45 < D / d \leq 1.8$).
4. بتغطية سميكة جداً ($D / d > 1.8$).

14-3-3: وتقسّم الإلكتروودات حسب نوع التغطية إلى الآتي: إلكترودات بتغطية

حمضية، وبتغطية روتيلية، وبتغطية قاعدية، وبتغطية مختلطة:

1. التغطية الحمضية تتألف من أكاسيد الحديد و المنغنيز و السيليكون ومن سبيكة الحديد و المنغنيز.
2. تحوي التغطية الروتيلية كمية غالبية من الروتيل و سليكات المغنيزيوم الحمضية والمرمر والكاولين، وسبيكة الحديد والمنغنيز، والسيليكون والزجاج المانع. وتعد التغطية الروتيلية أخف ضرراً من غيرها بالنسبة إلى أعضاء التنفس لعامل اللحام، وتتّشكل طبقة خبث رقيقة على الدرزة اللحامية، تجف بسرعة؛ لذا يمكن استخدام هذه الإلكتروودات في الأوضاع المختلفة.
3. أما التغطية السيللوزية، فتتألف من السيللوز والراتنجات العضوية، وسبائك الحديد والمنغنيز وسليكات المغنيزيوم الحمضية وغيرها.

4. لا تحوي التغطيات القاعدية أكاسيد الحديد و المنغنيز . وتتألف بعض هذه التغطيات من المرمر والحجر الفلوري والرمل الكوارتزي، وحديد السيليكون، وحديد المنغنيز، وحديد التيتانيوم والزجاج المائع.

تتمتع الدرزة المنفذة بالكترودات ذات تغطية قاعدية بمتانة صدم عالية، وتكون أقل ميلاً لتشكيل الشقوق. وتلحم بهذه الإلكتروودات المنتجات أو القطع المهمة جداً؛ أي القطع المصنوعة من أنواع الفولاذ السبائكي (الخلانطي) منخفض الكربون.

5. تكون التغطية السيللويزية ملائمة عند اللحام في أي وضع في الفراغ، إلا أنها تعطي معدناً مضافاً يمتاز بلدونة منخفضة. وهي تستخدم بشكل رئيس للحام الفولاذ منخفض الكربون وللقطع قليلة السماكة. عند اختيار ماركة إلكترود للحام المنشآت في ظروف التركيب الحقلية، يجب الأخذ في الحسبان صعوبة الحفاظ على طول ثابت للقوس، وهذا يمكن أن يؤدي إلى تشكيل المسام في الدرزات اللحامية. وتكون الإلكتروودات ذات التغطية القاعدية حساسة جداً لتغير طول القوس؛ لذا تستخدم غالباً إلكترودات ذات تغطية روتيلية أو ذات تغطية روتيلية وقاعدية عند القيام باللحام في أثناء التركيب.

ومن حيث أوضاع الفراغ المسوح بها عند اللحام أو التعبئة تقسم الإلكتروودات إلى الآتي:

1. للأوضاع جميعها.
2. للأوضاع جميعها ما عدا الوضع الرأسي من الأعلى للأسفل.
3. للوضع السفلي، والوضع الأفقي على المستوى الرأسي، والوضع الرأسي من الأسفل إلى الأعلى.
4. الوضع السفلي، والجدول (1-14) يوضح أهم أنواع الإلكتروودات المغطاة والمخصصة للحام فولاذ الإنشاءات.

الجدول (14-1): إلكترونيات مغطاة ومخصصة للحام فولاذ الإنشاءات.

الخواص الميكانيكية في درجات الحرارة العادية لمعدن الدرجة أو المعدن المضاف.			نوع الإلكترون
مئات الصدم 10^5 جول/م ²	الاستطالة النسبية %	مقاومة الانهيار (الانقطاع) 10^7 باسكال	
لا تقل عن			
3	14	38	E38
8	18	42	E42
8	18	46	E46
7	16	50	E50
15	22	46	E42A
14	22	46	E45A
13	20	50	E50A
12	20	55	E35
10	18	60	E60
6	14	70	E70
5	12	75	E75
5	10	100	E100
4	8	125	E125
4	6	150	E150

14-4: أهم المزايا والاستخدام للإلكترونيات المغلفة:

تُعد طريقة اللحام بالقوس الكهربائي بالإلكترونيات المغلفة من أشهر طرق اللحام وأوسعها؛ نظراً لمرونتها العالية وإمكانية لحام معظم المعادن وفي الأوضاع جميعها، ولحام سماكات مختلفة.

وهذه الطريقة اقتصادية نسبياً بالنسبة إلى المعدات وتدريب العمالة، وتستخدم هذه الطريقة في مجالات التصنيع وعلى نطاق واسع في مجالات الإنشاءات والصيانة.

أما قابلية لحام المعادن بهذه الطريقة، فتستخدم في لحام معظم أنواع الفولاذ وبعض المواد غير الحديدية.

ومن أهم مزايا هذه الطريقة لحام أنواع الفولاذ منخفض الكربون والفولاذ منخفض السبائكية والفولاذ المقاوم للتآكل ولحام حديد الزهر (الفونت). كما يستخدم في لحام المعادن غير الحديدية، مثل: النيكل وسبائك النيكل، ولكن أقل درجة في لحام النحاس وسبائك النحاس. ونادراً ما تستخدم في لحام الألمنيوم.

أما بالنسبة إلى سماكات المعدن الممكن لحامه بهذه الطريقة، فتعتمد على مهارة عامل اللحام. فالعامل الماهر يمكنه لحام قطع فولاذية بسماكة (1,6 مم) أما المعادن الرقيقة، فتحتاج إلى مهارات عالية واحتياجات خاصة في اللحام. وكلما زادت سماكة القطع المراد لحامها تتطلب تجهيزاً وتصحيحاً لهذه القطع ضمن جداول فنية تجريبية، فالفولاذ ذو السماكة (4÷6 مم) يمكن لحامه دون تجهيز الوصلة، أما إذا ازدادت السماكة على ذلك، فتحتاج الوصلة إلى إعداد وتجهيز، علاوة عن إمكانية اللحام بأكثر من مسار، أي مسارات عدة لإتمام عملية اللحام.

14-5: توصيف الإلكتروودات اللحام:

إن تنوع الإلكتروودات المستخدمة في عمليات اللحام قد أدى إلى وضع مواصفات تحدد خواصها، وتسهل تمييز بعضها من بعض، وتقضي هذه المواصفات بوضع رموز (أرقام وحروف شيفرة) تدل على نوعية الإلكتروود وخواصه ومجال استخدامه. وتختلف هذه المواصفات باختلاف الدول التي تصدرها، وأهم هذه المواصفات: المواصفات الأمريكية والروسية والألمانية والانكليزية والمواصفات الدولية الموحدة.

وسنتعرف فيما يأتي إلى المواصفة الدولية الموحدة للإلكتروودات (ISO). هذا النظام وضعته المنظمة الدولية للتوحيد القياسي:

International Standardization Organization (ISO)

توصيف الإلكتروودات المغلفة ينقسم إلى جزئين أحدهما إجباري، والآخر اختياري، أما الجزء الإجباري، فيحتوي على ثلاثة أجزاء:

1. الجزء الأول عبارة عن الحرف (E)، ويرمز إلى أن الإلكتروود يستخدم في اللحام بالقوس الكهربائي.

2. الجزء الثاني عبارة عن ثلاثة أرقام ترمز إلى أن الخواص الميكانيكية (مقاومة إجهاد الشد، نسبة الاستطالة، مقاومة إجهاد الصدم) هذه المعطيات في جداول خاصة.

3. الجزء الثالث عبارة عن حرف يدل على نوع غلاف الإلكترود. وهذه الحروف، هي:

- غلاف حامضي (أكسيد الحديد) A=Acid (Iron Oxide)
- غلاف حامضي (روتيلي) AR=Acid (Rutile)
- غلاف قاعدي B=Basic
- غلاف سيلولوزي C=Cellulose
- غلاف مؤكسد O=Oxidizing
- غلاف روتيلي متوسط R=Rutile (Medium coating)
- غلاف روتيلي سميك RR=Rutile (heavy coating)
- غلاف من أنواع أخرى: S=Other type

أما الجزء الاختياري، فهو عبارة عن معلومات إضافية عن الإلكترودات مثل كفاءة الإلكترود ووضع اللحام الذي يناسب الإلكترود ونوع التيار المستخدم وأيضا المحتوى الهيدروجيني.

كفاءة الإلكترود:

ويرمز لها برقم مقرب لأقرب عشرة، فمثلا كفاءة الإلكترود (160%) تعني أن القيمة الاسمية للكفاءة محصورة بين (156-164%). وكفاءة الإلكترود هي نسبة بين وزن المعدن المنصهر من الإلكترود إلى وزن قلب الإلكترود.

وضع اللحام:

ويوجد خمسة أرقام تدل على الأوضاع المختلفة التي يناسبها الإلكترود، وهي:

1. الأوضاع كلها.
2. الأوضاع كلها، ما عدا الوضع الرأسي للأسفل.

3. لحام زاوية تقابلي ولحام وسطي ولحام زاوية رأسي / أفقي.

4. لحام زاوية تقابلي ولحام زاوية سطحي.

5. فضلاً عن وضع اللحام الرأسي للأسفل.

تيار اللحام:

يرمز لنوع تيار اللحام (مستمر أو متناوب ونوع القطبية مباشرة أو عكسية وجهد الدارة المفتوحة للتيار المتناوب).

المحتوى الهيدروجيني:

نظراً لحساسية الإلكتروودات للرطوبة والماء وبالذات الهيدروجين، حيث إنه يسبب ظاهرة التقصف الهيدروجيني، لذلك يجب الحفاظ على ألا تتعدى نسبة الهيدروجين في الإلكتروود عن نسبة معينة لا تسبب أي عيوب في الدرزة اللحامية. وقد اتفق على الرمز (H)؛ ليدل على أن أقصى نسبة للمحتوى الهيدروجيني هي (15) ميل لتر هيدروجين لكل (100) غرام من المعدن المترسب.

مثال:

يوضح الرمز الآتي توصيف لإلكتروود حسب المواصفة الدولية الموحدة (ISO).

E503B16020(H) وتفصيل ذلك كالآتي:

E: تعني أن الإلكتروود يستخدم في اللحام بالقوس الكهربائي.

503: تعني أن الخواص الميكانيكية للإلكتروود، هي كالآتي:

50: مقاومة إجهاد الشد هي (50 Kg/mm^2).

3: الاستطالة النسبية (20%). مقاومة إجهاد الصدم عند (-20°C) هي 47 J.

B: تعني أن تغطية الإلكتروود من النوع القاعدي.

160: تعني أن كفاءة الإلكتروود في المدى (156-164%).

2: تعني أن وضع اللحام الذي يناسبه الإلكتروود هو الأوضاع كلها ما عدا الرأسي للأسفل.

0: تعني أن التيار المستخدم هو تيار مستمر فقط.

H: تعني أن نسبة الهيدروجين في المعدن المترسب في الحدود المسموح بها، وهي (15) ميل لتر هيدروجين لكل (100) غرام من المعدن المترسب - ويعد الجزء الإجباري من التوصيف هو (E503B).



الفصل الخامس عشر

عيوب الوصلات اللحامية

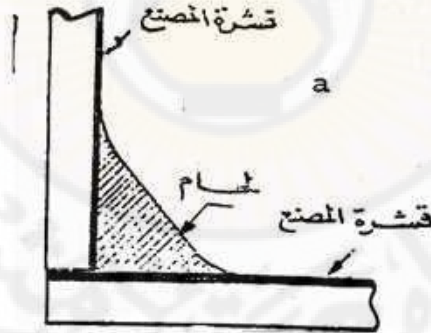
1-15: العيوب الشائعة في الوصلات اللحامية:

تكون عيوب الوصلات اللحامية داخلية أو خارجية، ويمكن تصنيف معظم هذه العيوب في مجموعتين: مجموعة عيوب في الوصلة اللحامية - مجموعة عيوب في الدرزة اللحامية.

تقسم العيوب الشائعة في الوصلة اللحامية إلى أنواع عدة، وذلك كما يأتي:

1- عيوب عمق التغلغل (أو عمق النفاذ):

- يطلق تعبير عمق التغلغل (أو عمق النفاذ، وأحياناً عمق الصهر) على ثلاث حالات:
- قابلية كل من طريقة اللحام، والكترود اللحام على النفاذ من القشرة المتكونة على سطح المعدن المراد لحامه (انظر الشكل 1-15).



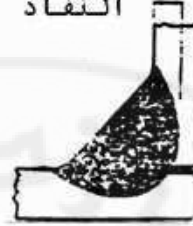
الشكل (1-15): قابلية النفاذ من السطح الخارجي.

- العمق الذي تصله منطقة الانصهار تحت سطح المعدن (انظر الشكل 2-15).
- مدى صهر رؤوس الحواف المشنفرة للوصلة اللحامية (انظر الشكل 3-15).

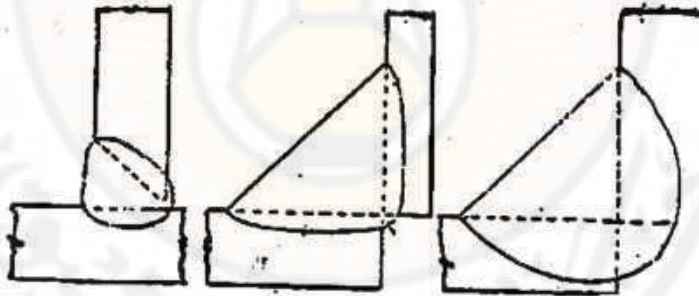
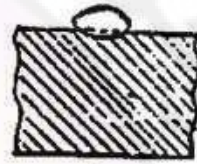
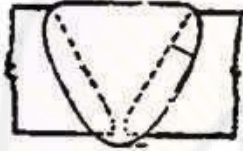


النفاد

b



الشكل (2-15): عمق الصهر أو التغلغل.



الشكل (3-15): صهر رؤوس الحواف لوصلات اللحام.

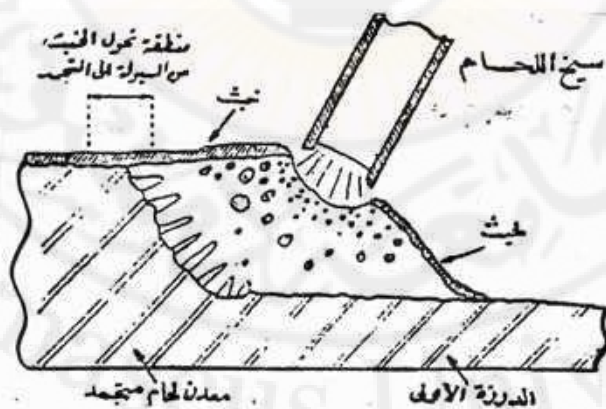
وقد يكون عمق التغلغل غير كاف أو زائداً على الحد المطلوب، وذلك تبعاً لمجموعة من العوامل تتعلق بكل من زاوية ميل الإلكترود (توجيه الإلكترود) وزاوية الشنفرة، وشدة التيار الكهربائي، وسرعة اللحام، وطول القوس الكهربائي، وغيرها. فمثلاً يكون عمق الصهر غير كاف لأسباب عدة، أهمها:

1. إذا كان الإلكترود موجهاً إلى حافة واحدة من الحواف المشنفرة دون غيرها (وبخاصة إذا كانت الشنفرة على شكل حرف V).
 2. إذا كانت زاوية الشنفرة غير كافية، أو كانت حافتا الوصلة قريبيتين بعضهما من بعض دون ترك خلوص بينهما.
 3. إذا لم تكن زاوية ميل الإلكترود وفقاً للشروط المطلوبة في عملية اللحام.
 4. إذا كانت سرعة اللحام زائدة؛ مما يؤدي إلى عدم توافر الوقت الكافي لصهر حواف الوصلة، وتحقيق عمق التغلغل المطلوب.
 5. إذا كان قطر الإلكترود أكبر من حد معين فإن رأس الإلكترود لن يصل إلى عمق زاوية الشنفرة؛ وبالتالي لن يتحقق عمق الصهر المطلوب.
 6. إذا كانت شدة التيار منخفضة، فإن الحرارة الناتجة عن القوس الكهربائي تكون غير كافية لصهر حواف الوصلة، وتحقيق عمق الصهر اللازم.
 7. إذا زاد طول قوس اللحام عن حد معين؛ مما يسبب ضياع كمية كبيرة من حرارة هذا القوس في الوسط المحيط، من ثم تقل كمية الحرارة اللازمة لصهر حواف الوصلة، وتحقيق عمق التغلغل المناسب، ويمكن أن يكون عمق التغلغل زائداً عن الحد المطلوب، ويعد هذا أيضاً عيباً من عيوب الوصلات اللحامية.
- ويمكن منع حدوث العيوب آنفة الذكر (أو بعضها) من خلال اتباع ما يأتي:
- أن تكون شدة التيار الكهربائي وجهد القوس الكهربائي وسرعة اللحام وغيرها محققة للقيم المحسوبة وفقاً للمعادلات التجريبية الواردة في الفصل (6) من الباب الثاني من هذا الكتاب.
 - تحقيق زاوية ميل إلكترود اللحام وفقاً للمواصفات النازمة لذلك مع الأخذ بالحسبان تأثير كل من الحقول المغناطيسية والكتل الفيرو مغناطيسية في زاوية ميل الإلكترود ومساره.
 - تجهيز الوصلة اللحامية (وبخاصة شنفرة حواف هذه الوصلة) وفقاً للمواصفات العالمية المعروفة في هذا المجال، مع مراعاة الخلوصات الواجب تركها بين حافتي

الوصلة المراد لحامها من جهة، وتوجيه رأس الإلكترود بشكل دقيق إلى المكان المراد صهره.

2- العيوب الخيشية:

على الرغم من أن الأثر الكبير الذي تقوم به كل من طبقة الخبث المنصهرة المتوضعة فوق حوض اللحام المنصهر ومثيلتها المتجمدة على سطح الدرزة اللحامية، حيث تقوم هذه الطبقات بحماية كل من المعدن المنصهر ومثيله المتجمد من التفاعل مع الوسط المحيط؛ فضلاً عن حفاظها على حرارة اللحام سواء في حوض اللحام أو في الدرزة اللحامية المتجمدة، إلا أن جزيئات الخبث يمكن أن تدخل في حوض اللحام أو تبقى في الدرزة اللحامية بعد تجمدها وتشكل تجمعات خبثية تضعف معدن الدرزة اللحامية وتكون مراكز لتركيز الإجهادات سواء الإستاتيكية أو الديناميكية منها، ومن ثم تصدع الوصلة اللحامية لأقل إجهادات ممكنة. ويمكن أن ينتج الخبث في معدن الدرزة بسبب عدم توجيه الإلكترود على نحو صحيح أو عدم تنظيف سطوح الوصلة وحوافها قبل البدء بعملية اللحام أو عدم تنظيف الدرزات اللحامية جيداً عند لحام مسارات عدة بعضها فوق بعض ويبين الشكل (15-4) تجمعات خبثية داخل معدن الدرزة اللحامية.



الشكل (15-4): تجمعات خبثية داخل معدن الدرزة اللحامية.

3- عيوب المسامية (Porosity):

يمكن أن تتشكل العيوب المسامية في الدرزات اللحامية أو في مناطق التأثر الحراري، وتكون عادة هذه العيوب على شكل مجموعة من المسامات الداخلية على شكل فجوات غازية.

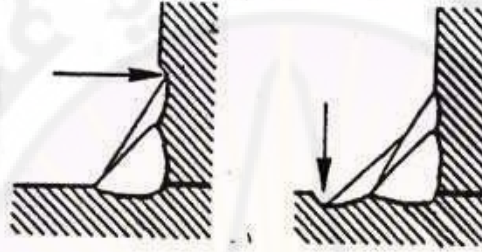
وتحدث هذه العيوب للأسباب الآتية:

1. تلوث سطح المعدن المعد للحام: يمكن أن تكون على سطح القطع المعدنية المعدة للحام زيوت أو صدا أو شحوم وغيرها، وعند اللحام فإن حرارة القوس الكهربائي تستطيع تحويل هذه المواد إلى غازات، وتصبح هذه الغازات محصورة داخل معدن الدرزة اللحامية أو منطقة التأثر الحراري.
2. رطوبة الإلكترود: عند استخدام الإلكترود يجب أن يكون خالياً من الرطوبة وجافاً تماماً حيث تكون هذه الرطوبة مساماً وفجوات غازية في الدرزة الحامية (وبخاصة غاز الهيدروجين الذي له تأثير سلبي كبير في خواص هذه الدرزات).
3. الطول الزائد للقوس: تؤدي الزيادة في طول القوس الكهربائي المشتعل بين رأس الإلكترود وسطح الوصلة إلى اتساع رقعة حوض الصهر؛ وبالتالي لا تكون كمية الغازات المنبثقة من القوس الكهربائي كافية لحماية هذا الحوض من تأثير هواء الوسط المحيط، ولهذا يمكن أن يتخلل كل من الأوكسجين والنيتروجين ورطوبة الهواء هذا الحوض، وتتشكل المسامات والفجوات الغازية.
4. شوائب المعدن الأساسي: إن احتواء المعدن الأساسي للقطع المعدة للحام على الشوائب وبصفة خاصة الكبريت يسمح بحدوث المسامية.
5. زيادة سرعة اللحام: إذا زادت سرعة اللحام على الحدود المطلوبة، فإن معدن الدرزة اللحامية يمكن أن يتعرض لسرعات تبريد أعلى من الحد المسموح به، ومن ثم يؤدي هذا التبريد السريع لمعدن الدرزة اللحامية إلى انحصار جزء من الغازات الواقية داخل معدن الدرزة، وتشكيل المسامات والفجوات الغازية.

4- عيوب النحر (Undercat):

يعرف النحر أنه نقص في مساحة مقطع الدرزة الحامية نتيجة الصهر الزائد عن المطلوب، ويكون سببه ارتفاع في شدة التيار الكهربائي أو زيادة في طول القوس الكهربائي أو عدم توجيه الإلكترود إلى المنطقة المراد لحامها بالشكل الصحيح ووفقاً للمواصفات المطلوبة.

ويبين الشكل (5-15) بعضاً من عيوب النحر في الوصلات للحامية الزاوية.



شكل (5-15): عيوب النحر في وصلات لحامية زاوية.

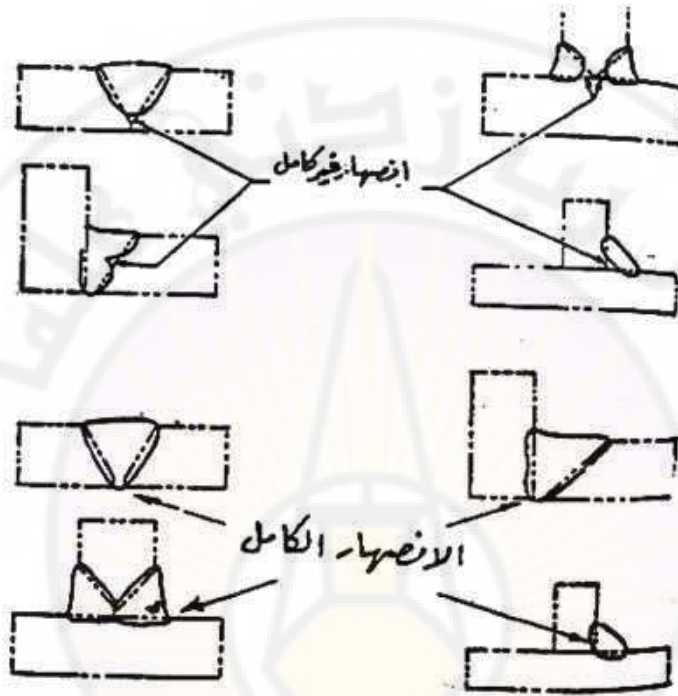
5 - عيوب عدم الانصهار الكامل لحواف الوصلة:

يمكن أن يسبب عدم الانصهار الكامل لحواف الوصلة وعدم اختلاط المعدن المنصهر لهذه الحواف مع المعدن المضاف إلى حدوث شروخ كبيرة في هذا النوع من الوصلات اللحامية.

ويمكن أن يحدث عدم الانصهار الكامل لحواف الوصلة والمعدن المضاف لأحد الأسباب الآتية:

1. انخفاض شدة التيار الكهربائي عن القيم اللازمة.
2. عدم نظافة سطح الوصلة اللحامية.
3. زيادة في سرعة اللحام عن الحدود المسموح بها.
4. التوجيه غير الصحيح للإلكترود إلى مكان اللحام.

ويبين الشكل (15-6) بعضاً من عيوب عدم الانصهار الكامل لوصلات تناكبية وزواية متعامدة.



الشكل (15-6): بعض عيوب عدم الانصهار الكامل في الوصلات اللحامية.

6- الشقوق (Crack):

يمكن أن تحدث الشقوق في الوصلة في أثناء عملية اللحام أو بعد الانتهاء من هذه العملية أو عند الاستمرار لهذه الوصلات، وهناك نوعان للشقوق في الوصلات اللحامية:

1. شقوق ساخنة: يمكن أن تحدث هذه الشقوق عند درجات حرارة مختلفة بدءاً من درجة حرارة الوسط المحيط إلى درجة حرارة انصهار المعدن المالحوم. وتحدث هذه الشقوق في كل من المعدن الأساس والدرزات اللحامية.

2. شقوق باردة: يمكن أن تحدث هذه الشقوق عند درجات حرارة مختلفة أيضاً بدءاً من درجة حرارة الوسط المحيط وحتى درجات الحرارة السالبة (تحت الصفر المئوي). وتحدث هذه الشقوق أيضاً في كل من المعدن الأساس، ومعدن منطقة التأثير الحراري ومعدن الدرزة اللحامية.

ويمكن أن تحدث هذه الشقوق بنوعيهما (الشقوق الساخنة والباردة) لأحد الأسباب التالية:

- جساءة الوصلة اللحامية وعدم إعطائها حرية التمدد أو التقلص، وذلك لأن الاجتهادات الناتجة عن عملية اللحام تفوق حد الخضوع للمعدن في أغلب الحالات؛ مما يؤدي إلى حدوث انفعالات لدنة في هذا المعدن (أو في الوصلة اللحامية)؛ مما يؤدي إلى حدوث الشقوق والتصدع للوصلة.
- إن وجود الرطوبة في أغلفة الإلكتروودات أو في الوسط المحيط أو على سطح الوصلة المراد لحامها يؤدي إلى انحلال غاز الهيدروجين في الدرزة اللحامية، وتشكيل الفجوات الغازية والشقوق الناتجة من تحرير هذا الغاز بعد بدء معدن اللحام بالتجمد والتبريد.
- يمكن أن يحدث عدم الانصهار الكامل لبعض حواف القطع الملحومة؛ مما يؤدي إلى تشكل الشقوق خاصة عند لحام مسارات متعاقبة. لهذا يجب الانتباه إلى مناطق عدم الانصهار الكامل هذه وملئها بالمعدن المنصهر خلال لحام هذه المسارات.
- إذا زادت سرعة تبريد الوصلة اللحامية عن الحدود المسموح بها، فإن احتمال حدوث الشقوق يكون كبيراً، وذلك بسبب معدل الانكماش السريع لمعدن الوصلة، ويمكن تلافي حدوث مثل هذه الشقوق بزيادة معدل الطاقة الطولية من جهة أو إجراء تسخين مسبق للقطع المراد لحامها قبل البدء بعمليات اللحام.

15-2: طرائق علاج عيوب الوصلات اللحامية:

يتم علاج العيوب في الوصلات اللحامية باتباع أحد الأساليب الآتية، وذلك تبعاً لطبيعة العيب الموجود و مكان توضع:

1. إذا كان العيب على شكل تقعر في الدرزة اللحامية، فإن ذلك يعني نقصاً في مقطع هذه الدرزة، ويعني أن إصلاح هذا العيب يتم من خلال إحداث درزة لحام إضافية.

2. إذا كان العيب على شكل شق كبير أو شرخ في الوصلة، يتم تحضير مكان العيب بالقص الموضعي وشفرة الحواف وإجراء عمليات اللحام حتى زوال العيب بكامله. أما إذا كانت الشقوق غير واضحة المعالم والأبعاد على سطح الوصلة اللحامية، فإن إصلاحها يتم من خلال معالجة السطح بمحلول حمض الآزوت بنسبة (20%)؛ لتحديد الطول الحقيقي للشق، ثم يتم إحداث ثقبين عند بداية الشق ونهايته. وبعد ذلك يتم قص هذا الشق أو إحداث شفرة، ومن ثم إجراء عملية اللحام.

3. إذا كان هناك تحدبات كبيرة في الدرزات اللحامية (تقوية زائدة لدرزات اللحام) أو عدم وجود تحويل انسيابي بين درزات اللحام والمعدن الأساس، فإن ذلك يتم إصلاحه من خلال التشغيل الميكانيكي على طول الوصلة كاملاً أو إجراء صهر لحواف التقوية باستخدام اللحام بالأرغون بسلك لحام لا ينصهر (من معدن التنغستن).

4. إذا وجد بعض المسامات على سطح الوصلة اللحامية بقطر يزيد على (2) مم، فيمكن قص هذه المسامات وإعادة لحامها، و يسمح بوجود (4) مسامات للمتر الطولي من الدرزة اللحامية شريطة ألا يزيد قطر المسام الواحد على (1) مم والمسافة بين مسامين متتاليين لا تزيد على (10) سم



الفصل السادس عشر

السلامة المهنية في عمليات اللحام

16-1: قواعد الأمن الصناعي والسلامة المهنية:

تعد قواعد الأمن الصناعي والسلامة المهنية مهمة جداً في كل من المواقع الإنتاجية والإنشائية وللعاملين جميعهم في هذه المجالات، إذ إن هؤلاء العاملين معرضون لمخاطر مختلفة وعديدة باستمرار. ويعد تطبيق هذه القواعد والتعليمات المتعلقة بها ضرورياً جداً، وذلك بهدف تحقيق الأمن الصناعي والسلامة المهنية من جهة، وتنفيذ خطة العمل الموضوعة في الموقع من جهة أخرى.

وفي المواقع التي تنفذ فيها عمليات اللحام توجد مجموعة من المخاطر التي تصاحب هذه العمليات، ولهذا يجب اتباع التعليمات الصحيحة لخطوات العمل في هذه المواقع، وتطبق قواعد الأمن الصناعي؛ لتفادي تلك المخاطر، وأهم هذه المخاطر التي تصاحب عمليات اللحام:

1. مخاطر الكهرباء في اللحام وطرق الحماية منها.
2. مخاطر الإشعاع الناتج عن القوس الكهربائي.
3. تلوث الهواء بالغازات المصاحب لعمليات اللحام المختلفة.
4. مخاطر الحرائق و الانفجارات في عمليات اللحام.
5. مخاطر متعلقة بأسلوب اللحام المتبع بما في ذلك إعداد الوصلات للحام، وتنظيفها بعد إتمام عملية اللحام.

ونورد فيما يأتي مجموعة من التعليمات المهمة التي يجب تطبيقها عند اللحام بالقوس الكهربائي؛ بغية تحقيق قواعد الأمن الصناعي والسلامة المهنية، وهي:

- التأكد من آلة اللحام وتوصيلها بشكل دقيق ومتقن مع مصدر التغذية.
- استعمال الملابس الواقية والخاصة باللحام، بما في ذلك النظارات الواقية، بما يناسب عمليات اللحام والقطع والتجليخ وغيرها.

- يجب أن تكون منطقة اللحام بعيدة من أي مصدر للخطر، مثل: المواد القابلة للاشتعال أو الانفجار، ويجب نقل أسطوانات الغاز المضغوط بعناية تامة، ووضع أغطية لصمامات هذه الأسطوانات في حال عدم استعمالها.
 - استعمال الأدوات والأجهزة اللازمة بهدف تنقية الأدخنة والغازات المنبعثة من عمليات اللحام في الأماكن المغلقة، وسحبها إلى خارج هذه الأمكنة لما تحويه هذه الغازات من عناصر سامة كالرصاص و الكاديوم و المنغنيز وغيرها.
 - يحذر من استعمال كابلات غير معزولة؛ فضلاً عن أخذ احتياطات ضرورية عند اللحام في أماكن رطبة (مثل ارتداء حذاء مطاطي، أو الوقوف على لوح جاف ومعزول).
 - يجب عزل المناطق التي تتم فيها عمليات اللحام بالقوس الكهربائي عن الآخرين؛ بغية عدم تعريضهم للإشعاعات الناتجة من هذا القوس.
 - التأكد من سلامة السلاسل والسقالات المستخدمة واستخدام أحزمة الأمان اللازمة، وذلك عند اللحام في أماكن مرتفعة.
- أما قواعد الأمن الصناعي والسلامة المهنية عند اللحام بالغاز، فيمكن إيجازها في الآتي:
- التأكد من سلامة الأجهزة والأسطوانات، وعمليات توصيلها، وفحصها بشكل صحيح وسليم.
 - استعمال الملابس الواقية والمناسبة لعمليات اللحام، أو القص بالغاز؛ فضلاً عن إبعاد أي مادة خطيرة أو قابلة للاشتعال عن منطقة العمل.
 - عدم استعمال أي نوع من الزيوت أو الشحوم في الوصلات اللحامية، وذلك لأن أي تلامس بينهما وبين الأكسجين يؤدي إلى حدوث احتراق تلقائي.
 - عدم إجراء أي عملية لحام أو قص بالغاز في أمكنة مغلقة من دون أخذ الاحتياطات اللازمة من جهة، وتركيب أجهزة تقنية وسحب للأدخنة والغازات المنبعثة من عمليات اللحام أو القص من جهة أخرى.

- اتباع الخطوات الفنية اللازمة لإشعال اللهب بالأسلوب الصحيح (كيفية فتح الصمامات لكل من أسطوانتي الأكسجين و الأستيلين وضبطها حسب الشعلة المطلوبة).

16-2: مخاطر الكهرباء في اللحام وطرق الوقاية منها:

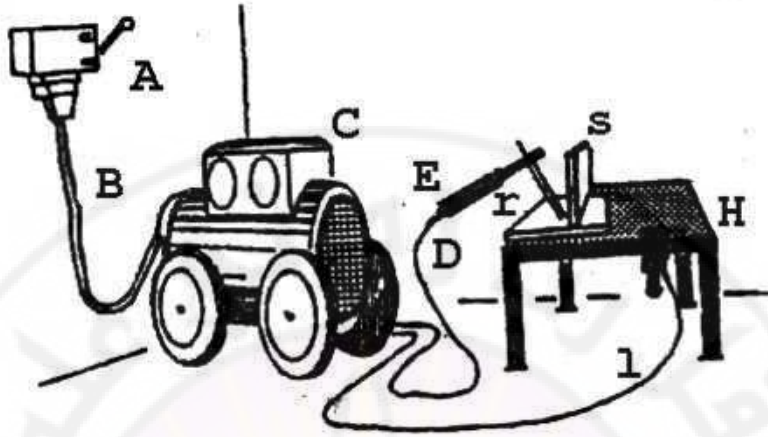
يمكن أن يؤدي استخدام الكهرباء على نحو غير صحيح أو وجود أي عطل في أحد الأجهزة الكهربائية (آلات اللحام) وعدم توافر الاحتياطات اللازمة للوقاية من خطر الكهرباء، يمكن أن يؤدي إلى بعض الحوادث المؤلمة التي يمكن أن تؤثر في كل من الآلات والأجهزة المستخدمة من جهة، والعمال الفنيين من جهة أخرى، ومنها:

1. إذا حدث دائرة قصر كهربائي أو كان هناك زيادة في الحمل على الآلات الكهربائية المستخدمة في عمليات اللحام، يمكن أن يؤدي ذلك إلى ارتفاع درجة حرارة هذه الآلات وإذا توافر في المكان نفسه مواد قابلة للاشتعال أو الانفجار يمكن أن تشتعل هذه الأخيرة، وتسبب حرائق وتدميراً وتلفاً للمنشآت الموجودة فيها هذه الآلات.

2. يمكن أن يؤدي حدوث شرر كهربائي منبعث من القوس إلى اشتعال الغازات والأبخرة في المكان الذي تتم فيها عمليات اللحام، من ثم حدوث انفجارات أو حرائق.

3. يمكن أن يتعرض العاملون في مجال اللحام إلى صدمة أو صعق كهربائي بسبب عدم اتباعهم تعليمات الأمن الصناعي على نحو صحيح؛ وخاصة فيما يتعلق بالتعامل مع كل من الآلات الكهربائية وكبلات التوصيل الكهربائي وغيرها. ويبين الشكل (16-1) دائرة لحام لعامل واحد.

ولهذا يجب التقيد بالتعليمات كافة اللازمة قبل عمليات اللحام أو في أثناء تنفيذها وبعد الانتهاء من هذه العمليات.



الشكل (1-16): دائرة لحام لعامل واحد.

a. مفتاح توصيل بمصدر التيار الكهربائي، b. كابل التوصيل، c. ماكينة اللحام، d. كابل اللحام، e. ماسك الإلكترود، S. الشغلة، h. طاولة اللحام، i. كابل الرجوع.

3-16: مخاطر الإشعاع الناتج عن القوس الكهربائي:

بما أن القوس الكهربائي مصدر قوي للضوء، وكل من الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء، فإن من الضروري على عامل اللحام والآخرين المتواجدين في منطقة اللحام ارتداء الملابس والنظارات الواقية من إشعاعات هذا القوس أنف الذكر، ذلك لأن شدة هذه الإشعاعات تعتمد على مجموعة من العوامل (أسلوب اللحام المتبع وشدة التيار الكهربائي وجهد القوس وطوله والوسط المحيط بالقوس وغيرها) ولهذا يجب العمل على حجب هذه الإشعاعات الناتجة من القوس الكهربائي باستخدام ستائر خاصة لامتناس هذه الإشعاعات فضلاً عن استعمال العامل خوذة تحوي عدسات واقية تمتص هذه الإشعاعات الناتجة عن القوس الكهربائي.

16-4: تلوث الهواء المصاحب لعمليات اللحام المختلفة:

يسبب اللحام بالقوس الكهربائي والقص باللهب تلوث الهواء المحيط بمنطقة اللحام (أو القص) بمزيج من الغازات والأدخنة، حيث تحوي الأخيرة مواد صلبة وغازية.

ويمكن الخطر الناتج من تلك الأدخنة في ثلاثة عوامل:

1. التركيب الكيميائي للمواد الصلبة في الأدخنة والغازات.
 2. نسبة تركيز الأدخنة في منطقة اللحام التي يتنفسها العامل.
 3. المدة الزمنية التي يتعرض لها عامل اللحام لتلك الأدخنة والغازات.
- وتكون المادة الصلبة عبارة عن كرات متناهية في الصغر قد لا ترى بالعين المجردة يتراوح قطرها بين $(0,1 \div 100)$ ميكرون). ويعتمد نوع تلك المادة الصلبة على عوامل كثيرة، منها:

أسلوب اللحام المتبع، ونوع إلكترود اللحام المستخدم.

شدة التيار، فضلاً عن موقع اللحام والوسط المحيط به.

أما الغازات الناتجة من القوس الكهربائي، فتنتج عن تفكك تغطية الإلكترود، وتتكون من غازات ناتجة عن التفاعلات الكيميائية التي تتم بتأثير درجة حرارة القوس العالية. وقد تكون هذه الغازات سامة، لذلك تكون عملية التهوية ضرورية جداً. من أشهر الغازات المتكونة غاز ثاني أكسيد الكربون وهو مهم لحماية القوس من الهواء الجوي وهو غير سام. والمشكلة تكمن في غاز أول أكسيد الكربون وهو غاز سام وغالباً ما يتحول إلى ثاني أكسيد الكربون نتيجة تفاعله مع الأكسجين في منطقة اللحام. وأيضاً يتكون غاز الأوزون نتيجة انبعاث الأشعة فوق البنفسجية من القوس الكهربائي، ولكن تأثير هذا الغاز ضئيل جداً، إذ إنه يتحول بسرعة إلى أكسجين.

هذا إضافة لتكون غازات أخرى مختلفة تعتمد على عوامل أخرى متداخلة، لذلك يجب الأخذ بالحسبان عمليات التهوية الجيدة، لاسيما في حالة اللحام في أماكن مغلقة، كالخزانات وأدوات الضغط والأسطوانات والمرجل البخارية والأنفاق، وأي أماكن ضيقة المساحة وصعبة التهوية، هذه الأماكن يجب تهويتها جيداً لمنع تراكم الغازات السامة والأدخنة الخائفة أو حتى نفاذ الأكسجين منها، ولهذا تعد التهوية المناسبة ضرورية جداً

في عمليات اللحام والقص المختلفة، ويمكن إجراء عملية التهوية بإحدى الطرق الثلاث الآتية:

1. تهوية طبيعية.
2. تهوية صناعية ميكانيكية.
3. تهوية بالسحب الموضعي للغازات من منطقة اللحام.

16-5: مخاطر الحرائق والانفجارات في عمليات اللحام:

يمكن أن يسبب عدم اتباع الخطوات السليمة في العمل وتعليمات الأمن الصناعي الضرورية حدوث حرائق وانفجارات في المنشآت الصناعية التي تتم فيها عمليات اللحام المختلفة والقص باللهب، ويكون سبب هذه الحرائق والانفجارات ثلاثة عوامل رئيسة هي:

- الوقود.
- الحرارة.
- الأكسجين.

بما أن هذه العوامل الثلاثة متوافرة في أغلب الأحيان في مكان اللحام، فإنه يجب أخذ الاحتياطات اللازمة لذلك. ويمكن الوقاية من مخاطر الحرائق أو الانفجارات في عمليات اللحام باتباع الأسلوبين الآتيين:

- يجب أن يتم اللحام في أماكن مصممة لإجراء مثل هذه العمليات.
- عند استخدام آلات لحام متنقلة يجب إخلاء أي مكان تتم فيه عملية اللحام من أية مواد قابلة للاشتعال أو الانفجار. وتجنب اصطدام الإلكترود أو لهب أو شرر شعلة اللحام بالأسطوانة.

16-6: مخاطر تنظيف الوصلات اللحامية:

ينتج من عمليات اللحام رايش وخبث يتكون على الدرزة اللحامية، ويجب إزالة هذا الخبث سواء بالأدوات اليدوية أو الكهربائية وقد يكون هذا الخبث أو الرايش مصدراً للخطر، لا سيما على العين، لذلك يجب استعمال نظارات واقية مع خوذ اللحام.

وأحيانا ينتج من عمليات تنظيف سطوح الدرزات اللحامية أو جلعها ضوضاء شديدة لها مخاطر على السمع، لاسيما عند استعمال أحجار التجليخ، لذلك يجب استعمال سماعات واقية.

وأخيرا يجب على فني اللحام تجنب مخاطر اللحام باستعمال أدوات اللحام الآتية:

1. خوذة الرأس.
2. غطاء (قناع) للوحة.
3. نظارات للعيون.
4. قفازات لليدين.
5. بدلة لحام مقاومة للحرارة والحريق.
6. أحذية خاصة للحام.
7. ستائر وحواجز للوقاية من الإشعاعات.
8. أقنعة ومرشحات للغازات، لاسيما في الأماكن المغلقة.
9. استعمال أدوات كهربائية سليمة ومعزولة.
10. استعمال الأدوات المناسبة والسليمة لتشطيب وتنظيف اللحامات.



الجزء العملي

الفصل السابع عشر: اختبار جودة اللحام.

الفصل الثامن عشر: ترميز اللحامات على المخططات طبقاً للنظام العالمي.

الفصل التاسع عشر: مراحل تنفيذ المشاريع الإنتاجية المعدنية وأهم طرائق رفع متانة الوصلات اللحامية.



الفصل السابع عشر

اختبار جودة اللحام

تبدأ مراقبة الجودة الفنية للحام قبل إتمام عملية اللحام، وذلك حسب التسلسل الآتي:

1. التأكد من المعدن الأساس وفقاً للتصميم الهندسي المعتمد.
 2. مواد اللحام (الإلكترودات، أسلاك اللحام، مساعدات الصهر... الخ).
 3. عملية إعداد عناصر الوصلات المراد تجميعها.
 4. حالة أجهزة اللحام.
 5. تجميع القطع.
 6. مهارة الفنيين وعمال اللحام.
- وتسمى هذه الأساليب جميعها بالمراقبة التمهيدية.

عند سير عملية اللحام يتم الآتي:

- الشكل الخارجي لدرزة اللحام.
- الأبعاد الهندسية لدرزة اللحام.
- قياس أبعاد القطعة.
- مراقبة صلاحية عمل أجهزة اللحام باستمرار.
- مراقبة تنفيذ العملية التقنية من خلال التعرف إلى البطاقة التقنية المخصصة لتنفيذ عمل ما.

وتسمى العمليات آنفة الذكر بالمراقبة الجارية. تُعد عملية المراقبة الأخيرة هي اختبار جودة اللحام، عندما تكون القطعة جاهزة. ولهذا الهدف توجد أنواع عديدة من الاختبارات:

1. الفحص الخارجي لدرزات اللحام، وقياس أبعاد الوصلات اللحامية.
2. اختبار وصلات اللحام على الكثافة.
3. اختبار الوصلات بأشعة روتينجن أو أشعة غاما.
4. اختبار الوصلات بالأمواج فوق الصوتية.

5. اختبار الوصلات اللحامية بالإشعاع الضوئي وبالطريقة الميكانيكية.
يتم اختيار نوع مراقبة جودة درزات اللحام ووصلاته وفقاً لمجال استخدام القطعة، والشروط الفنية المطلوبة.

17-1: اختبار جودة المعدن الأساس المخصص للتصنيع:

يجب أن تتوافق جودة المعدن الأساس مع الخواص المذكورة في شهادة منشأ المعدن التي يرسلها المصنع المنتج. وأهم ما يكتب في شهادة المنشأ للمعدن:

- الماركة والتركيب الكيميائي والخواص الميكانيكية للفولاذ.
- اسم المصنع المنتج.
- رقم السكبة.
- المقاطع المصنعة وأبعادها.
- نتائج الاختبارات المنفذة جميعها على المعدن المصدر حسب المعايير.
- رقم المعيار (النورم) لماركة الفولاذ.
- يسمح باستعمال الفولاذ المستورد في حال عدم وجود شهادة المنشأ للمعدن فقط بعد تنفيذ الاختبارات الدقيقة الآتية:
- 1. ضرورة إجراء الفحص الخارجي للمعدن (عدم وجود الصدأ أو التشققات وغيرها من العيوب).
- 2. اختبار المعدن على قابلية اللحام.
- 3. تحديد الخواص الميكانيكية والتركيب الكيميائي للمعدن.

17-2: اختبار جودة الإلكتروودات:

يمنع استعمال الإلكتروودات التي لا تحوي شهادة منشأ (صلاحية) عند لحام المنشآت المعدنية، ومن الممكن استعمالها فقط بعد إجراء أهم الاختبارات الآتية على الإلكتروودات:

- متانة طبقة التغطية للإلكتروودات.

- خواص اللحام بالإلكتروودات المختبرة، ويتم ذلك بتحديد الخواص الميكانيكية لدرزة لحامية منفذة على عينات اختبار
- يجب أن يكون الشكل الخارجي للإلكتروود متوافقاً مع متطلبات المواصفات القياسية وأن تكون طبقة الإلكتروود متينة ومتراصة ولا تحتوي على فقاعات أو تشققات أو نقور أو انتفاخات.

3-17: اختبار مهارة عمال اللحام:

يختبر عمال اللحام من قبل لجنة فنية متخصصة، إذ تقوم هذه اللجنة بالسماح للعمال بتنفيذ أعمال مهمة وبعدها تقوم اللجنة بتقويم العمل المنفذ من قبل العامل ويختبر أيضاً بالمعلومات النظرية المهمة، وبعد هذا الاختبار تحدد اللجنة درجة الخبرة ومهارة العامل. قبل السماح للعامل في تنفيذ الأعمال المهمة يجب عليه الحصول على وثيقة تثبت بأنه اجتاز امتحان في قواعد الأمن الصناعي المتعلقة باختصاصه. ويجب أن تكون هذه الوثيقة مصدقة من قبل لجنة الإشراف الفني. بعد اجتياز العامل هذه الفحوص بشكل جيد يقوم المصنع بمنح العامل وثيقة مصدقة تؤهله بتنفيذ أعمال اللحام المهمة، ويكتب في الوثيقة الممنوحة لعامل اللحام أنواع التصاميم والمنشآت التي يمكن أن يقوم بإنجازها هذا العامل. ومن الضروري إخضاع عمال اللحام جميعهم الذين يقومون بتنفيذ أعمال مهمة إلى اختبارات عملية ونظرية مرة في كل سنة.

4-17: اختبار القطع:

- قبل إنجاز عملية اللحام من الضروري اختبار:
- نظافة سطح معدن القطعة.
 - الأبعاد الطولية حسب المخططات التصميمية.
 - جودة تحضير الحواف والزوايا للقطع حسب المخططات، والجداول التي توضح ذلك.

يؤثر وجود العيوب في القطع الملحومة في جودة اللحام وإنتاجيته.

ومثالاً على ذلك: تؤدي زيادة شنفرة الحواف للقطع المراد لحامها إلى زيادة كل من كمية معدن التعبئة، وزمن اللحام واستهلاك الطاقة الكهربائية والإلكترونيات، وعدا ذلك سيزداد تشوه وصلة اللحام بشكل قوي بعد اللحام.

17-5: اختبار تجميع القطع:

أهم الاختبارات التي تتم عندما تكون القطع أو الوصلات مجمعة:

- الخلوص بين حواف القطع المراد لحامها حسب المخططات أو الجداول الخاصة بذلك، فمثلاً إذا لم يوجد خلوص بين حافتي القطعتين المراد لحامهما أو كان الخلوص صغيراً بين هاتين الحافتين، فإن ذلك سيؤدي إلى عدم تحقيق لحام لجذر الدرزة، أما إذا كانت قيمة الخلوص كبيرة سيؤدي إلى ازدياد حجم عمل اللحام.
- تقاس شنفرة الحواف للقطع والخلوص بين حواف القطع المراد لحامها بواسطة أجهزة قياس عيارية خاصة.

17-6: اختبار جودة اللحام في القطع الجاهزة:

17-6-1: الفحص الخارجي وقياس أبعاد الذرة:

يتم تدقيق الدرزة وكشف عدم توافقها مع الأبعاد الهندسية وعدم التحام معدن الإلكترود مع المعدن الأصلي، ووجود فقاعات أو تشققات أو نقور وغيرها من العيوب الخارجية في الدرزة للحامية بواسطة الفحص الخارجي، ويوضح الشكل (17-1) أهم العيوب الخارجية لدرزة اللحام . ويجب أن تتوافق أبعاد درزات اللحام مع الأبعاد المذكورة في مخطط الوصلة، ولا يسمح بإجراء أي تعديل في الأبعاد الحقيقية للدرزة أو تغييرها بمقارنتها مع الأبعاد الاسمية إلا من قبل المصمم أو المهندس المسؤول.

يوضح الشكل (17-2a) طبعة اختبارية لندبة لحامية، ويتم إجراء هذه الندبة للحامية على صفيحة معدنية لها أبعاد مطابقة لأبعاد الوصلة، أما الشكل (17-2b)، فيوضح جهاز قياس عمومي مع مدرج (مسطرة) يستخدم لتحديد طول ضلع الدرزة الزاوية، وقيمة التقوية في الدرزة التناكبية، ومن الممكن استعمال هذا الجهاز لاختبار تحضير القطع قبل اللحام.

17-6-2: طرائق اختبار كثافة درزات اللحام:

يجب إخضاع أنابيب نقل الماء أو الزيوت أو الوقود أو الغازات والمراجل البخارية... الخ إلى اختبارات على الكثافة. وهناك طرق عدة من أجل اختبار كثافة درزات اللحام، وأهمها:

أولاً: الاختبار الهيدروليكي:

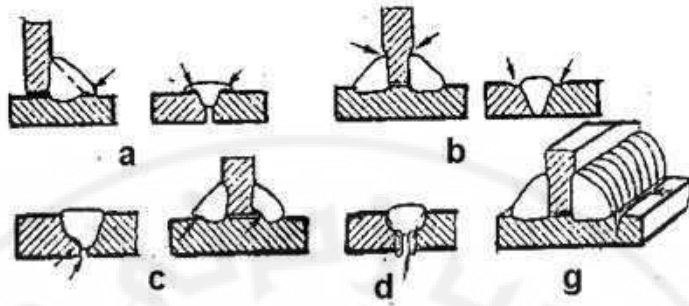
تتم عملية الاختبار على الشكل الآتي: نشكل ضغطاً متخلخلاً في الوعاء بعد تعبئته بالماء بوساطة مضخة أو قلب هيدروليكي، ويكون الضغط عند الاختبار عادة أكثر من الضغط العامل بحدود $(1,5 \div 2)$ مرة. ويتم تحديد قيمة الضغط بموجب عداد ضغط مختبر. ويجب ترك الوعاء المراد اختباره لمدة (5-10 دقائق) تحت الضغط، وخلال هذه المدة، يجب فحص الدرزات للتأكد من عدم حدوث تسرب الماء أو التعرق. ومن أجل تنفيذ الاختبارات الهيدروليكية ليس من الضروري استعمال الماء فقط؛ وإنما من الممكن استعمال زيت الطائرات أو محروقات الديزل عند اختبار كثافة درزات خزانات الوقود والأنابيب.

ثانياً: الاختبار الهوائي:

عند استخدام طريقة الاختبار بالهواء، يجب توصيل الغاز المضغوط (الهواء أو الآزوت أو الغازات الخاملة أو الأبخرة) إلى الوعاء المراد اختباره، وتتم عملية الاختبار على النحو الآتي:

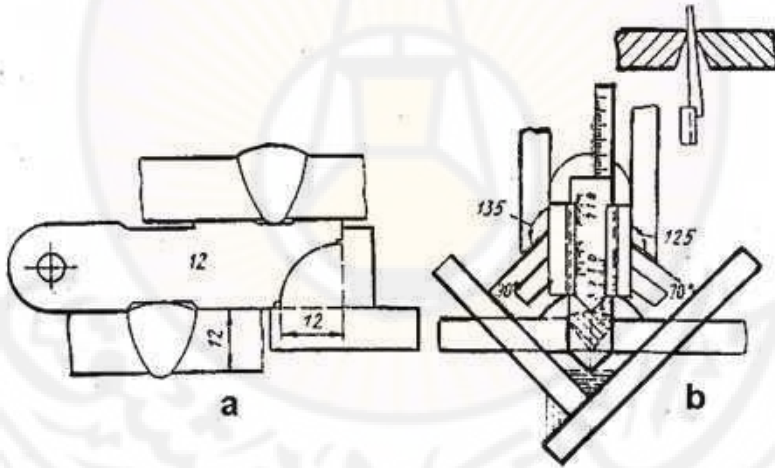
نضع الوعاء في حوض ماء، وبعدها يتم اكتشاف مكان العيوب عن طريق خروج الفقاعات الغازية من الدرزة اللحامية.

وفي حال خروج فقاعات تُعد درزة اللحام غير مترابطة أو غير كثيفة، وتكون هذه الدرزات بحاجة لمعالجة. ويتم اختبار الخزانات أو أنابيب النقل الملحومة ذات الحجوم الكبيرة بواسطة دهن درزات اللحام برغوة محلول الصابون المائي وهو الأكثر استعمالاً في تحديد العيوب، ويفضل استعمال مزيج محلول الصابون مع الغليسرين أو الزيت الكتاني من أجل إنجاز عملية الاختبار.



الشكل (1-17): العيوب الخارجية لدرزة اللحام.

- a- انتشار المعدن المنصهر دون التحامه مع المعدن الأساسي. b- حدوث تجويف في المعدن الأساسي. c- عدم انصهار حواف القطع بشكل كامل d - تخزين المعدن. g- تشكل شقوق في المعدن الأساسي.



الشكل (2-17): مقاييس مخصصة لقياس أبعاد درزات اللحام.

- a- طبعة (شيلون). b- جهاز عمومي.

ثالثاً: الاختبار بالكبروسين:

تُبنى هذه الطريقة على ظاهرة الأوعية الشعرية التي ترتفع فيها معظم السوائل والكبروسين إلى الأعلى، وتتم عملية الاختبار كما يأتي: نرطب جهة واحدة من الدرزة التناكبية

بمحلول الصابون وبعد تجفيف المحلول نرطب الجهة الثانية بالكبروسين، وللكبروسين خاصة التغلغل في المسامات، لذلك فإذا وجد الترشيح على شكل بقعة شديدة اللون من الجهة الأخرى، فهناك يكون مكان العيوب.

ويتعلق زمن ترطيب القطعة بالكبروسين بالسماكة؛ أي كلما كانت السماكة كبيرة ودرجة حرارة الهواء قليلة كلما كان زمن الترطيب أطول.

رابعاً: الاختبار بغاز النشادر:

نغطي درزات اللحم المراد اختبارها بشريط ورقي أو بشريط من الشاش، ويجب أن يكون مشبعاً بمحلول حمض الآزوت الزئبقي أو الفينونفتالين. نضع في المنتج هواء حتى الضغط المحدود، وبالوقت نفسه نوصل كمية قليلة من غاز النشادر، وعندها يترك الغاز بقاءً سوداء على الورقة المشبعة بمحلول حمض الآزوت الزئبقي بعد مروره عبر الدرزات المتواجد بها عيوب، ويكون لون البقع أحمر، إذا كانت الورقة مشبعة بمحلول الفينونفتالين.

17-7: الاختبارات الميكانيكية لدرزات اللحم والقطع الجاهزة:

تتعلق الخواص الميكانيكية لدرزات اللحم والقطع الجاهزة بكل من التركيب الكيميائي، وبنية معدن التعبئة، وأنظمة اللحم، ووجود العيوب في معدن الدرزة، عند اختبار الخواص الميكانيكية لمعدن الدرزة، من الضروري تحديد الخواص الميكانيكية لوصلة اللحم كاملاً في معظم الحالات أيضاً. عند ذلك يجب مقارنة متانة معدن الدرزة مع متانة المعدن الأساس ومعدن منطقة التأثير الحراري.

تعد منطقة التعبئة عادة هي المكان الأضعف لوصلة اللحم، ومن أجل اختبار كفاية عمال اللحم، من الضروري اختبار الوصلات التناكبية المنفذة من قبلهم على الشد والثني، ومن الضروري أيضاً تحديد عينات اختبارية عند لحام القطع المهمة وتعد نتائج الاختبار هي القيم الحقيقية لجودة اللحم.

تتعلق خصائص الاختبارات الميكانيكية للعينة بنوعية الحمولة التي تتحملها وصلة اللحم في أثناء الاستثمار. ويمكن أن تكون عملية الاختبار حسب الشروط الاستثمارية:

(a) ستاتيكية (بحمولات ثابتة أو بطيئة).

(b) ديناميكية (بحمولات صدمية).

(c) اهتزازية (أي معرضة لاهتزازات).

يتم اختبار المعادن لأقسام وصلة اللحام المختلفة على الشد الستاتيكي بواسطة عينات قياسية، وعند ذلك تحدد:

- حد الخضوع (σ_T). ومقاومة الشد (σ_b).

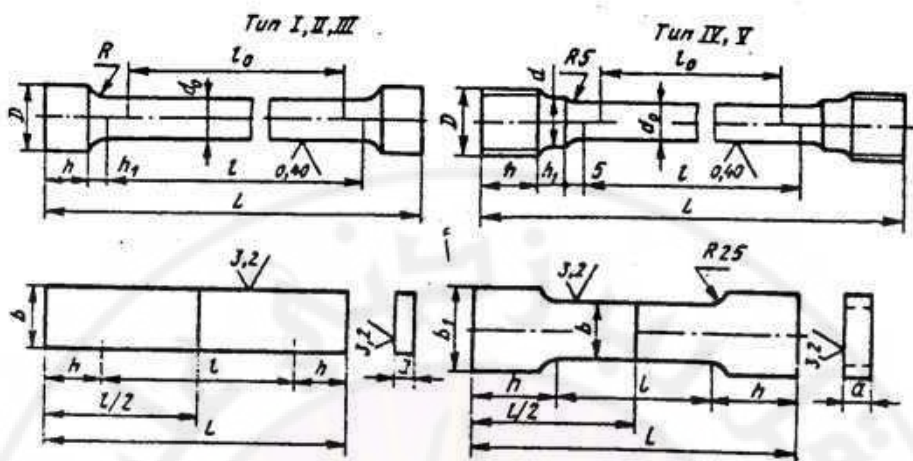
- الاستطالة النسبية بعد انهيار العينة المختبرة (ϵ).

- التقلص النسبي للمقطع بعد الانهيار (ψ).

تتضمن أغلب المواصفات القياسية العالمية دراسة خمسة نماذج لعينات الاختبار، ونستعمل هذه النماذج جميعها لاختبار البنود جميعها المذكورة أعلاه بدرجات حرارة عادية أو منخفضة، ونستعرض أهمها.

يجب أن تتوافق أشكال النماذج وأبعادها مع الأبعاد المذكورة في الشكل (17-3a)، والجدول (17-1) وتستعمل النماذج (IV, V) للاختبارات بدرجات الحرارة العادية.

يتم اختيار وصلات اللحام على الشد حسب العينات والأشكال والأبعاد المعطاة في الشكل (17-1b) والجدول (17-2) للصفائح، ويجب إزالة تقوية درزة اللحام حتى مستوى المعدن الأساس. بينما يبين الجدول (17-3) أبعاد العينات المعدة لاختبار وصلات اللحام على الشد الستاتيكي.



الشكل (3-17): أشكال النماذج من أجل اختبار وصلات اللحام:

a- عينة للشد الستاتيكي لمختلف الأقطار والأقسام لوصلات اللحام.

b- عينة للشد الستاتيكي لدرزة اللحام على صفائح بسماكات مختلفة.

الجدول (1-17): أبعاد العينات ذات المقطع الدائري من أجل المعدن لأقسام وصلة

اللحام المختلفة. انظر الشكل (a3-17).

L_1	L	L_0	R	h_1	h	D	K^*	D	d_0	طراز العينة
16	18	15	1	2	4	6	0.03	-	$3 \pm 0,1$	I
36	36	30	1,5	2,5	10	12	0,03	-	$6 \pm 0,1$	II
60	60	50	3	3	10	16	0,04	-	$10 \pm 0,2$	III
36	36	30	-	5	15	12	0,03	-	$6 \pm 0,1$	IV
60	50	50	-	5	15	16	0,04	-	$10 \pm 0,2$	V

K^* - الفرق المسموح به للأقطار الكبرى والصغرى على طول الأقسام العاملة للعينة.

ملاحظة: يسمح بزيادة قطر رأس العينة.

الجدول (2-17): أبعاد عينات الاختبار الصفائحية - انظر الشكل (b3-17).

سماكة المعدن (a) mm	عرض الأقسام العامة للعينة (b) mm	عرض أقسام القبض للعينة (b ₁) mm	طول الأقسام العامة (L) mm
حتى 0,6	15±0,5	25	50
أكثر من 0,6 إلى 10	20±0,5	30	60
أكثر من 10 حتى 25	25±0,5	35	100
أكثر من 25 حتى 50	30±0,5	42	160
أكثر من 50 حتى 70	35±0,5	45	200

ملاحظات

الطول العام للعينة يساوي: $L_1 = L_0 + 2h$ ، ويتم توزيع طول أقسام القبض للعينة (b) وفقاً لتصميم آلة الاختبار.

تحدد أبعاد العينة عندما تكون السماكة أكثر من 75 مم حسب الشروط الفنية.

يعطي اختبار العينات على التني توضيحاً عن الخواص المرنة للوصلات اللحامية التناكبية، كما يوضح الشكل (4-17). مخطط العينات وشكل اختبارها على التني. ويتم توزيع الحمولة بانتظام حتى ظهور التشققات الأولى، وتعد زاوية التني حتى ظهور التشققات بدليل على الخواص المرنة لوصلة اللحام.

- يتم تحديد حد المتانة عند اختبار هذه العينات حسب المعادلة الآتية:

$$\sigma_b = K \frac{P}{F}$$

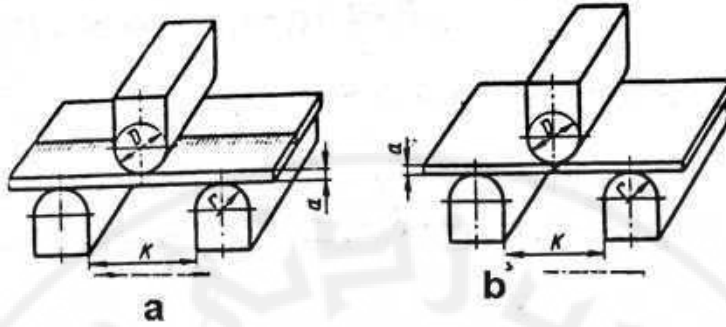
حيث (σ_b) حد المتانة (باسكال). K- عامل التصحيح

p- القوة العظمى (نيوتن). F- مساحة المقطع العرضي للعينة (mm^2).

تكون قيمة عامل التصحيح للفلواذ الكربوني والفلواذ قليل نسبة الخلائط (0,9)، أما المعادن الأخرى، فإن قيمة (K) تعطى بجداول فنية خاصة حسب خواص كل معدن.

يتم اختبار العينات الملحومة طولياً، كما هو موضح في الشكل (a4-17)، أما اختبار العينة الملحومة عرضياً، فيتم اختبارها حسب الشكل (b4-17)، وعند ذلك تكون قيمة

(k) للعينات يساوي $K=2 \div 3$



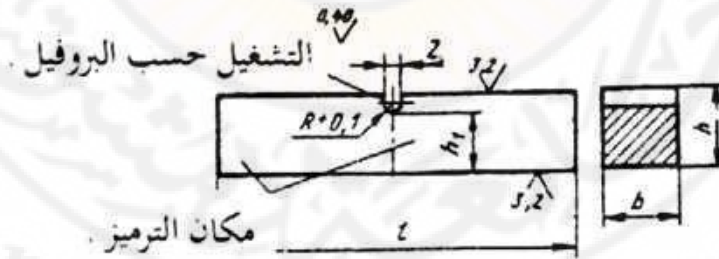
الشكل (4-17): مخطط اختبار العينة على الثني.

a- الدرزة للحامية على طول العينة.

b- الدرزة للحامية على عرض العينة.

D- قطر الأداة (مم).

- يجب تحديد متانة الصدم لمعدن الدرزة ومناطق الانتقال عند اختيار العينات على الثني الصدمي، ويوضح الشكل (5-17) شكل العينات أما أبعاد العينات فموضحة في الجدول (3-17).



الشكل (5-17): عينة لتحديد متانة الصدم.

الجدول (3-17): أبعاد العينات لتحديد متانة الصدم (مم).

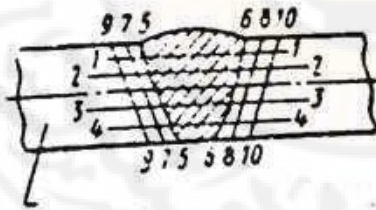
الطرز	b	h_1	h
I	$10 \pm 0,1$	$8 \pm 0,1$	$10 \pm 0,1$
II	$5 \pm 0,1$		
III	$S^* \pm$	$6 \pm 0,1$	$8 \pm 0,1$

S^*1 سماكة المعدن.

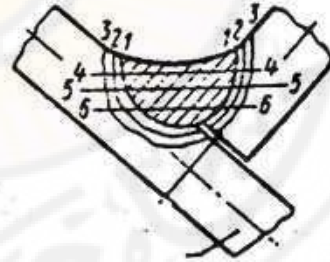
ملاحظة: يبلغ طول العينة $55 \pm 0,6$ (مم).

-تقاس قساوة وصلة اللحام التي تتصف بمتانة المعدن الأصلي بواسطة أجهزة قياس خاصة، مثل (فيكرز وروكويل).

يوضح الشكل (17-6) مخططات إفرادية لقياس قساوة الوصلات، ومن الضروري إخضاع القطع الجاهزة، والمنشآت المهمة جميعها، إلى اختبارات ميكانيكية، وليس العينات فقط، والهدف من هذا الاختبار تحديد متانة أقسام القطع التي تعمل فيها.



مكان الترميز



مكان الترميز

الشكل (17-6): مخططات قياس القساوة.

يتم قياس القساوة في نقاط تقاطع الخطوط من $10 \div 1$

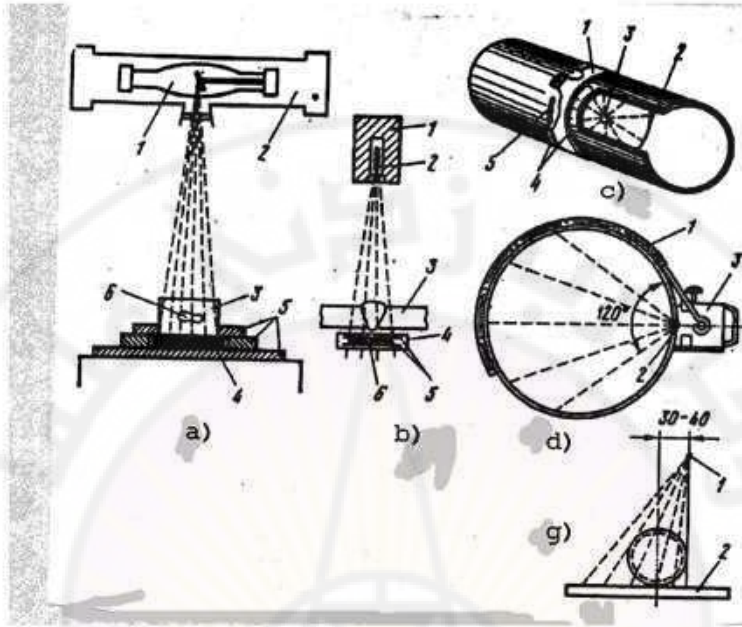
17-8: الاختبارات اللاإتلافية لدرزات اللحام:

يكشف عن العيوب الداخلية المتواجدة في كل جزء من أجزاء المنتج وتحديد طبيعة هذه العيوب وأسباب نشوئها خلال مراحل العملية الإنتاجية جميعها وفي أثناء مراحل الخدمة، دون إحداث أي تشوه أو تغيير في شكل هذه الأجزاء وبنيتها بتطبيق الاختبارات غير الإتلافية؛ إذ تم تطوير هذه الاختبارات لتتواءم مع التطور السريع في الصناعات المتعددة؛ الأمر الذي سمح لهذه الاختبارات بإشغال مكان مهم جداً في الصناعة. وسنستعرض أهم هذه الطرائق:

17-8-1: الفحص باستخدام الأشعة:

يساعد استخدام الأشعة بالكشف عن العيوب الداخلية كالشقوق، والبور الغازية، والحبسات الخبيثة، وغيرها. ويتم استخدامها من أجل فحص القطع والمنشآت ذات المسؤولية العالية (الأوعية التي تعمل تحت تأثير ضغط عال). والأشعة المستخدمة لهذه الغاية إما أشعة X أو أشعة غاما، ولهذه الأشعة القدرة على اختراق المعدن، والتأثير على فيلم تصوير خاص يوضع من الجهة الأخرى للندبة اللحامية. في أثناء اختراق الأشعة للمعدن يكون امتصاص المعدن للأشعة أقل في مناطق العيوب؛ مما يظهر على فيلم التصوير على شكل بقع عاتمة عند إظهاره، وتختلف نسب الأطوال المعرضة للأشعة حسب مسؤولية المنشأة إلى أن تصل هذه التغطية إلى 100% من طول الندبة. انظر الشكل (17-7).

وتفحص الدرزات في الوصلات التقابلية بتسليط الأشعة بشكل عمودي على محور الدرزة، أما الدرزات الزاوية ودرزات الوصلات التراكيبية، فتسلط عليها الأشعة بزاوية 45°، ولإجراء تقييم شامل عن مدى صلاحية الوصلات، فلا بد من المقارنة بين العيوب المكشوفة بوساطة الأشعة والشروط الفنية والمواصفات الموضوعية تبعاً لأهمية القطع والمنشآت.



الشكل (17-7): شكل تخطيطي لتصوير الدرزات اللحامية.

A- بأشعة إكس: 1- أنبوب رونجن. 2- غلاف ذو غشاء رصاصي. 3- المعدن المعرض للأشعة. 4- فلم في كاسيت. 5- صفائح رصاصية
B - التصوير بأشعة غاما: 1- غلاف رصاصي. 2- عبوة تحوي مادة نشطة إشعاعيا. 3- الوصلة اللحامية. 4- كاسيت يحوي الفلم. 5- شاشات حماية. 6- الفلم.

C- تصوير الأنابيب الملحومة بأقطار كبيرة.

D- تصوير الأنابيب بأقطار مهما كانت.

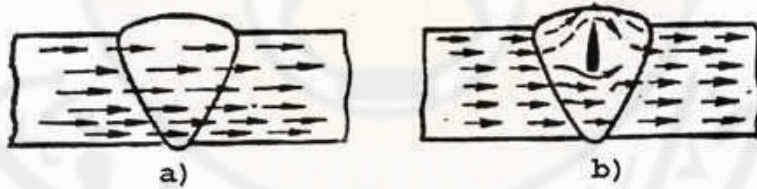
E- تصوير الأنابيب ذات الأقطار الصغيرة.

17-8-2: الطريقة المغناطيسية:

تعتمد هذه الطريقة على تغير اتجاه خطوط التدفق المغناطيسي حول مكان توضع العيوب، حيث تتحرف هذه الخطوط نتيجة تغيير الخواص المغناطيسية للمكان الذي

يوجد فيه العيب بالمقارنة مع خواص المعدن الملحوم، الشكل (8-17) ولتحديد مكان توضع العيوب يتم اتباع الآتي:

1- باستخدام بودرة جافة من أكاسيد الحديد المسحوقة يتم نثرها على سطح الندبة، بعدها يتم مغنطة المعدن بالتيار المستمر أو المتناوب الذي يمر من خلال وشيعة ملفوفة حول القطعة المفحوصة. نتيجة التأثير المغناطيسي للتيار تتجمع البودرة بكثافة في منطقة العيوب؛ ونظراً لأن الخطوط المغناطيسية لا تُظهر إلا العيوب التي تقع عموديه على الخطوط المغناطيسية، فإن الو شيعة تلف على القطعة مرة باتجاه الطول ومرة بالعرض. وكمثال على الأجهزة المستخدمة لهذه الغاية، انظر الشكل (9-17) تجد أن الرسم التخطيطي لأحد هذه الأجهزة يوضح المجس (1) فوق مكان العيب الذي يتحرض بداخله التيار الذي يتم تكبيره في مكبر خاص لهذه الغاية (2) ويعطي إشارة صوتية في التلفون (3) في الوقت نفسه تضاء لمبة الإشارة. بهذه الطريقة يتم اختبار المنشآت الفولاذية والمصنوعة من الفونت ذي السماكات التي تصل حتى المتوسطة، والحاوية على العيوب الداخلية المختلفة.



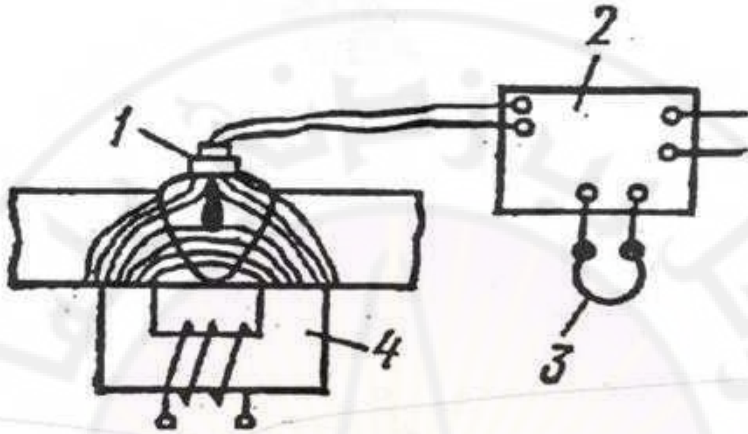
الشكل (8-17): اتجاه خطوط التدفق المغناطيسي عند اختراقها الندبة اللحامية.

a- من دون وجود عيب.

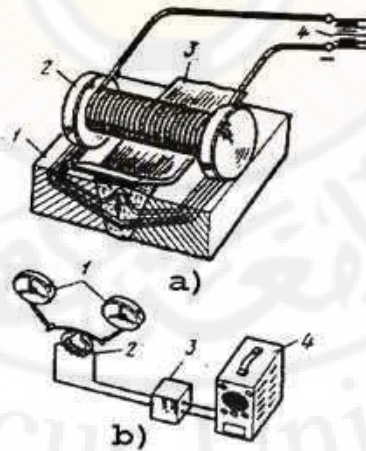
b- عند وجود عيب بداخل معدن الندبة.

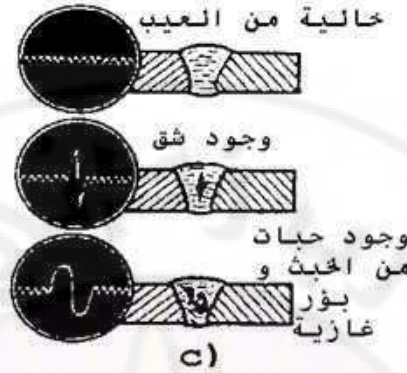
2 - الطريقة المغناطيسية البيانية: تستخدم هذه الطريقة لفحص الدرزات اللحامية للأنابيب وتعتمد هذه الطريقة على فكرة أن عدم التجانس بين مكان توضع العيب والمعدن الملحوم يؤدي إلى اختلاف نفوذية المغناطيسية، ومن خلال تحويل ذلك إلى إشارات كهربائية

ترتسم على شاشة مكبر إشارة يظهر الاختلاف على الشاشة، كما يوضح الشكل (17-10).
 (10).



الشكل (17-9): فحص النذبة للحامية بواسطة الجهاز ذي السماكة:
 1-المجس. 2- مكبر إشارة. 3- سماعة صوتية 4- وشيعة توليد المجال
 المغناطيسي.





الشكل (10-17): الطريقة المغناطيسية ذات جهاز الإشارة.

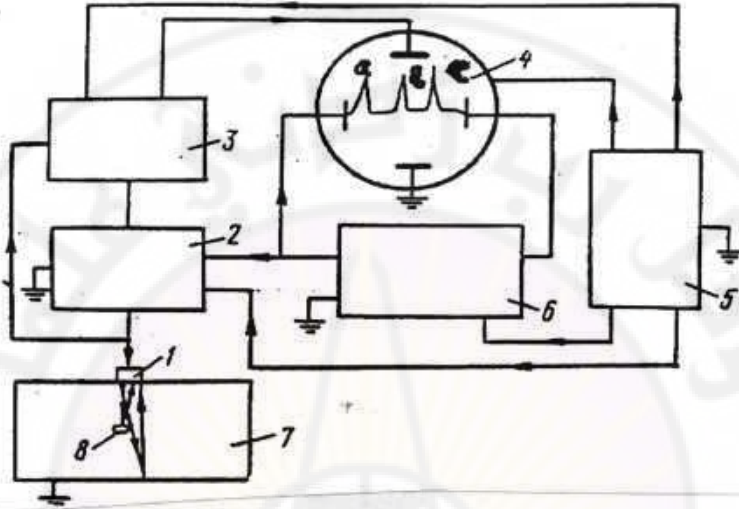
- A-جهاز التشغيل: 1- القطعة. 2- وشيعة كهروطيسية. 3- بكرة ممغنطة 4- منبع التيار.
 B- المعالج: 1- شريط التسجيل. 2- مستقبل. 3- مكبرات إشارة. 4- راسم إشارة.
 C- أشكال المنحنيات عند عدم وجود عيب أو عند ظهور بعض العيوب.

17-8-3: الفحص بالأمواج فوق الصوتية:

تعتمد هذه الطريقة على استخدام الموجات ذات الترددات العالية التي يزيد ترددها على 20000 Hz والتي لا يمكن لأذن الإنسان سماعها. هذه الموجات تخترق معدن الدرزة، وتنعكس عن سطح راسم الإشارة حيث تظهر البؤر الغازية والشقوق والعيوب الأخرى. كما يوضح الشكل (11-17).

باستخدام هذا الجهاز يتم إرسال الموجات عالية التردد من خلال مرسل (1) تخترق المعدن، وتنعكس عن السطح المقابل مشكلة سلسلة من الانعكاسات المتتالية تظهر على الشاشة؛ لتظهر فيما بينها مسافات متساوية وعند وجود العيب على عمق معين من سطح القطعة التي يجري فحصها نلاحظ إشارة مختلفة عن الاثنتين المتتاليتين المتشابهتين a,c وهي الإشارة b الذي يدل موقعها على الشاشة المدرجة على عمق وجود العيب

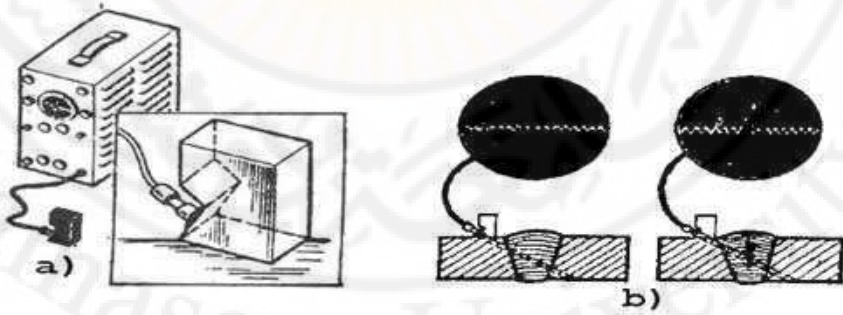
داخل القطعة. ويمثل الشكل (12-17) أحد أنواع الأجهزة المستخدمة للكشف عن العيوب الداخلية بهذه الطريقة.



الشكل (11-17): مخطط الفحص بالأمواف فوق الصوتية.

(a, b, c) - الإشارات الظاهرة على الشاشة.

- 1- مجس مع مرسل. 2- مولد اهتزازات. 3- مكبر إشارة. 4- راسم إشارة. 5- منبع التيار. 6- المعالج. 7- القطعة المفحوصة. 8- العيب داخل القطعة.



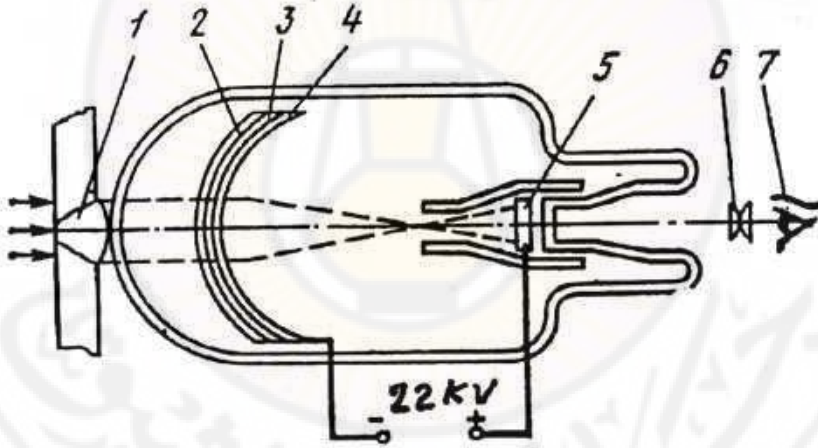
الشكل (12-17): المظهر العام لجهاز كشف العيوب بالموجات فوق الصوتية (a)،

b - الشكل اليساري عند عدم وجود عيب، واليميني عند وجود العيب.

17-8-4: الفحص بالجهاز الإلكتروني ذو العدسات:

حيث يتم تعريض الندبة لأشعة X التي تخترق معدن الندبة وزجاج الأنبوب المفرغ الذي يضيء حيزاً من الفلورسينت الموجود على شاشة من الألمنيوم (2) ويظهر على هذه الشاشة خيال الندبة اللحامية. إن إضاءة المهبط (4) يؤدي إلى خروج الإلكترونات منه، ويزداد عددها بازدياد شدة سطوع الشاشة وشدة الأشعة التي تخترق الدرزة. وتتسارع هذه الإلكترونات حيث تصطدم بالشاشة - المصدر (5) مسببة بذلك إضاءة بشدة تزيد بـ 1000 مرة على الإضاءة في الشاشة (2). وبالنظر من (7) من خلال عدسة تكبير (6) يمكن تمييز العيوب الموجودة في الندبة، كما يوضح الشكل (17-13).

ويمكن استخدام هذه الطريقة لكشف العيوب الداخلية جميعها في الدرزة اللحامية، كما يمكن تطوير هذه الطريقة بآتمة العمليات لزيادة إنتاجية المعمل.



الشكل (17-13): الفحص بالجهاز الإلكتروني ذي العدسات.



الفصل الثامن عشر

ترميز اللحامات على المخططات طبقاً للنظام العالمي

معلومات عامة:

- a. تفرض المواصفات العالمية (I.S.O) القوانين التي يجب أن تستعمل لتمثيل رموز اللحامات على المخططات.
- b. يمكن توضيح أنواع اللحامات على المخططات الفنية استناداً للتوصيات العامة التي يراد الحصول عليها دون الحاجة إلى وضع ملاحظات إضافية على المخططات.
- c. يتضمن تمثيل رمز اللحام الآتي:
 - أ- الرمز الأساسي.
 - ب- الرمز التكميلي.
 - ت- العديد من الأبعاد التوضيحية.
 - ث- بعض التوضيحات الإضافية الخاصة بمخططات العمل التقانية في العمل.
- d. لكي يتم توضيح المخططات، فإنه يُنصح باستخدام المراجع العلمية لتحديد أنواع اللحامات أو المواصفات التي توضح عمليات تحضير الحواف للقطع الملحومة بشكل تفصيلي. وفي حال عدم وجود أنواع مماثلة للحام المطلوب، فإن الأبعاد المتعلقة بتحضير حواف القطع الملحومة يمكن أن تقتصر على الرمز.

1-18: الرموز الأساسية لأنواع وصلات اللحام:

تتصف أنواع اللحامات العديدة برمز لها في الغالب شكل اللحام نفسه المراد عمله. والجدول الآتي رقم (1-18) يبين الرموز الأساسية لأنواع وصلات اللحام. عند الحاجة يمكن وجود رموز أساسية عدة مجتمعة في وصلة لحام واحدة. وقد أعطيت أمثلة نموذجية لها في الجدول رقم (1-18).

الجدول (1-18): الرموز الأساسية لأنواع وصلات اللحام

الرقم	التسمية	الرمز	التوضيح
1	وصلة لحام تناكبي مزدوجة الشفة		
2	لحام تناكبي مربع (دون شنفرة الحواف)		
3	لحام تناكبي مع شنفرة الحواف بشكل V		
4	لحام تناكبي مع تحضير الحواف بشكل مفرد الميل.		
5	لحام تناكبي مع شنفرة الحواف بشكل Y		
6	لحام تناكبي مع شنفرة الحواف بشكل		
7	لحام تناكبي مع شنفرة الحواف بشكل U		
8	لحام تناكبي مع شنفرة الحواف بشكل		
9	لحام تناكبي مع درزة تدعيم من الجهة الخلفية		
10	لحام زاوي.		
11	لحام سدادي.		
12	لحام نقطي.		
13	لحام تدريزي (مستمر) .		

18-2: الرموز التكميلية للوصلات اللحامية:

يمكن أن تكتمل الرموز الأساسية برمز له خواص شكل سطح اللحام الخارجي، ويبين الجدول (18-2) بعض الرموز التكميلية التي ينصح باستعمالها، وإذا لم يوضع أي رمز تكميلي فإن ذلك يعني أن شكل سطح اللحام لا يحتاج إلى توضيحه بشكل دقيق.

الجدول (18-2): الرموز التكميلية:

Supplementary Symbols

الرمز	شكل سطح اللحام
—	أ- مسطح - تجليخ سطح اللحام
	ب- محدب
	ج- مقعر

و يوضح الجدول (18-3) بعض الأمثلة لاستخدام الرموز التكميلية.

الجدول (18-3): يعطي بعض الأمثلة عن استخدام الرموز التكميلية.

التوضيح	الرمز	التسمية
		لحام تناكبي مع شنفرة الحرف بشكل V وإزالة تقوية الدرزة.
		لحام تناكبي مع شنفرة الحواف بشكل X وترك تقوية الدرزة دون إزالة.
		لحام زاوي مقعر.
		لحام تناكبي مع شنفرة بشكل V ولحام تدعيم لجذر الدرزة وإزالة التقوية.

18-3: توضع الرموز على المخططات:

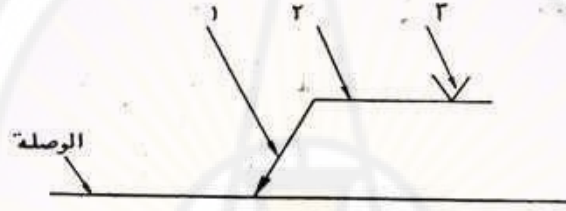
18-3-1: معلومات عامة:

الرموز المشمولة بهذه القواعد هي جزء من طريقة التمثيل الكاملة المتضمنة إضافة الرمز (3) المبين على الشكل (18-1) ويعني الرقم (1) خط السهم والرقم (2) خط الإسناد. إن الغرض من الأسس التالية هو تحديد موضع اللحامات، وذلك بوصف:

موضع خط السهم (1).

موضع خط الإسناد (2).

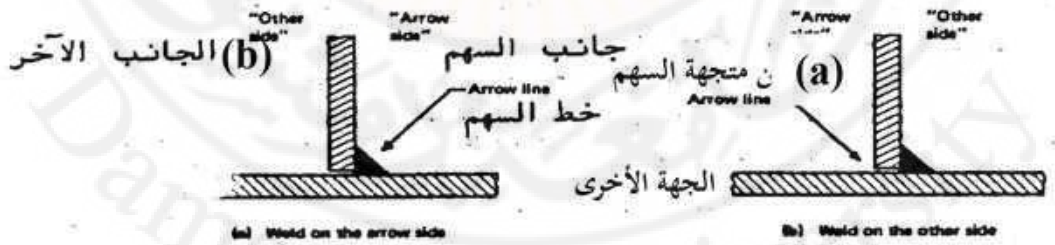
موضع خط الرمز (3).



الشكل (18-1): طريقة التمثيل.

18-3-2: العلاقة بين خط السهم والوصلة:

يوضح المثال المعطى في الشكل (18-2) معنى المصطلحات الآتية:



الشكل (18-2): وصلة بشكل T بلحام زاوي واحد.

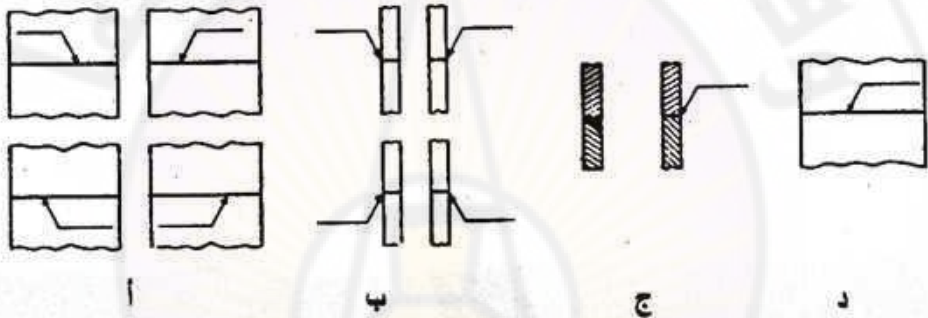
(a) اللحام على جانب السهم. (b) اللحام على الجانب الآخر.

ملاحظة: عادة يوضع السهم مباشرة بالقرب من الدرزة اللحامية.

18-3-3: موضع خط السهم:

يكون موضع خط السهم المتعلق باللحام بصفة عامة من دون مواصفات معينة - إلا أنه يجب أن يكون باتجاه الصفيحة المجهزة للحام - انظر الشكل (18-3)، والأشكال 4 و 5 و 8 المبينة بالجدول (18-1).

يتصل خط السهم من إحدى نهايته بخط الإسناد مشكلاً زاوية معه، كما يمكن بشكل عام أن يكمل رأس السهم، وفي حالات معينة يمكن إلغاؤه، ووضع نقطة مكانه.



الشكل (18-3): موضع خط السهم.

18-3-4: موضع خط الإسناد:

يجب أن يكون الإسناد خطاً مستقيماً ويرسم موازياً للخط السفلي لمخطط الرسم.

18-3-5: موضع الرمز المتعلق بخط الإسناد:

يحدد موضع الرمز المتعلق بخط الإسناد بأسس مختلفة موضحة بالجدولين (18-4,5) المعتمدة على الطريقتين A , E المعطاة بنظام الـ (ISO/R-128).

الجدول (4-18): موضع الرمز حسب الطريقة A.

وصف الموضع	الرمز	التمثيل	التوضيح
الرمز تحت خط الإسناد إذا كان السطح الخارجي للحام من جهة جانب السهم للوصلة.			
الرمز فوق خط الإسناد إذا كان السطح الخارجي للحام من جهة الجانب الآخر للوصلة.			
الرمز يقطع خط الإسناد في حالة اللحامات بمستوى الوصلة.			

الجدول (5-18): موضع الرمز حسب الطريقة E.

وصف الموضع	الرمز	التمثيل	التوضيح
الرمز فوق خط الإسناد إذا كان السطح الخارجي للحام من جهة جانب السهم للوصلة.			
الرمز تحت خط الإسناد إذا كان السطح الخارجي للحام من جهة الجانب الآخر للوصلة.			
الرمز يقطع خط الإسناد في حالة اللحامات بمستوى الوصلة.			

ملاحظة: في حالة اللحامات النقطية المعمولة باللحام الفتوي (تحدث فيه نتوءات قبل عملية اللحام) يعد سطح الإسقاط هو السطح الخارجي للحام.

4-18: أمثلة على كيفية استعمال الرموز:

تعطي الجداول من (6-18) إلى (10-18) أمثلة على كيفية استعمال الرموز حسب الطريقة A أو E وذلك حسب توضع المساقط:

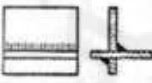
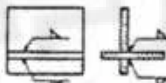
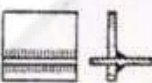
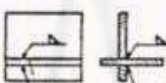
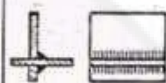
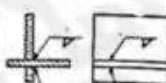
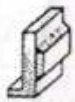
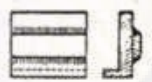
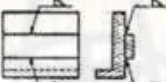
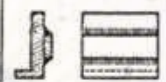
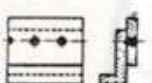
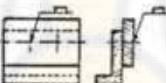
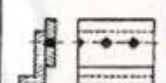
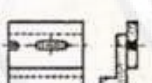
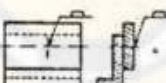
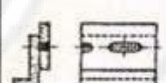
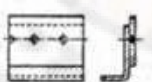
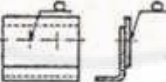
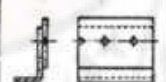
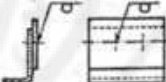
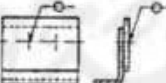
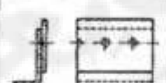
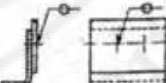
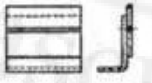
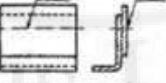
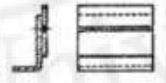
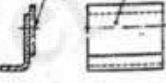
الجدول (6-18): أمثلة على استعمال الرموز الأساسية.

الترميز	التمثيل	طريقة A		طريقة E		التوضيح	تصميم الرمز
		التمثيل	الترميز	التمثيل	الترميز		
1						وصلة مزدوجة V	
2						وصلة مزدوجة مربعة	
3							
4						وصلة مزدوجة مربعة	
5							
6						وصلة مزدوجة مربعة	
7							
8						وصلة مزدوجة مربعة	
9							

تابع الجدول (6-18).

الترقيم	التوضيح	طريقة E		طريقة A	
		التمثيل	الترميز	التمثيل	الترميز
10	رسم ثنائي مع خطوط المنافذ من طرف واحد				
11	رسم ثنائي مع خطوط المنافذ من طرفين				
12	رسم ثنائي مع خطوط المنافذ من طرفين				
13	رسم ثنائي مع خطوط المنافذ من طرفين				
14	رسم ثنائي مع خطوط المنافذ من طرفين				
15	رسم ثنائي مع خطوط المنافذ من طرفين				
16	رسم ثنائي مع خطوط المنافذ من طرفين				
17	رسم ثنائي مع خطوط المنافذ من طرفين				
18	رسم ثنائي مع خطوط المنافذ من طرفين				

تابع الجدول (6-18).

الرقم	تصميم الرمز	التوضيح	طريقة E		طريقة A	
			التمثيل	الترميز	التمثيل	الترميز
19						
20	رأس زاوية 					
21						
22	وصلة سدادة 					
23	"					
24	وصلة نقطة 					
25	وصلة لحام 					
26	تدريزي 					

الجدول (7-18): أمثلة عن رموز أساسية لوصلات لحام تحتوي على رزات عدة مجتمعة.

الترميز	التمثيل	طريقة A		طريقة E		التوضيح	تصميم الرمز
		التمثيل	الترميز	التمثيل	الترميز		
وصلة لائكية مزدوجة وجود حمار للدرزة من الجهة الأول							
وصلة لائكية							
وصلة لائكية مستطرفة الحواف بشكل V مع							
وصلة لائكية مستطرفة الحواف بشكل V مع							
وصلة لائكية مع شقوق الحواف 1-1							
وصلة لائكية مع شقوق الحواف بشكل V							
وصلة لائكية مع شقوق الحواف بشكل Y							
وصلة لائكية مستطرفة الحواف بشكل Y							

تابع الجدول (7-18).

الترميز	التمثيل	طريقة A		الترميز	التمثيل	طريقة E		التوضيح	الترميز
وصلة تراكيبية مع شعرا أطراف متساويين ٢-٢									
وصلة تراكيبية مع شعرا أطراف متساويين ٢-٢									
وصلة تراكيبية مع شعرا أطراف متساويين ٢-٢									
وصلة زاوية ١-١									
وصلة زاوية ١-١									

ملاحظة: من المفضل تمثيل وصلات اللحام بمخططات منفصلة، كما في الجدول (8-18).

(8): بالرغم من أن دمج رموز عدة بعضها مع بعض غير ممنوع.

الجدول (8-18): مثال على كيفية تمثيل رمز اللحام بمخطط منفصل.

التمثيل الذي ينصح بإستعماله	ترميز لا ينصح بإستعماله	التوضيح

الجدول (9-18): أمثلة عن رموز أساسية و تكميلية لوصلات اللحام التي تحتوي على

درزات عدة مجتمعة.

الدقة	تصميم الرمز	التوضيح	طريقة E		طريقة A	
			التمثيل	الترميز	التمثيل	الترميز
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

ملاحظة: لا يمكن استعمال الرمز في حالة عدم وصول السهم إلى الوصلة الملحومة.

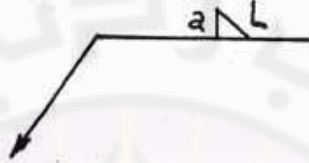
الجدول (10-18): أمثلة عن حالات استثنائية لترميز اللحام. (الصحيح والخطأ).

الترتيب	التوضيح	طريقة E		طريقة A	
		التمثيل	الترميز	التمثيل	الترميز
1			impossible incorrect خطأ		incorrect impossible خطأ
2			correct مصحح		correct مصحح
3			impossible incorrect خطأ		incorrect impossible خطأ
4			correct مصحح		correct مصحح
5			impossible incorrect خطأ		incorrect impossible خطأ
6			impossible correct مصحح		correct impossible خطأ
7			incorrect خطأ		incorrect خطأ
8			correct مصحح		correct مصحح

5-18: أبعاد درزة اللحام على المخططات:

1-5-18: قوانين عامة:

تكتب أبعاد الدرزة اللحامية على المخططات كما هو موضح بالشكل (5-18):



الشكل (5-18): كتابة أبعاد درزات اللحام على المخططات.

1- تكتب الأبعاد الرئيسية المتعلقة بالمقطع العرضي على يسار الرمز.

2- تكتب الأبعاد القطرية على يمين الرمز.

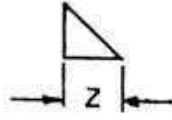
يبين الجدول (11-18) كيفية وضع أبعاد درزات اللحام. هذا يمكننا توضيح الأبعاد ذات الأهمية القليلة إذا تطلب الأمر.

2-5-18: توضيح الأبعاد الرئيسية:

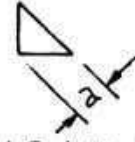
لا يظهر البعد الذي يحدد موضع اللحام بالنسبة لطرف الصفحة في تمثيل عملية اللحام ولكن يوضح على المخطط.

ملاحظات:

- إذا كانت درزة اللحام مستمرة على طول قطعة التشغيل لا يلزم وضع أي بعد على يمين الرمز.
- في غياب أي توضيح للسطح الخلفي، فإن اللحامات التناكبية سوف تتغلغل بصورة كاملة.
- عادة بالنسبة للحامات الزاوية عند استخدام طريقة A يكون البعد الموضح هو البعد Z وعند استخدام الطريقة E يكون البعد الموضح هو البعد a، وفي حال عدم اتباع هذه الطريقة، فإن الحرف a أو الحرف Z يجب أن يوضعا في مقدمة البعد المعتمد.



طريقة / A /



طريقة / E /

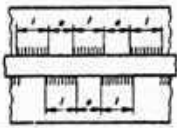
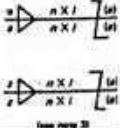
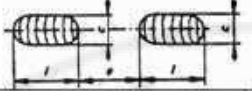
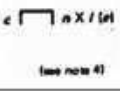
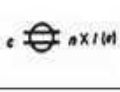
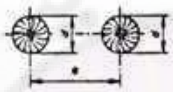
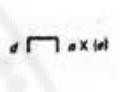
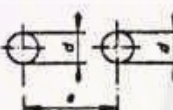
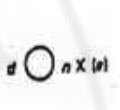
- في حال اللحامات السدادية ذات الأطراف المائلة يجب أن يؤخذ البعد حتى قاع الثقب.

6-18: توضيحات إضافية:

يمكن استخدام توضيحات إضافية عند الحاجة لتحديد مواصفات لحامات معينة، كما هو مبين في الأمثلة الآتية:

الجدول (11-18): الأبعاد الرئيسية للدرزات اللحامية.

1	لحام تتاكبي		S: المسافة الصغرى من سطح القطعة إلى قاع تغلق اللحام التي لا يمكن أن تكون أكبر من سماكة القطعة.	 (see notes 1 and 2) (see note 1)
2	لحام تتاكبي لصفيحتين ذواتا أطراف مرتفعة		S: المسافة الصغرى من السطح الخارجي إلى قاع قطعة اللحام.	 (see note 1)
3	لحام زاوي مستمر		a - الارتفاع الأعظمي للمثلث متساوي الساقين. z - الضلع الأعظمي للمثلث متساوي الساقين.	 (see note 3)
4	لحام زاوي متقطع		L: طول درزة اللحام. e: المسافة بين درزتي اللحام. n: عدد الدرزات.	 (see note 3)

5	سلسلة لحام زاوي متقطع شطرنجي.		انظر الملاحظة / 4 . انظر الملاحظة / 3 .	 (see note 3)
6	لحام تعبئة سدادي.		انظر الملاحظة / 4 . C: عرض درزة اللحام .	 (see note 4)
7	لحام تدريزي.		انظر الملاحظة / 4 . C: عرض درزة اللحام .	
8	لحام سدادي.		n: انظر الملاحظة / 4 . e: البعد بين مركزي الدرزتين. d: قطر ثقب التعبئة.	
9	لحام نقطي.		n: انظر الملاحظة / 4 . e: بعد مركزي الدرزتين . d: قطر درزة النقطة .	

1-6-18: لحامات محيطية:

عندما يكون اللحام على محيط القطعة كاملاً يكون الرمز عبارة عن دائرة، كما في الشكل (6-18).

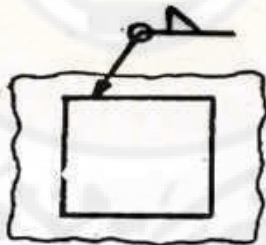


FIGURE 6

الشكل (6-18): لحامات محيطية.

2-6-18: لحامات في موقع التركيب:

عند إجراء عمليات اللحام في موقع العمل يستخدم رمز الزاوية لتوضيح ذلك، كما هو مبين في الشكل (7-18).

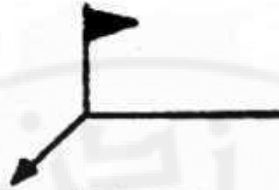


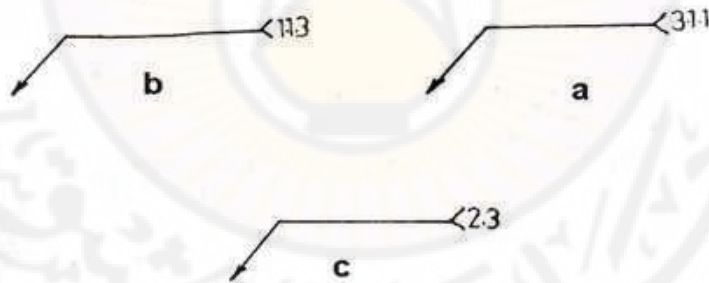
FIGURE 7

الشكل (7-18): لحامات في موقع التركيب.

18-6-3: توضيح طرائق اللحام:

عندما يتطلب توضيح طرائق اللحام برمز يكتب الرقم بين فرعي الشوكة المرسومة بنهاية خط الإسناد المنطلق من خط السهم.

والشكل (8-18) يعطي توضيحاً لذلك، حيث نجد في:



الشكل (8-18): رمز طريقة اللحام.

الشكل (a8-18) إن عملية اللحام هي عملية لحام بغاز الأكسجين والأستلين.

الشكل (b8-18) إن عملية اللحام هي عملية لحام بالقوس الكهربائي بسلك عار.

الشكل (c8-18) إن عملية اللحام هي عملية لحام نتوني.

والجدول (12-18) يوضح رمز طرائق اللحام حسب النظام العالمي (ISO).

الجدول (12-18): طرائق اللحام وتمثيل رموزها على المخططات الفنية حسب النظام العالمي (ISO-4063-1978 EIF).

الرقم	طرائق اللحام	
1.	Arc welding.	1- لحام قوسي.
1.1	Metal – arc welding without gas protection.	- لحام بالقوس الكهربائي دون حماية بالغاز.
1.1.1	Metal -arc welding with covered electrode, shielded metal –arc welding(USA).	- لحام بالقوس الكهربائي بالكترود مغلف.
1.1.2	Gravity arc welding with covered electrode.	- لحام قوسي بالجاذبية والكترود مغلف.
1.1.3	Bare wire metal – arc welding .	- لحام بالقوس الكهربائي بسلك عار .
1.1.4	Flux cored metal – arc welding ,flux cored arc welding (USA).	- لحام بالقوس الكهربائي بقضيب لحام ذي قلب مصهور .
1.1.5	Coated wire metal – arc welding.	- لحام بالقوس الكهربائي بسلك مغلف.
1.1.8	Firecracker welding.	- لحام بسهم ناري مفرق.
1.2	Submerged arc welding.	- اللحام بالقوس المغمور (بمساعداات الصهر) (الفليكس).
1.2.1	Submerged arc welding with wire electrode.	- اللحام بالقوس المغمور باستخدام الكترود سلكي.
1.2.2	Submerged arc welding with strip electrode	- اللحام بالقوس المغمور باستخدام الكترود شريطي.
1.3	Gas shielded metal –arc welding.	- لحام بالقوس الكهربائي المغلف

		بالغاز .
1.3.1	MIG welding.	- لحام MIG .
1.3.5	MAG welding metal arc welding with non – inert gas shield.	- لحام MAG (لحام بالقوس الكهربائي مغلف بغاز غير خامل).
1.3.6	Flux cored metal – arc welding with non – inert gas shield	- لحام بالقوس الكهربائي بقضيب لحام ذي قلب مصهور مغلف بغاز غير خامل.
1.4	Gas shielded welding with non consumable electrode.	- لحام غازي مغلف بقضيب غير مستنفذ.
1.4.1	TIG welding , gas tungsten arc welding (GTAW) (USA).	- لحام TIG لحام قوسي باستخدام الكترود من التنغستين (CT4W) أمريكا.
1.4.9	Atomic – hydrogen welding.	- لحام بالهيدروجين الذري.
1.5	Plasma arc welding.	- لحام قوسي بالغاز المؤين (البلازما).
1.8	Other arc welding processes.	- عمليات لحام أخرى بالقوس الكهربائي.
1.8.1	Carbon – arc welding.	- لحام قوسي باستخدام إلكترود من الغرافيت.
1.8.5	Rotating arc welding.	- لحام قوسي دوراني متعاقب.
2	Resistance welding.	2- لحام مقاومة.
2. 1	Spot welding , resistance spot welding (USA).	لحام نقطي (لحام مقاومة نقطي).
2.2	Seam welding resistance seam welding (USA).	لحام تدريزي (لحام مقاومة تدريزي).
2.2.1	Lab seam welding.	- لحام تدريزي لوصلة تراكيبية.

2.2.5	Seam welding with stripe.	لحام تدريزي متقطع.
2.3	Projection welding.	لحام نتؤي (تحدث فيه نتوءات قبل عملية اللحام).
2.4	Flash welding.	لحام وميضي.
2.5	Resistance butt welding upset welding (USA).	لحام مقاومة تناكبي.
2.9	Other resistance welding processes.	- عمليات أخرى للحام المقاومة.
2.9.1	HF resistance welding.	- لحام مقاومة HF.
3	Gas welding.	3-اللحام بالغاز.
3.1	Oxy – fuel welding.	اللحام بغاز الأكسجين والوقود.
3.1.1	Oxy – acetylene welding.	اللحام بغاز الأكسجين والأسيتيلين.
3.1.2	Oxy – propane welding.	- اللحام بغازي الأكسجين والبروبان.
3.1.3	Oxy – hydrogen welding.	- اللحام بغازي الأكسجين والهيدروجين.
3.2	Air – fuel gas welding.	اللحام بالوقود والهواء.
3.2.1	Air – acetylene welding.	- اللحام بغاز الأسيتيلين والهواء.
3.2.2	Air propane welding.	- اللحام بغاز البروبان والهواء.
4	Pressure welding.	4- لحام بالضغط.
4.1	Ultrasonic welding.	- لحام بالأمواج فوق الصوتية.
4.2	Friction welding.	لحام بالاحتكاك.
4.3	Forge welding.	- لحام بالحرارة والتطريق.
4.4	Welding by high mechanical energy.	- لحام بطاقة ميكانيكية عالية.
4.4.1	Explosive welding, explosive welding (USAS).	- لحام بالانفجار.

4.5	Diffusion welding.	- لحام بالانتشار .
4.7	Gas pressure welding , pressure gas welding (USA).	- لحام بالغاز والضغط.
4.8	Cole welding , cold pressure welding (USA).	- لحام على البارد.
7	Other welding processes.	5- عمليات لحام أخرى.
7.1	Thermit welding.	- لحام بالترميت.
7.2	Electro-slag welding.	- اللحام الكهربائي الخبثي.
7.3	Electro-gas welding.	- اللحام الكهربائي مع استخدام الغاز.
7.4	Induction welding.	- لحام بتيار حثي.
7.5	Light radiation welding	- اللحام بطاقة الإشعاع الضوئي.
7.5.1	Laser welding	- لحام بالليزر .
7.5.2	Arc image welding.	- لحام قوسي بالطيف.
7.5.3	Infrared welding.	- لحام بالأشعة تحت الحمراء.
7.6	Electron beam welding.	- لحام بالحزمة الإلكترونية.
7.7	Percussion welding.	- لحام صدمي (بالمقامة).
7.8	Stud welding.	- لحام نتوئي .
7.8.1	Arc stud welding.	- لحام قوسي نتوئي.
7.8.2	Resistance stud welding.	- لحام مقاومة نتوئي.
9	Brazing – soldering and braze welding.	6- لحام بالنحاس الأصفر - لحام بالقصدير واللحام بالنحاس.
9.1	Brazing.	- لحام بالنحاس الأصفر.
9.1.1	Infrared brazing.	- لحام بالنحاس الأصفر بالأشعة تحت الحمراء.
9.1.2	Flame brazing, torch brazing.	- لحام بالنحاس الأصفر

	(USA)	باستخدام اللهب.
9.1.3	Furnace brazing.	- لحام بالنحاس الأصفر باستخدام الفرن.
9.1.4	Dip brazing.	- لحام بالنحاس الأصفر باستخدام الغمس.
9.1.5	Salt bath brazing.	- لحام بالنحاس الأصفر بحوض ملحي.
9.1.6	Induction brazing.	- لحام بالنحاس الأصفر بالتيارات الحثية.
9.1.7	Ultrasonic brazing.	- لحام بالنحاس الأصفر باستخدام الأمواج فوق الصوتية.
9.1.8	Resistance brazing.	- لحام بالنحاس الأصفر بالمقاومة.
9.1.9	Diffusion brazing.	- لحام بالنحاس الأصفر بواسطة الانتشار.
9.2.3	Friction brazing.	- لحام بالنحاس الأصفر بالاحتكاك.
9.2.4	Vacuum brazing.	- لحام بالنحاس الأصفر بواسطة التفريغ (التخلخل).
9.3	Other brazing processes.	- عمليات لحام مختلفة بالنحاس الأصفر.
9.4	Soldering .	- لحام بالقصدير .
9.4.1	Infrared soldering.	- لحام بالقصدير بالأشعة تحت الحمراء.
9.4.2	Flam soldering.	- لحام بالقصدير بواسطة اللهب.
9.4.3	Furnace soldering.	

		- لحام بالقصدير بواسطة الفرن.
9.4.4	Dip soldering.	- لحام بالقصدير بواسطة الغمس.
9.4.5	Salt bath soldering.	- لحام بالقصدير بحوض ملحي.
9.4.6	Induction soldering.	- لحام بالقصدير بواسطة التيارات الحثية.
9.4.7	Ultrasonic soldering	- لحام بالقصدير باستخدام للأمواج فوق الصوتية.
9.4.8	Resistance soldering.	- لحام بالقصدير بالمقاومة.
9.4.9	Diffusion soldering.	- لحام بالقصدير بواسطة الانتشار.
9.5.1	Flow soldering.	- لحام بالقصدير بواسطة التدفق.
9.5.2	Soldering with soldering iron.	- لحام بالقصدير بكاوية لحام (حديدية).
9.5.3	Friction soldering.	- لحام بالقصدير بواسطة الاحتكاك.
9.5.4	Vacuum soldering.	- لحام بالقصدير بواسطة التفريغ (التخلخل).
9.6	Other soldering processes.	- عمليات لحام أخرى بواسطة القصدير.
9.7	Braze welding.	- لحام بالنحاس.
9.7.1	Gas braze welding.	- لحام بالنحاس بواسطة الغاز.
9.7.2	Arc braze welding.	- لحام بالنحاس بواسطة القوس الكهربائي.



الفصل التاسع عشر

مراحل تنفيذ المشاريع الإنتاجية المعدنية

وأهم طرائق رفع مئانة الوصلات اللحامية

1-19: مراحل تنفيذ المشاريع الإنتاجية: (التجميع)

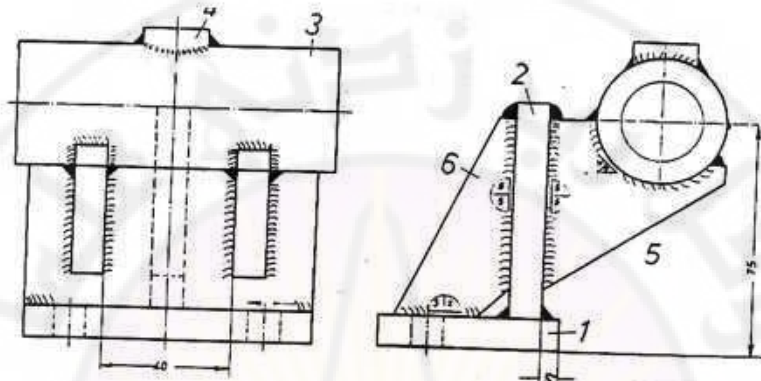
تستعمل المنشآت المعدنية في المجالات الصناعية والزراعية جميعها، وتستعمل بشكل واسع في إنتاج معدات الطاقة الكهربائية، والتعدين، وصناعة الآلات والقطارات، والمعدات الزراعية، والبواخر ومنشآت البناء وأوابب النقل... الخ. إن عمليات إنتاج القطع الفولاذية؛ وخاصة الملحومة في المصانع أو الورشات تتألف من مجموعة العمليات الآتية:

- عمليات تمهيدية: حيث يتم اختبار المعدن اللازم للعملية الإنتاجية حسب الشروط التصميمية.
- عمليات تجري في الورشة التحضيرية (التفصيل) حيث يتم وضع علامات القطع والتثقيب والتشكيل حسب المخططات التفصيلية للقطع المراد إنتاجها.
- عمليات تجميع القطع الإنشائية ولحامها من الأجزاء جاهزة الصنع، حسب المخططات التجميعية مع الأخذ بالحسبان النقة في الأبعاد، وجودة الإنتاج بواسطة التدقيق والتفتيش المرحلي لكل مرحلة إنتاجية.
- عمليات التنظيف والدهان المناسب.

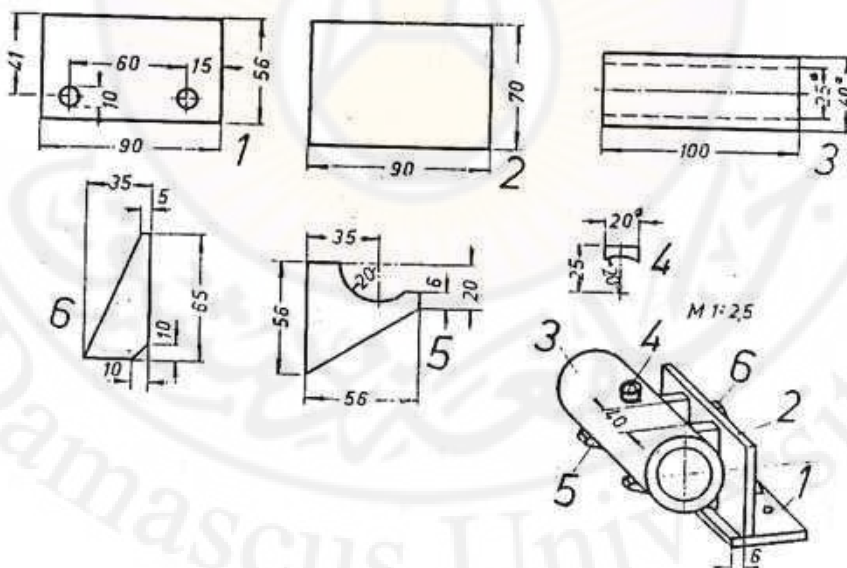
لكي تتم هذه العمليات بشكل دقيق وتسلسلي تم إعداد بطاقة تصنيع (تكنولوجية) يمكن استخدامها لإنتاج أي منتج.

وبطاقة التكنولوجية المبينة في الجدول (1-19) مثال لإنتاج حامل محور باللحام مع الرسومات المرفقة. والشكل (1-19) يوضح الهيكل التجميعي لحامل المحور المجمع

بإستخدام اللحامات. ويوضح في الجدول (1-19) مراحل تجميع وإنتاجه لحامل المحور المبين بالشكل (2-19).



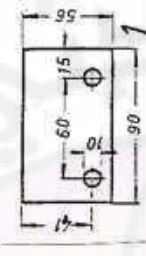
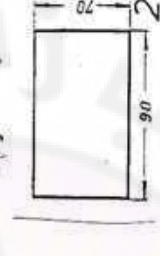
الشكل (1-19): الرسم التجميعي لحامل المحور المجمع باستخدام اللحامات.



الشكل (19-2): الرسومات التفصيلية لحامل المحور مع المنظور العام لهذا الحامل.

الزمن اللازم للتعبئة:

المهدف من المشروع: التدريب على عملية القص و الجمع بالاحكام

ملاحظات	الكلفة التقديرية للعملية	نوع المادة اللازمة	الالات و الأدوات اللازمة	رقم العملية و اسمها	تنفيذ القطعة رقم 1 (القاعدة الأساسية)	رقم القطعة على المخطط
المقياس: 1/2 السماكة: 6 أو 8 مم.		فولاذ منخفض الكربون (St-37).	مقص صاج أو بالغاز حسب السماكة و الإمكانية المتوفرة مقبب عمودي + فرشاة فولاذية + مربرد.	(a) قص القطعة من الصاج بأبعادها الحقيقية. (b) تنقيب القطعة برفشة 10 مم. (c) تنظيفها من الرأيش و الأوساخ.		1.
المقياس: 1/2 السماكة: 6 أو 8 مم		St-37	مقص صاج حديدوليكي أو بالغاز حسب السماكة و الإمكانية المتوفرة بالبرود.	1- قص القطعة من الصاج بأبعادها الحقيقية وفقاً للمخطط المبين جانباً. 2- تنظيف أحرف القطعة.		2.
			علامة المدرس:		كلفة المشروع الإجمالية	
					تقوم المدرس للمشروع:	
					التاريخ:	

التصنيف: 1/2

بطاقة تكنولوجية لإنتاج (حامل محور)

الزمن اللازم للتنفيذ:

الهدف من المشروع:

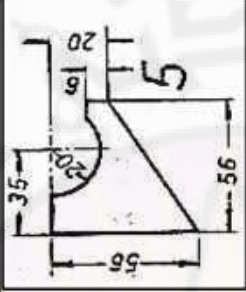
ملاحظات	الكلفة التقديرية للعملية	نوع المادة اللازمة	الألات و الأدوات اللازمة	رقم العملية و اسمها	رقم القطعة على المخطط
1 2 المقياس:		(St-42)	منشار آلي ترددي.	1 - قص القطعة من أنبوب (بوثة) القطر الداخلي 25 مم والخارجي 40 مم بطول 100 مم.	3
1 1 المقياس:		تراسمسون.	1- منشار آلي ترددي. 2- جلع ثابت.	a) قص قطعة من المبروم بقطر 20 مم و بطول 10 مم. b) تجلخ بشكل قوس حسب الشكل المبين جانباً.	4
			علامة المدرس:	كافة المشروع الإجمالية:	
				تقوم المدرس للمشروع:	
				التاريخ:	

التصنيف: 1/3

بطاقة تكنولوجية لإنتاج (حامل محور)

الزمن اللازم للتنفيذ:

الهدف من المشروع:

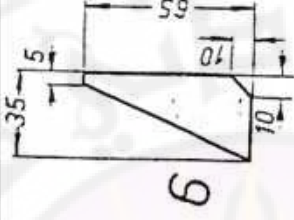
ملاحظات	الكلفة التقديرية للعملية	نوع المادة اللازمة	الآلات و الأدوات اللازمة	رقم العملية و اسمها	تسلسل عملية تنفيذ المشروع مع الرسم حيث يلزم	رقم القطعة على المخطط
المساحة: 6 أو 8 سم			1- مقص آلي.	1- قص صفحة 56 x 56 مم عدد 2.		5
المقياس: 1/1		St - 37	2- مقص آلي.	2- قص الجانب A حسب المخطط.		
			3- القص بالغاز (الهب) الأوكسي أسيتلين.	3- قص جانب القوس حسب المخطط المبين جانباً.		
		علامة المدرس:			كلفة المشروع الإجمالية	
					تقوم المدرس للمشروع: التاريخ:	

التصنيف: 1/4

بطاقة تكنولوجيا إنتاج (حامل محور)

الزمن اللازم للتنفيذ:

الهدف من المشروع:

ملاحظات	الكلفة التقديرية للعملية	نوع المادة اللازمة	الآلات و الأدوات اللازمة	رقم العملية و اسمها	تسلسل عملية تنفيذ المشروع مع الرسم حيث يلزم	رقم القطعة على المخطط
		St - 37	A. مقص آلي. B. المبرد وفرشاة فولاذية.	a. قص صفيحة 65 x 35 مم. b. إكمال عملية القص حسب المخطط. c. ضبط أبعادها.		6
					كلفة المشروع الإجمالية	
					تقوم المدرس للمشروع:	
					التاريخ:	

علامة المدرس:

التصنيف: 1/5

بطاقة تكنولوجية لإنتاج (حامل محور)

الزمن اللازم للتنفيذ:

الهدف من المشروع:

ملاحظات	الكلفة التقديرية للعملية	نوع المادة اللازمة	الآلات والأدوات اللازمة	رقم العملية واسمها	تسلسل عملية تنفيذ المشروع مع الرسم حيث يلزم	رقم القطعة على المخطط
					مراحل تجميع القطع: A. تليقظ (جمع) القطعة الثانية مع الأولى بحيث تكون القطعة 2 عمودية على الأولى وتوضع في الموقع حسب المخطط التجميعي. B. التأكد من عمودية القطعة 2 على الأولى ثم إجراء عملية اللحام من الجهتين. C. تليقظ القطعتين رقم 5 مع القطعة الثانية حسب المخطط حيث المسافة بينهما 40 مم. D. إجراء عملية اللحام للقطعتين. E. تجميع القطعة 3 مع القطعتين 5 حسب المخطط، ثم إجراء عملية اللحام. F. تجميع القطعة رقم 6 مع القطعتين الأولى و الثانية في المنتصف، كما هو موضح على الرسم التجميعي، ثم إجراء عملية اللحام. G. تنظيף القطع جيداً. H. الدهان: 1- أساس (سبرقون) 2- اللون المطلوب.	
					كلفة المشروع الإجمالية:	
				علامة المدرس:	تقويم المدارس للمشروع:	
					التاريخ:	

التصنيف: 1/2

بطاقة تكنولوجية لإنتاج (حامل محور)

الزمن اللازم للتنفيذ:

الهدف من المشروع:

ملاحظات	الكلفة التقديرية للعملية	نوع المادة اللازمة	الآلات و الأدوات اللازمة	رقم العملية و اسمها	تسلسل عملية تنفيذ المشروع مع الرسم حيث يلزم	رقم القطعة على المخطط
					كلفة المشروع الإجمالية	
			علامة المدرس:	تقوم المدرس للمشروع: التاريخ:		

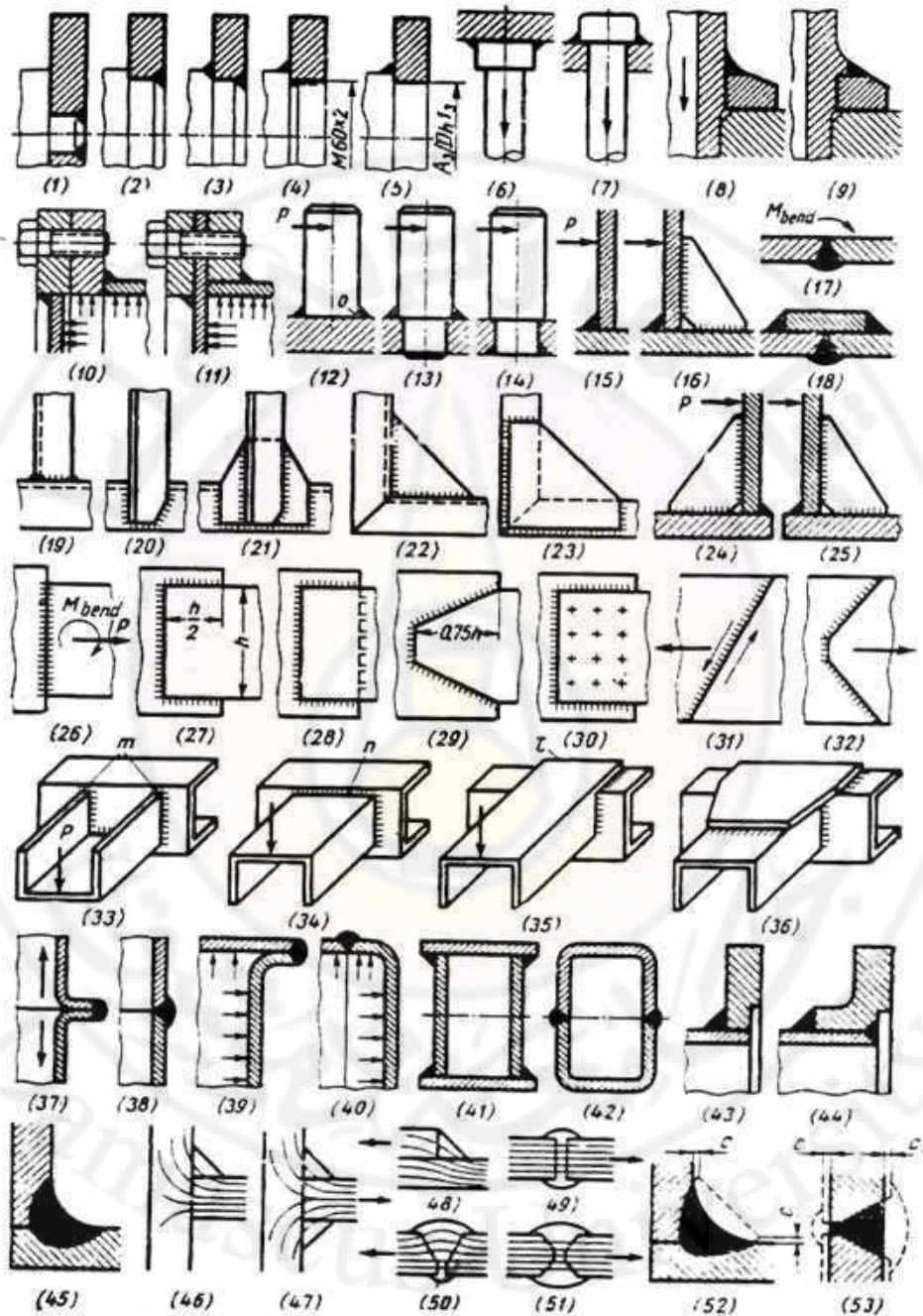
19-2: أهم طرائق رفع متانة الوصلات اللحامية بالطرق التصميمية:

19-2-1: اختيار أهم التصميم ولحامها:

يمكن رفع متانة الوصلات اللحامية بوساطة الطرق التصميمية؛ (أي إجراءات تصميمية تأخذ في الحسبان القوى العاملة والأشكال النهائية) أو بوساطة الطرق الصناعية، وذلك بهدف حماية منطقة اللحام من المؤثرات الضارة في أثناء عملية اللحام أو بوساطة المعالجات الحرارية... الخ، ويمثل الشكل (19-3) الإجراءات التصميمية التي من شأنها زيادة متانة الوصلات اللحامية، حيث تبين الأشكال (19-3، 1، 2، 3)) كيفية زيادة متانة الوصلة بين فلنشة وعمود محمل بعزم دائري على حساب زيادة قطر خط اللحام الدائري المنفذ. (معلوم أن المقاومة للقص الناجم عن العزم تتناسب طردياً مع مربع قطر الوصل) في الوصلة تصميم (2) على سبيل المثال ويمقطع متساواً للندبة مع الوصلة (1) تزيد متانة الوصلة بـ 7 مرات وفي الوصلة تصميم (3) تزيد بـ 18 مرة مقارنة مع الوصلة (1).

عندما يكون خط اللحام منفذاً بالشكل الأصولي، والحواف محضرة بالشكل الدقيق المتعارف عليه لم يعد من الضروري التثبيت الإضافي للقطع (بواسطة جزء ملولب كما في الوصلة 4) أو (بالكبس كما في الوصلة 5). من الضروري إن أمكن تخليص الدرزات اللحامية من الحمولات، وتحميل الأجزاء الكاملة للوصلة بحيث تقوم الدرزات اللحامية بمهمة الوصل والتثبيت فقط. وبعض الأمثلة على ذلك مبينة بالتصميمين (7 و 6) (حيث المحور يحمل بقوة محورية) وكذلك بالتصميمين (8 و 9) (فلنشة استنادية). حيث نلاحظ على التصميمين (7 و 9) الأجزاء المحسنة للتصميمين (6 و 8) من الشكل نفسه.

- من أجل تثبيت الغطاء لخزان أسطواني محمل بضغط داخلي الشكل (19-3، 10)) إذ تتعرض الدرزات اللحامية للغطاء والأسطوانة لإجهادات انحناء و قص ناجمة عن الضغط الداخلي. بينما في الشكل المحسن (19-3، 11)) تم تخليص الدرزة اللحامية من الحمولات، وذلك بإدخال الأسطوانة في الفلنشة، أما درزة الغطاء، فتم وضعها بين فلنشة الغطاء وفلنشة الأسطوانة.



الشكل (3-19): أشكال رفع المتانة باختيار التصميم المناسب.

في الشكل (19-3-12)) يتعرض الساعد (العمود) لتأثير قوة عرضانية p إذ تحاول القوة p تدوير العمود حول النقطة (0) مسببة بذلك إجهادات كبيرة تسبب خلع العمود من الجهة المعاكسة للنقطة (0)، وعدا ذلك فإن الدرزة تتعرض للقص، يمكن تحسين هذا التصميم، وذلك بإدخال العمود في القطعة الموصول معها، كما يوضح التصميم (13)، ولكن في هذه الحالة أيضا سيضعف المقطع العرضي الدائري للعمود بسبب اللحام، في الشكل (19-3-14)) المحسن تكون الإجهادات جميعها الناجمة عن القوة p مؤثرة في الأجزاء الكاملة من المعدن الأصلي للعمود.

- الجدار الملحوم في الشكل (19-3-15)) يتعرض للانحناء الناجم عن تأثير القوة p ، وهنا فإن إدخال عصب التقوية يجنب القطعة خطورة الانحناء، كما في الشكل (19-3-16)).

الوصلة التناكبية المعرضة لعزم الانعطاف شكل (19-3-17)) حيث يمكن تلافي تأثير هذا العزم باستعمال أقماط، كما يوضح الشكل (19-3-18)) الوصلة الزاوية رقم (19) على الشكل نفسه ليست متينة والأمتن أن يتم اللحام في مستويات سطوح الزاويتين، كما يوضح التصميم (20)، وفي حالة الحمولة الكبيرة يضاف إلى ذلك مثلثات تقوية، كما في التصميم (21) يتم لحام مثلثات التقوية ليس بالشكل التناكبي، كما في التصميم (22) وإنما بالشكل التراكبي، كما في تصميم (23) والأعصاب الملحومة يجب أن تلحم بحيث لا تعمل على الشد، كما يوضح التصميم (24)؛ بل يجب أن تعمل على الضغط، كما في التصميم (25) الذي يخلص الدرزات اللحامية من الحمولات.

- عند وصول الصفائح التي تخضع إلى قوى شد (p) وعزم انعطاف (M)، فإن إجراءات خاصة يجب أن تتخذ، وهذا ما تبينه التصميم من (26÷29) على الشكل نفسه. توضح هذه التصميم عند لحام الصفائح ذات المسافات الكبيرة، والسماكات القليلة، فإنه بالإضافة إلى اللحام على الإطار الخارجي، لابد من تنفيذ اللحام النقطي داخل المساحة الشكل (30)، وذلك منعا لتشوه الصفائح الناجم عن حرارة اللحام.

خطوط اللحام المائلة في الوصلات التراكبية تصميم (31) والخاضعة للشد تتعرض لحمولات إضافية على طول خط اللحام، كما هو مبين في التصميم. أما إذا تم تنفيذ

خطوط لحام مائلة ومتناظرة من الجانبين تصميم (32)، فإننا نتجنب بذلك خطورة هذه الحمولات، لأنها لا تتعرض للقص.

- على التصميم من (33÷36) للشكل نفسه مبين وصلات لحامية مكونة من المجاري، في الوصلة تصميم (33) تتعرض الأجزاء العلوية (M) للدرزات الشاقولية إلى إجهادات كبيرة ناجمة عن تأثير القوة P تحاول تمزيق الوصلة الناجمة عن تأثير القوة P. في التصميم (34) حيث تتجه جوانب المجازية للأسفل حيث تتلقى الدرزة الأفقية n ذات الامتداد الكبير كل القوى الناجمة عن تأثير القوة p.

في التصميم (35) تتلقى الدرزات الجانبية و الدرزة العرضانية (t) العزم الناجم عن القوة p، أما الشكل (36) فالوصلة فيه منفذة مع صفيحة تقوية وفي الأحوال جميعها يجب أن نتحاشى التحميل اللامركزي الذي يسبب انحناء للدرزة للحامية الذي ينجم عن قتل بعض أجزاء الوصلة بالنسبة إلى بعضها الآخر.

التصميم (37) حيث يخضع الخزان إلى ضغط داخلي يؤدي إلى انعطاف في الدرزة للحامية، ويتم تحاشيه بتنفيذ الوصلة حسب التصميم (38) التصميم (39) حيث يتم لحام الغطاء مع جسم الخزان، فإن الدرزة للحامية تتعرض أيضاً للانحناء، أما في التصميم (40)، فإننا نتحاشى ذلك؛ مما تقدم نصل إلى نتيجة أنه يجب تنفيذ خطوط اللحام في الأجزاء الأقل تعرضاً للإجهاد في الجوائز ذات المقاطع الصندوقية الشكل (41)، والتي تخضع لعزوم الانعطاف، فإنه من الأصح تنفيذ خطوط اللحام، كما في الشكل (42)؛ إذ تصبح خطوط اللحام في هذه الحالة قليلة التعرض للإجهادات.

- في الوصلات التي تخضع إلى إجهادات ديناميكية، يجب تحاشي تنفيذ درزات اللحام (خطوط اللحام) في أماكن تركز الإجهادات، كما في التصميم (43) في نقطة التقاء الأجزاء السمكية، والشكل المحسن للوصلة هو التصميم (44) إذا تعذر نقل درزة اللحام إلى خارج نقطة تركز الإجهادات، فمن الضروري تنفيذ درزات لحامية مقعرة الشكل (45)، وتعميق مجال المعدن المصهور (عمق الصهر) وذلك باستخدام قوس كهربائي قصير (الإلكترود قريب جداً من القطعة مع تغلغل له في المعدن المصهور).

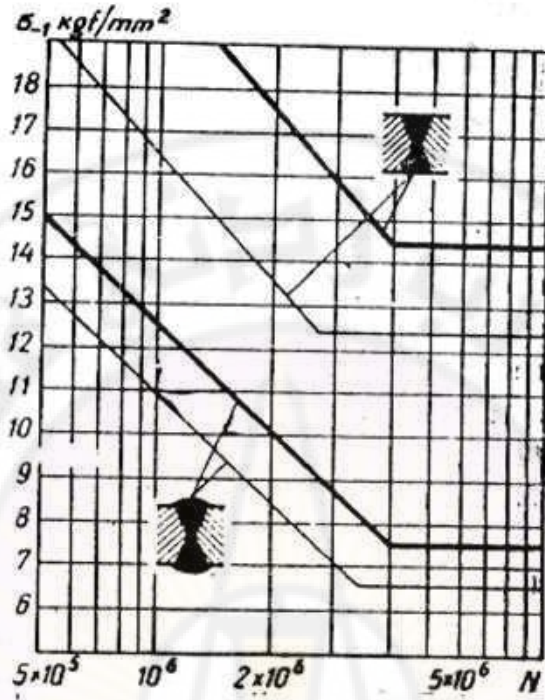
في الوصلات التي على شكل T من الضروري تنفيذ الدرزات للحامية من الجانبين الشكل (46 و 47) الوصلات التراكبية الشكل (48) يفضل استبدالها بوصلات تناكبية الشكل (49) إن أمكن ذلك.

في الوصلات التناكبية يجب تنفيذ الدرزات ما أمكن من الجانبين؛ لضمان التناظر في خطوط القوى على جانبي الوصلة الشكل (50 و 51) الوصلات الزاوية يجب تشغيلها (إذا كان ذلك مطلوباً) بانتقال متدرج من سطح الدرزة إلى سطح القطعة الملحومة، كما في الشكل (52) وعند لحام الوصلات التناكبية تصميم (53) يجب إزالة المعدن الزائد عن سماكة القطع الملحومة من الجانبين إذا كان ذلك مطلوباً وأن يؤخذ بالحسبان ترك سماكة للتشغيل مقدارها C في سماكة القطع الملحومة.

- يوضح الشكل (4-19) منحنيات حد الصمود للوصلات للحامية التناكبية (المنحنيات السفلية)، حيث يبين الخط الرفيع حد الصمود لهذه الوصلات دون معالجة حرارية، أما الخط السميك يبين حد الصمود لهذه الوصلات بعد المعالجة الحرارية. أما المنحنيات العلوية من الشكل نفسه، فهي عبارة عن حد الصمود للوصلات للحامية نفسها بعد إزالة التقوية لهذه الوصلات (الخط الرفيع يعني حد الصمود للوصلة دون معالجة حرارية، والخط السميك هو حد الصمود للوصلة بعد المعالجة الحرارية). وتمت المعالجة الحرارية بالتسخين لدرجة الحرارة 670°C ، وذلك بعد إزالة الإجهادات المتبقية عن عملية اللحام، حيث يبين الشكل أن هذه المعالجة الحرارية قد زادت من حد الصمود للوصلات للحامية بمقدار $(15 \div 20\%)$.

ومن المعروف أن الصهر التدريجي للحام بالإلكترود من التتغستين وفي وسط من غاز الأرجون يرفع قيم حد الصمود للوصلة للحامية بنسبة $(30 \div 40\%)$

- التثوية الذي يحصل على البارد (الصقل بالدوران. الصفع بالخرندق أو بالتطريق بواسطة أدوات تعمل على الهواء المضغوط) يجعل من الممكن رفع حد الصمود للوصلات للحامية.



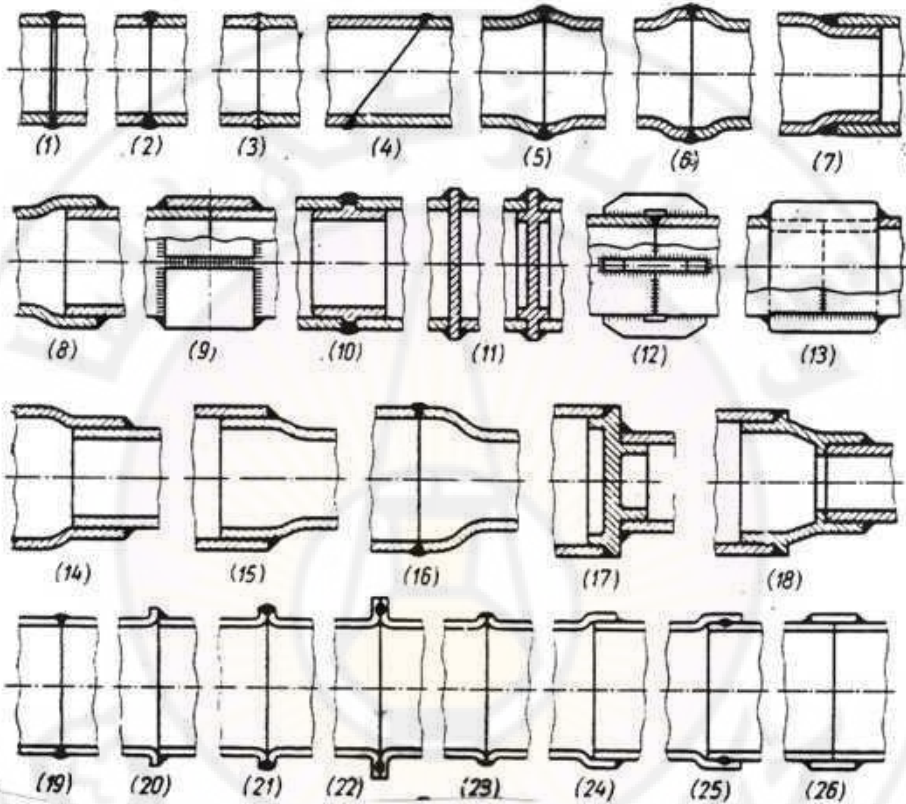
الشكل (19-4): حد الصمود للوصلات اللحامية التناكبية.

• لحام الأنابيب:

يتم لحام الأنابيب ذات الأقطار المتشابهة عادة بواسطة اللحام التناكبي بدون أي تجهيز مسبق لأطراف الأنابيب قبل اللحام الشكل 19-5 (1) أو بأطراف مشنفرة مسبقاً عندما تكون جدران الأنابيب سميكة تصميم الشكل 19-5 (2).
- تتميز الوصلة المنفذة باللحام بالمقاومة التناكبي بمتانتها العالية تصميم (3) ولكن من الصعب من جهة ثانية تنفيذها في موقع العمل.
وتكون الوصلة المائلة تصميم (4) عادة سيئة من الناحية التقنية، كما أنها لا ترفع متانة الوصلة.

- تمدد النهايات التآكبية للأنابيب عادة بشكل توسيع متدرج، كما في (5) أو بتوسيع وتضييق مخروطين، كما في (6) وذلك لرفع مقاومة الأنبوب للانحناء.
- يمكن الحصول والوصول وللغاية نفسها أيضاً بضغط أحد الأنبوبين في الآخر، كما هو مبين في 7 و 8، ويفضل التصميم الثاني (8)، لأنه من الأسهل تمديد (توسيع) الأنبوب من تضييقه وحشره في الأنبوب الآخر.
- يوضح التصميم (9) وصلة مدعمة بحلقة خارجية.
- إن التدعيم بواسطة جلب داخلية تصميم (10) يسبب انخفاض القطر الداخلي الفاعل للأنبوب؛ وبالتالي فإن هذه الطريقة غير مستحبة بالنسبة لخطوط الأنابيب. ولكنها مع ذلك تستعمل للإنشاءات المحملة؛ إذ تصبح الوصلات قوية وصلبة، والفاصلة ضرورية تصميم (11).
- وتدعيم الوصلات بواسطة الأعصاب تصميم (12)، ولكن يشوه المنظر الخارجي للأنبوب، وهو كذلك أقل متانة من بقية الوصلات.
- وصلات الأعصاب المقطوعة تصميم (13) أمتن، ولكنها أكثر تعقيداً في التصنيع.
- توضح التصاميم (14، 15، 16) بعض الطرق لتوصيل أنابيب ذات أقطار مختلفة، عندما يكون الفرق بين الأقطار محدوداً.
- أما عندما تكون الفروقات في الأقطار المتوسطة تصميم (17)، حيث تستعمل المولجات، ويمكن أن تكون هذه المولجات المترتبة مخروطية تصميم (18) عالية الجساءة، وتمكن من توصيل أنبوبين بقطرين مختلفي القطر بمقدار كبير.
- تلحم الأنابيب ذات الجدران الرقيقة باللحام التآكبي تصميم (19)، ويفضل تنفيذه بواسطة اللحام الغازي مع ثني إحدى النهايتين تصميم (20) أو النهايتين معاً تصميم (21)، وأيضاً بواسطة اللحام بالمقاومة بدرزات مستمرة تصميم (22).
- إذا كانت أقطار الأنابيب وأطوالها تسمح باستعمال الإلكترود يتم تنفيذ درزة اللحام للنهايات المثبتة تصميم (23).
- يمكن تدعيم الوصلات عن طريق التمديد لإحدى طرفي الأنابيب تصميم (26).
- وصلات التصاميم (24، 25) أو عن طريق الجلب تصميم (26).

- وصلات التصاميم (24-26) وصلات ممرزة أما بقية الوصلات، فيجب مركزتها في أثناء اللحام.



الشكل (5-19): الوصلات اللحامية للأنابيب.

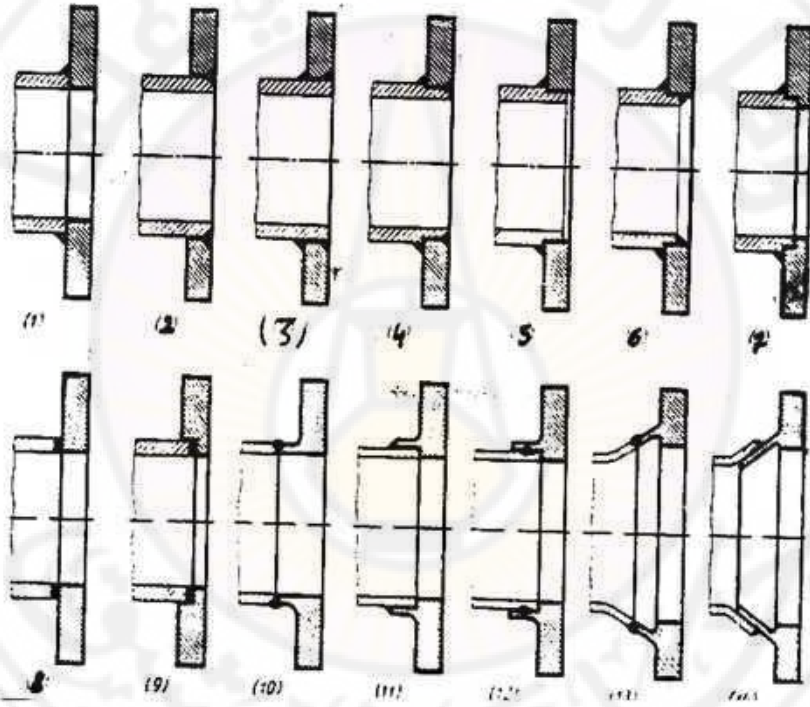
• لحام الشقف (الفلنشات):

يبين الشكل (6-19) أهم طرق لحام الفلنشات مع الأنابيب.

يبين الشكل (1) 6-19 أن الفلنشة غير مثبتة قطرياً مع الأنبوب.

- أما بالنسبة إلى التصميمين الشكل (2 و 3)، فالفلنشة غير مثبتة محورياً.

- عند تثبيت الأنبوب المعد للحام على حامل، وترك خلوص كبير (أي عدم تثبيته جيداً) فالفلنشة قد تتعرض للانزياح (الانحراف) في أثناء عملية اللحام؛ فضلاً عن ذلك، ففي حالات كهذه قد يسقط جزء من قطرات اللحام مع سطح الشفة، ويسبب تشوهه.
- التصميم رقم (4) مثبت قطرياً ومحورياً معاً بواسطة الخطوة الآلية. كما تم التأكد من عدم انزياحها بتثبيتها بشكل دقيق نسبة لخطوة الوجه السفلي للفلنشة.



الشكل (6-19): لحام الفلنشات مع الأنابيب.

- التصميمات (5، 6، 7) توضح وصلات غير ملحومة من الوجه السفلي للفلنشة.
- يعدّ اللحام الكهربائي بالمقاومة التصميم (8، 9) من أبسط وأعلى الطرق إنتاجية.
- توضح التصميمات (10، 11، 12، 13، 14) طرائق لحام الفلنشات على الأنابيب رقيقة الجدران.

- يعدّ التصميم (11) أفضل من (10) بسبب تثبيت الفلنشة قطرياً ومحورياً معاً.
- ويستعمل لحام الدرزات المستمر تصميم (12) عندما يسمح قطر الأنبوب بدخول الإلكترود الدائري داخله.
- التصاميم (13، 14) توضح طرق لحام الأنابيب مع الفلنشات ذات الأقطار الكبيرة بواسطة فتحة مخروطية الشكل.



المصطلحات العلمية

A

Abrasion	مقاومة التآكل
Abrasive	ورقة سمبازج
Abrasive wheel	عجلة تجليخ
Absorbption of radiation	امتصاص الإشعاع
Acetylene cutting	قطع بالأسيتلين
Acetylene welding	لحام بالأسيتلين
Acidic	حامضي، حمضي
Acid proof steel	فولاذ مقاوم للحمض
Acoustic frequency	تردد صوتي
Acoustic radiator	مرسل الأمواج الصوتية
Acoustic velocity	السرعة الصوتية
Acoustic wave	موجة صوتية
Activation energy	الطاقة النشطة
Adjustment knob	زر الضبط
Admiralty brass	النحاس الأصفر المقوى 70% نحاس، 29% زنك، 1% قصدير
Admissable	مقبول، مسموح به
Admix	مزج، خلط
Adnic	سبيكة من النحاس والنيكل والقصدير
Aerate	عَرْض للهواء، مَزَج بالهواء والغاز
Aflame	ملتهب، مشتعل

Air cooling	تبريد بالهواء
Air discharge	تفريغ بالهواء
Air pump	مفرغة هوائية، مضخة هوائية
Alkaline	قلوي
Alloy cast – iron	فونت سبائكي
Alloy steel	فولاذ سبائكي
All – welded structure	إنشاء ملحوم بأكمله
Alternating current	تيار متناوب
Aluminum alloys	سبائك ألومنيوم
Aluminum brass	نحاس أصفر مقوى بالألومنيوم
Aluminum bronze	سبيكة من البرونز والألمنيوم
Aluminothermic welding	لحام الترميت
Aluminum welding	لحام بالألومنيوم
Ammonia	غاز النشادر، أمونيا
Amplifier	مضخم _ صمام التقوية أو التضخيم
Amplitude of vibration	سعة الاهتزاز
Angle steel	فولاذ زاوي
Angular speed	سرعة زاوية
Anisotropic	متباين الخواص
Annealed steel	فولاذ ملدن
Anode drop	هبوط الجهد الأنودي (في أنبوب تفريغ غازي)
Anti – oxidation	ضد التأكسد
Anti - rust	مقاوم للصدأ
Arc discharge	تفريغ قوسي

Arc ignition	إشعال القوس
Arc shield	حجاب القوس
Arc welding	لحام قوسي
Atomic-hydrogen welding	لحام بالهيدروجين الذري
Automatic arc welding	لحام قوسي آلي
Axial stress	إجهاد محوري
Added metal	معادن مضاف
All – weld metal	معادن اللحام الصرف
Anode	مصعد
Arc - cutting	القطع بالقوس الكهربائي
Argon	غاز الأرجون
As-welded	كما أجرى لحامه
Axially loaded members	العناصر المحملة محورياً
Allowable stress	الإجهاد المسموح به
Axial tension	الشّد المحوري

B

Bare electrode welding	اللحام بالإلكترود
Base metal	معادن الأساس
Basic slag	خبث قاعدي
Beam of rays	حزمة من الأشعة
Bevel angle	زاوية الشطف ، زاوية الشنفرة
Bevel edge	حافة مشطوبة أو مشنفرة

Blacksmith welding	لحام التطريق اليدوي
Blower forge	كبير الحدادة
Blowhole	فجوة غازية
Blow lamp	موقد لحام
Bulge	بروز ، نتوء ، انتفاخ
Bump joint	وصلة تراكبية
Burnishing	صقل تلميع
Burst welding	اللحام بالانفجار
Bursting charge	حشوة الانفجار
Butt joint	وصلة تناكبية
Butt welded tubes	أنابيب ملحومة تناكبياً
Breaking load	حمل الانهيار
Breaking stress	إجهاد الانهيار
Breaking test	اختبار الانهيار
Brinell hardness	اختبار برنيل للصلادة
Brittleness	قصيف ، هش
Bare electrode	إلكترود عار
Butt seam welding	لحام تدريزي تقابلي
But weld	لحام الإملاء (التعبئة)

C

Carbon arc welding	اللاحام بقوس كربوني
Carbon acid gas	ثاني أكسيد الكربون
Carbon monoxide	أول أكسيد الكربون
Carburizing flame	لهب مكرين
Cast-iron	فونت
Caulking weld	لاحام لسد الشقوق
Chilled steel	فولاذ مقسّى بالتبريد السريع
Cleft weld	لحمة مغلقة
Cleave	شق ، تصدع
Closed joint	وصلة مغلقة
Coated electrode	إلكترود مغلف
Coefficient of permeability	معامل النفاذية (الانتشار)
Cold draw	سحب على البارد
Cold pressing	تشكيل بالكبس على البارد
Cold rolled	مدلق على البارد
Cold welding	اللاحام على البارد
Conduction	التوصيل الحراري
Continuous current arc	قوس يشتعل بالتيار المستمر
Corner joint	وصلة ركنية
Control gear	جهاز تحكم
Cutting flame	شعلة قطع
Carbon steel	فولاذ كربوني
Characteristics	خصائص
Charpy impact test	اختبار (شاربي)
Chemical composition	تركيب كيميائي
Cool time	زمن التبريد
Corrosion	تآكل
Crack	شرخ
Crystalline structure	بنية بلورية
Cathode	مهبط
Cast iron	حديد الزهر
Chrome steel	فولاذ كرومي
Centering loading	تحميل مركزي

Compression stress
Connections

إجهاد الضغط
وصلات

D

Deflecting arc	قوس كهربائي منحرف
Degree of ionization	درجة التأين
Deformation	تشوه ، انفعال
Demagnetization	إزالة المغنطة
Density	كثافة
Deoxidized copper	نحاس مختزل
Diffusivity	الانتشارية ، النفاذية
Diatomic gas	غاز ثنائي الذرة
Die welding	اللحام بالقوالب
Direct current	تيار مستمر
Direct polarity	قطبية مباشرة
Disk electrode	إلكترود قرصي
Dissociation	تفكك
Double – bevel groove	حز مزدوج الشنفرة
Double – cover butt joint	وصلة تناكبية مزدوجة التغليف
Defect	عيب
Density	كثافة
Diamond	حساس (الألماس)
Duty cycle	دورة تشغيل

E

Edge distance	البعد بين الحواف
Electrode – feed motor	محرك كهربائي لتغذية الإلكترود
Electrode holder	ماسك الإلكترود
Electrode lead	كبل إلكترود اللحام
Electrode potential	جهد الإلكترود
Electrode reel	بكرة سلك اللحام

Electrolytic bath	حمام إلكتروليتي
Electrolytic copper	نحاس إلكتروليتي
Electron beam	حزمة إلكترونية
Electron emission	انبعاث إلكتروني
Electron transition	انتقال الإلكترون
Electro-slag welding	اللحام الكهربائي الخبثي
Embossment	نتوء ، بروز
Entrapment	انحباس ، انحصار
Etching	تخريش ، تنميش
Exothermic reaction	تفاعل أكزوثيرمي
Electrode reel	بكرة الإلكترود
Elongation	استطالة
Extrusion	بثق
Elasticity	مرونة
Elastic limit	حد المرونة
Elastic stress	إجهاد مرن
Element	عنصر

F

Face shield	واقية للوجه
Fatigue	تعب ، كلل
Faying surfaces	سطحان متاخمان لبعضهما
Ferrous metals	معادن حديدية
Fibre asbestos	أسبستوس ليفي
Field current	تيار المجال ، تيار التحريض
Field distortion	تشوه المجال المغناطيسي
File	ميرد
Filling metal	معادن الحشو (معادن الملاء)
Filling rod	سلك الملاء (سلك المعدن المضاف)
Filling weld	لحمة زاوية
Fire	نار لهب
Fire welding	لحام التطريق على الساخن

Fit allowance	تسامح التوافق
Fixed load	حمل ثابت
Flame cutting	قطع باللهب
Flame welding	لحام باللهب
Flange butt joint	وصلة تناكبية مشفهة
Flash	وميض، بريق
Flash – butt welding	لحام تناكبي وميض (اللحام التناكبي بالصهر)
Flash welding	لحام وميض (لحام بالصهر)
Flat welding	لحام مسطح
Flexibility	قابلية الانثناء ، اللدونة
Flexible connection	وصلة مرنة
Flow welding	لحام التدفق
Fluid density	كثافة السائل
Flux	مساعد صهر
Forge welding	لحام التطريق
Forged steel	فولاذ مطروق
Forge rolls	دلافين التشكيل
Forging rolls	لحام بالحرارة والتطريق
Fracture	كسر صدع
Fragile	هش ، سهل الانكسار
Free-cutting	سهل القطع ، سهل التشكيل
Frequency control	ضبط التردد
Full penetration	تغلغل تام
Fusion penetration	عمق تغلغل الصهر
Fusing factor	معامل الصهر
Fusing point	نقطة الانصهار
Fusion welding	لحام الصهر
Face – hardening	تصلد سطحي
Fluid	مانع
Fluidity	انسيابية
Fusion	انصهار
Fusion zone	منطقة الانصهار

G

Galvanizing	غلغنة ، طلاء بالزنك
Galvanometer	غلغانومتر ، مقيس للكشف عن التيار الكهربائي
Gamma iron	حديد غاما
Gas gap	فجوة غازية
Gas cutting	القطع بالغاز
Gaseous mixture	خليط غازي
Gas welding	اللحام الغازي
Gauge	مقياس قدود ، محدد قياس
Gauge hole	محدد قياس الثقوب
Gauge wire	محدد قياس قطر الأسلاك
Gloves	قفازات
Gradient	تدرج
Grain growth	نمو الحبيبات
Grain structure	بنية حبيبية
Granular flux	فلاكس حبيبي
Gray iron	فونت رمادي
Groove	أخدود ، ثلم ، حز
Groove weld	لحام حزّي
Gamma radiation	إشعاع غاما
Gangue	شوائب
Gas porosity	مسامية غازية
Glass	زجاج
Grinding	تجليخ
Grounding	توصيل بالأرض

H

Half-round iron	حديد نصف مبروم
Hammer welding	لحام التطريق الآلي
Hardness number	رقم الصلادة
Hard steel	فولاذ قاس (صلد)

Heat-affected zone	منطقة التأثير الحراري
Heat of fusion	حرارة الانصهار
Heat resisting steel	فولاذ صامد للحرارة
Heat tinting	تأكسد المعدن بفعل الحرارة
Heat transfer	انتقال الحرارة
Heat treatment	معالجة حرارية
Heavily-coated electrode	إلكترود سميك التغليف
Heli-arc welding	لحام القوس في غاز خامل
Hidden arc welding	لحام القوس المخفي
High carbon steel	فولاذ عالي نسبة الكربون
High-quality weld	لحمة عالية الجودة
Holder	ماسك
Homogeneity	تجانس
Hose nozzle	فوهة الخرطوم
Hot working	التشكيل على الساخن
Haematite	أكسيد الحديد الأحمر (Fe_2O_3)
Hair line cracks	شروخ شعرية
Hard	صلد
Hardness	صلادة
High-tension steel	فولاذ عالي مقاومة الشد
Hydraulic pressure	ضغط هيدروليكي

I

Ignition circuit	دائرة استقبال
Ignition powder	مسحوق إشعال (في اللحام الإلثرميئي)
Ignition promoter	مسارع الاشتعال
Ignition velocity	سرعة الاشتعال
Impact stress	إجهاد الصدم
Inclusions	شوائب محبوسة داخل المعدن (شوائب دخيلة)
Indentation	ثلم، فريضة
Induction heating	التسخين بالتيارات الحثية
Induction welding	لحام الحث الكهربائي

Inert – gas arc – welding	لحام القوس في وسط من الغاز الخامل
Inert oxide	أكسيد متعادل
Initiating switch	مفتاح البدء
Interchangeability	التبادلية
Interrupted - spot	لحام نقطة متقطع
Intensity of stress	شدة الإجهاد
Interchange of heat	تبادل الحرارة
Intermittent current	تيار متقطع
Intermolecular attraction energy	قوة التجاذب بين الجزيئات
Invisible	غير مرئي
Impact energy	طاقة التصادم
Impact test	اختبار الصدم
Infrared	أشعة تحت الحمراء
Inspection	فحص - معاينة
Internal stresses	إجهادات داخلية
Ion bond	رابطة أيونية
Ion crystal	بلورة أيونية
Iron	حديد
Ionization energy	طاقة التأين

J

Jig	دليل تشغيل
Jog button	زر متابعة
Jumping up = upsetting	الفلطحة بالطرق على الساخن
Jump joint = butt joint	وصلة تناكبية
Jump weld = butt weld	لحام تناكبي بالطرق
Jig erring	حركة ترددية
Joint	وصلة - عقدة
Jut (out)	نتوء ، بروز

K

Killed steel	فولاذ مخمد (فولاذ مختزل كلياً قبل الصب)
Kinding	إيقاد
Knife switch	مفتاح سكينى
Kish	غرافيت جامد (يطلق على سطح خام الحديد المصهور الغنى بالكربون)
Knuckle joint	وصلة مفصليّة
Krypton	غاز الكريبتون

L

Labile	متغير ، غير مستقر
Lap joint	وصلة تراكبية
Lap seam welding	لحام تراكبي
Latent heat of fusion	حرارة الانصهار الكامنة
Left hand welding	اللحام إلى اليسار
Lightly - coated electrode	إلكترود رقيق التغليف
Liquidus	خط السيولة (في مخططات التوازن)
Load capacity	سعة التحميل
Looked – up stress	إجهاد متخلف (متبقي)
Low - carbon steel	فولاذ منخفض الكربون
Lanneilarl	رقائقي – صفانحي
Limit of elasticity	حد المرونة
Lim	جير (cao)
Liquid state	الحالة السائلة
Low – alloy steel	فولاذ منخفض السبائكية
Luminescence	إشعاع ضوئي
Luster	لمعان بريق
Loads	أحمال
Low voltage	جهد منخفض

M

Magnetic alloy	سبيكة مغناطيسية
Magnetic blow	نفخ مغناطيسي
Magnetic flux	فيض مغناطيسي
Magnetic permeability	النفاذية المغناطيسية
Malleable iron	حديد مطروق
Malleabilising	تلدن
Mash welding	لحام بالهرس
Mechanized welding	لحام آلي
Medium – coater electrode	إلكترود متوسط التغليف
Medium carbon steel	فولاذ متوسط الكربون
Medium pressure torch	مشعل لحام متوسط الضغط
Metal - arc welding	لحام بالقوس المعدني
Mild - steel	فولاذ طري
Milling	تفريز
Mitre fillet welding	لحمة زاوية مسطحة الوجه
Mold	قالب صب
Molecular hydrogen	هيدروجين جزيئي
Multi - flame	متعدد اللهب
Maintenance	صيانة
Mechanical properties	الخواص الميكانيكية
Mechanism	آلية
Material science	علم المواد
Melting point	نقطة الانصهار
Mechanical working	تشكيل ميكانيكي
Metallo graphy	علم دراسة وفحص المواد
Metallo graphic examination	فحص ميكروسكوبي
Multiple spot welding	لحام البقع المتعدد

N

Naval brass	النحاس الأصفر البحري (يحتوي على جزء بالمائة من القصدير)
Negative lap	تراكب سلبي
Neon	غاز النيون
Neutral flame	لهب متعادل (في لحام الأكسجين و الأستيلين)
Nitrogen case - hardening	تصليد الفولاذ بالنترة (تأثير منترد)
Nitrogening electrode	إلكترود غير مستنفذ
None ferrous metal	معدن غير حديدي
None-harden-able metal	معدن لا يتصلد
Nonmetals	اللامعادن
Normalizing	معالجة حرارية التنسيق
Notch	ثلم ، حز
Nozzle	فوهة
Nikel – chrome steel	فولاذ نيكلي كرومي
Nitriding	نترة
Nitrogen – case - hardening	تصليد سطحي بالنترة
None – destructive(test)	الفحص بالطرق غير الإتلافية
Normal stresses	إجهادات عمودية
Nugget	عقدة لحامية

O

Oblique joint	وصلة مائلة
Open – joint	وصلة مفتوحة
Operating procedure	خطوات التشغيل
Oscillating current	تيار عالي الذبذبة
Oscillator	مولد الذبذبة
Oscillograph	أوسيلوغراف (راسم الذبذات)
Output factor	عامل خارجي

Over current	تجاوز حد التيار
Overhead position	وضع سقفي (أثناء اللحام)
Over heating	تجاوز حد التسخين
Over lap joint	وصلة تراكبية
Overloaded	محمل فوق المعدل
Oxidizing flame	لهب مؤكسد
Oxidizing slag	خبث مؤكسد
Oxy-acetylene blowpipe	حمالات الأكسجين و الأسيتيلين
Oxy-acetylene cutting	قطع المعادن ب لهب الأكسجين و الأسيتيلين
Oxy-acetylene flame	لهب الأكسجين و الأسيتيلين
Oxy-acetylene torch	مشعل الأكسجين و الأسيتيلين
Oxy-acetylene welding	اللحام بالأكسجين و الأسيتيلين
Oxy-arc cutting	القطع بالقوس الكهربائي مع الأكسجين
Oxidation	أكسدة
Order	نظام
Oil hardening	تصليد في الزيت
Oxy-hydrogen welding	اللحام بالهيدروجين و الأكسجين

P

Parallel – arc welding	اللحام بقوسين على التوازي
Parent metal	معادن الأساس
path	مسار
Penetration	تغلغل
Percussive welding	لحام صدمي (بالمقاومة)
Phase change	تغير الطور
Plastic deformation	انفعال لدن
Pleug weld	لحمة سداسية
Polarity	القطبية
Polyphase motor	محرك كهربائي متعدد الأطوار
Porosity	مسامية
Post heat time	زمن التسخين اللاحق

Post heat treatment	المعالجة الحرارية اللاحقة
Post weld interval	فترة اللحام اللاحق
Powdered metal	معادن مسحوق
Preheat time	زمن التسخين المسبق
Press-type welding machine	ماكينة اللحام بالكبس
Pressure-gas welding	اللحام بالغاز و الكبس
Pressure welding	اللحام بالضغط
Projection welding	لحام البروز
Protrusion	نفوذ ، بروز
Pulsation welding	اللحام النبضي
Purging	تنظيف ، تطهير
Permissible stress	إجهاد مسموح به
Plate	صفحة
Period	دورة
Permeability	النفاذية
Photon	فوتون
Pitting	نقر_تنقر
Plating	طلاء
Plastic deformation	تشوه لدن
Putty	معجون

Q

Quantity of heat	كمية الحرارة
Quench	التبريد بسرعة (في سقاية الفولاذ)
Quenched steel	فولاذ مقسى
Quenching through	حوض السقاية
Quality	جودة (نوعية)
Quality control	مراقبة الجودة
Quantitative	كمي
Quick-burning composition	مركب سريع الاحتراق

R

Radiation	إشعاع
Radiant-arc furnace	فرن قوسي إشعاعي
Reducing flame	لهب مختزل
Regulator	منظم
Refractory material	مادة صلبة الحرارة
Reheating	إعادة التسخين
Residual stresses	إجهادات متبقية
Resistance butt welding	لحام تناكبي بالمقاومة
Resistor	مقاومة
Retraction	انكماش ، تقلص
Reverse polarity	قطبية معكوسة
Rheostat	مقاومة كهربائية متغيرة
Rightward welding	اللحام إلى اليمين
Rivel – oxygen cutting	قطع مسامير البرشام بالأكسجين
Roller – spot welding	لحام النقطة المتجاورة
Roll – spot welding	اللحام النقطة المتقطع
Root	جذر
Root crack	تشقق جذري
Root penetration	التغلغل الجذري
Run	سلك لحام
Rust	صدأ
Rust – resisting	مقاوم للصدأ
Radiation damage	أضرار الإشعاع
Radiographic examination	فحص الأشعة
Re-crystallization	إعادة التبلور
Rockwell hardening test	اختبار روكويل للصلادة
Rontegen rays	أشعة (روتجن)
Rolling	دلفنة
Rupture stress	إجهاد الكسر
Rut	مجرى ، قناة ، أخدود

S

seabs	نتوءات
Searfing	القشط باللهب
Scarf weld	لحمة تلحيف
Seam welding	اللحام التدريزي
Semi automatic	نصف آلي
Semi coated electrode	إلكترود نصف مغلف
Semi-killed steel	فولاذ نصف مغلف
Series spot welding	لحام النقطة على التوالي
Sheating of wire	تغليف السلك
Shielded arc welding	اللحام بالقوس المحجب
Silent-arc welding	اللحام بالقوس الصامت
Single level	شنفرة أحادية (من طرف واحد)
Single-spot welding	لحام النقطة الواحدة
Slag inclusion	دقائق خبثية محبوسة داخل المعدن
Smothered arc welding	اللحام بالقوس المكتوم
Solidus	خط التجمد (في مخططات التوازن)
Spot welding	اللحام النقطي
Square corner joint	وصلة ركنية مربعة
Stagger welds	لحامات متناوبة
Starting thermit	ثيرميت البدء
Straight -line welding	لحام الخط المستقيم
Stress relieving	التخلص من الإجهادات
Striking the arc	قدح القوس
Stub (of electrode)	عقب الإلكترود
Submerged arc welding	اللحام بالقوس المغمور
Suction feeding	التغذية بالسحب
Surface defect	عيب سطحي
Surfacing	تكسية سطحية
Shear stress	إجهاد القص
Shear streangth	مقاومة القص
Safety factor	عامل الأمان
Sample	عينة اختبار

Shortness
Shrinkage
Slag
Synchronizing

تقصف
تقلص
خبث
التزامن

T

Tack welding
Tee joint
Tee – type joint
Temper time
Temperature distribution
Tempering
Tensile strength
Thermal conductivity
Thermit fusion welding
Thermostat
Timer
Tolerance
Torch spot welding
Transverse- seam welding
Twin-carbon arc welding
Tensile stress
Tensile test
Tensile testing machine
Torsion
Toughness
Transducer
Two-phase

لحام التتقيط
وصلة تعامدية
وصلة شكل T
زمن الإرجاع
توزيع الحرارة
المراجعة
مقاومة الشد
الموصلية الحرارية
لحام الترميت بالصهر
منظم حراري
جهاز توقيت
تفاوت او تسامح
لحام النقطة بالمشعل
لحام تدريز عرضي
اللحام بالقوس الكربوني المزدوج
إجهاد الشد
اختبار الشد
آلة اختبار الشد
التواء (لي)
متانة
محول الطاقة
ثنائي الطور

U

Ultimate strength	المتانة القصوى (الإجهاد الاعظمي)
Underwater cutting	القطع تحت الماء
Unshielded arc welding	اللحام بالقوس غير المحجب
Unstable	غير متوازن ، غير مستقر
Upset	فلطحة
Ultrasonic	فوق سمعي (صوتي)
Ultraviolet radiation(uv)	أشعة فوق بنفسجية
Universal beam	جائز قياسي
Universal column	عمود قياسي
Unstiffened	غير مدعم
Upset welding	لحام الفلطة

V

Vee – joint	وصلة شكل V
Vertical welding	لحام شاقولي (رأسي)
Voids	فراغات
Voltage drop	هبوط الجهد
Ventilation	تهوية
Viscosity	اللزوجة
Vaporization	تبخر
Voltage recovery	استعادة الجهد

W

Water – cooling	التبريد بالماء
-----------------	----------------

Wave weld	لحام متموج
Wavering of arc	تردد القوس
Wearing depth	عمق التآكل
Weld	لحم ، لحام ، وصلة ملحومة
Weldability	قابلية اللحام
Welded pipe	أنبوب ملحوم
Welder	عامل اللحام
Welding apparatus	جهاز لحام
Welding current	تيار اللحام
Welding electrode	إلكترود اللحام
Welding leads	موصلات تيار اللحام
Welding goggles	نظارات (عامل اللحام)
Welding machine	مكنة لحام
Welding mask	قناع (عامل اللحام)
Welding powder	مسحوق لحام
Welding press	مكبس لحام
Welding regulator	منظم تيار اللحام
Welding rod	قضيب لحام
Welding seam	درزة لحام
Welding set	جهاز لحام (بالقوس الكهربائي)
Welding shop	ورشة لحام
Welding test	اختبار الالتحامية
Welding thermit	ترميت اللحام
Welding tongs	ملقط اللحام
Welding transformer	محول تيار اللحام
Welding wire	سلك اللحام
Weldment	مجموعة ملحومة
Weld length	طول اللحام
Weld pitch	خطوة اللحام
Wave length ()	طول موجي
White cast iron	حديد زهر أبيض
Weldor = welder	عامل اللحام

X

Xenon

غاز الأكزيونون

X-ray inspection

فحص بأشعة إكس

X-ray micrography

التصوير بالأشعة السينية

Y

Y-alloy

سبيكة أساسها الألمنيوم

Yield limit

حد الخضوع

Yield point

نقطة الخضوع

Yield stress

إجهاد الخضوع

Y-joint

وصلة متفرعة بشكل Y

Z

Zero voltage

انعدام الجهد

Zincify

طلاي بالزنك

Zone of oxidation

منطقة التأكسد

المراجع العلمية

- 1- تكنولوجيا إنتاج المصبوبات: ت. د. تيتوف. ي. آ. ستيفانوف. "ماشينوستراينية" موسكو. 1974.
- 2- سباكة المعادن، د. سلمان السعيني، منشورات جامعة حلب 1992 م.
- 3- تكنولوجيا المعادن: أ. ماليشيف، ج. نيكولايف، ي. شوفالوف، دار "مير" للطباعة والنشر موسكو.
- 4- المدخل إلى هندسة الإنتاج: أحمد سالم الصباغ، عالم الكتب القاهرة، 1985.
- 5- القواعد الأساسية في إنتاج وتصميم المسبوكات، كلارس ميرك، ترجمة محمد زكي منير، مكتبة النهضة المصرية، 1975.
- 6- تشكيل المعادن بدون قطع: بيتراك، ترجمة حسن محمود إسماعيل ومحمد عبد المجيد نصار، 1980.
- 7- السباكة (مجلة الجمعية المصرية لسباكة المعادن) العدد 10 عام 1985.
- 8- الميتالورجيا العامة: ب. كوزمين وآخرون، دار "مير" للطباعة والنشر، موسكو، 1971.
- 9- سباكة المعادن في النظرية والتطبيق: د. فؤاد عازر. د. مازن يعقوب، منشورات جامعة دمشق 1997.
- 10- السباكة الدقيقة: أ.ج. كليغ، أوكسفورد، 1994.
- 11- تكنولوجيا المعادن: أن. كلاديلين، براغ، 1955.
- 12- السباكة (III): بريبييل، براغ، 1969.

- 13- طرائق التصنيع (2) (سباكة المعادن): د. فؤاد عازر. د. عصام موسى، منشورات جامعة دمشق 2004.
- 14- طرائق التصنيع (2) (سباكة المعادن + لحام المعادن): د. عصام موسى . د. مازن يعقوب، منشورات جامعة دمشق .
- 15- طرائق التصنيع (3) (لحام المعادن): د. محمد علي سلامة - د. عصام موسى، منشورات جامعة دمشق 2006.
- 16- باتون ب.إ. وآخرون تقانة لحام المعادن بالقوس الكهربائي _ موسكو، دار نشر بناء الآلات 1974.
- 17- ريجكوف ن.إ _ إنتاج الإنشاءات الملحومة في بناء الآلات الثقيلة. موسكو، دار نشر بناء الآلات 1980.
- 18- فيناكوروف ب.أ _ اللحام في بناء الآلات الجزء الثالث _ موسكو دار نشر بناء الآلات 1979.
- 19- نيكلايف. غ.أ _ طرائق اللحام الخاصة موسكو _ دار نشر بناء الآلات.
- 20- الدكتور محمد علي سلامة _ هندسة الإنتاج 3 جامعة دمشق 1990.
- 21- ريباكوف. ف _ اللحام بالقوس الكهربائي وبالغاز دار نشر (مير)، موسكو 1986.
- 22- المهندس محمد عبد المجيد حسين _ تكنولوجيا اللحام الكهربائي، جمهورية مصر العربية _ دار الكتب العلمية 2001.
- 23- المهندس نصوح الخياط، مبادئ علم اللحام وتطبيقاته جامعة دمشق 1984.
- 24- قسطنطين موخانوف _ الإنشاءات المعدنية ترجمة الدكتور داود سليمان المنير دار نشر (مير) موسكو 1973.

- 25- زورين يون دليل اللحام، ترجمة الدكتور إيطانيوس بشور _ سلسلة الدراسات في مؤسسة الإسكان العسكرية 1988.
- 26- الدكتور السغبيني والدكتور محمد علي سلامة _ لحام المعادن جامعة حلب 1991.
- 27- الدكتور محمد عز الدهشان و آخرون _ معجم المصطلحات العلمية لعلوم هندسة المواد _ جامعة الملك سعود 1989.
- 28- المهندس عماد درويش _ حساب الوصلات في المنشآت المعدنية _ دار نشر دمشق 1994.
- 29- المواصفة العالمية لترميز اللحامات - International – Standard ISO – 2553 – 1974.
- 30- باتون ب.إ _ اللحام الكهربائي الخبثي والتعبئة _ موسكو دار نشر بناء الآلات 1980.
- 31- المهندس سعد كيلو "دليل المهندس في الرسم الصناعي لعناصر الآلات" طباعة وتوزيع م. سعد كيلو عام 1990.

اللجنة العلمية :

- 1- الأستاذ الدكتور غسان حداد
- 2- الأستاذ الدكتور عبد الله مجيد
- 3- الأستاذ الدكتور محمود بني المرجه

المدقق اللغوي :

الأستاذ الدكتور : فخري بوش

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات