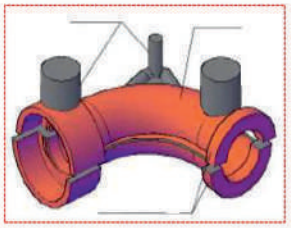
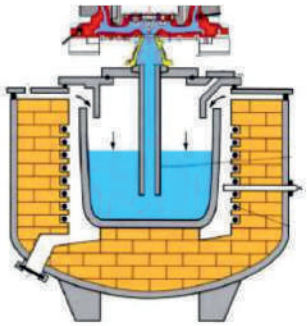
جمهورية العراق
وزارة التربية
المديرية العامة للتعليم المهني



العلوم الصناعية

الصناعي / تكنولوجيا السباكة

الثالث



رقم الايداع في دار الكتب والوثائق ببغداد (4660) لسنة 2021 م

(استناداً إلى القانون يوزع مجاناً ويمنع بيعه وتداوله)

الطبعة الأولى 1443 هـ - 2021م

جمهورية العراق
وزارة التربيـــــة
المديرية العامة للتعليم المهني

العلوم الصناعية

تكنولوجيا السباكة

الصف الثالث

تأليف

أ.م.د. إحسان كاظم النعيمي د. إبراهيم عبد الكريم أحمد

م.م. عماد محمد حسين ميسون زكي جودة بلال محمد أحمد

الطبعة الأولى 2021 م – 1443هـ

استناداً إلى القانون يوزع مجاناً ويمنع بيعه وتداوله

المقدمة

لقد ظهرت في الكثير من دول العالم المتقدم طرائق تدريسية جديدة على وفق مناهج حديثة متطورة ومختلفة جذرياً في جميع فروع العلم، أثّرت وبشكلٍ كبير في العملية التعليمية في المدارس والجامعات، وعليه أصبح من الضروري أن يلتحق العراق بهذا الرَكب وأن يسارع في العمل لتطوير مناهج التعليم وأساليبه، التي تؤدي دوراً في إرساء دعائم الحضارة والمدنية، إذ إن هنالك علاقة طردية بين احتياجات التنمية الصناعية والتكنولوجية والاقتصادية والبيئية بصفة خاصة وبين مناهج التعليم الصناعي.

شُكلت لجنة مختصة في المديرية العامة للتعليم المهني لإعداد كتاب العلوم الصناعية ـ الصف الثالث ـ لطلبة إعداديات الصناعة تخصص تكنولوجيا السباكة، كمساهمة جزئية ضمن خطة شاملة لتحديث المناهج، لتواكب النهضة العلمية والتكنولوجية التي يعيشها العالم اليوم.

تضمن الكتاب ثمانية فصول، تناول الفصل الأول منها مبادئ السباكة، في حين تم في الفصل الثاني التطرق إلى السبائك ومخططات الأطوار، ليدرك الطالب المعنى العام للسبائك ومفهوم المحاليل الجامدة وأنواعها وأهمية مخططات الأطوار، علماً أن جميع هذه المخططات اثرائية غير مطلوب حفظها، إنما تساعد الطالب في فهم موضوع تكوين السبائك، واشتمل الفصل الثالث من الكتاب على موضوع السبائك المعدنية ومعرفة خواص ومتطلبات المسبوكات الحديدية واللاحديدية واسعة الاستخدام وفي مختلف التطبيقات الصناعية، إما الفصل الرابع فتناول موضوع السباكة بالقوالب الدائمية وآلية الصب باستخدام هذه القوالب للحصول على منتجات متنوعة باستخدام تقنيات مختلفة.

أما في الفصل الخامس فتم التطرق إلى موضوع تقنيات السباكة غير التقليدية، مثل: سباكة الرغوة المفقودة وسباكة الطرد المركزي بأنواعها المختلفة وغيرها من التقنيات المختلفة، فضلاً عن موضوع عيوب السباكة المختلفة ومصادرها وأسبابها وطرائق تجنبها الذي تم تناوله في الفصل السادس، وفي الفصل السابع تم تعريف الطالب على مفهوم الفحص والسيطرة النوعية وطرائق فحص المسبوكات والفحوصات (الاختبارات) الإتلافية واللاإتلافية للعينات، وأخيراً في الفصل الثامن تم استعراض مفهوم الصحة والسلامة المهنية للأشخاص العاملين والمخاطر المهنية وكيفية الوقاية والعلاج، فضلاً عن موضوع التلوث البيئي بسبب التصنيع بالسباكة.

لقد تم إدراج أمثلة محلولة في حسابات القوانين والمعادلات الرياضية وغيرها من التطبيقات الحياتية المتنوعة ذات العلاقة، فضلاً عن إعطاء أسئلة مختلفة في نهاية كل فصل، ليتمكن الطالب بمساعدة مدرسي المادة من فهم المادة العلمية بشكل أكبر، واستيعاب التخصص بصورة علمية وفنية صحيحة، ومن ثم يكون قادراً على المهام الفنية التي سوف يُكلّف بها مستقبلاً من الأعمال التكنولوجية في موضوع سباكة المعادن.

ندعو الله عز وجل أن نكون قد وفقنا في جهدنا بإعداد هذا الكتاب، وسنكون شاكرين لكل الأخوة المعنيين بهذه المادة إذا ما رفدوا بملاحظاتهم وآرائهم حول الكتاب مع شكرنا واعتزازنا بالجميع.

..... والله الموفق

المؤلفون

2021 م - 1443 هـ

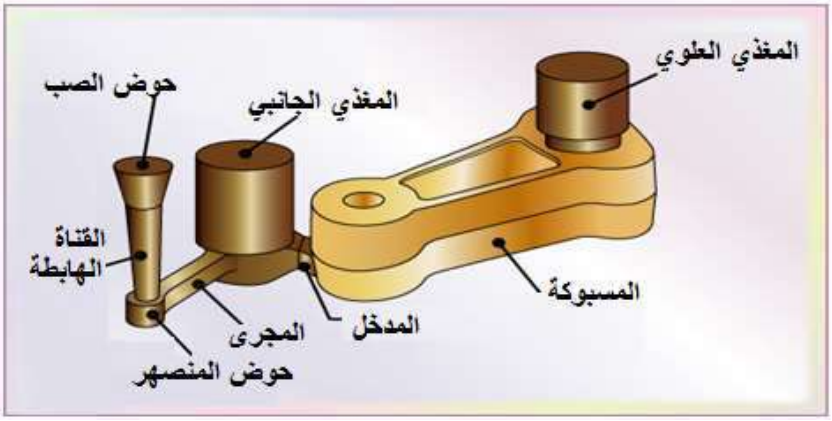
المحتويات

الفقرة	الصفحة	الفقرة	الصفحة
الفصل الأول		**الفصل الخامس**	
مبادئ عمليات السباكة	5	**تقنيات سباكة أخرى**	69
التحليل الهندسي للصب	7	السباكة بالرغوة المفقودة	70
نظرية برنولي	8	السباكة بالطرد المركزي	74
قانون الاستمرارية	9	السباكة بالتدوير	82
السيوبة	11	السباكة المستمرة	84
انجماد المعادن	13	السباكة بالعصر (البثق)	86
زمن الانجماد	15	سباكة المعادن شبه الصلبة	88
انكماش الانجماد	17	أسئلة الفصل الخامس	90
أسئلة الفصل الأول	22	**الفصل السادس**	
الفصل الثاني		**عيوب المسبوكات**	93
السبائك ومخططات الأطوار	24	المصادر العامة للعيوب	94
المحاليل الجامدة	25	أصناف العيوب	95
مخططات الأطوار	27	عيوب الشكل	96
أنظمة ثنائية متماثلة	30	المتضمنات وعيوب السباكة الرملية	97
أنظمة ثنائية يوتكتيكية (تصلدية)	36	العيوب الغازية	100
أسئلة الفصل الثاني	38	عيوب الانكماش	103
الفصل الثالث		عيوب التقلص	105
المسبوكات المعدنية	39	أخطاء بالأبعاد	107
المسبوكات الحديدية	40	الاعتبارات التصميمية لتحسين المسبوكات	109
المسبوكات الفولاذية	43	أسئلة الفصل السادس	112
المسبوكات اللاحديدية	44	**الفصل السابع**	
مسبوكات سبائك الألمنيوم	45	**ضمان الجودة**	113
مسبوكات سبائك المغنيسيوم	47	الفحص والسيطرة النوعية	114
مسبوكات سبائك النحاس	48	الفحص	115
مسبوكات الخارصين	51	الفحوصات اللاإتلافية	116
مسبوكات سبائك النيكل	52	الفحوصات الإتلافية	123
مسبوكات سبائك التيتانيوم	53	خواص المواد الهندسية	124
أسئلة الفصل الثالث	55	أسئلة الفصل السابع	133
الفصل الرابع		**الفصل الثامن**	
السباكة بالقوالب الدائمية	57	**الصحة والسلامة وحماية البيئة**	135
خصائص القوالب الدائمية	58	الصحة والسلامة المهنية	136
السباكة بالقالب المعدني	59	أهداف الصحة والسلامة المهنية	137
السباكة بقالب معدني بالجاذبية	60	أهمية الصحة والسلامة المهنية	138
السباكة بقالب معدني بالضغط الواطئ	62	طبيعة التلوث	142
مكائن السباكة بالقالب المعدني	65	التشريع	150
أسئلة الفصل الرابع	67	أسئلة الفصل الثامن	151

الفصل الأول

مبادئ السباكة

Fundamentals of Casting



الأهداف

الهدف العام:

سيتمكن الطالب في هذا الفصل من معرفة المبادئ الهندسية لعمليات السباكة. إذ سيتم تسليط الضوء على الحسابات الرياضية البسيطة في كيفية معرفة معدل صب منصهر المعدن والزمن الكلي لانجماد المنصهر، ومن خلالها سيتم معرفة مقدار حجم المغذيات ومواقعها داخل تجويف القالب ونوعية الانجماد للمسبوكة بحسب المعايير التكنولوجية ومتطلباتها.

الأهداف الخاصة: بعد الانتهاء من دراسة الفصل الأول سوف يتمكن الطالب من معرفة وفهم الآتي:

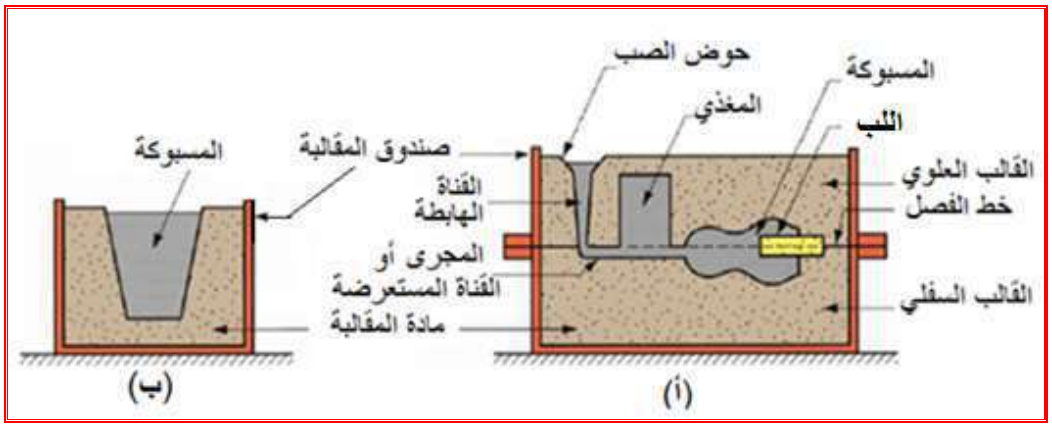
- التحليل الهندسي للصَب
- نظرية برنولي.
- قانون الاستمرارية.
- حساب زمن إملاء القالب.
- حساب الزمن الكلي للانجماد.
- تصميم الرافع باستخدام قاعدة شفورينوف.
- حساب مقادير الانكماش والسماحات
- أنواع الانجماد
- الانجماد غير الاتجاهي.
- الانجماد الاتجاهي والبلورة الأحادية.

مبادئ السباكة
Fundamentals of Casting

1-1 مقدمة Introduction

تُعد السباكة من أقدم عمليات التصنيع التي عرفتها البشرية، ويرجع تاريخها بحسب المؤرخين إلى 4000 سنة قبل الميلاد، من خلال اكتشاف الأدوات البسيطة مثل رؤوس الأسهم المصنوعة بالسباكة من معدن النحاس وسبائكه وغيرها من الأدوات التي كان يستعملها الإنسان القديم لقضاء حاجاته الضرورية. وعلى الرغم من قدم عمليات السباكة، إلا أنها ما زالت تُعد الأولى من طرائق التصنيع المختلفة من حيث كمية الإنتاج الكتلي للقطع الهندسية وأجزاء المكائن المتباينة حجماً سواء كانت صغيرة جداً أو كبيرة جداً، قد تصل كتلتها إلى عدة أطنان فضلاً عن بساطة أو تعقيد شكل تلك الأجزاء، كما هو مبيّن في الشكل رقم (1-1). ناهيك عن إن إحدى خطوات استخلاص معظم المعادن من خاماتها تتم بطريقة صهر تلك الخامات وإضافة مساعدات الصهر ومن ثم صب منصهر المعدن بقوالب معدنية أو قوالب خاصة، مثل: استخلاص معدن الحديد من خاماته بالفرن العالي، وما تلك الخطوات إلا جزء من مراحل عمليات السباكة، تؤخذ بعدها هذه المسبوكات والتي تسمى **بالمسبوكات الأولية** إلى أقسام تصنيعية أخرى لتصنيع المنتوجات المعدنية المختلفة، مثل المطروقات والمشغولات وغيرها من المنتوجات التي أُنتجت بطرائق التصنيع المعروفة. لذا تُعد عمليات السباكة من طرائق التصنيع المهمة جداً، التي لا يمكن الاستغناء عنها وستبقى كذلك في المستقبل.

تعرّف **السباكة** بأنها العملية التصنيعية التي يتم فيها صهر المعدن بأفران خاصة، ومن ثم صب منصهر المعدن وجريانه بتأثير الجاذبية أو بالضغط داخل تجويف القالب الذي يتم بداخله انجماد المنصهر، ليأخذ شكل التجويف الذي هو عبارة عن المُنتج المطلوب، لذا هنالك عدة عوامل ومتغيرات يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار للحصول على مسبوكات خالية من العيوب. بالإمكان تقسيم عمليات السباكة بصورة عامة إلى نوعين رئيسين: الأول هو عمليات السباكة الأولية التي ذكرت أعلاه، وتتضمن استخلاص المعادن من خاماتها، والنوع الثاني هو عمليات سباكة الشَكل، وهذا النوع يتضمن إنتاج مسبوكات معقدة الأشكال قد تصل إلى الشكل النهائي المرغوب أو تحتاج في بعض الأحيان إلى عمليات إنهائية بسيطة، مثل: عملية تثقيب أو تنعيم أو غيرها من بعد إنتاج المسبوكات وصولاً إلى الشكل النهائي المطلوب. وكذلك تقسم عمليات السباكة اعتماداً على نوع القوالب إلى قسمين: القسم الأول هو السباكة بالقوالب المستهلكة Expendable Molds التي يتطلب فيها تهيئة قالب جديد لكل مسبوكة، مثل السباكة بالقوالب الرملية Sand Casting. والثاني هو السباكة بالقوالب الدائمية Permanent Molds، ويستخدم فيها القالب لإنتاج مسبوكات تصل أعدادها إلى عشرات أو مئات المرات دون تعرضه للتلف، إن كان تصميم ومادة القالب قد تم اختيارهما بدقة، كما في السباكة بالضغط Die Casting.



شكل رقم 1-1 السباكة بالقوالب المستهلكة

(أ) قالب مغلق لمسبوكة بشكل معقد، (ب) قالب مفتوح لمسبوكة أولية بشكل بسيط

المَسبك Foundry هو المصنع الذي يحتوي على الأفران الخاصة، بحسب حجم ونوع المعادن المراد صهرها ومُعدات المناولة المطلوبة لأخذ المنصهر من الفرن ونقله وصبه في تجويف القوالب المُعدة مسبقاً في المسبك، ومن ثم إخراج المسبوكات من قوالبها بعد انجمادها وتبريدها وتنظيف المسبوكات ومعاينتها وفحصها والعمليات التشطيبية والإنهائية المكملة وخزنها وحفظها ونقلها.

إن مواضيع المقدمة المذكورة آنفاً قد تم التعرّف عليها وقد درسها الطالب في الصفين الأول والثاني بكتابي العلوم الصناعية والتدريب العملي، وفي هذا الفصل سيتم التطرق إلى المبادئ الأساسية لتكنولوجيا السباكة، من حيث التحليل الهندسي لعملية صب المنصهر وحساب زمن إملاء تجويف القالب وزمن الانجماد ونوعيته من حيث الانجماد العشوائي أو الاتجاهي، وقبل ذلك لابد من المرور على موضوع السيوبة Fluidity التي هي من خصائص جريان منصهر المعدن داخل تجويف القالب.

2-1 التحليل الهندسي للصَب Engineering Analysis of Pouring

أول إجراء لإنجاز عملية السباكة هو صهر المعدن المطلوب لإنتاج المسبوكة في أفران مناسبة لحجم ونوع معدن تلك المسبوكة، من خلال تسخينها من درجة حرارة الغرفة إلى أعلى بقليل من درجة انصهار المعدن، إن كانت المسبوكة المطلوبة من معدن واحد فقط وأعلى من درجة حرارة انصهار المعدن ذي درجة الانصهار الأعلى ضمن النظام السبائكي إن كان سبائكياً، وذلك لتجنب انجماد منصهر المعدن أثناء جريانه من حوض الصب إلى تجويف القالب ولحين إملاء التجويف بالكامل، وهذه من أهم العوامل في إنجاح عملية الصب ضمن الزمن الأمثل الذي يتم تحديده بحسب الفرق بين درجة حرارة المنصهر عند الصب ودرجة حرارة بدء الانجماد. وعليه يجب معرفة **زمن إملاء القالب** بالكامل من خلال تطبيق معادلة بسيطة مشتقة من نظرية برنولي وقانون الاستمرارية.

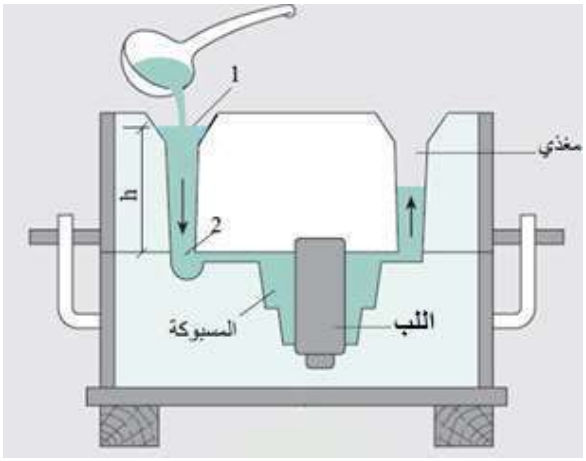
1-2-1 نظرية برنولي Bernoulli's Theorem

تعتمد خصائص جريان الموائع (الغازات والسوائل) على نظرية برنولي بشكلٍ أساس، التي تنص على أن **مجموع الطاقات بين أي نقطتين معلومتين في مسار الجريان تساوي صفراً**، ولكون منصهر المعادن في عمليات السباكة يُعد من الموائع، لذا تطبق نظرية برنولي على جريان هذا المنصهر. أي بعبارة أخرى أن **مجوع الطاقات بالنقطة (1)** وهي تقع في حوض الصب أعلى نقطة من القناة الهابطة **تساوي مجموع الطاقات بالنقطة (2)** التي تقع أسفل نقطة من القناة الهابطة، كما هو موضّح في الشكل رقم (1-2). وهذه الطاقات هي عبارة عن الطاقة الكامنة التي تمثل المنسوب (الارتفاع)، والطاقة الحركية التي تمثل السرعة، وطاقة الضغط، وطاقة خسائر الاحتكاك. ولأن المسافة بين النقطتين هي قريبة بواقع حال جريان منصهر معظم المسبوكات، فسوف يهمل حد طاقة خسائر الاحتكاك، وبالحال نفسه تهمل طاقة الضغط لأن النقطتين معرضتان للضغط الجوي. ولو تم اعتبار أن النقطة رقم (2) هي مرجع المنسوب (ارتفاعها يساوي صفراً)، وأن السرعة في النقطة (1) تساوي صفراً كونها السرعة الابتدائية للصب. وبالتالي سوف تختصر نظرية برنولي إلى المعادلة الآتية فقط التي تمثل الأساس في حساب سرعة جريان منصهر المعدن داخل تجويف القالب.

$$v = \sqrt{2gh} \quad \text{.....} \quad (1\text{-}1)$$

v : السرعة بالنقطة رقم (2) (cm/s) ، g : التعجيل الأرضي (cm/s^2)

h : ارتفاع النقطة رقم (1) (cm)



شكل رقم 1-2 تمثيل للمعادلة رقم (1-1)

مثال رقم 1: احسب سرعة جريان منصهر معدن ما عند مدخل تجويف القالب، إذا علمت أن ارتفاع قناة الصب الهابطة (h) يساوي (20 cm)، افترض التعجيل الأرضي (g) يساوي ($1000\ cm/s^2$).

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 1000 \times 20} = 200\ cm/s$$

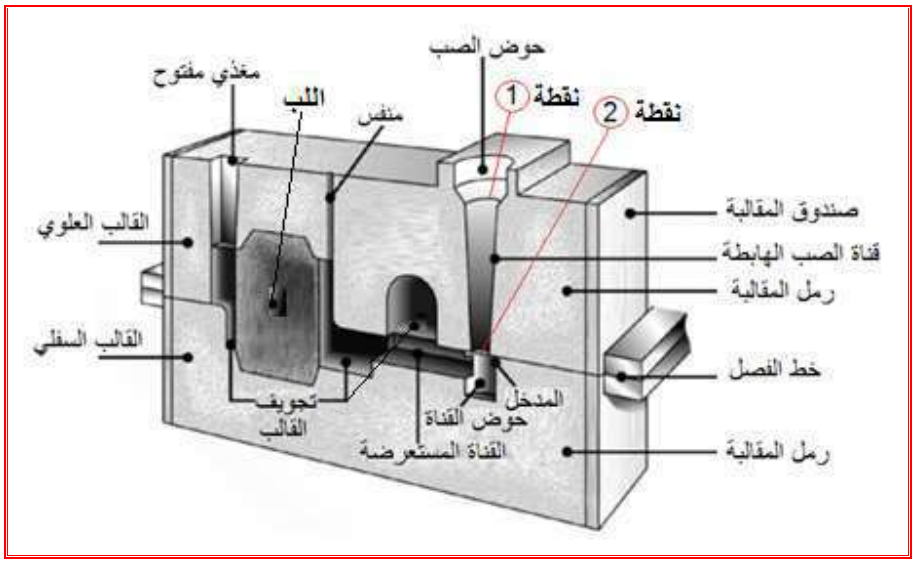
2-2-1 قانون الاستمرارية Continuity Law

العلاقة المهمة الأخرى في موضوع جريان الموائع ومنها جريان منصهر المعادن داخل القالب في عمليات السباكة المختلفة، هي قانون الاستمرارية أو ما يسمى بقانون حفظ الكتلة، الذي يستند على مبدأ أن الكتلة لا تفنى ولا تستحدث، أو بعبارة أخرى أن معدل التدفق الكتلي متساوٍ في أي نقطة من نقاط الجريان، ولكون المائع عبارة عن سائل (منصهر المعادن) فبالإمكان إعادة صياغة ذلك القانون بأن يكون: **معدل التدفق الحجمي لأي نقطة من نقاط جريان منصهر المعادن داخل قناة منظومة الصب في القالب يكون متساوياً**. إن معدل التدفق الحجمي عبارة عن حاصل ضرب السرعة في نقطة ما بالجريان في مساحة مقطع القناة بتلك النقطة، لذلك أن أي زيادة في مساحة مقطع قناة الصب يؤدي إلى نقصان في سرعة جريان منصهر المعدن، والعكس صحيح أي أنه وكما موضّح في الشكل رقم (1-3) هنالك نقصان في مساحة مقطع قناة الصب الهابطة كلما انحدرت القناة للأسفل إذ سيؤدي ذلك إلى زيادة في سرعة منصهر المعدن أسفل القناة وعند المدخل لتجويف القالب.

$$\boldsymbol{Q = v_1 A_1 = v_2 A_2} \quad \text{.....(1-2)}$$

$\boldsymbol{Q}$: معدل التدفق الحجمي لأي نقطة من نقاط جريان منصهر المعدن ووحدة قياسه هي (cm^3/s)

$\boldsymbol{A_2}$ ، $\boldsymbol{A_1}$: مساحة مقطع القناة في منظومة الصب لنقطة رقم (1) والنقطة رقم (2) (cm^2)



الشكل رقم 1-3 تمثيل للمعادلة رقم (1-2)

مثال رقم 2: احسب معدل التدفق الحجمي للمثال رقم (1)، إذا علمت أن مساحة مقطع القناة عند مدخل تجويف القالب يساوي ($2\ cm^2$).

$$Q = v_2 A_2 = 200 \times 2 = 400\ cm^3/s$$

إن المعادلتين المذكورتين في الفقرتين السابقتين تحتم على مصممي قوالب السباكة الأخذ بنظر الاعتبار شكل مقطع قناة الصب الهابطة، بحيث تصمم بشكل مخروطي وبمقطع متناقص لثبوت معدل التدفق الحجمي لغرض ضمان عدم زيادة سرعة جريان منصهر المعدن وعدم تحول جريانه إلى جريان مضطرب، مما يؤدي إلى ظهور عيوب كثيرة في المسبوكات بسبب تغلغل الهواء والغازات، فضلاً عن جرف (تآكل) جزء من سطح تجويف القالب وعيوب أخرى سيتم تناولها في فصل عيوب المسبوكات.

3-2-1 زمن إملاء القالب بمنصهر المعدن Mold Filling Time by Molten Metal

إن معرفة مقدار زمن إملاء تجويف القالب وجميع أجزاء منظومة الصب والمغذيات، هي من الأمور المهمة التي لها علاقة بمعدل صب منصهر المعدن في حوض الصب، وهو حقيقةً ذو مقدار حرج، فإذا كان مقدار معدل الصب عالياً سيؤدي ذلك إلى زيادة سرعة الجريان وبالتالي سيتحول الجريان إلى جريان مضطرب مما يؤدي إلى زيادة في عيوب المسبوكات، وعلى العكس من ذلك في حالة كون مقدار معدل الصب بطيئاً سيؤثر سلباً بانجماد المعدن قبل أن تمتلئ جميع تفاصيل تجويف القالب بالمنصهر وهذا ما يسمى بتوقف الجريان Miss Run (عدم اكتمال ملء القالب). لذلك يجب معرفة الحد الأدنى من زمن إملاء تجويف القالب لمقارنته مع زمن انجماد منصهر معدن المسبوكة.

$$t = \frac{V}{Q} \quad \text{.....} \quad (1\text{-}3)$$

t: زمن إملاء تجويف القالب (s)، V: حجم تجويف القالب (cm^3)

يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار أنه في المعادلة أعلاه تم حساب أقل زمن إملاء بسبب إهمال موضوع خسائر الاحتكاك أو الموانع التي قد يصادفها جريان المنصهر في منظومة الصب نتيجة لوجود المصافي (المرشحات) (Filters) وغيرها، وذلك لتسهيل حدود تلك المعادلة. ولابد عند تصميم منظومة الصب والسيطرة على معدل الصب أن يكون هذا الزمن أقل بكثير من زمن انجماد منصهر المعدن لضمان عدم توقف الجريان في نقطة ما، وبالتالي حدوث تشوهات أو نقص في شكل المسبوكة بعد إخراجها من القالب ويرفض المنتج نتيجة لذلك.

مثال رقم 3: احسب زمن إملاء تجويف القالب للمثال رقم (2)، إذا علمت أن حجم تجويف القالب يساوي $(1600\ cm^3)$.

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{1600}{400} = 4\ s$$

3-1 السيوبة Fluidity

إن مفهوم موضوع السيوبة Fluidity قد تم شرحه بإيجاز وعلى نطاقٍ ضيق في الصف الثاني، ولأهمية الموضوع لابد للطالب باختصاص تكنولوجيا السباكة في هذه المرحلة الدراسية من معرفة هذا المفهوم بكل تفاصيله وعلاقته مع المفاهيم الأخرى، التي لها علاقة بموضوع صهر وجريان وانجماد منصهر المعادن المراد سباكتها. وبهذا الخصوص لابد من الإشارة بأن بعض المختصين يطلقون على هذا المفهوم مصطلح القابلية على السباكة Castability ولكن مصطلح السيوبة Fluidity هو المناسب والأكثر شيوعاً بالاستخدام.

بالإمكان تعريف السيوبة في عمليات السباكة على أنها: **القابلية على جريان منصهر المعدن داخل تجويف القالب وإملاء تفاصيله كافة قبل حدوث انجماد هذا المنصهر وتوقف الجريان**. والسيوبة مصطلح عام يجمع بين خصائص الجريان وخصائص انتقال الحرارة. إن علاقة السيوبة بمفهوم اللزوجة علاقة عكسية، إذ كلما زاد مقدار اللزوجة قل مقدار السيوبة، ومع هذا فإن السيوبة لا تُعد من الخواص الفيزيائية المنفردة مثل اللزوجة أو الكثافة، بل تُعد من الخصائص المعقدة. لذا تتم دراسة خصائصها ومقاديرها عن طريق تجارب وفحوصات عملية، وبمعنى آخر لا توجد معادلة رياضية خاصة تحكمها.

تتضمن العوامل التي تؤثر على السيوبة في تقنيات السباكة المختلفة الآتي:

1. **درجة حرارة الصب**، إذ كلما زادت هذه الدرجة ازداد مقدار السيوبة، وذلك يعطي فرصة أكبر لبقاء المعدن بالحالة السائلة، وبالتالي استمرار جريان المنصهر قبل الانجماد، ولكن في حالة زيادة هذه الدرجة بشكل غير دقيق سيؤدي إلى مشاكل مثل تأكسد المنصهر وزيادة في المسامية الغازية، ويسبب أيضاً خشونة سطح المسبوكة نتيجة لتداخل المنصهر مع حبيبات الرمل في حالة السباكة الرملية، وتتراوح درجة حرارة الصب في أغلب الأحيان بحدود (50-100°C) أعلى من درجة حرارة انصهار المعدن أو السبيكة.
2. **التركيب الكيميائي للسبيكة**، إن كان المعدن نقياً أو سبائكياً، وفي هذه الحالة يكون المعدن النقي أفضل من ناحية مقدار السيوبة من المعدن السبائكي.
3. **معامل انتقال الحرارة** من منصهر المعدن إلى تجويف القالب وإلى المحيط الخارجي، فالسيوبة بالقوالب المعدنية أقل مقداراً من مثيلاتها بالقوالب الرملية للمعدن المنصهر نفسه، لأن معامل موصلية انتقال الحرارة في القوالب المعدنية أعلى من موصليتها في المواد الخزفية مثل الرمل.
4. **لزوجة منصهر المعدن** إن تأثير لزوجة منصهر المعدن قد تم إيضاحه في بداية الفقرة أعلاه.

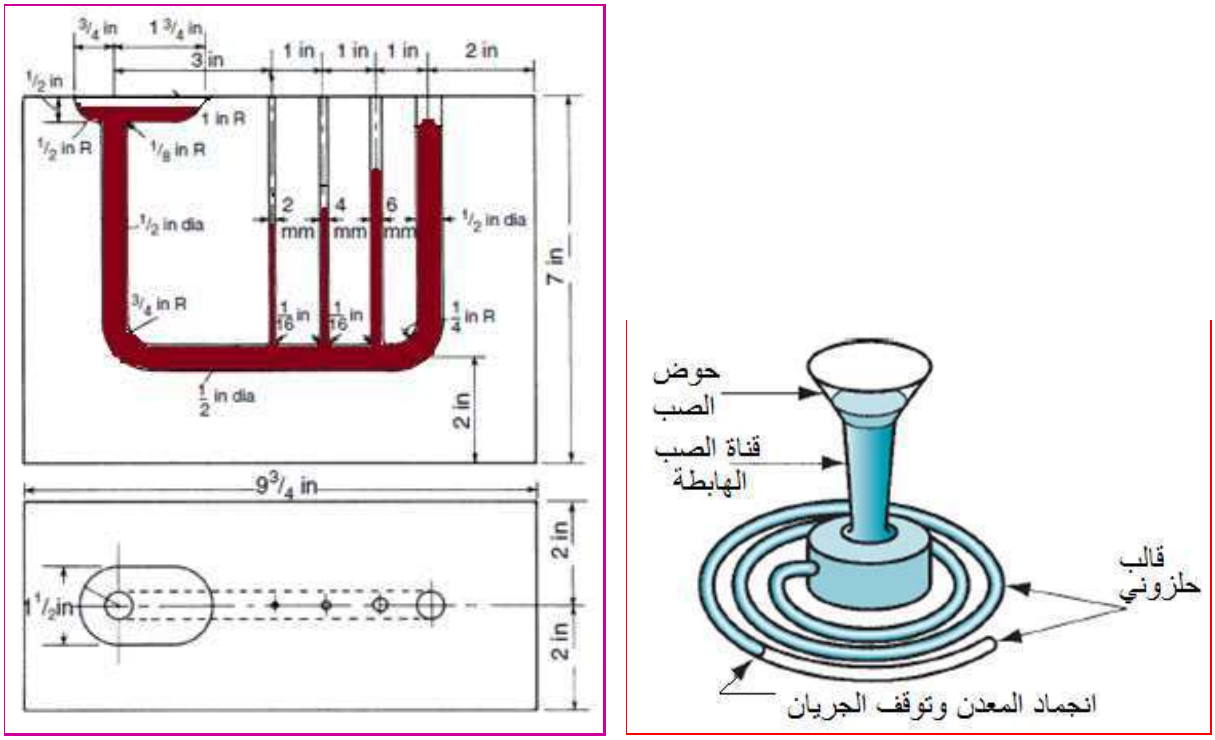
هنالك طرائق تجريبية كثيرة لمعرفة مقدار السيوبة لمعدنٍ ما، وبحسب نوع تقنية السباكة المستخدمة، وأكثرها شيوعاً هو فحص السيوبة بالقالب الحلزوني والموضّح بالشكل رقم (1-4 - أ).

لصعوبة تشكيل القالب الحلزوني في بعض الأحيان تتم عملية فحص مقدار السيوبة بالقالب متعدد القنوات، والمبيّن بالشكل رقم (1-4- ب). علماً أن وحدة قياس السيوبة هي وحدة قياس الطول مثل السنتيمتر (cm).

فعلى سبيل المثال يتم قياس طول القناة الحلزونية التي جرى بها منصهر المعدن قبل توقف جريانه نتيجة لانجماد المنصهر داخل القناة، وهذا الطول هو الذي يحدد مقدار السيوبة لهذا المعدن ولهذا النوع من عملية السباكة التي تمت فيها التجربة والفحص. وبطريقة القياس نفسها يتم معرفة مقدار السيوبة في تجربة قياس السيوبة بالقالب متعدد القنوات بعد قياس طول المسافة التي توقف عندها جريان منصهر المعدن في تلك القنوات المتعددة وبحسب قطر كل قناة.

ملاحظة

لا يمكن اعتماد مقدار السيوبة لكل منصهر من المعادن بشكل مطلق، بل تتم مقارنتها بحسب ظروف تجربة الفحص التي يجب ذكرها عند الإشارة إلى مقدار السيوبة.



(أ) فحص مقدار السيوبة بالقالب الحلزوني (ب) فحص السيوبة بالقالب متعدد القنوات

شكل رقم 1-4 فحص السيوبة

4-1 انجماد المعادن Solidification of Metals

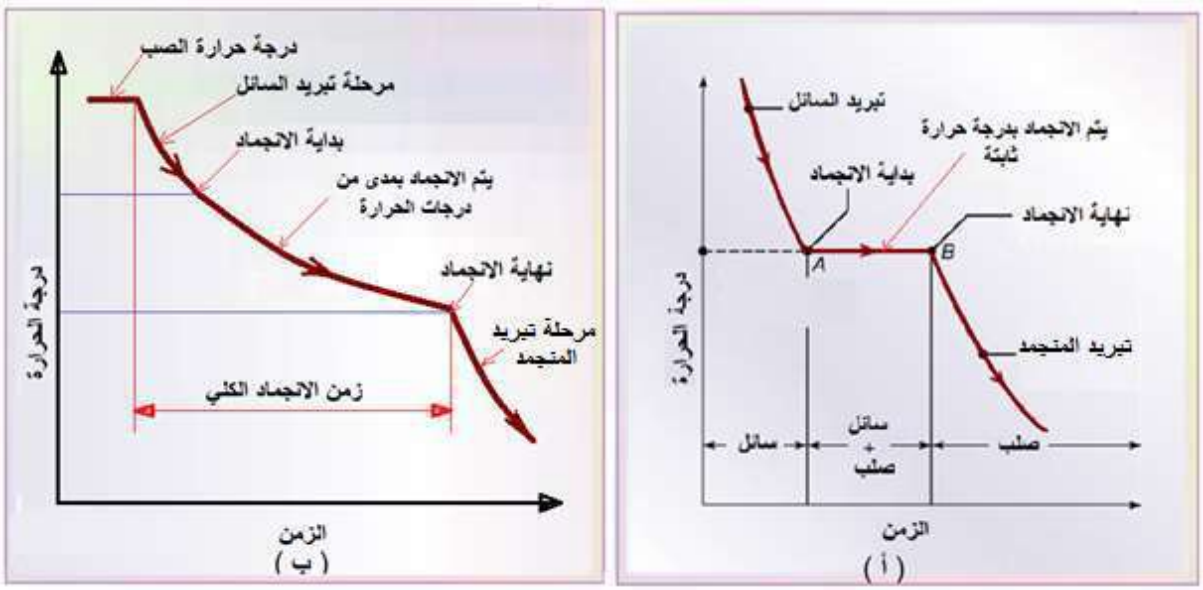
عندما يتم صب منصهر المعدن داخل منظومة الصب وجريانه في تجويف قالب السباكة، ستفقد الحرارة المكتسبة لمنصهر المعدن من تسخين المعدن وصهره في أفران الصهر إلى جدران القالب ليبرد، ومن ثم تبدأ عمليات الانجماد من خلال سلسلة من الفعاليات المعقدة، التي ستقع خلال مرحلة الانجماد ورجوع المعدن إلى طوره الصلب. وهنالك مجموعة من العوامل المهمة التي ستؤثر بشكل فعّال على سرعة عملية الانجماد ونوعيته، وبالتالي على الخواص الميكانيكية أو الخواص الأخرى للمسبوكة المنتجة، وهذه العوامل تتضمن الآتي:

1. **تركيب المعدن**، يعتمد إن كان معدناً نقياً أم سبائكياً، وسيتم شرح ذلك بالتفصيل لاحقاً.
2. **الخواص الحرارية للمعدن**، التي هي عبارة عن الموصلية الحرارية والحرارة النوعية للمعدن.
3. **شكل المسبوكة**، تتمثل بالعلاقة بين حجم المسبوكة والمساحة السطحية الملامسة لتجويف القالب.
4. **شكل القالب**، الذي من خلاله سيتم تسريب حرارة منصهر المعدن إلى الخارج.
5. **مادة القالب**، إن كان من المواد الموصلة للحرارة مثل القوالب المعدنية أو من المواد ضعيفة التوصيل الحراري مثل القوالب الرملية.

تركيب المعدن Metal Composition

إن المعادن النقية غير السبائكية تنصهر وتتجمد بدرجة حرارة ثابتة، وهي مساوية لنقطة الانجماد Freezing Point، التي هي نفسها نقطة الانصهار Melting Point، علماً أن درجات الانصهار معروفة وموثقة بشكل جيد في جداول الخواص الفيزيائية للمعادن. بعد صب المعدن وجريانه داخل تجويف القالب تبدأ درجة حرارة منصهر (سائل) المعدن بالانخفاض من درجة حرارة الصب إلى أن تصل إلى درجة حرارة الانجماد (**المرحلة الأولى**)، ومن ثم تبدأ أول نويّات المعدن بالتشكّل على سطح جدران تجويف القالب، وتثبت درجة الحرارة لحين اكتمال انجماد المنصهر كله، وتحوله من الطور السائل إلى الطور الصلب من خلال طرد الحرارة الكامنة للانجماد (**المرحلة الثانية**)، ومن بعد ذلك ستعاود درجة حرارة المعدن المنجمد بالانخفاض مرةً أخرى من درجة حرارة الانجماد وصولاً إلى درجة حرارة الغرفة (**المرحلة الثالثة**). مع العلم أن فقدان الحرارة بمراحلها الثلاث يتم من خلال جدران قالب السباكة، وتستغرق هذه المراحل زمناً محدداً يعتمد على متغيرات عديدة لا يتسع المجال لذكرها في هذه المرحلة الدراسية، والشكل رقم (1-5-أ) يبيّن منحني العلاقة بين درجة الحرارة والزمن للمراحل الثلاث.

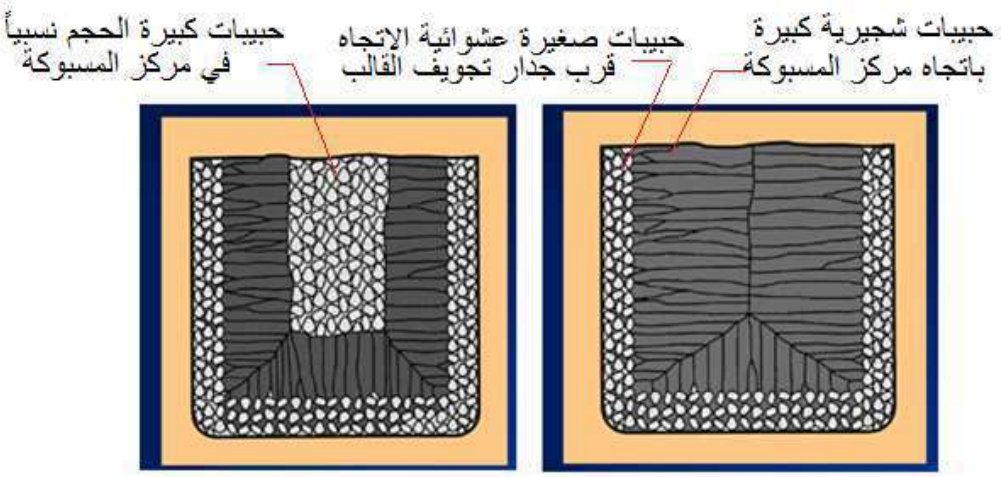
أما في حالة كون المعدن عبارة عن معدن سبائكي، فتختلف عملية الانجماد فقط بالمرحلة الثانية، إذ ستفقد الحرارة الكامنة للانجماد عبر مدى من درجات الحرارة وليس بدرجة حرارة ثابتة، وهذا المدى يعتمد على درجات حرارة الانجماد للمعادن الداخلة في مكونات السبيكة، لاحظ الشكل (1-5- ب).



شكل رقم 1-5 منحني التبريد خلال عملية السباكة: (أ) معدن نقي ، (ب) معدن سبائكي

إن لعوامل الانجماد التي ذكرت في بداية الفقرة تأثيراً كبيراً وواضحاً على البنية الحبيبية للمسبوكات. ففي المعدن النقي وعندما يبدأ منصهر المعدن بالانجماد بعد انخفاض درجة الحرارة إلى درجة حرارة نقطة الانجماد وتبدأ نوّيات الحبيبات بالتشكّل على سطح جدار تجويف القالب، ونتيجة للتبريد المفاجئ في هذه المنطقة فإن الحبيبات ستكون صغيرة الحجم ومرتبة بشكل عشوائي. ولاستمرار هبوط درجة الحرارة داخل منصهر المعدن ستبدأ حبيبات أخرى تتشكّل وتنمو باتجاه وسط تجويف القالب، وستكون هذه الحبيبات **إبرية** الشكل ومن ثم تنمو لتتحول إلى حبيبات **شجيرية** الشكل Dendrite Structure وكما موضّح في الشكل رقم (1-6- أ).

لا يوجد اختلاف يذكر في المعدن السبائكي عن المعدن النقي لبدء الانجماد وتشكّل النويات وتكوّن الحبيبات الصغيرة على سطح جدار تجويف القالب، بسبب الانحدار الكبير لدرجة الحرارة على هذا السطح. ومن ثم يبدأ الانجماد بالتقدم باتجاه مركز المسبوكة وتتكوّن الحبيبات الشجيرية كما هو الحال في المعدن النقي. ومع هذا، إن عملية الانجماد في المعدن السبائكي معقدة بعض الشيء بسبب التباين في درجات حرارة انجماد المعادن الداخلة في السبيكة وخصوصاً عندما يكون التباين كبيراً، فعلى سبيل المثال سبيكة النحاس– نيكل درجة انصهار النحاس **1083**°C بينما درجة انصهار النيكل **1453**°C هذا فرق كبير يؤدي إلى تعقيد عملية الانجماد في هذه السبيكة، ولا يتسع المجال لذكر تفاصيلها في هذه المرحلة الدراسية. وبإيجاز فإنه ستتكون حبيبات Grains متساوية المحاور وكبيرة الحجم نسبياً في الجزء الأخير من الانجماد الذي سيكون موقعه في مركز المسبوكة، وكما مبيّن بالشكل رقم (1-6- ب).



(ب) (أ)

شكل رقم 1-6 خصائص البنية الحبيبية: (أ) معدن نقي ، (ب) معدن سبائكي

1-4-1 زمن الانجماد Solidification Time

سبق وأن تم توضيحه في الفقرة السابقة، إنه في بداية مرحلة الانجماد ستتكون نوّيات صغيرة الحجم على سطح جدار تجويف القالب، ثم يستمر الانجماد ويزداد تشكّل الحبيبات باتجاه مركز منصهر المعدن، وإن هذا الانجماد يحتاج إلى زمنٍ ما لكي يكتمل سواءً أكان معدن المسبوكة نقياً أم سبائكياً. إن زمن الانجماد الكلي هو الزمن اللازم ما بين صب المنصهر لحين اكتمال انجماد جميع المنصهر داخل تجويف القالب، وإن هذا الزمن يعتمد بشكل أساس على حجم وشكل المسبوكة. هنالك معادلة تجريبية معروفة باسم (**قاعدة شفورينوف**) (Chvorinov's Rule) لحساب الزمن الكلي للانجماد التي تنص على:

$$t_s = C_m \left(\frac{V}{A}\right)^n \quad \text{.....} \quad (1\text{-}4)$$

t_s: الزمن الكلي للانجماد (min) ، V: حجم تجويف القالب (cm^3)

A المساحة السطحية لمسبوكة (cm^2)

C_m: ثابت القالب ووحدة قياسه هي $\left(\frac{min}{cm^2}\right)$ إن كان معامل الرفع (الأس) (n) يساوي (2) في حالة مادة قالب السباكة من المواد ضعيفة التوصيل الحراري مثل القوالب الرملية، أما إذا كانت مادة قالب السباكة من المواد جيدة التوصيل الحراري مثل القوالب المعدنية فيكون مقدار معامل الرفع (الأس) للمعادلة أعلاه يساوي (1) وبذلك تكون وحدة قياس C_m هي $\left(\frac{min}{cm}\right)$. إن ثابت قالب السباكة ليس له مقدار محدد بل متغير، ويعتمد في كل مرة على الظروف الخاصة لعملية السباكة التي تتضمن: (نوع مادة القالب، الخواص الحرارية لمعدن المسبوكة، ومقدار الفرق بين درجة حرارة الصب ودرجة حرارة انصهار معدن المسبوكة).

وبالإمكان إيجاد مقدار ثابت القالب C_m بواسطة التجارب العملية، واعتماده بالتجارب الأخرى، ولكن في حالة تثبيت ظروف عملية السباكة المذكورة أعلاه مع الأخذ بنظر الاعتبار شكل المسبوكة نفسه. إن قاعدة شفورينوف توضّح أنه كلما كانت نسبة حجم المسبوكة إلى مساحتها السطحية أعلى كان زمن تبريد المسبوكة وانجمادها أبطأ والعكس صحيح. وهذا المبدأ يمكن اعتماده بشكل مفيد في تصميم المغذيات (الروافع) Risers من حيث شكلها ومواقعها في تجويف القالب كون وظيفة المغذي هي الاستمرار بتغذية منصهر المعدن للتجويف الرئيس للقالب، وعليه لابد أن يبقى المعدن في المغذي بالطور السائل لحين انجماد آخر جزء من المسبوكة نفسها، واستمرار تعويضها بمنصهر المعدن وخاصة في الأجزاء البعيدة عن منظومة الصب والقنوات الضيقة في المسبوكة، فضلاً عن تعويض النقص بمنصهر المعدن عند حدوث ظاهرة انكماش الانجماد في المسبوكة.

ملاحظة مقدار (t_s) للمغذي يجب أن يكون أكبر من مقدار (t_s) للمسبوكة.

مثال رقم 4: احسب زمن الانجماد الكلي لمسبوكة بشكل مكعب طول ضلعها يساوي (12 cm)، علماً أن مقدار ثابت القالب ومن تجربة بظروف السباكة نفسها هو: $C_m = 3\ \frac{min}{cm^2}$

الجواب:

حجم المكعب يساوي مكعب طول الضلع ويساوي:

$$V = l^3 = 12^3 = 1728\ cm^3$$

المساحة السطحية للمكعب هي مساحة ستة أوجه مربعة وتساوي:

$$A = 6 \times l^2 = 6 \times 12^2 = 864\ cm^2$$

الزمن الكلي لانجماد المسبوكة يساوي:

$$t_s = C_m\ (\frac{V}{A})^n = 3 \times (\frac{1728}{864})^2 = 3 \times 2^2 = 3 \times 4 = 12\ min$$

فكر **أيهما أفضل كـ (مغذي) Riser أن يكون شكله كروياً أم مكعباً أم أسطواني الشكل وقطره يساوي ارتفاعه؟**

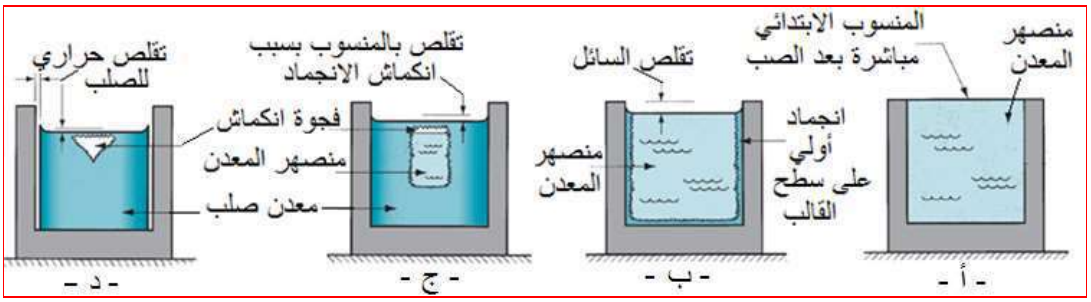
الجواب: كما تعرف عزيزي الطالب فإن الشكل الكروي أو القريب منه هو الأفضل كـ (مغذي) بصورة عامة، لأنه سيكون زمن انجماد منصهر المعدن له هو الأطول مقارنةً بالأشكال الأخرى، في حين أن شكل المكعب سيكون الأقصر في زمن الانجماد وبذلك وظيفته كـ (مغذي) ستكون غير مفيدة عملياً، ..... لماذا؟

2-4-1 انكماش الانجماد Solidification Shrinkage

تنشأ عيوب انكماش الانجماد عادةً من الفشل (عدم قدرة المغذي) في تعويض منصهر المعدن للمناطق التي حدث فيها انكماش في الطورين السائل والصلب، بعد صب منصهر المعدن في قالب السباكة، لذا فإن من أسباب حدوثها عادةً هو عدم إمكانية مداخل تجويف القوالب على التغذية بمنصهر المعدن بصورة كافية، أو مع عدم تلبية المغذيات (الروافع) لوظيفتها التصميمية من حيث أشكالها ومواقعها. يعتمد الشكل الفعلي للانكماش على عوامل التصميم وظروف التبريد وآلية انجماد المسبوكات. توجد أنواع مختلفة من فجوات الانكماش الداخلية (المسامية المجهرية بسبب الانكماش عند الانجماد)، أو انخفاض مستوى سطح المسبوكة ويسمى بتجويف الانكماش الرئيس أو **الأنبوب Pipe** الناتج عن المغذيات غير المناسبة.

يحدث الانكماش في ثلاث مراحل: **المرحلة الأولى**: يحدث انكماش منصهر المعدن (السائل) في أثناء التبريد من درجة حرارة الصب إلى درجة حرارة بدء الانجماد. **المرحلة الثانية** يحدث فيها الانكماش في أثناء تغير الطور من السائل إلى الصلب ويسمى انكماش الانجماد. في حين يحدث التقلص الحراري للمعدن المنجمد في أثناء التبريد من بعد انجماد المنصهر كله وصولاً إلى درجة حرارة الغرفة وهي **المرحلة الثالثة**. وبالإمكان توضيح المراحل الثلاث المذكورة بمثال سباكة قطعة أسطوانية الشكل بقالب مفتوح، كما هو موضّح في الشكل رقم (1-7). إذ يظهر منصهر المعدن في القالب بعد الصب مباشرة بالشكل (أ). أما الشكل (ب) فيبيّن انكماش منصهر المعدن (السائل) في أثناء التبريد من درجة حرارة الصب إلى درجة حرارة الانجماد، وذلك بانخفاض ارتفاع منسوب السائل من المستوى الأول، وعادةً ما يكون مقدار تقلص السائل بحدود (0.5٪) اعتماداً على نوع المعادن والسبائك. أما انكماش الانجماد والمبيّن في الشكل (ج) فيظهر بمظهرين: الأول يؤدي الانكماش إلى مزيد من الانخفاض في ارتفاع المسبوكة، والمظهر الثاني إذ تصبح كمية منصهر المعدن المتاحة لتغذية الجزء المركزي العلوي من المسبوكة مُقيّدة، وهي عادةً ما تكون في آخر جزء من المسبوكة يتم انجماده لعدم تعويض منصهر المعدن الذي يسبب حدوث تجويف في المسبوكة في هذا الموقع ويسمى تجويف الانكماش أو الأنبوب. بمجرد حدوث الانجماد النهائي وتحول المسبوكة إلى طور الصلب، فإنها تتعرض لمزيد من الانكماش في كلٍّ من ارتفاعها وقطرها خلال تبريد المسبوكة لحين وصولها إلى درجة حرارة الغرفة، كما هو مبيّن في الشكل (د). يتم تحديد مقدار الانكماش من خلال معامل التمدد الحراري للمعدن بطور الصلب، وهذا الانكماش يتسبب بحدوث عيوب أخرى وهي فجوات الانكماش المجهرية الداخلية.

يحدث انكماش الانجماد في جميع المعادن تقريباً لأن الطور الصلب ذو كثافة أعلى من السائل، إذ يؤدي تحول الطور المصاحب للانجماد إلى انخفاض في الحجم لكل وحدة وزن من المعدن، ما عدا حديد الزهر الحاوي على نسبة عالية من الكربون بسبب تكون الكرافيت.



شكل رقم 1-7 انكماش وتقلص مسبوكة أسطوانية أثناء التبريد والانجماد

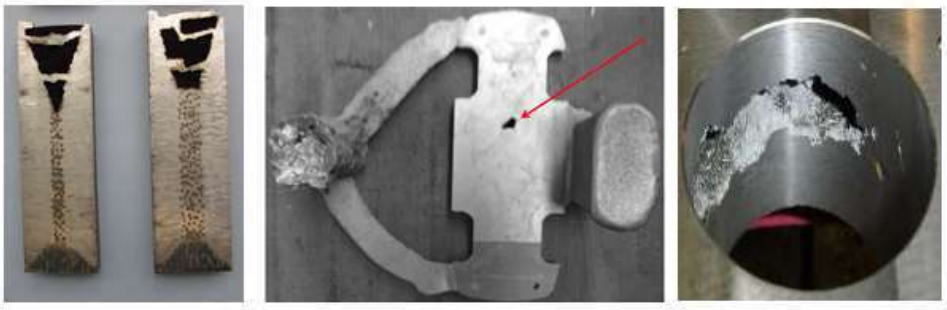
يتم تحقيق التعويض عن انكماش الانجماد بطرائق عدة اعتماداً على تقنيات السباكة، ففي السباكة الرملية يتم تعويض منصهر المعدن إلى تجويف القالب بواسطة المغذيات (الروافع) Risers، التي تُعد المستودع الذي لا ينضب عن تجهيز منصهر المعدن عند انجماد المسبوكة، وفي أي مرحلة من مراحل انجمادها. أما في السباكة بالضغط Die Casting فيتم التعويض بضغط منصهر المعدن داخل تجويف القالب المعدني.

إحدى طرائق تلافي عيوب الانكماش والتقلصات التي تحدث في أثناء صب منصهر المعدن وانجماده في قوالب السباكة، هي بتصميم نماذج المسبوكات Patterns بحيث يتم جعل تجاويف القوالب كبيرة الحجم واللباب Cores صغيرة الحجم تلافياً لظاهرة الانكماش. ويُطلق على مقدار نسبة التكبير والتصغير هذه في النماذج **بسماحات انكماش النماذج**. يتم اعتماد موديل رياضي لمقدار انكماش المعادن في تصميم النماذج وتجويف القوالب **بنسبة حجمية** مناسبة عن المسبوكة المصممة بالقياس المطلوب. يوضّح الجدول (1-1) المقادير النموذجية للانكماش الخطي لمختلف معادن المسبوكات، إذ يمكن استخدام هذه المقادير في تحديد مقاييس الموديل الرياضي للانكماش.

جدول رقم 1-1 مقادير الانكماش الخطي Linear لبعض المعادن والمسبوكات

المعدن	مقدار الانكماش	المعدن	مقدار الانكماش
سبائك الألمُنيوم	1.3%	مغنيسيوم	2.1%
البراص	1.3% - 1.6%	النيكل	2.1%
حديد الزهر (الرمادي)	0.8% - 1.3%	الفولاذ الكربوني	1.6% - 2.1%
حديد الزهر (الأبيض)	2.1%	الخارصين	2.6%

إن لعيوب التقلص والانكماش التي تحدث من بعد صب المعدن في تجويف القالب وفي أثناء التبريد والانجماد مشكلة كبيرة جداً في المسبوكات التي بسببها يتم رفض المنتج وهي خسارة لابد أن تتم دراستها ومعالجتها لكي يتم إنتاج مسبوكات خالية من العيوب، وخصوصاً في وضع تصاميم مناسبة لأشكال المغذيات والروافع Risers ومواقعها في تجويف القالب بالاعتماد على حجم المسبوكة وشكلها. الشكل رقم (1-8) يبيّن صور حقيقية لعيوب الانكماش التي تحدث في أثناء عملية الانجماد.

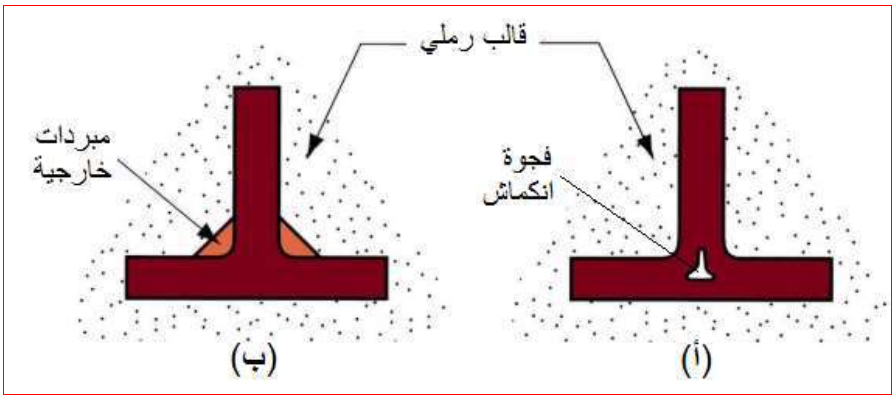


شكل رقم 1-8 صور حقيقية لعيوب انكماش الانجماد وتقلصات التبريد

1-4-3 الانجماد الاتجاهي Directional Solidification

يعرّف الانجماد الاتجاهي Directional Solidification بأنه التقنية التي يتم من خلالها السيطرة على انجماد منصهر المعدن، إن كان نقياً أو سبائكياً داخل قوالب السباكة باختلاف أنواعها سواء كانت جيدة أم رديئة التوصيل الحراري، وذلك باتباع أساليب معينة للحصول على مسبوكات خالية من العيوب Sound Casting وخصوصاً عيوب الانكماش والتقلص الحراري، وفي الوقت نفسه سيتم تحقيق خواص ميكانيكية جيدة ومرغوبة لتلك المسبوكات. ولغرض تحقيق الانجماد الاتجاهي فلابد أن تتم عملية الانجماد لمنصهر المعدن أولاً بالحيز الأبعد عن منظومة صب المعدن داخل تجويف القالب ومن ثم تستمر عملية الانجماد للمنصهر باتجاه المغذي أو الرافع Riser، ويجب أن يحدث بطريقة يتم فيها دائماً تعويض النقص بمنصهر المعدن الحاصل بسبب انكماش الانجماد من الرافع لمنع حدوث عيوب تجاويف الانكماش، أي أن يكون منصهر المعدن متاحاً دائماً للأجزاء الرقيقة التي تبدأ بالانجماد أولاً وتدريجياً نحو الأجزاء السميكة مع تغذية مستمرة لمنصهر المعدن للأجزاء السميكة. ومن الأمور المهمة الواجب مراعاتها لهذا المفهوم أيضاً، هي مراعاة قاعدة شفورينوف في تصميم منظومة الصب وتوجيه حركة منصهر المعدن داخل تجويف القالب، فضلاً عن تصميم الروافع والمغذيات.

هنالك طريقة أخرى لتحقيق الانجماد الاتجاهي وهي استخدام المبردات Chills وهي عبارة عن قطع معدنية صغيرة، وغالباً ما تكون من نوع معدن المسبوكة نفسه إن وضعت داخل تجويف القالب، إن وضع المبردات (وهي بالحالة الصلبة) قبل صب المنصهر ستكون حتماً مناطق لانجماد سريع لمنصهر المعدن الملامس لها بسبب فرق درجات الحرارة الكبير بين المبردات والمنصهر، ولهذا لابد أن يتم اختيار مواقعها بعناية لتحقيق هدف الانجماد الاتجاهي. المبردات الخارجية وهي الأكثر استخداماً من المبردات الداخلية، توضع على جدران تجويف القالب من الخارج وبإمكانها إزالة الحرارة من المعدن المنصهر بسرعة أكبر من الرمل المحيط بها من أجل تعزيز الانجماد، لاحظ الشكل (1-9). يتم استخدام المبردات الداخلية والخارجية بشكل فعّال في أجزاء المسبوكة التي يصعب تغذيتها بمنصهر المعدن، وبالتالي تشجيع الانجماد السريع في تلك الأجزاء بينما لا يزال الاتصال بمنصهر المعدن مفتوحاً.

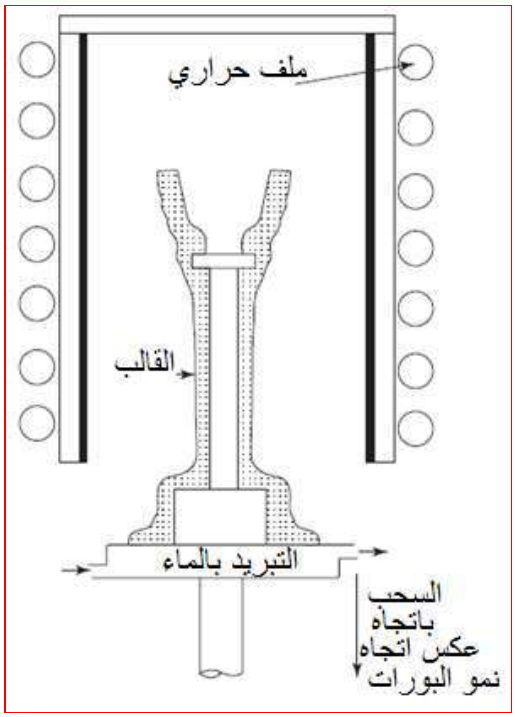


شكل رقم 1-9 مبردات خارجية: (أ) حصول فجوة انكماش بسبب انجماد غير مسيطر، **(ب)** لا وجود لفجوة الانكماش بسبب استخدام المبردات الخارجية.

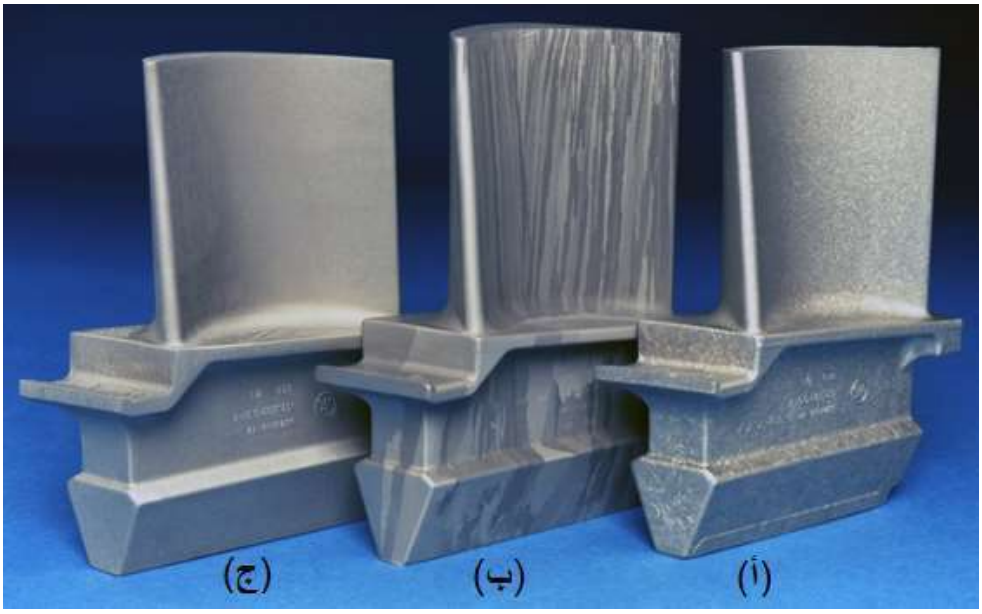
1-3-4-1 البلورة الأحادية Single Crystal

أحد أهم التطبيقات الحديثة للانجماد الاتجاهي هو إنتاج مسبوكات معدنية متكونة من بلورات طولية باتجاه واحد بالتوازي مع اتجاه الانجماد، مثل إنتاج أرياش التوربينات، ويتم ذلك بمقالبة خاصة ومحكمة، إذ تحاط جدران القالب من الخارج بملف حراري ويسحب ببطء شديد باتجاه منطقة صب منصهر المعدن، وبالاتجاه البعيد تتم عملية تبريد القالب بإمرار ماء بارد داخل ملفات نحاسية لغرض السيطرة على انتقال الحرارة باتجاه محدد واحد، كما مبيّن في الشكل رقم (1-10). إن إزالة معظم الحدود الحبيبية بالاتجاه المستعرض يحسن من مقاومة المسبوكات للزحف Creep أي مقاومة الجهود التشغيلية مع ارتفاع درجات الحرارة.

من الأمثلة البارزة لتعزيز ظاهرة الانجماد الاتجاهي، والبديلة عن إنتاج مسبوكات بلوراتها طولية باتجاه واحد، هو إنتاج مسبوكات من بلورة واحدة Single Crystal، التي لابد من تصنيعها من سبائك معدنية خاصة تمتلك خواص ميكانيكية عالية جداً، تتحمل في أثناء التشغيل إجهادات قاسية ومتنوعة فضلاً عن درجات حرارة مرتفعة جداً، ولولا تصنيعها من بلورة واحدة لظهر عليها الفشل بعد مدة قصيرة من التشغيل. إن تقنية إنتاج مسبوكة معدنية من بلورة واحدة تحتاج إلى قوالب مصممة خصيصاً لهذا الغرض تجسد القيود والتغيرات لإلغاء نمو كل النويات المشكّلة على سطح تجويف القالب وبقاء نمو بلورة واحدة موقعياً باتجاه معين واحد، وهذا لا يتم إلا بطرائق سباكة خاصة دقيقة جداً. الشكل رقم (1-11) يوضّح أرياش توربينية في محركات الطائرات تم تصنيعها بتقنيات سباكة مختلفة وهي سباكة تقليدية وسباكة بتقنية الانجماد الاتجاهي، والأخيرة بتقنية السباكة لإنتاج بلورة واحدة. بالرغم من أن تقنية إنتاج مسبوكات معدنية ببلورة واحدة هي تقنية مكلفة جداً بسبب تعقيدات مُعداتها وتحضيراتها، إلا أنها ساعدت منتجي المحركات التوربينية بزيادة كفاءة وأداء المحركات بشكل كبير من خلال تحسين تحمل أرياش المحركات التوربينية لارتفاع درجات الحرارة المتزايد والجهود الدورية الكبيرة المسلطة عليها.



شكل 1-10 الانجماد الاتجاهي المسيطر لإنتاج مسبوكات معدنية ببلورات طولية باتجاه واحد



شكل رقم 1-11 سباكة أرياش المحركات التوربينية: (أ) تقليدية، (ب) انجماد اتجاهي، (ج) بلورة واحدة

أسئلة الفصل الأول

س1) عرّف ما يأتي:

1. السباكة 2. المسبوكات الأولية 3. المسبّك 4. زمن إملاء القالب
5. السيوبة 6. نقطة الانجماد 7. البلورات الشجيرية 8. قاعدة شفورينوف
9. الانكماش الرئيس (الأنبوب pipe) 10. مسبوكات خالية من العيوب Sound Casting

س2) تقسم طرائق السباكة من حيث نوع القوالب إلى عدة أقسام، وضّحها، وبيّن استخدامات كل نوع.

س3) على ماذا تنص نظرية برنولي؟ ثم اكتب المعادلة المشتقة من تلك النظرية لحساب سرعة جريان منصهر المعدن.

س4) اكتب نص قانون الاستمرارية الذي له علاقة بجريان منصهر المعدن داخل تجويف القالب، ثم اكتب المعادلة التي تحكم ثبات معدل التدفق الحجمي.

س5) ما العوامل التي تؤثر على معدلات السيوبة في تقنيات السباكة المختلفة؟ وضّحها.

س6) ما مجموعة العوامل المهمة التي تؤثر بشكل فعّال على سرعة عملية الانجماد ونوعيته؟ بيّنها.

س7) قارن بالرسم بين انجماد معدن نقي ومعدن سبائكي من حيث: منحني التبريد ، خصائص البنية الحبيبية.

س8) يحدث الانكماش في أثناء عمليات السباكة بثلاث مراحل، وضّحها معززاً إجابتك بالرسم.

س9) وضّح مفهوم الانجماد الاتجاهي Directional Solidification، وما أهم تطبيقاته.

س10) املأ الفراغات الآتية بما يناسبها:

1. قانون حفظ الكتلة يستند على مبدأ أن الكتلة لا ..... ولا .....، أو بعبارة أخرى أن معدل التدفق الكتلي متساوٍ في أي نقطة من نقاط الجريان.
2. يصمم مقطع قناة الصب الهابطة بشكل ..... وبمقطع ..... لثبوت معدل التدفق الحجمي.
3. السيوبة مصطلح عام يجمع بين خصائص ..... وخصائص .....
4. إن وحدة قياس السيوبة هي وحدة قياس ..... مثل وحدة .....
5. إن المعادن النقية غير السبائكية حالها حال أي مادة نقية تنصهر وتنجمد بدرجة حرارة ..... وهي مساوية لنقطة الانجماد .....
6. إن عملية الانجماد في المعدن ..... معقدة بعض الشيء بسبب ..... في درجات حرارة انجماد المعادن الداخلة في السبيكة وخصوصاً عندما يكون التباين كبيراً.

7. عند استمرار هبوط درجة الحرارة داخل منصهر المعدن ستبدأ بلورات أخرى تتشكّل وتنمو باتجاه وسط تجويف القالب، وستكون هذه الحبيبات ..... الشكل ومن ثم تنمو لتتحول إلى ..... الشكل.
8. إن زمن الانجماد الكلي هو الزمن اللازم ما بين صب المنصهر لحين اكتمال انجماد جميع المنصهر داخل تجويف القالب، وإن هذا الزمن يعتمد بشكل أساس على ..... و..... المسبوكة.
9. إن قاعدة شفورينوف توضّح أنه كلما كانت نسبة حجم المسبوكة إلى مساحتها السطحية ..... كان زمن تبريد المسبوكة وانجمادها ..... والعكس صحيح.
10. تنشأ عيوب انكماش الانجماد عادةً من الفشل في ..... منصهر المعدن للمناطق التي حدثت فيها تقلصات في الطورين ..... و..... بعد صب منصهر المعدن في قالب السباكة.
11. إحدى طرائق تلافي عيوب الانكماش والتقلصات التي تحدث في أثناء صب منصهر المعدن وانجماده في قوالب السباكة هي بتصميم نماذج المسبوكات بحيث يتم جعل تجاويف القوالب ..... الحجم واللباب Cores ..... الحجم تلافياً لظاهرة .....

س11) علل ما يأتي:

1. يصب منصهر المعدن بدرجة حرارة أعلى من درجة انصهاره بمقدار معين.
2. يفضل الشكل الكروي عن بقية الأشكال في تصميم الروافع Risers أو المغذيات.
3. مقدار معدل صب منصهر المعدن في حوض الصب ذو مقدار حرج.
4. لا يمكن اعتماد مقدار السيوبة لكل منصهر من المعادن بشكل مطلق.
5. تصنع أرياش المحركات التوربينية بتقنية السباكة ببلورة أحادية.

س12) مقدار معدل التدفق الحجمي لصب منصهر معدنٍ ما يساوي ($1000\ cm^3/s$) وارتفاع القناة الهابطة يساوي ($20\ cm$)، جد أدنى مساحة لمقطع القناة الهابطة لمنع حدوث اضطراب جريان المنصهر. ج: ($5.0\ cm^2$)

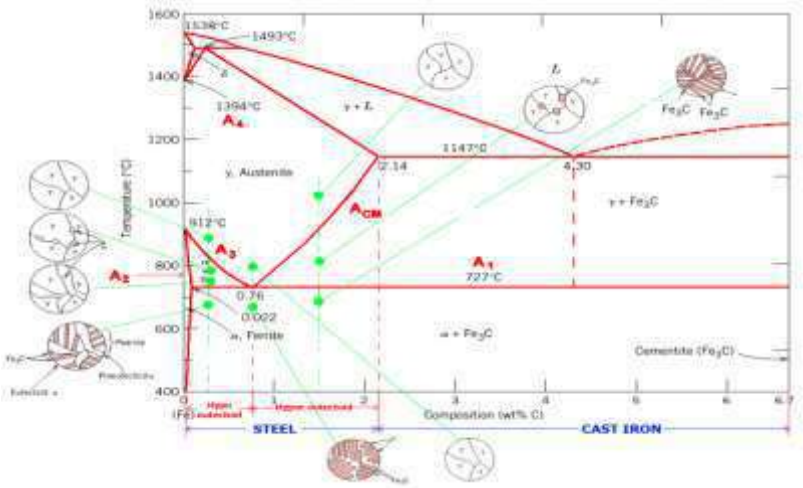
س13) قرص يراد سباكته من الألمُنيوم قطره يساوي ($500\ mm$) وسمكه ($20\ mm$)، إذا كان ثابت القالب في قاعدة شفورينوف يساوي ($C_m = 2\ \frac{s}{mm^2}$)، احسب مقدار الزمن الكلي لانجماد القرص. ج: ($171.5\ s$)

س14) احسب ارتفاع نموذج مسبوكة على شكل متوازي مستطيلات قاعدتها مربعة وارتفاعها يساوي ($5\ cm$)، إذا كان سماح الانكماش الخطي ($\frac{L_1-L_2}{L_2}$) للمعدن يساوي (4%). ج: ($5.2\ cm$)

الفصل الثاني

السبائك ومخططات الأطوار

Alloys & Phases Diagrams



الأهداف

الهدف العام:

سيتمكن الطالب في هذا الفصل من معرفة المعنى العام للسبائك، ومفهوم المحاليل الجامدة وأنواعها وكيفية الاستفادة من مخططات الأطوار ومعرفة أهمية هذه المخططات.

الأهداف الخاصة: بعد الانتهاء من دراسة الفصل الثاني سوف يتمكن الطالب من معرفة وفهم الآتي:

- المحاليل الجامدة Solid Solution
- المحاليل الجامدة الاستبدالية
- المحاليل الجامدة البينية
- مخططات الأطوار
- الإذابة التامة Complete Solubility

- خط الربط Tie Line
- قانون العتلة العكسية Inverse Lever rule
- الإذابة الجزئية Partial Solubility

السبائك ومخططات الأطوار

Alloys & Phases Diagrams

1-2 مقدمة Introduction

بصورة عامة وفي عالم المعادن وتكنولوجيا السباكة بصورة خاصة، من النادر التعامل مع معدن نقي (يحتوي على نوع واحد من الذرات)، إنما يكون التعامل عادةً مع السبائك (تحتوي على أكثر من نوع واحد من المعادن)، وتختلف هذه السبائك في تراكيز المعادن بحسب نوع السبيكة، إذ دائماً هنالك معدن له النسبة الأكبر من تكوين السبيكة ويطلق عليه اسم (المذيب Solvent)، والمعدن أو المعادن الأخرى ذات التراكيز القليلة بالسبيكة يطلق عليها اسم (المُذاب Solute)، ويُسمى التركيب الجامد الذي يحوي هذا التشكيل بـ (المحلول الجامد Solid Solution). جميع مخططات الأطوار في هذا الفصل هي مخططات اثرائية غير مطلوب حفظها من قبل الطالب، بل تساعده في فهم موضوع تكوين السبائك والإجراءات التي تحدث بعد صب منصهر المعدن في قوالب السباكة وانجماد المنصهر لحين وصول المسبوكة إلى درجة حرارة الغرفة.

2-2 المحاليل الجامدة Solid Solutions

يمكن تعريف المحاليل الجامدة **بأنها خليط متجانس من ذرات مواد مختلفة، بحيث لا تؤثر ذرات المادة المضافة على البنية البلورية لذرات المادة المستضيفة**. ويمكن تعريف المحاليل الجامدة فيما يخص المعادن بأنها **التركيب الجامد لمعدن ما عند إضافة ذرات معدن آخر إلى تركيبه من غير تغيير البنية البلورية للمعدن الأساس.**

وتتكون المحاليل الجامدة بالاعتماد على:

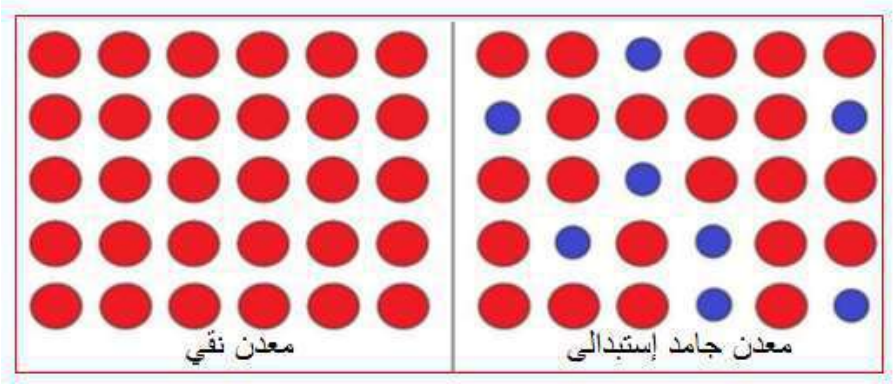
1. نوع ذرات المادة المضافة (المذابة).
2. تركيز المادة المذابة.
3. درجتي حرارة انصهار المواد الداخلة في المحاليل الجامدة (السبائك).

ولتوضيح ذلك بمثالٍ بسيط قريب من الواقع العملي، عند إضافة الكحول إلى الماء يُلاحظ أن الخليط المتكون هو عبارة عن خليط مولي متجانس شفاف حافظ على خصائص الماء العامة، وأضاف إلى المحلول بعض خصائص الكحول، وهكذا هو الأمر مع المحلول الجامد، فهو محلول متجانس حيث تتوزع فيه الذرات المذابة بصورة عشوائية وغير منتظمة داخل المذيب الجامد.

من هذا المبدأ يُلاحظ أن توزيع ذرات المُذاب في المحلول الجامد يكون بنوعين الأول يسمى **استبدالي** Substitutional والثاني يسمى **بيني** Interstitial.

1-2-2 المحاليل الجامدة الاستبدالية Substitutional Solid Solutions

هي المحاليل الجامدة التي يتم فيها تبادل مكان ذرة المذيب بذرة مُذاب وتكون العملية إستبدالية بين ذرات المذيب والمُذاب، بمعنى آخر تتكون هذه المحاليل عندما تشغل ذرة المُذاب مكان أو حيز ذرة مذيب كاملة، وكما هو مبين في الشكل رقم (2-1).



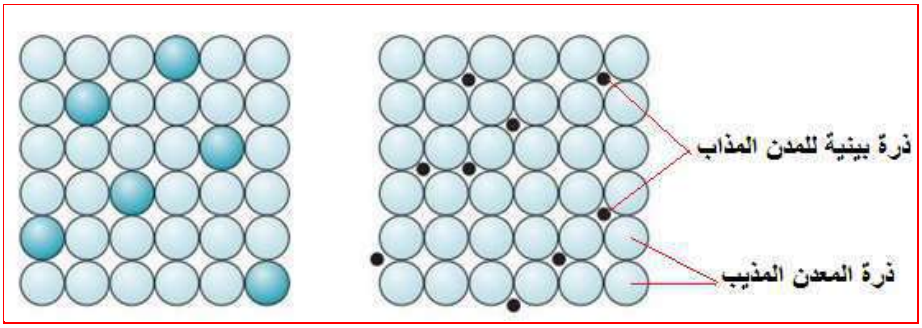
شكل رقم 2-1 المحلول الجامد الاستبدالي والمعدن النقي (الكرات الحمراء هي ذرات المذيب والكرات الزرقاء ذرات المُذاب)

يجب أن تتوافر شروط عديدة خاصة بخلط المعادن للحصول على هذا النوع من المحاليل الجامدة، إذ أنه من الممكن لأي خليط من المعادن تكوين سبائك ذات محاليل جامدة إستبدالية، بتوافر الشروط الآتية:

1. تطابق البنية البلورية (Crystal Structure) للمذيب والمُذاب، على سبيل المثال المعدنين لهما بنية بلورية من نوع الشبكة المكعبة متمركزة الجسم BCC أو الشبكة المكعبة متمركزة الوجه FCC.
2. تقارب حجوم ذرات المذيب والمذاب، بحيث لا يتجاوز الفرق في نصف أقطار الذرات بينهما عن 15% كحدٍ أعلى.
3. التشابه الكيمياوي لذرات المذيب والمذاب، بمعنى آخر قرب ذرات كل عناصر المحلول (السبيكة) من بعضهما في الجدول الدوري.
4. تطابق قوى التكافؤ، إذ يميل المعدن إلى تذويب معدن آخر ذي قوى تكافؤ عالية أكثر من معدن ذي قوى تكافؤ واطئة، بمعنى آخر يجب أن يكون المُذاب ذا معامل تكافؤ (Valence Factor) مساوياً أو أعلى بقليل من قوى تكافؤ المذيب.
5. درجتي حرارة انصهار المواد الداخلة في السبيكة متقاربة، كلما كانت درجة حرارة الانصهار التي هي نفسها درجة حرارة انجماد المعادن الداخلة في النظام السبائكي متقاربة شجعت على تكوين المحلول الجامد الاستبدالي.

2-2-2 المحاليل الجامدة البينية Interstitial Solid Solutions

هي المحاليل الجامدة التي تتكون عندما تتداخل ذرات المذاب بين ذرات المذيب، لاحظ الشكل رقم (2-2)، الذي يبين الفرق بين المحلول الجامد البيني عن المحلول الجامد الاستبدالي. عند تكوين المحاليل الجامدة البينية يجب أن يكون نصف القطر الذري لذرات المُذاب أقل من نصف القطر الذري لذرات المذيب بـ (59%)، إذ إن ذرات المذاب تملأ الفراغات الموجودة بين ذرات المذيب، وكمثال على ذلك فإن ذرات الكاربون المذابة في الحديد تشكل محلولاً جامداً تداخلياً، إذ أن نصف قطر ذرة الكاربون يساوي (0.07 nm)، ونصف قطر ذرة الحديد (0.12 nm). وعلى الرغم من تحقق صغر نصف قطر ذرة المُذاب، إلاّ أن أعلى تركيز مسموح لذرات المُذاب في المحلول الجامد البيني يكون قليلاً حيث إن نصف قطر ذرات المُذاب هي عادة أكبر من مواقع التداخل (المسافات البينية) في المذيب.



شكل رقم 2-2 المحلول الجامد البيني (اليمين) مقارنةً بالمحلول الجامد الاستبدالي (يسار)

3-2 مخططات الأطوار Phase Diagrams

هي مخططات بيانية توضح الطور الحالي للسبيكة تحت ظروف مختارة من درجة حرارة وضغط وتراكيز، عندما يكون النظام (السبيكة) في حالة توازن ديناميكي حراري (Thermodynamic Equilibrium)، أما كلمة طور (Phase) فهي تشير إلى الأجزاء المتجانسة من النظام الذي تكون من عناصر معينة لها خصائص فيزيائية وكيميائية منتظمة. (جميع مخططات الأطوار مساعدة في فهم الموضوع والطالب غير ملزم بحفظها).

إن عملية فهم مخططات الأطوار للسبائك مهمة جداً بسبب وجود العلاقة القوية بين التركيب المجهري للسبيكة وخصائصها، بالإضافة إلى كون مخططات الأطوار تبين معلومات قيّمة حول انجماد السبيكة المنصهرة وظواهر أخرى. في نظام السبائك وعند درجة حرارة معينة يُلاحظ إن ذرات العنصر المُذاب في الخليط تصل إلى حدٍ معين من التركيز ليكون محلولاً جامداً، وبعدها تبدأ ذرات العنصر المُذاب بالترسب وعدم الذوبان (الاندماج) بذرات العنصر المذيب وهذا يطلق عليه بـ (حد الذوبان Solubility Limit).

لفهم هذا المصطلح أكثر، عند إضافة ملعقة صغيرة من السكر في كوب ماء، يُلاحظ أن ملعقة السكر تذوب بشكل كامل في الماء مكونةً محلولاً سائلاً (Liquid Solution) من ماء وسكر، وعند الاستمرار بالإضافة يُلاحظ أن السكر يذوب إلى أن يصل إلى حدٍ معين ويبدأ فيه السكر بعدم الذوبان في الماء ويترسب في قعر الكوب هنا يطلق على هذا المحلول بالمحلول المشبع (Saturated Liquid). يوجد أيضاً في نظام السبائك (حد الذوبان) وفي كثير من الحالات نجد أن المحلول الجامد يصبح محلولاً مشبعاً، وتوثر درجة الحرارة على (حد الذوبان) فكلما ارتفعت درجة الحرارة ازداد حد الذوبان.

بالرجوع إلى تعريف الطور (Phase) كما ورد سابقاً، يُلاحظ إن كل المواد النقية (صلبة/ سائلة/ غازية) تُعد طور، وكذلك إن بعض المحاليل الجامدة لها أكثر من طور، وهذه الأطوار تختلف من الناحية الفيزيائية والكيميائية أو أحدهما، كما ورد في حالة محلول السكر مع الماء المشبع حيث يلاحظ إن محلول (السكر+ الماء) يُعد طور، وهو سائل وفيه سكر غير مذاب على شكل دقائق (Particles) صلبة وهو طور ثانٍ، والتغيير هنا بكلا الخصائص الفيزيائية والكيميائية بالنسبة للطورين، ولكن لو يُلاحظ محلول (الماء + الثلج) فإنه يُعد محلول فيه طوران الأول (ماء) وهو سائل والثاني (ثلج) وهو صلب، وهنا التغيير أصبح بالخصائص الفيزيائية فقط، وهي تكفي للفصل بين الطورين، وكل هذه الأمثلة هي أمثلة توضيحية لمفهوم المحاليل العامة التي تنطبق عليها مفاهيم المحاليل الجامدة.

مما ذُكر أعلاه يُلاحظ الآتي:

إذا كان المحلول يحوي على أكثر من طور فلكل طور خصائص مختلفة خاصة به، والحدود الفاصلة بين الأطوار سوف تظهر بينهم وتبين التغيير المفاجئ في الخصائص الفيزيائية والكيمائية أو أحداهما.

تسمى المحاليل ذات الطور الواحد بـ (النظام المتجانس Homogenous System)، والمحاليل ذات الأطوار المتعددة تسمى بـ (النظام غير المتجانس Heterogeneous System).

بعد معرفة معنى الطور (Phase) وكيف يتم الكشف عنه بـ مخطط الأطوار (Phase Diagram) لابد من معرفة أهمية هذه المخططات في تكنولوجيا السباكة، إذ تعتمد الخصائص الفيزيائية والميكانيكية بصورة كبيرة على البُنية المجهرية للسبيكة الناتجة عن عملية الانجماد (Solidification) التي هي ظاهرة تسمح لخليط من عناصر مختلفة لتكوين سبيكة منجمدة.

هنالك عدة متطلبات لعملية الانجماد، وهي كالآتي:

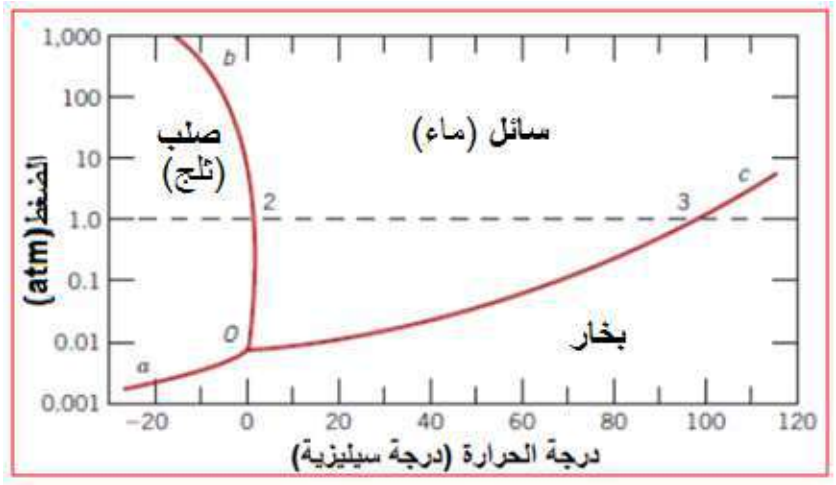
1. التنوية (Nucleation) وهي بداية تكوين أول نواة منجمدة داخل منصهر السائل.
2. إعادة توزيع ذرات المذاب (Solute) بين السائل والصلب، الذي ينتج عنه اختلاف بالتركيب الموضعي (Local Composition) للتركيب الجامد نتيجة لعدم كفاية الوقت للوصول إلى التركيب المتوازن (Equilibrium Composition) وخاصة عند السباكة.
3. أغلب المعادن النقية والسبائك تخضع إلى ظاهرة (التغيير السلبي في الحجم عند الانجماد)، وتسمى بظاهرة الانكماش (Shrinkage)، التي يجب أن تُؤخذ لها التدابير الصحيحة خلال عملية السباكة للتقليل من هذه الظاهرة.

تقسم مخططات الأطوار إلى:

مخطط طور أحادي (Unary Phase Diagram) ومخطط طور ثنائي (Binary Phase Diagram)

1-3-2 مخطط طور أحادي Unary Phase Diagram

وهو من أسهل وأبسط مخططات الأطوار، حيث يكون المحلول ذا مركب واحد فقط (One Component System)، أي يكون التركيب ثابتاً لكل الأطوار (وهذا ينطبق على المواد النقية) وتكون درجة الحرارة والضغط هما العاملان المتغيران في المخطط فقط. وكمثال على ذلك يُؤخذ الماء كمثال قريب للعمل، وكما مبين بالشكل رقم (2-3). إذ يُلاحظ أن الخط الأفقي يمثل درجة حرارة النظام ويُقاس بالدرجة السيليزية (°C)، والمحور العمودي يمثل الضغط ويُقاس بوحدة الضغط الجوي (atm) وفي المخطط يُلاحظ ثلاثة أطوار (صلب / سائل / غاز) ولنفس المركب وهو الماء (H_2O).



شكل رقم 2-3 مخطط طوري للماء (درجة الحرارة- الضغط)

2-3-2 مخطط الأطوار الثنائي Binary Phase Diagram

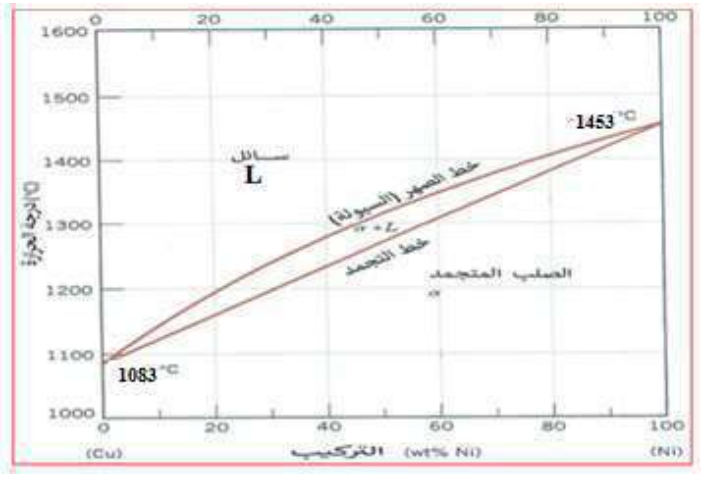
وهو النوع الأكثر شيوعاً بين مخططات الأطوار، الذي يكون فيه التركيب (Composition) ودرجة الحرارة (Temperature) هما العاملان المتغيران في المخطط، أما الضغط الجوي فيكون ثابتاً (عادة يكون 1 ضغط جو).

يُعد مخطط الأطوار الثنائي خريطة تتمثل فيها العلاقة بين درجة الحرارة والتركيب ومقدار الأطوار عند التوازن الديناميكي الذي بدوره يؤثر على البُنية المجهرية للسبيكة. تتطور البنية المجهرية من خلال التحولات الطورية (Phase Transformation) التي تنتج عن تبريد المنصهر، وهذا يشمل عادة التحول من طور إلى آخر في أثناء عملية التبريد أو ظهور أو اختفاء للطور، لذلك مخطط الطور الثنائي يساعد على تحديد التحولات الطورية ونتائج البُنية المجهرية.

4-2 أنظمة ثنائية متماثلة Binary Isomorphism System

سُميت هذه الأنظمة بـ (المتماثلة Isomorphism)، لأن العناصر المكونة للنظام تكون ذات بنى بلورية متماثلة، بمعنى يكون نصف القطر الذري تقريباً متماثلاً، خاصية تجاذب الإليكترونات (Electronegativity) وعامل التكافؤ (Valance factor) يكونان أيضاً متماثلان، وكنتيجة لذلك يكون هنالك **إذابة تامة (Complete Solubility)** للمكونات، وكمثال على ذلك سبيكة النحاس (Cu) والنيكل (Ni)، وكما هو موضّح بالشكل رقم (2-4). إذ يُلاحظ أن درجة الحرارة متمثلة بالخط العمودي للمخطط ومقاسة بالدرجة السيليزية (°C)، أما الخط الأفقي للمخطط فيمثل التركيب (Composition) للنيكل (Ni) في النظام، إذ عندما يكون تركيز التركيب الكيميائي (صفر%) للنيكل يكون تركيز النحاس (Cu) (100%) على يسار الخط الأفقي للمخطط، وعندما يكون تركيز النيكل (100%) يكون تركيز النحاس (صفر%) على يمين الخط الأفقي للمخطط.

في داخل المخطط هنالك خط مكتوب عليه (خط الانصهار أو السيولة Liquids Line) ويمثل هذا الخط تغيير النظام بصورة تامة إلى منصهر (سائل) في الجانب الذي يكون أعلى الخط، وهنالك أيضاً خط يسمى (خط الانجماد Solidus Line) ويمثل تغيير النظام إلى الحالة الصلبة (المتجمدة) في الجانب الذي يكون أسفل الخط، وما بينهما يكون بين الحالة السائلة والصلبة.



شكل رقم 2-4 مخطط طوري ثنائي لسبيكة نحاس Cu- نيكل Ni

ويُلاحظ من الشكل أعلاه ثلاث مناطق طورية، منطقة ألفا (α) وهي المنطقة المتجمدة (الصلبة)، ومنطقة (L) وهي منطقة السائل (المنصهر)، ومنطقة الطورين (α+L). في منطقة الطور (L) السائل يوجد محلول سائل متجانس يحوي ذرات النحاس والنيكل، أما في منطقة الطور (α) الصلب يوجد محلول جامد استبدالي يحوي ذرات نحاس ونيكل وله بنية بلورية (FCC)، وعند درجة حرارة أقل من (1080°C) يُلاحظ أن هنالك إذابة تامة لذرات النحاس والنيكل في الحالة الصلبة، وهذه الإذابة التامة أصبحت نتيجة للتماثل الكبير بين ذرات النحاس والنيكل في:

1. البنية البلورية Crystal Structure إذ كلا المعدنين لهما البنية البلورية نفسها، وهي (FCC).
2. نصف القطر الذري للعنصرين، إذ نصف القطر الذري للنحاس يبلغ 0.128 نانومتر ونصف القطر الذري للنيكل يساوي 0.124 نانومتر.
3. خاصية تجاذب الإليكترونات (Electronegativity).
4. عامل التكافؤ (Valence Factor).

وبالرجوع إلى الشكل رقم (2-4) يُلاحظ أن خطي الانصهار والانجماد يتقاطعان عند طرفي خط درجة الحرارة، وهذه التقاطعات تمثل درجة حرارة الانصهار (Melting Point Temperature) للمعادن النقية للنظام، حيث يُلاحظ إن درجة حرارة انصهار النحاس النقي (1083°C) ودرجة حرارة انصهار النيكل النقي (1453°C)، فعند تسخين النحاس النقي يُلاحظ أنه يبقى صلباً إلى أن تصل درجة حرارته إلى درجة انصهاره، وعملية تحويل الصلب إلى سائل (منصهر) تتطلب وقتاً، فتبقى درجة حرارة النظام عند درجة حرارة الانصهار من دون أن ترتفع إلى أن يتحول كامل النظام إلى سائل منصهر وبعد التحول التام تُلاحظ الزيادة في درجة حرارة النظام. ولأي تركيب (غير نقي) فإن درجة حرارة الانصهار تظهر على شكل مدى من درجات الحرارة التي تكون محصورة بين خطي الانصهار والانجماد، وخلال هذه الفترة يتكون طوران أحدهما (α) الصلب والآخر (L) السائل.

مثال على ذلك عند رفع درجة حرارة سبيكة مكونة من 50% نحاس و 50% نيكل، تبدأ عملية الانصهار عند درجة حرارة (1280°C)، وكمية السائل المنصهر تزداد بزيادة درجة الحرارة إلى أن تصل إلى درجة (1320°C)، ليتحول كامل النظام إلى منصهر. إن أهمية هذه المخططات تكمن في معرفة التركيب المجهري للسبيكة، مما يساعد على التنبؤ بمعرفة وتعديل الخصائص الميكانيكية والفيزيائية المهمة لأي تصميم هندسي. كيف تتم معرفة نوع وكمية التركيب الكيميائي للسبيكة من خلال هذه المخططات؟ في مثل هكذا مخططات يمكن على الأقل معرفة ثلاثة أمور أساسية عن السبيكة وهي:

1. الأطوار الخاصة بالنظام عند درجة حرارة معينة.
2. النسبة المئوية لكل طور.
3. مقدار كمية التركيب الكيمياوي (Chemical Composition) لتلك الأطوار وعند أي درجة حرارة.

لمعرفة كيفية استخراج أنواع وعدد الأطوار من المخططات الطورية، سيتم أخذ مثال بسيط من مخطط ثنائي طوري (نحاس + نيكل)، الموضّح في الشكل رقم (2-5) وسيتم حساب الآتي:

أولاً: النسبة المئوية للطور

لإيجاد تركيز الطور يجب أن يُحدد في بداية الأمر تركيز التركيب الكلي للسبيكة مع درجة الحرارة، ولتكن على سبيل المثال سبيكة ذات التركيز 35% نيكل التي تمثل بعلامة (C_0) في المخطط وهنا يشمل احتمالين لدرجة الحرارة:

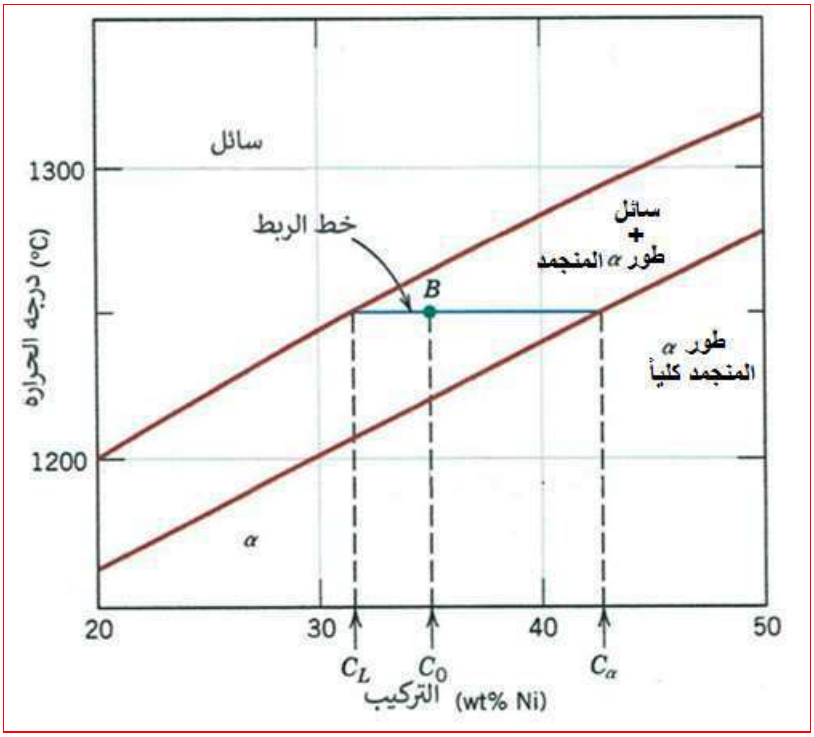
الاحتمال الأول: أن تكون درجة الحرارة أعلى من خط الانصهار أو أسفل خط الانجماد، وهنا يكون تركيز المكونات للسبيكة ثابتاً حسب التركيز الكلي لمكونات السبيكة العام، لأن النظام كله متجانس والنظام يكون بطور واحد (بمعنى تركيز النيكل يكون 35% والنحاس 65%).

الاحتمال الثاني: أن تكون درجة الحرارة في منطقة الطورين كما ممثلة بالنقطة (B) في الشكل عند درجة حرارة (1250°C)، وهنا يجب أن يُستخدم بما يسمى (خط الربط Tie Line)، وهو خط أفقي وهمي يمد على جانبي نقطة محددة في مخطط ثنائي الأطوار في منطقة الطورين لإيجاد نسب كل طور على حدة. وحساب ذلك يتم باتباع الخطوات أدناه:

1. يُرسم خط أفقي عند درجة حرارة معينة تلامس خطي الانصهار والانجماد.
2. تُحدد نقاط التلامس على خطي الانصهار والانجماد.
3. يُسقط خط عمودي من نقاط التلامس على خط التركيب أسفل المخطط.

يُلاحظ أن الإسقاط العمودي لنقطة تلامس خط الانصهار يكون على النسب المئوية 31.5% نيكل و 68.5% نحاس وتُعد النسبة المئوية لتراكيز الطور السائل الذي يمثل بالرمز (C_L) بالمخطط.

وبالطريقة السابقة نفسها تُحدد النسبة المئوية لتركيز الطور المنجمد الذي يمثل بالرمز (C_α) بالمخطط، إذ يكون الإسقاط العمودي من نقطة تلامس خط الانجماد على النسبة المئوية 42.5% نيكل و 57.5% نحاس.



شكل رقم 2-5 مخطط طور ثنائي (نحاس/ نيكل) لاستخراج نسب الأطوار للنظام

ثانياً: مقدار كمية الطور

بالطريقة السابقة نفسها يُحدد تركيز التركيب الكلي للسبيكة (C_0) مع درجة الحرارة، وأيضاً يشمل احتمالين:

الاحتمال الأول: في منطقة الطور الواحد، وكما تم شرحه سابقاً.

الاحتمال الثاني: في منطقة الطورين، وهنا يجب تطبيق قانون (العتلة العكسية Inverse Lever Rule) وحسب الخطوات الآتية:

1. رسم خط الربط على المخطط (كما شُرح سابقاً).
2. يطبق القانون الآتي:

$$W_L = \frac{C_\propto - C_o}{C_\propto - C_L} \quad \text{.....} \quad (2\text{-}1)$$

إذ أن:

W_L = مقدار تركيز السائل في الطور.

C_o = تركيز التركيب الكلي للسبيكة.

C_α = تركيز الطور المنجمد.

C_L = تركيز الطور السائل.

وبالرجوع إلى الشكل رقم (2-5) وعند نقطة (B) فإن كمية النيكل المنصهر في الطور:

$$w_L = \frac{42.5-35}{42.5-31.5} = \frac{7.5}{11} = 0.68$$

3. لاستخراج مقدار كمية الصلب (المنجمد) (W_α) في الطور يُطبق القانون الآتي:

$$W_\alpha = \frac{C_o - C_L}{C_\alpha - C_L} \quad \text{.....(2-2)}$$

إذ أن:

W_α = مقدار تركيز المنجمد في الطور.

C_o = تركيز التركيب الكلي للسبيكة.

C_α = تركيز الطور المنجمد.

C_L = تركيز الطور السائل.

وأيضا بالرجوع إلى الشكل رقم (2-5) وعند نقطة (B) فإن كمية النيكل المتجمد في الطور:

$$w_\alpha = \frac{C_0-C_L}{C_\alpha - C_L} = \frac{35-31.5}{42.5-31.5} = \frac{3.5}{11} = 0.32$$

إن التركيب المجهري Microstructure مهم جداً في تحديد خصائص السبيكة الميكانيكية والفيزيائية، وكما ذُكر سابقاً فإن مخططات الأطوار تبين نوع ونسب الأطوار في السبيكة ولكل مرحلة من مراحل الانجماد Solidification، لذلك سيُؤخذ مثال وتُتبع عملية الانجماد لسبيكة (نحاس- نيكل) 65% نحاس و 35% نيكل، الشكل رقم (2-6) يمثل المنحنى الطوري (Phase Diagram) لتطور التركيب المجهري خلال عملية انجماد متوازنة لسبيكة نحاس 65% ونيكل 35%، على أن يكون التبريد بطيء جداً لينتج عنه عملية انجماد متوازنة، وسيُفترض إن عملية التبريد للسبيكة بدأت عند درجة حرارة مقدارها (1300°C)، ومن الشكل رقم (2-6) يُلاحظ الآتي:

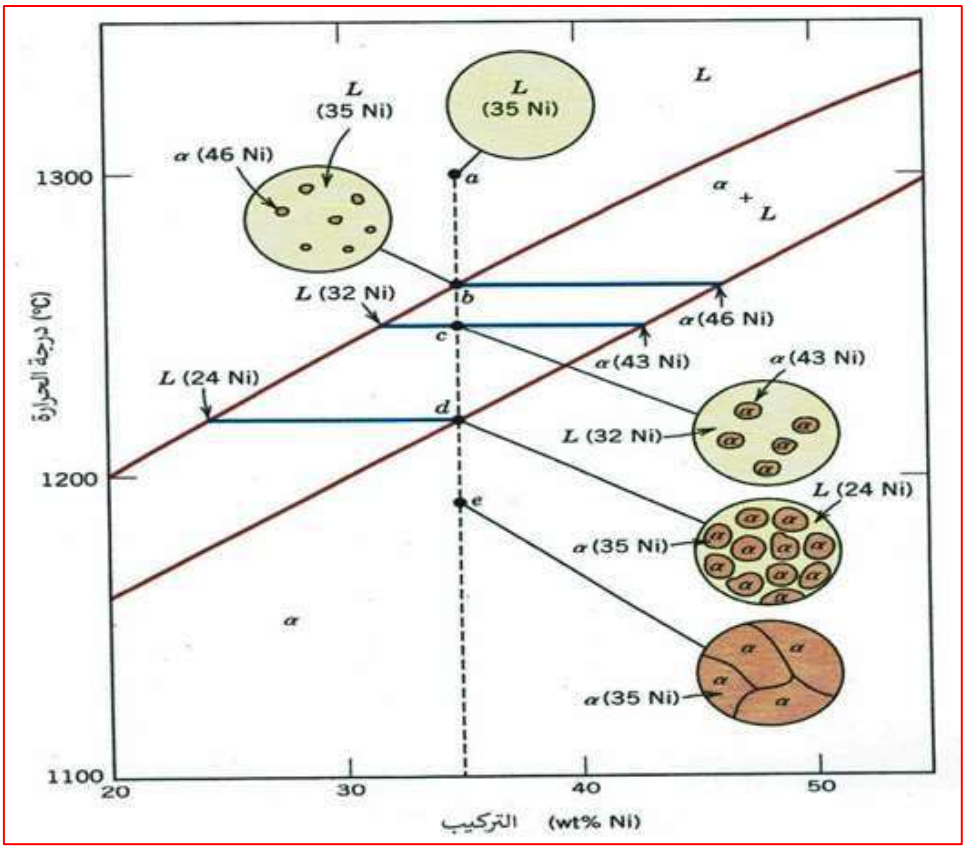
1. عند النقطة (a) يُلاحظ إن كل السبيكة عبارة عن طور واحد (سائل) متكون من (65% نحاس + 35% نيكل).

2. عند النقطة (b) بدأت تتكون نويات صغيرة أثناء عملية الانجماد عند درجة حرارة (1260°C)، وفي هذه الحالة تكون طوران للمحلول الأول سائل وهو طور (L)، ونسبة مكوناته (65% نحاس + 35% نيكل) والطور الثاني جامد وهو طور (α) ونسبة مكوناته (54% نحاس + 46% نيكل).

3. عند النقطة (c) ومع استمرارية عملية التبريد وعند درجة حرارة (1250°C) سيزداد حجم الطور الجامد (α) وتكون نسبته (57% نحاس و 43% نيكل) والطور السائل (68% نحاس و 32% نيكل)

4. عند النقطة (d) يبقى هنالك طور سائل (L) عند هذه الدرجة الحرارية ونسبة مكوناتها (76% نحاس و 24% نيكل).

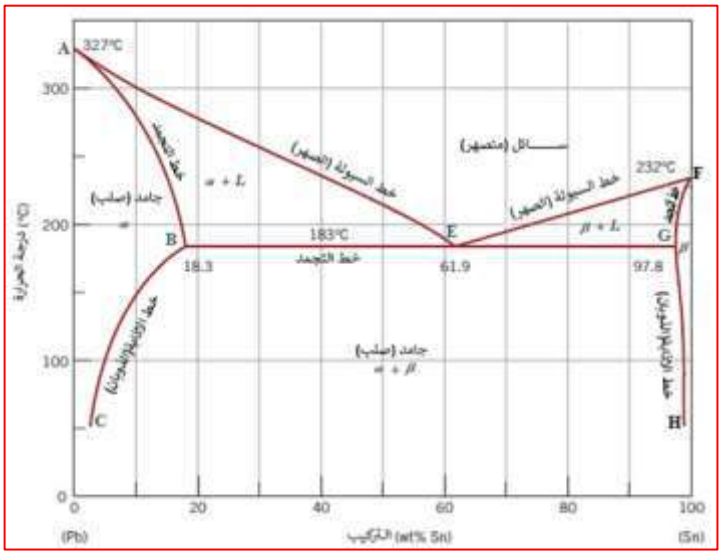
5. عند النقطة (e) لا يتبقى أي سائل عند درجة حرارة أسفل خط الانجماد، ولكن ينتج عنه محلول جامد متعدد البلورات بطور (α) (Polycrystalline α-Phase Solid Solution)، ونسبة مكوناته (65% نحاس و 35% نيكل) وعند الاستمرار بعملية التبريد لن ينتج أي تغيير في هذا الطور.



شكل رقم 2-6 المنحنى الطوري للتطور الحاصل في التركيب المجهري في أثناء عملية الانجماد لسبيكة نحاس – نيكل

5-2 أنظمة ثنائية يوتكتيكية Binary Eutectic System

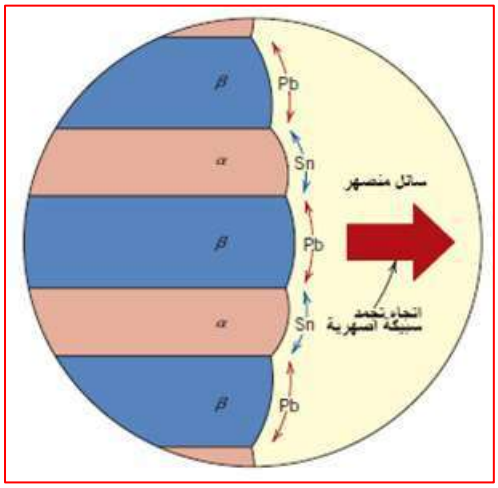
تُعد هذه الأنظمة من أشهر وأوسع أنظمة السبائك، وغالباً ما يطلق عليها بـ **(أنظمة الإذابة الجزئية Partial Solubility Systems)**، وسُميَت بهذا الاسم لأن عناصر نظامها تتكون من ثلاثة أطوار عند عملية الانجماد (Solidification)، فليس هنالك إذابة تامة لعنصر في عنصر آخر، ولكن كل عنصر في هذا النظام يكون في بعض الحالات **مذيب** وفي بعض الحالات **مُذاب**، لذلك ستكون الذوبانية Solubility لكل عنصر في المحلول الجامد جزئية ومحدودة، لاحظ شكل رقم (2-7) (مخطط طوري لسبيكة رصاص Pb - قصدير Sn) إذ يُلاحظ في هذا المخطط ثلاثة أطوار: **الأول** هو الطور السائل المنصهر(L)، **والثاني** هو طور ألفا (α) وهو محلول جامد للقصدير المُذاب في الرصاص، بينما يمثل **الثالث/** طور بيتا (β) وهو محلول جامد للرصاص المذاب في القصدير.



شكل رقم 2-7 مخطط طوري لسبيكة رصاص Pb - قصدير Sn

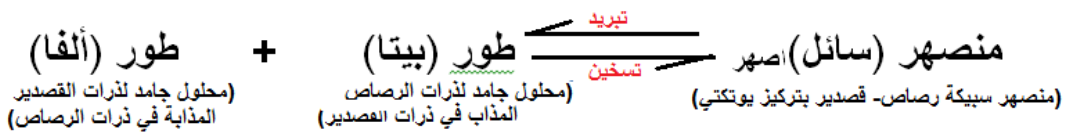
في الشكل أعلاه يُلاحظ أنه فقط تحت الخط BEG يوجد محلولان جامدان (α+β) وحدود الذوبان لطور (α) محدد بالخط ABC بين منطقتي (α/α+β – α/α+L)، كما يُلاحظ عند ازدياد درجة الحرارة، يزداد هذا الحد لأعلى نقطة ممكنة متمثلة بالنقطة (B) في الشكل أعلاه عند درجة حرارة مقدارها (183°C)، ونسبة تركيز القصدير Sn 18.3%، ثم يبدأ بالنزول إلى درجة الصفر عند درجة حرارة (327°C وهي درجة ذوبان الرصاص النقي). عند درجة حرارة أقل من (183°C)، يكون الخط (BC) هو الحد الفاصل بين ذوبانية القصدير في الرصاص، ويسمى هذا الخط بـ **(خط الإذابة أو الذوبان Solvus Line)** وهو يُمثل حد ذوبانية الجامد Solid Solubility Limit (انخفاض ذوبانية القصدير بالرصاص في الحالة الصلبة مع انخفاض درجة الحرارة)، ويفصل بين طورين (α -β+α) وكذلك الحال للخط (GH) بالنسبة لطور (β).

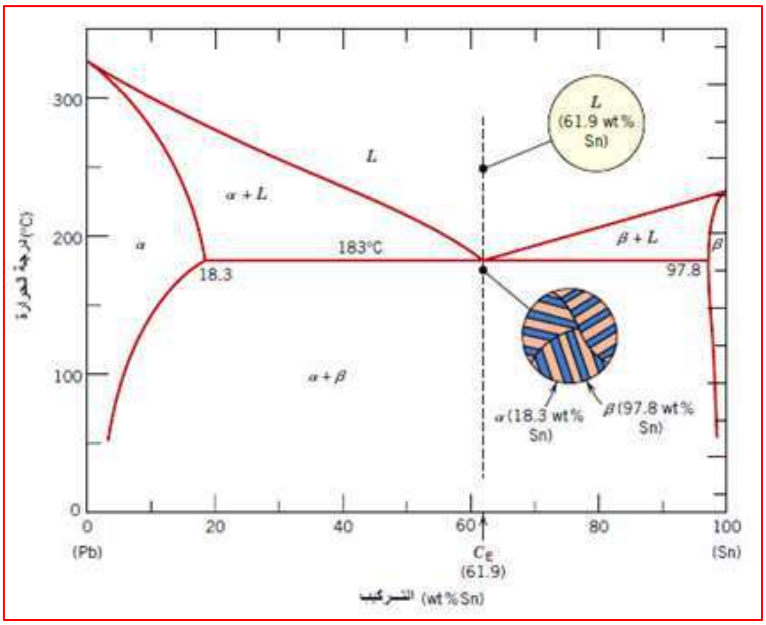
بإضافة القصدير إلى الرصاص، فإن درجة حرارة انصهار السبيكة تبدأ بالنقصان على طول خط الانصهار (السيولة) خط (AE)، ويمكن قول الحقيقة نفسها إلى القصدير عند إضافة الرصاص إليه، كما مُبين عند الخط (EF) في الشكل المذكور. عند النقطة (E) في المخطط الطوري أعلاه تتلاقى خطوط السيولة (AE + EF) وتسمى هذه النقطة بـ (النقطة اليوتيكتيكية Eutectic Point) التي يكون تركيب السبيكة فيها تركيباً يوتيكتيكياً Eutectic Composition (C_E)، ودرجة الحرارة تسمى درجة الحرارة يوتكتك Eutectic temperature (T_E)، إذ يصبح سلوك السبيكة عند هذه النقطة كسلوك المعادن النقية عند الانصهار والانجماد Solidification، إذ يتحول كامل المنصهر إلى طور يوتكتك (ميكانيكي) بعد مدة من الزمن بثبوت درجة الحرارة، ولكن يكون بطورين من المحاليل الجامدة وليس طوراً واحداً كما في المعادن النقية، لاحظ الشكل رقم (2-8) الذي يبين السلوك اليوتيكتيكي لسبيكة رصاص- قصدير.



شكل رقم 2-8 رسم توضيحي لعملية انجماد لتركيب يوتيكتيكي عند درجة حرارة اليوتكتك لسبيكة رصاص – قصدير

بينما يلاحظ في الشكل رقم (2-9) نسبة تركيز التركيب 61.9% رصاص و 38.1% قصدير وعند درجة حرارة 183°C (T_E) فإن النظام يتحول مباشرة من الحالة السائلة إلى محلول جامد مكون من طورين (α + β) بدون بقاء الطور السائل، وهذا هو المعنى الفعلي للسلوك اليوتكتيكي Eutectic Reaction وحسب ما مبين أدناه في درجة حرارة ثابتة وتركيب كيمياوي ثابت:





شكل رقم 2-9 التركيب المجهري لسبيكة رصاص- قصدير بتركيب يوتكتيك

أسئلة الفصل الثاني

س1) عرّف ما يأتي:

1. خط الإذابة
2. المركب السبائكي
3. حد الذوبان
4. خط الانجماد
5. خط الانصهار
6. أنظمة الإذابة الجزئية
7. الأنظمة الثنائية المتماثلة (أنظمة الإذابة التامة)

س2) وضّح بإيجاز ما المحاليل الجامدة الاستبدالية والبينية، وما عوامل تكوّن كلٍ منهما؟ داعماً إجابتك بالرسم.

س3) ناقش الآتي مبيناً الأسباب:

سبيكة من (النحاس 60% - نيكل 40%) عند درجة حرارة (1000°C) تتكون من طور واحد.

س4) جد النسبة المئوية ومقدار كمية الطور لسبيكة نحاس نيكل بتركيز (60%- 40%) عند درجة حرارة (1300°C)، مستعيناً بالشكل رقم (2-5).

س5) بيّن مع الرسم التركيب المجهري لسبيكة (65% نحاس- 35% نيكل) في أثناء عملية الانجماد لأهم المناطق في المخطط الطوري من درجة حرارة (1300°C) عند تبريدها بصورة بطيئة جداً.

س6) علل ما يأتي:

1. المخططات الطورية مهمة في الصناعة وخاصة بتكنولوجيا السباكة.
2. على الرغم من تحقق صغر نصف قطر ذرة المُذاب نسبةً إلى ذرة المذيب إلا أن أعلى تركيز مسموح لذرات المُذاب يكون قليلاً في المحاليل الجامدة البينية.

الفصل الثالث

المسبوكات المعدنية

Metal Castings

الأهداف

الهدف العام:

سيتمكن الطالب في هذا الفصل من معرفة خواص ومتطلبات المسبوكات الحديدية واللاحديدية واسعة الاستخدام وفي التطبيقات الصناعية المختلفة، وتوسيع أفق الطالب في دراسة وفهم تلك المسبوكات التي تعمل في ظروف وأوساط مختلفة. بعض مفردات هذا الفصل أخذت بنظر الاعتبار معرفة التطبيقات الحديثة لأجزاء مسبوكة من مواد وسبائك مصنعة لظروف قاسية مثل درجات الحرارة العالية وأوساط التآكل والسوفان ليتمكن الطالب من الاطلاع عليها بشكل بسيط.

الأهداف الخاصة: بعد الانتهاء من دراسة الفصل الثالث سوف يتمكن الطالب من معرفة وفهم الآتي:

- تصنيف المواد الهندسية.
- المعادن الحديدية والمعادن اللاحديدية.
- تصنيف سبائك حديد الزهر واستخداماتها.
- تصنيف سبائك الفولاذ واستخداماتها.
- مسبوكات سبائك الأُلمُنيوم واستخداماتها.
- مسبوكات سبائك المغنسيوم واستخداماتها.
- تصنيف سبائك النحاس.
- مسبوكات سبائك البراص والبرونز واستخداماتها.
- مسبوكات سبائك الخارصين واستخداماتها.
- مسبوكات سبائك النيكل والتيتانيوم واستخداماتها.

المسبوكات المعدنية Metal Castings

1-3 المسبوكات الحديدية (الخصائص والمتطلبات)

Ferrous Castings (Characteristics and Requirements)

إن المدخل الرئيس لهذا الموضوع ببساطة هو معرفة المعادن الحديدية (Ferrous Metals) وما هي خصائصها ومتطلباتها عن المعادن اللاحديدية (Nonferrous Metals)، لغرض الانطلاق إلى موضوع المسبوكات الحديدية. تُعرَف المعادن الحديدية بانها أي معدن يتكون في المقام الأول من الحديد ويحتوي على خصائص مغناطيسية، وتتميز المعادن الحديدية بصلابتها ومتانتها ومقاومة الشد الجيدة لها. بعض المعادن الحديدية الشائعة تشمل: الحديد المطاوع ، الفولاذ الكربوني ، الفولاذ السبائكي ، وحديد الزهر ، وحديد الزهر السبائكي. وعادةً ما يتم تسمية السبائك الحديدية مع الكربون بالفولاذ أو الصُلب ، ويمكن أن تحتوي السبيكة على أي عدد من العناصر الأخرى، من المنغنيز والسليكون والكروم وغيرها، بناءً على متطلبات خصائصها.

1-1-3 مسبوكات حديد الزهر (Cast Iron)

حديد الزهر هو سبيكة الحديد الذي يحتوي على نسبة تتراوح بين (2%-4.5%) من الكربون، إلى جانب كميات متفاوتة من السيليكون والمنغنيز ومخلفات من الشوائب مثل الكبريت والفوسفور، وتصنع هذه السبيكة من خلال اختزال خام الحديد في الفرن العالي. يصنف معظم حديد الزهر بصورة عامة إلى صنفين رئيسين: **حديد الزهر الرمادي وحديد الزهر الأبيض**، ويمكن الحصول على حديد الزهر السبائكي للصنفين الذي يستخدم في حالات معينة خاصة، وبسهولة يمكن تمييز صنفي حديد الزهر من خلال الفرق بين ألوان مقطع الكسر.

إن من أهم خصائص حديد الزهر ما يأتي:

1. الهشاشة أو التقصف (Brittleness) باستثناء حديد الزهر المطاوع. (خاصية سلبية)
2. مقاومة عالية للتشكيل (Deformation). (خاصية سلبية)
3. درجة انصهار منخفضة نسبياً مقارنةً بالفولاذ، إذ تتراوح بين (1150 - 1200)°C. (خاصية جيدة)
4. سيوبة عالية عند الصهر (Fluidity). (خاصية جيدة)
5. قابلية التصنيع بالسباكة جيدة (Castability). (خاصية جيدة)
6. إمكانية تشغيل ممتازة (Machinability). (خاصية جيدة)
7. مقاومة جيدة للسوفان (البلى) (Wear). (خاصية جيدة)
8. مقاومة عالية جداً للانضغاط وتحمل الاهتزازات. (خاصية جيدة)

في حين يمكن تحديد خصائص حديد الزهر من خلال العوامل الآتية:

1. التركيب الكيميائي.
2. معدل التبريد لمصبوبة حديد الزهر داخل القالب.
3. نوع الكرافيت المتكون لحديد الزهر.

إن من أهم الأنواع الرئيسة لحديد الزهر ما يأتي:

أولاً: حديد الزهر الرمادي (Gray Cast Iron)

يتميز حديد الزهر الرمادي بتركيبه المجهري الكرافيتي، مما يؤدي إلى وجود مقطع رمادي عند تعرضه للكسر حيث يتشكل هذا اللون بسبب وجود الكرافيت، إذ كلما زادت نسبة الكرافيت انخفضت خواصه الميكانيكية. إن التركيب المجهري النموذجي لحديد الزهر الرمادي للحصول على التركيب الكرافيتي هو (2.5 – 4) % كربون و (1 - 3) % سيليكون.

يتميز حديد الزهر الرمادي بالخصائص الآتية:

1. موصلية حرارية واسعة وسعة حرارية عالية.
2. مقاومة الشد والصدمة قليلة مقارنة بالفولاذ.

ومن أهم استخدامات حديد الزهر الرمادي هي:

1. إنتاج مسبوكات غرفة الاحتراق الداخلي للمحركات (Internal Combustion Engine).
2. غطاء المضخات (Pump Housing).
3. الجزء الخارجي للصمام (Valve Body).

ثانياً: حديد الزهر الأبيض (White Cast Iron)

يمتاز حديد الزهر الأبيض بتركيبه المجهري الذي يحتوي على كاربيدات الحديد (Fe_3C) التي تُعرف بالسمنتايت. إن تواجد هذه الكاربيدات المترسبة بدلاً من الكرافيت سوف تعطي اللون الأبيض البراق لمقطع الكسر التي تُعزى إليها تسمية هذا النوع من الحديد. ويمتاز هذا النوع بالخصائص الآتية:

1. الهشاشة العالية (قصيف جداً).
2. الصلادة العالية.
3. مقاومة بليان عالية.
4. كلفة تصنيع منخفضة نسبياً.

وفي ضوء هذه الخواص، فإن حديد الزهر الأبيض يمكن استخدامه في تصنيع المراوح الخاصة بمضخات المواد العالقة أو الطينية (Impeller for Slurry Pump) وكرات الطحن (Ball Mill).

ثالثاً: حديد الزهر القابل للطرق (Malleable Cast Iron)

إن هذا النوع من حديد الزهر يتم سباكته في البداية على إنه حديد زهر أبيض، إذ تتميز البُنية المجهرية له بأنها كاربيدات غير مستقرة في أرضية من البيرلايت. عند إجراء معاملة التلدين الحراري لها فإن البُنية الكاربيدية الهشة سوف تتحول إلى تركيب قابل للتشكيل والطرق. خلال عملية التلدين تتجمع ذرات الكربون بشكل دائري صغير لتكوين عُقد من الكرافيت. يتميز حديد الزهر القابل للطرق بالخصائص الآتية:

1. مطيلية جيدة (Ductility).
2. يُعد هذا النوع من الحديد ملائماً كمسبوكات ذات سمك بمقاطع أقل من (6 mm).
3. متانة كسر عالية عند درجات حرارة منخفضة.

حديد الزهر القابل للطرق يمكن استخدامه في تصنيع الأجزاء الآتية: ملحقات الأنابيب (Fittings)، الملحقات الكهربائية، مُعدات الحقل (Farm Equipment)، أجزاء المكائن.

رابعاً: حديد الزهر المطيلي (Ductile Cast Iron)

يمكن تسمية حديد الزهر المطيلي أيضاً بالحديد الكروي (Spheroidal)، ويمتلك هذا النوع من الحديد بُنية مجهرية بهيئة كرافيت على شكل كريات صغيرة جداً مع كرافيت بشكل طبقات متحدة المركز. ونتيجة لذلك، فإن خواص هذا النوع من الحديد قريبة من الفولاذ الكربوني.

إن نسبة الكربون بهذا النوع من الحديد تتراوح بين (3 - 4)% ، بينما نسبة السليكون تصل بين (1.8 – 2.8)% مع وجود نسبة قليلة جداً من المغنيسيوم والسيريوم لغرض إبطاء نمو الكرافيت والمساعدة على الحصول كريات كرافيتية بدلاً من القشور كما هو الحال في حديد الزهر الرمادي.

يمتاز حديد الزهر المطيلي بالخصائص الآتية:

1. المقاومة العالية (Strength).
2. المطيلية الجيدة نسبياً (Ductility).
3. المتانة الجيدة (Toughness).
4. إمكانية تشكيل جيدة نسبياً (الحني والطي) بدون كسر.
5. إمكانية تشغيل وسباكة عالية جداً.

وتُعزى هذه الخواص إلى تركيبه المجهري الاستثنائي، ويمكن استخدام حديد الزهر المطيلي في تصنيع الأنابيب، أجزاء السيارات، صندوق التروس، العجلات (Wheels)، وأغطية المضخات، وغيرها.

3-1-2 المسبوكات الفولاذية Cast Steel

الفولاذ مادة هندسية مفيدة للغاية يوفر القوة والصلابة والمتانة معاً، ومن منظور التصنيع فإن قابلية التشكيل، واللحام والربط، والتصليح كلها جذابة. في السنوات العشرين الماضية، شكّل الفولاذ حوالي 55٪ من وزن سيارة الركاب النموذجية ومن المتوقع أن يستمر في هذا المستوى. إذ أن صناعة السيارات والهياكل الفولاذية هما المستهلكان الرئيسان للفولاذ، كذلك فإن المواد الفولاذية تستخدم أيضاً على نطاق واسع في تصنيع الحاويات والأجهزة والآلات وكذلك البُنى التحتية للصناعات النفطية.

المسبوكات الفولاذية هي عبارة عن سبائك حديدية مع نسبة من الكربون تصل إلى أقصى قيمة بحدود (0.75). إن عملية سباكة وصب الفولاذ أصعب من حديد الزهر بسبب درجة انصهاره العالية وسيوبته (Fluidity) القليلة، فضلاً عن معدل الانكماش أو التقلص العالي خلال مراحل الصب. المسبوكات الفولاذية متوافرة في العديد من الفولاذ الكاربوني والسبائكي التي يمكن إنتاجها. وبشكل عام، الفولاذ المسبوك خواصه الميكانيكية أقل من الفولاذ المطروق (Wrought Steel) مع أنها بالتركيب الكيمياوي نفسه تقريباً.

يمكن إنتاج المسبوكات الفولاذية بمدى واسع من الخواص، تعتمد الخواص الفيزيائية لهذه الأنواع بشكل كبير على التركيب الكيمياوي والمعاملة الحرارية، وإن اختيار كل خاصية يعتمد على التطبيق المطلوب لهذه المسبوكات، ومن أبرز هذه الخواص ما يأتي:

1. **الصلادة** (Hardness): إن محتوى الكاربون لهذه المسبوكات سوف يحدد أقصى صلادة بالإمكان الحصول عليها.
2. **المقاومة** (Strength): تُعرف المقاومة بأنها مقدار تحمل المادة للقوى المسلطة عليها من دون أن تنهار أو تتشوه، وعادةً ما تكون المقاومة للمادة عالية إذا كانت صلادتها عالية أيضاً.
3. **المطيلية** (Ductility): كلما تقل نسبة الكربون لها، تقل الصلادة وبالتالي تزداد المطيلية.
4. **المتانة** (Toughness): هي قابلية المادة على امتصاص الطاقة الناتجة من الصدمة قبل حدوث الكسر فيها، يتم تحسين هذه الخاصية من خلال إضافة العناصر السبائكية للفولاذ وكذلك إجراء المعاملات الحرارية.
5. **مقاومة البلى** (Wear Resistance): المسبوكات الفولاذية تبدي مقاومة للبلى مشابهة للفولاذ المطروق إذا كان بالتركيب الكيمياوي نفسه. إن إضافة العناصر السبائكية مثل الموليبدنيوم والكروم إلى الفولاذ يزيد من مقاومة البلى.
6. **قابلية التشغيل الميكانيكي**: تمتلك هذه السبائك قابلية جيدة للتشغيل الميكانيكي مثل القطع، التنعيم، والتثقيب، وتعتمد هذه الخاصية على الصلادة، المقاومة، التوصيل الحراري، والتمدد الحراري للمادة.
7. **قابلية اللحام**: تعتمد هذه الخاصية بالدرجة الأساس على التركيب الكيماوي.

يمكن تصنيف هذه الأنواع من المسبوكات الفولاذية إلى قسمين وهما:

1- مسبوكات الفولاذ الكربوني (Carbon Cast Steel)

تقسم مسبوكات الفولاذ الكربوني إلى:

أ- مسبوكات فولاذية منخفضة الكربون، وتكون أعلى نسبة للكربون فيها بـ (0.2 %)، يتميز هذا النوع من الفولاذ بكونه ليناً (Soft) نوعاً ما، وإجراء أي معاملة حرارية له غير مفيدة.

ب- مسبوكات فولاذية متوسطة الكاربون، إذ تكون نسبة الكربون لها بحدود (0.2-0.5)%، تُعد مسبوكات صلدة وفي الوقت نفسه لها الإمكانية بتحسين الصلادة والمقاومة عند إجراء المعاملات الحرارية (التصليد Hardening) المعروفة.

ج- مسبوكات فولاذية عالية الكربون، إذ تكون نسبة الكاربون أكثر من (0.5 %)، وتستخدم هذه المسبوكات عندما تكون أقصى صلادة ومقاومة بلى هما المطلوبتان.

2- مسبوكات الفولاذ السبائكي (Alloyed Cast Steel)

يمكن تقسيم مسبوكات الفولاذ السبائكي إلى:

أ- مسبوكات فولاذية منخفضة السبك، يكون محتوى العناصر السبكية أقل أو يساوي (8%)، تتصرف هذه المسبوكات بشكل مماثل للفولاذ الكربوني، لكن قابلية التصليد (Hardening) تكون عالية.

ب- مسبوكات فولاذية عالية السبك، يكون محتوى العناصر السبكية أكثر من (8%)، هذه السبائك صممت لخاصية محددة مثل مقاومة التآكل، مقاومة الحرارة، أو مقاومة السوفان.

إن من أهم السبائك الفولاذية عالية السبك وشائعة الاستخدام هي الفولاذ المقاوم للتآكل (Stainless Steel)، فيها نسبة عنصر الكروم أكثر من (10.5%)، وكذلك سبيكة الفولاذ المنغنيزي الذي يُعرف بفولاذ هادفيلد بنسبة عنصر المنغنيز تتراوح بين (11-15%).

2-3 المسبوكات اللاحديدية (الخصائص والمتطلبات)
Nonferrous Castings (Characteristic and Requirements)

المعادن والسبائك اللاحديدية لها أدوار متزايدة الأهمية في التكنولوجيا الحديثة، نتيجة لأنواعها الكثيرة جداً مع اختلاف كبير في خصائصها وعلى نطاق واسع، ولذا فإنها توفر مجموعة لا حدود لها تقريباً من الخواص المطلوبة لمهندسي التصاميم للحصول على أفضل أداء خلال ظروف العمل، في الوقت الذي تكون فيه هذه السبائك أكثر تكلفة من الحديد أو الفولاذ، لكنها تمتلك الخصائص التي هي نوعاً ما غير متوافرة في السبائك الحديدية، مثل:

1. مقاومة التآكل العالية.
2. سهلة التشكيل مقارنة بالسبائك الحديدية.
3. الموصلية الحرارية والكهربائية العالية.
4. خفيفة الوزن (بعضها).
5. معظم درجات انصهار هذه السبائك واطئة مما يجعلها سهلة التصنيع بطرائق السباكة المعروفة.

إجمالاً، فإن مقاومة (Strength) السبائك غير الحديدية أدنى عموماً من الفولاذ، أيضاً معامل المرونة (Young Modulus) هو عادة أقل، وهي حقيقة تضعها في وضع غير مرغوب عندما تكون الصلابة (العساوة) (Stiffness) مطلوبة.

1-2-3 مسبوكات سبائك الألمُنيوم Aluminum Alloy Castings

يتميز الألمُنيوم بعدد من الخصائص الفريدة والجذابة بسب أهميته الهندسية، وتشمل هذه الخواص إمكانية تشغيلها بسهولة، الوزن الخفيف، مقاومة التآكل، التوصيل الكهربائي والحراري الجيد، والانعكاسية البصرية (Optical Reflectivity). يمكن إعادة تدوير الألمُنيوم مراراً وتكراراً مع عدم وجود خسارة في الجودة، وإعادة التدوير يوفر 95٪ من الطاقة اللازمة لإنتاج الألمُنيوم من خاماته.

إن من نقاط الضعف الجدية للألمُنيوم من وجهة نظر هندسية هو معامل المرونة المنخفض نسبياً، وهو أيضاً حوالي ثلث معامل مرونة الفولاذ، فعند تسليط أحمال متطابقة، سوف تخضع للتشكيل أجزاء الألمنيوم ثلاث مرات بقدر أجزاء من الصُلب عند نفس التصميم.

يمكن تقسيم سبائك الألمُنيوم إلى مجموعتين رئيستين بناءً على طريقة تصنعيه وهما:

1- سبائك الألمُنيوم المطروقة Aluminum Wrought Alloys

السبائك المطروقة أو المُشَكّلة هي تلك السبائك التي تشكلت كمواد صلبة بطرائق مختلفة بالبثق والدرفلة والطرق وغيرها، وبالتالي فهي مصممة للحصول على خصائص تشكيل جذابة، مثل مقاومة خضوع منخفضة، مطيلية عالية، ومتانة جيدة، وإصلاد انفعالي (Strain Hardening) جيد. يتم تحديد سبائك الألمُنيوم المطروقة بشكل عام باستخدام نظام التصنيف المكون من أربعة أرقام قياسية للألمُنيوم ويضاف لها مختصر Aluminum Association (AA)، وفق المواصفة الدولية ، وكما مبيّن أدناه:

1. يشير الرقم واحد إلى عنصر السبك الرئيس الألمُنيوم بدون عناصر سبائكية أخرى (1xxx)
2. يشير الرقم اثنين إلى سبائك الألمُنيوم التي تحتوي على النحاس كعنصر سبك رئيس (2xxx)
3. يشير الرقم ثلاثة إلى سبائك الألمُنيوم والسيليكون إضافة إلى احتوائها على المغنيسيوم (3xxx)
4. يشير الرقم أربعة إلى سبائك الألمُنيوم - السليكون الثنائية (4xxx)
5. يشير الرقم خمسة إلى سبائك الألمُنيوم التي تحتوي على المغنيسيوم كعنصر سبك رئيس (5xxx)
6. يشير الرقم ستة إلى سبائك الألمُنيوم التي تحتوي على المغنيسيوم والسيليكون (6xxx)
7. يشير الرقم سبعة إلى سبائك الألمُنيوم التي تحتوي على الزنك بشكل أساسي (7xxx)
8. يشير الرقم سبعة إلى سبائك الألمُنيوم التي تحتوي على القصدير بشكل أساسي (8xxx)

2- سبائك الألمُنيوم المسبوكة Aluminum Castings Alloys

يمكن الحصول على سبائك مسبوكات الألمُنيوم من خلال عملية السباكة، إن من أهم الصفات الجذابة لهذه السبائك هي درجة انصهارها الواطئة وسيوبتها العالية خلال عملية الصب وملء تجويف القالب. من الإضافات الشائعة لهذه السبائك هي العناصر السبائكية مثل النحاس والخارصين والمغنيسيوم التي تسمح بتكوين المترسبات خلال عملية التصليد بالتعتيق (Age Hardening)، وتمثل بالمواصفة الدولية بثلاثة أرقام ويسبقها حرف (A) مثل (A201). يُحسن السليكون المضاف لتلك السبائك سيوبة المعدن (Fluidity)، مما يسهل إنتاج أشكال معقدة ومقاطع رقيقة. ومع هذا، إن زيادة نسبة السليكون بالمسبوكة سيؤدي بالنتيجة إلى تكوين سطوح قاسية وصعبة القطع والتشغيل. إن من أهم أنواع سبائك الألمُنيوم المستخدمة في السباكة هي سبيكة الألمُنيوم - سليكون (Al-12%Si).

3-2-1-1 تطبيقات سبائك الألمُنيوم

غالباً ما يكون اختيار الفولاذ أو الألمُنيوم لأي جزء معين متعلقاً بمسألة التكلفة، لكن اعتبارات الأوزان الخفيفة ومقاومة التآكل وتكاليف الصيانة المنخفضة والموصلية الحرارية أو الكهربائية كافية لتبرير التكلفة الإضافية للألمُنيوم مع مركبات القيادة الأخف وزناً. وفي المركبات ذات الوقود الأكثر فعالية، تكون العديد من أجزاء الألمُنيوم هي الأكثر شيوعاً للاستخدام في النقل. تضاعف استخدام الألمُنيوم في السيارات ثلاث مرات، وفي المركبات الرياضية (سيارات الدفع الرباعي) والشاحنات الخفيفة. يستخدم الألمُنيوم في كتل المحركات والعجلات، فضلاً عن هياكل العربات الفضائية المصنوعة من الألمُنيوم ، وكما موضّح في الشكل رقم (3-1) إذ أن هيكل إطار عربة الفضاء فورد GT لعام 2005 التي تتكون من 35 جزءاً من ألمُنيوم مصنع بالبثق، 7 أجزاء من المسبوكات المعقدة، ومسبوكتان مصنعتان بطريقة السباكة شبه الصلبة (Semi-Solid Casting)، ولوحات الألمُنيوم المختلفة، وبعضها مكونة من مواد ذات لدونة فائقة (Super Plastically).

شكل رقم 3-1 هيكل إطار عربة الفضاء

2-2-3 مسبوكات سبائك المغنيسيوم Magnesium Alloy Castings

المغنيسيوم هو أخف المعادن المهمة تجارياً، يمتلك كثافة نوعية حوالي 1.74 (وهي ثلثي كثافة الألمنيوم، وربع كثافة الفولاذ، وهو أعلى بقليل فقط من البلاستيك المعزز بالألياف)، ومثل الألمُنيوم فإن المغنيسيوم ضعيف نسبياً في الحالة النقية وللأغراض الهندسية يستخدم المغنيسيوم دائما كسبائك.

يمتاز المغنيسيوم بخواص وهي كالآتي:

1. مقاومة ضعيفة للبلى والكلال (Fatigue) والزحف (Creep).
2. قابلية أعلى للتمدد الحراري من كل المعادن الهندسية.
3. مقاومته (Strength) تنخفض بسرعة عندما تتجاوز درجة الحرارة 100 درجة سيليزية.
4. معامل مرونة (Young Modulus) أقل من الألمُنيوم ويكون بين الربع إلى الخمس من الفولاذ.
5. الكلفة بالنسبة لوحدة الحجم منخفضة، لذلك استخدامه للمقاطع السميكة غير باهظ الثمن.
6. مطيلية (Ductility) منخفضة.

على الجانب الأكثر إيجابية، فإن نسبة الوزن إلى المقاومة في سبائك المغنيسيوم عالية نسبياً، مع بعض السبائك التجارية التي تحقق مقاومة (Strength) تصل إلى 380 ميكا باسكال، لذا فإن من أبرز استخدامات سبائك المغنيسيوم هي في صناعة السيارات، المركبات الفضائية، مُعدات الطاقة، المُعدات الرياضية، والمنتجات الإلكترونية.

تم تطوير السباكة بالقوالب الرملية، القوالب الدائمية شبه الصلبة (Semi-Solid)، والسباكة بالشمع المفقود (Investment Casting) لإنتاج سبائك المغنيسيوم من خلال الاستفادة من نقاط الانصهار المنخفضة والسيوبة العالية، ومن الواضح أن السباكة بالقوالب المعدنية (Die Casting) هي أكثر عملية تصنيع شائعة لسبائك المغنيسيوم، وهي ما تمثل 70٪ من جميع مسبوكات المغنيسيوم المنتجة بطرائق أخرى، وعلى الرغم من أن سبائك المغنيسيوم تكلف ما يقارب من الضعف بالمقارنة مع الألمُنيوم، فإن عملية السباكة بالضغط بقوالب الحجرة الساخنة (Hot Chamber Die Casting) للمغنيسيوم أسهل وأفضل من الناحية الاقتصادية وتكون أسرع بحدود من 40 إلى 50٪ من عملية السباكة باستخدام قوالب الحجرة الباردة (Cold Chamber Die Casting) المطلوبة عموماً للألمُنيوم.

يمكن لحام سبائك المغنيسيوم باللحام النقطي (Spot Welding) بسهولة تقريباً مثل الألمُنيوم، ولكنها تحتاج إلى إزالة الخدوش بالفرشاة أو التنظيف الكيميائي الضروري قبل عملية اللحام. يفضل إجراء اللحام الانصهاري لسبائك المغنيسيوم خلال أجواء خاملة باستخدام غاز الآركون أو الهيليوم.

الجدول رقم (3-1) يوضّح الأنواع المختلفة من سبائك المغنيسيوم مع طريقة إنتاجها وعنصر السبك الرئيس فيها.

جدول رقم (3-1) بعض أنواع سبائك المغنيسيوم وطرائق تصنيعها مع أهم عناصر السبك الرئيسة فيها

طريقة التصنيع	عناصر السبك الرئيسة	رمز السبيكة
السباكة بالقوالب المعدنية	الألمنيوم (6.0%)، المنغنيز(0.13%)	AM60A
السباكة بالقوالب الرملية والقوالب الدائمة	الألمنيوم (10.0%)، المنغنيز (0.1%)	AM100A
السباكة بالقوالب، بالبثق، بالكبس	الخارصين (5.5%)، الزركونيوم (0.45%)	ZK60A
السباكة بشكل ألواح وصفائح (Sheet)	الثوريوم (3.2%)، الزركونيوم (0.7%)	HK31A
السباكة بالقوالب الرملية والقوالب الدائمة	الثوريوم (3.2%)، الخارصين (2.1%)	HZ32A
السباكة بالقوالب الرملية والقوالب الدائمة	الخارصين (4.6%)، الزركونيوم (0.7%)	ZK51A

ملاحظة: الحروف المبينة في الجدول تمثل ما يأتي:

(A) الألمنيوم، (H) الثوريوم، (K) الزركونيوم، (M) المنغنيز،(Z) الخارصين، والشكل رقم (3-2) يبيّن مقاطع لسبيكة المغنيسيوم نوع ZK60A.

شكل رقم 3-2 مقاطع لسبيكة المغنيسيوم نوع ZK60A

3-2-3 مسبوكات سبائك النحاس Copper Alloy Castings

كان النحاس ولايزال المعدن الهندسي المهم ولأكثر من 6000 عام، يُعد النحاس كمعدن نقي العمود الفقري للصناعات الكهربائية إضافة إلى أنه المعدن الأساس لعدد من السبائك، والمعروفة بشكل عام باسم البراص والبرونز، وبالمقارنة مع المواد الهندسية الأخرى، يقدم النحاس وسبائكه ثلاث خصائص مهمة، وهي كالآتي:

1. موصلية كهربائية وحرارية عالية.
2. مقاومة جيدة مع مطيلية عالية.
3. مقاومة تآكل جيدة ولمدى واسع من الأوساط.

بما أن النحاس يمتاز بمقاومته المنخفضة نسبياً ومطيليته العالية، فإن النحاس هو معدن مرغوب فيه للغاية للتطبيقات التي تتطلب تشكيل واسع النطاق. ونظراً لأن درجة حرارة إعادة التبلور للنحاس أقل من (260°C)، لذا فإن الآثار الناتجة للتصليد خلال التشكيل على البارد يمكن إزالتها بسهولة.

يتم استخدام حوالي الثلث من جميع أجزاء النحاس المنتجة في شكل من أشكال التطبيقات الكهربائية، بسبب موصليتها الممتازة، مثل العاكس المستخدم في محركات الدوران (Commutator)، كذلك تشمل مجالات الاستخدامات الكبيرة الأخرى في أنابيب مياه التسخين وتكييف الهواء بسبب موصليتها الحرارية العالية فضلاً عن سهولة ثنيها وتشكيلها، لاحظ الشكل رقم (3-3).

شكل رقم 3-3 النحاس وسبائكه المستخدمة في مختلف التطبيقات الكهربائية ومنها العاكس

لا يستخدم النحاس كمعدن نقي على نطاق واسع في المنتجات المصنعة، إلا في التطبيقات الكهربائية، وحتى في هذه التطبيقات هنالك إضافات لعناصر سبائكية مثل الفضة والزرنيخ والكادميوم والزركونيوم لغرض تعزيز الخواص المختلفة دون إضعاف الموصلية بشكل كبير.

3-2-3-1 مسبوكات سبائك البراص Brass Alloy Castings

البراص هو سبيكة من النحاس والخارصين بنسب معينة التي يمكن تغييرها لتحقيق خواص ميكانيكية، كهربائية، وكيميائية متفاوتة. إذا كان محتوى الخارصين أقل من 36٪ فإن البراص يكون بهيئة محلول جامد أحادي الطور (Single Phase)، هذا الطور يُعرف بطور ألفا، هذه السبائك غالباً ما تسمى براص ألفا، التي تكون بمطيلية جيدة وقابلة للتشكيل، إذ إن المقاومة والمطيلية تزدادان مع زيادة محتوى الخارصين لغاية 36٪، ومثال على هذه السبائك هو ظروف الإطلاقات النارية والمقذوفات (Cartridge) الذي يتكون من النحاس 70٪ والخارصين 30٪، وهو أفضل مزيج شامل من المطيلية والمقاومة الميكانيكية، كما تتضمن تطبيقاتها الشائعة في مجال تشكيل الصفائح (Sheet Forming) مثل عملية السحب العميق.

إن زيادة نسبة الخارصين أكثر من 36٪ تدخل سبائك النحاس والخارصين منطقة الأطوار الثنائية (Binary Phase) التي تنطوي على طور هش وغني بالخارصين وانخفاض المطيلية بشكل ملحوظ. وهنالك العديد من تطبيقات هذه السبائك الناتجة عن الموصلية الكهربائية والحرارية العالية مقرونة بالمقاومة الجيدة والمفيدة من الناحية الهندسية للتطبيق. معظم سبائك البراص لها مقاومة للتآكل جيدة في حدود 40٪ من الخارصين، وبإضافة كمية صغيرة من القصدير فإنها تحسن من مقاومة التآكل لمياه البحر، وتخضع سبائك البراص التي تحتوي على 20 إلى 36٪ من الخارصين للتآكل الانتقائي، المعروف باسم إزالة الخارصين (Dezincification) عند التعرض للمحاليل الحامضية أو الملحية.

البراص مع أكثر من 15٪ من الخارصين في كثير من الأحيان يتعرض إلى التشقق الموسمي أو ما يعرف بالتآكل الإجهادي، أن الإجهادات المتبقية والأوساط القاسية للخزن مثل الرطوبة الجوية كلاهما يؤديان إلى حدوث هذا النوع من الفشل، ولتجنب حدوث هذا الفشل فإن المعاملة الحرارية لهذه السبيكة قبل الخزن تكون كافية لمنع حدوثه لإزالة الإجهادات. الجدول رقم (3-2) يوضّح بعض أنواع سبائك البراص المختلفة في التركيب الكيميائي والتطبيق والتسميات. والشكل رقم (3-4) يوضّح مسبوكات البراص المنتجة بطريقة السباكة بالطرد المركزي.

شكل رقم 3-4 مسبوكات البراص المنتجة بطريقة السباكة بالطرد المركزي

جدول رقم (3-2) بعض سبائك البراص التجارية

رقم السبيكة	الاسم التجاري الشائع	التركيب الكيميائي	الاستخدام
240	البراص المنخفض Low Brass	النحاس 80%، الخارصين 20%	السحب، أعمال الزخرفة
270	البراص الأصفر Yellow Brass	النحاس 65%، الخارصين 35%	التشكيل على البارد، المسامير، اللوالب
280	معدن مونتز Muntz Metal	النحاس 60%، الخارصين 40%	أنبوب تكثيف، مبادل حراري
360	براص القطع الحر Free-Cutting Brass	النحاس 61.5%، الخارصين 35.3%، الرصاص 3%	ملحقات الأنابيب ، براغي محامل وغيرها

2-3-2-3 مسبوكات سبائك البرونز Bronze Alloy Castings

البرونز هو سبيكة تتكون في المقام الأول من النحاس، فضلاً عن القصدير الذي يكون بحدود (12٪) وغالباً ما تتم إضافة المعادن الأخرى (مثل الألومنيوم، المنغنيز، النيكل أو الخارصين) وأحياناً أشباه الفلزات مثل الزرنيخ أو الفسفور أو السيليكون. تنتج هذه الإضافات مجموعة من السبائك التي قد تكون أصلد من النحاس لوحده، أو لغرض الحصول على خواص أخرى، مثل المقاومة، المطيلية أو قابلية التشغيل. سبيكة 905 عبارة عن مسبوكة مصنعة من البرونز التي تحتوي على 10٪ من القصدير و 2٪ من الخارصين والباقي من النحاس، لديها مقاومة جيدة جداً لتآكل مياه البحر، وتستخدم في السفن لتركيبات الأنابيب والتروس وأجزاء المضخة والبطانات والمحامل، ومن السبائك المطروقة الأكثر شيوعاً هي البرونز- الفسفور، التي تحتوي عادة من 1 إلى 11٪ قصدير، وتُعد سبيكة البرونز 8٪ قصدير نموذجاً لهذا النوع من البرونز، وغالباً ما يتم استخدام هذه السبائك لأجزاء المضخات، التروس، اللوالب والمحامل، لاحظ الشكل رقم (3-5).

شكل رقم 3-5 منتجات مختلفة من البرونز

3-2-4 مسبوكات الخارصين Zinc Castings

الخارصين أو الزنك هو معدن هش بصورة طفيفة في درجة حرارة الغرفة، ولديه مظهر فضي مائل إلى الرمادي عند إزالة الأكسدة، يتم استخدام أكثر من 50٪ من جميع الخارصين المعدني في عملية الغلونة الحارة للحديد والفولاذ. في هذه العملية، يتم طلاء المواد الحديدية بطبقة من الخارصين بواسطة إحدى العمليات المتنوعة التي تشمل الغمر المباشر في حمام من المعدن المنصهر (غمس الساخن)، أو الطلاء الكهربائي. إذ يوفر الطلاء الناتج مقاومة ممتازة للتآكل حتى عندما يكون السطح مخدوشاً بشكل سيء، علاوة على ذلك، ستستمر مقاومة التآكل حتى يتم استنفاد جميع الخارصين. كما يستخدم الخارصين كمعدن أساس لمجموعة متنوعة من سبائك المسبوكات بالضغط للقوالب المعدنية، لهذا الغرض يوفر الخارصين عدداً من الخصائص المهمة منها:

1. الكلفة المنخفضة.
2. درجة انصهار منخفضة تصل إلى (420°C).
3. خواص جذابة من خلال عدم التأثير سلباً على القالب عند الاتصال مع المعدن المنصهر.

الشكل (3-6) يوضّح أجزاء من مسبوكات الخارصين صُنعت بالسباكة بالقوالب المعدنية خلال جو مفرغ من الهواء Vacuum Zinc Die Casting.

شكل رقم 3-6 أجزاء من مسبوكات الزنك صنعت بالسباكة بالقوالب المعدنية خلال جو مفرغ

يكون الخارصين النقي ثقيلاً تقريباً مثل الفولاذ وهو أيضاً ضعيف وهش، لذلك عند تصميم السبائك من أجل السباكة بالقوالب المعدنية عادةً ما يتم اختيار عناصر السبك بعناية للحصول على بعض الخواص مثل قدرتها على زيادة القوة والمتانة كمسبوكات مع الاحتفاظ بنقطة الانصهار المنخفضة.

بشكل عام، تقدم سبائك الخارصين للسباكة بالقوالب المعدنية مقاومة صدمة عالية (Impact)، إلى جانب القدرة على السباكة بأبعاد قريبة جداً مع المقاطع الرقيقة للغاية، إذ تستخدم سبيكة AG40A على نطاق واسع لكونها تعطي استقرارية للأبعاد بشكل ممتاز، وكذلك سبيكة AC41A التي توفر قوة عالية ومقاومة أفضل للتآكل.

3-2-5 مسبوكات سبائك النيكل Nickel Alloy Castings

سبائك أساسها النيكل وهي الأكثر شهرة بسبب متانتها العالية ومقاومتها للتآكل لاسيما في درجات الحرارة العالية التي تتوافر بشكل واسع لأنواع السبائك المطروقة والمسبوكة، تُعرَف سبائك النيكل المطروقة بشكل عام وحسب الأسماء التجارية لها، مثل سبيكة مونيل (Monel)، سبيكة هاست (Hastelloy)، سبيكة انكونيل (Inconel) وغيرها. تشمل الخصائص العامة لسبائك النيكل الآتي:

1. قابلية التشكيل الجيدة.
2. مقاومة الزحف (Creep) الجيدة.
3. الاحتفاظ بالمتانة (Toughness) حتى في درجات الحرارة المنخفضة.

استخدمت سبيكة مونيل، وهي من السبائك التي تحتوي على حوالي 67٪ من النيكل و 30٪ من النحاس لسنوات في الصناعات الكيميائية والغذائية، بسبب خصائصها لمقاومة التآكل المتميزة، في الواقع ربما يكون لدى سبيكة مونيل مقاومة أفضل للتآكل لعدة أوساط مثل ماء البحر، حامض الكبريتيك وحتى البخار عند جريانه بسرعة عالية في درجات حرارة مرتفعة أكثر من أي من السبائك التجارية الأخرى. ولهذا السبب تستخدم سبيكة مونيل لإنتاج ريش التوربين البخاري بطريقة السباكة بالانجماد الاتجاهي أو السباكة بطريقة إنتاج مسبوكات ببلورة واحدة، كما هو مبيّن في الشكل رقم (3-7). كما تم استخدام سبائك النيكل للمقاومات الكهربائية (Resistor) وأجزاء التسخين. هذه المواد في المقام الأول هي سبائك النيكل- الكروم والمعروفة تجارياً باسم (نيكروم) Nichrome، إذ أن لهذه السبائك مقاومة ممتازة للأكسدة مع الاحتفاظ بالمقاومة (Strength) عند ارتفاع درجات الحرارة والوصول إلى الدرجة الحمراء (Red Temperature). كما أن سبيكة إنفار Invar وهي سبيكة من النيكل والحديد بنسبة 36٪، التي تمتلك تمدداً حرارياً يصل بالقرب من الصفر وتستخدم بحيث لا يمكن أن تتغير الأبعاد مع تغير في درجات الحرارة.

شكل رقم 3-7 ريشة التوربين المصنعة من سبائك النيكل ببلورة واحدة

3-2-6 مسبوكات سبائك التيتانيوم Titanium Alloy Castings

يوصف التيتانيوم بأنه معدن قوي وخفيف الوزن ومقاوم للتآكل، حيث كانت له الأهمية التجارية منذ حوالي عام 1950. وبسبب خواصه العامة التي تتوسط بين الفولاذ والألمُنيوم، لذا فإن أهميته التجارية بدأت تتزايد بسرعة كبيرة وفي شتى المجالات. ومع أن التيتانيوم معدن متوافر بالطبيعة بكثرة، لكنه يمتاز بصعوبة استخراجه من خاماته وصعوبة معالجته وتصنعيه، وهذه الصعوبات تجعله أكثر تكلفة في التصنيع من الفولاذ أو الألمُنيوم.

إن استخدامات سبائك التيتانيوم تستند على عدة خواص وهي كالآتي:

1. الوزن الخفيف
2. نسبة الوزن إلى المقاومة عالية
3. مقاومة كلال جيدة
4. متانة كسر جيدة
5. مقاومة التآكل الممتازة

يتم الاحتفاظ بالخواص الميكانيكية الجيدة لهذا المعدن حتى درجة حرارة (535°C)، لذلك غالباً ما يُعد هذا المعدن بأنه مادة هندسية تتحمل درجات الحرارة العالية.

إن الصعوبة الرئيسة في عملية سباكة سبائك التيتانيوم هي تفاعلها مع عناصر مشتركة في الهواء مثل الأوكسجين والنيتروجين. عملية السباكة بالشمع المفقود أو ما يعرف (Investment Casting) هي عملية الصب المعدنية الوحيدة التي يمكن أن تنتج أشكالاً معقدة للسبائك المستخدمة في درجات الحرارة العالية وبمعيار جودة عالٍ للغاية. يتم تحديد سبائك التيتانيوم من خلال عنصر السبك الرئيس ونسبته في محتوى السبيكة، وبشكل عام تقسم هذه السبائك إلى ثلاث فئات تعتمد بالدرجة الأساس على تركيبها البلوري أو المجهري، هذه الفئات تعرف باسم سبائك ألفا، بيتا، وألفا- بيتا، إذ أن هذه المصطلحات تشير إلى الطور أو الأطوار المستقرة في درجة حرارة الغرفة.

سبيكة التيتانيوم التي تحتوي على 6٪ ألُمنيوم، 4٪ فناديوم هي الأكثر استخداماً بين سبائك التيتانيوم، وهو ما يمثل ما يقرب من 50٪ من كل استخدامات التيتانيوم في جميع أنحاء العالم. تستخدم سبائك التيتانيوم في مجالات عدة منها: مُعدات المعالجة الكيميائية والكهروكيميائية، مُعدات معالجة الأغذية، المبادلات الحرارية، المُعدات البحرية، مُعدات الزراعة الطبية، أجزاء المركبات. الشكل رقم (3-8) يوضّح أجزاء من سبائك التيتانيوم مصنعة بطريقة الشمع المفقود التي تخص المحرك التوربيني الغازي عند درجات حرارة منخفضة.

شكل رقم 3-8 أجزاء من سبائك التيتانيوم مصنعة بطريقة الشمع المفقود في المحرك التوربيني الغازي

أسئلة الفصل الثالث

س1) املأ الفراغات الآتية بما يناسبها:

1. البراص هو سبيكة من ..... و..... بنسب متفاوتة.
2. إذا كان محتوى الخارصين هو أقل من ..... فإن البراص يكون بهيئة محلول أحادي الطور ويعرف بطور .....
3. واحدة من تطبيقات سبيكة براص ألفا هي ظرف العيار الناري التي تكون فيها نسبة النحاس ..... ونسبة الخارصين .....
4. معظم سبائك البراص لها مقاومة للتآكل جيدة في حدود ..... من الخارصين ، وإن إضافة كمية صغيرة من القصدير فإنها تحسن مقاومة التآكل لـ .....
5. البراص مع أكثر من 15٪ من الخارصين في كثير من الأحيان يتعرض إلى التشقق ..... أو ما يعرف بالتآكل .....
6. تستخدم سبائك التيتانيوم في مجالات عدة منها 1. ..... 2. ..... 3. .....
7. سبيكة التيتانيوم التي تحتوي على 6٪ ..... و 4٪ ..... هي الأكثر شعبية بين سبائك التيتانيوم.
8. تُعرَف سبائك النيكل المطاوعة بشكل عام وحسب الأسماء التجارية لها، مثل سبيكة ..... وسبيكة .....
9. بشكل عام تقسم سبائك التيتانيوم إلى ثلاث فئات تعتمد بالدرجة الأساس على تركيبها المجهري وهي سبائك ..... و..... و.....
10. سبيكة مونيل تحتوي على حوالي ..... من النيكل و..... من النحاس ولها مقاومة تآكل أفضل في أوساط ..... و.....
11. يوفر الخارصين خصائص جيدة أهمها ..... و.....
12. سبيكة 905 عبارة عن مسبوكة مصنعة من البرونز التي تحتوي على ..... من القصدير و..... من الخارصين.

س2) ما المعادن الحديدية؟ وما أهم أنواعها؟

س3) اذكر أهم الخواص الشائعة لحديد الزهر.

س4) عدد أهم الاستخدامات الشائعة لمسبوكات حديد الزهر الرمادي.

س5) ما أهم خصائص حديد الزهر المطيلي؟ وضّحها.

س6) ما الخواص التي تمتلكها المعادن اللاحديدية وغير المتوافرة في المعادن الحديدية؟

س7) اذكر الخواص الثلاثة المهمة التي يوفرها النحاس وسبائكه في مجال التطبيقات مقارنة مع السبائك الهندسية الأخرى.

س8) يمتاز النحاس بخواصه الجذابة للتشكيل لاسيما التشكيل على البارد، علل ذلك.

س9) يمتاز الألمنيوم وسبائكه بالتطبيقات الواسعة بسبب خواصه المميزة، اذكر تلك الخواص.

س10) غالباً ما يُعد معدن التيتانيوم بأنه مادة هندسية تتحمل درجات الحرارة العالية، علل ذلك.

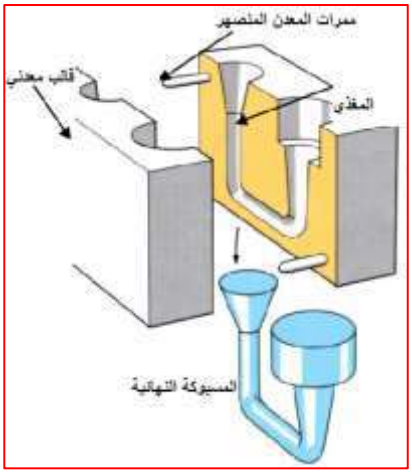
س11) عدد الطرائق التقليدية والطريقة الشائعة لإنتاج مسبوكات المغنيسيوم.

س12) عند تسليط أحمال متساوية على أجزاء من الألمنيوم والفولاذ، فإن الألمنيوم يخضع للتشكيل بمقدار ثلاثة أضعاف الفولاذ، علل ذلك.

الفصل الرابع

السباكة بالقوالب الدائمية

Permanent – Mold Casting



الأهداف

الهدف العام:

إن دراسة موضوع السباكة بالقوالب الدائمية سوف يُعطي انطباع ومعرفة علمية للطالب عن آلية الصب باستخدام هذه القوالب الطويلة الأمد، للحصول على منتجات متنوعة باستخدام تقنيات مختلفة، تتشابه من حيث المبدأ وتختلف من حيث التفاصيل، وتصميم كل ماكنة، الذي يعتمد بالأساس على نوعية السبائك المنتجة بهذه التقنيات. التناول البسيط وبدون تعقيد لهذا الموضوع مع الحفاظ على الثوابت العلمية كان هو الأساس في موضوع هذا الفصل.

الأهداف الخاصة: بعد الانتهاء من دراسة الفصل الرابع سوف يتمكن الطالب من معرفة وفهم الآتي:

- خصائص القوالب الدائمية.
- القوالب المعدنية.
- السباكة بقالب معدني بالجاذبية.
- السباكة بقالب معدني بالضغط الواطئ.

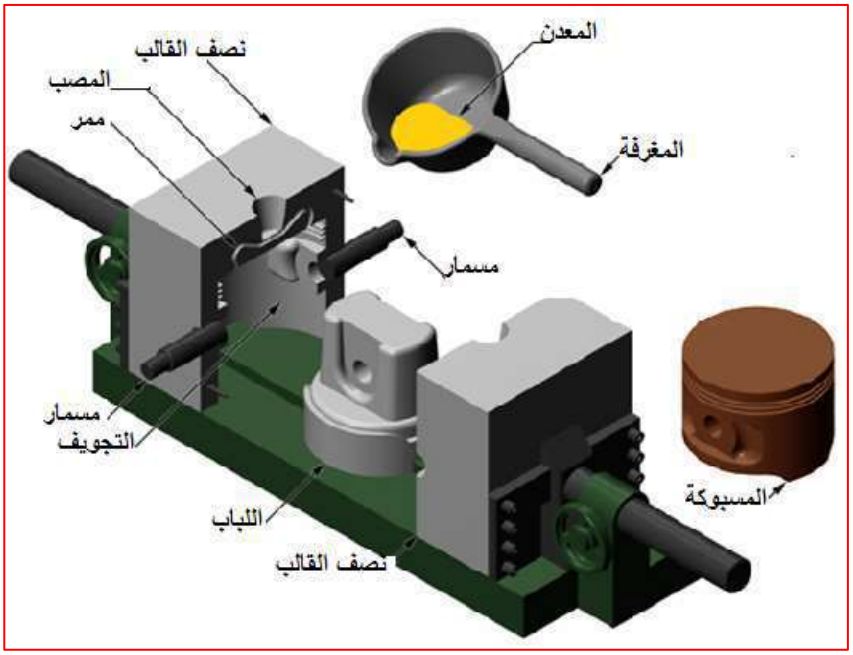
- السباكة بقالب معدني بالضغط.
- مكائن السباكة بالقالب المعدني.
- مكائن السباكة بقالب معدني بالضغط ذات الحجرة الساخنة.
- مكائن السباكة بقالب معدني بالضغط ذات الحجرة الباردة.

السباكة بالقوالب الدائمية

Permanent – Mold Casting

1-4 خصائص القوالب الدائمية Permanent – Mold Characteristics

السباكة بالقوالب الدائمية عبارة عن عملية صب منصهر المعدن باستخدام قوالب قابلة لإعادة الاستخدام (قوالب دائمية) عادةً ما تكون مصنوعة من سبائك ذات المواصفات العالية، في عملية السباكة بالقوالب الدائمية التي تسمى أيضاً السباكة بتأثير الجاذبية، يتم تشغيل القالب القابل لإعادة الاستخدام من حديد الزهر الرمادي أو الحديد السبائكي أو الفولاذ أو البرونز أو الكرافيت أو مواد أخرى. يتم تصنيع القوالب بشكل مقاطع، التي غالباً ما تسمح بفتح وإغلاق سريع ودقيق. يتم صب منصهر المعدن في حوض الصب، ويتدفق عبر منظومة التغذية إلى تجويف القالب تحت تأثير الجاذبية، الشكل رقم (4-1) يوضّح أجزاء عملية السباكة بالقوالب الدائمية وهي: المغرفة (Ladle)، المعدن المنصهر (Molten metal)، تجويف القالب (Cavity)، القمع (Sprue)، مسمار اللباب (Core pin)، المجرى (Runner)، نصف القالب (Mold half)، المسبوكة أو المنتج (Casting).



شكل رقم 4-1 أجزاء عملية السباكة بالقوالب الدائمية

المعادن التي يتم سباكتها بهذه الطريقة والشائعة هي الألمنيوم، المغنيسيوم، وسبائك النحاس، فضلاً عن أنها تشمل معادن أخرى كالقصدير، الخارصين، سبائك الرصاص والحديد، وسبائك الفولاذ التي تتم سباكتها في قوالب الكرافيت.

إن من أهم مزايا السباكة بالقوالب الدائمية هي:

1. بالإمكان إنتاج أشكال وأجزاء شبه نهائية لا تحتاج إلا إلى عملية تشغيل بسيطة.
2. إمكانية إعادة استخدام القوالب مرة أخرى.
3. الحصول على إنهاء سطحي (Surface Finish) جيد للمنتج.
4. دقة عالية في الأبعاد.
5. بالإمكان تحقيق الانجماد الاتجاهي من خلال التصميم الجيد للقالب أو استخدام المبردات (Chills) لمقاطع مختلفة من القالب أو تغيير سمك جدار القالب.
6. الحصول على مسبوكات خالية من العيوب مع خواص ميكانيكية جيدة.

في حين أن هنالك بعض المحددات لعملية السباكة بالقوالب الدائمية وهي:

1. تقتصر هذه الطريقة على السبائك ذات درجة الانصهار الواطئة.
2. كلفة تصنيع القوالب عالية وتؤدي بالنتيجة إلى عملية إنتاجية باهظة الثمن.
3. عمر القالب قصير جداً بالنسبة للمنتجات المسبوكة من الفولاذ أو حديد الزهر، نتيجة التآكل بالتعرية والكلال الحراري للقالب خلال مرور المعدن المنصهر.

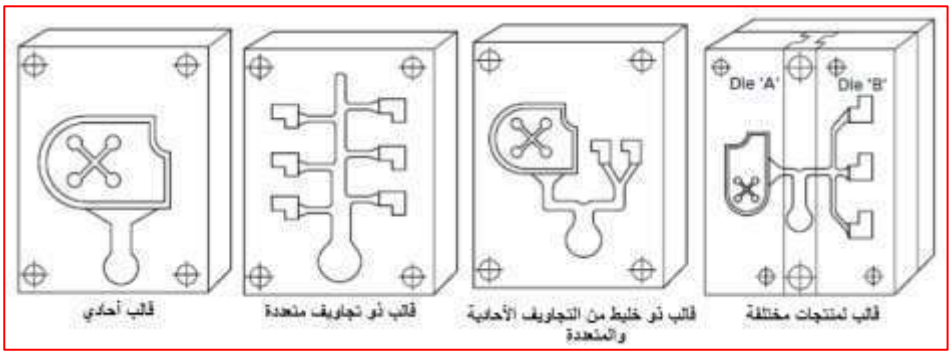
2-4 السباكة بالقالب المعدني Die Casting

يتضمن مبدأ هذه العملية حقن المعدن المنصهر في قوالب معدنية مغلقة تحت الضغوط التي تتراوح بين 10 إلى 175 ميكا باسكال، يتم الاحتفاظ بالضغط خلال الانجماد، وبعد ذلك تفتح القوالب ويتم إخراج المسبوكة. المزايا الخاصة بهذه الطريقة تتلخص من خلال الحصول على الأسطح الناعمة للغاية، دقة الأبعاد الممتازة، معدل الإنتاج السريع، مقاومة شد عالية لمسبوكات الألمُنيوم تصل إلى (415 MPa)، إما بالنسبة لمحددات هذه الطريقة فهي: كلفة القوالب العالية، اقتصارها على المعادن غير الحديدية عالية السيوبة، حجم الجزء يكون محدوداً، المسامية قد تكون مشكلة. من أهم المعادن الشائعة للسباكة بهذه الطريقة هي سبائك الألمنيوم، الخارصين، المغنيسيوم، والرصاص، ومن الممكن إنتاج مسبوكات سبائك النحاس والقصدير أيضاً بهذه الطريقة من السباكة.

في عملية السباكة بالقالب المعدني، وعلى وجه التحديد الصب بالقالب تحت الضغط، يتم إجبار المعدن المنصهر بالمرور خلال تجاويف القوالب المعدنية تحت ضغوط عالية والاحتفاظ به تحت هذا الضغط المرتفع خلال الانجماد، وبسبب استخدام القوالب المعدنية والضغط العالي بهذه الطريقة، فإنه يمكن الحصول على المقاطع الدقيقة والتفاصيل الممتازة للمسبوكة.

عادةً ما يتم الاحتفاظ بدرجات حرارة القالب عند حوالي 150 إلى 250 درجة سيليزية تحت درجة حرارة الانجماد للمعدن المطلوب سباكته من أجل الحد من الانجماد السريع، وإن أغلب هذه القوالب مصنعة من فولاذ العُدة الذي يتحمل درجات حرارة عالية بعد إجراء المعاملات الحرارية الخاصة بها للحصول على الخواص المطلوبة، علماً أن كلفة المعدن والتصنيع تكون عالية نوعاً ما.

الشكل رقم (4-2) يبيّن أنواع مختلفة من تجاويف القوالب المعدنية، وربما تكون بسيطة نسبياً، إذ تحتوي على تجويف واحد أو اثنين، أو ربما تكون معقدة نوعاً ما لأنها تحتوي على تجاويف متعددة للمنتج نفسه أو منتجات مختلفة.

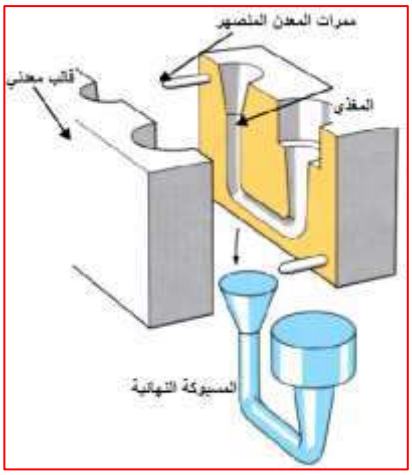


شكل رقم 4-2 أنواع مختلفة لقوالب السباكة بالقوالب المعدنية

عادةً ما يكون عمر القالب محدد من خلال السوفان (التآكل الاحتكاكي) (Wear) (أو التآكل بالتعرية)، الذي يعتمد بشكل كبير على درجة حرارة المعدن المنصهر، ويمكن أن تحدث تشققات سطحية للقالب أيضاً نتيجة لعدد كبير من دورات التسخين والتبريد خلال مرحلة صب منصهر المعدن وانجماده وتبريده إلى درجة حرارة الغرفة. نظراً لأن ضغوط الحقن العالية للمعدن المنصهر تسبب الاضطرابات واحتجاز الهواء، لذا فإن القيم المحددة للضغط والوقت ومدة التسليط تختلف اختلافاً كبيراً، إذ لا يحتاج لأن يكون الضغط ثابتاً، وكان هنالك اتجاه نحو استخدام مداخل كبيرة لمنصهر المعدن في تجويف القالب وضغوط حقن أقل، ومن ثم تم تطبيق الضغط العالي بعد أن تملأ القوالب تماماً ويبدأ المعدن في الانجماد من خلال تقليل الاضطرابات والانجماد تحت الضغط العالي، وهذا سيؤدي إلى التقليل من محتوى المسامية (Porosity) والمتضمنات (Inclusions) في المسبوكة النهائية.

3-4 السباكة بقالب معدني بالجاذبية Gravity Die Casting

إن السباكة في القوالب المعدنية بتأثير الجاذبية، هي ببساطة عملية صب منصهر المعدن في تجويف القالب باستخدام قوة الجاذبية، ومن ثم يترك هذا المعدن داخل القالب لحين انجماده وتبريده إلى درجة حرارة الغرفة. والشكل رقم (4-3) يوضّح القالب المعدني للصب بالجاذبية.



شكل رقم 4-3 آلية الصب بقالب معدني بالجاذبية

تُعرف طريقة السباكة بالقالب المعدني بالجاذبية أحياناً بالسباكة بالقوالب الدائمية، وهي وسيلة لسباكة مكونات عالية الجودة لمجموعة من المعادن ذات درجات الحرارة المنخفضة، على عكس السباكة بقوالب معدنية تحت الضغط (Pressure Die Casting)، تتضمن هذه الطريقة آلية صب بسيطة من المعدن المنصهر في القالب من دون أي قوة إضافية مسلطة، فضلاً عن أنه يمكن استخدام اللباب المعدني أو الرملي بما يسمى بالسباكة بقوالب شبه دائمية (Semi-Permanent Mold)، للحصول على مسبوكات أكثر تعقيداً من الناحية التصميمية. إن عملية الصب بالقالب المعدني بالجاذبية هي أفضل وسيلة مناسبة لمعدلات الإنتاج الأقل مقارنة مع الصب بقوالب الضغط، ومع هذا أن كلفة العُدد المستخدمة هي أقل، كما تكون هذه الطريقة مناسبة أيضاً لمجموعة متنوعة واسعة من السبائك، بما في ذلك النحاس والخارصين والمغنيسيوم، على الرغم من أن المعادن ذات درجات حرارة انصهار عالية ليست مناسبة بهذه الطريقة.

يتم تسخين القالب إلى أكثر من 150°C ويتم طلاء التجويف بمادة زيتية لمنع التصاق المسبوكة. قد يتم إدخال لباب مصنوع من المعدن أو من الرمل، ثم إغلاق نصفي القالب معاً بشكلٍ محكم، ومن ثم يتم صب منصهر السبيكة إلى التجويف، وتترك في القالب لحين انجمادها، وبمجرد انجماد المعدن داخل القالب يمكن إزالة المسبوكة أما يدوياً أو عن طريق المُعدات (أي بالأتمتة).

تكون معظم قوالب السباكة على شكل جزأين، النصف السفلي للقالب السحب (Drag) ويشكل قاعدة الصب والنصف العلوي الوجه (Cope) ويشكل الجزء العلوي من القالب، لا تتطلب بعض المسبوكات أي تشكيل على الجزء العلوي وفي هذه الحالة مطلوب فقط الجزء السفلي. إن عدم وجود وجه يعني أن تجويف القالب مفتوح، إذ بالإمكان صب منصهر المعدن مباشرةً. مثل هذه القوالب العليا المفتوحة تمثل تقنية ناجحة واقتصادية لإنتاج الألمُنيوم أو ألواح الجدار البرونزية والألواح من حديد الزهر، التي لا تحتاج إلى سطح خلفي جيد.

إن من أهم مزايا الصب بالقوالب المعدنية بالجاذبية هي ما يأتي:

1. تكون ملائمة للأحجام الكبيرة والإنتاج الآلي (Automated).
2. تحتاج هذه الطريقة إلى استثمار بالحد الأدنى لإنتاج الأحجام الصغيرة والمتوسطة.
3. بالإمكان الحصول على أجزاء ذات خواص ميكانيكية ممتازة وملائمة للمعاملات الحرارية.

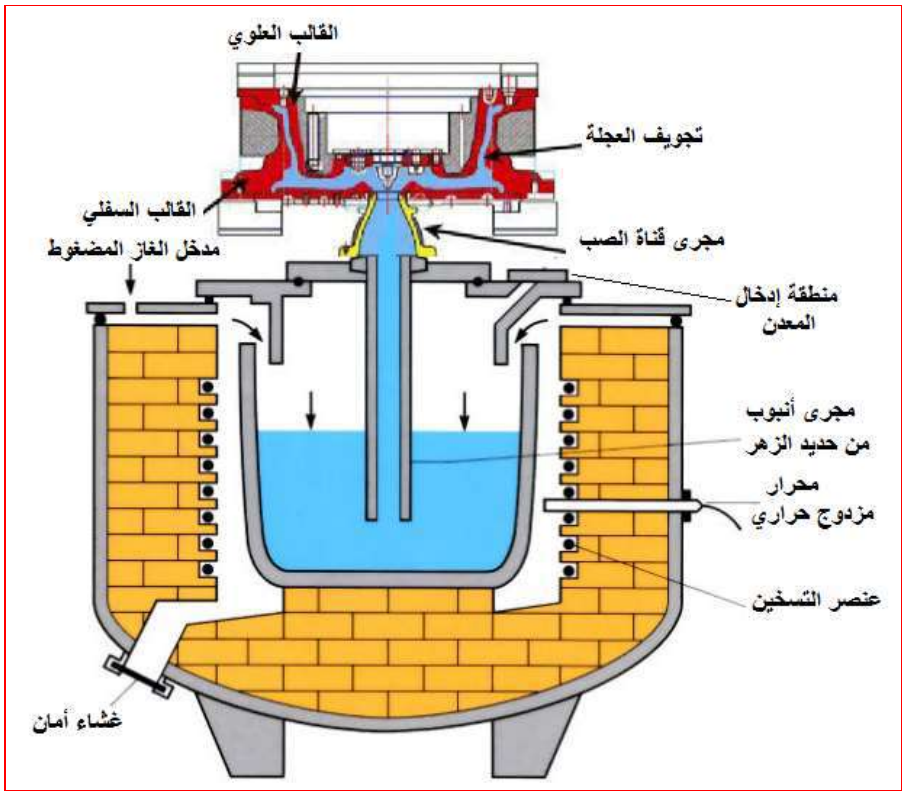
إما بالنسبة إلى التطبيقات الشائعة لهذه الطريقة، فهي تُعد طريقة مثالية لإنتاج مسبوكات الألمُنيوم المعقدة وتستخدم في أجزاء السيارات مثل ماسك الفرامل (Brake Caliper)، رأس أسطوانة المحرك، كتلة ومكبس المحرك (Engine Block and Piston)، وكما موضّحة في الشكل رقم (4-4).

شكل رقم 4-4 كتلة ومكبس المحرك

4-4 السباكة بقالب معدني بالضغط الواطئ Low-pressure Die Casting

السباكة بقالب معدني بالضغط المنخفض هي طريقة للإنتاج يستخدم فيها الضغط بدلاً من الجاذبية لملء القوالب بالمعدن المنصهر مثل الألُمنيوم والمغنيسيوم. في هذه العملية يقع فرن السباكة أسفل القالب ويتم إجبار المعدن السائل بالحركة للأعلى من خلال أنبوب الرافع إلى داخل التجويف، ويكون وضع القالب معكوساً للأسفل، ويقع فوق غرفة محكمة الإغلاق التي تحتوي على بودقة المعدن المنصهر، وكما موضّح في الشكل رقم (4-5).

تستخدم هذه العملية بشكل أساس في إنتاج المسبوكات المعدنية الخفيفة، خاصة تلك المصنوعة من سبائك مسبوكات الألمُنيوم، وكذلك تلك المصنوعة من سبائك المغنيسيوم مع وزن مسبوكات يتراوح ما بين 1 إلى 70 كغم تقريباً، ومع ذلك هنالك إمكانية أيضاً لصب المعادن الثقيلة (صب البراص)، كما تستخدم هذه العملية على نطاق واسع في إنتاج عجلات (Wheel) الألمُنيوم، ومن الممكن إنتاج المسبوكات ذات التصميمات المعقدة باستخدام عملية الصب منخفضة الضغط، ومن أمثلتها: غطاء المحور القلاب، رؤوس أسطوانة المحركات، غطاء المضخات، وأجزاء الهياكل، وغيرها.



شكل رقم 4-5 عملية الصب بقالب معدني بالضغط المنخفض

عادةً ما تكون القوالب مصنعة بشكل ملائم لماكنة السباكة المزودة بمنظومة هيدروليكية، وتعمل بالهواء المضغوط لإغلاق القوالب وسحب اللباب، كما تحتوي على مبردات القالب (الماء أو الهواء المضغوط، تبريد بالرش) وأجهزة استشعار درجة الحرارة. من الضروري جداً إعداد القوالب بشكل جيد من خلال التنظيف والطلاء قبل أول سباكة، إذ يجب تسخين القوالب إلى درجة حرارة التشغيل، التي يجب أن تنفذ عدة مرات باستخدام شعلات الغاز. في مكائن الصب بالضغوط المنخفضة الحديثة لوحة تثبيت القالب العلوي التي يمكن تدويرها لسهولة تنظيف القوالب واستخدام الطلاء، ومن أهم مزايا هذه العملية هي:

1. من خلال زيادة إملاء القالب وبشكل تدريجي، يمكن تجنب وجود الأكاسيد والغازات إلى حد كبير، طالما تم تصميم التهوية بشكل صحيح.
2. ليس هناك حاجة لاستخدام المغذيات في عملية الصب بسبب آلية الإملاء المستمرة والسيطرة على الانجماد.
3. إن استخدام اللباب الرملي المغلف (Coated Sand Core) أمر ممكن بسبب انخفاض الضغط، بالتالي يمكن التصميم والحصول على الأشكال المعقدة للتجاويف الداخلية للمنتجات المطلوبة.

5-4 السباكة بقالب معدني بالضغط Pressure Die Casting

تتضمن عملية السباكة بقوالب معدنية بالضغط إجبار منصهر المعدن بإملاء تجاويف القوالب تحت ضغوط مرتفعة جداً، مع الاحتفاظ بهذا الضغط خلال عملية الانجماد، ونتيجة لهذه الخاصية فضلاً عن معادن القوالب المستخدمة، فإنه بالإمكان الحصول على عدة مزايا للقطع المنتجة مثل إنتاج المقاطع الدقيقة التي لا يمكن الحصول عليها بالطرائق الأخرى وبتفاصيل مسبوكات معقدة، فضلاً عن عمر أطول للقالب. معظم المسبوكات المصنعة بهذه الطريقة هي من السبائك المعدنية غير الحديدية، وعلى الأخص سبائك الخارصين، النحاس، المغنيسيوم، والألمُنيوم التي تم تصميمها للحصول على خصائص ممتازة، إما بالنسبة للمسبوكات المعدنية الحديدية تكون هذه الطريقة ممكنة ولكنها تُعد عموماً غير شائعة. معدلات الإنتاج بهذه الطريقة مرتفعة جداً، وتظهر المسبوكات مقاومة جيدة، ويمكن أن تكون الأشكال معقدة تماماً، كما وإن دقة الأبعاد ونوعية الأسطح المنتجة ممتازة، لذلك لا تحتاج المسبوكات بها إلى عمليات التشغيل اللاحقة. يمكن تصنيف معظم المسبوكات على إنها أجزاء صغيرة إلى متوسطة الحجم، ولكن حجم ووزن المسبوكات يكون متزايداً باستمرار.

هنالك مجموعة من العوامل التي يجب مراعاتها فيما يتعلق بملائمة عملية السباكة بالضغط، ويمكن أن تشمل هذه العوامل متطلبات الجودة مثل الإنهاء السطحي، درجة التعقيد للمسبوكة، الخصائص الميكانيكية، كذلك اعتبارات الإنتاج مثل معدل الإنتاج وزمن العملية ومرونة العملية وغيرها من الاعتبارات التصنيعية التجارية.

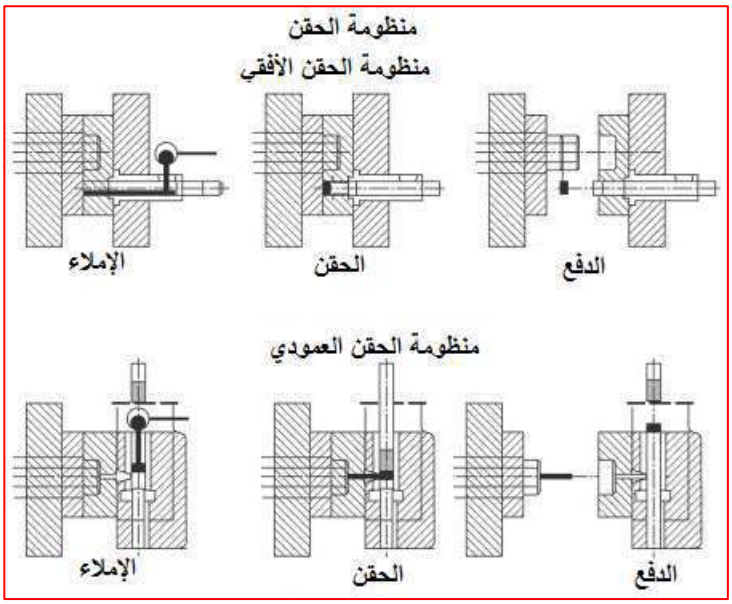
يتم تأمين نصفي القالب المصنوع من الفولاذ السبائكي المصلد إلى ماكنة السباكة، أحدهما مثبت والآخر مرتبط بالذراع الهيدروليكية المتحركة، يتم تنظيف هذه القوالب وتشحيمها قبل إغلاقها بموجب القوة الهيدروليكية، كما مبيّن بالشكل رقم (4-6) الذي يوضّح عملية السباكة بقالب معدني بالضغط من خلال منظومة الحقن العمودي والحقن الأفقي.

إن من أهم فوائد السباكة بقالب معدني بالضغط هي:

1. القدرة على إنتاج كميات كبيرة، مع مستويات عالية من الدقة.
2. انجماد المعدن يتم في وقت قصير جداً مما يعطي إنتاجاً أسرع.
3. تكون هذه الطريقة مثالية لمجموعة واسعة من التطبيقات.
4. طريقة فعالة جداً لإنتاج الأجزاء المعقدة للغاية والدقيقة.
5. إنهاء سطحي جيد وأبعاد متقاربة جداً للمنتج.

ومن ابرز مساوئ هذه الطريقة هي:

1. تتطلب مُعدات معقدة ومكلفة.
2. تُعد غير مرنة نسبياً عند مقارنتها بطريقة السباكة بالجاذبية.
3. غير ملائمة لعمليات الإنتاج المحدودة أو الصب الفردي، التي تصبح نسبياً أكثر تكلفة.



شكل رقم 4-6 مخطط لمنظومتي الحقن الأفقي والعمودي للسباكة بقالب معدني بالضغط

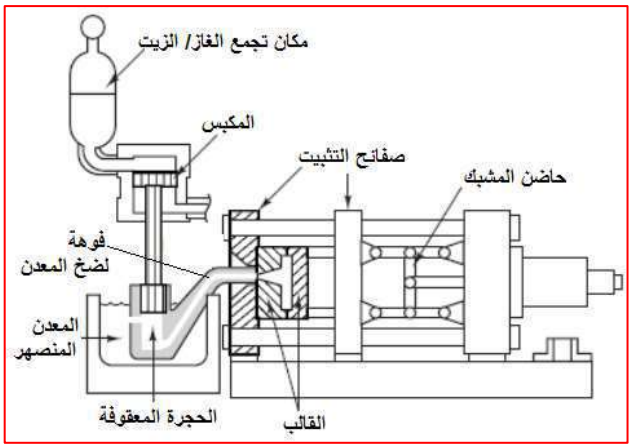
6-4 مكائن السباكة بالقالب المعدني Die Casting Machines

هنالك نوعان من مكائن السباكة بالقوالب المعدنية وهما:

1-6-4 ماكنة السباكة بالقوالب المعدنية ذات الحجرة الساخنة Hot – Chamber Die Casting

تكون الغرفة الساخنة مغمورة جزئياً في خزان من المعدن المنصهر مع الغطاس (Plunger)، يتدفق المعدن المنصهر عبر منفذ مفتوح ويملأ الغرفة، يدفع الغطاس الميكانيكي المعدن للجزء المعقوف (Gooseneck) من خلال الممرات والبوابات، ومن ثم إلى القالب، حيث يتم انجماد منصهر المعدن بسرعة، كما موضّح بالشكل رقم (4-7).

لا يمكن استخدام تصميم السباكة بالغرفة الساخنة للمعادن ذات درجة الانصهار العالية، وهو غير مناسب للألمُنيوم لأن منصهر الألمُنيوم يميل إلى التفاعل مع بعض الحديد خلال زمن الاتصال الطويل مع مُعدات الصب مكوّناً مركبات معدنية هشة، لذلك فإن الاستخدام الأساس للسباكة بالقوالب ذات الحجرة الحارة هو لسبائك الخارصين – القصدير والسبائك التي يكون فيها الرصاص معدناً أساسياً.

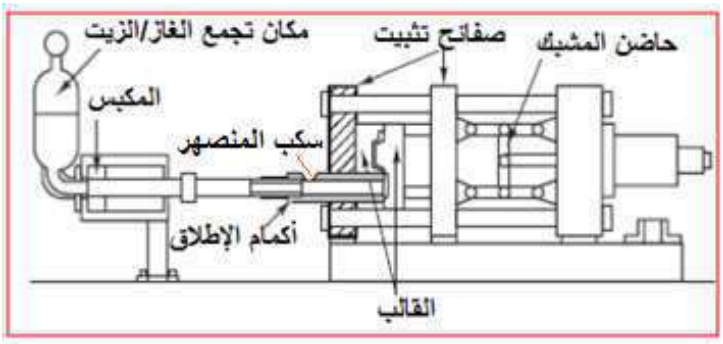


شكل رقم 4-7 أجزاء ماكنة السباكة بالقوالب المعدنية ذات الغرفة الساخنة

توفر ماكنة السباكة بالحجرة الساخنة دورات زمنية سريعة للإنتاج (التي وفرتها قدرة القوالب المبردة بالماء لتبريد المعدن المنصهر وانجماده)، فضلاً عن حقن منصهر المعدن من الغرفة نفسها التي تتم إذابتها أي لا يوجد معالجة أو نقل المعادن المنصهرة. يمكن تصنيع مسبوكات الخارصين بوساطة عملية الحقن الساخن المضاعف المباشر (Heated-Manifold Direct Injection Die-Casting). إذ يُجبر منصهر معدن الخارصين بقوة على المرور خلال منطقة ساخنة، ثم من خلال فوهات صغيرة ساخنة مباشرة إلى تجويف القالب. تم الاستغناء عن هذه الطريقة تماماً لحاجتها إلى المصبات والمداخل والممرات لقالب السباكة. ومن أهم مزاياها تقليل الخردة، حفظ الطاقة (معدن منصهر أقل لكل إطلاقة ولا حاجة لتوفير الحرارة الزائدة للتعويض عن التبريد في نظام البوابات)، وزيادة جودة المنتج.

4-6-2 ماكنة السباكة بالقوالب المعدنية ذات الحجرة الباردة Cold – Chamber Die Casting

عادةً ما يتم استخدام ماكنة السباكة بالغرفة الباردة لصب المعادن غير المناسبة للسباكة في ماكنة الغرفة الساخنة، وتشمل هذه السبائك: سبائك الألمُنيوم والمغنيسيوم والنحاس. في هذه الطريقة يتم نقل المعادن التي تم صهرها في فرن منفصل إلى ماكنة السباكة، حيث تتم تغذية الكمية المقاسة إلى غرفة الضخ الباردة (أو أسطوانة حقن)، ثم يتم توجيهها لاحقاً إلى القالب بواسطة مكبس هيدروليكي أو ميكانيكي، يتم الاحتفاظ بالضغط أو زيادته حتى اكتمال الانجماد، نظراً لأن المعدن المنصهر يجب نقله إلى الغرفة لكل عملية إطلاق، فإن عملية الغرفة الباردة لديها دورة تشغيل أطول مقارنة بمكائن السباكة بالغرف الساخنة، وكما هو موضّح في الشكل رقم (4-8) وعلى عكس عملية السباكة بالغرف الساخنة. تحل الغرفة الباردة مشكلة التآكل عن طريق فصل وعاء الصهر من مكونات المحاقن، في هذه العملية يتم نقل المعادن بواسطة مغرفة (يدوياً أو تلقائياً) إلى مداخل الإطلاق، بعدها يقوم مكبس الحقن بتوجيه منصهر المعدن إلى تجويف القالب وهذه عملية إطلاقة واحدة. يقلل هذا الإجراء وقت الاتصال بين منصهر المعدن الساخن ومكونات المحاقن مما يساعد على تمديد أعمارها التشغيلية.



شكل رقم 4-8 أجزاء ماكنة السباكة بالقوالب المعدنية ذات الغرفة الباردة

من الممكن سباكة المسبوكات المعدنية ذات درجات الانصهار الواطئة باستخدام السباكة بالضغط بالغرف الباردة، ولكن يجب الأخذ بنظر الاعتبار مزايا عملية الغرف الساخنة، فإنها عادةً ما ترجح الإحساس الاقتصادي لاستخدام طريقة الغرف الساخنة للمعادن مثل الخارصين والمغنيسيوم، وبشكل عام في السباكة بالقوالب المعدنية لا يتم استخدام المغذيات والروافع (Risers) في عملية السباكة لأن ضغوط الحقن العالية تضمن التغذية المستمرة للمعادن المنصهرة خلال منظومة البوابات في الصب وكذلك تعويض انكماش الانجماد والتقلص بمنصهر المعدن.

فيما يتعلق باللباب فإنه لا يمكن استخدام اللباب الرملي في الصب بالقوالب المعدنية، لأن الضغوط العالية ومعدلات التدفق تسبب أما تفكك اللباب أو اختراق معدني مفرط إلى اللباب.

أسئلة الفصل الرابع

س1) ما أهم مزايا السباكة بالقوالب الدائمية؟ وضّحها.

س2) اذكر أهم محددات السباكة بالقوالب الدائمية.

س3) ما المواد المستخدمة كقوالب في السباكة الدائمية والمعادن التي يتم سباكتها بهذه الطريقة؟ عددها.

س4) لماذا يكون من المفيد أحياناً اختلاف الضغط على المعدن المنصهر خلال عملية السباكة بالقوالب المعدنية Die Casting؟

س5) أي نوع من أنواع المعادن ملائمة للسباكة بطريقة الضغط بالقوالب المعدنية ذات الغرف الساخنة؟

س6) ما المعادن التي يتم سباكتها بشكل شائع بطريقة السباكة بالقوالب المعدنية ذات الغرف الباردة؟

س7) هل يمكن استخدام المغذيات واللباب الرملي في السباكة بالقوالب المعدنية؟ ولماذا؟

س8) اذكر أهم مزايا السباكة بالقالب المعدني بالجاذبية.

س9) اذكر أهم العوامل التي يجب مراعاتها فيما يتعلق بملائمة عملية السباكة بقالب معدني بالضغط.

س10) ما أهم فوائد ومساوئ الصب بقوالب الضغط؟ اذكرها.

س11) املأ الفراغات الآتية بما يناسبها:

1. السباكة بالقوالب الدائمية عبارة عن عملية صب منصهر المعدن باستخدام قوالب ..... عادةً ما تكون مصنوعة من .....
2. يتضمن مبدأ عملية السباكة بالقالب المعدني حقن المعدن المنصهر في قوالب معدنية مغلقة تحت الضغوط التي تتراوح .....
3. عادةً ما يتم الاحتفاظ بدرجات حرارة القالب المعدني عند حوالي 150 إلى 250 درجة سيليزية تحت درجة حرارة ..... للمعدن المطلوب سباكته من أجل تعزيز الانجماد .....
4. إن عملية الصب بالقالب المعدني بالجاذبية هي أفضل وسيلة مناسبة لمعدلات الإنتاج ..... مقارنة مع الصب بقوالب .....
5. في عملية السباكة بقالب المعدني بالضغط الواطئ، يقع فرن السباكة ..... القالب، ويتم إجبار المعدن السائل بالحركة ..... من خلال أنبوب الرافع إلى داخل التجويف.
6. تتضمن عملية السباكة بقوالب معدنية بالضغط هو إجبار منصهر المعدن ..... تجاويف القوالب تحت ضغوط .....
7. هنالك مجموعة من العوامل التي يجب مراعاتها فيما يتعلق بملائمة عملية السباكة بالضغط، منها متطلبات ..... ودرجة ..... للمسبوكة.
8. أبرز مساوئ السباكة بالضغط أنها غير ملائمة لعمليات الإنتاج .....، التي تصبح نسبياً أكثر .....
9. هنالك نوعان من مكائن السباكة بالضغط هما: ..... و.....
10. لا يمكن استخدام اللباب ..... في السباكة بالضغط، لأن الضغوط العالية تسبب تفكك اللباب أو اختراق ..... مفرط إلى اللباب.

الفصل الخامس

تقنيات سباكة أخرى

Other Casting Techniques

الأهداف

الهدف العام:

سيتمكن الطالب في هذا الفصل من معرفة وفهم تقنيات السباكة غير التقليدية مثل: سباكة الرغوة المفقودة، وسباكة الطرد المركزي بأنواعها المختلفة، وكذلك تقنية السباكة المستمرة، فضلاً عن سباكة العصر والمعادن شبه الصلبة.

الأهداف الخاصة: بعد الانتهاء من دراسة الفصل الخامس سوف يتمكن الطالب من معرفة الآتي:

- سباكة الرغوة المفقودة.
- السباكة بالطرد المركزي
- السباكة بالطرد المركزي الحقيقية وحساب قوة الطرد المركزي وحساب السرعة الدورانية

- سباكة شبه طرد مركزي
- سباكة طَرد مركزي بعيد عن المركز
- السباكة المستمرة
- سباكة البثق (العَصْر)
- سباكة المعادن شبه الصلبة

تقنيات سباكة أخرى

Other Casting Techniques

1-5 مقدمة Introduction

تمت دراسة طرائق وتقنيات مختلفة في السباكة في كتب العلوم الصناعية بالصفين الأول والثاني، وكذلك بالفصول السابقة من كتاب الصف الثالث، ومنها السباكة الرملية والسباكة بالقوالب القشرية والسباكة بالقوالب المعدنية والسباكة بالضغط. وفي هذا الفصل سيتم التطرق إلى موضوع طرائق وتقنيات أخرى بالسباكة، مثل: السباكة بالرغوة المفقودة، السباكة بالطرد المركزي، السباكة بالعصر السباكة المستمرة، وسباكة المعادن شبه الصلبة. وهي طرائق وتقنيات مهمة في إنتاج المسبوكات المعدنية ذات أشكال خارجية وداخلية مميزة ومعقدة في بعض الأحيان، وسباكة الأنابيب المعدنية والأشكال الأسطوانية والقرصية وغيرها من الأشكال، فضلاً عن أن هذه المسبوكات لها خواص محددة بحسب الغرض الذي أُنتجت من أجله.

2-5 السباكة بالرغوة المفقودة Lost Foam Casting

السباكة بالرغوة المفقودة أو السباكة بالنموذج المتبخر Evaporative Pattern هي تقنية رائعة استخدمت من قبل شركة جنرال موتورز منذ أواسط الثمانينات من القرن الماضي في سباكة الأجزاء المعقدة مثل كتلة الأسطوانات، لاحظ شكل رقم (5-1) ورؤوس الأسطوانات (الكورات) وأعمدة المرفق والناقلات التفاضلية وأجزاء نقل الحركة، وهي كلها قطع مهمة جداً في محركات المركبات وأجزائها، وما زالت تلاقي هذه التقنية نجاحاً باهراً. تعتمد هذه التقنية على مبدأ النموذج المستهلك كما هو الحال في السباكة بالشمع المفقود، ولكن تتميز عنها باختلاف مهم هو ترك النموذج المجمع داخل القالب ليتم إزاحته بالتبخير بوساطة منصهر المعدن عند صبه.

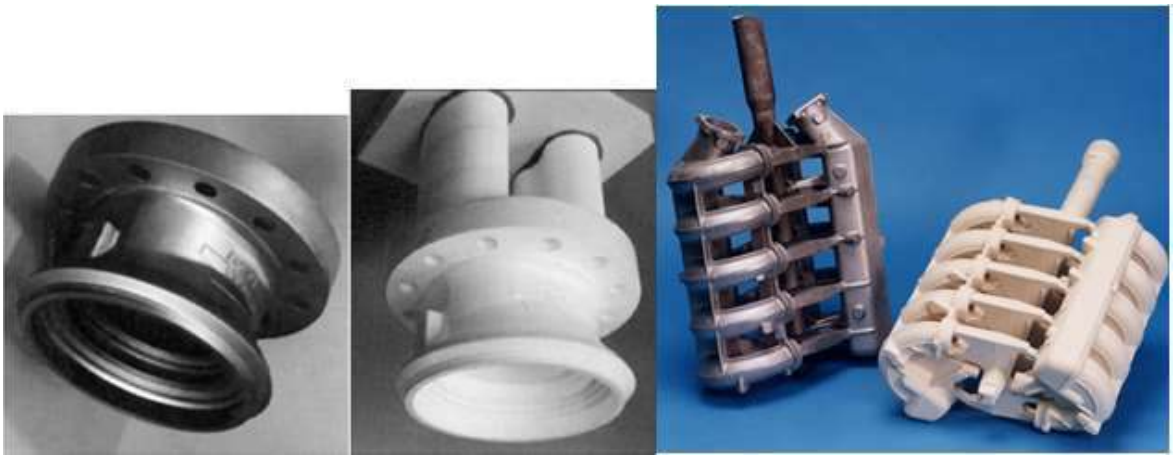
الشكل 5-1 نموذج لكتلة أسطوانة محرك سيارة من الرغوة (يمين)، المسبوكة المعدنية النهائية (يسار)

الرغوة عبارة عن مواد لدائنية أشهرها استخداماً في صناعة نماذج السباكة هي رغوة مادة البولسترين، إذ تصنع طبقات البولسترين من مادة البولسترين الرغوية، التي تنفخ بالهواء لتكوّن حبيبات صغيرة تحتوي على 98% هواء و 2% فقط من مادة البولسترين الصلبة (لذا تُعد هذه الحبيبات من المواد العازلة)، ومن ثم تكبس الحبيبات بالضغط والبخار لتشكيل ألواح بكثافة واطئة، وبالإمكان إنتاج طبقات متنوعة بحسب الكثافة المطلوبة.

تصنع نماذج هذه التقنية عن طريق التشغيل الآلي في حالة الإنتاج الكمي النمطي، كما هو موضّح في الشكل رقم (5-2)، أو القص اليدوي بالشفرة أو السلك الساخن لطبقات البولسترين في حالة إنتاج قطعة واحدة كما في قطع طبقات الإسفنج. غالباً ما يكون النموذج من قطع متعددة، ويتم لصقها مع بعض لتكون نسخ مشابهة للمسبوكات المطلوبة مع الأخذ بنظر الاعتبار إضافة سماحات التقلص والانكماش لتجاوز تقلص وانكماش الانجماد بحسب نوع معدن المسبوكة، ولا يحتاج نموذج الرغوة إلى سماحات الميل المهمة والضرورية في تصميم النموذج الخشبي أو المعدني على سبيل المثال، لسهولة سحبه خارج القالب في المقالبة الرملية التقليدية، لذا يُعد تشكيل القالب في عملية السباكة بالرغوة المفقودة بسيطاً وسريعاً.

الشكل 5-2 إنتاج نماذج لمسبوكات بشكل كمي نمطي

تلصق كذلك مع النموذج تفاصيل منظومة الصب كافة والمغذيات والمنفسات وغيرها، لتكون مجمعة بقطعة واحدة، لاحظ الشكل رقم (5-3). وهذا ما يميز هذه الطريقة عن باقي طرائق السباكة المختلفة. ومن ثم يتم إكساء المجموعة بطبقة رقيقة من مسحوق الكرافيت للحصول على سطح ناعم، ومن ثم يتم تجفيف المجموعة لتكون جاهزة لوضع النموذج في صندوق قالب السباكة. تبدأ عملية تحضير المقالبة بعد تجهيز مجموعة النموذج، إذ توضع المجموعة داخل صندوق المقالبة ويرص رمل السباكة من حولها، ولهذا تسمى هذه الطريقة أيضاً بسباكة القالب الكامل Full Mold Casting.

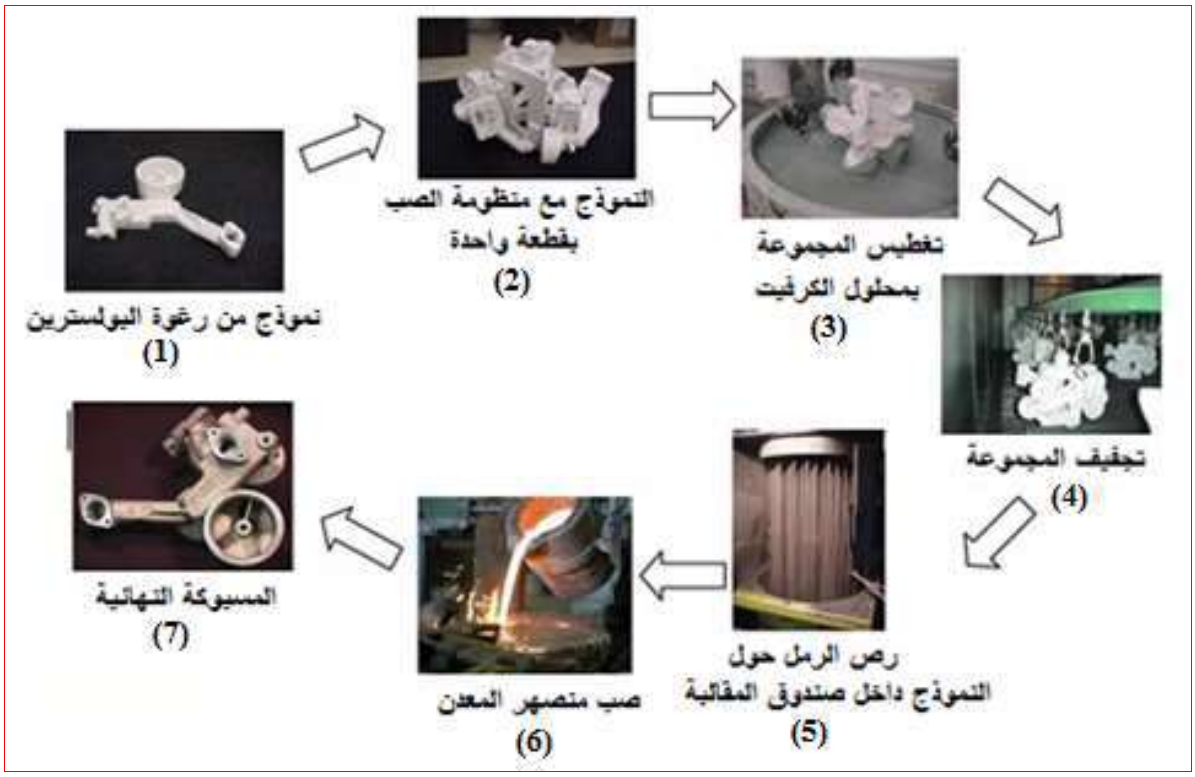


شكل 5-3 النموذج مع منظومة الصب بقطعة واحدة مصنعة من رغوة البولسترين والمسبوكات النهائية

في تقنيات السباكة التقليدية يتم إخراج النموذج قبل بدء صب منصهر المعدن، وهذا الإجراء يسبب مشاكل وعيوباً عديدة، منها على سبيل المثال وليس الحصر هو تلف القالب أو حافاته عند إخراج النموذج، مما يضطر إلى إعادة المقالبة بالكامل وهذا يسبب تأخيراً في الإنتاج، وكذلك عدم تطابق النصف السفلي مع العلوي عند فتح جزأي القالب عند إخراج النموذج، وبالتالي يؤدي إلى تشويهات وعيوب في شكل المسبوكة. كل هذه المشاكل يتم تجاوزها عند ترك النموذج المجمع مع منظومة الصب داخل القالب، وبالتالي سيؤدي ذلك إلى سرعة في إنتاج المسبوكات.

بالرغم من احتياج العملية لنموذج جديد لكل مسبوكة، ولكن رغوة البولسترين هي بحد ذاتها رخيصة جداً، ولكن طريقة تصنيع النموذج هي المكلفة، ولهذا تعتمد كلفة المسبوكات اقتصادياً على طريقة إنتاج تلك النماذج. ومع هذا تبقى هذه الطريقة بالسباكة من الطرائق المهمة لإمكانية تصنيع مسبوكات بأشكال معقدة جداً بسطوحها الخارجية والداخلية، التي لا يمكن أو بالحقيقة استحالة تصنيعها بالسباكة بالطرائق التقليدية المعروفة.

السمة الأكثر تميزاً لعملية السباكة بالرغوة المفقودة، هي صب المعدن المنصهر في القالب الذي يحتوي على مجموعة النموذج مع منظومة الصب والمغذيات وحتى في بعض الأحيان اللباب الداخلية، إذ تبدأ مادة رغوة البولسترين بالصهر والتبخر التدريجي وتطايرها حال ملامستها لمنصهر المعدن بسبب انخفاض درجة حرارة انصهارها وتبخرها التي هي بحدود (100°C)، واستمرار ذلك لحين ملء القالب بالكامل، ويتطاير بخار مادة رغوة البولسترين مع الهواء إلى الخارج عبر المسامية بين حبيبات الرمل. إن نفاذية الرمل Permeability في هذه التقنية من المعايير المهمة جداً، لأنه في حالة انخفاض مقادير نفاذية الرمل، ستتولد عيوب غازية داخل المسبوكة بسبب انحصار الغاز داخل تجويف القالب. الشكل رقم (5-4) يبيّن خطوات طريقة السباكة بالرغوة المفقودة:



شكل 5-4 خطوات عملية السباكة بنموذج من رغوة البولسترين المفقودة

5-2-1 مميزات ومحددات عملية السباكة بالرغوة المفقودة

Advantages and Disadvantages of Lost Foam Casting Process

جميع مميزات السباكة الرملية تنطبق على السباكة بالرغوة المفقودة، ومع هذا هنالك **مميزات عديدة أخرى تتميز بها هذه الطريقة وتتضمن الآتي**:

1. السباكة بالرغوة المفقودة مناسبة جداً للإنتاج الكمي الكبير.
2. إمكانية أتمتة خط الإنتاج بالكامل، وبالتالي سيتم تقليل كلف الإنتاج بشكل فعال.
3. بعد السيطرة والتحكم وأتمتة الخط الإنتاجي، سيكون العائد الاقتصادي مرتفعاً جداً.
4. عدم الحاجة إلى عمالة ذات مهارة عالية.
5. إمكانية سباكة أشكال معقدة بسطوح داخلية وخارجية وجدران نحيفة، ولحد الشكل النهائي المطلوب أو قريب للشكل المطلوب أي هنالك مرونة عالية في تصميم الأجزاء المطلوبة.
6. بسبب طبيعة العملية، وقت عملية التنظيف يختصر لحد 60% عن طرائق السباكة التقليدية.
7. لكون الرمل هو مادة المقالبة وهو مادة حرارية (مقاوم لدرجات الحرارة المرتفعة)، بالإمكان سباكة معظم المعادن مثل حديد الزهر والفولاذ، فضلاً عن المعادن الأخرى مثل سبائك النحاس والألمنيوم وغيرها.

أما محددات عملية السباكة بالرغوة المفقودة فتتضمن الآتي:

1. متطلبات المُعدات الأساسية عالية الكُلفة.
2. تُعد كلفة النموذج المصنوع من البولسترين أعلى بسبب استخدامه مرة واحدة فقط.
3. سهولة تلف النموذج بسبب عدم متانة مادة البولسترين.
4. إجراءات الإنتاج عديدة ووقت التسليم سيكون طويلاً نسبياً.
5. تحتاج عملية التحكم في كل إجراء من إجراءات عملية السباكة إلى تقنيات حديثة بالسيطرة.
6. جودة المواد الخام غير مستقرة، وبالتالي ستؤثر على جودة المسبوكات.

تُعد طريقة السباكة بالرغوة المفقودة إحدى أهم الطرائق لسباكة أشكال معقدة، وخصوصاً قطع وأجزاء المركبات، والشكل رقم (5-5) يبيّن أهم تلك المسبوكات.

شكل 5-5 بعض مسبوكات تم سباكتها بطرية الرغوة المفقودة

3-5 السباكة بالطرد المركزي Centrifugal Casting

السمة الأساسية للسباكة بالطرد المركزي هي صب منصهر المعدن داخل قالب، يتم تدويره بسرعة عالية أثناء انجماد المعدن، وبالتالي سيكون لقوة الطرد المركزي أن تؤدي دوراً مهماً في تغذية وتشكيل المسبوكة على وفق متغيرات العوامل المستخدمة في هذه التقنية.

عرفت هذه التقنية في أواسط القرن التاسع عشر، ولكنها استخدمت بكثرة بعد سنة 1920 بتصنيع أنابيب حديد الزهر على نطاق واسع، ومنذ ذلك الحين انتشر استخدامها على نطاق واسع لتشمل أشكالاً ومعادن أخرى. إن قوة الطرد المركزي الناتجة عن دوران قالب السباكة كبيرة جداً مقارنةً بالقوى الهيدروستاتيكية الاعتيادية، ويُلاحظ تأثيرها بحالتين هما:

الأولى: عند صب منصهر المعدن، إذ تؤثر قوة الطرد المركزي على توزيع منصهر المعدن على جدار سطح القالب، وهذه الحالة تساعد في تشكيل أسطوانات مجوفة وأشكال حلقية أخرى.

الثانية: توليد ضغط عالٍ لعملية السباكة في أثناء الانجماد، وهذا الضغط مع الاقتران بمفهوم الانجماد الاتجاهي سيساعد في التغذية الصحيحة لمنصهر المعدن، ويسرع في الوقت نفسه من عزل الشوائب غير المعدنية وطرد الغازات الداخلة في منصهر المعدن.

وبالتالي فإن مزايا هذه التقنية ذات شقين هما:

1- ملائمة هذه الطريقة لسباكة الأشكال الأسطوانية. 2- الجودة المعدنية العالية للمسبوكة.

تتم سباكة الأنابيب عن طريق تدوير قالب السباكة حول محوره، ويتحدد شكل التجويف الداخلي للأنبوب عن طريق قوة الطرد المركزي وحدها، بينما يتحدد سمك جدار الأنبوب بحسب حجم منصهر المعدن الذي يتم صبه في القالب، لاحظ الشكل رقم (5-6). تؤخذ بنظر الاعتبار إضافة المغذيات لتعويض منصهر المعدن بتقلصات التبريد وانكماش الانجماد. وفي حالة وجود تجاويف داخلية للمسبوكة بأقطار متغيرة أو سمك جدار الأنبوب غير منتظم، فبالإمكان استخدام قلب مركزي لتشكيل الملامح الداخلية للمسبوكة. يشار إلى هذه التقنية بمصطلح الطرد المركزي الحقيقي. هنالك تقنيتان بديلتان عن الطرد المركزي الحقيقي تستخدم في سباكة القطع الصغيرة التي يتم تحديد ملامحها بحسب شكل تجويف القالب واللباب ومحور الدوران يكون حول محور قناة الصب الهابطة، ولذلك إن واجب قوة الطرد المركزي في هذه الحالة، هو توليد الضغط لتغذية منصهر المعدن، وهاتان التقنيتان هما شبه الطرد المركزي والسباكة بالتدوير. إن لجميع طرائق تقنية السباكة بالطرد المركزي فيها ميزة مهمة، وهي عدم الحاجة إلى المغذيات والروافع والمنفسات، وكذلك إلى بعض أجزاء منظومة الصب مثل القناة الهابطة والمجرى والمدخل لتجويف القالب، لذا يتم استغلال أكثر من 90% من منصهر المعدن المصبوب، فضلاً عن خلو المسبوكة من عيوب التجاويف والفقاعات الغازية، وبالتالي ستكون المسبوكات بكثافة عالية ومتانة جيدة.

شكل رقم (5-6) سباكة الطرد المركزي للأنابيب

1-3-5 سرعة دوران القالب Mold Rotation Speed

تعتمد تقنية سباكة الطرد المركزي بالأساس على دوران قالب السباكة، لتوليد قوى الطرد المركزي، ولذا يُعد سرعة دوران القالب المعيار الأهم في نجاح المسبوكات بتقنية الطرد المركزي، كما تم ذكره آنفاً، وإن مقدار قوة الطرد المركزي تتناسب مع القطر الخارجي للقالب ومربع سرعة الدوران. يجب أن تكون سرعة الدوران مناسبة، لأنه في حالة السرعة المنخفضة سيؤدي إلى انزلاق منصهر المعدن داخل مركز القالب، وبالتالي سوف لن يتم الحصول على شكل المسبوكة المطلوب فضلاً عن حصول عملية الأكسدة لمنصهر المعدن، وفي حالة كون سرعة الدوران سريعة أكثر من اللازم سيؤدي ذلك إلى عيوب التشققات الطولية في المسبوكة.

في هذا الخصوص المهم معرفته عملياً هو ليس قوة الطرد المركزي والسرعة المحورية لحركة دوران القالب، وإنما مقدار عدد دورات قالب السباكة إن كان الدوران على حد سواء حول المحور الأفقي أو المحور الشاقولي. بالإمكان اشتقاق معادلة بسيطة لمعرفة الحد الأدنى لدورات القالب الذي يجب على المختصين في السباكة معرفته لتنظيم سرعة دوران المحرك الذي يعمل على تدوير القالب. قد تم اشتقاق معامل للطرد المركزي مهم في معادلة حساب عدد الدورات، وهو النسبة بين قوة الطرد المركزي مقسوم على وزن منصهر المعدن الذي يعرّف بـ G-Factor ويرمز له عادةً بـ (GF)، وإن قيمة GF لإنجاح المسبوكات يجب أن تتراوح بين (60-80) للسباكة بالطرد المركزي الحقيقية، أو الدوران حول المحور الأفقي، أما في حالة السباكة بالطرد المركزي والدوران حول محور شاقولي فيجب أن تكون قيمته أكبر من (90). وعلى أي حال أن عدد الدورات التي يرمز لها بحرف (N) لقوالب الطرد المركزي تتراوح ما بين (300-1000 rpm)، وهذه المقادير هي المستخدمة بنجاح من خلال التجارب العملية الكثيرة في هذا المجال. ومن الجدير بالذكر هنا يتم تحديد أقطار التجويف الداخلي للمسبوكات بكمية منصهر المعدن المصبوب أو بوضع اللباب في مركز قالب السباكة.

$$N = \frac{30}{\pi}\sqrt{\frac{2\times g\times GF}{D}} \quad \text{.....} \quad (5\text{-}1)$$

إذ أن:

N: عدد الدورات بالدقيقة والمطلوبة كحد أدنى (rpm) ، π: النسبة الثابتة وتساوي 3.14

g: التعجيل الأرضي ويساوي $9.81\ m/s^2$ ، GF: معامل الطرد المركزي (بدون وحدات)

D : القطر الداخلي للقالب (m)

فكر

إذا تم ذكر قطر المسبوكة الخارجي بمعطيات المسألة الرياضية ، فكيف يتم التعويض بالمعادلة؟

بالإمكان تبسيط المعادلة (5-1) إلى المعادلة الآتية التي يفترض بالطالب حفظ حدودها:

$$N = 42\sqrt{\frac{GF}{D}} \quad \text{.....} \quad (5\text{-}2)$$

مثال رقم 1: استخدمت تقنية السباكة بالطرد المركزي الحقيقية لسباكة أسطوانة مجوفة (بوشة) من البراص، قطرها الخارجي يساوي (20 cm)، جد مقدار عدد دورات الحد الأدنى للقالب للحصول على مقدار معامل الطرد المركزي ($GF = 80$).

الجواب:

القطر الخارجي للأسطوانة هو نفسه القطر الداخلي لقالب السباكة، ويساوي (0.2 m).

$$N = 42\sqrt{\frac{GF}{D}} = 42\sqrt{\frac{80}{0.2}} = 42\sqrt{400} = 42 \times 20 = 840\ rpm$$

مثال رقم 2: يراد سباكة حلقة من الألمُنيوم قطرها الخارجي يساوي (60 cm) ومعامل الطرد المركزي ($GF = 60$)، جد مقدار عدد دورات الحد الأدنى للقالب للحصول على مسبوكة جيدة.

الجواب:

$$N = 42\sqrt{\frac{GF}{D}} = 42\sqrt{\frac{60}{0.6}} = 42\sqrt{100} = 42 \times 10 = 420\ rpm$$

مثال رقم 3: جد مقدار عدد دورات القالب الذي يحقق ($GF = 72$) لسباكة أنبوب من الرصاص لمصنع كيمياوي قطر الأنبوب الخارجي يساوي (80 mm).

الجواب:

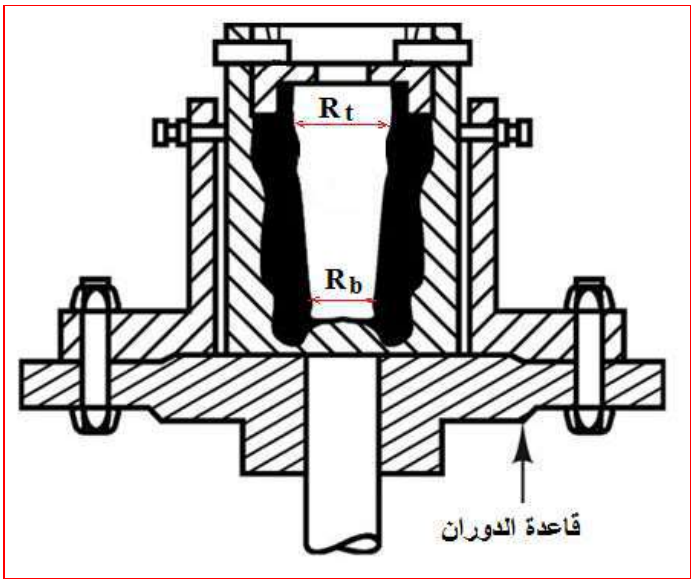
$$N = 42\sqrt{\frac{GF}{D}} = 42\sqrt{\frac{72}{0.08}} = 42\sqrt{900} = 42 \times 30 = 1260\ rpm$$

فكر إن عدد الدورات في المثال الأخير كانت كثيرة!!! لماذا كانت بهذا المقدار؟ هل تتمكن من تفسير ذلك؟

تُعد المعادلة (5-2) جيدة في حالة الدوران بالاتجاه الأفقي، أما في حالة الدوران بالاتجاه الشاقولي التي تستخدم عادةً في حال كون قطر المسبوكة الأسطوانية المجوفة والمراد سباكتها كبيراً نسبةً إلى طولها، فتستخدم المعادلة الآتية والمشتقة أيضاً من قوة الطرد المركزي ووزن منصهر المعدن، وفي هذه الحالة يؤخذ بنظر الاعتبار الفرق بين سمك جدار في أعلى القالب وفي أسفله، أو بعبارة أخرى أن نصف قطر التجويف الداخلي العلوي (R_t) سيكون أكبر من نصف قطر التجويف الداخلي السفلي (R_b)، لاحظ الشكل رقم (5-7).

$$N = 42\sqrt{\frac{L}{R_t^2 - R_b^2}} \quad \text{.....} \quad (5\text{-}3)$$

إذ أن: L هو الطول المحوري للمسبوكة بوحدة (m) ، (R_t) و (R_b) أيضاً بوحدة (m)



شكل رقم 5-7 السباكة بالطرد المركزي الدوران بالاتجاه الشاقولي

فكر كيف يتم تقليل الفرق بين (R_t) و (R_b)؟

الجواب: إن سبب الفرق بين نصف قطر التجويف الداخلي في أعلى المسبوكة عن نصف قطر التجويف الداخلي في أسفلها، هو بسبب وزن منصهر المعدن الذي ينحدر باتجاه الجاذبية الأرضية، وبالإمكان تقليل هذا الفرق عن طريق زيادة سرعة دوران القالب. ..... لماذا؟

مثال رقم 4: تستخدم عملية سباكة بالطرد المركزي حقيقية، والتدوير يكون على المحور الشاقولي لإنتاج مسبوكات أسطوانية يبلغ طولها (200 mm) وقطرها الخارجي أيضاً (200 mm) وقطر التجويف الداخلي العلوي يساوي (160 mm) وقطرها في الأسفل يساوي (140 mm)، جد عدد دورات القالب الذي يحقق تلك المقادير.

الجواب:

الخطوة الأولى: تحوّل جميع الوحدات من (mm) إلى (m).

$$N = 42\sqrt{\frac{L}{R_t^{\,2} - R_b^{\,2}}} = 42\sqrt{\frac{0.2}{0.08^2 - 0.07^2}} = 42\sqrt{\frac{0.2}{0.0064 - 0.0049}}$$

$$N = 42\sqrt{\frac{0.2}{0.0015}} = 42\sqrt{133} = 42 \times 11.5 = 483\ rpm$$

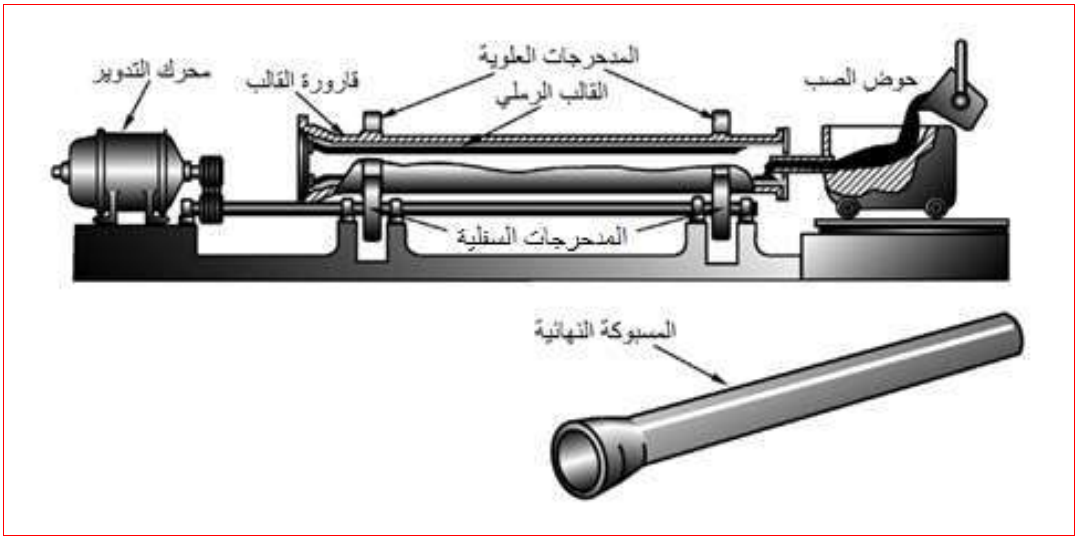
2-3-5 سباكة الطرد المركزي الحقيقية True Centrifugal Casting

إن الاختلافات في تقنيات الإنتاج هي اختلافات عملية تتعلق بمحور الدوران ونوع القالب وطريقة صب منصهر المعدن ودخوله إلى تجويف القالب، وهذه الاختلافات هي التي تحدد تصميم المكائن والمُعدات المستخدمة. ومع هذا، فالتحديد أصلاً يكمن بشكل أساسي في نوع وشكل المسبوكة. بشكل عام، تُفضل مكائن التدوير بالمحور الأفقي للمسبوكات ذات الطول الكبير مقارنةً بالقطر، في حين أن المسبوكات ذات القطر الذي يتجاوز الطول يكون التدوير حول المحور الشاقولي أكثر شيوعاً، على الرغم من وجود استثناءات معينة في كلتا الحالتين. وقد يكون محور دوران القالب مائلاً في حالات قليلة خاصة.

يتم تحديد مادة القالب بحسب الشكل وعدد المسبوكات المطلوبة. تُفضل القوالب المعدنية عادةً للأشكال البسيطة لأسباب اقتصادية، وكذلك لتأثيرها في إحداث الانجماد الاتجاهي. بالإمكان أن تكون مادة القالب إما من الفولاذ أو من حديد الزهر مدعومة بقشرة فولاذية، وتطلى بمواد حرارية معينة للحماية والعزل وسهولة فصل المسبوكة وإخراجها. بالنسبة للأشكال الأكثر تعقيداً أو الأجزاء المطلوبة بكميات صغيرة، فتُستخدم عادةً القوالب الحرارية مثل الرمل، كما يتم في بعض الأحيان استخدام قوالب الكرافيت لتطبيقات خاصة.

المسبوكات المنتجة بهذه الطريقة بصورة عامة هي الأنابيب على اختلاف المواد المعدنية المنتجة منها، إذ لا تتطلب هذه العملية أي لباب أو بوابات أو روافع ومغذيات. يبيّن الشكل رقم (5-8) المكونات الأساسية لعملية الصب بالطرد المركزي الحقيقية بالتدوير حول المحور الأفقي، وكذلك شكل المنتج النهائي. في هذه التقنية، تستخدم القوالب المعدنية لأنها اقتصادية وخصوصاً في حالة الإنتاج الكمي الكبير من المسبوكات. إن القالب المعدني مُشغل بدقة ومحاط بسترة لمرور مياه التبريد في بعض الأحيان. الماكنة مُثبتة على عجلات ويمكن أن تتحرك بالطول على مسار مستقيم مائل قليلاً. يوجد في أحد طرفي المسار مغرفة تحتوي على كمية مضبوطة من منصهر المعدن الذي يتدفق من خلال فوهة صب طويلة يتم إدخالها مبدئياً إلى أقصى طرف من القالب. مع الاستمرار بصب منصهر المعدن في القالب الدوار، يتم تحريك ماكنة السباكة باتجاه أسفل المسار وببطء بحيث يتم صب المنصهر تدريجياً على طول جدار القالب الذي يتدفق نحوه في مسار حلزوني. التحكم بالإجراء المذكور يتم عن طريق مزامنة معدل الصب وحركة القالب وسرعة دورانه. بعد الانتهاء من صب منصهر المعدن، ستكون الماكنة في الطرف السفلي من مسارها مع القالب الذي سيستمر بالدوران حتى يتم انجماد منصهر المعدن كافة على شكل الأنبوب المطلوب، يتم إخراج الأنبوب من القالب المعدني عن طريق إدخال قطعة أسطوانية تدفع الأنبوب للخارج. إنتاجية هذه التقنية عالية، إذ كل ماكنة سباكة تنتج مسبوكة كل دقيقتين، الشكل رقم (5-9) يبيّن سباكة أنبوب طويل وكيفية صب منصهر المعدن.

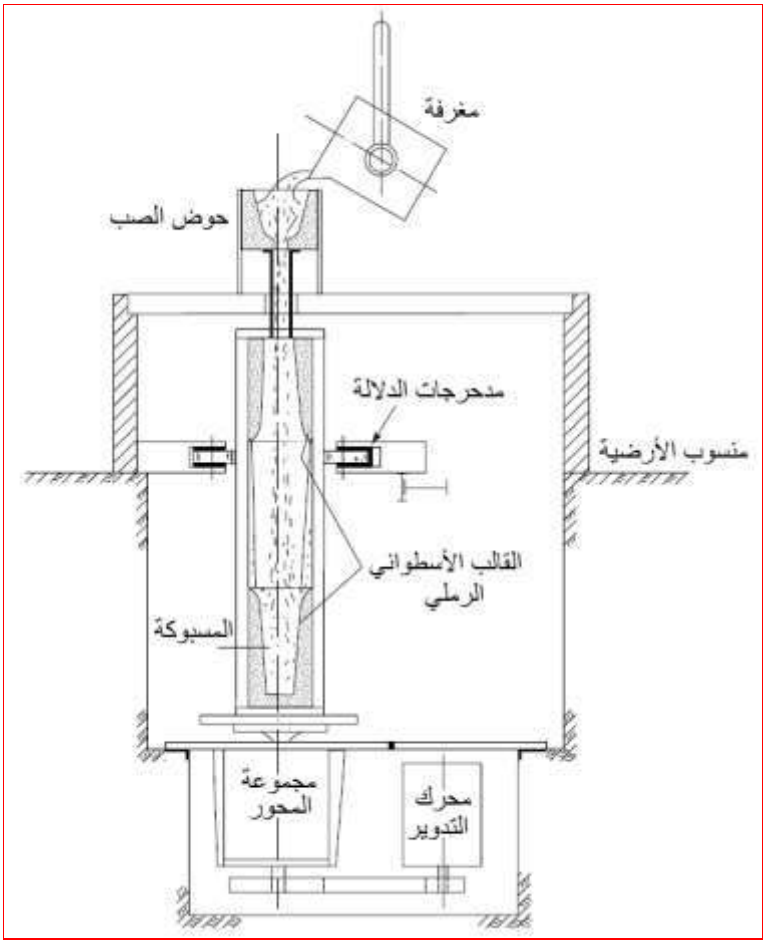
تتميز المسبوكات المصنوعة من السباكة بالطرد المركزي الحقيقية بكثافة عالية، خاصة في الشرائح الخارجية للمسبوكة، لأن قوة الطرد المركزية ستكون الأعلى. لا يُعد انكماش الانجماد في الجزء الخارجي من الأنبوب عاملاً يذكر، إذ أن قوة الطرد المركزي ستعوض الانكماش بتغذية منصهر المعدن باستمرار نحو جدار القالب أثناء الانجماد. في حالة وجود أي شوائب في منصهر المعدن سيكون موقعها على الجدار الداخلي للأنبوب بسبب فرق الكثافة الذي يؤدي إلى قوة طرد مركزي أقل للشوائب من منصهر المعدن، وبالإمكان إزالة تلك الشوائب بالقطع إذا لزم الأمر.



الشكل 5-8 السباكة بالطرد المركزي حول المحور الأفقي مع المسبوكة النهائية على شكل أنبوب

الشكل 5-9 سباكة بالطرد المركزي لأنبوب طويل وطريقة صب منصهر المعدن

تستخدم السباكة بالطرد المركزي حول المحور الشاقولي عادةً في سباكة الأجسام الأسطوانية ذات القطر الكبير. يتم صب منصهر المعدن بشكل عرضي داخل تجويف القالب، كما موضّح في الشكل رقم (5-10)، أو يمكن صبه بشكل مباشر وينزل منصهر المعدن على القاعدة السفلية قبل توزيعه على المحيط. إن الترتيب الأول هو الأفضل إذ يمكن الاستفادة من السرعة الهابطة لمنصهر المعدن لتوفير قوة دفع أولية في الاتجاه المحيطي.

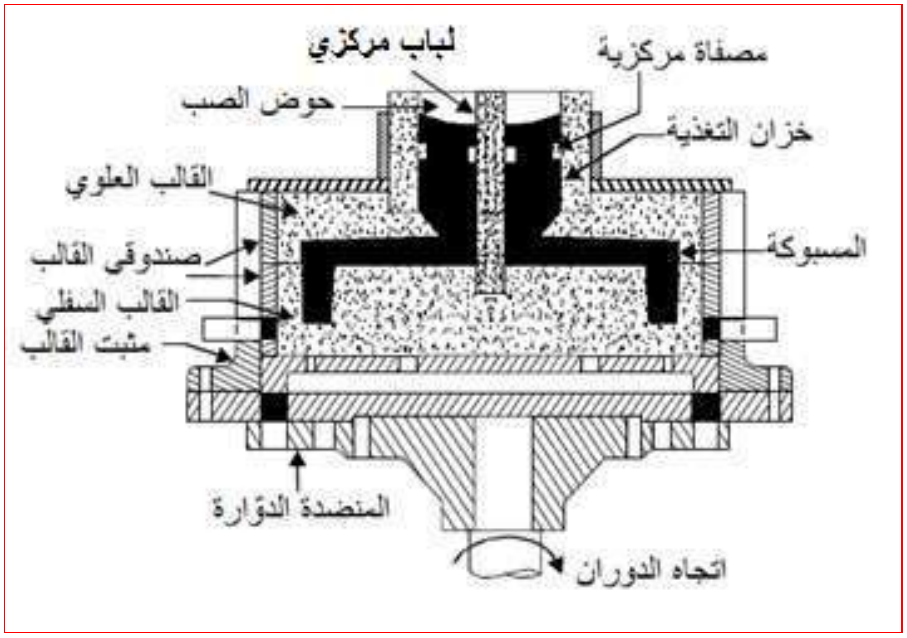


الشكل 5-10 مخطط السباكة بالطرد المركزي حول المحور الشاقولي

5-3-3 سباكة شبه الطرد المركزي Semi Centrifugal Casting

تقنية السباكة بشبه الطرد المركزي لا تختلف كثيراً عن السباكة بالطرد المركزي الحقيقية حول المحور الشاقولي، بينما الاختلاف هو فقط باستخدام اللباب المركزية لتشكيل التجاويف الداخلية للمسبوكات، فضلاً عن أن سرعة الدوران تكون أقل نسبياً ويتراوح معامل الطرد المركزي (GF) بمقدار (15). الشكل رقم (5-11) يوضّح مبدأ عمل هذه التقنية. تستخدم عملية السباكة بشبه الطرد المركزي عموماً للمسبوكات الأكثر تعقيداً من تلك المنتجة في السباكة بالطرد المركزي الحقيقية، ومع هذا تشترط هذه التقنية بالتماثل بالشكل حول المحور الشاقولي.

يتم إنتاج الشكل الخارجي والتجاويف الداخلية للمسبوكات عن طريق تجويف القالب واللباب وليس بوساطة قوة الطرد المركزي، بينما تساعد قوة الطرد المركزي في التغذية المناسبة لمنصهر المعدن، وتساعد أيضاً في إنتاج مسبوكات خالية من المسامات الغازية وعيوب الفجوات المتنوعة، وتكون كثافة المقاطع الخارجية للمسبوكة أعلى منها في مركز المسبوكة التي كثير من الأحيان تزال هذه المناطق وترفع عن المسبوكة. قوالب السباكة بهذه التقنية تكون غالباً من النوع المستهلك، وتشكّل معها الروافع التي تكون في المركز لتغذية المسبوكة باستمرار في أثناء الصب والانجماد. المسبوكات المنتجة بهذه التقنية متعددة مثل التروس والعجلات والطارات والفوهات والمسبوكات ذات المقاطع الدائرية المتماثلة، لاحظ الشكل رقم (5-12) الذي يبيّن بعض منتجات هذه التقنية.



الشكل 5-11 السباكة بشبه الطرد المركزي لإنتاج عجلة

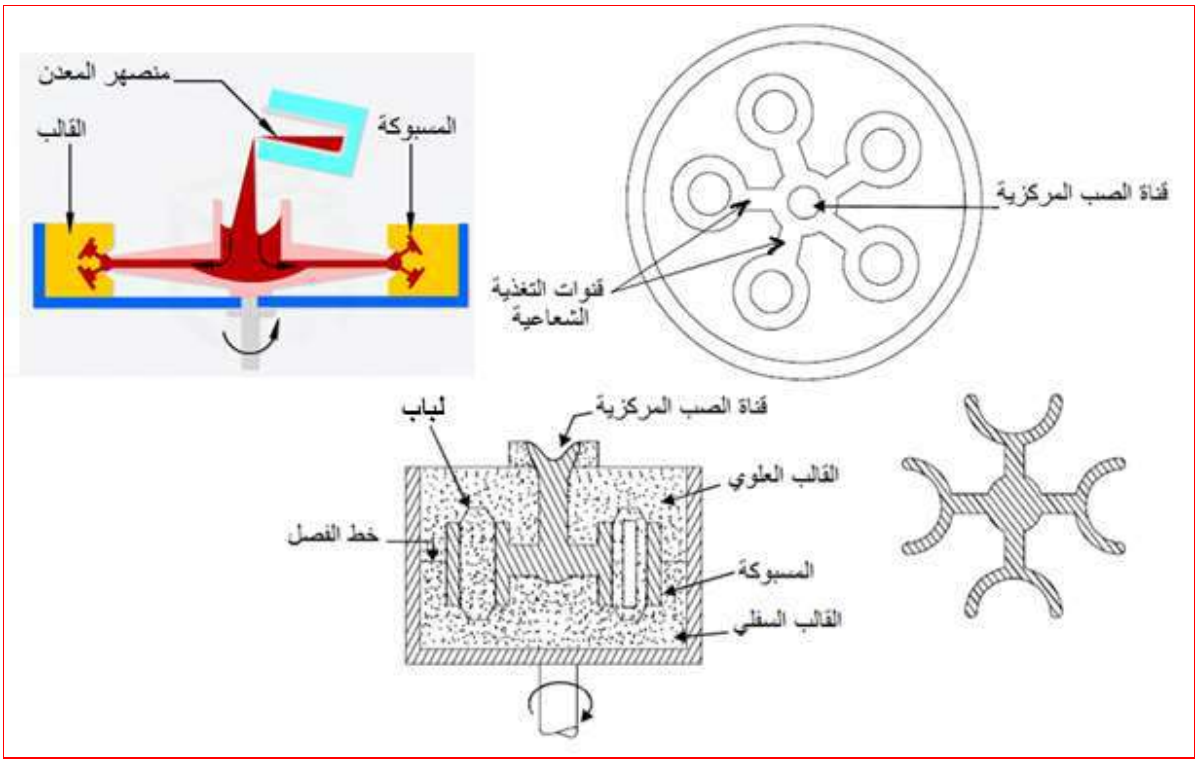
شكل 5-12 بعض المسبوكات المنتجة بتقنية السباكة شبه الطرد المركزي

4-3-5 السباكة بالتدوير Centrifuge Casting

لا تختلف السباكة بالتدوير كثيراً عن السباكة بشبه الطرد المركزي، إلا من ناحية شكل المسبوكات التي لا تشترط بالتماثل حول المحور الشاقولي، ولهذا تكون المسبوكات صغيرة وأشكالها معقدة من ناحية الشكل الخارجي وحتى من التجاويف الداخلية في بعض الأحيان. تتميز هذه التقنية بإنتاجية عالية بسبب إمكانية ربط تجاويف القالب لعدد من المسبوكات المطلوبة بحسب حجم القطع وتصميم القالب بقناة صب شعاعية مشتركة وبالتالي سيتم في صبة واحدة إنتاج مجموعة مسبوكات، كما هو موضّح بالشكل رقم (5-13).

يتشكّل الشكل الخارجي والتجويف الداخلي للمسبوكات بوساطة تجويف القالب واللباب المركزي وغير المركزي مع قوة الطرد المركزي التي تؤدي إلى ضغط منصهر المعدن داخل تجويف القالب المحكم من ناحيتي تجويف القالب واللباب، لذا تسمى هذه التقنية في بعض الأدبيات بالسباكة بالضغط والتدوير Pressure and Rotating Casting.

من منتجات تقنية السباكة بالضغط والتدوير هي رؤوس بطاريات المركبات والقطع الصغيرة الدقيقة مثل صب الأسنان الأقواس والمفصلات والمجوهرات وغيرها من المسبوكات التي تتطلب كثافة عالية للمسبوكة ودقة متناهية بالتشكيل.



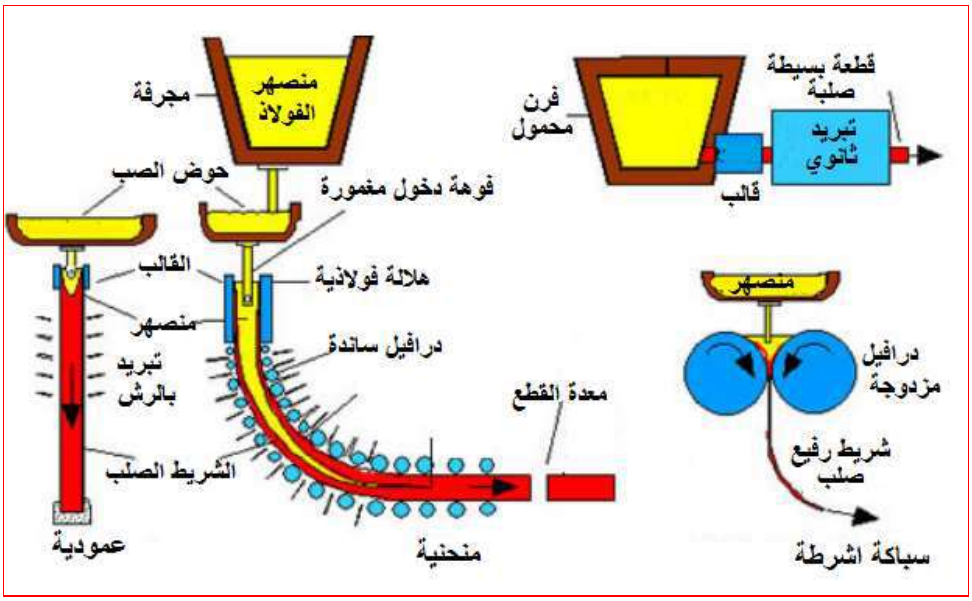
شكل 5-13 مخطط تقنية السباكة بالضغط والتدوير وشكل المنتج

4-5 السباكة المستمرة Continuous Casting

تعرّف السباكة المستمرة بأنها عملية صب منصهر المعدن بمُعدات خاصة وتحول طوره من حالة السائل إلى حالة الصلب وباستمرار، وتتضمن مجموعة من العمليات المتنوعة التصنيعية المهمة. هذه العمليات هي الطريقة الأكثر فعالية لانجماد كميات كبيرة من منصهر المعدن بأشكال بسيطة، ومن ثم تتم معالجتها وتحويلها إلى الأشكال المطلوبة بإحدى طرائق التصنيع. يتم إنتاج كمي كبير لمعظم المعادن المطلوبة بطريقة السباكة المستمرة، إذ يتم إنتاج أكثر من 500 مليون طن من الفولاذ و 20 مليون طن من الألمُنيوم وطن واحد من كل من النحاس والنيكل ومعادن أخرى في أنحاء العالم كل سنة.

توجد أنواع مختلفة من عمليات السباكة المستمرة، ويوضّح الشكل رقم (5-14) مخطط أهم أنواعها. تستخدم مكائن السباكة المستمرة العمودية لسباكة الألمُنيوم وبعض المعادن القليلة الأخرى لتطبيقات خاصة، وتستخدم المكائن المنحنية لسباكة الفولاذ للقطع المثنية أو غير المثنية، وتتميز السباكة المستمرة الأفقية بقصر المنشآت التي تحتاجها وتستخدم أحياناً للسبائك غير الحديدية والفولاذية على حد سواء. وتتم سباكة أشرطة رفيعة للفولاذ والمعادن الأخرى لغرض تقليل عمليات الدرفلة المطلوبة.

الجزء الأكثر أهمية في عملية السباكة المستمرة هو الانجماد الأولي في منطقة الغضروف المفصلي الموجود في المفصل الذي يلتقي الغلاف مع القالب وجبهة السائل (الهلالة الفولاذية)، وهذا هو المكان الذي يتم فيه تشكيل سطح المنتج النهائي. قد تحدث بعض العيوب في المسبوكة الأولية مثل التشققات السطحية بسبب التغير المتذبذب للتبريد، ولغرض تجنب هذا العيب يضاف الزيت إلى الهلالة الفولاذية بالجزء العلوي من منطقة التشكيل بين القالب والغلاف الفولاذي، وهي في الوقت نفسه تحمي المنصهر وتعزله من الهواء وتوفر عزلاً حرارياً، فضلاً عن امتصاصها للشوائب.

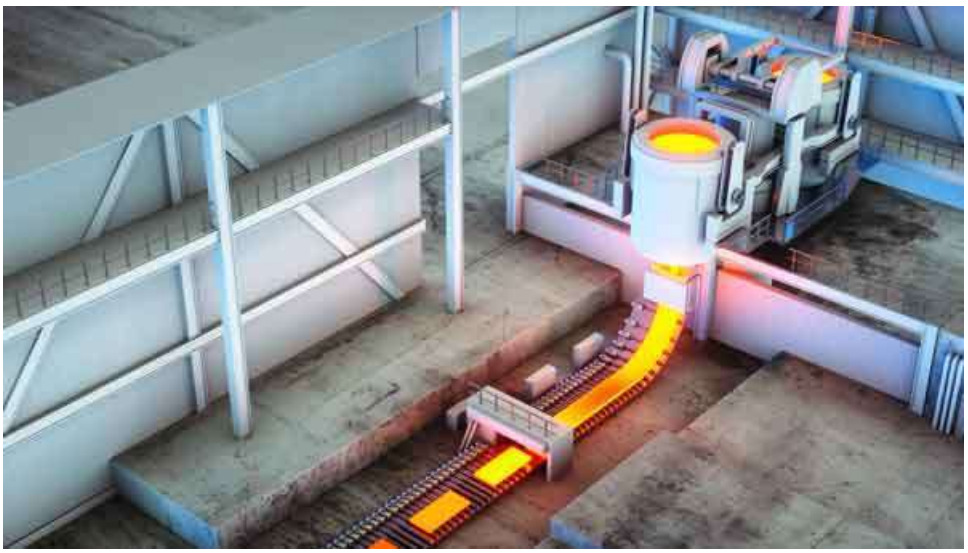


شكل 5-14 مخطط لأهم أنواع السباكة المستمرة

هنالك عمليات سباكة مستمرة لإنتاج مقاطع عرضية بأشكال وأحجام مختلفة مثل الألواح السميكة التي يتم في النهاية تحويلها إلى صفائح بوساطة الدرافيل في الجزء الأخير من الماكنة، ويتم الإنتاج بقوالب مماثلة لسباكة قطع مربعة نسبياً، فضلاً عن إنتاج قضبان وزوايا ومحاور وغيرها من المسبوكات الأولية المطلوبة، الشكل رقم (5-15) يبيّن ماكنة سباكة مستمرة لإنتاج قطع قصيرة على شكل مقطع متوازي مستطيلات (ألواح سميكة).

تتضمن مزايا السباكة المستمرة الآتي:

1. كلفة العملية أقل من كلف الإنتاج بالدرفلة الاعتيادية.
2. لا يوجد هدر في منصهر المعدن بسبب عدم وجود منظومة الصب والروافع والمغذيات لذا الاستفادة من المعدن تصل إلى 100%.
3. بالإمكان أتمتة العملية بشكل كامل وبسهولة وبالتالي تكون تكلفة وحدة العمل أقل.
4. سطح المسبوكات جيد.
5. إمكانية السيطرة على البُنية وحجم حبيبات المسبوكات وبالتالي التحكم بالخواص الميكانيكية المطلوبة.
6. تستخدم لمعظم المعادن التي تدخل في عمليات التصنيع الشائعة مثل البراص ، البرونز ، الخارصين ، النحاس ، الألمُنيوم وسبائكه ، المغنسيوم ، والفولاذ وسبائكه.
7. إمكانية إنتاج أي شكل منتظم المقطع مثل المقاطع الدائرية والمستطيلة والمربعة والسداسية وحتى المقاطع المسننة، فضلاً عن إنتاج الألواح السميكة والصفائح والقطع المكعبة والقضبان النحاسية.

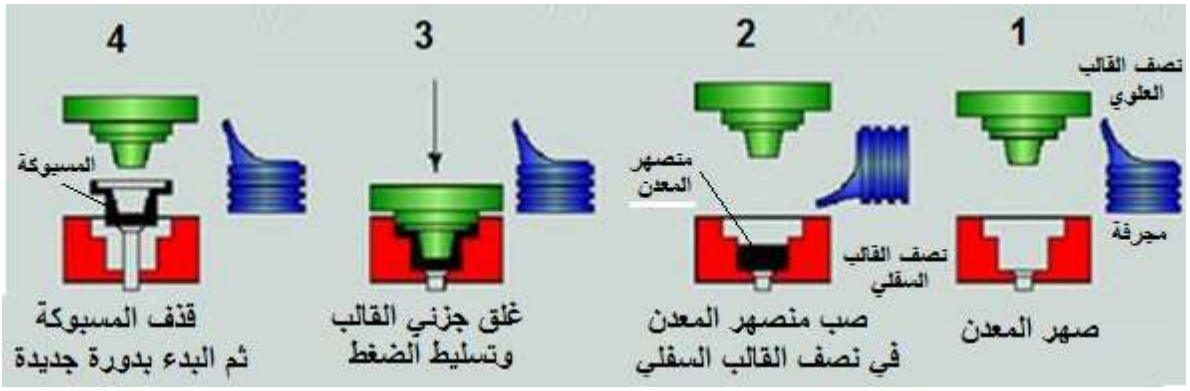


الشكل 5-15 ماكنة سباكة مستمرة

5-5 السباكة بالعصر (البثق) Squeeze Casting

السباكة بالعصر أو البثق والمعروفة أيضاً بتسمية حدادة منصهر المعدن بالضغط، بسبب الطبيعة الهجينة بين عملية السباكة وعملية الحدادة وهي بالحقيقة مزيج بين الأثنين. إذ يصب منصهر المعدن الذي تم قياس كميته بدقة في النصف السفلي من قالب السباكة المسخن مسبقاً، وعندما يبدأ منصهر المعدن بالانجماد، يتم دفع النصف العلوي على الفور ويغلق تجويف القالب، ويستمر تسليط الضغط عليه لحين الانتهاء من انجماد المعدن بالكامل. مقدار الضغط المسلط على هذا النحو أقل بكثير من الضغط المسلط في عمليات الحدادة، وبالإمكان إنتاج قطع بتفاصيل معقدة، وفي هذه العملية أيضاً يمكن وضع اللباب في تجويف القالب لتشكيل الثقوب والتجاويف الداخلية المتنوعة الأشكال والفواصل. يؤدي الضغط المسلط على جزء القالب العلوي في تقنية السباكة بالعصر إلى ملء المعدن للتجويف بالكامل، وبالتالي سيكون سطح المسبوكة جيداً ومسامية وانكماش منخفضين فتتحسن الخواص الميكانيكية للمسبوكة النهائية.

السباكة بالعصر لا تختلف كثيراً عن السباكة بالضغط Die Casting والتقنيتان يستخدم فيهما قالب بنصفين يتم ضغطهما، لكن فرق السباكة بالعصر عن السباكة بالضغط هو دفع وضغط جزأي القالب بعد صب منصهر المعدن داخل تجويف القالب، بينما في السباكة بالضغط يحقن منصهر المعدن بعد غلق وضغط جزأي القالب. ومع هذا أن الضغط المسلط المستخدم في هذه العملية أقل بكثير من الضغط المسلط في عمليات الحدادة كونها تتعامل مع المواد الصلبة، ويوضّح الشكل رقم (5-16) مخطط المبدأ العام بتسلسل الخطوات لتقنية السباكة بالعصر.



شكل 5-16 خطوات السباكة بالعصر لمنتج فيه تجويف داخلي

بالإمكان سباكة جميع السبائك الحديدية وغير الحديدية في هذه التقنية، ولكن سبائك الألمنيوم والمغنيسيوم هي الأكثر شيوعاً بسبب درجات حرارة انصهارها المنخفضة، وقطع غيار السيارات هي التطبيق الشائع لمنتوجات هذه التقنية.

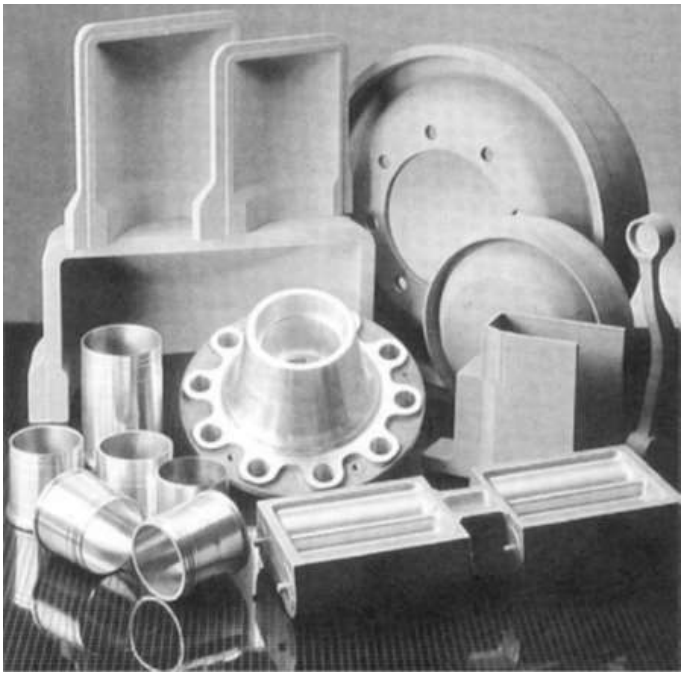
ميزات تقنية السباكة بالعصر تتضمن الآتي:

1. إمكانية تصنيع مجموعة من المسبوكات بأشكال معقدة أفضل من كثير من طرائق التصنيع الأخرى.
2. قلة أو عدم حاجة متطلبات التشغيل والأعمال الإنهائية للمسبوكات المنتجة.
3. المسامية والتجاويف الدقيقة للمسبوكات المنتجة منخفضة جداً.
4. ملمس سطح المسبوكات جيد.
5. حبيبات البُنية المجهرية للمسبوكات ناعمة مع مقاومة ميكانيكية جيدة.
6. استخدام 100% لمنصهر المعدن أي لا توجد فضلة أو ضائعات في منصهر المعدن.

الشكل رقم (5-17) يبيّن بعض منتجات السباكة بالعصر ويلاحظ على المنتجات تعقيد تفاصيل الأشكال ونعومة الأسطح ودقة الأبعاد ولا حاجة إلى عمليات وتشطيبات نهائية بعد عملية السباكة من هذا النوع.

أما محددات عملية السباكة بالعصر فتتضمن الآتي:

1. كلفة الإنتاج مرتفعة بسبب استخدام مُعدات للعملية معقدة.
2. لا توجد مرونة بالمُعدات التي صممت خصيصاً الأشكال المطلوبة.
3. تحتاج العملية إلى التحكم الدقيق، مما يؤدي إلى إبطاء دورة العمل ويزيد من كلف الإنتاج.
4. يجب أن يكون عدد القطع المطلوب إنتاجها مرتفعاً، ليناغم ارتفاع كلفة الإنتاج وتبرير الاستثمار في المُعدات.

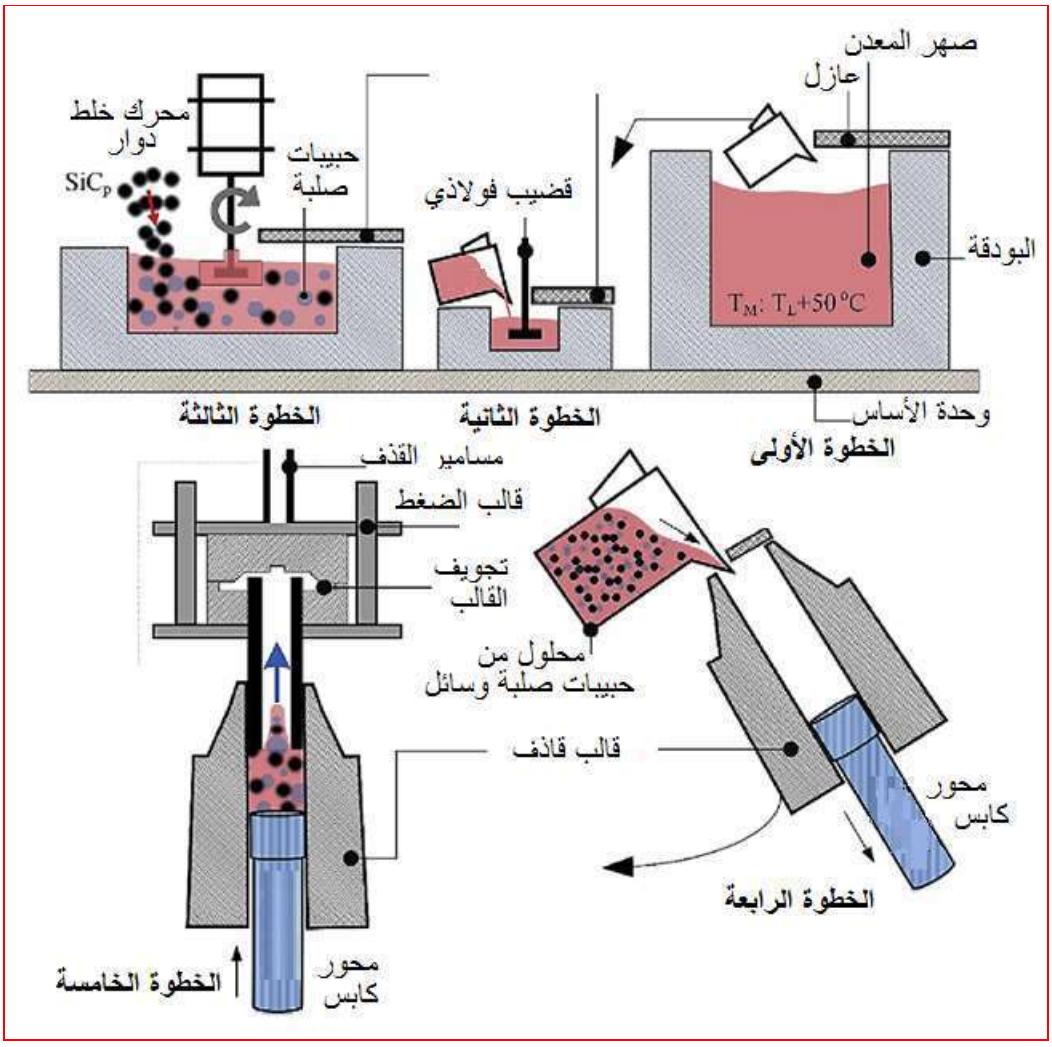


الشكل 5-17 بعض منتجات السباكة بالعصر

6-5 سباكة المعادن شبه الصلبة Semi-solid Metal Casting

سباكة المعادن شبه الصلبة هي تقنية سباكة حديثة تجمع بين ميزة سباكة منصهر المعادن مع ميزة تشكيل المعادن، إذ بدأ استخدام هذه التقنية على أساس انتقائي خلال السبعينيات من القرن العشرين، لتصنيع أجزاء معدنية قوية جدًا. ومع ذلك، فإن هذا النوع من السباكة لم ينتشر على نطاق واسع حتى التسعينيات من القرن الماضي، تستخدم هذه العملية بشكل أساس لسباكة المنتجات المعقدة بأشكال نهائية أو قريبة من الأشكال المطلوبة وتتميز بدقة في الأبعاد. تُعد التقنية التي تعرف أيضاً بتسميات بحسب نوع المعدن المطلوب وطريقة التنفيذ وهي مناسبة جداً لسباكة المعادن غير الحديدية مثل الألمُنيوم والنحاس والمغنسيوم التي تكون عادةً منخفضة اللزوجة.

تعتمد سباكة المعادن شبه الصلبة بشكل أساسي على خاصية تعرف باسم (المتغيرة الانسيابية) التي لوحظت في بعض المعادن الهلامية التي تصبح سائلة عند الاهتزاز أو التقليب وتكون شبه صلبة مرة أخرى عندما لا يتم تحريكها، لاحظ الشكل رقم (5-18).



الشكل 5-18 مخطط خطوات سباكة المعادن شبه الصلبة

تتم العملية بصهر المعدن عند درجة حرارة ما بين الحالة الصلبة والحالة السائلة (مزيج) والدرجة المثالية لذلك بحدود (10°C)، بحيث تكون حالة المعدن بنسبة 30% - 60% بالحالة الصلبة على أن تؤخذ الاحتياطات اللازمة لمنع فصل أو عزل السائل عن الصلب وتبقى المادة في حالة تجانس، ويتم أيضاً تكسير أي بنية شجيرية متكونة بالحالة الصلبة لتحسين الخواص الميكانيكية فيما بعد. وفي حالة المعدن المتجانس هذا تتم معالجته بالسباكة بصبه في القوالب المعدنية الخاصة للسباكة للحصول على الشكل المطلوب.

نظراً لانخفاض الضغوط ودرجات الحرارة المطلوبة للسباكة بهذه التقنية، ستكون القوالب المعدنية ليست باهظة الثمن، وبالإمكان استخدام الفولاذ أو الفولاذ المقاوم للتآكل كقوالب للعملية وفي بعض الأحيان تستخدم المعادن غير الحديدية لهذا الغرض. هنالك عدد من التقنيات المختلفة المستخدمة في إنتاج المسبوكات بطريقة سباكة المعادن شبه الصلبة، بالنسبة لسباكة سبائك الألمُنيوم فإن العملية الأكثر شيوعاً هي (Thixocasting, Rheocasting)، أما بالنسبة لسبائك المغنسيوم فإن العملية الأكثر شيوعاً هي (Thixoforming).

تطبيقات السباكة شبه الصلبة مناسبة بشكل مثالي لإنتاج القطع ذات الحجم الكبير، بما في ذلك الوزن الخفيف والقطع التي تتطلب خصائص ميكانيكية عالية مثل المقاومة الجيدة والمطلوبة في قطع غيار السيارات. بالنسبة لسبائك الألمُنيوم تتضمن منتجاتها بهذه التقنية حوامل تعليق المحركات وحساسات مستشعر مشعب الهواء وكتلة المحرك وهيكل مضخة الزيت وغيرها، أما بالنسبة لسبائك المغنسيوم فيتم إنتاج القطع ذات الجدران الرقيقة جداً مثل إطارات الكاميرات والحواسيب. لذا يتم الإنتاج بتقنية السباكة شبه الصلبة بشكل كمي (Mass Production).

تتضمن مزايا تقنية سباكة المعادن شبه الصلبة الآتي:

1. إنتاج مسبوكات معقدة الأشكال وقريبة جداً من الشكل النهائي.
2. القطع المنتجة بهذه الطريقة ذات خواص ميكانيكية ممتازة.
3. بالإمكان إنتاج مسبوكات رقيقة الجدران جداً.
4. المعالجة الحرارية المطلوبة دائماً بعد السباكة ستكون ضمنياً خلال العملية.
5. لا يوجد احتباس للهواء والغازات أثناء عملية السباكة.
6. عيوب فجوات تقلص وانكماش منخفضة جداً.
7. القطع المسبوكة بهذه التقنية ذات بنية مجهرية متجانسة للمسبوكة بأكملها.

أما من ناحية محددات هذه التقنية، فتكمن بكونها عملية حساسة للغاية لظروف درجة الحرارة المحيطة لها، وبالتالي تتطلب مُعدات إنتاج بدرجة عالية التحكم خلال ظروف العملية، ولهذا تتطلب مُعدات بكلفة أعلى وعاملين تشغيل مؤهلين بشكل ممتاز.

الشكل رقم (5-19) يبيّن بعض منتجات سباكة المعادن شبه الصلبة، الذي يوضّح بشكل لا لبس فيه تعقيد الأشكال المسبوكة بهذه الطريقة ونعومة أسطحها ودقة أبعادها، وهي كسابقتها تقنية السباكة بالعصر تتميز منتجاتها بأنها تكاد تكون بالشكل النهائي المطلوب، أو هي بالحقيقة بالشكل النهائي المطلوب.

الشكل 5-19 بعض منتجات سباكة المعادن شبه الصلبة

أسئلة الفصل الخامس

س1) عرّف ما يأتي:

1. النموذج المستهلك
2. البولسترين
3. سباكة القالب الكامل
4. النفاذية
5. G-Factor
6. السباكة بالتدوير
7. السباكة المستمرة
8. المسبوكات الأولية
9. سباكة المعادن شبه الصلبة
10. المتغيرة الانسيابية

س2) ما الفرق بين السباكة بالرغوة المفقودة والسباكة بالشمع المفقود؟ وضّح ذلك.

س3) وضّح عملية تشكيل نماذج سباكة الرغوة المفقودة وحسب كمية الإنتاج، وماذا تتضمن هذه النماذج دائماً؟

س4) اذكر مميزات ومحددات عملية السباكة بالرغوة المفقودة.

س5) ما تأثير قوة الطرد المركزي على منصهر المعدن في أثناء عملية السباكة بتقنية السباكة بالطرد المركزي؟ اشرحها.

س6) قارن بين سباكة الطرد المركزي الحقيقية وسباكة شبه الطرد المركزي من حيث الآتي:
محور الدوران ، سرعة الدوران ، نوع المنتجات لكلا الطريقتين.

س7) اشرح بإيجاز تقنية سباكة شبه الطرد المركزي.

س8) عدد **خمسةً** من منتجات السباكة بالتدوير، ووضّح لماذا يتم إنتاجها بهذه التقنية من دون تقنيات السباكة بالطرد المركزي الأخرى.

س9) عدد **خمساً** من مزايا السباكة المستمرة.

س10) قارن بين السباكة بالعصر Squeeze Casting والسباكة بالضغط Die Casting.

س11) اذكر مزايا ومحددات السباكة بالعصر.

س12) عرّف سباكة المعادن شبه الصلبة، وما أهم ميزة في منتجاتها؟

س13) املأ الفراغات الآتية بما يناسبها:

1. تُعد طريقة السباكة بالرغوة المفقودة إحدى أهم الطرائق لسباكة أشكال .....
2. تبدأ مادة رغوة البولسترين بالصهر والتبخر التدريجي وتطايرها حال ملامستها لمنصهر المعدن بسبب ..... درجة حرارة انصهارها وتبخرها التي هي بحدود .....
3. السمة الأساسية للسباكة بالطرد المركزي هي صب منصهر المعدن داخل قالب يتم ..... بسرعة عالية في أثناء ..... المعدن.
4. إن قوة الطرد المركزي الناتجة عن دوران قالب السباكة ..... مقارنةً بالقوى ..... الاعتيادية.
5. مزايا تقنية السباكة بالطرد المركزي ذات شقين وهما: ملائمة هذه الطريقة بسباكة الأشكال ..... والجودة المعدنية ..... للمسبوكة.
6. إن لجميع طرائق تقنية السباكة بالطرد المركزي ميزة مهمة وهي عدم الحاجة إلى ..... وكذلك إلى .....
7. إن مقدار قوة الطرد المركزي تتناسب مع القطر ..... للقالب ..... سرعة الدوران.
8. يتم تحديد أقطار التجويف الداخلي للمسبوكات بكمية ..... أو بوضع ..... في مركز قالب السباكة.
9. يتم تحديد مادة القالب بحسب الشكل و..... المسبوكات المطلوبة، تُفضل القوالب المعدنية عادةً للأشكال ..... لأسباب اقتصادية وكذلك لتأثيرها في إحداث .....

10. تنشأ عيوب انكماش الانجماد عادةً من الفشل في ..... منصهر المعدن للمناطق التي حدثت فيها تقلصات في الطورين ..... و..... بعد صب منصهر المعدن في قالب السباكة.
11. إحدى طرائق تلافي عيوب الانكماش والتقلصات التي تحدث في أثناء صب منصهر المعدن وانجماده في قوالب السباكة هي بتصميم نماذج المسبوكات بحيث يتم جعل تجاويف القوالب ..... الحجم واللباب Cores ..... الحجم تلافياً لظاهرة .....

س14) علل ما يأتي:

1. يتم تجاهل حسابات الميل وتثبيتها على أسطح نماذج السباكة بالرغوة المفقودة.
2. يجب أن تكون سرعة دوران القالب في سباكة الطرد المركزي مناسبة.
3. يفضل صب منصهر المعدن بشكل عرضي داخل تجويف القالب في السباكة بالطرد المركزي والتدوير حول المحور الشاقولي.
4. القوالب المستخدمة في سباكة المعادن شبه الصلبة ليست باهظة الثمن كما هو الحال في السباكة بالضغط.
5. تصنع إطارات الكاميرات والحواسيب بطريقة سباكة المعادن شبه الصلبة.

س15) عملية السباكة بالطرد المركزي حقيقية يتم تنفيذها بالتدوير حول المحور الأفقي لسباكة أنبوب من حديد الزهر، طول الأنبوب (5 m) وقطره الخارجي (20 cm) وسمك الجدار (1.5 cm)، إذا كانت سرعة دوران الأنبوب تساوي (420 rpm)، جد معامل الطرد المركزي G-factor، وهل تتوقع نجاح عملية السباكة؟

ج: (20)

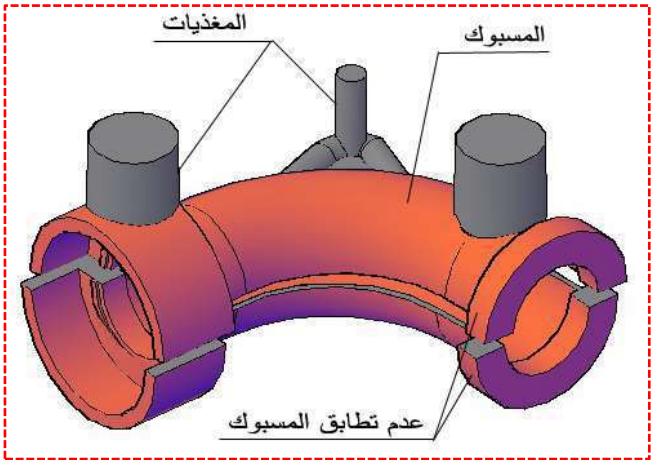
س16) استخدمت عملية سباكة الطرد المركزي الشاقولي لسباكة أنبوب طوله (36 cm) وقطره الخارجي (30 cm) والداخلي يساوي (20 cm) في أعلى الأنبوب، في حين أن قطره الداخلي في أسفل الأنبوب يساوي (16 cm)، كم عدد الدورات التي يجب أن يتم تدوير القالب بها لغرض تحقيق هذه المقادير؟

ج: (420 rpm)

الفصل السادس

عيوب المسبوكات

Casting Defects



الأهداف

الهدف العام:

سيتمكن الطالب في هذا الفصل من أَن يَتعرف على مُختلف عيوب السباكة ومصادرها وأسبابها وطرائق تجنبها، ويميز بينها.

الأهداف الخاصة: بعد الانتهاء من دراسة الفصل السادس سوف يتمكن الطالب من معرفة الآتي:

- المصادر العامة للعيوب.
- أصناف العيوب.
- أخطاء الشَكل.
- المتضمنات وعيوب السباكة الرملية.
- العيوب الغازية.

- عيوب الانكماش.
- عيوب التقلص.
- أخطاء بالأبعاد.
- أخطاء بالمكونات والانعزال.

عيوب المسبوكات

Casting Defects

1-6 مقدمة Introduction

السباكة كعملية إنتاجية هي مجموعة من العمليات والمراحل التي لابد للطالب أن يكون على دراية تامة بها، وبالمشكلات التي تحدث فيها، وخاصة التي تؤثر على جودة المسبوكة ومتطلباتها، وذلك لوضع المعايير التصميمية اللازمة لحل هذه المشكلات وتلافي العيوب الناشئة عنها عند البدء في وضع التصميم وبناء النموذج، خاصةً وأن هذه العيوب لا تظهر إلا بعد الانتهاء من انجماد المسبوكة وإخراجها من القالب، التي منها ما يظهر على السطح الخارجي كالتجاويف والقشور والعروق، ومنها ما ينشأ داخل المسبوكة كالفقاعات الغازية، وفجوات الانجماد والتقلص، التي يصعب رؤيتها بالعين المجردة مما يتطلب استخدام أجهزة دقيقة لفحصها.

2-6 المصادر العامة للعيوب General Origins of Defects

تتضمن المصادر العامة لعيوب طرائق السباكة المختلفة بثلاثة محاور وهي:

أ- تصميم عملية السباكة.

ب- تقنية التصنيع (طريقة السباكة).

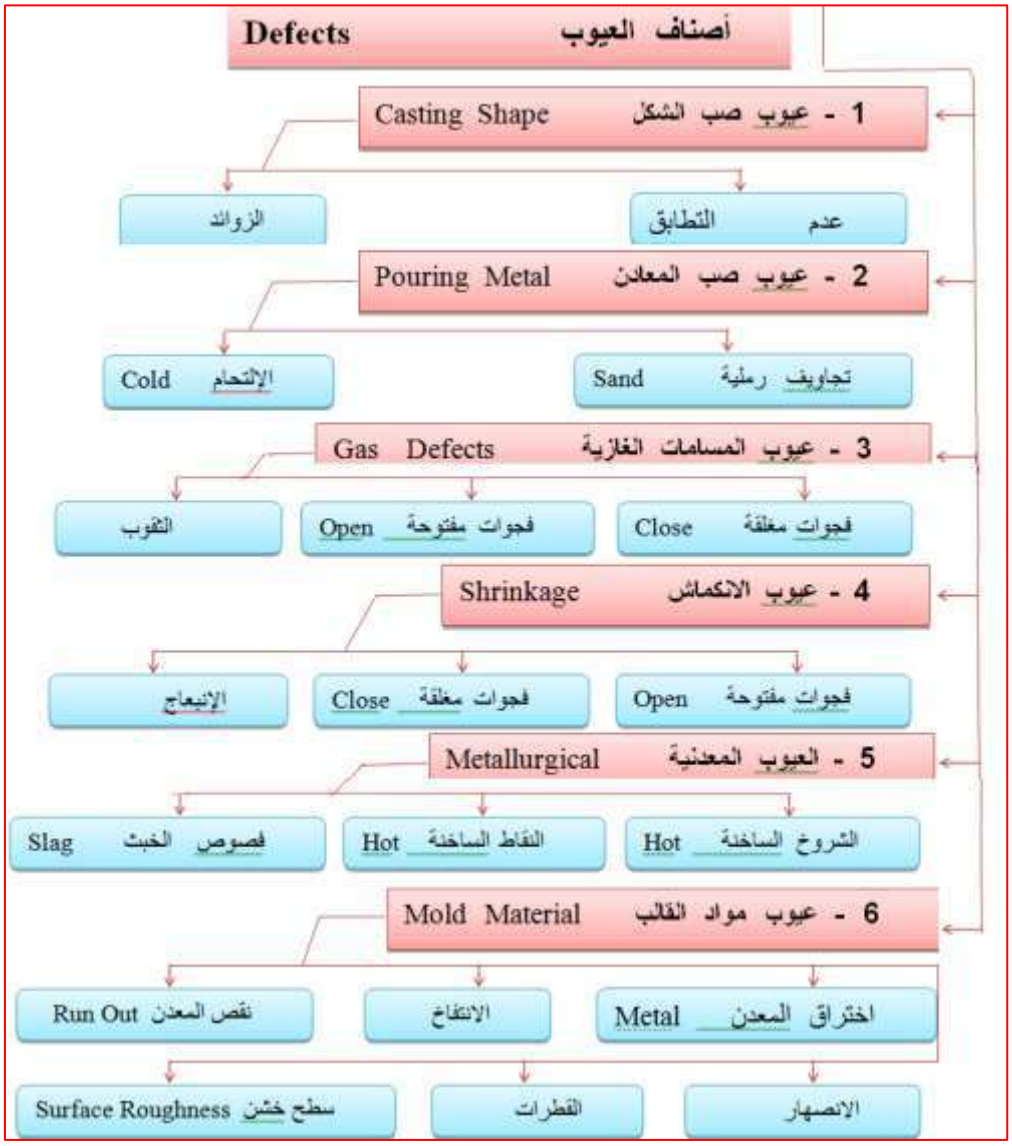
ج- تنفيذ تقنية عملية السباكة (مهارة العمل).

وبالإمكان تلخيص مصادر العيوب في السباكة الرملية أو طرائق السباكة الأخرى بالآتي:

1. تصميم نموذج السباكة، احتواؤه حواف حادة، زوايا قائمة، أخاديد وبروزات، وعدم تناظر للقالب.
2. عدم عمل سلبة لجوانب النموذج (سماحة السحب)، وتتراوح قيمة السلبة من (0.25 – 1) درجة.
3. عدم التطابق بين نصفي صندوق المقالبة.
4. عدم دك رمل السباكة جيداً أو صب المعدن بصورة سريعة.
5. تصميم فتحة تغذية المعدن المنصهر غير جيدة من حيث الحجم والموضع بالنسبة للقالب.
6. ارتفاع كمية الغازات المذابة في المعدن المنصهر التي تتحرر أثناء الانجماد.
7. عدم توفر فتحات تنفيس جيدة للقالب الرملي.
8. استعمال حبيبات رمل خشنة أو الرطوبة العالية لرمال السباكة.
9. نقص المعدن المسكوب في القالب.
10. المواد العازلة المستخدمة في عزل القوالب الصلبة.
11. عدم سيوبة منصهر المعدن بالدرجة الكافية أو بارد نسبياً وانجماده قبل اكتمال عملية الصب.

3-6 أصناف العيوب Defects Categories

يجب على مصممي تقنيات السباكة أن يكونوا على فهم ومعرفة تامة بطرائق عمليات السباكة وتقنياتها والمراحل الخاصة بكل طريقة من طرائقها وبالمشكلات التي تحدث فيها وخاصة التي تؤثر على جودة المسبوكات، وذلك لوضع المعايير التصميمية اللازمة لتجنب تلك المشكلات ومن ثم تلافي العيوب الناشئة بسبب التصميم وبناء النموذج، مع العلم أن هذه العيوب لا تظهر إلا بعد الانتهاء من انجماد المسبوكة وإخراجها من قالب السباكة. التي منها ما يظهر بالعين المجردة على السطح الخارجي كالتجاويف والقشور والعروق، ومنها ما ينشأ داخل المسبوكة كالفقاعات الغازية، وفجوات الانجماد والتقلص، التي يصعب رؤيتها بالعين المجردة، مما يتطلب استخدام أجهزة دقيقة لفحصها. الشكل رقم (1-6) يبيّن شجرة أصناف العيوب.

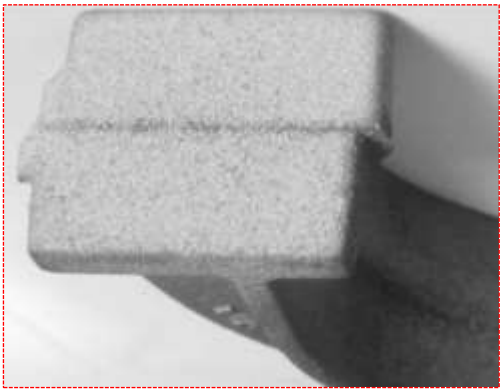


شكل رقم 6-1 شجرة أصناف العيوب

4-6 عيوب الشَكْل Shaping Defects

1-4-6 عدم تطابق نصفي القالب Mold Shift

يحدث بالمسبوكة عند سطح انفصال القالب نتيجة عدم تطابق نصفي القالب في حالة قوالب المسبوكات المكونة من نصفين، وفي بعض الأحيان يحدث عدم تطابق اللباب (القلوب) داخل تجاويف القوالب، الشكل رقم (6-2) يبيّن هذا النوع من العيوب.



شكل رقم 6 -2 عدم تطابق نصفي المسبوكة

أسباب تكون العيب:

1. عدم الإحكام الجيد لجزأي القالب عند غلقه مما ينتج عنه انحراف لأحد الجزأين.
2. عدم تطابق جزأي النموذج عند عملية تصنيعه أو تجميعه.

وبالإمكان تجنب ذلك العيب من خلال:

- الإغلاق المحكم لصندوق القالب.
- الدقة عند تصنيع وتجميع أجزاء النموذج.

2-4-6 الزوائد Flush

وتحدث في المسبوكات عند سطح انفصال القالب لوجود سماح بين نصفي القالب، أو عند عناصر تثبيت اللباب (Chaplets)، لوجود خلوص بين ركائز اللباب والقالب، كما هو موضّح في الشكل رقم (6–3)، وتكمن مشكلة الزوائد في هدر منصهر المعدن المسكوب، وصعوبة إزالة الزوائد مما يزيد من تكلفة وزمن الإنتاج، وفي بعض الأحيان يؤدي إزالة الزوائد إلى حدوث تشوه في شَكْل المسبوكة. **ومن أسباب حدوث هذا العيب هي الآتي:**

1. الأخطاء الواقعة في أثناء عملية تجميع القالب.
2. عدم تطابق نصفي النموذج بسبب عدم إحكام غلق القالب.
3. ضغط لمنصهر المعدن.
4. أخطاء تصميمية، إذ أن كثرة اللباب يؤدي إلى ذلك العيب عادةً بسبب كثرة التجاويف.

وبالإمكان تجنب ذلك العيب من خلال:

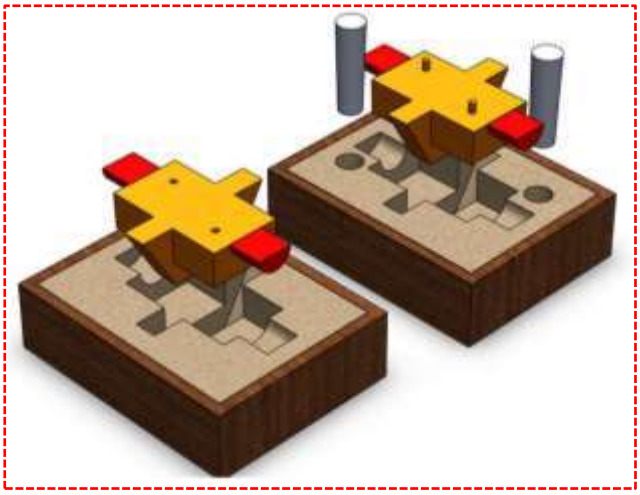
- مراعاة إحكام تجميع وغلق نصفي القالب.
- مراعاة دقة القياس عند صنع النموذج.
- التصميم الجيد لنظام الصب وعدم صب المعدن بسرعة أكبر من اللازم.
- الإقلال من اللباب والتغيرات السطحية الداخلية والخارجية قدر الإمكان.

شكل رقم 6 – 3 زوائد المعدن في المسبوكة

6-5 المتضمنات وعيوب السباكة الرملية Inclusions & Sand Casting Defects

السباكة الرملية هي إحدى طرائق السباكة، وتتضمن العملية صهر المعدن في أفران خاصة وصب منصهر المعدن في تجاويف قوالب رملية تعكس هيكل أو شكل القطعة المراد سباكتها، وتُعد السباكة الرملية من أهم الطرائق المستخدمة في عمليات سباكة المعادن وأكثرها انتشاراً على الإطلاق بالرغم من قدم استخدامها الذي تجاوز آلاف السنين، وتستخدم بصورة عامة لإنتاج أكبر كمية من المسبوكات أو إنتاج قطعة واحدة معقدة الشكل أو كبيرة الحجم مهما كان نوع المعدن المطلوب، وتسمى المنتجات بهذه الطريقة بـ (المسبوكات الرملية).

تتركب رمال السباكة من السيليكا (SiO_2) مضافاً إليه مواد أخرى لتُحسن من مقاومته، وتزيد من متانته، والنموذج الذي يصنع لعمل الشكل المطلوب سباكته يجب أن يكون ذا متانة وتحمل للضغوط العالية أثناء تشكيل القالب الرملي. قد تكون النماذج مصنوعة من اللدائن أو الجبس أو الخشب أو المعدن، أما في حالة إنتاج عدد كبير من المسبوكات فيفضل أن يُنفذ النموذج من الخشب أو المعدن، ويتم ذلك بوضع النموذج بداخل إطار ساند ثم يُدك الرمل من حوله ويكون الدك أما يدوياً أو آلياً. ولإخراج النموذج من داخل الإطار الساند يجب فتحه بعناية ثم سحب النموذج ليترك تجويفاً بالقالب الرملي ليتسنى صب المعدن المنصهر في فراغ القالب، وللمحافظة على شكل القالب الرملي يجب أن يكون النموذج خالياً من القطع السفلي (السماح)، كما هو موضّح بالشكل رقم (6-4).



شكل رقم 6–4 السباكة الرملية

6-5-1 المراحل الأساسية التي تمر بها عملية السباكة الرملية

1. عمل النموذج وتشكيل اللباب والقالب.
2. صهر المعدن.
3. الصب والانجماد.
4. إخراج المسبوكة وتنظيفها ومعالجة سطحها.
5. الإنهاء.

تُعد المراحل السابقة أساسية لكل مسبوكة يتم إنتاجها، أي أنه لابد من مرور المسبوكة بتلك المراحل وما يتخللها من تقنيات وإجراءات لابد من اتباعها بدقة، وسبق وأن تعرف الطالب عليها بالتفصيل خلال دراسته السابقة بالاختصاص.

الخواص التي تتميز بها رمال قوالب السباكة

1- **قابلية التشكيل**: وهي إمكانية تشكيل الرمل بسهولة بحسب الشكل المطلوب للقالب.

2- **المقاومة Strength والتماسك**: وهي قدرة القالب الرملي على الحفاظ على شكله ومقاومته الانجراف بتأثير صب منصهر المعدن وجريانه في تجويف القالب.

3- **النفاذية (قابلية التخلل) Permeability**: عند صب المعدن المنصهر في القالب يتولد مقدار كبير من البخار والغازات الأخرى في قالب الرمل الرطب، وذلك بسبب الحرارة الموجودة في منصهر المعدن، ويجب أن يكون القالب ذا نفاذية جيدة للغازات (مسامياً) لكي يسمح بخروجها، وإلا فإن ذلك يسبب ثقوب وتجاويف غازية في الشكل النهائي للمسبوكة.

4- **قوة تحمل الحرارة**: إن درجة حرارة انصهار الرمل العالية وعدم ليونته أو التصاقه بالمسبوكة يساعد في الحصول على جودة سطح عالية للمسبوكة وسهولة تنظيفها.

5- **الاستقرار الحراري Thermal Stability**: تسبب حرارة المعدن المسبوك تمدداً سريعاً في سطح الرمل عند السطح الداخلي للقالب الملاصق للمعدن، عند ذلك يتشقق سطح القالب أو ينبعج أو يتقشر إذا لم يكن رمل القالب مستقراً نسبياً في أبعاده تحت تأثير التسخين السريع.

6- **توصيل الحرارة**: إن توصيل الحرارة يؤثر على القالب وبُنيته، إذ يؤدي إلى سرعة تبريد منصهر المعدن المصبوب في القالب، ويتوقف مقدار توصيل الحرارة على درجة رطوبة القالب، ولذلك كثيراً ما يلزم تجفيف القوالب المستعملة للمسبوكات الكبيرة من الفولاذ وحديد الزهر لتقليل توصيلها للحرارة.

7- **إنتاج سطوح ملساء**: يجب أن تكون حبيبات الرمل ناعمة لإنتاج أشكالاً حوافها وأسطحها ملساء.

8- **إعادة الاستخدام Reusability**: إن الرمل المستخدم في السباكة يجب أن يكون قابلاً لإعادة الاستخدام، مع قليل من الإضافات التي تكون قد فقدت نتيجة صب منصهر المعدن في القوالب.

9- **الانسياب (سهولة التشكيل والضغط)**: يجب أن يكون الرمل قابلاً للكبس والضغط الجيد عند عمل القالب بطريقة الرج أو الضغط أو القذف، أي يجب أن ينساب الرمل قليلاً تحت تأثير ضغط المعدن الذي ينكمش نتيجة للتبريد، فالقوالب غير المنتظمة والهشة التي تُشكل من رمل قابليته للانسياب ضعيفة قد تسبب ازدياداً في حجم الشكل أو تشققاً أو خشونة في سطوحه وخصوصاً في الجدران الجانبية.

10- **قابلية الانهيار Collapsibility**: إن الرمل الساخن الذي يصبح صلداً كالصخر وتصعب إزالته من المسبوكة قد يتسبب في تمزق أو تشقق المعدن المنكمش، لذا يجب أن يصبح الرمل هشاً قابلاً للانهيار بعد انجماد المسبوكة وسهولة إخراج المسبوكة من القالب الرملي.

11- **سهولة التحضير**: يجب أن يكون الرمل سهل التحضير من مكوناته، وأن يكون التحكم فيه سهلاً، حيث إنه يتكون ببساطة من حبيبات الرمل والمادة الرابطة والماء.

وتتوقف جودة المسبوكات على توافر هذه الخصائص في رمل السباكة، لأن قابلية التشكيل تؤثر على جودة الأسطح وتماسك الرمل يؤثر على دقة الأبعاد للمسبوكات، أي يساعد على إنتاج مسبوكات مطابقة للأبعاد المحددة، أما خاصية الصمود للحرارة فهي تؤدي إلى تسهيل تنظيف المسبوكات، وأخيراً نفاذية القالب للغازات التي تمنع حدوث فجوات غازية في المسبوكات، وتوّفر هذه الخاصية يعمل على ملء فراغ القالب بالمعدن تماماً.

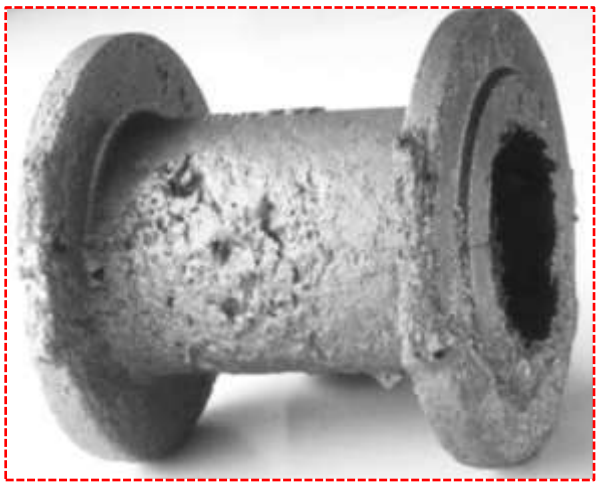
2-5-6 عيوب السباكة الرملية Sand Casting Defects

هنالك مجموعة من عيوب السباكة التي لها علاقة بطريقة السباكة الرملية وتتضمن الآتي وسيتم تناولها بشكل مفصل في هذا الفصل:

1. الزحف.
2. الانتفاخ.
3. فجوات الانكماش.
4. الفجوات الغازية.
5. السطح الخشن.
6. أخطاء في أبعاد المنتج النهائي.

6-6 العيوب الغازية Gas Defects

وهي عبارة عن أبخرة وغازات حُبست داخل منصهر المعدن أو داخل القالب بسبب ضعف قابلية قالب الرمل للنفاذية، وتظهر على شكل فجوات أو فراغات صغيرة داخلية لا تظهر إلا بالفحص الإشعاعي، أو خارجية تظهر على سطح المعدن بعد أن يبرد. الشكل رقم (6-5) يبيّن نوع من أنواع العيوب الغازية، ويحدث هذا لأن معظم المواد المنصهرة يمكن أن تحتوي على كمية كبيرة من الغازات المذابة، لكن تغير الطور من السائل إلى الصلب للمادة نفسها بعد انجماد منصهر المعدن لا يمكن للمادة الصلبة أن تذوب الغازات داخل بنيتها البلورية، وبالتالي يتم ظهورها بشكل فجوات دقيقة داخل أو خارج جسم المسبوكة.

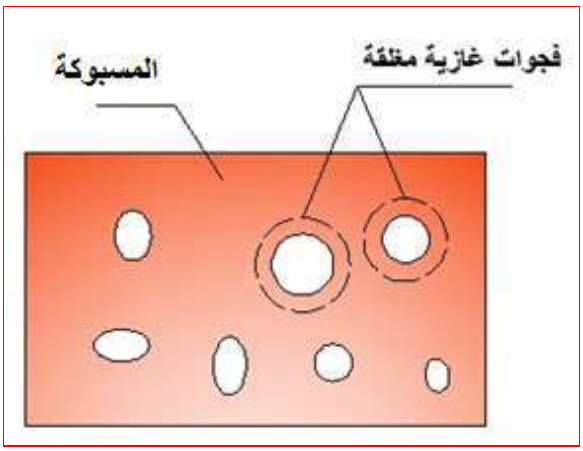


شكل رقم 6-5 العيوب الغازية

أنواع الفجوات الغازية

1. فجوات غازية مغلقة (Close Holes)

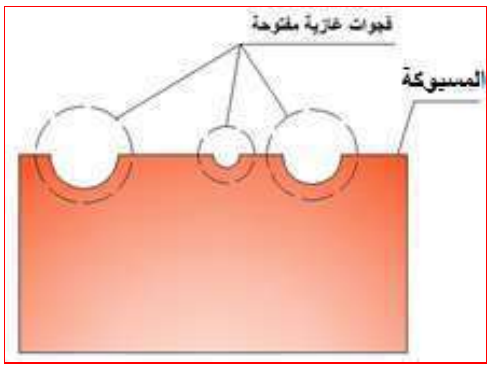
يشكل الغاز فجوات داخل المادة في أثناء انجمادها بعد عملية صب منصهر المعدن في القالب، كما هو موضّح في الشكل رقم (6-6) التخطيطي.



شكل رقم 6-6 فجوات غازية مغلقة

2. فجوات غازية مفتوحة (Open Holes)

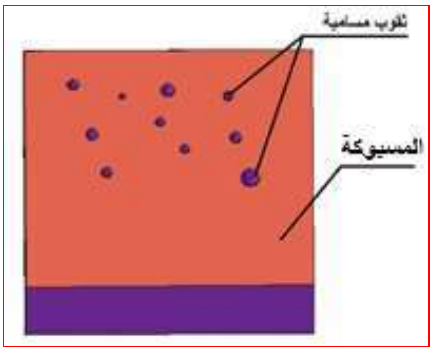
قد تظهر فجوات الغاز على سطح المسبوكة كمسامية بعد عملية انجمادها مما يقلل القوة والمتانة في تلك المنطقة، لاحظ الشكل رقم (6-7).



شكل رقم 6-7 فجوات غازية مفتوحة

3. الثقوب المسامية (Pinholes):

إن النيتروجين والأوكسجين والهيدروجين والغازات هي أكثر الغازات مسببةً لحالات المسامات الغازية. في مسبوكات الألمنيوم يكون الهيدروجين هو الغاز الوحيد الذي يذوب بكميات كبيرة، مما قد يؤدي إلى مسامية غاز الهيدروجين. كما هو موضّح في مخطط الشكل رقم (6-8)، وبالنسبة للقوالب التي يبلغ وزنها بضعة كيلوغرامات يتراوح حجم المسامية عادةً من 0.01 إلى 0.5 ملم تقريباً.



شكل رقم 6-8 الثقوب المسامية

لتجنب حدوث عيب المسامية الغازية، بالإمكان صهر المعدن في جو مفرغ من الهواء، أو في بيئة تحتوي على غازات منخفضة الذوبان مثل الآركون أو ثاني أوكسيد الكربون، أو تحت تدفق يمنع ملامسة الهواء وذلك لتقليل قابلية ذوبان الغاز في منصهر المعدن، وبالإمكان بقاء درجات الحرارة منخفضة. يجب أن يتم تجنب الاضطراب الناتج عن صب منصهر المعدن في تجويف القالب بمعدلات صب عالية، الذي عادةً ما يؤدي إلى اضطراب (Turbulent) جريان منصهر المعدن (وهو مشابه إلى تحريك السوائل قسرياً)، وتساعد هذه الحالة في زيادة دخول الغازات إلى منصهر المعدن وانحباسها داخله وبالتالي حدوث المسامية الغازية، لذلك غالباً ما يتم تبسيط شكل تجاويف القوالب لتقليل هذا الاضطراب، فضلاً عن تقليل معدلات صب منصهر المعدن. تشمل الطرائق الأخرى التفريغ أو شطف الغاز أو الترسيب وهو عملية إزالة الغازات الذائبة في منصهر المعدن باستخدام مواد خاصة لهذا الغرض (Degassing) لتجنب حدوث المسامية الغازية. عملية الترسيب هي تفاعل الغاز مع عنصر آخر لتكوين مركب سيشكل خبثاً يطفو على سطح المسبوكة، وبالإمكان إزالته بعد انجمادها وإخراجها من القالب. على سبيل المثال، يمكن إزالة الأوكسجين من النحاس بإضافة الفسفور، وإضافة الألمنيوم أو السيليكون إلى الفولاذ لإزالة الأوكسجين. ينتج الهيدروجين عن طريق تفاعل المعدن مع الرطوبة أو الرطوبة المتبقية في القالب، يمكن أن يؤدي تجفيف القالب إلى القضاء على مصدر تكوين الهيدروجين المسبب في المسامية الغازية وخصوصاً في مسبوكات سبائك الألمُنيوم.

قد يكون من الصعب أحياناً التمييز بين مسامية الغاز والانكماش الجزئي، لأن تجاويف التقلص الصغيرة يمكن أن تحتوي على غازات أيضاً. بشكل عام، سوف تتشكل المسامات الدقيقة إذا لم يتم التصميم الجيد للروافع (Risers) التي وظيفتها هي تعويض منصهر المعدن عند انكماشه وتقلصه في أثناء الانجماد وخصوصاً في السبائك ذات درجات الانصهار المتفاوتة. ومع هذا أن هنالك فروقاً واضحة ما بين عيوب الانكماش الرئيسية والثانوية وعيوب المسامية الغازية تكمن في أن الفجوات الغازية تكون عادةً صغيرة الحجم ومنتظمة وشبه دائرية وجدرانها الداخلية ملساء على خلاف عيوب المسامية العادية أو المايكروية التي مصادرها هو انكماش منصهر المعدن في أثناء انجماده.

أسباب تكون المسامية الغازية:

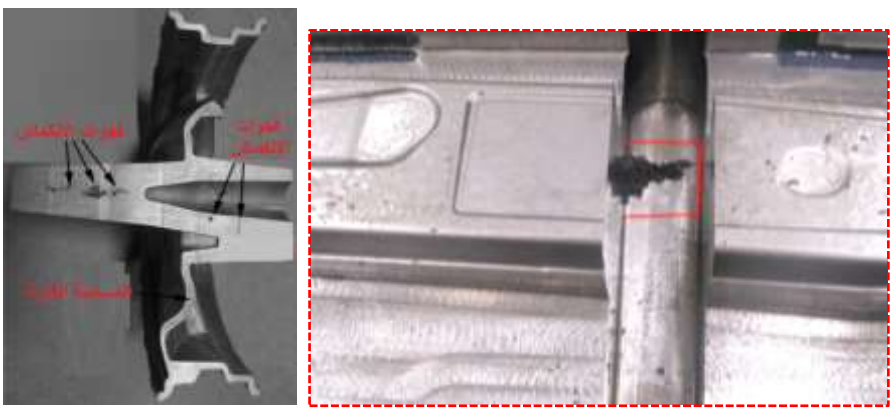
1. عدم وجود خاصية القنوات الشعرية (Capillary Tubes) الكافية في رمل القالب نتيجة الرطوبة العالية والدك المفرط مما يُسبب انخفاض قابلية النفاذية (Permeability).
2. ارتفاع كمية الغازات المذابة في منصهر المعدن التي تتحرر أثناء الانجماد مسببة الفجوات الغازية.
3. عدم توفر فتحات التهوية الجيدة للقالب الرملي، وهي عبارة عن قنوات دقيقة نسبياً يزود بها القالب الرملي لغرض تسريب الغازات.

ويمكن تجنب تلك العيوب من خلال:

- التصميم الجيد لأنظمة الصب والتغذية واختيار المكان الأفضل لفتحات التهوية.
- تجنب المستويات الأفقية الكبيرة بالمسبوكات أو الاستغناء عنها باستخدام مستويات مائلة.
- تجنب التفاصيل كثيرة التعقيد.
- استخدام رمل ذي نفاذية مناسبة مع اختيار أسلوب مناسب للدك وذي حبيبات صغيرة.

7-6 عيوب الانكماش Shrinkage Defects

وهي الفجوات الناتجة عن تقلص المعدن خلال انجماده وعدم كفاية المعدن المغذي (الرافع) للمسبوكة في أماكن تجمع المعدن، كما هو موضّح في الشكل رقم (6-9). يتعرض المعدن المنصهر في أثناء انجماده للانكماش، لذا تكون مقاسات المسبوكات بعد الانجماد أقل من مقاسات القالب، ولذا عادةً ما يؤخذ بنظر الاعتبار عند تصميم القوالب بتعويض محدد في القالب وفي القلوب لغرض معالجة الانكماش، إن التغيير في مقاسات القالب مقارنة بانكماش المسبوكات يمكن إهماله لذلك ينبغي أن تشمل أبعاد النماذج سماحات (تفاوتات) مناسبة لتعويض انكماش المعدن وبحسب نوع المعدن المسبوك. يمكن أن تحدث عيوب الانكماش عندما لا يتوافر معدن التغذية القياسي للتعويض عن الانكماش وخصوصاً في المسبوكات ذات المقاطع السميكة. وعيوب الانكماش سيكون لها مظهر خشن أو خطي، وتحدث فجوات الانكماش عادةً على سطح المسبوكة أو بداخلها.

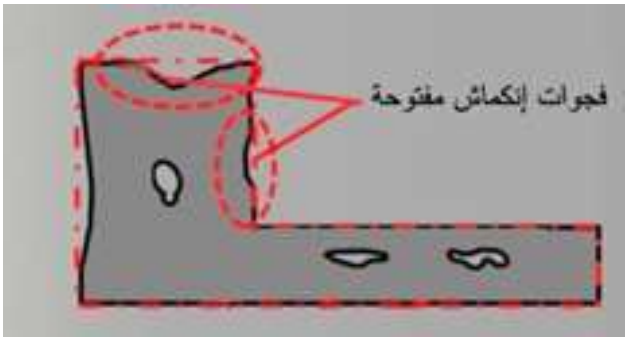


شكل رقم 6-9 فجوة انكماش

1-7-6 أنواع فجوات الانكماش

1. **فجوات انكماش مفتوحة Open Holes**

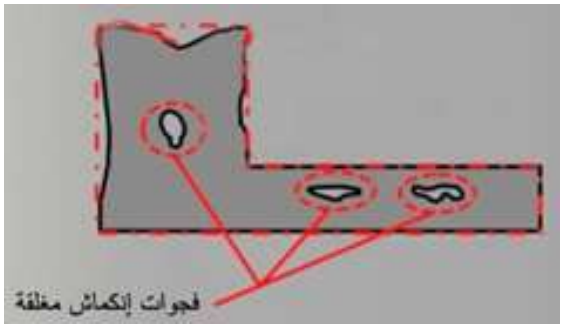
تكون فجوات الانكماش خارجية أي مفتوحة على سطح المسبوكات، لذلك عندما يتشكل تجويف الانكماش يعوض بدله بالهواء، وكما هو مبيّن في الشكل رقم (6-10).



شكل رقم 6-10 فجوات انكماش مفتوحة

2. **فجوات انكماش مغلقة Close Holes**

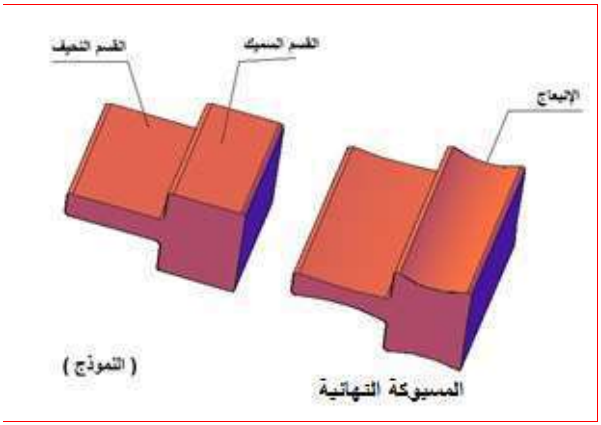
وتُعرف أيضاً باسم مسامية الانكماش، وهي فجوات تتشكل داخل المسبوكة وعبارة عن بُرك منعزلة من السائل داخل المعدن بعد انجماده، التي تسمى النقاط الساخنة، عادة ما يتكون عيب الانكماش في الجزء العلوي من النقاط الساخنة، لذلك يمكن للشوائب والغاز المُذاب إحداث عيوب انكماش مغلقة، كما هو موضّح في الشكل رقم (6-11).



شكل رقم 6-11 فجوات انكماش مغلقة

3. **الانبعاج Warping**

هو التشوه الذي يحدث بسبب الإجهادات الداخلية للمعدن بعد أن يبرد ويكون هناك انكماش غير متساوٍ في الأجزاء المختلفة للمسبوكة نتيجة اختلاف سمك جدرانها، واختلاف معدل التبريد في أجزاء القالب، وضغط المعدن المنصهر غير كافٍ في أثناء الصب، كما هو موضّح في الشكل رقم (6-12).



شكل رقم 6-12 الانبعاج

أسباب تكون العيب:

1. التصميم غير الصحيح للمسبوكة والمصبات والمغذيات من حيث الحجم والموضع.
2. الخطأ في حساب درجة انكماش المعدن المصبوب.
3. زيادة المساحات المسطحة بشكل كبير.
4. الانتقال من الأجزاء السميكة إلى الأجزاء الرقيقة بشكل مفاجئ ومن دون تدرج.

وبالإمكان تجنب ذلك العيب من خلال:

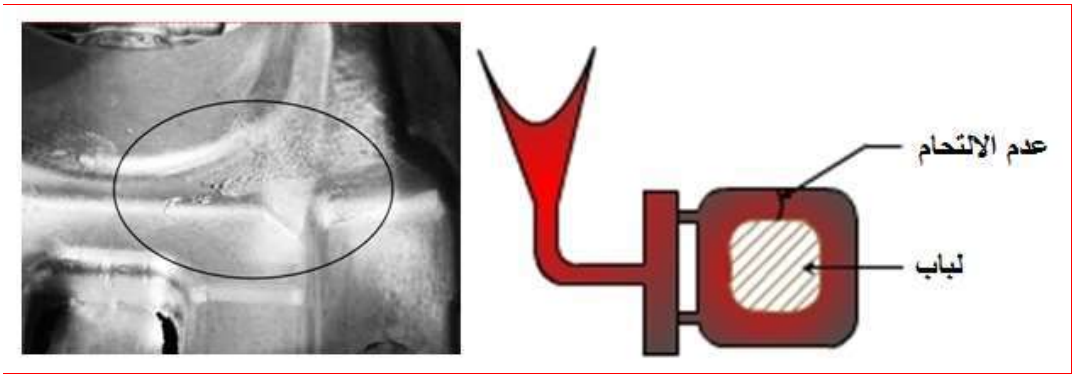
- التصميم الجيد للمسبوكات ومنظومة الصب والروافع والمغذيات وخاصة من حيث الحجم والموقع.
- مراعاة الانتقال في تصميم المسبوكة من الأجزاء السميكة إلى الأجزاء الرقيقة تدريجياً حتى يعوض ذلك فرق درجات الحرارة في عملية انجماد المعدن.
- استبدال المساحات المسطحة الكبيرة بأخرى محدبة إن أمكن.

6-8 عيوب التقلص Contraction Defects

يتقلص المعدن عند انجماده وتبريده إلى درجة حرارة الغرفة، وبالتالي يسبب هذا العيب عدم الدقة بأبعاد المسبوكات بحسب تصاميمها الأولية.

6-8-1 الالتحام Cold Shut

وهو على شكل انخفاض أخدودي ينتج بسبب عدم الالتحام التام بين تيارات المعدن الداخلة من جهات مختلفة، كما هو موضّح في الشكل رقم (6-13).



شكل رقم 6-13 عدم الالتحام بين المعدن

أسباب تكون العيب:

1. مقدار سيوبة منصهر المعدن غير كافية.
2. عدم توجيه المعدن توجيهاً صحيحاً وبالتالي انقطاع تيار المعدن عند ملء تجويف القالب.
3. التقاء جزء بارد مع ساخن من المعدن في المسبوكة.

وبالإمكان تجنب ذلك العيب من خلال:

- تجنب التوسع المفاجئ بمقاطع المسبوكة ليكون التوسع تدريجياً لغرض التحكم باتجاه انجماد المعدن.
- الحفاظ على درجة حرارة صب المعدن المنصهر داخل تجويف القالب.
- رفع درجة حرارة القالب.
- رفع درجة حرارة صب منصهر المعدن.

6-8-2 الشقوق Cracks

وهي عبارة عن تشققات واضحة يمكن أن تُرى بالعين المجردة أو باستخدام مكبر، وكما موضح في الشكل رقم (6–14)، وتكون طولية أو متعرجة وتحدث عموماً على الأطراف الحادة للقطع والزوايا.

شكل رقم 6-14 تشققات وشروخ في المسبوكة عند الأركان

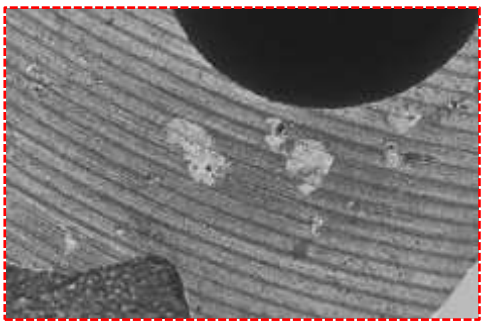
أسباب تكون العيب:

1. سوء التصميم للمسبوكة، إذ إن وجود الأركان والحواف الحادة يسبب تولد إجهادات في المسبوكة في أثناء انجماد منصهر المعدن.
2. التقاء جزأين مختلفين في السمك في القطعة ذاتها مما يحدث معه إجهادات داخلية نتيجة الاختلاف في درجات الحرارة.

وبالإمكان تجنب ذلك العيب من خلال: التصميم الجيد الذي يتم فيه تجنب الأشكال المعقدة والزوايا القائمة والحواف الحادة واستبدالها بانحناءات دائرية.

3-8-6 متضمنات الخبث Slag Inclusions

هي عبارة عن حبيبات الخبث والأكاسيد التي تدخل تجويف القالب في أثناء الصب وتصبح جزءاً من المسبوكة، أو تحدث نتيجة تجمع حبيبات الرمل في أثناء الصب، وكما هو موضّح في الشكل رقم (15-6).



شكل رقم 6-15 متضمنات الخبث

أسباب تكون العيب:

1. سوء تنظيف المعدن المنصهر من الخبث.
2. الخطأ في الصب.
3. سوء تصميم منظومة الصب.

وبالإمكان تجنب ذلك العيب من خلال: إضافة فلاتر سيراميكية في منظومة الصب، وتغيير نظام الصب من البودقة (من الأسفل).

9-6 أخطاء بالأبعاد Dimensional Errors

عند تنفيذ مسبوكة تحتوي في تصميمها على تفاصيل دقيقة يُراد إظهارها بدقة، والإمكانيات الخاصة بالتشكيل، أو لعمل إنتاج معين بحسب التصميم، لا بُدَ من مراعاة وضبط المقاييس الخاصة بالمسبوكات على حسب الخصائص المطلوبة.

1-9-6 نقص المعدن أو عدم الاكتمال Incomplete Casting

وهو عدم اكتمال المسبوكة (Misruns) بسبب نقص المعدن المصبوب في القالب أو انجماد منصهر المعدن قبل اكتمال ملء القالب، إذ تتكون مسبوكة غير مكتملة، كما هو موضّح في الشكل رقم (16-6).

شكل رقم 6-16 عيب نقص المعدن

أسباب تكون العيب:

1. الخطأ في تصميم منظومة الصب أو التغذية.
2. منصهر المعدن المصبوب بارد نسبياً وانجماده قبل اكتمال عملية الصب.
3. سيوبة منصهر المعدن قليلة.
4. تجمع الغازات يمنع ملء القالب بالمعدن.
5. من الناحية التصميمية فإن المقاطع الرقيقة جداً في المسبوكات وكذلك التغيرات الفجائية في سمك الجدران تتسبب في سرعة انجماد المعدن وقبل وصوله لباقي أجزاء المسبوكة.

وبالإمكان تجنب ذلك العيب من خلال:

- التصميم الجيد للنموذج من حيث استبعاد المقاطع الرقيقة جداً في الجدران إن أمكن.
- استبعاد التغيرات الفجائية في سمك الجدران بحيث يكون هنالك تدرج في السمك.
- التصميم الجيد لمنظومة الصب والتغذية.
- التأكد من وصول المعدن المصبوب لدرجة الحرارة والسيوبة اللازمة.
- تحسين نفاذية رمل القالب وتجفيفه قبل الصب.
- تسخين قالب السباكة.

10-6 الاعتبارات التصميمية لتحسين جودة المسبوكات

تظهر في بعض الأحيان عيوب بالمسبوكات مثل المسامية ومناطق الانكماش والشقوق والتمزقات التي تظهر في أثناء أو بعد عملية الصب، وقد يكون وجود هذا العيب خطيراً إلى درجة يتحتم عندها رفض المسبوكات المعيوبة، لذا يُراعى عند تصميم المسبوكات أن يُقلل التغيرات الفجائية بالمقاطع إذ إن درجة حرارة الجزء الرفيع تُفقد بسرعة، مما يؤدي إلى تكوّن إجهادات داخلية شديدة بالمعدن وظهور التصدعات والعيوب الأخرى.

وبالإمكان تلخيص الاعتبارات التصميمية المؤثرة على جودة المسبوكات بالآتي:

1- تجنب التغيّرات الفجائية عند تصميم المقاطع المختلفة ومراعاة التدرج في الانتقال من المقاطع ذات السمك الكبير إلى المقاطع ذات السمك الصغير.

2- تقليل الأجزاء كلما أمكن في المسبوكة الواحدة، وعند صعوبة ذلك يلجأ إلى تجزئة المسبوكة إلى أجزاء متعددة ثم تجميعها بعد ذلك بطرائق اللحام والربط المختلفة.

3- تجنب الحافات والأركان الحادة واستبدالها بالأركان المستديرة.

4- استبعاد المقاطع ذات السمك القليل كلما أمكن، على أن يكون الحد الأدنى لسمك القطاعات تبعاً لنوع المعدن المسبوك كما يأتي: الألُمنيوم (4.7 ملم)، النحاس والحديد (3 ملم)، الفولاذ (6 ملم).

5- مراعاة اختيار المعدن المسبوك.

6- تجنب الثقوب والفجوات التي تُشكل بالسباكة التي يقل قطرها عن (10.7 mm)، ولا يزيد عمقها عن 40% من القطر.

7- تجنب الزوايا الحادة والمستقيمة قدر المستطاع واستخدام الزوايا المنفرجة خاصة في الأسطح الرأسية على أن لا تقل درجة ميل الأركان عن (1: 3) درجة.

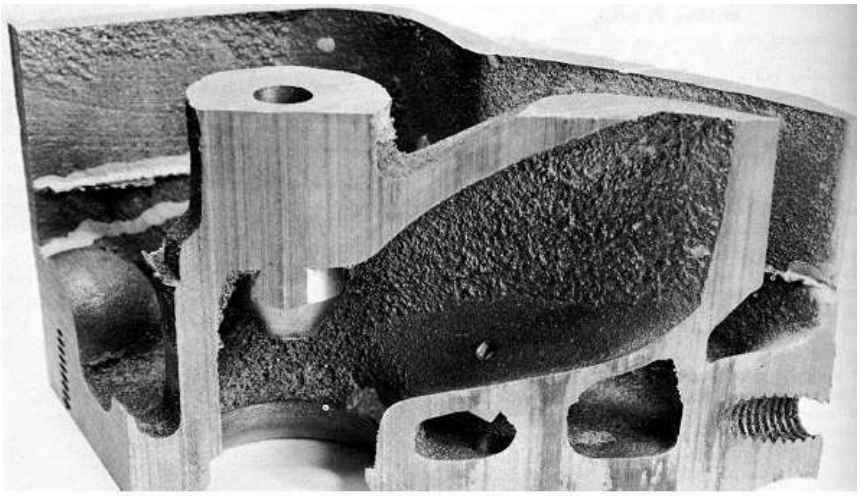
8- مراعاة البساطة في المسبوكات المنتجة في القوالب الرملية للتغلب على وجود إجهادات ناشئة عن سرعة التبريد وتفضيل حدوث الانجماد الاتجاهي لضمان جودة وسهولة التشطيب النهائي.

9- تجنب الأشكال المعقدة التي تؤدي إلى صعوبة في سحب النموذج (Pattern) مثل الأجزاء البارزة، والجدران رقيقة المقطع.

11-6 عيوب السطح Surface Defects

1-11-6 خشونة السطح Surface Roughness

يحدث هذا العيب في المسبوكة نتيجة استعمال رمل ذي حبيبات خشنة أو بسبب ضعف القالب أو ارتفاع درجة حرارة منصهر المعدن بشكل كبير، مما يؤدي إلى تغيير في أبعاده وخشونة ملمس المسبوكة وتكوُن عيوب سطحية تُعد مناطق حدوث الشقوق ومن ثم فشل المسبوكة في أثناء العمل، وكما هو موضّح في الشكل رقم (6-17).



شكل رقم 6-17 خشونة السطح

أسباب تكون العيب:

1. استعمال رمل ذي حبيبات خشنة (كبيرة) في قوالب السباكة.
2. تهشم أو تآكل جزء من القالب.
3. الإفراط في رفع درجة حرارة المعدن المنصهر.

وبالإمكان تجنب ذلك العيب من خلال:

- استخدام رمال صغيرة الحبيبات نسبياً.
- تحسين خاصية المتانة في الرمل باستخدام مادة رابطة مناسبة وإضافة مواد مثبتة إلى الخليط.
- عدم المبالغة في رفع درجة حرارة منصهر المعدن أكثر من (100°C) فوق درجة حرارة انصهار المعدن أو السبيكة.

2-11-6 تجاويف رملية Sand Cavities

وتحدث عند السطح نتيجة انهيار أجزاء من رمل القالب في أثناء إخراج النموذج من القالب بسبب وجود عيوب تصميمية خاصة بميل الأسطح الرأسية (سماح الميل)، لاحظ الشكل رقم (6-18).

شكل رقم 6-18 الفجوات الرملية في المسبوكة

أسباب تكون العيب:

1. احتواء التصميم على أشكال معقدة أو زوايا حادة أو مستقيمة أو جدران رقيقة جداً.
2. مقاسات التجاويف غير دقيقة مما يؤدي إلى انهيار جزء من رمل القالب في أثناء عملية الصب.
3. عدم كفاءة منظومة المصبات.

وبالإمكان تجنب ذلك العيب من خلال:

- مراعاة السُلبة للأشكال (وهي ميل الأركان بزاوية 3:1 درجة) حتى يسهل إخراج النموذج من القالب بعد عملية الختم من دون حدوث انهيار للرمل.
- مراعاة تجنب الأشكال المعقدة في التصميم أو الاتصالات الكثيرة بين الأجزاء.
- تجنب الزوايا الحادة واستبدالها بزوايا منفرجة مستديرة الأركان.
- استبعاد المقاطع الرقيقة في التصميم قدر المستطاع.

3-11-6 المواد العازلة

تستخدم المواد العازلة لتغطية سطح النموذج، إذا كان مصنوعاً من الجبس أو الخشب أو الرخام لتسهيل عملية سحب النموذج من القالب، بحيث تكون طبقة العازل المستخدمة رقيقة جداً أي لا تترك علامات أو تخفي التفاصيل الدقيقة للمسبوكة، أما في حالة النموذج المصنوع من الطين فلا تستخدم مادة عازلة، لأن الطين سينفصل بطبيعته عن قالب الجبس بمجرد فقدانه لنسبة من رطوبته، وغالباً ما تستخدم مادة الشحم كعازل بين القالب وسطح النموذج. على كل حال أن استخدام أي مادة عازلة بين النموذج والتجويف الداخلي لقالب السباكة، يجب أن لا تؤثر على جودة المسبوكات من حيث تكون عيوب السباكة مثل المسامية الغازية أو التشققات وغيرها.

أسئلة الفصل السادس

س1) عرّف ما يأتي:

1. الشقوق 2. متضمنات الخبث 3. السباكة الرملية 4. نفاذية الغازات
5. العيوب الغازية 6. عيوب الانكماش

س2) عدد المصادر العامة لعيوب المسبوكات.

س3) بيَن كيفية تجنب العيوب الغازية، داعماً إجابتك بالرسم.

س4) عدد المراحل الأساسية التي تمر بها عملية السباكة الرملية.

س5) ما خصائص رمل قوالب السباكة؟ اذكرها.

س6) ما عيوب السباكة الرملية؟ عددها.

س7) بيّن بالرسم مع الشرح فجوات الانكماش الداخلية.

س8) عدد أسباب تكوّن الفجوات الغازية.

س9) قارن بين الفجوات الغازية وفجوات الانكماش.

س10) عدد الخصائص العامة لرمل السباكة، مع شرح اثنتين منها فقط.

س11) بيّن الاعتبارات التصميمية لتحسين جودة المسبوكات المعدنية بالنقاط، (**ستة** فقط).

س12) املأ الفراغات الآتية بما يناسبها:

1. تتراوح قيمة سماحة السحب لجوانب النموذج ما بين ..... درجة.
2. لا تظهر عيوب المسبوكات إلا بعد الانتهاء من .....المسبوكة ..... من قالب السباكة.
3. تحدث الزوائد في المسبوكات عند سطح انفصال القالب لوجود ..... بين نصفي القالب.
4. يتركب رمل السباكة من السليكا SiO_2 مضافاً إليه مواد أخرى لـ ..... و.....
5. عيوب الانكماش هي ..... الناتجة عن تقلص المعدن خلال انجماده وعدم كفاية .....
6. الانبعاج هو التشوه الذي يحدث بسبب ..... للمعدن بعد أن .....
7. أهم أسباب حدوث عيب متضمنات الخبث في المسبوكات .....و.....
8. تقسم العيوب الغازية إلى ..... و..... و.....
9. يتراوح حجم الفجوات في العيوب الغازية عادة من ..... إلى ..... ملم.
10. تستخدم المواد العازلة لتغطية سطح النموذج إذا كان مصنوعاً من الجبس أو ..... و..... لتسهيل عملية ..... النموذج من القالب.

الفصل السابع

ضمان الجودة

Quality Assurance

الأهداف

الهدف العام:

سيتمكن الطالب في هذا الفصل من معرفة مفهوم الفحص والسيطرة النوعية، وسيتم تسليط الضوء على قياسات الأبعاد وأنواع أدوات القياس الميكانيكية وطرائق فحص المسبوكات والفحوصات (الاختبارات) الإتلافية واللاإتلافية للعينة، ومن أهمها الفحص البصري، الفحص بالأشعة السينية، الفحص بالموجات فوق الصوتية، وكذلك الفحوصات اللاإتلافية البديلة. والزمن الكلي لانجماد المنصهر ومن خلالها سيتم معرفة مقدار وحجم المغذيات ومواقعها داخل تجويف القالب ونوعية الانجماد للمسبوكة بحسب المعايير التكنولوجية ومتطلباتها.

الأهداف الخاصة: بعد الانتهاء من دراسة الفصل السابع سوف يتمكن الطالب من معرفة وفهم الآتي:

- الفحص والسيطرة النوعية.
- طرائق الفحص.
- الفحص البصري.
- قياسات الأبعاد.
- الفحوصات الإتلافية.

- الفحوصات اللاإتلافية.
- الفحص بالأشعة السينية.
- الفحص بالموجات فوق الصوتية.
- الفحوصات اللاإتلافية البديلة.

ضمان الجودة

Quality Assurance

1-7 الفحص والسيطرة النوعية Inspection and Quality Control

بالإمكان تعريف السيطرة النوعية (Quality Control) على إنها مجموع الإجراءات المتخذة بمختلف الطرائق والأساليب للتأكد من مطابقة المنتوج للمواصفات المحددة لها مسبقاً لضمان إمكانية قبوله من قبل المستهلك، بهدف دراسة وتحسين الإنتاج أو الخدمة والتحكم بتكاليفها.

إن مفهوم السيطرة النوعية يعتمد بشكل كبير على حقيقة وجود الاختلافات في كل مفاصل الحياة وأنشطتها الإنتاجية والخدمية، وفي كافة المجالات الاقتصادية والزراعية والصناعية، ويمكن أن تصنف فئات الاختلاف إلى ثلاث فئات هي: الاختلاف داخل المنتج الواحد، الاختلاف بين منتج وآخر، أو الاختلاف من وقت لآخر.

أهم مصادر الاختلاف في العملية الإنتاجية أو الخدمية هي:

1. **أدوات الإنتاج**: وهي المكائن والمُعدات فمن المعلوم إن عمر الماكنة يؤثر بشكل كبير على إنتاجيتها.
2. **عنصر العمل**: إن إنتاج العنصر البشري يختلف من شخص إلى آخر فإنتاج العامل الماهر يختلف عن إنتاج العامل المتدرب أو غير الماهر.
3. **المواد الأولية**: إن مدخلات العملية الإنتاجية من المواد الأولية يؤثر بشكل كبير على مخرجات العملية الإنتاجية.
4. **البيئة**: يتأثر الإنتاج وكذلك الخدمات بالعوامل البيئية كدرجات الحرارة والرطوبة وكمية الأمطار.

أهمية السيطرة النوعية

تتلخص أهمية السيطرة النوعية بالنقاط الآتية:

1. التأكد من نوعية المنتج ومدى ملائمته لوظيفته.
2. تحسين العلاقة بين المؤسسة أو المنشأة الإنتاجية أو الخدمية والمستهلكين أو المستفيدين.
3. القدرة على تحقيق وضع تنافسي مناسب.
4. تخفيض نسب الوحدات غير المطابقة للمواصفات.
5. توفير الظروف المناسبة للعمل.
6. رفع مستوى الأداء والإنتاج.
7. خفض تكاليف الإنتاج بمرور الوقت.
8. تخفيض نسب التلف في أثناء العملية الإنتاجية.

إجراءات السيطرة النوعية

من أهم الإجراءات المتخذة في السيطرة النوعية وبالترتيب الآتي:

1. وضع مجموعة من المعايير والمقاييس على وفق المواصفات المحددة.
2. فحص المواد المنتجة للتحقق من مطابقتها للشروط الموضوعة مسبقاً.
3. اكتشاف الانحرافات والتغيرات واتخاذ الإجراءات المطلوبة بصددها.
4. التخطيط لتحسين نوعية الإنتاج والخدمات.

أبعاد السيطرة النوعية

هنالك ثمانية أبعاد للسيطرة النوعية هي:

1. **الأداء**: هل أن المنتج يؤدي الوظيفة المطلوبة؟
2. **الموثوقية**: تعني كيف ومتى يفشل المنتج في أداء وظيفته.
3. **المتانة**: وهي مدة (عمر) المنتج أو الخدمة.
4. **الجمالية**: وتشير إلى شكل المنتج أو الخدمة.
5. **الصيانة**: مدى سهولة إصلاح المنتج.
6. **الملامح**: تشير إلى إمكانيات المنتج الوظيفية.
7. **الجودة**: هي موثوقية المنتج أو الشركة المنتجة.
8. **مطابقة المعايير**: وهي ملائمة المنتج أو الخدمة للتصميم القياسي المحدد له.

أما السيطرة الإحصائية على النوعية Statistical Quality Control، فهي استخدام الطرائق والأساليب الإحصائية للتأكد من توافر المواصفات المطلوبة في المنتوج أو الخدمة ووضع الخطط الخاصة بالفحص، ويعتمد نوع عمليات السيطرة الإحصائية على النوعية على طبيعة وخصائص العملية الإنتاجية أو الخدمية ودرجة تعقيدها وطبيعة الشروط المطلوبة.

2-7 الفحص Inspection

فحص المسبوكات هي عملية التأكد من مطابقتها للمواصفات الفنية التي يحددها المصمم أو ظروف الاستخدام، والمواصفات الفنية عبارة عن بيان موجز لمجموعة المتطلبات التي ينبغي تحقيقها في منتج ما مع إيضاح الطريقة التي يتم بواسطتها التحقق من استيفاء هذه المتطلبات. يجب القيام بعملية الفحص خلال التنظيف وخاصة على المسبوكة التي تم تشطيبها وذلك للتأكد من مطابقتها للمواصفات ومتطلبات التصميم، وكلما استبعدت المسبوكات غير الصالحة في مرحلة مبكرة قلت العمليات التي تُجرى عليها، لتقليل التكلفة واستبعاد المسبوكات التالفة في أثناء إخراجها من القالب إذ يمكن استبعاد المسبوكات ذات العيوب الظاهرة من خطوط الإنتاج فيتم توفير الوقت والجهد، ومع هذا فإن المسبوكات التي فيها تفاوت في الأبعاد أو عيوب معينة قد تحتاج إلى إجراء اختبارات خاصة لاكتشاف عيوبها.

1-2-7 طرائق الفحص Inspection Methods

تعتمد الطرائق المستعملة في فحص المسبوكات قبل شحنها إلى العملاء على المواصفات الموضوعة بواسطة العميل، وكلما كانت المواصفات أكثر دقة ارتفع ثمن المنتج. يتفاوت الفحص على المسبوكات من ملاحظة المظهر الخارجي بالعين المجردة (الفحص البصري) إلى الفحص الدقيق الكامل لجميع المسبوكات، وذلك بالأشعة السينية أو الموجات فوق الصوتية. يقسم الفحص (الاختبار) عن العيوب غير الظاهرية في المسبوكات إلى قسمين الإتلافي واللاإتلافي. في الاختبار الإتلافي تؤخذ قطاعات في مسبوكة كعينة بواسطة منشار قطع معادن، وتفحص المسبوكة من حيث العيوب الداخلية والبنية المجهرية، ويتوقف نجاح هذه الطريقة على مقدرة الفني القائم بهذا العمل على استنتاج المواقع الأكثر احتمالاً لوجود العيوب بها، إلا أن هذه الطريقة ليست جيدة بأي حال، فقد تكون المسبوكة المنتقية حالة فريدة ولا تمثل متوسط المسبوكات، وإن كثيراً من المسبوكات المعيبة قد تُقبل كأنها جيدة قبل اكتشاف مثل هذه العيوب. وتختلف طرائق الفحص تبعاً لنوع وشكل وحجم المسبوكة والمواصفات المطلوب الحصول عليها، والوظيفة التي صُممت من أجلها المسبوكة، وباختصار يقسم الفحص عن العيوب في المسبوكات إلى:

- الفحوصات (الاختبارات) **اللاإتلافية** Nondestructive Testing
- الفحوصات (الاختبارات) **الإتلافيـة** Destructive Testing

3-7 الفحوصات اللاإتلافية Non-Destructive Test

تشمل الفحوصات (الاختبارات) اللاإتلافية Nondestructive Inspection Test أي فحص أو تقييم يجرى على المنتجات الصناعية بغرض اكتشاف وتحديد أماكن عيوب معينة مثل الفجوات الغازية، فجوات الانكماش، والتشوهات التي تعيق استخدام هذه الأجزاء أو تقلل من كفاءتها، بشرط ألا يُحدث هذا الفحص أو الاختبار أي تلف أو تغيير في هذه المنتجات.

يجب التنويه إلى أن الاستخدام الخاطئ أو غير الملائم لهذه الاختبارات اللاإتلافية قد يسبب نتائج عكسية يمكن أن تكون كارثية. كذلك أن الفهم أو التفسير الخاطئ لنتائجها له تأثيراته السلبية على المنتجات، لذا فإنه من الضروري أولاً اختيار التقنية الملائمة من هذه الاختبارات، ثم استخدامها بواسطة شخص مؤهل تأهيلاً كافياً لضمان عدم حدوث أي أخطاء والحصول على النتائج المرجوة من الاختبار، لأن التجهيزات والمُعدات المتطورة والمزودة بأفضل التقنيات والإجراءات لن تُجدي نفعاً إذا قام بتنفيذ الاختبار شخص غير مؤهل.

وتقسم العيوب المُكتشفة عن طريق الاختبارات اللاإتلافية إلى ثلاثة أنواع وهي:

1. عيوب ناشئة عن عمليات الإنتاج الأولي للمادة الخام، وتُسمى بالعيوب المتأصلة.
2. عيوب تنتج في أثناء إجراء عمليات التصنيع المختلفة كعمليات السباكة، وتُسمى بعيوب التصنيع.
3. عيوب تنتج في أثناء خدمة أو دورة تشغيل المنتج أو الماكينة، وتُسمى بعيوب التشغيل.

وهذه العيوب قد تكون لها صور أو أشكال كثيرة، فهي قد تكون عبارة عن شروخ سطحية أو داخلية في المادة، وقد تكون تمزقاً أو ضعفاً في الترابط الداخلي بين جزيئات المادة، ويمكن أن تكون أيضاً انعزالاً أو انفصالاً للعناصر الكيميائية للسبيكة في أثناء انجمادها من الحالة السائلة، أو غيرها من العيوب التي تؤثر على أداء وكفاءة الأنظمة والتطبيقات الصناعية المختلفة.

مجالات استخدام الاختبارات اللاإتلافية

استطاعت الاختبارات اللاإتلافية أن تشق طريقها الواسع في ميادين وتطبيقات الفحص والتدقيق في معظم المجالات الصناعية، ومنها على سبيل المثال:

1. **صناعة وتشغيل المعادن**: إذ تستخدم في فحص المنتجات الخام Raw Products Inspection مثل المسبوكات المعدنية والمشغولات بالطَرق Forging، ومنتجات الدرفلة، والمنتجات المسحوبة Extrusions كالصفائح والأنابيب وغير ذلك، من أجل ضبط وضمان جودة المنتجات، وتستخدم أيضاً في فحص العمليات الثانوية مثل التشغيل، اللحام، والمعالجة الحرارية، وفي اختبار الأدوات المعدنية وأجزاء الآلات في أثناء مراحل تصنيعها المختلفة.
2. **فحص أجزاء الماكينات والمُعدات** Inspection for In-Service Damage مثل الشروخ Cracking والتآكل Corrosion/Wear، والتلف الحراري Heat Damage.
3. **مجالات النقل المختلفة**: تستخدم هذه الاختبارات في اكتشاف أعطال الأجزاء الداخلية للمحركات التوربينية النفاثة والأنظمة الهيدروليكية وغيرها للطائرات ومركبات الفضاء قبل إطلاقها وبعد عودتها، وتستخدم أيضاً في اختبار عجلات وخطوط السكك الحديدية الخاصة بالقطارات فائقة السرعة. وتستخدم أيضاً في اختبار سلامة الهياكل الفولاذية للسفن، واكتشاف العيوب الموجودة فيها.
4. **مجال المفاعلات النووية**: إذ تستخدم في اختبار حاويات وجدران المفاعلات وأوعية الضغط وأنابيب البخار في مولدات البخار والمغلقات النووية للوقود والوصلات الملحومة في الأماكن المختلفة.
6. **الصناعات البترولية والبتروكيميائية**: تستخدم في الفحص الدوري للتأكد من سلامة الأجزاء القريبة من الوصلات اللحامية، والأجزاء المعرضة للإجهادات أو للتآكل وتحديد المكونات والمنتجات التي يتوجب إصلاحها أو رفضها.
7. **البحث العلمي**: إذ دخلت هذه الاختبارات في مجال تحديد البُنية الكيميائية للأجسام وتحديد خواصها.

فوائد استخدام الاختبارات اللاإتلافية

1. يؤدي استخدام هذه الاختبارات في الفحص الدوري للآلات ومُعدات المنشآت الصناعية إلى اكتشاف أماكن وجود الإجهادات الميكانيكية وأماكن التآكل والتصدع فيها قبل التحطم، مما يسمح بتحديد نوع الصيانة اللازمة لها، وبالتالي إطالة زمن خدمتها وخفض كلفة تشغيلها.
2. تقليل الهدر الناتج عن التلف الصناعي وتحقيق الاستخدام الأمثل للمواد، مما يؤدي إلى زيادة الإنتاج وتخفيض عملية إعادة التصنيع وخفض التكلفة النهائية للمنتج.
3. يُعد استخدام الأنواع المختلفة من الاختبارات اللاإتلافية هو الوسيلة الوحيدة التي أثبتت نجاحها في تقليل معدل وقوع الحوادث الكارثية كحوادث تحطم الطائرات والمركبات الفضائية وغيرها.
4. التأكد من مدى مطابقة المنتجات الصناعية لمعايير الأمان والجودة.
5. يؤدي الاستخدام الدوري لهذه الاختبارات إلى زيادة الإنتاج عن طريق تجنب التوقف غير المخطط له للمنشآت ومحطات الإنتاج نتيجة الأعطال المختلفة والمفاجئة.
6. خفض معدل تلوث البيئة، حيث تحد هذه الاختبارات من التسرب في المحطات النووية والكيميائية والبتروكيميائية.

أنواع الفحوصات (الاختبارات) اللاإتلافية

تتضمن الفحوصات اللاإتلافية الكشف عن عيوب معينة في المسبوكات مثل الفجوات الغازية وفجوات الانكماش، ومن أهم الفحوصات اللاإتلافية:

1. **الاختبار بالفحص البصري Visual Inspection**
2. **قياسات الأبعاد Dimension Measurements**
3. **الفحص بالدقائق المغناطيسية Magnetic Particle Test**
4. **الفحص بالسوائل النافذة Liquid Penetrant Test**
5. **الاختبارات بالأشعة السينية Radiography (X-Ray)**
6. **الفحص بالموجات فوق الصوتية Ultrasonic Test**

7-3-1 الفحص البصري Visual Inspection

يُعدَ الاختبار بطريقة الفحص البصري من أكثر الاختبارات اللاإتلافية شيوعاً لسهولته وسرعة إجرائه ورخص تكلفته، وهي طريقة مكملة لكل طرائق الاختبارات اللاإتلافية الأخرى، حيث يتم تطبيقها أولاً قبل أي طريقة اختبار أخرى في الكشف عن العديد من عيوب المسبوكات، ويلزم الأمر فحص العينات فحصاً بصرياً جيداً حتى لو تقرر إجراء فحوصات أخرى عليها، فهنالك أنواع معينة من العيوب

تكون واضحة بمجرد الملاحظة النظرية للمسبوكة، فالمسبوكات المشروخة التي توجد بها أوساخ وتغلغل معدن وإزاحات وتسرب نتيجة الصب السريع والانتفاخات أو الانفعالات وتشقق القالب وغير ذلك من العيوب الأخرى الكثيرة، التي يمكن التعرف عليها بالفحص البصري، وهذه الأنواع من العيوب تكون عادة مصحوبة بعيوب في القالب أو اللباب ومواد صناعاتهما. وعمليات صناعة اللباب وباقي العوامل التي تؤخذ بنظر الاعتبار عند عمل القالب وصب منصهر المعدن، وقد تحدث كثير من الأسباب التي تؤدي لوجود هذه العيوب بشكل متزايد ويدل ذلك على خطأ في الطرائق المتبعة في المسبك وتصحيح هذه الطرائق يصبح أمراً ضرورياً في هذه الحالة ويسهل تحقيقه إذا أمكن تحديد السبب المؤدي لوجود العيب.

2-3-7 قياسات الأبعاد Dimensional Measurements

يُعد الفحص باختبار قياسات الأبعاد من الاختبارات اللاإتلافية، ويُعد ضرورياً للمسبوكات التي تحتاج إلى دقة في الأبعاد وتُحدد له سماحات بواسطة المصمم، لتكون فائدة الفحص هنا للتأكُد من أن أبعاد المسبوكة تقع ضمن حدود السماحات المفروضة من قبل المصمم. يتضمن قياس أبعاد المسبوكة مبادئ استعمال أدوات القياس، الموضّحة في الشكل رقم (7-1)، وكيفية استخدامها لأي جزء من أجزاء المسبوكات، فمثلاً الزُهرة ذات السطح المستوي ومحددات قياس الارتفاع والعمق وجداول التركيب وأجزاء التقسيم ومحددات قياس الأقطار الخارجية والداخلية والضبعات والقوالب إلى آخره من أدوات المراجعة، بالإمكان استخدامها في حالة المسبوكات بالطريقة نفسها التي تستخدم في عمليات التركيب والفحص والقياس. ومن الضروري أن يكون هنالك اتفاق بين ورش التشغيل والمسابك (Foundries) وورشة صناعة النماذج لتحديد القياسات ومراجعة الأبعاد بطريقة سليمة واختبار المواضع المناسبة للتصميم والتنفيذ مجتمعة.

شكل رقم 7-1 أدوات قياس يدوية (قَدمة منزلقة عادية ورقمية)

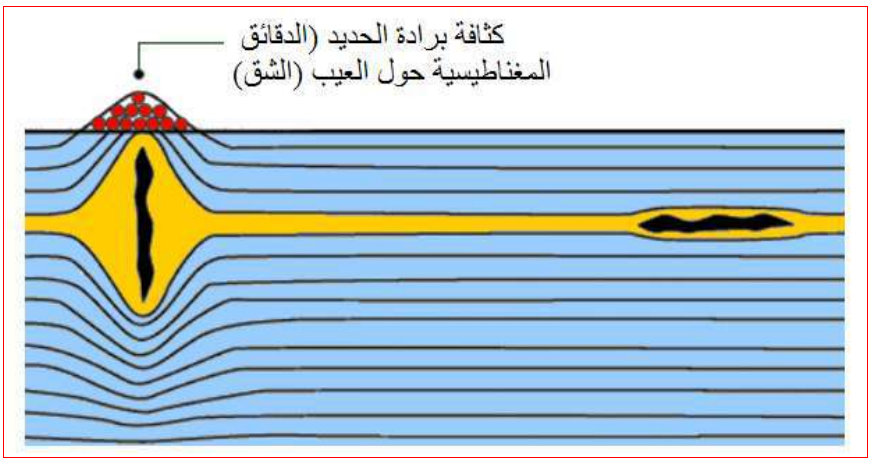
3-3-7 الفحص بالدقائق المغناطيسية Magnetic Particle Test

الفحص بالدقائق المغناطيسية من الفحوصات السريعة والبسيطة والحساسة في الوقت نفسه للمسبوكات الحديدية والمعادن الأخرى، التي بإمكانها التمغنط عند وضعها تحت مجال مغناطيسي. يستخدم هذا الفحص لكشف الشقوق (Cracks) السطحية في المسبوكات التي لا يتجاوز عمقها كحد أقصى عن (6 mm) واعتماداً على المجال المغناطيسي لتحديد موقع العيب. يتم الفحص من خلال الخطوات الآتية:

1. تنظيف سطح المسبوكة المراد فحصها.
2. تطبيق مجال مغناطيسي على سطح المسبوكة.
3. نشر دقائق برادة الحديد التي سوف تتجمع بتمركز أكثر عند القطب الشمالي والقطب الجنوبي وبخطوط هلالية الشكل وبتركيز أقل بين القطبين.
4. يتم الكشف عن الشقوق والتصدعات، إذ في حالة وجود الشق في المسبوكة فإن المنطقتين حول الشق ستكون بمثابة قطعتي مغناطيس مستقل بذاته، ولكل جزء فيها قطب شمالي وقطب جنوبي تسمى بالأقطاب الموضعية وفي منطقة الأقطاب الموضعية ستتمركز الدقائق المغناطيسية، فضلاً عن تجمعها على قطبي المغناطيس الرئيسين، وبالتالي سيكشف عن موضع الشق أو التصدع في المسبوكة، لاحظ الشكل رقم (2-7).

ملاحظة

يجب نشر الدقائق المغناطيسية بصورة عمودية على المواقع المحتملة لوجود العيوب، ولذا يجب أن يكرر الفحص بالاتجاهين لضمان نشر الدقائق المغناطيسية بشكل عمودي على السطحين المتعامدين لجسم المسبوكة.



شكل رقم 2-7 الفحص بالدقائق المغناطيسية

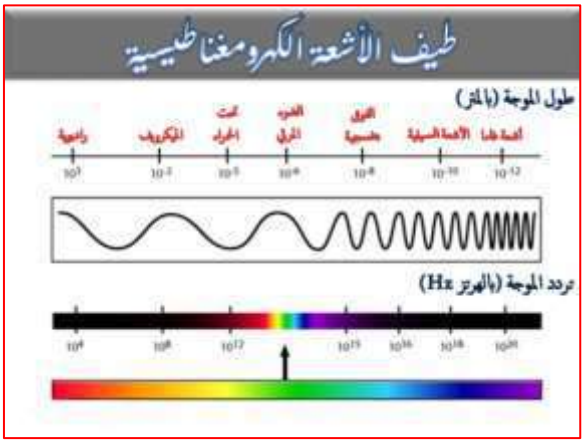
4-3-7 الفحص بالسوائل النافذة Liquid Penetrant Test

يستخدم فحص المسبوكات باستخدام السوائل النافذة للكشف عن العيوب السطحية الدقيقة بكل أشكالها التي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة. يتم الفحص من خلال رش نوع من السوائل الخاصة على سطح المسبوكات المعدنية الحديدية وغير الحديدية بعد تنظيفها بمواد خاصة، ومن ثم يضاف محلول الاختراق وأخيراً محلول الإظهار، كما هو موضّح بالشكل رقم (7-3). يكشف عن العيوب السطحية في حالة وجودها على سطح المسبوكة وبالعين المجردة فقط من خلال تغير اللون.

شكل رقم 7-3 الفحص بسوائل الإظهار النافذة

5-3-7 الفحص بالأشعة السينية Radiographic Test X-Ray

الأشعة السينية Radiography، أو كما يطلق عليها (أشعة X)، هي موجات كهرومغناطيسية قصيرة الطول، تبلغ نحو $(10^{-10}\ cm)$، وكما هو موضّح في الشكل رقم (7-4) لطيف الموجات الكهرومغناطيسية، أنه لا يفوقها في القصر إلا موجات أشعة كاما، وقصر طول هذه الموجات يتيح فرصة اختراقها للمواد الصلبة.



الشكل رقم 7-4 طيف الموجات الكهرومغناطيسية

استخدام الأشعة السينية Radiography في الكشف عن العيوب

يُعتمد في كشف العيوب الداخلية للمسبوكات المعدنية وفي الوصلات اللحامية على خاصية الأشعة السينية (أشعة X)، وقدرتها العالية على النفاذ في مختلف الأجسام الصلبة والمعدنية، إذ تنقص شدة الأشعة عادةً عند مرورها في المادة، ويضعف الإشعاع بحسب قانون معين تبعاً للتركيب الكيمياوي للمعدن المفحوص وسماكته وطاقة الإشعاع. يجرى تسجيل الشدة المتغيرة للإشعاع المار في الجسم المفحوص من السطح المقابل للسطح المفحوص بوساطة صفيحة تصوير إشعاعي كاشف، أو بواسطة منظومة بصرية إلكترونية أو بعداد إلكتروني. ويضعف الإشعاع عند مروره في المعدن الحاوي على عيوب كالفجوات الغازية أو مادة خَبثية أو شقوق أو غيرها، وعند تسجيل العيب بواسطة صفيحة التصوير الإشعاعي، فإن الإشعاع يترك على مادة الصفيحة تأثيراً كيماوياً يظهر سواداً في الصفيحة يدل على أماكن وجود العيب، وتتصف هذه الأماكن بأكبر شدة للإشعاع، وتظهر العيوب على هيئة بقع وخطوط سود على الخلفية الفاتحة للقطعة المعدنية.

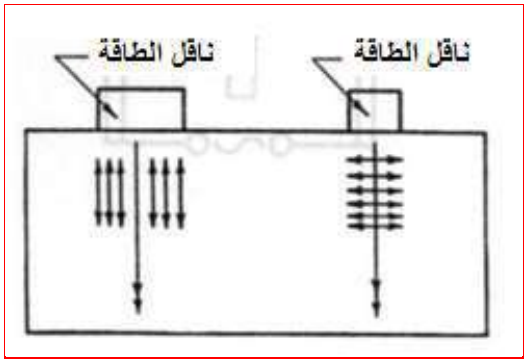
6-3-7 الفحص بالموجات فوق الصوتية Ultrasonic Test

درج القدماء على اختيار سلامة الأواني والأوعية الفخارية والخزفية وغيرها من المنتجات بالطَرق عليها، أو رنين العملات الفضية والاستماع إلى رنين الصوت، فإن كان الطنين واضحاً فذلك دليل على سلامة المنتج، وإن كان مكتوماً دلَ على وجود عيب بهيئة شق أو فجوة أو أي محتويات أخرى غير مرغوب فيها. ووسيلة الطَرق تعتمد على توليد موجات صوتية (الموجات الصوتية موجات ميكانيكية تحتاج إلى وسيط تنتقل عبره على عكس الموجات الكهرومغناطيسية مثل الضوء، التي لا تحتاج إلى وسيط بل يمكنها الانتقال في الفراغ)، ذات تردد منخفض في حدود سمع الأذن التي تتراوح ما بين (20-20000 Hz) وهي ترتد في صورة صدى الصوت عندما تصادف حائلاً أو عائقاً في طريق سريانها. وبإمكان هذه الموجات منخفضة التردد اكتشاف العيوب الكبيرة دون الدقيقة، لذلك تم تطويرها بحيث يمكن استكشاف الأصداء للعيوب الدقيقة التي قد لا تدركها الأذن فاستخدمت مطارق كهرومغناطيسية للطَرق السريع وإحداث موجات صوتية محددة التردد، ثم استكشاف الصدى مثل المستخدمة في Stethoscope أو سماعات تليفون مكبرة للصوت أو ميكروفونات لتلقي الصدى وتكبيره وإظهاره، كل ذلك في حدود الموجات الصوتية وفي حدود السمع، إلى أن جاء التطور الجذري باستخدام موجات صوتية بترددات عالية فوق حد السمع وينبع ذلك من حقيقة أن طول الموجة الصوتية يجب أن يساوي حجم العيب المُراد استشعاره. لحسن الحظ فإن معظم المعادن يمكنها نقل الاهتزازات الصوتية عالية التردد وذلك بسبب خاصية المرونة، وإذا وجد عيب ينتج عنه عدم تواصل المعدن في داخله، فإن الموجات الصوتية يصيبها التشتت أو الارتداد مسببة طنيناً صوتياً، لاحظ الشكل رقم (7-5).

الشكل رقم 7-5 جهاز الاختبار بالموجات فوق الصوتية

طبيعة الموجات فوق الصوتية

تأخذ الموجات ثلاث صور، فإما أن تكون طولية Longitudinal في اتجاه تقدمها، وأما أن تكون مستعرضة Transverse or Shear أي عمودية على اتجاه تقدمها، وكما موضّح في الشكل رقم (7-6)، وقد تكون سطحية Surface تشبه الموجات على سطح الماء، وهذه الاتجاهات تعبر عن حركة اهتزازية لجزيئات المادة التي تنتقل عبرها الموجة (اهتزازية من دون أن تنتقل من مواقعها). والمواد الصلبة التي تتساوى بُنيتها في خواصها الاتجاهية Isotropic لها قابلية نقل الموجات الطولية والمستعرضة وهي المستخدمة في الاختبارات اللاإتلافية.



الشكل رقم 7-6 الموجات الطولية والمستعرضة

4-7 الفحوصات الإتلافية Destructive Test

تتميز المواد الهندسية التي يتعامل بها الفني عند عمليات التشغيل على الماكينات، بأن لكل مادة خواصاً وصفات ومقاييس تتميز بها عن المواد الأخرى. ويجب على فني التشغيل والتشكيل للمهن الميكانيكية المعرفة بخواص المواد، لكي يمكن استخدامها استخداماً صحيحاً من ناحية مقاوماتها للأحمال والإجهادات والتفاعلات الكيميائية، كذلك الاستفادة منها في مقارنة انتظام العينات المختلفة للمادة الواحدة.

يُلاحظ أنه لا توجد قطعتان من مادة واحدة لهما نفس الخواص تماماً بمنتهى الدقة، ويعود ذلك إلى عوامل كثيرة تتعرض لها المادة في أثناء الصناعة أو نتيجة لعمليات التشكيل أو إلى عوامل الزمن أو إلى التغير في درجات الحرارة أو الرطوبة أو إلى عوامل أخرى، وأما الخاصية الأخرى للمعادن التي يمكن استخدامها بصورة كبيرة وبالطريقة المرغوبة في التطبيقات المختلفة، هي مرونتها وتمتعها بمطيلية عالية، وتؤدي هاتان الصفتان إلى القدرة على التحكم بالمعادن وتشكيلها بالطريقة المناسبة (الطَرِق أو الضغط) وتحويلها إلى أسلاك رفيعة أو إلى صفائح رقيقة أو أي شكل مطلوب في التطبيقات المختلفة.

1-4-7 خواص المواد الهندسية Engineering Materials Properties

تصنف خواص المواد الهندسية إلى مجموعة من الخواص للمواد الأولية (الخام) أو المصنعة التي تستخدم في تصنيع وإنتاج السلع والأدوات المختلفة، وكما هو موضّح في الجدول رقم (7-1).

جدول رقم 7-1 أهم خواص المواد الهندسية

الخواص	التعريف
الفيزيائية	الشكل والوزن النوعي والأبعاد ومحتوى الرطوبة.
الكيميائية	الحامضية والقاعدية والتركيب الكيميائي ومقاومة التآكل.
الفيزيوكيميائية	امتصاص الماء والانكماش والتمدد نتيجة الحرارة.
البصرية	الانكسار الضوئي وانعكاس وامتصاص الضوء واللون.
الميكانيكية	الشد والقص ومقاومة الضغط والانحناء والمرونة والصلادة والمتانة والكلال والزحف.
الحرارية	التوصيل والعزل الحراري والتمدد والحرارة النوعية.
الكهرومغناطيسية	النفاذ المغناطيسي والكهربائي.
الصوتية	الانعكاس والعزل الصوتي وامتصاص الصوت والتحويل الصوتي.
الإشعاعية	وتشتمل أشعة بيتا والأشعة السينية وأشعة كاما.

تُعد الخواص الميكانيكية للمواد من أهم العناصر التي يجب أن يستوعبها الفنيون العاملون بالمهن الميكانيكية، لأنها تتعلق بسلوك المادة في أثناء التشغيل والتشكيل على الماكينة وبصفة خاصة عند تعريضها للأحمال والقوى المؤثرة كالشد والضغط والصدم والثني والخدش في درجات الحرارة الاعتيادية أو المرتفعة، وتستخدم الخواص الميكانيكية بمختلف أنواعها كأساس للمقارنة بين المواد الهندسية المختلفة مما يساعد المصمم على اختيار المادة المناسبة للتطبيق، أو المكان الذي سوف يستخدمها في صناعته.

تتضمن الخواص الميكانيكية الرئيسة للمواد الهندسية الآتي:

1. المرونة Elasticity: هي قدرة المادة على استعادة أبعادها وشكلها الأصلي بعد زوال القوى المؤثرة.
2. اللدونة Plasticity: هي قدرة المادة على أن يكون لها تشكّل دائم، أي لا تسترجع المادة أبعادها الأصلية بعد إزالة الحمل المؤثر، فاللدونة عكس المرونة، وليست هنالك مادة مرنة تماماً أو لدنة تماماً، فبعض المواد مثل المطاط يمكن أن يأخذ تشكيلاً كبيراً، ولكنه يعود إلى أبعاده الأصلية بعد رفع الحمل المؤثر عليه، هنالك مواد لها مرونة عالية في حدود مدى معين من التحميل وبعده تصبح لدنة لدرجة ما، ومن أمثلة ذلك الفولاذ، وهنالك بعض المواد الأخرى لها لدونة عالية ولكن مرونتها قليلة مثل الرصاص.
3. المطيلية Ductility: يمكن تعريفها بأنها الخاصية التي تسمح للمادة بتغير لَدن كبير تحت الأحمال، أي قدرة المادة على السحب أو التغير بالشكل وقابليتها للاستطالة الكبيرة عند تعرضها لحمل الشد.
4. القصافة (الهشاشة) Brittleness: هي الخاصية التي تجعل المادة تنكسر عند التعرض لقوة أو إجهاد قبل حدوث أي تغير ملحوظ في الشكل، إن المطيلية هي عكس القصافة، فالمواد المطيلة لها تشكل لَدن كبير عند تعرضها لحمل الشد مثل النحاس، أما المواد القصفة فتنكسر قبل أن يطرأ عليها أي تغيير في الشكل عند التحميل مثل الزجاج وحديد الزهر.
5. الطروقية Malleability: هي قدرة المادة على أن تحدث لها تغيرات لدنة كبيرة تحت حمل الضغط، أي قدرة المادة على التشكيل بالطرق دون حدوث كسر، الطروقية خاصية تشبه المطيلية لكن التحميل في المطيلية هو الشد أما في الطروقية فهو الضغط.
6. المقاومة Strength: هي مقاومة المادة لأي حمل مؤثر، والمقاومة للشد إذا كان الحمل المؤثر حمل الشد والمقاومة للانحناء إذا كان الحمل حمل الانحناء.
7. الصلابة Stiffness: هي خاصية مقاومة المادة لأي نوع من التغير في الشكل، وتعرف المادة الصلبة بأنها تتحمل أحمال عالية مع حدوث تغير صغير نسبياً في الشكل.
8. المتانة Toughness: هي قدرة المادة على مقاومة الصدمات وامتصاص الطاقة الميكانيكية.
9. الرجوعية Resilience: هي قدرة المادة على امتصاص الطاقة المرنة التي تختفي تماماً بعد زوال الحمل المؤثر.
10. الصلادة Hardness: هي الخاصية التي تمكن المادة من الاحتفاظ بشكل سطحها سليماً متماسكاً تحت تأثير الأحمال، وتعرف على أنها قدرة المادة لمقاومة الخدش.

إن الفحوصات (الاختبارات) الإتلافية تقيّم وتحدد الخواص الميكانيكية للمواد مثل الشد، الضغط، الصلادة، الصدمة، وغيرها، ويحدث فيها تلف العينة، ولا يحافظ على سلامتها لتعرضها للكسر أو الثني أو الخدش وغيرها، وأهم هذه الاختبارات هي:

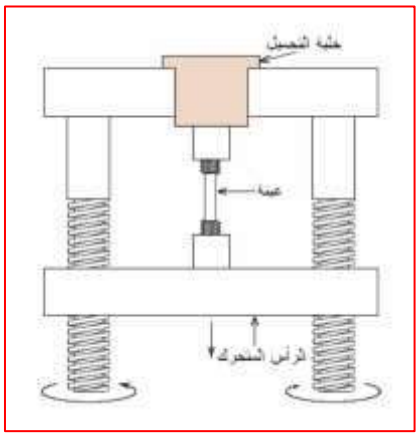
1. اختبار الشد Tension Test
2. اختبار الضغط Compression Test
3. اختبار الصلادة Hardness Test
4. اختبار الصدمة Impact Test
5. اختبار الالتواء Torsion Test

وهنالك اختبارات ميكانيكية أخرى لا يتسع المجال في هذه المرحلة الدراسية إلى تناولها، وسوف تترك دراستها بالمراحل الدراسية القادمة مثل فحص الكلال Fatigue وفحص الزحف Creep.

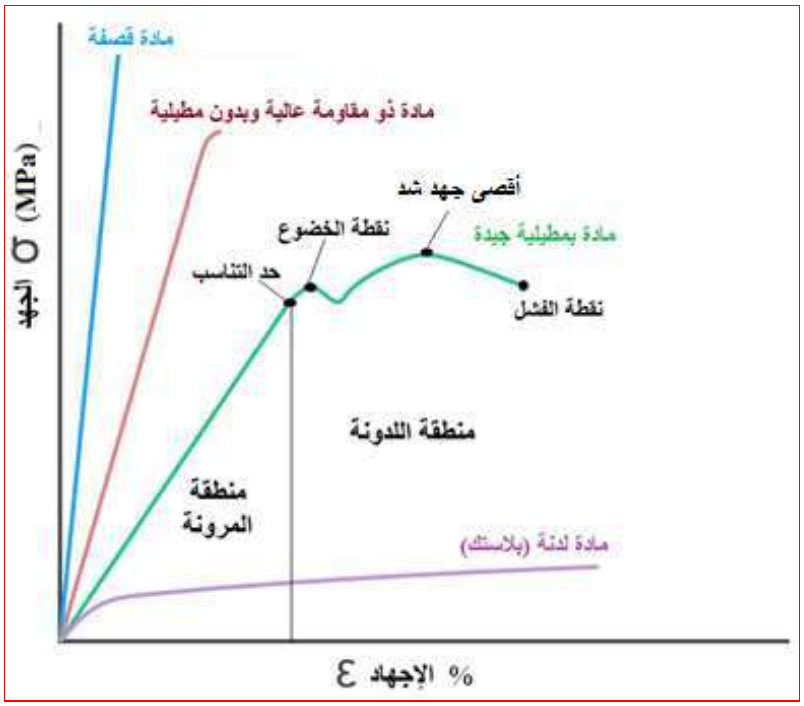
2-4-7 فحص الشد Tensile Test

هو عملية تجرى على قطعة اختبار لتعيين خواصها تحت تأثير حمل الشد المحوري في اتجاه واحد، حيث ينطبق اتجاه **الحمل على المحور الطولي للعينة**، ويكون التحميل تدريجياً، يبدأ من الصفر ويزداد حتى حدوث الكسر بالعينة، يستخدم جهاز الاختبار (Universal Machine Testing) لاختبارات عديدة كالشد والضغط والانحناء، ويتكون الجهاز من رأس ثابت خاص لموازنة الحمل ومقياس ثابت وآخر متحرك وهو المسبب للأحمال المؤثرة على العينات المعرضة للاختبار. تثبت العينة المختارة بين الرأسين بواسطة كلابات ومصدر القوة المحركة يكون في أغلب الأحيان محركاً كهربائيا، وكما هو موضّح في الشكل رقم (7-7). ويزود الجهاز بمعدات تقوم بتسجيل الجهد (Stress) المسلط والإجهاد الناتج (الانفعال) (Strain) على شكل منحني بياني يبيّن العلاقة فيما بينهما، فضلاً عن الحصول على بيانات مهمة يتم استنتاجها من خلال هذا المنحني وكما هو مبيّن في الشكل رقم (7-8)، وتتضمن البيانات الآتي:

1. معامل المرونة
2. حد التناسب
3. نقطة الخضوع
4. اللدونة
5. أقصى مقاومة شد
6. نقطة الفشل



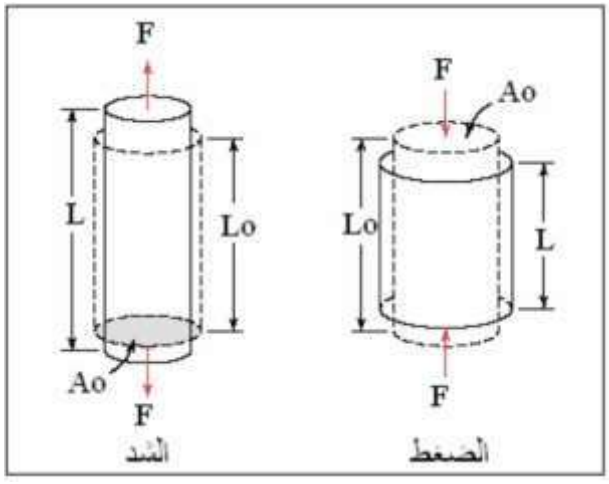
شكل رقم 7-7 مخطط لجهاز اختبار الشد



شكل رقم 7-8 منحني الجهد – الإجهاد لمواد متنوعة

الحمل (Load) والجهد (Stress):

عند تعرض الأجزاء الميكانيكية أو عناصر المنشآت إلى أحمال أو قوى خارجية، فسوف تتولد في داخلها قوى مقاومة لتلك الأحمال (F) ووحدتها هي نيوتن (N)، في حين يعرّف الجهد على أنه الحمل المسلط على مساحة مقطع الجزء (A_o) الأصلي، وهو مشابه لمفهوم الضغط ويقاس بوحدة الباسكال (Pa أو N/m^2) ويرمز له بـ (σ)، كما أن الجهود تكون أما جهد شد في حالة تحميل القطعة باتجاه السحب أو جهد ضغط في حالة تحميلها باتجاه الكبس، كما هو موضّح بالشكل رقم (7-9).



شكل رقم 7-9 الأجزاء تحت حمل الشد وحمل الضغط

يحسب الجهد (Stress) (σ) من المعادلة الآتية:

$$\sigma = \frac{F}{Ao} \quad \text{.....} \quad (7\text{-}1)$$

مثال رقم 1: تم تحميل قضيب من الألمُنيوم مربع المقطع طول ضلعه (a = 2.5 cm) بقوة مقدارها (F = 3500 N)، جد مقدار الجهد بوحدة الباسكال.

الجواب:

مساحة المقطع:

يتم تحويل وحدات الطول من سم إلى متر (2.5/100) = 0.025 m

$$A = a^2 = 0.025^2 = 0.000625\ m^2$$

$$\sigma = \frac{3500}{0.000625} = 5600000\ Pa$$

ولكون وحدة الباسكال وحدة صغيرة جداً، يتم التعامل عادةً بوحدة الميكاباسكال التي تساوي مليون باسكال، عليه يصبح الجهد مساوياً إلى:

$$\sigma = \frac{5600000}{1000000} = 5.6\ MPa$$

يتم حساب الحد الآخر من منحي فحص الشد وهو مقدار الإجهاد (الانفعال) (ε) وذلك بحساب التغير بطول العينة نسبة إلى طولها الأصلي عند تحميلها بحمل الشد وحسب المعادلة الآتية:

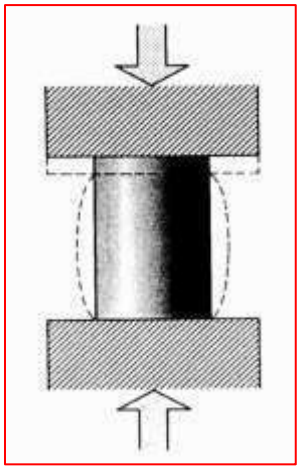
$$\varepsilon = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \quad \text{.....} \quad (7\text{-}2)$$

إن المعادلة رقم (7-2) تمثل نسبة التشوه اللدن، الذي يتعرض له المعدن أو السبيكة في اختبار الشد بعد نقطة الخضوع.

3-4-7 فحص الضغط Compression Test

يُعد اختبار الضغط Compression Test حالة عكسية لاختبار الشد بالنسبة لاتجاه الحمل المؤثر، هذا ما يوضّحه الشكل رقم (7-10)، كما يمثل اختبار الشد الأساس لقبول المواد المعدنية، فمن نتائج هذا الاختبار يمكن تحديد الخواص الميكانيكية للمعدن، بينما يمثل اختبار الضغط الأساس لقبول المواد غير المعدنية مثل الخرسانة والأحجار والأخشاب، إذ إن هذه المواد ضعيفة جداً من ناحية الشد، وهذا لا يعني أن اختبار الضغط لا يجرى للمعادن، ولكن يفضل عليه اختبار الشد إذ إن العوامل الآتية تجعل اختبار الضغط غير صالح لإعطاء نتائج دقيقة من استخدامه كاختبار قبول للمواد أو كاختبار معملي يعتمد على نتائجه:

1. صعوبة التأثير بحمل الضغط تأثيراً محورياً حقيقياً على العينة.
2. حالة عدم الاتزان النسبية للتحميل بالضغط بالمقارنة بالتحميل بالشد.
3. الاحتكاك بين رأس الماكينة وبين نهايتي العينة، وهذا الاحتكاك يغير بنتائج الاختبار تغييراً ملحوظاً عن مثيلاتها لو أجري اختبار الضغط من دون وجود الاحتكاك.
4. الحجم النسبي الكبير للمقطع المستعرض لعينة الضغط المستخدم للحصول على درجة مناسبة من الاتزان للعينة في أثناء التحميل، ويتسبب ذلك في ضرورة استخدام جهاز الاختبار ذي سعة عالية نسبياً (اقصى حمل يصل له جهاز الاختبار) أو اللجوء إلى استخدام عينات صغيرة بحيث تجعل من الصعوبة الحصول على الدقة المناسبة لنتائج الاختبار.



شكل رقم 7-10 شكل العينة تحت فحص الضغط

مثال رقم 2: أجري اختبار ضغط على قطعة من النيكل مستطيلة المقطع عرضها (b = 3 cm) بتحميلها بقوة مقدارها (15 kN)، إذا كان مقدار الضغط المتولد على القطعة يساوي (12.5 MPa)، فما هو طول مقطع العينة (a)؟

الجواب:

مساحة مقطع العينة الأصلي هو: $A_0 = a \times b$

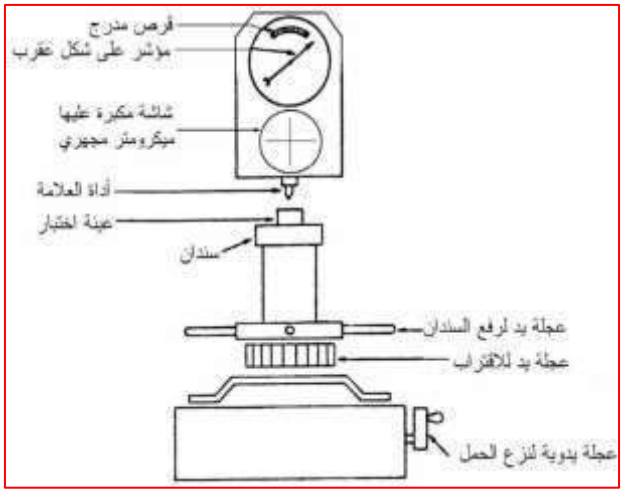
$$\boldsymbol{\sigma} = \frac{F}{A_0} = \frac{15 \times 1000}{A_0} = 12.5 \times 1000000$$

$$A_0 = \frac{15000}{12500000} = 0.0012\ m^2$$

$$a = \frac{A_0}{b} = \frac{0.0012}{0.03} = 0.04\ m = 4\ cm$$

4-4-7 فحص الصلادة Hardness Test

هي عملية تجرى على قطعة اختبار لتعيين صلادة المادة، التي هي الخاصية التي تمكن المادة من الاحتفاظ بشكل سطحها متماسكاً تحت تأثير الأحمال، وكما هو موضّح في الشكل رقم (7-11)، وهنالك أجهزة متعددة لقياس الصلادة تتباين في مجال استعمالاتها فمنها من يستعمل للقطع السميكة أو للقطع الرقيقة أو كليهما معاً ومنها من يستعمل في موقع العمل ويمتاز بصغر حجمه وإمكانية نقله بسهولة من موقع إلى آخر.



شكل 7-11 جهاز اختبار الصلادة

تتضمن الأجهزة المستخدمة في فحص الصلادة:

1. **جهاز روكويل**
2. **جهاز برينيل**
3. **جهاز فيكرز**
4. **جهاز الكرة المرتدة**

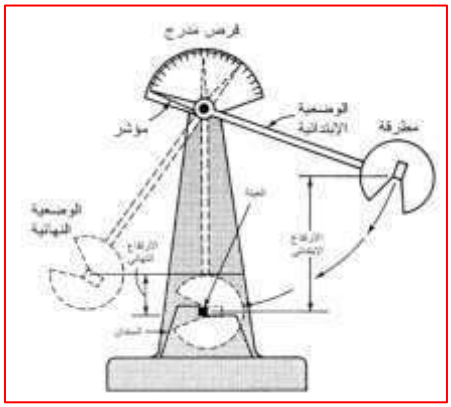
بينما تكون الصلادة للمواد الهندسية على عدة أنواع وهي كالآتي:

1. **صلادة العلامة** Indentation Hardness وهي خاصية مقاومة المعدن لحدوث علامة به نتيجة تحميله بحمل ستاتيكي أو ديناميكياً.
2. **صلادة الارتداد** Rebound Hardness خاصية قدرة المعدن على الرجوعية، أي امتصاص الطاقة وإعادتها ثانية بعد إزالة الأحمال المؤثرة مسببة ارتداداً لها تزداد قيمته كلما كبرت صلادة المعدن.
3. **صلادة الخدش** Scratch Hardness خاصية مقاومة سطح المعدن للخدش.
4. **صلادة البليان** Wear Hardness خاصية مقاومة سطح المعدن للبري (البليان) نتيجة للاحتكاك.
5. **صلادة التشغيل بالماكينات** Machinability Hardness خاصية مقاومة المعدن للتشغيل بالماكينات مثل عملية القطع والثقب والقص.

5-4-7 فحص الصدمة Impact Test

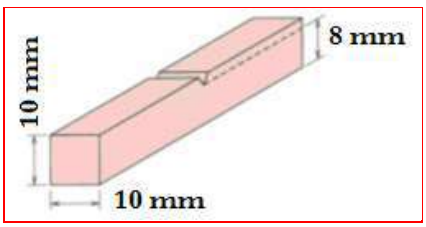
هو عملية تجرى على قطعة اختبار لتعيين خاصية المتانة تحت تأثير قوة صدمة بواسطة كتلة كبيرة نسبياً متحركة، ويكون التحميل فجائياً أي يستغرق فترة قصيرة جداً من الزمن. وتُعد المتانة الخاصية التي تعبر عن الشغل المبذول المسبب لتصدع العينة، وتعتمد أساساً على المقاومة والمطيلية. كما إن اختبار الصدمة يبين مدى مقاومة المادة للانهيار عند تعرضها لقوى الصدمة تحت ظروف التشغيل، أي أن معدل امتصاص الطاقة عند الصدمة يؤثر على سلوك المواد وبالتالي على جودتها.

بصفة عامة جهاز اختبار الصدمة عبـارة عن ذراع من الفولاذ مثبت بطرفه كتلة تسمى بالمطرقة، الذراع يتأرجح حول مركز فيرفع الذراع إلى ارتفاع ما، ثم يطلق الذراع فيسقط تحت تأثير الجاذبية فيصدع العينة، التي تكون مثبتة في أسفل الجهاز ويسمى السندان، كما أنه يوجد حول مركز الدوران قـرص مدرج عليـه مـؤشـر لقـراءة الطاقة المبذولة لـصدع العينة، والشكل رقم (7-12) يبيّن شكل جهاز اختبار الصدمة. أما العينات المستخدمة في الاختبار فهي عينات قياسية وهي بصفة عامة على شكل متوازي أضلاع عليه حز في أحد أسطحه يسمح بتسهيل عملية الكسر.



شكل رقم 7-12 مخطط لجهاز اختبار الصدمة

أما العينات المستخدمة في فحص الصدمة لمعرفة متانة المادة قيد الفحص فهي عبارة عن عينات قياسية، ويكون شكلها غالباً على شكل متوازي مستطيلات عليه حز في أحد أسطحه، وهذا الحز يسمح بتسهيل عملية فشل العينة (الكسر)، كما هو مبيّن في الشكل رقم (7-13). هنالك عدة أنواع من فحص الصدمة أهمها اختبار شاربي Charpy واختبار آيزود Izod .

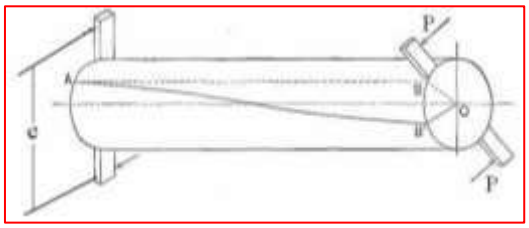


شكل رقم 7-13 عينة فحص الصدمة لاختبار شاربي

6-4-7 فحص الالتواء Torsion Test

يحدث الالتواء إذا تعرض المقطع المستعرض (غالباً ما يكون عمود دائري المقطع) إلى عزم الالتواء M_t (وهو عزم يقع في نفس مستوى المقطع)، أو إذا تعرض إلى قوتين متوازيتين ومتعاكستين في الاتجاه ومتساويتين في المقدار P وتبعد إحداهما عن الأخرى بمسافة e بحيث تقع كل من القوتين في نفس مستوى المقطع المستعرض، وبذلك تسببان عزم التواء على المقطع، كما هو موضّح في الشكل رقم (7-14) ومقداره حسب العلاقة الآتية:

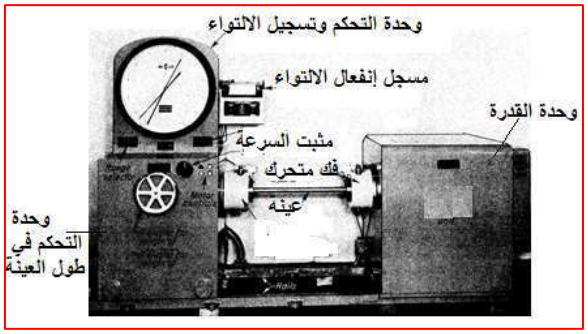
$$M_t = P \times e \quad \text{.....} \quad (7\text{-}3)$$



الشكل رقم 7-14 مخطط لإيجاد عزم الالتواء

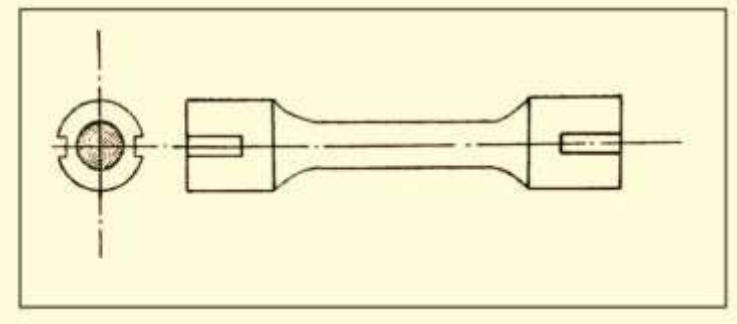
ويحدد الالتواء في أجزاء المُعدات والماكينات المختلفة مثل أعمدة إدارة محركات المركبات كالسيارات والشاحنات والمحركات الكهربائية Motor Drive Shaft وعمود المروحة للطائرات Airplane Propellers، ولا تنص المواصفات القياسية على إجراء اختبار الالتواء كاختبار قبول للمعادن إلا في حالات محددة خاصة، ولكنه اختبار هام يجرى معملياً لبيان الخواص الميكانيكية للمواد، إذ إن الالتواء حالة قص خالصة Pure Shear.

يجرى اختبار الالتواء على جهاز خاص ذي فكين تركب بينهما عينة الاختبار، ويتحرك أحد هذين الفكين دائرياً محدثاً عزم التواء بالعينة، أما الفك الآخر فيتصل بثقل بندولي يعمل على موازنة عزم الالتواء المذكور، وقد تستخدم أي طريقة أخرى لعمل تلك الموازنة عن طريق الفك الآخر، ويوجد بالجهاز مقياس مدرج لبيان عزم الالتواء المؤثر ومقياس لبيان زاوية الالتواء المصاحبة لهذا العزم، كما هو موضّح في الشكل رقم (7-15).



الشكل رقم 7-15 جهاز فحص الالتواء

لا توجد مواصفات قياسية لشكل وأبعاد عينة فحص الالتواء، ولكنها غالباً ما تكون دائرية المقطع مع ملاحظة أن يكون قطر مقطع جسم عينة الاختبار أقل من قطر نهايتي العينة اللتين تركبان في ماكينة الاختبار تفادياً لحدوث الكسر عند إحدى نهايتي العينة، حيث يلزم لصحة نتائج الاختبار أن يكون الكسر بجسم العينة المعرضة للاختبار، ويلاحظ أيضاً أن يكون هناك تجاويف بكل من النهايتين حتى يمكن تركيبها في ماكينة الاختبار لترتكز عليها العينة كما في شكل رقم (7-16).



شكل رقم 7-16 عينة اختبار الالتواء

اسئلة الفصل السابع

س1) عرّف ما يأتي:

1. السيطرة النوعية 2. فحص المسبوكات 3. المرونة 4. اللدونة
5. المقاومة 6. الصلابة 7. المتانة 8. الرجوعية 9. الصلادة

س2) اذكر أهمية السيطرة النوعية.

س3) ما الإجراءات المتخذة في السيطرة النوعية؟

س4) ما أنواع العيوب المكُتشفة عن طريق الاختبارات اللاتلافية؟ عددها.

س5) اذكر فوائد استخدام الاختبارات اللاإتلافية .

س6) ما العوامل التي تجعل اختبار الضغط غير صالح لإعطاء نتائج دقيقة؟ اذكرها.

س7) ما مميزات وعيوب الاختبارات بطريقة الدقائق المغناطيسية؟ اذكرها.

س8) اذكر فوائد ومجالات استخدام الاختبارات الاتلافية.

س9) استخدم فحص الشد لفحص عينة طولها الأصلي (50 mm) ومساحة مقطعها ($200\ mm^2$) اصبح طولها يساوي (60 mm) تحت حمل مقداره (150 kN)، احسب مقدار الجهد والإجهاد للعينة تحت ظروف هذا الحمل. ($\sigma = 750\ MPa\ ,\ \varepsilon = 0.2$) /ج

س10) عدد الخواص الميكانيكية الرئيسة للمواد الهندسية.

س11) علل ما يأتي:

1. يُعد الاختبار بطريقة الفحص البصري من أكثر الاختبارات اللاإتلافية شيوعاً.
2. تُعد الخواص الميكانيكية للمواد من أهم العناصر التي يجب أن يستوعبها الفنيون.
3. يجب أن يكرر الفحص بالدقائق المغناطيسية بالاتجاهين.
4. استخدام الأشعة السينية X-Ray في الفحوصات اللاإتلافية للمسبوكات.

س12) املأ الفراغات الآتية بما يناسبها:

1. العيوب الناشئة عن عمليات الإنتاج الأولي للمادة الخام، تُسمى بالعيوب .....
2. يُعدَ الاختبار بطريقة الفحص البصري من أكثر الاختبارات اللاإتلافية شيوعاً لـ ..... و..... إجرائه و..... تكلفته.
3. يجب نشر الدقائق المغناطيسية بصورة عمودية على المواقع ..... لوجود العيوب.
4. يستخدم فحص المسبوكات باستخدام السوائل النافذة للكشف عن العيوب السطحية ..... بأشكالها كافة التي لا يمكن رؤيتها بالعين .....
5. إن الفحوصات الإتلافية تقيم وتحدد الخواص ..... للمواد مثل .....، .....، ....., ويحدث فيها تلف العينة ولا يحافظ على سلامتها.
6. يزود جهاز فحص الشد بمعدات تقوم بتسجيل ..... المسلط و..... الناتج على شكل منحني بياني يبين العلاقة فيما بينهما.
7. هنالك عدة أنواع من فحص الصدمة أهمها اختبار ..... واختبار .....
8. الأشعة السينية Radiography أو كما يطلق عليها (أشعة X)، هي موجات ..... قصيرة الطول تبلغ نحو (10^{-10}cm).
9. تأخذ الموجات فوق الصوتية ثلاث صور، فأما أن تكون..... في اتجاه تقدمها، وأما أن تكون ..... أي عمودية على اتجاه تقدمها، أوقد تكون ..... تشبه الموجات على سطح الماء.

الفصل الثامن

الصحة والسلامة وحماية البيئة

Health, Safety & Environmental Protection

الأهداف

الهدف العام:

سيتمكن الطالب في هذا الفصل من معرفة موضوع الصحة والسلامة المهنية للأشخاص العاملين، والمخاطر المهنية وكيفية الوقاية والعلاج، فضلاً عن موضوع التلوث البيئي بسبب التصنيع بالسباكة وكيفية تقليله إلى اقصى حدٍ لأهمية الموضوع، وكذلك التشريعات النافذة لمنع أسباب حدوث التلوث البيئي.

الأهداف الخاصة: بعد الانتهاء من دراسة الفصل الثامن سوف يتمكن الطالب من معرفة وفهم الآتي:

- أهداف الصحة والسلامة المهنية.
- أهمية الصحة والسلامة المهنية.
- طبيعة التلوث.
- الانبعاثات الهوائية.
- الفضلات الصلبة.
- المياه المستعملة.
- الضوضاء.
- التشريعات والقوانين التي تخص حماية العاملين والحفاظ على البيئة.

الصحة والسلامة وحماية البيئة

Health, Safety & Environmental Protection

1-8 الصحة والسلامة المهنية Occupational Health & Safety

يُقصد بالصحة والسلامة المهنية تقديم خدمات وقائية واحتياطات كفيلة بحماية ووقاية العاملين بالمصانع والمنشآت من مخاطر العمل، التي تشمل حوادث وإصابات العمل والأمراض المهنية، كما تهدف إلى حماية عناصر الإنتاج الأخرى كالآلات والمُعدات والمواد الأولية والمواد المصنعّة والمباني والحفاظ على البيئة من التلوث، وكذلك المحافظة على إدامة صحة الفرد جسمياً وعقلياً واجتماعياً داخل موقع عمله، وذلك بإتباع الأسس الصحية والوقائية اللازمة والكافية لمنع تعرض صحته للخطر بسبب ظروف العمل، وسواء أكان هذا الخطر مرضياً نتيجة التعرض للمسببات المرضية داخل المعمل أم ناتجاً عن حدوث إصابات في أثناء العمل.

1-1-8 أهداف الصحة والسلامة المهنية

ينقسم المختصون في تفسير معنى وأهداف الصحة والسلامة المهنية إلى ثلاثة أقسام، فيعرّفها البعض بأنها (**علم قائم بذاته**)، بينما يرى المختصون في الصحة المهنية أنها (**جزء من طب المجتمع Community Medicine**)، وهنالك فريق ثالث يعدها (**أنشطة ومهارات وفعّاليات فنية مختلفة**) ذات اتصال وثيق بين علوم مختلفة، تهدف جميعاً إلى حماية العاملين وكف الاذى عنهم، بدنياً كان أو عقلياً أو نفسياً، من خلال توفير مظلّة حماية دائمة تؤمن شروط العمل وظروفه واستقراره واستمراره بعيداً عن كل العوامل المؤثرة سلباً في دورته ومراحلها المتعاقبة ومساراتها المتعددة. كما يعرّفها آخرون بأنها تحوّط مستمر واهتمام دائم ببيئة العمل ونظافتها وبصيانة المُعدات وعزل مصادر التلوث الكيميائية والفيزيائية عن محيط العمل، من أجل التخلص من الآثار المتراكمة لبعض الملوثات البيئية مثل الحرارة والإشعاعات والضجيج والاهتزازات.

مما تقدم يتضح أنها تهدف إلى حماية القوى البشرية، والآلات والمعدات والمواد الأولية، فمن حيث محافظتها على القوى البشرية فأنها تهدف إلى إيجاد الطرائق والسبل الكفيلة بأداء العامل لعمله بحيث لا تؤثر فيه المكائن والآلات والعُدد والمحيط وتهيئة أجواء عمل خالية من الغازات أو الأبخرة أو الغبار الذي قد يسبب إصابة العامل بأمراض مهنية عند بقائه فترة طويلة في تلك الظروف الملوثة.

أما من حيث المحافظة على الآلات والمُعدات فإن ذلك يتحقق من خلال التفتيش الدوري على جميع مرافق العمل الصناعية، وإجراء الصيانة المبرمجة على مدار السنة وتبديل الأجزاء التالفة بأخرى صالحة حتى لا تكون سبباً في حصول الحوادث.

كذلك وضع التعليمات الخاصة بالتشغيل السليم للمكائن قبل بداية العمل وخلال فترة الإنتاج اليومي وبعد انتهاء العمل حتى تحتفظ هذه المكائن دائماً بطاقتها الانتاجية لفترة أطول، إما من حيث المحافظة على المواد الأولية والمصنعة فيُقصد به الآتي:

- حفظ هذه المواد بأماكن ملائمة تتوفر فيها شروط الخزن السليم لكل مادة وحسب مواصفاتها وتركيبها.
- وضع التعليمات الخاصة بطريقة تداول ونقل هذه المواد حتى لا تشكل خطراً على الإنسان خلال استعمالها في الصناعة.
- تغليف المواد المنتجة بشكل يحفظها من مخاطر التلف، وبالتالي التأثير على الانسان والمحيط مثل المواد المُشعة والمواد القابلة للاشتعال والانفجار والمواد السامة.

2-1-8 أهمية الصحة والسلامة المهنية Importance of Health and Safety

1- تساعد بصورة مباشرة على تحسين ظروف العمل التي تشمل ما يأتي:

أ- مكان العمل مثل (البناية، الأرضية، السقوف، الجدران، السلالم، المخازن، الكراجات) في المعمل والعيادات الطبية ومراكز الإسعاف والمطعم، ودورات المياه.

ب- جو العمل الذي يقصد به الوسط الذي يؤدي فيه العمال عملهم مثل التهوية، الإضاءة، الصوت، الضوضاء، الإشعاعات، التربة، والأبخرة الضارة.

ج- الآلات والمُعدات وطريقة حمايتها لكي لا تكون سبباً لإصابة العامل.

د- مكافحة الحرائق ويقصد بها معرفة كافة مصادر النار وكيفية مكافحتها وتهيئة مُعدات الاطفاء وفحصها وجعلها دائماً في حالة صالحة للاستعمال وفي أي وقت.

2- تساعد على دراسة الأفراد ومعرفة ما يسمى بالعوامل الشخصية والمعنوية لغرض وضع الشخص المناسب في المكان المناسب.

3- تنمي قابلية اللجان وقدراتها والأشخاص المشرفين على تطبيق نظم وتعليمات السلامة لبث الاطمئنان في نفوس العاملين.

4- تساعد على تحسين وزيادة الإنتاج، من خلال تدريب وتأهيل العمال على الطريقة السليمة في اداء العمل.

5- تحث على ضرورة استخدام مُعدات الوقاية والسلامة الشخصية أثناء العمل وعدم الاستهانة بأهميتها، لاحظ الشكل رقم (8-1).

6- تعمل على إصدار البوسترات والملصقات بشكل دوري ومواكبة التطورات التي تطرأ على بيئة العمل، إذ تُعد هذه المنشورات كما هو مبيّن في الشكل رقم (8-2) من الأمور الضرورية والمهمة لتثقيف العاملين ورفع الحس التوعوي لديهم، وبالتالي الحد من الإصابات في بيئة العمل.

شكل رقم 8-1 مُعدات الوقاية والسلامة الشخصية

شكل رقم 8-2 صور البوسترات والملصقات

3-1-8 أهمية الصحة والسلامة المهنية للعاملين في مجال السباكة وكيفية الوقاية والعلاج

تنتج المسابك (Foundries) مسبوكات معدنية حديدية وغير حديدية. تتألف المسبوكات الحديدية من الحديد والفولاذ، في حين تضم المسبوكات غير الحديدية في الغالب الألمُنيوم والنحاس والخارصين والرصاص والقصدير والنيكل والمغنسيوم والتيتانيوم، ويتم إنتاج المسبوكات بصهر المعادن الحديدية أو غير الحديدية وصبها. إن الكثير من المسابك تقوم بسباكة كلا النوعين، وتشتمل الخطوات المعتادة في السباكة على العمليات الرئيسة الآتية: صهر ومعالجة المعدن في ورشة الصهر، تجهيز القوالب واللباب في ورشة المقالبة، صب المعدن المنصهر في القالب، التبريد لإضفاء الصلابة، إخراج المسبوكة من القالب في ورشة السباكة، ثم تشطيب المسبوكة الخام في ورشة التشطيب.

تتطلب العمليات السابقة اتخاذ تدابير الصحة والسلامة المهنية في أثناء إنشاء وتشغيل وصيانة وإنهاء نشاط منشآت المسابك، لتجنب العاملين في هذا المجال سباكة المخاطر المهنية التي يمكن التعرض لها، وأدناه أهم هذه المخاطر واحتياطات السلامة الواجب إتباعها والأسس العلمية التي يجب مراعاتها لضمان سلامة وصحة العاملين في هذا المجال:

1. الأخطار الجسدية
2. التعرض للإشعاع
3. أخطار الجهاز التنفسي
4. الضوضاء
5. الأخطار الكهربائية
6. أخطار الدفن
7. أخطار الانفجارات والحرائق

1. **الأخطار الجسدية**: قد ترجع الأخطار الجسدية في أعمال المسابك إلى مناولة خامات أو منتجات ضخمة أو ثقيلة أو ساخنة، أو تلك الحوادث ذات الصلة بالنقل الميكانيكي الثقيل (القطارات والشاحنات والرافعات الشوكية)، أو الإصابات الناجمة عن أنشطة الطحن والتقطيع (التعرض لمواد الخردة التي تلفظها الآلات)، والإصابات الناجمة عن السقوط من مكان مرتفع (المنصات العالية والسلالم).

أ- رفع أو تحريك أحمال ثقيلة: يمثل رفع وتحريك الأحمال الثقيلة باستخدام منصات هيدروليكية أو روافع خطراً كبيراً على السلامة المهنية في المسابك، **ومن الإجراءات التي يوصى بها لمنع أو الحد من احتمال إصابة العمال بها ما يأتي:**

- وضع لافتات واضحة في ممرات النقل وأماكن العمل.
- التصميم والتخطيط الملائم للمنشآت لتفادي تقاطع مسارات الأنشطة المختلفة وتدفق العمليات.
- تطبيق إجراءات محددة لمناولة ورفع الأحمال، ومن بينها وصف الحمل المراد رفعه (أبعاده ووزنه وموضع مركز الثقل).
- تدريب العاملين على التعامل مع آلات الرفع وقيادة مُعدات النقل الميكانيكي.
- مراعاة عدم مرور نطاق تشغيل مُعدات المناولة الثابتة (مثل الروافع والمنصات العالية) فوق أماكن العمل والتجمع.
- الحرص على نقل السوائل الساخنة وتحصينها، وكذلك أجزاء المعادن الصلبة.
- ضرورة إبقاء مناولة الخامات والمنتجات محصورة داخل مناطق محظورة تحت المراقبة، مع الانتباه بوجه خاص إلى قرب القابلوات والمُعدات الكهربائية.
- ضرورة إجراء الصيانة الدورية والإصلاح لمُعدات الرفع والنقل والمعدات الكهربائية.

ب- مناولة المنتجات: تشتمل توصيات الوقاية والحد من الإصابات ذات الصلة بأنشطة المناولة والقطع، واستخدام الخردة على ما يأتي:

- وضع الآلات والمُعدات على مسافة آمنة من مناطق العمل الأخرى، وضرورة توفير أماكن عمل خاصة ومنفصلة لمنع الحوادث الناجمة عن تكديس الرمال أو استخدام المطاحن.
- إجراء تفتيش دوري وإصلاح الآلات والمُعدات، وخاصةً الواقيات وأدوات أو مُعدات السلامة.
- توفير سياج بامتداد حزام النقل له بوابات محكمة لا تفتح إلا عندما تكون الآلة متوقفة عن العمل.
- تدريب العاملين على حسن استخدام الآلات أو المُعدات، واستخدام أدوات الحماية الشخصية.

ج- **انبعاث الحرارة وتطاير السوائل الساخنة**: تُعد الحرارة الشديدة والتعرض المباشر للأشعة تحت الحمراء من الأخطار المشتركة في المسابك، ويمكن أن تتسبب الحرارة الشديدة في حدوث الإجهاد والجفاف، كما يشكل التعرض المباشر للأشعة تحت الحمراء خطراً على البصر، وقد يؤدي التلامس مع المواد الساخنة أو المياه الساخنة إلى حروق شديدة، **وتشتمل الإجراءات التي يوصى بها للوقاية والحد من التعرض للحرارة والسوائل أو المواد الساخنة على ما يأتي:**

- العزل الحراري للأسطح التي يتوقع عندها حدوث تلامس مع مُعدات ساخنة أو تطاير لمواد ساخنة (مثل أفران الدست والأفران الكهربائية وأفران الحث ومغارف الصهر والصب).
- فرض مناطق أمان عازلة لفصل المناطق التي تتم بها مناولة المواد الساخنة أو تخزينها مؤقتاً.
- استخدام أدوات الحماية الشخصية الملائمة (مثل القفازات، الأحذية المعزولة، النظارات الواقية للحماية من الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية، الملابس الواقية للحماية من الحرارة).
- تقليل ساعات العمل بالأماكن التي ترتفع بها درجة الحرارة.
- توفير فترات راحة منتظمة من العمل ومياه شرب للعاملين بالأماكن الحارة.
- تركيب تهوية باردة للحد من الارتفاع الشديد في درجة الحرارة.

2. **التعرض للإشعاع**: قد يتعرض العمال في ورش السباكة لأشعة كاما وما يتصل بها من أخطار التعرض للإشعاعات المؤينة، **ويمكن استخدام الأساليب الآتية للحد من خطر تعرض العمال لها:**

- يجب إجراء الفحص بأشعة كاما داخل مكان محكم محظور، وينبغي عدم القيام بأي أنشطة أخرى داخل منطقة الاختبار.
- يجب فحص المواد الخردة الواردة لاكتشاف أي نشاط إشعاعي قبل استخدامها في تغذية المسبك.
- إذا كانت منطقة الاختبار قريبة من الحدود الخارجية للمصنع، فينبغي النظر في استخدام الموجات فوق الصوتية كبديل لأسلوب كشف أشعة كاما.
- يجب إجراء صيانة وإصلاحات دورية منتظمة لمُعدات الوقاية، بما في ذلك الدروع الواقية.

3. التعرض لأخطار الجهاز التنفسي

أ- **مواد العزل**: يشيع استخدام مواد العزل في المسابك، وقد يؤدي التعامل مع هذه المواد في أثناء التركيب أو الصيانة إلى تطاير أنسجة تشكل خطراً على الصحة المهنية، وقد يؤدي استعمال الأسبستوس (الذي مازال يشيع استخدامه بالرغم من حضره دولياً) وغيره من الأنسجة المعدنية المستخدمة على نطاق واسع في المصانع القديمة إلى تعرض البشر لخطر استنشاق مواد مسببة للسرطان. ومن أجل الحد من هذه المخاطر ينبغي تطبيق ممارسات عمل ومواد ملائمة.

ب- الغبار والغازات: يحتوي الغبار المتطاير بالمسابك على حديد وأتربة معدنية من ورش الصهر والصب والتشطيب، وعلى أتربة خشبية ورملية تتواجد في ورشة المقالبة، كما يتعرض العمال لأوكسيد الحديد وغبار السليكا، الذي قد يكون ملوثاً بمعادن ثقيلة مثل الكروم والنيكل والرصاص والمنغنيز، في حين يتولد الغبار في ورش الصهر والصب عن استعمال الحرارة الشديدة، ويشكل صغر حجم الجزيئات واحتمال وجود أبخرة معدنية خطراً مهنياً شديداً من جراء الاستنشاق، أما في ورشة المقالبة فيتعرض العمال للغبار الرملي الذي قد يحتوي على معادن ثقيلة، وللأتربة الخشبية التي قد تكون لها خواص مسرطنة، وخاصة في حالة استخدام أخشاب صلدة قاسية، **ومن بين ما يوصى به لمنع التعرض للغازات والغبار ما يأتي:**

- ❖ يجب فصل مصادر الغبار والغازات وعزلها.
- ❖ تصميم تهوية للمنشأة من أجل تعظيم دوران الهواء، ويجب تنقية الهواء الخارج قبل إطلاقه للجو.
- ❖ تركيب تهوية للعادم عند النقاط الهامة التي ينبعث منها الغبار والغاز، وبالأخص ورشة الصهر.
- ❖ استخدام مُعدات تعمل آلياً، وخاصة في عملية فرش أرضية الفرن بالرمال.
- ❖ توفير أماكن تتيح فصل ملابس العمل عن الملابس الشخصية، وتتيح الاستحمام والاغتسال بعد انتهاء العمل وقبل الأكل.
- ❖ توفير قاعات طعام منفصلة تتيح الاغتسال قبل الأكل.
- ❖ تطبيق سياسة الفحوص الطبية الشخصية دورياً.
- ❖ استخدام التقنيات اللازمة للحد من الأخطار على الجهاز التنفسي، عندما يكون التعرض لها أمراً لا يمكن اجتنابه بوسائل أخرى، مثل الأعمال اللازمة لصنع قوالب الرمال والأعمال اليدوية مثل الطحن أو استخدام مُعدات غير مغلفة، وفي أثناء أعمال الصيانة والإصلاح، **ومما يوصى به لحماية الجهاز التنفسي ما يأتي:**

- استخدام كمامات التنفس عند التعرض لغبار شديد (مثل فرش أرضية الفرن بالرمال).
- بالنسبة للغبار والغازات الخفيفة والمعدنية يجب استخدام أجهزة تنفس تزود العامل بالهواء النقي ويمكن بدلاً من ذلك استخدام أقنعة غاز كاملة (أو خوذة مضغوطة الهواء) مزودة بتهوية كهربائية.
- بالنسبة للتعرض لأول أوكسيد الكربون، يجب تركيب أجهزة رصد لتنبيه غرف التحكم والعاملين، وفي حالة التدخل الاضطراري في أماكن يرتفع بها مستوى أول أوكسيد الكربون يجب تزويد العمال بأجهزة رصد محمولة وأجهزة تنفس مزودة بالهواء النقي.

4- **الضوضاء**: قد تتولد الضوضاء عن عمليات مناولة المواد الخام والمنتجات (مثل المعادن المستعملة والصفائح والقضبان)، وضغط الرمال، وتصنيع النماذج الخشبية، وفرش أرضية الأفران بالرمال.

5- **الأخطار الكهربائية**: قد يتعرض العمال لأخطار كهربائية نتيجة لوجود مُعدات كهربائية تعمل بفرق جهدٍ عالٍ في أنحاء المسبك، وتوصيات الوقاية والحد من التعرض للأخطار الكهربائية متوفرة في دليل الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.

6- **أخطار الدفن**: يتعرض العمال الذين يصنعون قوالب الرمال لخطر الدفن نتيجة لانهيار الرمال في أماكن التخزين وخلال عمليات الصيانة. ومن بين إجراءات تفادي هذا الخطر تطبيق معايير تخزين المواد بشكل صحيح.

7- **أخطار الانفجارات والحرائق**: قد تنطوي مناولة المعادن السائلة على خطر الانفجار أو تطاير المنصهر نتيجة عدم تجفيف البوادق أو المغارف Ladles الخاصة بنقل المعدن إلى الخط الإنتاجي. ومن الأخطار الأخرى احتمال اندلاع حرائق من جراء المعدن المنصهر، وفي حالة وجود وقود سائل وغيره من الكيماويات القابلة للاشتعال، فضلاً عن ذلك فقد يكون خبث حديد المسابك قابلاً بشدة للتفاعل إذا ما استُخدم كربيد الكالسيوم في نزع الكبريت من الحديد، **ومن الأساليب التي يوصى باتباعها للوقاية والحد من أخطار الانفجارات والحرائق:**

- تخطيط المنشأة بشكل يضمن الفصل التام لخطوط أنابيب وخزانات الغاز والأوكسجين القابلة للاشتعال بعيدة عن مصادر الحرارة.
- فصل المواد والسوائل القابلة للاحتراق عن الأماكن الساخنة ومصادر الاشتعال (اللوحات الكهربائية).
- حماية خطوط أنابيب وخزانات الغاز والأوكسجين القابلة للاشتعال خلال أعمال الصيانة.
- توفير دليل استرشادي لمواجهة حالات الطوارئ بشأن البيئة والصحة والسلامة.

2-8 طبيعة التلوث The Nature of Pollution

يعيش الإنسان فوق سطح الأرض في نطاق منظومات ثلاث، هي المحيط الأحيائي الذي يتألف من الجو واليابسة والمياه وما يعيش فيها من كائنات حية، والمحيط التقني الذي يتألف مما يشيّده الإنسان من مدن وقرى ومصانع ومزارع، والمحيط الاجتماعي الذي يتألف من القوانين والتشريعات التي يسنها الإنسان، ويؤدي أي إخلال بهذا التوازن بين تلك المنظومات إلى خفض نوعية البيئة وتدهورها وظهور المشكلات بها. يقصد بالبيئة الوسط الذي يعيش فيه الإنسان ويمارس أنشطته الإنتاجية والاجتماعية، وهي خزان الموارد الطبيعية المتجددة مثل حقول الزراعة ومصايد الأسماك، والموارد الطبيعية غير المتجددة مثل مناجم المعادن وآبار النفط.

وتتحدد علاقة الإنسان بالبيئة في دائرتين، فهي إطار للحياة يجب عليه أن يحافظ عليه ويصونه من التلوث والتدهور، وهي مصدر للثروات الطبيعية يجب عليه أن يرشد استغلاله، ويقصد بالتلوث بث طاقة أو مادة في البيئة بكميات كبيرة في غير المكان والوقت المناسبين، مما يضر بصحة الإنسان ويحد من الاستخدامات المشروعة للبيئة، ويؤدي التلوث في أغلب الأحيان إلى تغير غير مرغوب في الصفات الفيزيائية أو الكيميائية أو الأحيائية للبيئة، كما هو مبيّن في الشكل رقم (8-3). على الرغم من أن هناك تلوثاً طبيعياً ينشأ من ثورة البراكين وحرائق الغابات وغيرها، فإن أكثر ما تعاني منه البيئة في الوقت الحالي هو التلوث الناشئ عن فعل الإنسان، مثل تلوث المياه السطحية والجوفية والتربة والهواء والغذاء والتلوث بالنفايات الصناعية، ويُعد التصنيع بالسباكة أحد مصادر التلوث البيئي، ومن أهم مصادر التلوث البيئي بسبب التصنيع بالسباكة:

- الانبعاثات الهوائية.
- الفضلات الصلبة.
- التلوث الحراري والإشعاعي.
- المياه المستعملة.
- الضوضاء.

شكل رقم 8-3 صورة من صور تلوث البيئة

1- الانبعاثات الهوائية

أ- الغبار والجسيمات: يتولد الغبار والجسيمات عن كل خطوة من خطوات العمل، مع درجات متفاوتة من أكاسيد المعادن والفلزات (غالباً المنغنيز والرصاص) وأكاسيد الفلزات، وتنشأ انبعاثات الغبار عن العمليات الحرارية (أفران الصهر) والكيمائية / الفيزيائية (الصب وصنع القوالب) والأعمال الميكانيكية (التعامل مع المواد الخام (غالباً الرمال)، وعمليات الهزهزة والتشطيب)، **وتشمل توصيات المنع والسيطرة للحد من الانبعاثات المنفلتة على ما يأتي:**

- استخدام نُظم نقل هوائية مثل مجاري الهواء الثابتة أو المرنة، وخاصةً في توصيل وتغذية المضافات إلى منطقة التجهيز والمعالجة.

- استخدام ناقلات مغطاة مزودة بنقاط توصيل محكمة ضد الغبار، وخاصةً عند إدخال الرمال إلى ورشة السباكة.
- تنظيف الأحزمة الناقلة لإزالة الغبار العالق بها.
- استخدام مخازن داخلية أو مغطاة، أو في حال تعذر التخزين إلا في العراء، استخدام أنظمة رش المياه، أو مواد إخماد الغبار، أو حواجز الريح، أو غيرها من أساليب التخزين السليم.
- الصيانة الدورية وتنظيف المكان باستمرار للحد من التسرب والتناثر والانسكاب لأقل مستوى.

في عمليات الصهر، تتفاوت انبعاثات الجسيمات، في شكل غبار وذرات معدنية وأبخرة من أكاسيد المعادن، تبعاً لنوع الفرن المستخدم والوقود والمعدن المُراد صهره وخصائص الصهر. تنبعث من أفران الدست (القبة) أكبر كمية من الجسيمات (مثل فحم الكوك والرماد المتطاير والسليكا والصدأ والحجر الجيري)، وكما موضّح في الشكل رقم (8-4). وتفرز الأفران الكهربائية هي الأخرى الكثير من الجسيمات في أثناء الشحن وعند بداية الصهر، وعند الحقن بالأوكسجين خلال مراحل التنظيف وإزالة الرواسب الكربونية، وتقل معدلات الانبعاث في غيرها من أنواع أفران الصهر وخاصة أفران الحث.

شكل رقم 8-4 الانبعاثات الهوائية في المسابك

تشتمل التوصيات بشأن ما ينبغي اتباعه من أساليب الوقاية من التلوث على ما يأتي:

❖ استخدام أفران الحث قدر الإمكان، لاحظ الشكل رقم (8-5).

الشكل رقم 8-5 أفران الحث الكهربائية في المسابك

- ضرورة تفادي استخدام أفران القلب المفتوح التي تُعد من الممارسات غير الجيدة في صهر الفولاذ.
- تفادي استخدام تقنية أفران الدست التقليدية، وفي حال استخدام هذه الأفران ينبغي الاستعانة بالتقنيات الحديثة لزيادة فعالية طاقة الفرن وتقليل الشحن بفحم الكوك، بما في ذلك استخدام الحقن بالأوكسجين أو تعزيز لفح الهواء، التسخين الشديد لهواء اللفح في الأفران العالية، واستخدام أفران لا تحتاج لفحم الكوك حيث يتم تسخين شحنة المعدن بواسطة احتراق الغاز الطبيعي.
- تنفيذ تقنيات بأفران الصهر تتيح تقليل استهلاك الطاقة (مثل تركيب مواقد تعمل بالوقود المخلوط بالأوكسجين، أو أسلوب رش الخبث بمادة رغوية في الأفران العالية، أو الحقن بالأوكسجين.
- تركيب منظومات لتجميع الغازات المنبعثة بالنسبة لأفران الدست، أو مُعدات سقفية بالنسبة للأفران الكهربائية، أو تغطية نواتج الصهر بالنسبة لأفران الحث من أجل تقليل الانبعاثات الشاردة.
- استخدام تقنيات الحد من الغبار، وهو ما يشمل عادةً تركيب مرشحات كيسية ومراوح للحد من الانبعاثات الناجمة عن عمليات الصهر، ويمكن استخدام مغاسل التنقية لامتصاص المُركبات التي تذوب في الماء (مثل ثاني أوكسيد الكبريت والكلوريدات)، وعادةً ما يتيح استخدام المراوح الدوامية كمعالجات مسبقة واستخدام المرشحات الورقية تخفيض مستوى الانبعاثات إلى 10 مليغرام لكل متر مكعب أو أقل.

وتولد الكميات الكبيرة **من الرمال** التي تُستخدم في صب القوالب انبعاثات غبارية في أثناء مختلف مراحل الصب، وتنتج جسيمات لا فلزية وجسيمات أكاسيد معدنية وحديد فلزي، وتنبعث الجسيمات غير المعدنية عن عمليات الصب والهزهزة والتشطيب، **وتشتمل توصيات الوقاية والسيطرة على الجسيمات الناشئة عن الصب والمقالبة على ما يأتي:**

- استخدام تقنيات امتصاص الغبار (المرشحات الورقية والمراوح الدوامية) بدلاً من المغاسل، وخاصةً في محطات تجهيز الرمال الرطب اللازم للصب، وتتيح الأساليب الجافة امتصاص الغبار بسهولة ونقله وإعادة تدويره في عملية الخلط ، وبذلك يتم تفادي تكوّن المخلفات السائلة الناتجة عن استخدام المغاسل.
- استخدام مرشحات العادم، وخاصة في ورش الصب والتشطيب.
- استخدام مكانس شفط الهواء في ورش المقالبة والصب.
- تركيب وحدات إزالة غبار مغلقة في أماكن العمل .

ب- أكاسيد النيتروجين: تنتج انبعاثات أكاسيد النيتروجين عن حرارة الأفران الشديدة، **وتتضمن أساليب منع التلوث والحد منه ما يأتي:**

- تقليل نسبة الهواء إلى الوقود في عملية الاحتراق.
- استخدام الأوكسجين دون الهواء في عملية الاحتراق.

- استخدام مواقد منخفضة لأكاسيد النيتروجين في الأفران المستخدمة للوقود الغازي أو السائل قدر المستطاع.
- تركيب ضوابط تحكم ثانوية (أساساً في أفران القبة والأفران الكهربائية والأفران الدوارة).

ج- الأكاسيد الكبريتية: يتوقف وجود الأكاسيد الكبريتية في غازات العادم المنبعثة من أفران الصهر على المحتوى الكبريتي بالوقود وفحم الكوك، وتنتج انبعاثات ثاني أوكسيد الكبريت عن غازات عادم أفران الدست والأفران الدوارة، **وتشتمل توصيات أساليب منع التلوث والحد منه لتقليل انبعاثات الأكاسيد الكبريتية على ما يأتي:**

- اختيار خامات وخردة تحتوي على نسبة كبريت منخفضة.
- استخدام وقود ذي نسبة كبريت منخفضة، مثل الغاز الطبيعي.
- تركيب أنظمة غسيل للغاز قبل المغاسل الجافة كجزء من النظام المخصص لتجميع وإزالة الغبار.

د- أول أوكسيد الكربون: أبرز مصادر أول أوكسيد الكربون هي غازات العادم المنبعثة من أفران الدست والأفران الكهربائية، ويرجع وجود أول أوكسيد الكربون في غازات العادم المنبعثة من أفران الدست إلى عمل الفرن نفسه. وفي الأفران الكهربائية يتولد أول أوكسيد الكربون عن تأكسد الأقطاب الكرافيتية خلال مراحل الصهر والتنقية، كما ينبعث أول أوكسيد الكربون عندما تتلامس القوالب الرملية مع المعدن المنصهر خلال عملية صب المعدن، **وتشتمل توصيات أساليب منع التلوث والحد منه لتقليل انبعاثات أول أوكسيد الكربون على ما يأتي:**

- استخدام أفران الحث.
- تحسين الكفاءة الحرارية للعملية (مثل انتهاج أسلوب حقن الأوكسجين أو مواقد الوقود المختلط بالأوكسجين في أفران الدست).
- تغطية الخبث المتواجد فوق المنصهر بمادة رغوية في الأفران الكهربائية للحد من تفاعل الغازات مع المعدن المنصهر.
- تزويد المسابك بوحدات إزالة الغبار وغازات العادم المنبعثة من أفران الدست والأفران الكهربائية.
- إحاطة خطوط صب المعدن بأجهزة سحب الأبخرة والغازات.

هـ - الكلوريدات والفلوريدات: توجد الكلوريدات والفلوريدات بكميات صغيرة في غازات العادم المنبعثة من أفران الصهر وتتولد عن الدفق الحراري. وينبغي أخذ احتياطات منع انبعاثات الكلوريدات والفلوريدات والسيطرة عليها كجزء من تقنيات إزالة الغبار والمغاسل المركبة للحد من انبعاثاتها.

و- المركبات العضوية المتطايرة وغيرها من ملوثات الهواء الضارة: تنبعث المركبات العضوية المتطايرة، التي تتألف في الغالب من مذيبات (مثل البنزين والبنزين الأثيلي)، ومواد عضوية أخرى ناتجة عن استخدام الراتينجات والمذيبات العضوية، أو البطائن ذات الأساس العضوي في صنع القوالب، وقد تنطلق أيضاً انبعاثات ملوثات الهواء العضوية الضارة في أثناء صب وتبريد وهزهزة رمال الصب الخضراء، وذلك نتيجة لتحلل المركبات العضوية بتأثير الحرارة في أثناء صب المعدن، **وتشتمل توصيات الوقاية والحد من التلوث بالنسبة لانبعاثات المركبات العضوية المتطايرة وغيرها من ملوثات الهواء الضارة على ما يأتي:**

- تقليل استخدام مواد الربط والراتنجات قدر الإمكان والتعامل بحذر مع هذه المواد في أثناء عمليات الخلط أو التسخين أو التجفيف.
- تحسين التحكم في درجة الحرارة في أثناء صنع لباب تجويف القالب.
- استخدام مذيبات غير عطرية (مثل أملاح الميثيل أو السيليكات العضوية المصنوعة من الزيوت النباتية) في إنتاج صندوق اللباب.

ز- الفلزات: ينبغي الحد من الانبعاثات الفلزية في أثناء عمليات الصهر والصب، وقد تنتج الانبعاثات الفلزية عن تكثف المعدن خلال صب المعدن المنصهر في القوالب، وقد تحتوي الجسيمات في مسابك الحديد على معادن ثقيلة مثل الخارصين والكادميوم والرصاص والنيكل والكروم حسب نوع الفولاذ المنتَج والخردة المستخدَمة، وقد تحتوي الجسيمات في حال إنتاج المعادن غير الحديدية على نحاس وألمُنيوم ورصاص وقصدير وخارصين، وينبغي استخدام أساليب الحد من الغبار في الحد من انبعاث الجسيمات المعدنية، وكذلك من خلال تركيب مغاسل جافة وشبه جافة.

ي- غازات الاحتباس الحراري: تُعد عملية السباكة كثيرة الاستهلاك للطاقة، ومن أهم مصادر انبعاث ثاني أوكسيد الكربون، الذي يرتبط في المقام الأول باحتراق الوقود. ويمكن أن يرجع استهلاك الجزء الأكبر من الطاقة إلى عملية الصهر (ما بين 40 و 60 في المائة من إجمالي الطاقة المستخدمة). **وتشتمل بعض التوصيات لمنع انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون والحد منها على ما يأتي:**

- إحلال أفران حث أو أفران دست لا تستخدم فحم الكوك، أو أفران دست تعمل بحقن الأوكسجين، محل أفران الدست التقليدية.
- تطبيق أفضل تقنيات الاحتراق (التسخين المسبق للشحنة، والتحكم الآلي في خواص الاحتراق).
- اختيار وقود تقل به نسبة المحتوى الكربوني إلى القيمة الحرارية (مثل الغاز الطبيعي)، وتقل انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون الناتجة عن احتراق الغاز الطبيعي بنسبة 60 في المائة تقريباً عنها في الفحم أو فحم الكوك.

2- الفضلات الصلبة

تشمل الفضلات الصلبة، الرمال المستعملة والخبث الناتج عن نزع الكبريت وعن الصهر والغبار المتجمع من خلال أنظمة الحد من الانبعاثات، ومخلفات مقاومات الانصهار، والسوائل الكحولية للمغاسل، ومن بين الأساليب العامة للتعامل مع مخلفات المسابك اختيار وتصميم وبناء مناطق لتخزين المعادن والغبار المتجمع بالمرشحات ومخلفات مقاومات الانصهار والخبث والرمال المستعملة.

أ- **الرمال المستعملة**: تُعد الرمال المستعملة المتخلفة عن المسابك التي تستخدم القوالب الرملية من أبرز المخلفات من حيث الكمية، وتشكل رمال المقالبة وصنع اللباب ما يتراوح بين (65 و 80)% من إجمالي مخلفات مسابك الحديد، **وتشتمل توصيات المنع والسيطرة الخاصة بالرمال المستعملة على ما يأتي:**

- إعادة استخدام الرمال لأقصى درجة ممكنة داخل المسابك.
- إعادة الاستخدام الخارجي للرمال المستعمل (على سبيل المثال كمادة خرسانية أو في رصف الطرق، والردم الخرساني، والردم الإنشائي).
- إعادة استخدام رمال المسابك الأخضر فور إزالته عن القطعة المعدنية وإعادة تشكيله.

وتتألف أساليب استعادة الرمال من إعادة تشكيل ابتدائية (مثل الهز أو التدوير أو الإسطوانة الدوارة أو اللفح بالهواء الساخن)، وثانوية (مثل معالجة الرمال لإزالة مواد الربط الكيمياوية)، فضلاً عن المعالجات الميكانيكية والحرارية أو الغسيل السائل.

ب- **الغبار المتجمع من مُعدات التخفيف**: قد يحتوي الغبار المتجمع من مُعدات الحد من الانبعاثات على الخارصين ورصاص ونيكل وكادميوم ونحاس والألمُنيوم وقصدير وكروم ومعادن أخرى، ويمكن تصنيفه كمخلفات خطرة. وعادةً ما يحتوي الغبار المتجمع في مُعدات الحد من الانبعاثات في مسابك المعادن غير الحديدية. ينبغي إعادة تدوير غبار المرشحات في الأفران إلى الحد الممكن عملياً، ويتيح ذلك استرداد المعادن عبر إعادة معالجة الغبار، ويقلل من ثم من المخلفات التي ستذهب للردم.

ج- **مخلفات الخبث**: عادةً ما يكون لمخلفات الخبث تركيب كيمياوي مُعقد وتحتوي على كمية متنوعة من ملوثات المعادن، وربما تشكل نحو 25% من الفضلات الصلبة التي تخرجها المسابك، وعادةً ما يشتمل الخبث على أكاسيد معدنية ومركبات معدنية أخرى منصهرة ورمال ورماد فحم الكوك، وقد يكون الخبث مادة خطرة إذا احتوى على رصاص أو كادميوم أو كروم من الفولاذ أو المعادن غير الحديدية المنصهرة، **وتشتمل توصيات المنع والسيطرة الخاصة بالخبث على ما يأتي:**

- إعادة استخدام الخبث، واستخلاص المعادن ذات القيمة، وقد تشتمل بدائل إعادة الاستخدام بحسب خصائص الخبث، على صناعة الطابوق وطبقة الأساس لرصف الطرق والكتل الخشنة.

- ينبغي تقليل الخبث الناتج إلى أدنى حد من خلال إجراءات لتحقيق التشغيل الأمثل، من بينها فرز الخردة لتحسين جودة المعدن وتقليل احتمال خروج الانبعاثات وتكوّن الخبث الملوث، وتمثل خردة المنتجات الإلكترونية والخردة المطلية وخردة السيارات المستعملة مصدراً محتملاً للتلوث وينبغي فحصها بعناية وفرزها.
- خفض درجة حرارة صهر المعادن.

3- المياه المستعملة

من أبرز استخدامات المياه المستعملة المتخلفة عن الاستخدامات الصناعية في المسابك هو استخدامها في أنظمة تبريد الأفران الكهربائية (الحث والقوس الكهربائي) وأفران الدست، وفي أنظمة إزالة الغبار باستخدام المياه، وفي معظم المسابك يشتمل استعمال المياه على عملية إعادة تدوير داخلية للماء تؤدي لتقليل كمية المخلفات إلى أدنى حد.

قد يؤدي استخدام أساليب إزالة الغبار باستعمال المياه إلى زيادة كمية المياه المستخدمة، وما يتبع ذلك من مخلفات يتوجب التخلص منها، وقد تنتج مياه مستعملة تحتوي على معادن وشوائب عالقة إذا ما تم تبريد القالب بالمياه، كما قد تنتج أيضاً مياه مستعملة تحتوي على شوائب عالقة أو ذائبة وشيء من الحموضة إذا ما استُخدمت لباب ملحية قابلة للذوبان، **وتشتمل توصيات المنع بالنسبة للمياه المتخلفة عن الاستخدامات الصناعية في المسابك على ما يأتي:**

- تركيب دورات مغلقة لمياه التبريد من أجل تقليل استهلاك المياه وتصريفها.
- إعادة تدوير المياه الساقطة بالترسيب أو الطرد المركزي ثم الترشيح.
- تخزين الخردة وغيرها من المواد (مثل الفحم وفحم الكوك) بأماكن ذات سقوف ومحاطة بحواجز واقية للحد من تلوث المياه المستعملة وتسهيل تجميع مياه الصرف.

4- الضوضاء

يُحدث عمل المسابك ضوضاء عالية من مصادر متعددة، منها تجهيز الخردة، وشحن الأفران، والصهر بالأفران الكهربائية، ومواقد الوقود، والهزهزة وقذف الرمال واللباب في القوالب وإخراج المسبوكات من القوالب، وأنظمة النقل والتهوية، **وتشتمل توصيات ما ينبغي اتباعه من أساليب لمعالجة الضوضاء على ما يأتي:**

- ❖ إحكام غلق مباني العمل وعزلها.
- ❖ تغطية وعزل أماكن تخزين وتجهيز الخردة.
- ❖ عزل المراوح وأنابيب التهوية واستخدام كواتم الصوت.
- ❖ تطبيق الضوابط الإدارية، بما في ذلك تقييد تجهيز الخردة ونقلها في أثناء الليل.

3-8 التشريع Legislation

أهتمت الحكومات العراقية المتعاقبة بالحفاظ على البيئة من التلوث، وذلك بإصدار تشريعات وقوانين لمنع أسباب حدوث التلوث البيئي، ومنها ما أقره مجلس النواب العراقي وصادق عليه مجلس الرئاسة واستناداً إلى احكام البند (أولاً) من المادة (61) والبند (ثالثاً) من المادة (73) من الدستور صدر قانون حماية وتحسين البيئة رقم (27) لسنة 2009، نُشر في جريدة الوقائع العراقية بالعدد 4142 في 2010/1/25 ونص القانون على الآتي:

حماية المياه من التلوث

المادة- 14 - يُمنع ما يأتي (الفقرات التي لها علاقة في موضوع التصنيع بالسباكة):

ثانياً: ربط أو تصريف مجاري الدور والمصانع وغيرها من النشاطات إلى شبكات تصريف مياه الأمطار.

ثالثاً: رمي النفايات الصلبة أو فضلات الحيوانات أو أشلائها أو مخلفاتها إلى الموارد المائية.

رابعاً: استخدام المواد السامة والمتفجرات في صيد الأسماك والطيور والحيوانات المائية.

خامساً: تصريف المخلفات النفطية أو بقايا الوقود أو مياه الموازنة للناقلات النفطية إلى المياه السطحية الداخلية أو المجالات البحرية العراقية سواء أكان التصريف من محطات ثابتة أم من مصادر متحركة أم من التسربات الناتجة عن عمليات التحميل.

حماية الهواء من التلوث والحد من الضوضاء

المادة- 15- يُمنع ما يأتي:

أولاً: انبعاث الأدخنة أو الغازات أو الأبخرة أو الدقائق الناجمة عن عمليات إنتاجية أو حرق وقود إلى الهواء إلا بعد إجراء المعالجات اللازمة بما يضمن مطابقتها للتشريعات البيئية الوطنية.

المادة-16-

يُمنع تجاوز الحدود المسموح بها للضوضاء عند تشغيل الآلات والمُعدات وآلات التنبيه ومكبرات الصوت للنشاطات كافة وعلى الجهات مانحة الإجازة مراعاة أن تكون نسبة شدة الضوضاء المنبعثة في منطقة واحدة ضمن الحدود المسموح بها في تعليمات يصدرها الوزير.

حماية الأرض

المادة-17- يُمنع ما يأتي:

أولاً: أي نشاط يؤدي بطريق مباشر أو غير مباشر إلى الإضرار بالتربة أو تدهورها أو تلوثها على نحو يؤثر في قدراتها الإنتاجية وعلى السلسلة الغذائية والنواحي الجمالية إلا وفقاً للتشريعات النافذة.

ثانياً: عدم الالتزام بالتصاميم الأساسية للمناطق الحضرية وحماية الأراضي من الزحف العمراني.

ثالثاً: أي نشاط من شأنه الإضرار بمساحة أو نوعية الغطاء النباتي في أي منطقة يؤدي إلى التصحر أو تشويه البيئة الطبيعية إلا بعد استحصال موافقة الجهات ذات العلاقة.

رابعاً: هدم أو الإضرار بالأماكن التراثية الطبيعية والثقافية المذكورة في سجل تُعده الوزارة لهذا الغرض بالتعاون مع الجهات المعنية الأخرى.

خامساً: رمي المخلفات الصلبة عشوائياً إلا في الأماكن المخصصة لها.

أسئلة الفصل الثامن

س1) عرّف ما يأتي:

1. الصحة والسلامة المهنية 2. البيئة 3. التلوث 4. التشريع

س2) ما أهداف الصحة والسلامة المهنية؟ اذكرها.

س3) ما أهمية الصحة والسلامة المهنية للحفاظ على المواد الأولية والمصنعة؟ وضّحها.

س4) ما مصادر التلوث البيئي بسبب التصنيع بالسباكة؟ عددها.

س5) ما التوصيات لمنع التلوث والحد منه لتقليل انبعاثات الأكاسيد الكبريتية في عمليات السباكة؟

س6) ما التوصيات التي ينبغي اتباعها لمعالجة الضوضاء في ورش السباكة؟ بيّنها.

س7) ما توصيات الوقاية والسيطرة على الجسيمات الناتجة عن الصب والمقالبة في عملية السباكة؟

س8) املأ الفراغات الآتية بما يناسبها:

1. يُقصد بالصحة والسلامة المهنية تقديم خدمات ..... واحتياطات كفيلة بحماية ووقاية ..... بالمصانع والمنشآت من مخاطر العمل.
2. قد ترجع الأخطار الجسدية في أعمال المسابك إلى مناولة خامات أو منتجات ..... أو .....
3. قد يتعرض العمال في ورش السباكة لأشعة ..... وما يتصل بها من أخطار التعرض للإشعاعات.
4. يجب استخدام أجهزة تنفس تزود العامل ..... النقي ويمكن بدلاً من ذلك استخدام أقنعة .....
5. تُعد السباكة من العمليات المستهلكة للطاقة، ومن أهم مصادر انبعاث .....