جمهورية العراق
وزارة التربية
المديرية العامة للتعليم المهني

العلوم الصناعية

اللحام وتشكيل المعادن

المرحلة الأولى

تأليف

أ.م.د. ابتهال عبدالرزاق محمود
م.د. موسى عبدالرحيم خدادا
م.م المهندس إيهاب ناجي عباس
م.م. المهندس باسل محمدعلي
المهندس منذر عبد الجليل قاسم
المهندس نزار عبد المحسن خليل

تنقيح

م. د. إحسان كاظم النعيمي
م. د. موسى عبد الرحيم خدادا

الطبعة الرابعة
1445هـ - 2023م

مقدمة الطبعة الأولى

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيد المرسلين رسول الله محمد وعلى آله الطاهرين وصحبه المنتجبين وبعد..

عملت المديرية العامة للتعليم المهني على تغيير وتطوير الخطط الدراسية بجميع موادها التعليمية والتدريبية للمراحل الدراسية التابعة للتعليم الصناعي تماشياً مع احتياجات البلد سواء على مستوى القطاع العام والقطاع الخاص (سوق العمل) العراقي، وكذلك مواكبةً للتطور الحاصل في العلوم والتقنيات التي تتسابق بلدان العالم على تحقيقها في شتى المجالات.

ويسرُّنا أن نقدّم لإخواننا المدرسين والمعلمين والمدرسات والمعلمات وأبنائنا الطلبة كتاب العلوم الصناعية لمادة اللحام وتشكيل المعادن للمرحلة الأولى من الاختصاص، بعد أن تم دمج ثلاثة كتب كانت تدرّس في الخطة الدراسية السابقة هي الخامات والمعادن، المعدات والعمليات، والحساب الصناعي، حيث تم إعداد هذا الكتاب ليشمل هذه الكتب بأسلوب علمي مبسط ومتسلسل مما يسهِّل على الطالب تلقي المعلومة بشكل مبسط.

راعينا أن يكون هذا الكتاب موافقاً للأهداف المُعدة بما يجعل الطالب يأخذ المعارف اللازمة، وفي نفس الوقت يكسب السلوكيات والقيم اللازمة ليكون فرداً ناجحاً ومنتجاً في المجتمع ويعمل على خدمته وإسعاده. يحتوى هذا الكتاب على ثلاث أبواب رئيسة كل باب متكون من مجموعة فصول، حيث ركزت فصول الباب الأول على الأساسيات بصورة عامة والتي تشمل أدوات القياس والتخطيط وأجزاء كل منها ونظريات عملها واستخداماتها، وطرائق حساب المساحات والحجوم والتي تساعد الطالب على فهم باقي فصول الكتاب. أما فصول الباب الثاني فقد كانت مركزة على ثلاث محاور مثّلتها ثلاث فصول أولها تطرق إلى أنواع المعادن وخواصها واستخداماتها في الصناعة، والفصل الثاني يشمل أهم عمليات التشكيل، أما الفصل الثالث فقد تخصص بعرض أغلب عمليات التشغيل اليدوي، وبعض عمليات التشغيل الآلية التي يحتاجها الدارس في حياته العملية. وأخيراً فقد تناول الباب الثالث عمليات الربط والوصل للمعادن وطرائق تنفيذها. وسيتمم الطالب معارفه من خلال اكتسابه للمهارات العملية وإتقانها عندما يحضَر حصص التدريب العملي لتطبيق تلك المعارف.

وبعد هذا الاستعراض لمحتويات الكتاب نسأل الله أن نكون قد وُفّقنا في هذا المجهود العلمي التربوي الذي يهدف إلى خدمة أبنائنا الطلبة. ونتقدم بالشكر الجزيل لجميع مدرسينا على إقدامهم لتدريس هذا الكتاب ونرجو منهم ومن جميع المعنيين بالعملية التربوية تزويدنا بملاحظاتهم حول محتوى هذا الكتاب لنقوم بدراستها وإجراء التعديلات المناسبة لاحقاً، راجين منه عزّ وجل أن يجعل فيه النفع والفائدة.

المؤلفون

مقدمة الطبعة الثانية

بعد أن تم اعتماد وتدريس الكتاب بطبعته الأولى لعامٍ دراسي كامل، تم تكليفنا من قبل المديرية العامة للتعليم المهني بتنقيح الطبعة الأولى وفق أسس منهجية علمية رصينة، وطرح المادة المقررة بتسلسل منطقي واضح، ليتمكن مدرسي المادة من تدريسها بشكلها الصحيح وبالتالي تعم الفائدة لطلبتنا الأعزاء.

تم إعداد الطبعة الثانية بواقع سبعة فصول تضمن الفصل الأول منها المبادئ الأساسية للقياس والتعريف بأدوات القياس مع مراجعة سريعة لحساب وحجوم بعض الأشكال الهندسية، في حين تم في الفصل الثاني تعريف الطالب بكافة خواص المواد المعدنية التي تشمل الخواص الفيزيائية، الكيميائية، الميكانيكية، والتكنولوجية. ثم تناول الفصل الثالث تصنيف المواد الهندسية، وفي الفصل الرابع تصنيف طرائق التصنيع، وجاء بعدها الفصل الخامس ليوضح طرائق تشكيل المعادن والصفائح المعدنية التي يتطلب أن يفهم الطالب آلية عملها والمكائن والأدوات المطلوبة لإجراء هذه العمليات وميزات ومحددات كل طريقة من طرائق التشكيل. ثم تم في الفصل السادس استعراض سريع لعمليات التشغيل والأدوات المستخدمة في كل عملية، وختاماً في الفصل السابع تم توضيح عمليات وصل المعادن وطرائقها كونها من أساسيات هذا التخصص.

تم إسناد فصول الكتاب بصور وأشكال توضيحية لتصبح المادة أقرب وأوضح لطلبتنا الأعزاء، كما تم إدراج جداول تضمنت معلومات مهمة للاطلاع فقط لتساهم في استيعاب المادة العلمية المقررة والاستفادة منها في مجال التطبيقات العملية.

في الختام نتمنى أن نكون قد وفقنا بجهدنا المتواضع هذا خدمة لبلدنا العزيز وأبنائنا الطلبة، آملين من الأخوة المختصين والتدريسيين أن يرفدونا بملاحظاتهم التي تخص المادة العلمية في هذا الكتاب، ليتم الأخذ بها في طبعات الكتاب اللاحقة، ومن الله التوفيق.

المنقحون

بغداد/ 2013

المحتويات

أسم الموضوع	رقم الصفحة
الفصل الأول (المبادئ الأساسية للقياس)	7
مقدمة	8
العناصر الأساسية لعلم القياس	8
أدوات القياس	12
أدوات التخطيط والشنكرة	28
حساب مساحات وحجوم بعض الأشكال الهندسية	30
أسئلة الفصل الأول	42
الفصل الثاني (خواص المواد المعدنية)	44
مقدمة	45
السبائك	46
خواص المعادن	46
الخواص البلورية	47
الخواص الفيزيائية	48
الخواص الكيميائية	50
الخواص الميكانيكية	52
الخواص التكنولوجية	62
أسئلة الفصل الثاني	64
الفصل الثالث (تصنيف المواد الهندسية)	65
المواد الهندسية	67
المواد المعدنية	68
المواد المعدنية الحديدية	72
المواد المعدنية غير الحديدية	82
المعادن عالية درجات الانصهار	95
المواد غير المعدنية	96
أسئلة الفصل الثالث	98
الفصل الرابع (تصنيف طرائق التصنيع)	99
تصنيف العمليات التصنيعية	101
العمليات الإجرائية	102
عمليات الشكل	103
عمليات السباكة	104
تكنولوجيا مساحيق المعادن	114
أسئلة الفصل الرابع	118

أسم الموضوع	رقم الصفحة
الفصل الخامس (طرائق تشكيل المعادن)	119
مقدمة	120
عمليات تشكيل المعادن	120
طرائق تشكيل المعادن	121
الدرفلة	122
الحدادة	124
البثق	125
تشكيل الصفائح المعدنية	127
عمليات القص والقطع	129
عمليات التخريم	135
عمليات الثني	138
أسئلة الفصل الخامس	146
الفصل السادس (عمليات تشغيل المعادن)	147
مقدمة	148
مميزات ومحددات عمليات التشغيل	149
معايير عمليات التشغيل	149
عملية نشر المعادن بالمنشار	151
عملية القطع بالأزاميل	158
عملية البرادة	162
القشط اليدوي	166
التجليخ	167
التثقيب	169
البرغلة	174
أسئلة الفصل السادس	178
الفصل السابع (وصل المعادن)	179
مقدمة	180
الربط الميكانيكي	180
التوصيل باللوالب	181
الوصل بالدسرة	184
الربط بالخوابير	187
البرشمة	187
اللحام	189
مبادئ اللحام	189
مميزات ومحددات عملية اللحام	191
طرائق اللحام	191
الوصل باللصق	197
أسئلة الفصل السابع	200

الفصل الأول
المبادئ الأساسية للقياسات

تمهيد

يتضمن الفصل الأول المبادئ الأساسية للقياسات، إذ يحتوي على فكرة عامة عن وحدات القياس وكيفية التعامل معها، فضلاً على تحويلاتهما. وكذلك يتضمن الفصل أهم أدوات القياس مع ذكر أمثلة بطرائق القياس، وفي نهاية الفصل سيتم التطرق بمراجعة عامة عن حساب مساحات وحجوم بعض الأشكال الهندسية المعروفة.

الأهداف العامة

بعد الانتهاء من هذا الفصل سيكون الطالب قادرا على أن:

1. يتعرّف على وحدات القياس الدولية وتحويلاتها.
2. يتعرّف على أنواع أدوات قياس.
3. يكون قادراً على استعمال أدوات القياس الناقلة والتي تستعمل لنقل الأبعاد من وإلى المساطر والمشغولات.
4. يتعرف على القَدّمة (الفيرنية) ومحددات القياس وأجزاء المايكرومتر ويصنّف أنواعهما واستعمالات كل نوع منهما، ويتعلم كيفية إيجاد القياس بهذه الأدوات.
5. يتعرف على أدوات التخطيط والشنكرة وبعض أجزائها واستعمالاتها.
6. يميز أنواع المضلعات ويتعرف على كيفية حساب أطوال الأضلاع والزوايا.
7. يستطيع حساب المساحات والحجوم لأهم الأشكال الهندسية المعروفة.

الفصل الأول
المبادئ الأساسية للقياسات

1-1 مقدمة Introduction

لقد استعمل الإنسان القياسات منذ فجر التاريخ كوسيلة عملية للتعرف على الظواهر الطبيعية المحيطة به ولتحديد أشياء يستعملها خلال حياته اليومية، لقد اخترع الإنسان أجهزة قياس الأطوال والكيل (الأوزان) منذ الحضارات الإنسانية الأولى لتنظيم أسلوب حياته الاجتماعية والاقتصادية. إذ استعملت قياسات الأبعاد من قبل المصريين الفراعنة بالدقة المتناهية التي استطاعوا من خلالها بناء الأهرامات. وقد أخذ القياس دوراً مهماً جداً في جميع مجالات الحياة البشرية القديمة والحديثة. وأدى التطور الصناعي في بدايات القرن الماضي وما ترتب عليه من تبادل عالمي للسلع إلى حتمية تعيين وحدات قياس موحدة بين دول العالم لغرض قياس الكميات الفيزيائية المختلفة مثل الأطوال والزوايا والحرارة والزمن والكتلة. وإنه لمن السهل أن يلاحظ أحدنا أن حياته اليومية مليئة بأنواع عديدة من القياسات، فعلى سبيل المثال لا الحصر:

- الساعة التي توضع على الأيدي لمعرفة وتنظيم الوقت، جهاز قياس مهم، أليس كذلك؟
- قيادة السيارة بأمان مرتبطة بعدة أجهزة قياس (عداد سرعة السيارة - مؤشر درجة الحرارة - مؤشر خزان الوقود، الخ.)
- قياس درجة الحرارة وسرعة الرياح واتجاهها عن طريق أدوات قياس مهمة جداً للملاحة الجوية والبحرية، وبالتالي على تنقلات البشر بصورة عامة.
- عداد الكهرباء والماء الموجودان عند مدخل البيت، هما مُعدات قياس الاستهلاك وعلى أساسها تدفع قائمة الحساب (الفاتورة) إلى المؤسسات المجهزة.
- التبادلات التجارية بين مختلف الدول مبنيّ على الموازين والمكاييل.
- خلال دراستك لمختلف العلوم منذ أولى سنواتك الدراسية استعملت عدة أجهزة قياس من أبسطها المسطرة لتحديد أطوال الأشكال الهندسية كالمربعات والمستطيلات والمنقلة لحساب الزوايا، وغيرها.

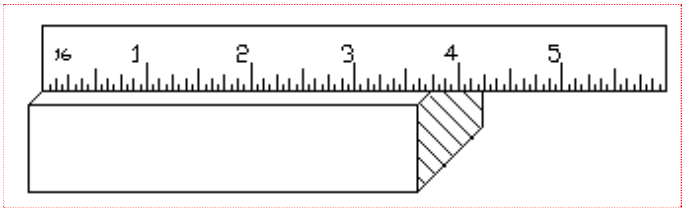
2-1 العناصر الأساسية لعلم القياس (المترولوجيا)

يعرّف علم القياس (المترولوجيا Metrology) بأنه: علم إجراء عملية القياس مع تحديد نسبة الخطأ المترتبة على عملية القياس. ومن هذا التعريف نلاحظ أن لعلم القياسات ثلاثة عناصر أساسية:

- عملية القياس Measurement
- نظام وحدات القياس الدولي International System of Units - SI
- مرجعية عملية القياس Traceability

1-2-1 عملية القياس Measurement

تعرف عملية القياس بأنها: عملية مقارنة بين البعد المُراد قياسه ووحدة قياس معلومة مجسدة في جهاز أو أداة قياس، كما هو موضح في الشكل (1-1).



شكل 1-1 قياس طول قطعة عمل والذي يمثل مقارنة الطول مع مسطرة القياس

تسمح عملية القياس بتحديد قيمة البعد المُقاس بقيمة عددية بالنسبة لوحدة قياس معلومة، فمثلاً نتيجة قياس أبعاد قطعة العمل باستخدام مسطرة القياس الموضحة في الشكل أعلاه، كانت النتيجة التالية:

$$\mathbf{L = 3.75\ in}$$
$$\mathbf{1\ in = 25.4\ mm}$$
$$\boldsymbol{L = 3.75 \times 25.4 = 95.25\ mm}$$

وتتم عملية القياس باستخدام أجهزة ومعدات خاصة مهيأة لأغراض القياس مثل أجهزة القياس Measurement Instruments أو محددات القياس Gages، كما مبين في الشكل (1-2).

شكل 1-2 بعض أنواع أدوات ومحددات القياس المستخدمة في الورش

تحوي نتيجة عملية القياس ثلاثة معلومات أساسية وهي:

- القيمة العددية التي من خلالها يحدد وصف البعد أو الخاصية المقاسة.
- وحدة قياس مناسبة متفق عليها في إطار نظم وحدات القياس مثل نظام وحدات القياس الدولي.
- نسبة خطأ معينة, إذ أن كل عملية قياس بها نسبة خطأ معينة تعود لأسباب متعلقة بأداة القياس أو مستخدمها وطريقة وظروف استخدامها.

2-2-1 طرائق إجراء عملية القياس

تجرى عملية القياس بطريقتين:

- **طريقة مباشرة Direct Measurement**

يتم القياس المباشر بمقارنة البعد المُراد قياسه مباشرة مع أداة أو جهاز القياس.

- **طريقة غير مباشرة Indirect Measurement**

القياس غير المباشر يتم عن طريق وسائل مساعدة مثل الفراجيل (سيتم التطرق لها لاحقاً)، وذلك باستشعار البعد المُراد قياسه ومن ثم مقارنته مع أداة قياس مثل المسطرة أو القدّمة ذات الورنية.

3-2-1 وحدات القياس الدولية International System of Units

لقد استخدم الإنسان على مر العصور القياسات لتحديد ومعرفة العوامل الفيزيائية المتواجدة في محيطه، ولتحديد ذلك كان توجهه باستخدام وحدات قياس طبيعية مستنبطة من محيطه، فقد استخدم الذراع والقدم لتحديد الأبعاد والأطوال كما استخدم وحدة الزمن المتمثلة في الليلة واليوم لتحديد المسافات البعيدة، كانت هذه المعايير ووحدات القياس كافية في العصور الأولى من التاريخ القديم رغم تنوعها واختلافها من مكانٍ إلى آخر. ومع التقدم الصناعي الذي واكب الثورة الصناعية في مطلع القرن الثامن عشر الميلادي، أصبحت هذه المعايير ووحدات القياس لا تفي بالغرض المطلوب. وقد دفعت ظروف الحرب العالمية الثانية إلى تطور صناعي مذهل كان أساسه تبادل المنتجات الصناعية مما أبرز الحاجة الماسة إلى توحيد نظم القياس على المستوى الدولي.

انبثق عن المؤتمر الدولي للقياسات المنعقد سنة 1960م **النظام الدولي لوحدات القياس** International System of Units والذي يرمز له (SI)، يحدد هذا النظام وحدات قياس الكميات الطبيعية التي يتعامل معها في الحياة الصناعية, الاقتصادية، والاجتماعية. يحوي النظام الدولي لوحدات القياس على وحدات قياس أساسية SI Basic Units المبينة في الجدول (1-1)، ولكل وحدة من الوحدات الأساسية معيار دولي معرّف لها بدقة متناهية ومحفوظ من قبل المنظمة العالمية للمقاييس (ISO). ما تبقى من الوحدات فهي وحدات مشتقة Derived Units من الوحدات الأساسية، كما هو موضح لبعضٍ منها في الجدول (1-2). ومن الجدير بالذكر أن جميع وحدات القياس بمختلف الأنظمة لها رموز متفق عليها في كل العالم، ويجب على الطالب أن يستخدم هذه الرموز ويكتبها بالطريقة الصحيحة المعروفة لها.

جدول 1-1 الوحدات الأساسية لنظام الوحدات العالمي

الكمية المقاسة	وحدة القياس	
	أسم الوحدة	الرمز
الطول	متر	m
الكتلة	كيلوغرام	kg
الزمن	ثانية	S
التيار الكهربائي	أمبير	A
درجة حرارة الديناميك الحراري	كلفن	K
شدة الإضاءة	شمعة	Cd

جدول 1-2 الوحدات المشتقة من نظام الوحدات العالمي SI-Derived Units

الكمية المقاسة	أسم وحدة القياس	رمز الوحدة	أساس الوحدة
القوة	نيوتن	N	كغم.م/ثا^2
الشغل والطاقة	جول	J	نيوتن.م
القدرة	واط	W	جول/ثا
الضغط	باسكال	Pa	نيوتن/م^2
فرق الجهد الكهربائي	فولت	V	واط/أمبير
المقاومة	أوم	Ω	فولت/أمبير

ويمكن ملاحظة أن جميع الوحدات غير الأساسية مشتقةٌ من الوحدات الأساسية لنظام الوحدات.

يستخدم المعيار الدولي لمعايرة المعايير الوطنية الموجودة على مستوى مختلف دول العالم والمحفوظة من قبل الهيئات الوطنية للمقاييس والمواصفات، مثل دائرة التقييس والسيطرة النوعية العراقية. وتوجد أيضاً معاملات للضرب تستخدم مع الوحدات الأساسية والمشتقة عند التعامل مع الأرقام الكبيرة مثل الكيلومتر الذي يساوي 1000 متر أو الأرقام الصغيرة مثل الميكرون الذي يساوي (10^{-6}) من المتر، والجدول (1-3) يبين بقية معاملات الضرب الأخرى ورموزها. إن وحدة المتر المستخدمة في النظام الدولي أخذت من النظام المتري الفرنسي. وبالموازاة مع هذا النظام يوجد هنالك النظام البريطاني الذي ما زال مستعملاً في بعض دول العالم، إذ يعتمد النظام البريطاني على وحدات القياس التالية: الميل, الياردة, القدم، والإنج، كما معرفة في الجدول (1-4)، ويرمز للإنج بالرمز (")، وعلى الفني والمهندس أن يعرف قانون التحويل كما ويمكنه استعمال بعض الجداول المتواجدة في ورش العمل.

جدول 1-3 معاملات الضرب للوحدات المعروفة

معامل الضرب	اسم المعامل	الرمز	معامل الضرب	اسم المعامل	الرمز
10^{12}	تيرا	T	10^{-1}	ديسي	d
10^{9}	كيكا	G	10^{-2}	سنتي	c
10^{6}	ميكا	M	10^{-3}	ميلي	m
10^{3}	كيلو	K	10^{-6}	مايكرو	µ
10^{2}	هيكتو	H	10^{-9}	نانو	n
10	ديكا	da	10^{-12}	بيكو	p

جدول 1-4 بعض العلاقات بين النظام العالمي والبريطاني للوحدات

قيمتها في النظام الدولي SI	رمزها وقيمتها	الوحدة البريطانية	
1 mile = 1.609 km	1 mile = 1760 yard	mile	الميل
1yd = 91.44 cm	1 yard = 3 ft	yard	الياردة
1 ft = 30.48 cm	1 ft = 12 in	foot	القدم
1 in = 25.4 mm	In	inch	البوصة

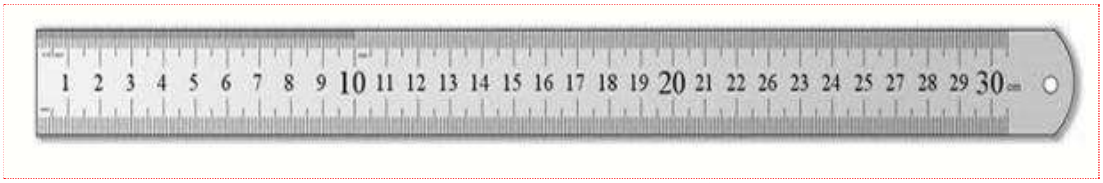
3-1 أدوات القياس Measurement Tools

يُعد قياس الأبعاد من بين أهم العمليات التقنية التي نقوم بها خلال عمليات التشغيل والإنتاج الصناعي للقطع بحيث تلعب هذه العملية دوراً مهماً في تصنيع القطع حسب المواصفات الفنية وبالتالي ضمان جودتها. تستعمل كذلك القياسات الدقيقة كأداة تقييم للعمليات الإنتاجية وضمان تصنيع منتجات تحقق مستوى الأداء المطلوب. وبالرغم من التقدم التكنولوجي الهائل في مجال القياسات الذي سمح بتوفير أجهزة ومُعدات إلكترونية دقيقة ومعقدة لقياس الأبعاد, إلا أن أدوات القياس البسيطة تبقى الرائدة في مجال القياسات في ورش التشغيل والمختبرات التدريبية. ومن أهم هذه الأدوات والتي ما زالت وستبقى إلى أجلٍ غير مسمى في متناول العاملين لإجراء القياسات المطلوبة، هي كالآتي:

1. **أدوات قياس الأطوال**
2. **أدوات قياس الزوايا**
3. **أدوات القياس الناقلة**
4. **قياس الأبعاد باستعمال القدّمة ذات الورنية**
5. **قدود ومحددات القياس**
6. **المايكرومتر وأنواعه**

1-3-1 أدوات قياس الأطوال

تتكون أدوات قياس الأطوال من المساطر الفولاذية، والمقاييس الشريطية. القياس بالمسطرة الفولاذية هو أقدم وأبسط طرائق القياس، وبالرغم من تحقيق تقدم كبير في أدوات وأجهزة القياس الدقيقة، إلا أن المساطر ما زالت تستخدم للقياس في الورش والمصانع لحد الآن بجانب تلك الأدوات. وتستعمل عادة في إجراء القياسات العادية لقطع العمل وفي نقل الأبعاد من الرسومات والتصاميم إلى مواد العمل والقطع المصنعة. وتستعمل المساطر المصنوعة من الخشب أو البلاستك للرسومات الهندسية، ونظراً لأن المساطر التي تستخدم في الورش تتعرض للتلوث بالزيوت والشحوم، لذلك فإنها تصنع من الفولاذ غير قابل للتآكل لمقاومتها وعدم تأثرها بالزيوت، إضافة إلى مقاومتها للخدش كما يسهل تنظيفها. تُعرفْ المسطرة المذكورة (بالقدم) حيث يبلغ طولها المعتاد 300 مليمتر وهي تتماثل تقريباً مع طول القدم الذي يساوي تقريباً (12) إنج. وتصنع المساطر أيضاً بأطوال مختلفة منها ما يلي: 200، 250، 300، 500، 600 مليمتر وتتدرج في الأطوال لتصل إلى 2000 مليمتر أي 2 متر، والشكل (1-3) يبين مسطرة فولاذية متدرجة.



شكل 1-3 مسطرة فولاذية مدرجة

من الصعب قياس الأطوال الكبيرة بالمساطر، لذلك فقد تم تصميم وتصنيع أشرطة قياس لاستخدامها بقياس قطع العمل الطويلة فضلاً على قياس الأبعاد الطويلة. وشريط القياس عبارة عن علبة مصنوعة من الفولاذ أو اللدائن ومثبت بداخلها شريط معدني من الفولاذ المرن الرقيق وبأطوال مختلفة تزيد عن 1 متر، ويتم تثبيت نهاية الشريط بنابض التوائي بداخل العلبة، الغرض منه سهولة وسرعة دخول الشريط داخل العلبة بعد إتمام عملية القياس، كما مبين في الشكل (1-4 أ). وتتوفر أشرطة قياس إلكترونية رقمية يتم فيها عرض القياسات على شاشة رقمية، كما هي موضحة في الشكل (1-4 ب)، وتأتي معه ذاكرة داخلية لتخزين القياسات، كما يمكن من خلاله التحويل بين عدد من أنواع وحدات القياس المختلفة مثل قدم، إنج، سم، وغيرها، ويمكن استخدامه كمتر عادي عند توقف البطارية.

شكل 1-4 أشرطة قياس، أ- اعتيادي، ب- إلكتروني رقمي

2-3-1 أدوات قياس الزوايا Angular Measurements

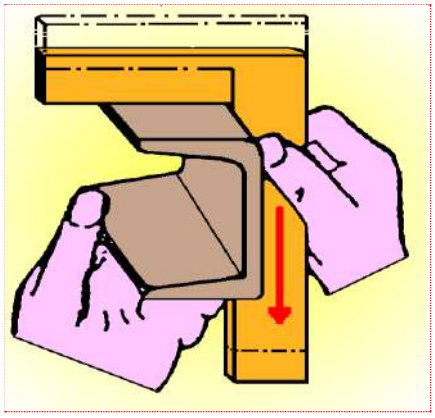
يتم تخطيط وقياس الزوايا المختلفة (الحادة، القائمة، والمنفرجة) باستخدام زوايا ثابتة، وهي أدوات قياس ذات قيم ثابتة، أو باستخدام زوايا متحركة وهي أدوات قياس قابلة للضبط مزودة بمعايير مدرجة لتحديد قيم الزوايا المطلوب قياسها أو فحصها أو تخطيطها. تصنع الزوايا الثابتة من الفولاذ متوسط الصلادة الذي لا يتآكل، إذ تُقسى ويتم تشطيبها بالتجليخ المستوي وتكون مستطيلة المقطع والجزء العلوي منها يسمى الوجه ذو سمك رقيق أو مشطوف ليساعد على وضوح الرؤيا في أثناء استخدامها لفحص استواء المشغولات ولضبط الزوايا، كما هو موضح في الشكل (1-5). تتكون الزوايا الثابتة الموضحة في الشكل (1-6) من جانبين محصور بينهما ثلاثة زوايا مختلفة، وكما يأتي:

أ- زاوية قائمة مقدارها 90° وهي الأكثر استعمالاً، وتستخدم لفحص دقة استواء الأسطح المتعامدة بطريقة الشق الضوئي، وكأداة مساعدة في عملية التخطيط.

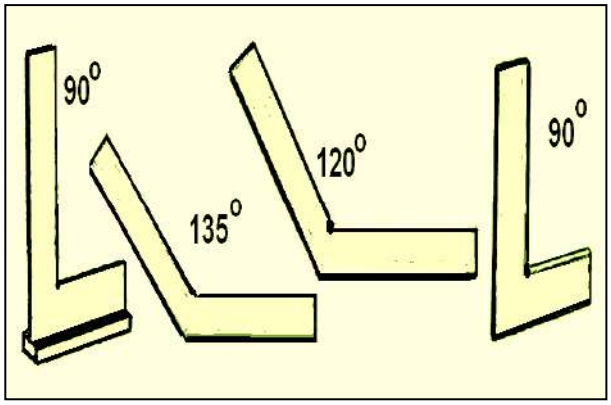
ب- زاوية منفرجة مقدارها 120°

ج- زاوية منفرجة مقدارها135°.

وتوجد زوايا ثابتة حادة كالزاوية 30°، 45°، 60°، وهما أقل استعمالاً، كما توجد الزاوية القائمة بعدة أشكال منها ذات الساقين مختلفي السمك وذات القاعدة وهي تماثل الزاوية القائمة مع إضافة قاعدة على شكل جناحين.



شكل 1-5 فحص الاستواء والتعامد

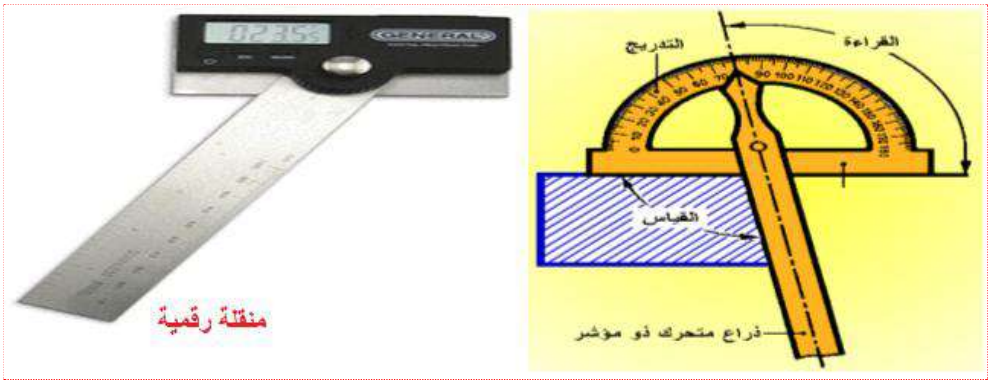


شكل 1-6 أنواع الزوايا الثابتة

تصنع الزوايا المتحركة أيضاً من الفولاذ متوسط الصلادة الذي لا يتآكل، وهي تتكون من جزئين أو أكثر وقد صُممت الزوايا المتحركة بعدة أشكال والغرض منها هو قياس زوايا قطع العمل المختلفة ومنتجاتها، وأنواعها هي الزاوية المتحركة البسيطة لضبط ورسم أية زاوية بخلاف الزاوية القائمة، حيث تعتمد على نقل الزوايا إلى الأجزاء المراد تخطيطها وتشغيلها، وتتوفر منها أنواع إلكترونية رقمية يمكن قراءة الزاوية المطلوبة من خلال شاشة الأداة، كما هو موضح في الشكل (1-7).

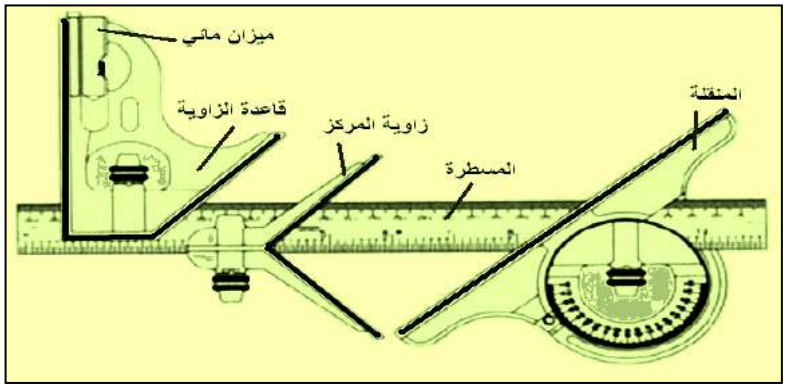
شكل 1-7 زاوية متحركة إلكترونية رقمية

المنقلة البسيطة Plate Protractor التي تسمى بمنقلة فني البرادة، وهي أبسط أداة تستعمل في قياس زوايا القطع الميكانيكية والمنتجات، إذ يمكن قياس زاوية بدقة واحد درجة أو نصف الدرجة، وهي عبارة عن منقلة عادية مدرجة من صفر إلى 180 درجة ومزودة بذراع القياس الذي يتحرك حول محور المنقلة، في نهاية الذراع يوجد مؤشر لتحديد قيمة قراءة الزاوية على المنقلة، وتستعمل هذه المنقلة لقياس زوايا قطع العمل أو القطع المنتجة، والأسطح المائلة الخارجية، فضلاً على قياس السُلبة وقياس زاوية ريشة المثقاب، كما تستخدم في عمليات التخطيط (Layout) والشنكرة. وتتوفر أيضاً منقلة إلكترونية لقياس الزاويا بكافة درجاتها مزودة بشاشة رقمية سهلة القراءة، لاحظ الشكل (1-8).



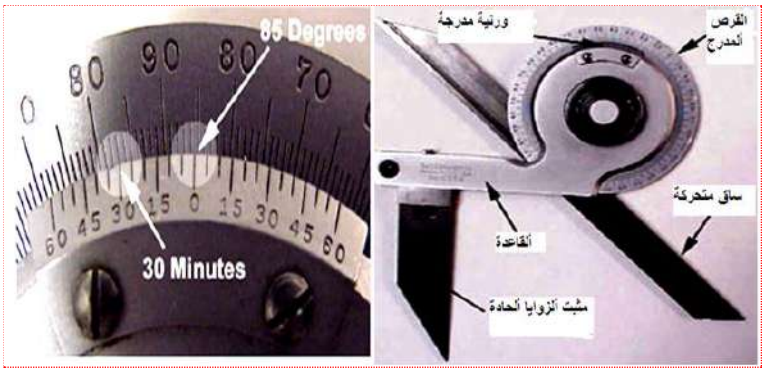
شكل 1-8 منقلة لقياس زوايا قطع العمل

أما المنقلة المحورية العامة Combination Squares هي منقلة متعددة الاستعمالات، إذ تستخدم لقياس وفحص ورسم الزوايا المختلفة بالدرجات والدقائق، وفحص استواء الأسطح باستخدام ميزان الماء، وتخطيط قطع العمل الأسطوانية وتحديد المراكز، كما تستخدم كزاوية قائمة لتخطيط وقياس وفحص قطع العمل العمودية، وتسمى كذلك بالزاوية المؤتلفة لأنها تتكون من عدة قطع للاستعمالات المذكورة آنفاً، وتتكون المنقلة المحورية العامة من الأجزاء الموضحة في الشكل (1-9).



شكل 1-9 أجزاء المنقلة المحورية العامة

والمنقلة ذات الورنية أو المنقلة المحورية الدقيقة Universal Bevel Protractor هي أحدى أدق أجهزة قياس الزوايا لقطع العمل المستعملة في ورش التشغيل والمختبرات، إذ يمكن بواسطتها قياس زوايا بدقة 12/1 درجة أي ما يعادل 5 دقائق، والشكل (1-10) يوضح الأجزاء المكونة للمنقلة المحورية الدقيقة ونموذج من طريقة القياس (قياس القرص المدرج 85 درجة وقياس الورنية 30 دقيقة).



شكل 1-10 المنقلة ذات الورنية لقياس الزوايا الدقيقة مع نموذج من طريقة القياس

1-3-3 أدوات القياس الناقلة (الفراجيل)

أدوات القياس الناقلة هي عبارة عن مجموعة من الفراجيل مختلفة الأشكال، وتسمى بأدوات القياس الناقلة حيث إنها تنقل الأبعاد المختلفة من المساطر أو من المنتجات إلى القطع المراد تشغيلها أو تشكيلها، كما تستخدم في عمليات التخطيط والشنكرة. وتصنع الفراجيل من الفولاذ الذي لا يتآكل أو من الفولاذ متوسط الصلادة، ويتكون الفرجال من ساقين مثبتين بمسمار بحيث يكونان قابلين للحركة، وتختلف أشكال الفراجيل باختلاف استخدامها، وهي أدوات مساعدة لإجراء عملية القياس للأبعاد بطريقة غير مباشرة، إذ أنها تسمح بنقل قيمة البعد المُراد قياسه من قطعة العمل إلى جهاز القياس، وتستعمل هذه الوسائل في الحالات التي يتعذر فيها وصول أدوات القياس إلى البعد المقاس، وأنواع الفراجيل هي:

1. فرجال القياس الخارجي
2. فرجال القياس الداخلي
3. فرجال التقسيم
4. فرجال الشوكة

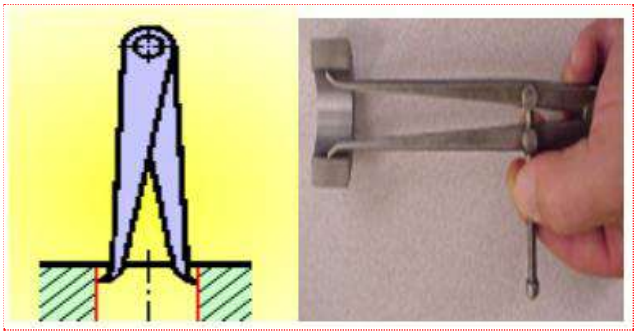
1- فرجال القياس الخارجي

يسمى هذا النوع بالفرجال الكروي ويعرف من ساقيه المنحنيتين على شكل قوس، وتصنع فراجيل القياس الخارجي بأشكال مختلفة لتلبي كافة القياسات، ويستخدم لقياس ومراجعة الأقطار والأبعاد الخارجية لقطع العمل في أثناء تشغيلها ويراعى أن يكون وضع الفرجال بصورة عمودية على محور الشغلة أثناء استخدامه لقياس المشغولات، وينصح برفع الفرجال بلطف بعد إتمام عملية قياس قطر أو بُعد قطعة العمل وتستخدم المسطرة الفولاذية لمعرفة القياس، كما هو موضح في الشكل (1-11).

شكل 1-11 فرجال القياس الخارجي وطريقة استعماله

2- فرجال القياس الداخلي

يسمى أيضاً بالفرجال المقص ويعرف من ساقيه المستقيمتين المنحنية نهايتيهما إلى الخارج. وتصنع هذه الفراجيل بتصميمات مختلفة لتلبي كافة القياسات وتستخدم فراجيل القياس الداخلية في قياس الأقطار والأبعاد الداخلية، كما تستخدم في اختبار توازي الأسطح الداخلية للمشغولات. ويراعى أن يكون طرفي ساقي حدي القياس بشكل كروي ليكون موضع تلامس ساقي الفرجال أثناء القياس على شكل نقطة. والشكل (1-12) يوضح الطريقة الصحيحة لقياس الأقطار والأبعاد الداخلية لقطع العمل، وذلك بارتكاز أحد ساقي الفرجال وحركة الساق الآخر حركة على شكل قوس مع زيادة فتحة الفرجال حتى تلامس طرفي ساقي الفرجال على السطح الداخلي للمشغولة مع تطابق محور الفرجال مع محورها.

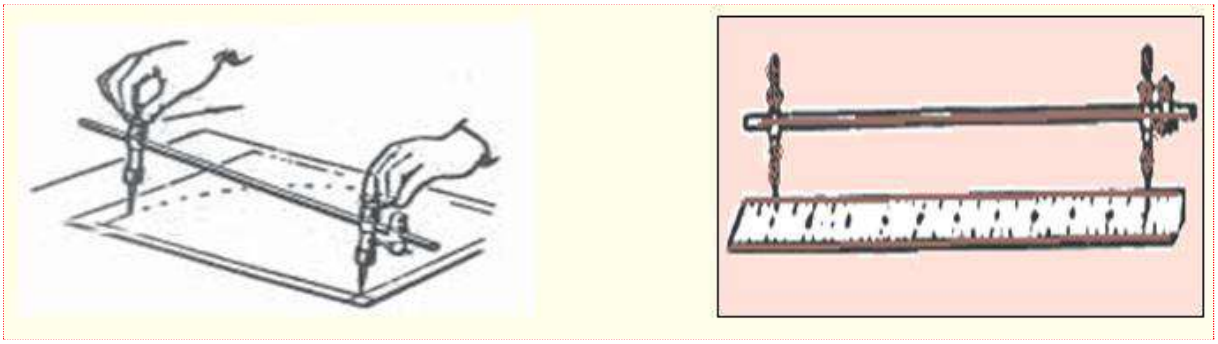


شكل 1-12 فرجال القياس الداخلي وطريقة استعماله

3- فرجال التقسيم

يتكون فرجال التقسيم من ساقين مستقيمتين نهايتيهما مدببة ويستخدم في تقسيم المسافات ونقل الأبعاد على سطح قطعة العمل بالاستعانة بالمسطرة الفولاذية، كما يستخدم في عمليات التخطيط والشنكرة لرسم الأقواس والدوائر، كما موضح في الشكل (1-13). وهناك نوع آخر من فرجال التقسيم يسمى فرجال التقسيم ذو الورنية، ويستخدم فرجال التقسيم ذو الورنية في قياس وتقسيم المسافات الطويلة، وتخطيط الأقواس والدوائر ذات الأقطار الكبيرة التي يزداد قطرها على مدى قياس فرجال التقسيم الاعتيادي، ويتشابه مع النوع العادي من حيث وجود ساقين مستقيمين ينتهي كل منهما برأس مدبب على شكل شوكة، لاحظ الشكل (1-14).

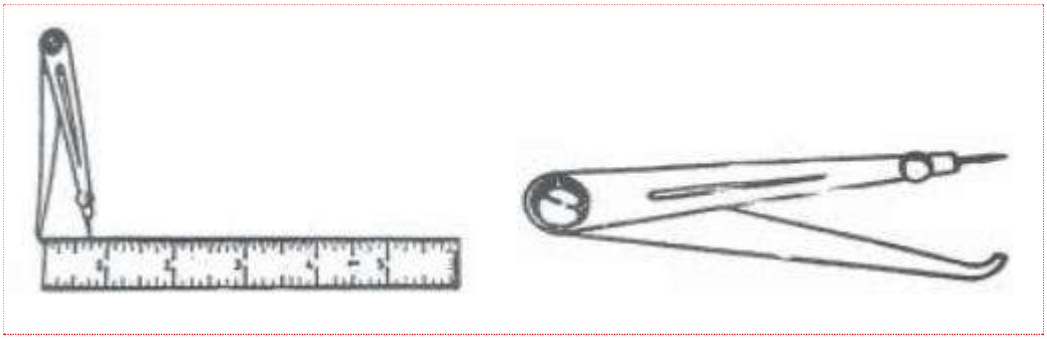
شكل 1-13 فرجال التقسيم الاعتيادي



شكل 1-14 فرجال التقسيم ذو الورنية وطريقة استعماله

4- الفرجال ذو الشوكة

يتكون الفرجال ذو الشوكة من ساقين أحدهما يماثل إحدى ساقي فرجال القياس الخارجي، والساق الأخرى تماثل إحدى ساقي فرجال التقسيم، كما موضح في الشكل (1-15). وتستخدم المسطرة الفولاذية لتحديد قياس الفرجال ذو الشوكة وذلك بإسناد طرف الفرجال المنحني على حافة المسطرة، بينما تتحرك الساق الأخرى للفرجال لتنطبق على القياس المطلوب. يستخدم هذا النوع في عمليات التخطيط والشنكرة وذلك لرسم الخطوط المتوازية للسطوح الجانبية الخارجية للمشغولات، كما يستخدم لرسم الخطوط المتوازية للسطوح الجانبية الداخلية للمشغولات، وللحصول على أفضل النتائج يجب أن يكون الفرجال بشكل عمودي على قطعة العمل.

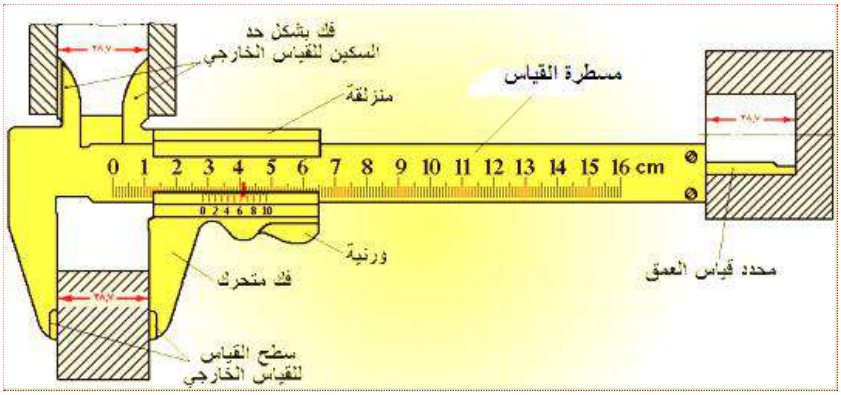


الشكل 1-15 الفرجال ذو الشوكة وطريقة نقل القياس من المسطرة الفولاذية

1-3-4 قياس الأبعاد باستعمال القدّمة ذات الورنية

خلال عمليات التشغيل والتشكيل المختلفة ومن حين لآخر يقوم الفني بالتحقق من مطابقة أبعاد قطع العمل مع المواصفات الموضوعة على التصاميم سواء من ناحية الشكل، أو الأبعاد أو جودة الأسطح. ولا يمكن أن يتحقق ذلك إلا عن طريق إجراء عمليات القياس على هذه المتطلبات. إن جودة المنتجات الصناعية تستدعي تصنيع قطع ميكانيكية بدقه عالية تتجاوز دقة المسطرة الحديدية, لذا فإن القياسات الدقيقة تستلزم استعمال أدوات أكثر دقة مثل القدّمة ذات الورنية والمايكرومتر، كما تستعمل هذه الأدوات الدقيقة أثناء تركيب الماكينات وأدوات القطع وأثناء إجراء عمليات الصيانة عليها. وتُعد القَدَمات بأنواعها وأشكالها المختلفة هي الأدوات الأكثر انتشاراً في الورش والمصانع وتتكون القدّمة كما موضحة في الشـــــــكل (1-16) من الأجزاء الآتية:

1. المسطرة (قضيب القياس): يوجد عليها التقسيم الرئيس بالمليمتر والإنج.
2. الفك الثابت: يوجد في بداية المسطرة ويستخدم كمرجع مع الفك المتحرك لقياس الأبعاد الخارجية والداخلية.
3. الفك المتحرك: ويشارك الفك الثابت لقياس الأبعاد الخارجية.
4. حد القياس الثابت: مثبت بالمسطرة ويستخدم مع حد القياس المتحرك بقياس الأبعاد الخارجية والداخلية.
5. حد القياس المتحرك: مثبت بالقدّمة المنزلقة ويستخدم مع حد القياس الثابت لقياس الأبعاد الداخلية.
6. الورنية المنزلقة: تنزلق على المسطرة وتحمل التقسيم المساعد بالمليمتر والإنج.
7. التقسيم المساعد: يقوم بتكبير الأجزاء الصغيرة من الأبعاد لتسهيل قراءتها وتحديدها.
8. ساق قياس الأعماق: وهو مثبت بالورنية المنزلقة ويتحرك معها ويستخدم لقياس أعماق الثقوب والمجاري والارتفاعات.
9. مسمار التثبيت: مهمته تثبيت الورنية المنزلقة على القياس المطلوب.



شكل 1-16القدّمة ذات الورنية

وتعُد القَدَمة ذات الورنية من بين أهم أجهزه القياس المستعملة في الورش الميكانيكية بصفة عامة وورش التشغيل بصفة خاصة. ترجع هذه الأهمية للإمكانات المتعددة للقدّمة في قياس الأبعاد مقرونة مع سهولة الاستعمال زيادة على دقتها الممتازة. وتتدرج أطوال القدمة لإمكان استخدامها للمشغولات ذات الأبعاد والأقطار التي تتراوح بين 150-1500 مليمتر.

طريقة قراءة قياس القَدَمة ذات الورنية:

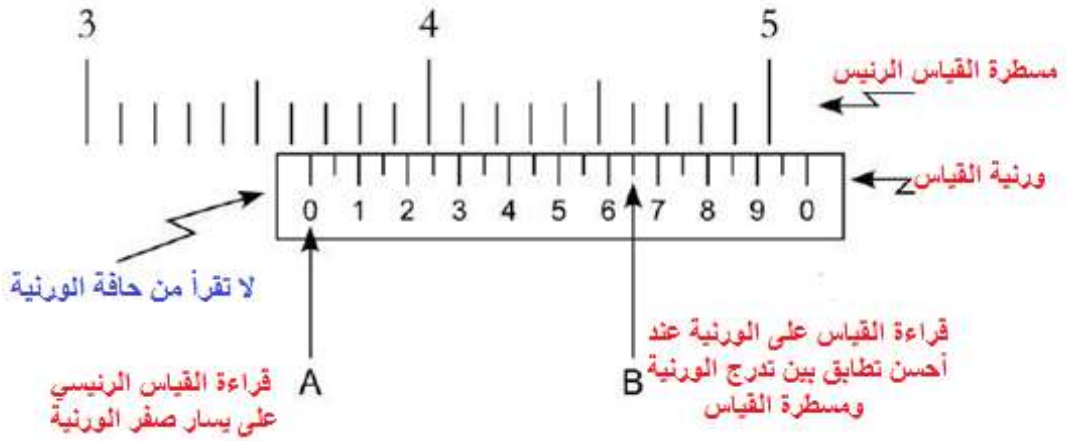
تتم عملية قراءة قياس القَدَمة ذات الورنية على مرحلتين أساسيتين:

أولاً: ينظر إلى ورنية القياس وبالتحديد إلى موقع الصفر ويتم قراءة العدد الذي على يساره والمسجل على مسطرة القياس الرئيس. وتسجل قيمة القراءة (A) بالمليمترات الصحيحة.

ثانياً: ينظر ابتداءً من صفر المسطرة ويحدد أول تطابق تام بين تدرجي المسطرة والورنية ثم يقرأ عدد تدرج الورنية المسجلة مع التطابق، يضرب هذا العدد في دقة الورنية ويكون ذلك قيمة قراءة الورنية (B) بأجزاء المليمتر. ويكون حاصل جمع قيمة (A) وقيمة (B) نتيجة قيمة القياس على جهاز القدمة ذات الورنية. ويتم تحديد دقة الورنية من لوحة تفاصيل الجهاز وعادة ما تكون مسجلة على الجهاز.

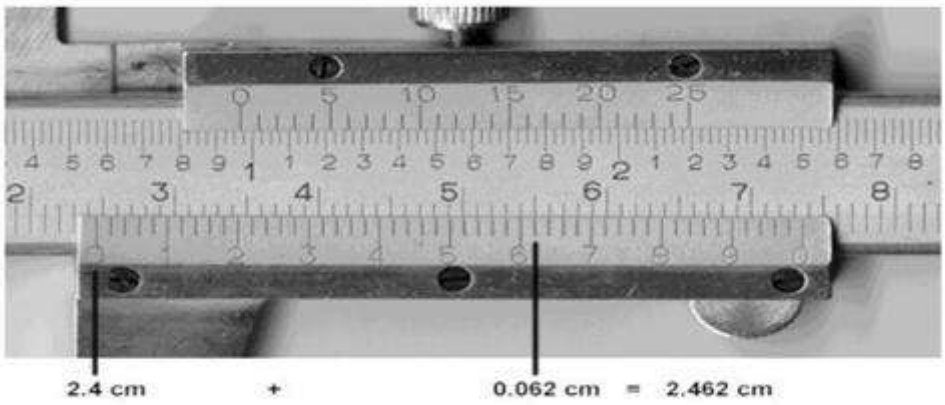
- بصفة عامة إذا كان عدد التدرجات على الورنية ن = 50 (نسمي هذه الورنية الخمسينية) وتكون دقتها $\frac{1}{50} = 0.02\ mm$
- إذا كان عدد التدرجات على الورنية ن = 20 (نسمي هذه الورنية العشرينية) وتكون دقتها تساوي $\frac{1}{20} = 0.05\ mm$

الصورة التالية توضح الطريقة الصحيحة لقراءة القياس على القَدَمة ذات الورنية. وتجدر الإشارة أن الأخطاء الشائعة في أوساط بعض الفنيين قراءة القياس الرئيس من على حافة الورنية، والصحيح يجب القراءة على صفر الورنية، ويترتب على هذا الخطأ في القراءة خطأ قياس يتعدى 2 mm مع كل قياس.



دقة الجهاز = 1 / 20 = 0.05 mm (القدمة العشرينية)		
القياس الرئيس	**A**	36 mm
قياس الورنية	**B**	13 × 0.05 mm = 0.65 mm
قيمه القياس على الجهاز	**A + B**	36 + 0.65 = 36.65 mm

مثال تطبيقي: ما هو القياس بحسب الشكل (1-17)؟



شكل 1-17 مثال تطبيقي على قياس القدّمة

دقة الجهاز = 1 / 50 = 0.02 mm (القدمة الخمسينية)		
القياس الرئيس	**A**	24 mm = 2.4 cm
قياس الورنية	**B**	31 × 0.02 *mm* = 0.62 mm
قيمة القياس على الأداة	**A + B**	24 + 0.62 = 24.62 mm

توجد أنواع متعددة من القدّمات المستعملة لقياس الأبعاد في المختبر وفي الورش، ومن بين أهم الأنواع هي الآتي:

1- القدّمة ذات الورنية (Vernier Caliper):

يتم إستعمال وقراءة القياس على الجهاز بالطريقة التي تم شرحها في الأجزاء السابقة.

2- القدّمة الإلكترونية أو الرقمية (Digital Caliper):

تستعمل القدّمة الإلكترونية بنفس الطريقة المذكورة للقدّمة ذات الورنية إلا أن قراءة نتيجة القياس تكون مباشرة على الشاشة الرقمية كما موضح في الشكل (1-18)، يتميز هذا النوع بسهولة إستعماله ولكنه حساس وقد تتأثر دقته بالحرارة أو الرطوبة أو المواد الكيمياوية.

3- القدمة ذات الساعة (Dial Caliper):

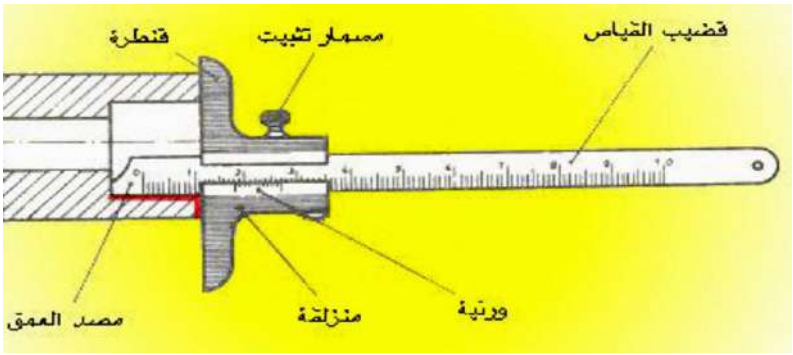
تتشابه القدمة ذات الساعة مع القدمة ذات الورنية، مع اختلاف الساعة والمؤشر الذي يشير إلى القياس بدلاً من تدريج المسطرة وتقسيم الورنية. تعتبر مسطرة القدمة بمثابة جريدة مسننة يتحرك عليها ترس صغير ينقل الحركة إلى مجموعة تروس أخرى ليتحرك المؤشر حركة دائرية ليشير إلى قراءة القياس، والغرض من استخدام هذا النوع هو لسهولة قراءة القياسات المختلفة على الساعة من خلال المؤشر، والشكل (1-19) يبين هذا النوع.

شكل 1-18 القدّمة الرقمية

شكل 1-19 القدّمة ذات الساعة

4- قدمة قياس الأعماق (Depth Caliper)

تستخدم قدمة قياس الأعماق في قياس أعماق وأطوال الثقوب، وقد صممت بذراعين ممتدين لارتكازهما على أسطح المشغولات المراد قياس أعماقها ضماناً لتثبيتها على قطع العمل بشكل أفقي. ويتميز القياس لهذا النوع عن القياس بالقدّمة ذات الورنية بالدقة وذلك لارتكاز ذراعي الورنية، والشكل (1-20) يوضح قدمة قياس الأعماق وأجزائها.



شكل 1-20 قدّمة قياس الأعماق

5- قدمة قياس الارتفاع (Height Caliper):

وتُعد من أهم أدوات التخطيط والشنكرة وسيتم التطرق إليها ضمن عمليات التخطيط والشنكرة. وتستعمل هذه القدّمة لقياس ارتفاع قطع العمل وفي وضع العلامات عليها (أي عملية الشنكرة) ولذا يمكن تسمية هذه الأداة بالشنكار، لاحظ الشكل (1-21).

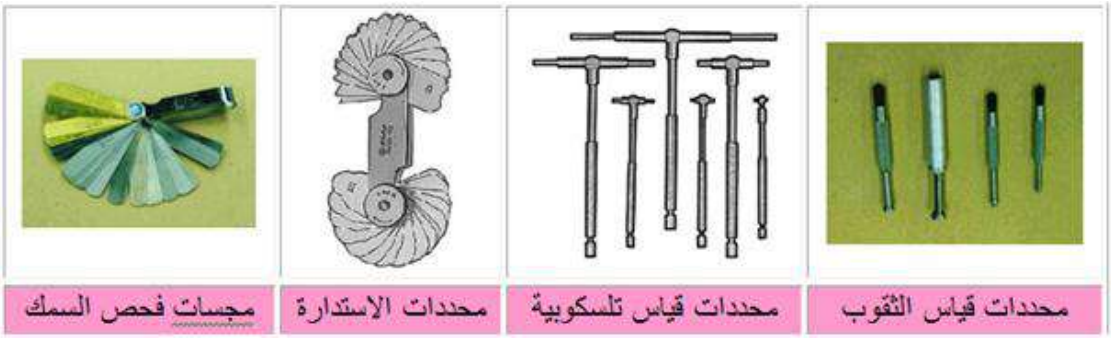
شكل 1-21 قدّمة قياس الارتفاع

1-3-5 قدود ومحددات القياس

تتسم الصناعات الميكانيكية المعاصرة بأنها صناعات ذات إنتاج كمي (Mass Production) أي أنه ينتج كميات كثيرة من المنتجات، وللتفتيش عنها جميعاً إذا كانت القطع مصنعة بحسب المواصفات القياسية فإن عمليات القياس قد تكون غير عملية لما يتطلب وقت وجهد كبيرين، لذا تستعمل في هذه الحالة القدود ومحددات القياس. فقدود القياس هي تلك الأدوات التي تصنع لتكون نسخة مطابقة تماماً للجزء المراد التفتيش عليه، وذلك من حيث البعد أو القياس المطلوب التحقق منه. أما محددات القياس (Gauges) فتصمم ليكون لكل مقياس حدين إحداهما أعلى والآخر أدنى، فهي تعتبر أدوات تمثيل لأبعاد أو أشكال بقيم معينة وثابتة ودقيقة جداً وباستعمالها لا يمكن الحصول على قيم عددية للقياس وإنما يمكن التأكد مما إذا كان البعد أو الشكل مطابقاً للمواصفات.

بصفة عامة، تستعمل محددات القياس لفحص واختبار المقاسات والأشكال عن طريق المقارنة وهذا هو المقصود بعملية التفتيش عن جودة المنتجات، إذ يتم التحقق من وقوع القياس بين الحدين الأعلى والأدنى باستعمال محددي قياس إحداهما يمكنه الدخول في الجزء المطلوب مراجعة قياسه ويكتب عليه كلمة (دخول) والمحدد الثاني لا يدخل في نفس الجزء ويكتب عليه عبارة (لا دخول) طالما كان القياس الفعلي واقعاً بين حدي القياس المنصوص عليهما في المواصفات الفنية، ويكون الفرق بينهما مساوياً لمقدار التفاوت في القياس الجاري التفتيش عليه. عادة ما تكون محددات القياس مصنعة من الفولاذ السبائكي ذو المقاومة العالية للتآكل الاحتكاكي وهذا ما يسمح لها بالمحافظة على دقتها العالية لمدة اشتغال طويلة. وتتوفر أنواع عديدة من محددات القياس التي تستعمل بكثرة في ورش التشغيل وفي المجالات الصناعية المختلفة، إلا أنها جميعاً تمتاز بالتحقق من الأبعاد والقياسات بسرعة، كما إن استعمالها لا يحتاج إلى مجهود فكري كما في حالة أدوات القياس الدقيقة ولا ينطوي على خطأ كبير في التقدير أو التطبيق، والشكل (1-22) يوضح بعض أنواع محددات القياس.

-أ- محددات قياس اللوالب الحلقية



-ب- محددات القياس البسيطة

-ج- استعمالات محددات القياس

شكل 1-22 بعض أنواع محددات القياس

1-5-3-1 ساعات القياس Dial Gages

ساعات القياس هي عبارة عن محددات قياس ذات قرص مدرج أو مبين تستعمل لتحديد قيم انحرافات مقاسات وأبعاد القطع المصنعة عن الأبعاد المنصوص عليها في المواصفات والتصاميم، تتكون أساساً من إصبع استشعار وعمود تثبيت وتدريج ثابت وآخر قابل للدوران، لاحظ الشكل (1-23). عند استعمال ساعة القياس يجب تثبيتها على سطح مستوي وعن طريق تحريك إصبع الاستشعار على السطح المراد فحصه تنتقل انحرافات الأبعاد عن طريق الإصبع إلى المؤشر على الساعة المدرجة بتدرج يساوي 100/1 مليمتر أي 0.01 ملليمتر، ومنه يمكن تحديد قيم الانحرافات على السطح المقاس. عادة ما تستعمل هذه الطريقة في ورش التشغيل لفحص استواء الأسطح واستدارة الأعمدة ومقارنة الأبعاد مع قوالب القياس.

شكل 1-23 ساعة قياس دقيقة

1-5-3-2 قوالب القياس

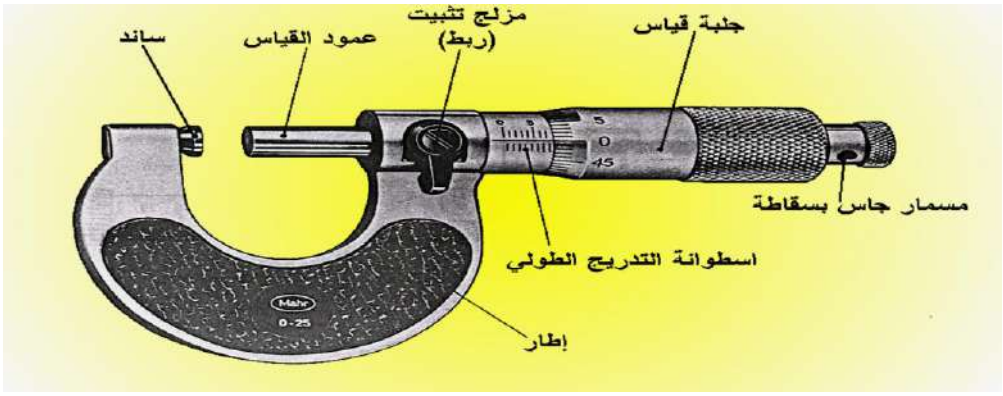
تُعد قوالب القياس من الدعامات الأساسية في عمليات قياس الأبعاد فهي من أهم أنواع محددات القياس التي تعد مرجع لاختبار دقة معدات القياس وتحديد مقدار الخطأ في قراءات تلك المعدات، إلى جانب الدور الأساس في مجال قياس الأبعاد تستخدم قوالب القياس في إجراء بعض عمليات القياس البسيطة وقوالب القياس عبارة عن مجموعة من القوالب كلاً منها على شكل متوازي مستطيلات، ويكون مقطعها على شكل مستطيل أو مربع ويتم تصنيعها من سبيكة الفولاذ المقسى والمعامل حرارياً بحيث يتم رفع درجة حرارتها بشدة ثم تبريدها بصورة متتالية ليؤدي ذلك إلى خلو السبيكة من أي إجهادات داخلية، وذات سطوح ناعمة جداً. ويتوفر في كل مجموعة قوالب، قالبان يسميان قالبي مقاومة التآكل (يكون سمك كلاً منهما 1 أو 2 ملم) وهما معالجان معالجة خاصة لمضاعفة مقاومتها للتآكل نتيجة الاستعمال المتكرر للقوالب والاحتكاك مع اسطح القياس. إذ يتم وضع المجموعة المختارة من قوالب القياس بين هذين القالبين حتى يكونا متلامسين مع سطحي القياس ويجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار قسمة سمك قالبي القياس عند حساب البعد المقاس، لاحظ الشكل (1-24).

وقد ظهر حديثاً قوالب قياس مصنوعة من السيراميك (CERA Blocks) وتمتاز هذه النوعية من القوالب عن تلك المصنوعة من الفولاذ بخفة وزنها ومقاومتها العالية للتآكل التي تفوق مقاومة الفولاذ بعدة أضعاف، كما أن معامل تمددها الحراري منخفض. وسيتم من خلال التدريب العملي التعرف على أطقم قوالب القياس وقياساتها.

الشكل 1-24 قوالب القياس

6-3-1 المايكرومتر وأنواعه Micrometer

المايكرومتر هو أحد أدق أجهزة قياس الأبعاد المتوفرة في ورشات التشغيل والمختبرات، إذ أن دقته عادة ما تكون 0.01 مليمتر وقد تصل في بعض الأجهزة فيما دون ذلك مثل 0.001 مليمتر، وفضلاً على دقته يتميز المايكرومتر باستعمالاته المتعددة في قياس الأبعاد وسهولة استخدامه، يعتمد عمل المايكرومتر على الحركة الدورانية للولب أو القلاووظ، ويتكون المايكرومتر للقياس الخارجي كما هو موضح بالشكل (1-25) من جزئين أساسيين:



شكل 1-25 أجزاء المايكرومتر الرئيسة

1-الجزء الثابت: يحتوي على إطار أو هيكل الأداة بشكل حرف (U) لحمل بقية الأجزاء الثابتة والمتحركة، ويسند كل من العمود الساند وعمود القياس Measuring Rod Spindle الذين يستعملان لتثبيت الشغلة المراد قياس أبعادها، كذلك يحمل إطار الجهاز التدرج الرئيس للقياس أو أسطوانة التدرج الطولي Main Scale Sleeve، ويكون التدرج الرئيس للقياس مدرج بواحد مليمتر من جهة ونصف مليمتر من الأسفل.

2- الجزء المتحرك: الجزء الأساس المتحرك هو جلبة القياس (Sleeve) التي إذا تم تحريكها حركة دورانية عن طريق مسمار (Ratchet Knob) فيتحرك عمود القياس لتثبيت الشغلة المراد قياسها، عادة ما يكون محيط جلبة القياس مقسم إلى 50 تدرج وعند تحريكها دورة كاملة يكون التقدم بمقدار نصف مليمتر.

ويمكن استنتاج حساسية الجهاز أو دقة الجهاز كما يأتي:

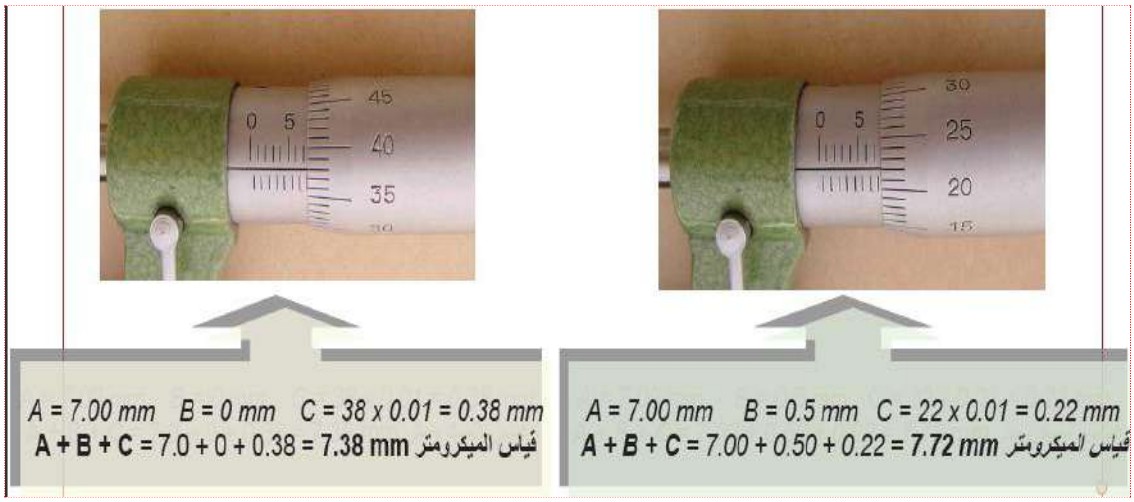
$$\frac{0.5}{50} = \frac{1}{100} = 0.01\ mm$$

1- قراءة القياس الرئيس

يكون النظر على حافة جلبة القياس وتقرأ قيمة التدرج المسجل على أسطوانة التدرج الطولي بالمليمتر وتسجل قيمة A، لاحظ وجود أي تدرج 0.5 ملم على أسطوانة التدرج الطولي بعد قيمة A: في حالة وجود هذا التدرج أضف قيمة B = 0.5 mm إلى القياس, في حالة عدم وجود التدرج تأخذ قيمة B تساوي صفر.

2- قراءة القياس على الجلبة: يحدد التطابق بين تدرج جلبة القياس والخط الرئيس على أسطوانة التدرج الطولي، وتضرب قيمة التدرج المسجل على الجلبة بدقة الجهاز وتكون النتيجة هي قيمة القراءة على جلبة القياس ونرمز لها (C).

3 - نتيجة القياس على المايكرومتر هي حاصل جمع (A+B+C)، لاحظ الشكل (1-26).



شكل 1-26 نماذج طريقة القياس بالمايكرومتر

الأنواع الأساسية للمايكرومتر والتي تختلف أشكالها باختلاف نوع القياس المطلوب وهي كالآتي:

1. **مايكرومتر قياس الأبعاد الخارجية**
2. **مايكرومتر قياس الأبعاد الداخلية**
3. **مايكرومتر قياس الأعماق**
4. **مايكرومتر قياس أسنان القلاووظ**

كما توجد أنواع أخرى من المايكرومتر تستخدم لقياسات خاصة مثل مايكرومتر قياس أقطار الأسلاك، مايكرومتر قياس أسنان التروس والخوابير وغيرها، وكما ذكرنا فإن المايكرومتر من أدوات القياس الدقيقة، وهو يتأثر من خلال انتقال حرارة يد الفني الذي يستخدمه، لذلك فقد زودت جميع المايكرومترات الحديثة بقطع من مادة (البكلايت) المعروفة بعدم تأثرها بانتقال الحرارة، بتغليف الأجزاء التي تلامسها يد الفني في أثناء الاستخدام، وقد تم تصميم أدوات وأجهزة القياس لاستخدامها عند درجة حرارة ثابتة قدرها 20°C، والشكل (1-27) يوضح أنواع مختلفة من المايكرومتر.

شكل 1-27 أنواع مختلفة من المايكرومتر

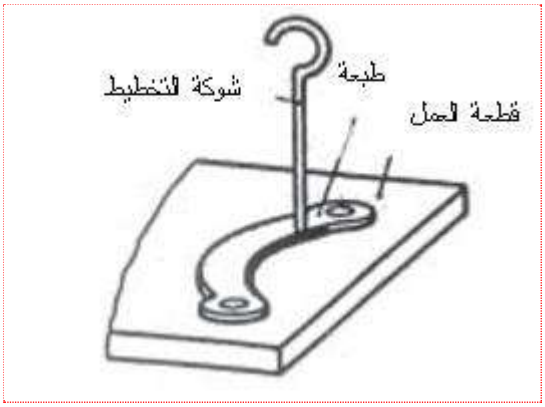
1-4 أدوات التخطيط والشنكرة

الشنكرة هي عملية رسم خطوط وأبعاد وأماكن الثقوب والفتحات والمجاري الموجودة على مخططات الرسم إلى قطع العمل المطلوب تنفيذها، وتلك الخطوط تحدد مواقع إزالة المعدن، لذلك فإن عملية التخطيط والشنكرة تُعدان من أهم وأدق العمليات التي يقوم بتنفيذها الفني وتتطلب عناية وإتقان فائقين، إذ تتوقف صلاحية المنتجات على دقة هذه العمليات، كما تُعد عملية التخطيط والشنكرة من العمليات الأساسية في جميع أعمال البرادة وأعمال الصفائح المعدنية، كما تستخدم في بعض عمليات الخراطة والتفريز والقشط، وهي الدليل الذي يُعتمد عليه عند تنفيذ العمليات الإنتاجية. وهنالك طريقتان أساسيتان لعملية التخطيط والشنكرة هما:

1- **الشنكرة بالطبعة**

2- **الشنكرة بزهرة الاستواء**

أ- الشنكرة بالطبعة: يستعان بالطبعات المصنوعة من شرائح الفولاذ لتخطيط الأشكال المطلوب تنفيذها بدقة وعناية أو بقطع التشغيل المُراد تصنيع قطع مماثلة لها بإنتاج غزير، أو عند تشغيل بعض الأجزاء ذات الأشكال المعقدة، إذ توضع الطبعة على قطعة العمل المطلوب تشغيلها، ويتم تحديد شكلها باستخدام الخطاط أو شوكة التخطيط وتسمى في بعض الأحيان بـ (شوكة العلام)، كما موضح في الشكل (1-28).



شكل 1-28 الشنكرة بالطبعة

أ- الشنكرة باستخدام زهرة الاستواء:

يستعان بزهرة الاستواء عند تصنيع قطعة العمل وذلك برسم وتخطيط الشكل المراد تنفيذه بأبعاده النهائية مع تحديد أماكن الثقوب والمجاري والفتحات باستخدام أدوات التخطيط المختلفة، إذ تغطى سطوح القطعة المراد تخطيطها بمادة إظهار كالطباشير أو كبريتات النحاس المخفف بعد تجهيزها ثم توضع على الزهرة باستخدام قدمة الارتفاعات والأدوات والمعدات الأساسية للتخطيط والمكملة لها، يمكن تخطيط ورسم الشكل المطلوب تنفيذه، وتُميَز الخطوط بواسطة ضرب السنبك باستخدام المطرقة بطرقات خفيفة، بحيث تكون آثار الطرقات متباعدة على الخطوط المستقيمة ومتقاربة على الخطوط ذات المسار المنحني، ويلاحظ استخدام السنبك بزاوية رأس مقدارها 60 درجة لإظهار الخطوط المختلفة، وبزاوية مقدارها 120 درجة في أماكن الثقوب لتتماثل مع زاوية رأس أداة الثقب.

1-4-1 أدوات ومعدات التخطيط والشنكرة

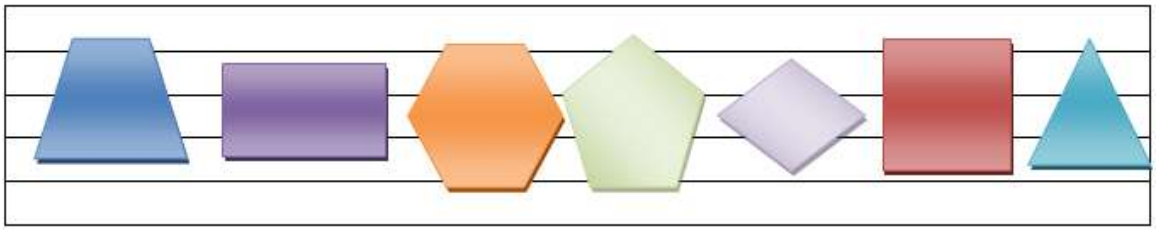
وتشتمل أدوات ومعدات التخطيط على:

1- **زهرة الاستواء**
2- **الشنكار (شنكار التوازي)**
3- **شوكة التخطيط (الخطاط)**
4- **سنبك (زنبة) التخطيط**
5- **ميزان الماء (ميزان التسوية)**
6- **الفراجيل**
7- **القدّمات**

5-1 حساب مساحات وحجوم بعض الأشكال الهندسية

1-5-1 المضلعات Polygons

انظر إلى الأشكال التالية، لا شك أنك تعرف أسم كل واحد منها:



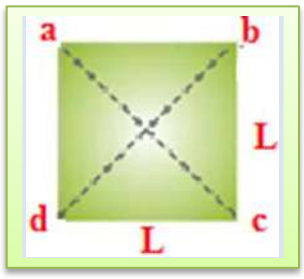
فالمثلث، المربع، المعين، الشكل الخماسي، الشكل السداسي، المستطيل، وشبه المنحرف أشكالاً هندسية منتظمة تدعى المضلعات. المضلعات من ابرز الأشكال الهندسية التي لها العديد من التطبيقات في الحياة اليومية من حيث استخدام الأشكال المنتظمة في عمليات البناء، الأثاث، المنتجات المصنعة، ألواح الكتابة، وغيرها من الأشكال.

يعرف المضلع: بانه سطح مستوي محاط بمجموعة مستقيمات متلاقية تسمى هذه المستقيمات أضلاع المضلع. ونقاط تلاقي هذه الأضلاع تسمى رؤوس المضلع ويسمى المضلع بعدد أضلاعه كالمثلث (عدد أضلاعه ثلاثة)، والشكل الرباعي مثل المربع (عدد أضلاعه أربعة)، والمخمس (عدد أضلاعه خمسة)، وهكذا لبقية المضلعات، والمضلعات نوعان منتظمة وغير منتظمة.

1-1-5-1 المضلع المنتظم Regular Polygon

المضلع المنتظم هو كل شكل هندسي منتظم له مجموعة أضلاع وزوايا وله تسمية معروفة ومنها الآتي:

1- المربع Square: هو شكل رباعي أضلاعه متساوية وزواياه الاربعة قائمة.

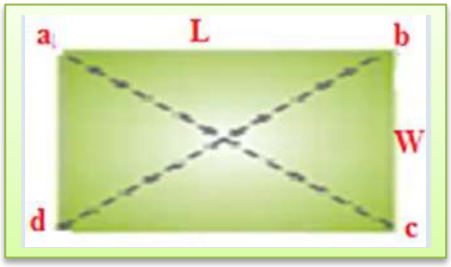


$$A = L^2$$

$$P = 4 \times L$$

إذ أن A, P, L تمثل المساحة، المحيط، وطول ضلع المربع على التوالي.

2- المستطيل Rectangle: هو شكل رباعي كل ضلعين متقابلين فيه متساويين ومتوازيين وله أربعة زوايا قائمة.

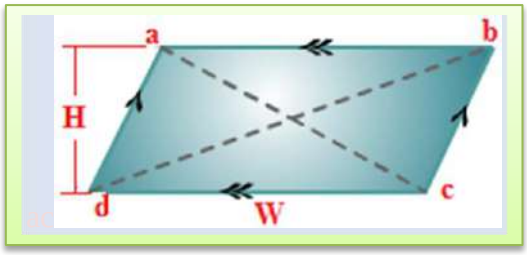


$$A = L \times W$$

$$P = 2 \times (L + W)$$

إذ أن L, W تمثلان طول المستطيل وعرضه.

3- متوازي الأضلاع Rhomboid: هو شكل رباعي يتكون من أربعة أضلاع وأربع زوايا، كل ضلعين متقابلين متوازيين ومتساويين في القياس، وكل زاويتين متقابلتين متساويتين بالقياس ومجموع زواياه الأربعة يساوي (360 درجة) وقطرا متوازي الأضلاع (bd - ac) متساويان بالقياس وينصف احدهما الآخر.



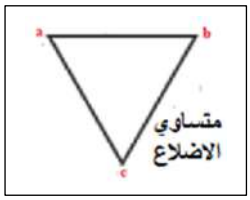
$$A = W \times H$$

$$P = 2 \times (H + W)$$

إذ أن H يمثل ارتفاع متوازي الأضلاع.

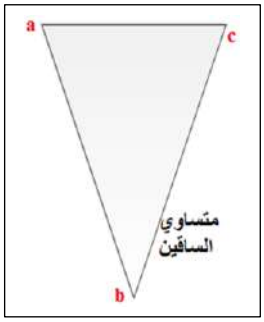
4- المثلث Triangle: هو مضلع محدد بثلاث مستقيمات متلاقية مع بعضها وهذه المستقيمات تسمى أضلاع المثلث وتسمى كل نقطة من نقاط تقاطع الاضلاع رأس المثلث والزوايا المحصورة بين أضلاعه تسمى زوايا المثلث ومجموعها (180°). ويصنف المثلث بحسب الأضلاع أو الزوايا.

أنواع المثلث من حيث أطوال الأضلاع:



أ. المثلث متساوي الأضلاع: تتساوى فيه أطوال أضلاعه الثلاثة.

مثال: **ab = bc = ca**



ب. المثلث متساوي الساقين: فيه ضلعين فقط متساويين في الطول.

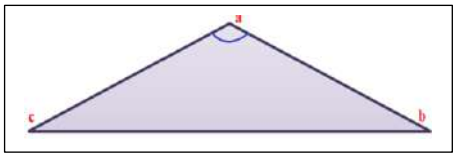
مثال: **ab = bc ≠ ca**

ج. المثلث مختلف الأضلاع: يختلف قياس أطوال أضلاعه.

ab ≠ bc ≠ ca

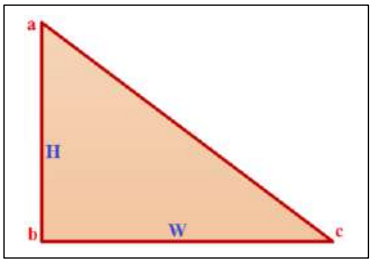
أنواع المثلث من حيث الزوايا:

أ-المثلث المنفرج الزاوية: وهو المثلث الذي تكون إحدى زواياه منفرجة (أكبر من 90°).



$\measuredangle cab$ زاوية منفرجة

ب-المثلث الحاد الزوايا: وهو المثلث الذي جميع زواياه حادة (أقل من 90 °).



ج. المثلث قائم الزاوية: وهو المثلث الذي إحدى زواياه قائمة (90 °).

مساحة لمثلث تساوي نصف القاعدة في الارتفاع

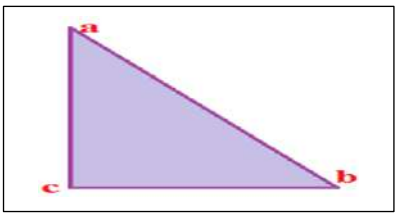
$$A = \frac{W \times H}{2}$$

محيط المثلث يساوي مجموع الأضلاع $P = ab + bc + ca$

د أضلاع المثلث

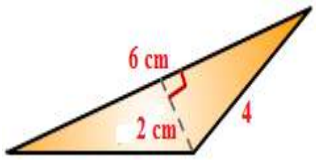
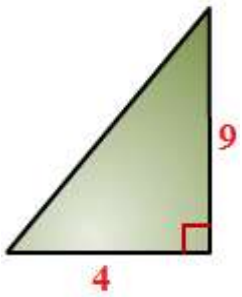
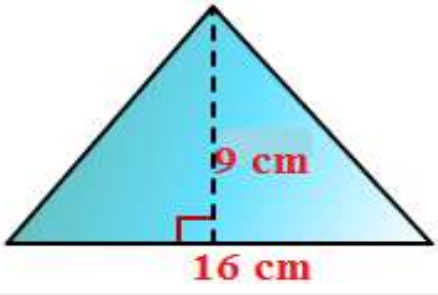
المجهولة وتنص النظرية على:

مربع طول الوتر يساوي مجموع مربعي الضلعين الأخرين:



$$(ab)^2 = (ac)^2 + (bc)^2$$

أمثلة: احسب مساحة كل من المثلثات الآتية:

أ	ب	ج
		

مساحة المثلث (أ) $A = \frac{1}{2} \times H \times W = \frac{1}{2} \times 6 \times 2 = 6\ cm^2$

مساحة المثلث (ب) $A = \frac{1}{2} \times H \times W = \frac{1}{2} \times 9 \times 4 = 18\ cm^2$

مساحة المثلث (ج) $A = \frac{1}{2} \times H \times W = \frac{1}{2} \times 9 \times 16 = 72\ cm^2$

5- المعيَّن Rhombus

سطح مستوي محدد بأربع خطوط مستقيمة ومتساوية وزواياه ليست قوائم وفيه كل زاويتين متقابلتين متساويتين وقطراه متعامدان وينصف احدهما الآخر ولكنهما غير متساويين، كما في الشكل المجاور.

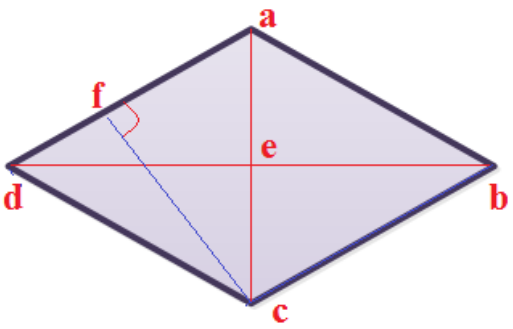
من منطلق كون المعيَّن متوازي الأضلاع (لكن أضلاعه الأربعة متساوية)

إذاً.....

مساحته = قاعدته × ارتفاعه

A=W×H

A=bc×cf



أو يمكن حساب المساحة من معرفة أقطار المعين وذلك، طول احد أقطار المعين مضروب في نصف القطر الآخر

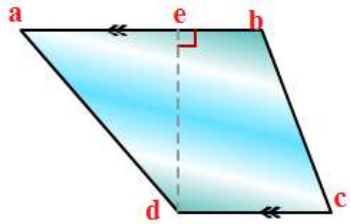
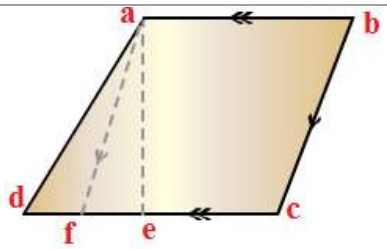
$$A = bd \times ae$$

6- شبه المنحرف Rhomboid

شبه المنحرف هو شكل رباعي فيه ضلعين متوازيين فقط، نطلق على هذين الضلعين المتوازيين اسم القاعدتين وكل ضلع منهما قاعدة.

كيف نجد مساحة شبه المنحرف بالاستفادة من هاتين القاعدتين المتوازيتين؟

لاحظ الأشكال الآتية لتساعد في معرفة كيفية حساب مساحة شبه المنحرف.

شكل (1)	شكل (2)
	

في الشكل (1) العمود النازل من الرأس على القاعدة المقابلة لشبه المنحرف يسمى ارتفاع شبه المنحرف، قاعدتا شبه المنحرف هما **ab, cd**

إذاً ارتفاع شبه المنحرف هو **de** وهو العمود النازل من الرأس **d** على القاعدة **ab** لاحظ أن:

- في الشكل (2) قاعدتا شبه المنحرف المتوازيتان هما **ab** ، **cd** أما ارتفاعه فهو **ae**

أما **af** فقد رسم موازياً لضلع شبه المنحرف **bc**

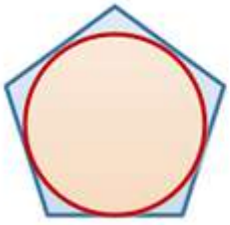
☆ **ما نوع الشكل (abcf)؟ إنه متوازي الأضلاع، ما الدليل على ذلك؟**

لقد انقسم شبه المنحرف بالخط **af** إلى قسمين هما متوازي الأضلاع **abcf** ، والمثلث **adf**

مساحة شبه المنحرف abcd = متوازي الأضلاع abcf + المثلث adf

☆ **كيف يحسب مساحة متوازي الأضلاع؟**

7- الشكل الخماسي المنتظم (Pentagon): شكلٌ هندسيٌّ متكون من خمسة أضلاع، وعندما تكون جميع أضلاع المخمس وزواياه المحصورة بداخله متساوية يسمى ب (المخمس المنتظم)، ومقدار كل زاوية من هذه الزوايا 108 درجة. ويمكن حصره داخل محيط دائرة، كما يمكنه أن يحيط بدائرة، مركز هذه الدوائر هو نفسه مركز المضلع بحيث تشكل أضلاعه مماس على محيط الدائرة، يتقاطع كلُ مماس منها عند رأس كل زاوية للمضلع المتساوي أيضاً.



1- مضلع خماسي

كل خط مستقيم يصل بين رأسين غير متتاليين في مضلع هو ***قطر لهذا المضلع***

قانون حساب زاوية المضلع المنتظم:

$$\propto = \frac{(N-2)\times 180}{N}$$

إذ أن: α هي زاوية المضلع ، N: عدد الاضلاع

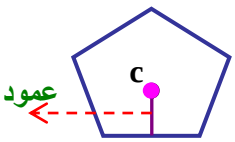
ومجموع زوايا المضلع هو: $\Sigma = (N-2)\times 180$

وتنطبق هذه المعادلة لحساب الزوايا على كافة أشكال المضلعات المنتظمة، مثل السداسي، السباعي، الثماني، الاثني عشر، وهكذا.

للشكل الخماسي: زاوية المخمس حسب المعادلة هي 108° ومجموع زوايا المخمس هي 540°

محيط المضلع المنتظم = عدد الأضلاع × طول الضلع.

مساحة المضلع المنتظم = نصف محيط المضلع مضروب في طول العمود



2- حساب مساحة ومحيط مضلع منتظم

لحساب مساحة المضلع المنتظم يتم تقسيمه إلى مثلثات متساوية الأضلاع متطابقة، وتحسب مساحة كل مثلث، ومن ثم تضرب مساحة المثلث بعدد أضلاع المضلع المنتظم.

مثال: مخمس منتظم طول ضلعه 3 cm، والارتفاع النازل من نقطة المركز إلى أحد أضلاعه يساوي 2.5 cm، احسب محيطه ومساحته.

لإيجاد محيط المخمس

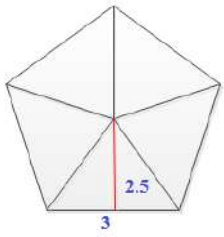
$$P = 5 \times L = 5 \times 3 = 15\ cm$$

لحساب مساحة المخمس أولاً نقوم بتقسيم الخماسي المنتظم إلى خمسة مثلثات متساوية.

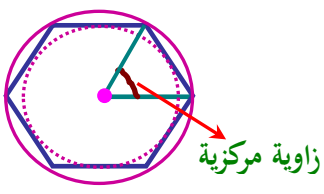
$$A_{tri} = \frac{1}{2}HW$$

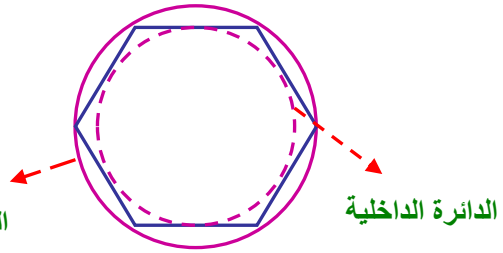
$$A_{tri} = \frac{1}{2}\times 2.5 \times 3 = 3.75\ cm^2$$

$$A_P = 5 \times A_{tri} = 5 \times 3.75 = 18.75\ cm^2$$

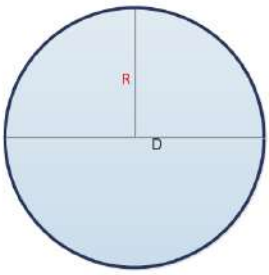


الدائرة الداخلية والدائرة الخارجية لمضلع منتظم





2-5-1 الدائرة والقطاع الدائري Circle and Sector

تعرف الدائرة بانها مستوي محدد بخط منحني مغلق وكل نقطة من نقاطه تبعد بأبعاد ثابتة ومتساوية عن نقطة في داخله وهي مركز الدائرة (C) ويسمى البعد الثابت نصف القطر (R) ويسمى الخط المنحني المغلق محيط الدائرة وقطر الدائرة (D) هو الخط المستقيم المار بمركز الدائرة وينتهي طرفيه على محيط الدائرة.	

مساحة الدائرة: $\mathbf{A = \pi \times R^2}$

محيط الدائرة: $\boldsymbol{P = \pi \times D}$

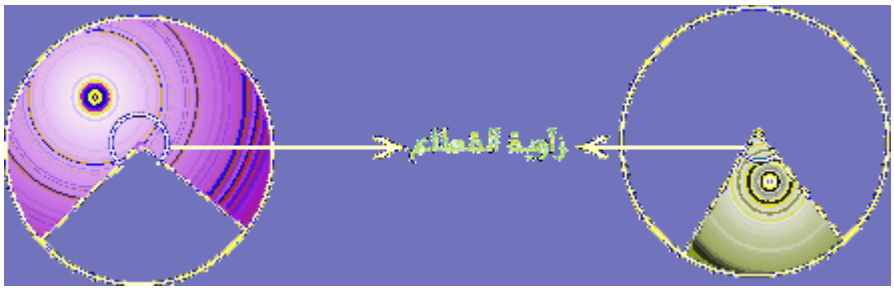
مثال: احسب مساحة الدائرة ومحيطها إذا علمت بأن نصف قطرها يساوي $(30\ cm)$.

$$\boldsymbol{A = \pi \times R^2 = \pi \times 30^2 = 2827\ cm^2}$$

$$\boldsymbol{P = \pi \times D = \pi \times 2 \times 30 = 188.5\ cm}$$

القطاع الدائري، وماذا يختلف عن الدائرة؟

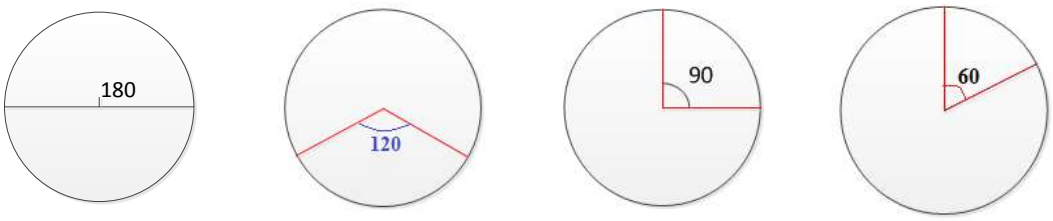
يسمى الشكل الهندسي المظلل في كل من الدائرتين قطاعاً دائرياً، وتسمى الزاوية المحصورة بين نصفي القطرين بزاوية القطاع.



أو ممكن تعريفه بانه أي جزء من الدائرة محدد بنصفي قطرين فيها.

ولإيجاد مساحة القطاع الدائري، لاحظ كلاً من الأشكال التالية:

أ ب ج د



ما مساحة القطاع المظلل في كل دائرة بالنسبة للدائرة نفسها.

مساحة القطاع في الشكل (أ) يساوي سدس مساحة الدائرة

مساحة القطاع في الشكل (ب) يساوي ربع مساحة الدائرة

مساحة القطاع في الشكل (ج) يساوي ثلث مساحة الدائرة

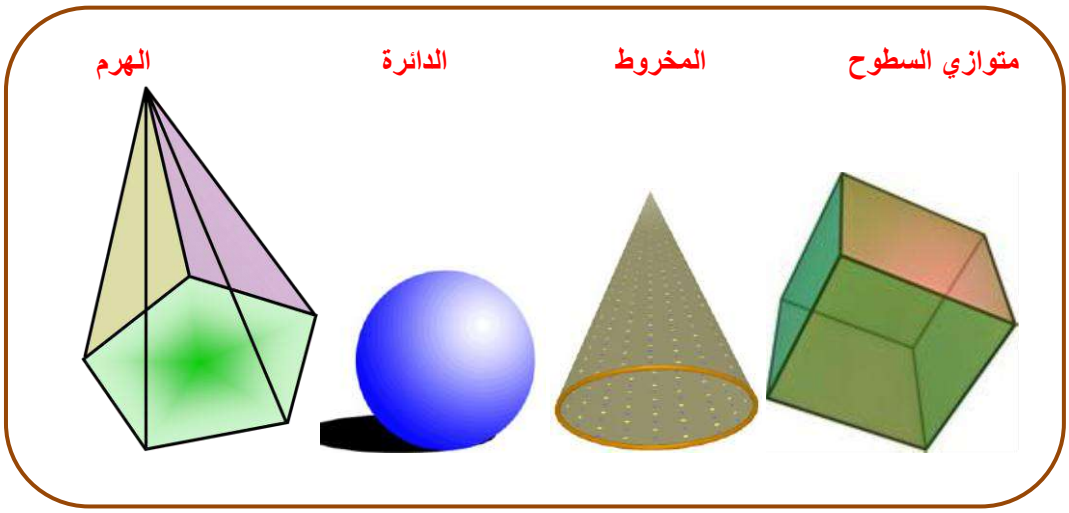
مساحة القطاع في الشكل (د) يساوي نصف مساحة الدائرة

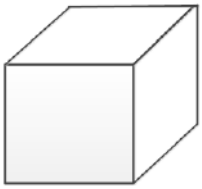
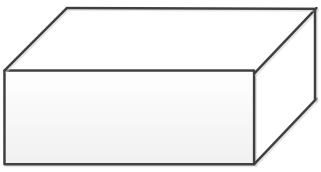
3-5-1 الحجوم والمساحات السطحية للأشكال المجسمة

Volumes and Surface Areas of 3-D Geometrics

درسنا سابقاً المثلث والمربع والمستطيل والدائرة وغيرها من الأشكال المستوية ذات البعدين، يوجد بمقابل هذه السطوح المستوية أشكالاً ذات ثلاثة أبعاد أي أشكال مجسمة.

أمثلة لبعض المجسمات:



1- المكعب هو مجسم قائم أبعاده الثلاثة متساوية خزان ماء طوله وعرضه وارتفاعه يساوي 2 متر، أوجد حجمه ومساحته السطحية الكلية $V = L^3 = 2^3 = 8\ m^3$ $A = 6 \times L^2 = 6 \times 2^2 = 24\ m^2$	
2- متوازي المستطيلات هو موشور رباعي قائم قاعدته مستطيلة، وبالتالي جميع أوجهه مستطيلات، ما الحجم والمساحة السطحية لمتوازي مستطيلات أبعاده (2،3،4) متر $V = L \times W \times H = 2 \times 3 \times 4 = 24\ m^3$ $A = 2(L \times W + L \times H + W \times H)$ $A = 2(4 \times 3 + 4 \times 2 + 3 \times 2) = 52\ m^2$	

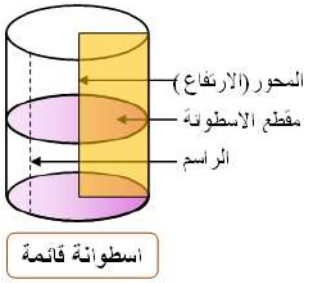
3- الأسطوانة: تتولد الأسطوانة القائمة أيضاً من دوران مستطيل حول أحد بعديه دورة كاملة.

أسطوانة قائمة نصف قطرها (10 cm) وارتفاعها (12 cm)، احسب حجمها ومساحتها السطحية الجانبية والكلية.

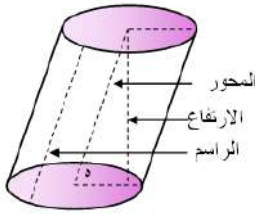
$$V = \pi R^2 \times H = \pi \times 0.1^2 \times 0.12 = 3.76\ m^3$$

$$A_L = \pi D \times H = \pi \times 20 \times 12 = 754\ cm^2$$

$$A_T = A_L + 2\pi R^2 = 754 + 2\pi \times 10^2 = 1382\ cm^2$$



اسطوانة قائمة



اسطوانة مائلة

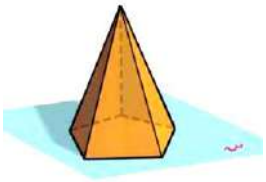
4- الهرم: مجسم قاعدته مضلعة الشكل وأوجهه الجانبية مثلثة الشكل تلتقي رؤوسها في نقطة واحدة هي رأس الهرم.

ويصنف بحسب عدد أضلاع القاعدة مثل الهرم الثلاثي والرباعي والخماسي وهكذا.

ارتفاع الهرم: هو العمود النازل من رأس الهرم على القاعدة.

ارتفاع الوجه الجانبي: هو ارتفاع الوجه الجانبي (ارتفاع المثلث).

الهرم القائم: هو مجسم قاعدته مضلعاً منتظماً وأحرفه الجانبية متطابقة.


هرم قائم

الارتفاع: هو العمود النازل من رأس الهرم إلى مركز القاعدة.

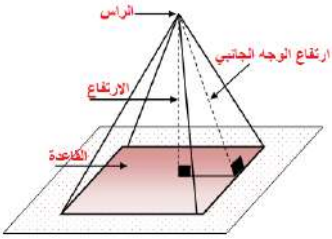
الأوجه الجانبية: مثلثات متطابقة وكل منها متطابق الضلعين.

ارتفاعات الأوجه الجانبية: متساوية الطول.

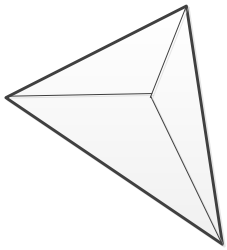
ملاحظات

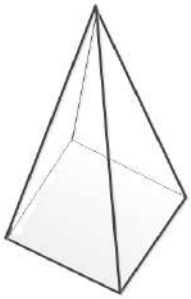
المساحة الجانبية للهرم: هي مجموع مساحات أوجهه الجانبية.

المساحة الكلية للهرم: هي مجموع مساحته الجانبية ومساحة قاعدته.



هرم رباعي


هرم ثلاثي


هرم رباعي

هرم خماسي

قوانين حساب مساحة وحجم الهرم

المساحة الجانبية للهرم القائم: م = $\frac{1}{2}$ محيط القاعدة × ارتفاع الوجه الجانبي

$$A_L = \frac{1}{2} \times P \times H$$

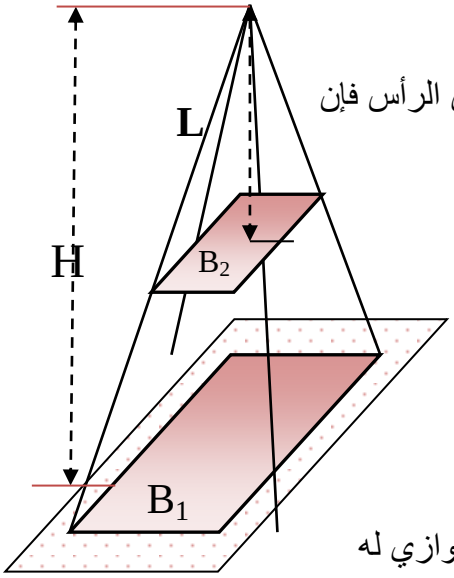
المساحة الكلية: **م = المساحة الجانبية + مساحة القاعدة**

$$A_L = \frac{1}{2} \times P \times H_L + A_B$$

الحجم: **ح = $\frac{1}{3}$ مساحة القاعدة × الارتفاع**

$$V = \frac{1}{3} \times A_B \times H$$

ملاحظة



إذا قطع هرم بمستوىً يوازي القاعدة ويبعد مسافة مقدارها **L** عن الرأس فإن

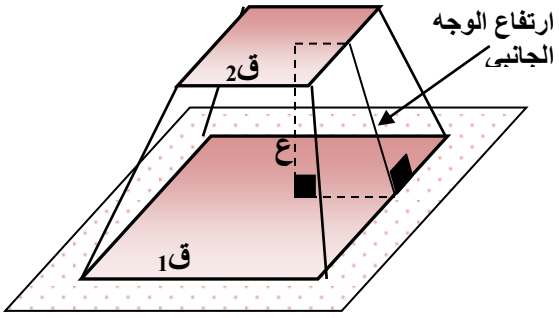
$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{L^2}{H^2}$$

- B_2 : مساحة قاعدة الهرم الكبير
- B_1 : مساحة قاعدة الهرم الصغير
- **H** : ارتفاع الهرم الكبير
- **L** : ارتفاع الهرم الصغير

الهرم الناقص: هو الجزء المحصور بين قاعدة الهرم والمقطع الموازي له

خواص الهرم الناقص:

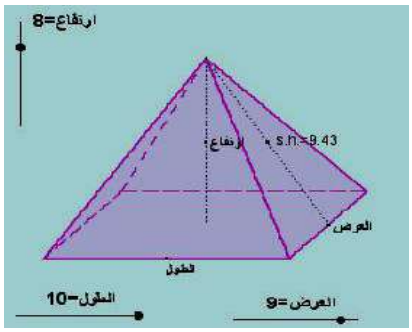
- الوجوه الجانبية على شكل شبه منحرف
- الارتفاع هو البعد العمودي بين القاعدتين
- في الهرم القائم الناقص:
  - الأحرف الجانبية متساوية الطول
  - الأوجه الجانبية لها الارتفاع نفسه



قوانين حساب مساحة وحجم الهرم الناقص

المساحة الجانبية للهرم الناقص القائم	$A_L = \frac{1}{2}(P_1 + P_2) \times H_L$ P ، H_L محيط القاعدة وارتفاع الوجه الجانبي على التوالي
المساحة الكلية	$A_T = A_L + A_{B1} + A_{B2}$ A_B تمثل مساحة القاعدة
الحجم	$V = \frac{1}{3}H \times (A_{B1} + A_{B2}) + \sqrt{A_{B1} \times A_{B2}}$

مثال: أوجد حجم هرم رباعي القاعدة ومساحته السطحية والمبين بالرسم المجاور



$$V = \frac{1}{3} \times H \times A_{B1}$$

$$V = \frac{1}{3} \times 8 \times (10 \times 9) = 240\ cm^3$$

من المعروف أن كل وجهين متواجهين من الأوجه الجانبية للهرم عبارة عن مثلثين متطابقين

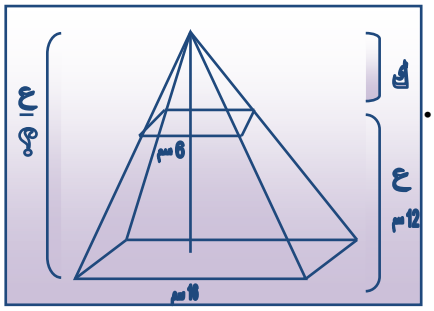
$$A_T = A_L + A_B$$

$$A_T = 2 \times \left(\frac{9 \times 9.43}{2}\right) + 2 \times \left(\frac{10 \times 9.2}{2}\right) + (10 \times 9)$$

$$A_T = 84.87+92+90=266.87\ cm^2$$

مثال:

أوجد حجم المعدن بقطعة عمل على شكل هرم رباعي ناقص مساحة قاعدتيه ($36\ cm^2$, $256\ cm^2$)،ارتفاعه العمودي ($12\ cm$).

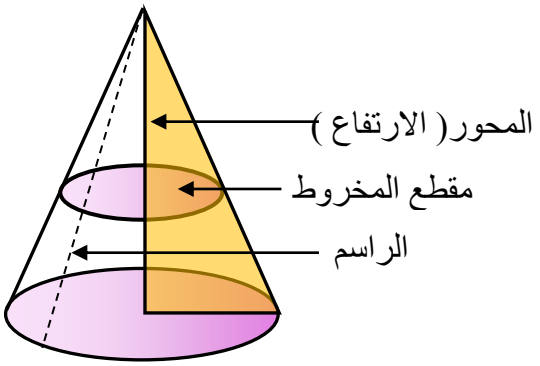


الحل:

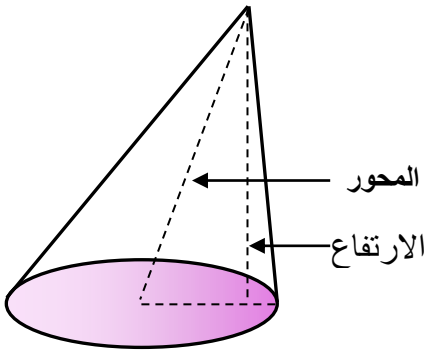
$$V = \frac{1}{3} H \times (A_{B1} + A_{B2}) + \sqrt{A_{B1} \times A_{B2}}$$

$$V = \frac{1}{3} 12 \times (36 + 256) + \sqrt{36 \times 256} = 1264\ cm^2$$

5- المخروط: يتولد المخروط الدائري القائم من دوران مثلث قائم حول أحد الأضلاع القائمة.



مخروط قائم

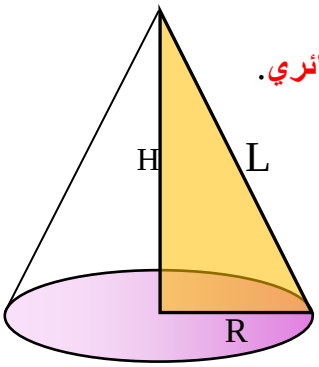


مخروط مائل

المخروط الدائري القائم: ينتج من دوران مثلث قائم الزاوية دورة كاملة حول أحد ضلعي القائمة

في المخروط الدائري القائم: **طول المحور = طول الارتفاع**

مقطع المخروط: مقطع المخروط الدائري بمستوٍ يوازي قاعدتها هو **قرص دائري**.



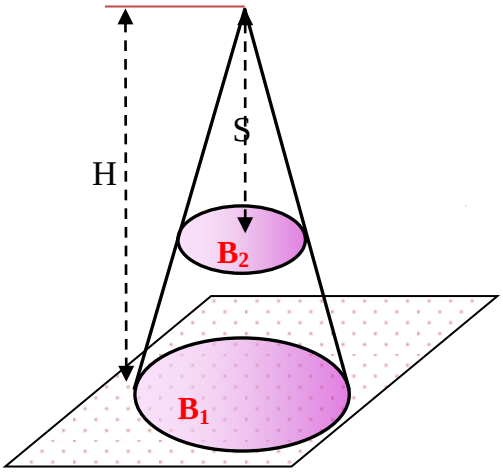
المخروط الدائري القائم

العلاقة بين طول الراسم والارتفاع ونصف القطر في المخروط القائم:

بفرض أن L طول الراسم ، H الارتفاع ، R نصف القطر

من نظرية فيثاغورس: $L^2 = H^2 + R^2$

إذا قُطع مخروط بمستوى يوازي القاعدة ويبعد مسافة مقدارها S عن الرأس فإن:



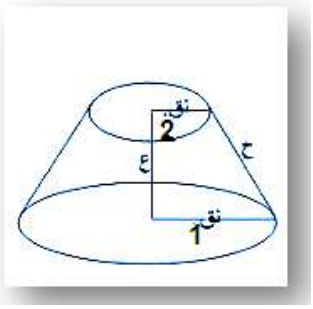
إذ أن:

- B_1 : مساحة قاعدة المخروط الكبير
- B_2 : مساحة قاعدة المخروط الصغير
- H : ارتفاع المخروط الكبير
- S : ارتفاع المخروط الصغير

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{S^2}{H^2}$$

المخروط الدائري القائم الناقص:

ينشأ المخروط الناقص القائم من دوران شبه منحرف قائم حول ارتفاعه دورة كاملة، كما هو موضح بالشكل أدناه أي الجزء المحصور بين قاعدة المخروط والمقطع الموازي له.

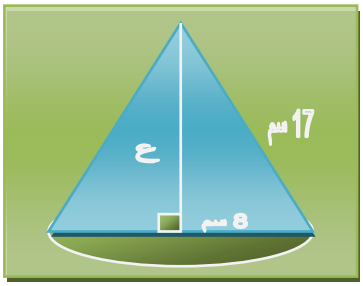


المخروط الناقص

قوانين حساب مساحة وحجم المخروط الناقص

المساحة الجانبية	$A_L = \pi(R_1 + R_2) \times L$ إذ أن R ، L تمثلان نصف القطر و طول الراسم
المساحة الكلية	$A_T = A_L + A_1 + A_2$ إذ أن A_1 ، A_2 تمثلان مساحة القاعدتين
الحجم	$V = \frac{1}{3}\pi H \times (R_1{}^2 + R_1R_2 + R_2{}^2)$ إذ أن H ، R تمثلان ارتفاع ونصف قطر

مثال: مخروط دائري قائم نصف قطر القاعدة (8 cm) وطول الراسم (17 cm)،
أحسب الحجم والمساحة الكلية للمخروط.

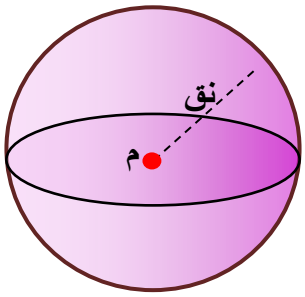


الحل: من نظرية فيثاغورس
مربع الضلع يساوي مجمع مربعي الضلعين القائمين

$$H^2 = L^2 + R^2 = 17^2 + 8^2 = 255$$
$$H = \sqrt{255} = 15\ cm$$
$$V = \frac{1}{3} \times H \times \pi R^2 = \frac{1}{3} \times 15 \times \pi \times 8^2 = 1005.3\ cm^3$$
$$A_L = \pi RL = \pi \times 8 \times 17 = 427.2\ cm^2$$
$$A_T = A_L + \pi R^2 = 427.2 + \pi \times 8^2 = 628.2\ cm^2$$

6- الكـرة

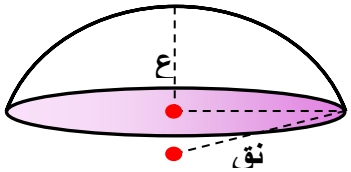
هي السطح المكون من جميع نقاط الفراغ التي يكون بعدها عن نقطة ثابتة في الفراغ يساوي مقدار ثابت.



النقطة الثابتة تسمى **مركز الكرة**.
والبعد الثابت يسمى **نصف قطر الكرة**.

وتنشأ الكرة من دوران نصف دائرة دورة كاملة حول قطرها.

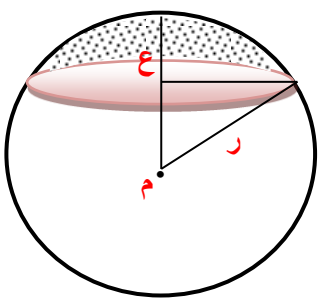
$$V = \frac{4}{3}\pi R^3$$
$$A = 4\pi R^2$$



القبة الكروية المقطع الناتج من قطع الكرة بمستوى يمر بمركزها هو دائرة نصف قطرها يساوي نصف قطر الكرة، وتسمى **القبة الكروية**

مثال: المطلوب إيجاد حجم ومساحة كرة نصف قطرها 4 سم.

الحل:



$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi 4^3 = 268cm^3$$
$$A = 4\pi R^2 = 4\pi 4^2 = 201\ cm^2$$

أسئلة الفصل الأول

1. عرف علم القياس، ثم اذكر عناصره الأساسية.
2. أعط ثلاثة أمثلة من الحياة اليومية توضّح استخدامات أجهزة أو معدات القياس.
3. عرّف عملية القياس مع ذكر مثال.
4. أملأ الفراغات التالية بما يناسبها من العبارات:

أ- انبثق نظام لتوحيد نظم القياس على المستوى الدولي يسمى..... وذلك في..... .

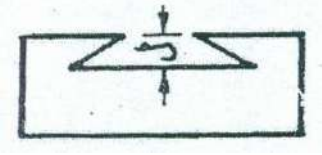
ب- إن وحدة المتر المستعملة في النظام المتري أخذت من..... .

ت- يبلغ الطول المعتاد لمسطرة قياس الأطوال ..... .

ث- الزاوية المتحركة البسيطة هي عبارة عن ..... .

ج- مبدأ عمل جهاز المايكرومتر مبني على..... .

5. ما هي أهم وحدات القياس في النظام الدولي للوحدات؟
6. إذا كانت لديك قطعة عمل عبارة عن أنبوب يستخدم لأغراض نقل السوائل المضغوطة وهو بأبعاد معينة وطُلب منك تشغيلها بإجراء عملية اللحام باستخدام ماكنة لحام، استنتج أهم وحدات القياس التي ستعتبر من أهم محددات استكمال العملية المطلوبة بوقت محدد وبالدقة المطلوبة وفقاً لنوع الاستخدام المطلوب من الأنبوب، نظّم جدولاً لذلك يبين اسم الوحدة والكمية المقاسة والرمز.
7. نظّم جدولاً يوضّح العلاقة بين النظام المتري والبريطاني لثلاث من الوحدات مع كتابة رموز وقيمة كل وحدة.
8. علّل ما يأتي:
   1. تعتبر عملية قياس الأبعاد من بين أهم العمليات التقنية خلال عملية التشغيل.
   2. تُصنع المساطر المستخدمة في الورش من الفولاذ غير قابل للتآكل.
   3. تُعد المنقلة الرقمية من الأدوات الحديثة لقياس الزوايا.
   4. في بعض الحالات تستعمل أدوات القياس الناقلة لمعرفة أبعاد المشغولات.
9. عدد أهم أنواع أدوات قياس الزوايا.
10. ما هي القدود؟ وما فائدة استخدامها؟ اشرح عملية استخدامها.
11. عدد أجزاء المايكرومتر مع التوضيح.
12. أي أنواع القدمات التي درستها يمكن استخدامها في قياس عمق المجرى الغنفاري الموضّح، مع توضيح كيفية استخدامها بالرسم.



13. مربع طول ضلعه (60 cm) أوجد مساحته ومحيطه وطول قطره

14. صفيحة من النحاس طولها (40 cm) وعرضها (15cm) أوجد مساحتها ومحيطها وقطرها.
15. متوازي أضلاع طول قاعدته (10 cm)، وارتفاعه (6 cm) احسب مساحة سطحه.
16. معين مساحة سطحه ($40\ cm^2$)، وطول أحد قطريه (8 cm)، ما طول القطر الآخر.
17. شبه منحرف طولا قاعدتيه المتوازيتين (10 cm, 7 cm)، والبعد العمودي بينهما (6 cm)، جد مساحة سطحه.
18. شبه منحرف مساحة سطحه ($35\ cm^2$)، وطول إحدى قاعدتيه المتوازيتين (8 cm)، وارتفاعه (5 cm) احسب طول قاعدته الأخرى.
19. مثلث مساحة سطحه ($35\ cm^2$)، وطول أحد أعمدته (7 cm)، جد طول الضلع النازل عليه هذا العمود .
20. مثلث قائم الزاوية مساحة سطحه ($24\ cm^2$)، فإذا كان طول أحد ضلعيه القائمين (6 cm)، جد طول الضلع القائم الآخر.
21. أرسم سداسي داخل دائرة نصف قطرها (5 cm)
22. أرسم ثماني منتظم داخل دائرة طول قطرها (9 cm)، ثم أوجد مساحته.
23. أوجد مساحة مضلع منتظم محيطه ($18\ cm^2$)، و طول العمود يساوي (4 cm)
24. قطع هرم مساحة قاعدته ($45\ cm^2$)، وارتفاعه (6 cm) بمستوٍ يوازي القاعدة، فكانت مساحة المقطع الناتج ($25\ cm^2$)، احسب بعد المقطع عن الرأس وحجم الهرم الصغير.
25. هرم رباعي قائم ناقص فيه القاعدتين مربعتين ضلعيهما (4 cm)، (12 cm)، وارتفاع الوجه الجانبي له (5 cm)، احسب: ارتفاع الهرم الناقص، حجم الهرم الناقص، المساحة الكلية للهرم الناقص.
26. طول قطر أسطوانة دائرية قائمة يساوي (8 cm)، وطول ارتفاعها ضعف طول قطرها، احسب: حجم الأسطوانة، المساحة الكلية للأسطوانة.
27. مخروط دائري قائم نصف قطر قاعدته (8 cm)، وطول الراسم (17 cm)، احسب: حجم المخروط، المساحة الكلية للمخروط.
28. مخروط دائري قائم ناقص مقدار نصفي قطري قاعدتيه (8 cm)، (3 cm)، ومساحتها الجانبية ($43\pi\ cm^2$)، أوجد طول الراسم.
29. كرة مساحة سطحها ($140\pi\ cm^2$)، أوجد حجمها.
30. كرة نصف قطرها (5 cm)، اقتطع منها قبة كروية ارتفاعها (2 cm)، أوجد: مساحة سطح القبة الكروية.

الفصل الثاني
خواص المواد المعدنية

تمهيد

يتضمن هذا الفصل المعادن وخواصهم البلورية والفيزيائية والكيميائية والميكانيكية والتكنولوجية.

خواص المواد المعدنية

الأهداف العامة

بعد الانتهاء من هذا الفصل سيتمكن الطالب من:-

1. معرفة المعادن وأهم الخصائص العامة لها.
2. أهم خواص المعادن العامة (الخواص البلورية- الخواص الفيزيائية -الخواص الكيمائية -الخواص الميكانيكية -الخواص التكنولوجية).
3. التعرف على التآكل والتأكسد والفرق بينهما وطرائق وقاية المعادن منهما.
4. معرفة وفهم منحني الجهد- الاجهاد وأهميته في معرفة الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية.
5. التعرف على مفهوم المتانة والصلادة وطرائق قياس كل منهما.
6. التعرف على الكلال والزحف وأهم العوامل المؤثرة على سلوكيتهما.
7. التعرف على السيوبة، قابلية التشكيل، وقابلية اللحام والعوامل التي تعتمد عليها.

الفـــصل الثاني
خواص المواد المعدنية

1-2 مقدمة

تتكون القشرة الأرضية من ثلاثة أنواع من الصخور، هي الصخور النارية، الصخور الرسوبية، والصخور المتحولة. فضلاً على ذلك، هنالك ثمانية عناصر أساسية تكون أكثر من 98% من صخور القشرة الأرضية وهى بالترتيب: أوكسجين، سيليكون، الألمُنيوم، حديد، كالسيوم، صوديوم، بوتاسيوم، والمغنسيوم، إذ أن معظم المواد التي من حولنا اصلها من صخور القشرة الأرضية، فالزجاج وحجارة البناء والخزف والملح وكذلك المعادن كالألمُنيوم والحديد والنحاس وغيرها كلها مواد استخلصت من الصخور، وهذا يعني أن الصخور مزيج من معادن مختلفة، بينما المواد المعدنية تتكون من عنصر أو أكثر من العناصر الكيميائية، فالمعدن هو الوحدة الأساسية لتكوين الصخور، الشكل (2-1) يبين بعض أنواع الصخور.

شكل 2-1 بعض أنواع الصخور

للمعادن دوراً هاماً في حياتنا اليومية في الوقت الحاضر ويصعب تصور الحضارة الإنسانية اليوم من غير وجود المعادن، فالفولاذ يدخل في حوالي 90% من الصناعات، فهو أساس قيام صناعة الإنشاءات المعدنية وصناعة سكك الحديد والسيارات وغيرها، كما أن الألمُنيوم والمغنيسيوم يساهمان بشكل جوهري في صناعة الطائرات بسبب خفة وزن سبائكهما، والتطور الذي حدث في علم الفضاء لم يكن بالمستطاع الوصول إليه من غير استخدام المعادن وخاصة المعادن غير الحديدية.

يعرف المعدن Metal بأنه: كل مادة صلبة متجانسة تكونت بفعل عوامل طبيعية غير عضوية ولها تركيب كيميائي محدد ونظام بلوري مميز.

ما هي الخصائص العامة للمعدن؟

1. أن يكون مادة صلبة.
2. معتم ولماع وله لون معين.
3. وزنه النوعي عالي نسبياً.
4. أن تكون ذراته أو أيوناته مرتبة ترتيباً هندسياً منتظماً في الأبعاد الثلاثة أي متبلور.
5. عادة يكون موصل جيد للكهرباء والحرارة.

2-2 السبائك

إن المعادن النقية تكون عادة لينة وضعيفة المقاومة لذلك لا تصلح للعديد من الاستخدامات الصناعية، كما أن مقاومتها للعوامل الكيميائية المحيطة في أغلب الأحيان ضعيفة مثل مقاومة التآكل. ونتيجة لذلك يتم خلطها مع بعضها البعض لتكوين السبائك. يحتوي النظام السبائكي على جميع السبائك التي يمكن أن تتكون بإذابة كلية أو جزئية لعدة عناصر مع بعضها في جميع التراكيز المحتملة والممكنة، يطلق على السبيكة المكونة من عنصرين أسم سبيكة ثنائية، أما إذا كانت مكونة من ثلاثة عناصر فهي سبيكة ثلاثية.

3-2 خواص المعادن

تُعد المعادن وسبائكها من أهم المواد المستخدمة في الصناعة، وللحصول على خواص عالية للمنتج النهائي يجب التعرف على أهم خواص المعادن، وتشمل الآتي:

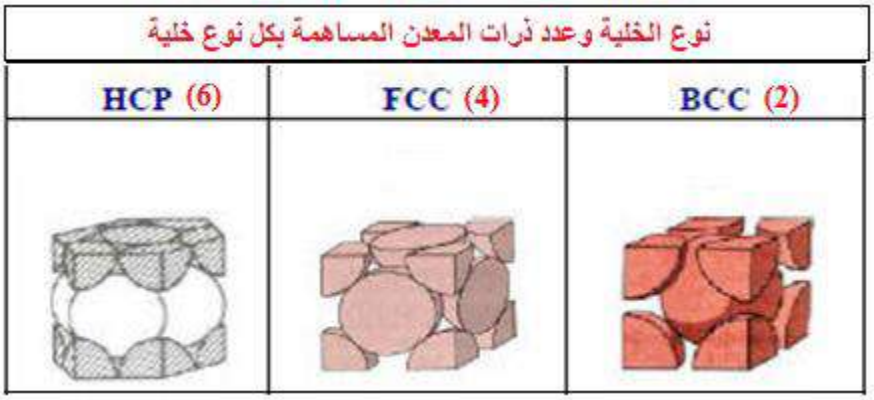
1-3-2 الخواص البلورية Crystal Properties

تتميز المعادن بصورة عامة بأن لها ترتيب ذري منتظم، إذ تنتظم الذرات في بلورات (Crystals) بطريقة دورية (تكرارية) بالرغم من كون هذا التنظيم غير مثالي، وهذا صحيح لكل المواد الصلبة تقريباً المعدنية وغير المعدنية، علماً أن دراسة البنية البلورية في المواد المعدنية تكون أسهل لأن ترتيب الذرات في المعادن والسبائك بسيط نسبياً عادةً، إذ أن المعادن بصورة عامة تنتظم تحت أشكال هندسية بسيطة منها المكعب، متوازي المستطيلات، والسداسي. يطلق على أصغر عدد من الذرات مرتب بشكل هندسي بوحدة الخلية التي تمثل نموذج التبلور، ويتم الحصول على هذه الأشكال الهندسية البسيطة بعد توصيل مراكز الذرات بشبكة من الخطوط الوهمية المنتظمة تُعرف بالشبكة الحيزية (Space Lattice). هنالك ثلاث أشكال هندسية أساسية تنتظم تحتها أغلب المعادن الشائعة الاستخدام، كما هو موضح بالشكل (2-2):

1- مكعب متمركز الجسم **BCC** Body Center Cubic

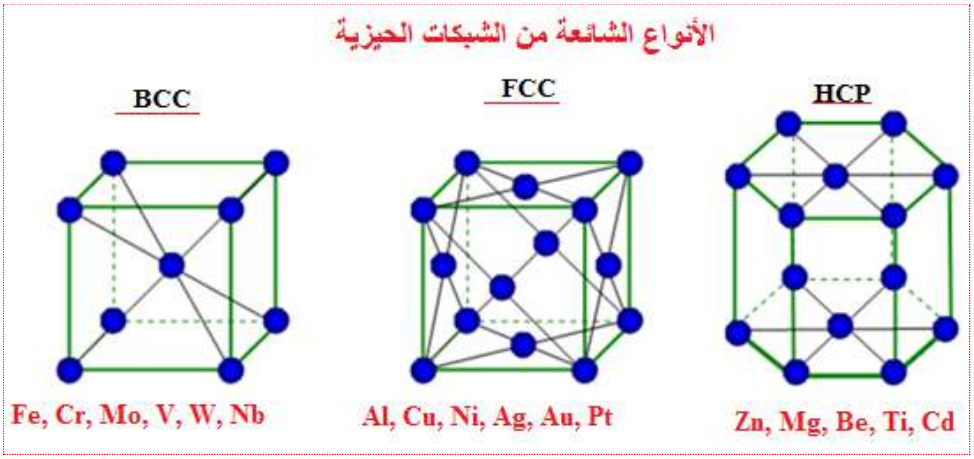
2- مكعب متمركز الوجه **FCC** Face Center Cubic

3- السداسي المتراص المغلق **HCP** Hexagonal Closed Packing



شكل 2-2 يوضح ترتيب الذرات في وحدة الخلية

تكون العلاقة بين الشبكة الحيزية والبنية البلورية بسيطة في حالة الشبكة الحيزية المكعبة، إذ توجد ذرة واحدة في كل نقطة شبكية، أما في الشبكة الحيزية السداسية فتكون العلاقة معقدة بعض الشيء إذ توجد ذرتان ترافقان كل نقطة شبكية وشكل الشبكة عبارة عن معينين متساويين في القاعدتين العليا والسفلى والأوجه عبارة عن مستطيلات متساوية، لاحظ الشكل (2-3) الذي يوضح الشبكات الحيزية وأهم المعادن المنطوية تحتها. وحقيقةً ليس من الضروري وجود نقطة حيزية لكل ذرة موجودة في البُنية البلورية، ولكن الغالب هو وجود ذرة أو أكثر في كل نقطة حيزية. هنالك أدلة كثيرة على ترتيب الذرات المنتظم للمعادن منها حيود الأشعة السينية والطرائق الميتالوغرافية (Metallographic) والتي تعني دراسة البُنية المعدنية باستعمال المجهر.



شكل 2-3 الشبكات الحيزية الشائعة وأهم المعادن التي تنتظم تحتها

2-3-2 الخواص الفيزيائية Physical Properties

المقصود بالخواص الفيزيائية كل خاصية لها علاقة باللون، الكثافة، التوصيل الحراري والكهربائي، درجة الانصهار، نوعية سطح المعدن، وغيرها من الخواص المشابهة.

1-2-3-2 الوزن النوعي (الكثافة النسبية) Specific Gravity (S_G): الوزن النوعي هو معيار يوضح ثقل أو وزن مادةٍ ما، ويمكن تعريفه بأنه النسبة بين كثافة أي مادة (ρ) (kg/m^3) إلى كثافة الماء التي هي بحدود ($1000\ kg/m^3$) وهو مجرد من الوحدات، أي أن:

$$S_G = \frac{\rho\ (\frac{kg}{m^3})}{1000\ (\frac{kg}{m^3})}$$

تختلف المعادن في أوزانها النوعية اختلافاً كلياً فلكل معدن من المعادن وزنه النوعي الخاص به، ويمكن تقسيم المعادن بصورة عامة إلى معادن ثقيلة التي يتراوح وزنها النوعي ما بين (7-11) أو أكثر، ومعادن خفيفة وهي التي يقل وزنها النوعي عن (4)، والجدول (2-1) يتضمن الأوزان النوعية لبعض المعادن المعروفة وشائعة الاستعمال ودرجات انصهارها، فضلاً على رمزها الكيميائي، وفي هذا المجال هنالك سؤال يطرح نفسه وهو (**ما سبب عدم ذكر بعض الرموز الكيميائية لبعض المواد المعدنية في هذا الجدول؟ ولماذا تم ذكر مدى من الأوزان النوعية ودرجات الانصهار دون ذكر رقم واحد محدد؟**).

2-2-3-2 درجة الانصهار Melting Point: وتسمى في بعض الأحيان نقطة الانصهار، أن المعادن كافة تتحول من الحالة الصلبة Solid إلى الحالة السائلة Liquid عند رفع درجة حرارتها إلى درجة الانصهار ولكل معدن درجة انصهاره الخاصة وتختلف درجة الانصهار هذه من معدن إلى آخر. أن معرفة درجة انصهار المعادن مهمة جداً، إذ يمكن من خلالها معرفة الطريقة المناسبة لاستخلاص تلك المعادن من خاماتها، فضلاً على معرفة الطرائق المناسبة لعمليات اللحام وعمليات السباكة.

جدول 2-1 الوزن النوعي لأهم المعادن الهندسية شائعة الاستعمال ودرجات إنصهارها

المواد المعدنية	الرمز الكيميائي	الوزن النوعي	درجة الانصهار (°C)
الألمُنيوم	*Al*	2.70	660
الخارصين	*Zn*	7.15	420
حديد الزهر		7.03-7.13	1175-1290
القصدير	*Sn*	7.31	232
البرونز		7.4-8.9	850-1150
النحاس	*Cu*	8.97	1083
النيكل	*Ni*	8.92	1455
الفولاذ (حديد الصّلب)		7.70-7.83	1425-1450
الرصاص	*Pb*	11.35	327
البلاتين	*Pt*	21.50	1769
البراص		8.4-8.7	930-1025
الفضة	*Ag*	10.50	961
الذهب	*Au*	19.30	1063

3-2-3-2 الموصلية الحرارية (k) Thermal Conductivity: إن جميع المعادن لها القدرة على توصيل الحرارة، ولكنها تختلف بقابليتها للتوصيل الحراري باختلاف بنيتها البلورية وأسباب أخرى لا يتسع المجال لذكرها. أفضل المعادن في التوصيل الحراري هو الفضة ويليه النحاس والألمُنيوم وهكذا، أما المواد غير المعدنية كالزجاج والطابوق والأسبستوس والصوف الزجاجي وغيرها فأنها تكون عادة رديئة التوصيل الحراري وتستعمل مثل هذه المواد كعوازل حرارية. وتقاس قابلية المواد على نقل الحرارة (الموصلية الحرارية) بكمية الطاقة الحرارية الجول (J) التي تنقلها وحدة السطوح من المقطع العرضي للجسم (m^2) بطول معين (m) خلال وحدة الزمن (s)، ومن الجدير بالذكر أن انتقال الحرارة عبر معدنٍ ما سترتفع من درجة حرارته وهذا بحد ذاته سيقلل من قوة تماسك ذراته وبالتالي سيؤدي إلى تقليل مقاومة المعدن للجهود المختلفة المسلطة عليه كجهد الضغط والسحب والحني واللي وغيرها، لاحظ الجدول (2-2) الذي يوضح مقادير الموصلية الحرارية والكهربائية لبعض المعادن الشائعة نسبة إلى قابلية الفضة على نقل الحرارة والكهرباء والتي تُعد مقداريهما 100%، كذلك ذكرت مقادير الموصلية الحرارية بوحدات القياس (W/m.°C)، لغرض المقارنة بين المواد جيدة التوصيل الحراري مثل المواد المعدنية والمواد رديئة التوصيل الحراري مثل المواد الخزفية واللدائنية والتي تسمى بالمواد العازلة.

4-2-3-2 الموصلية الكهربائية Electrical Conductivity: تقريباً جميع المعادن لها قابلية على التوصيل الكهربائي، ولكن هذه القابلية متفاوتة من معدن إلى آخر ويمكن القول أن المعادن جيدة التوصيل الحراري هي جيدة التوصيل الكهربائي. أن أفضل المعادن من حيث هذه الخاصية هو الفضة ويليها النحاس والذهب والألمُنيوم والخارصين وهكذا، ومن جهة أخرى تُعد بعض المواد غير المعدنية مثل الزجاج والخزف والمطاط وغيرها رديئة التوصيل الكهربائي وتسمى مثل هذه المواد بالعوازل الكهربائية، ومن الملاحظ أن مرور التيار الكهربائي في المعادن يرفع من درجة حرارتها فتقل بذلك قوة التماسك النظرية بين الذرات وتضعف مقاومتها للجهود المختلفة المسلطة عليها. وتزداد درجة حرارة المعدن كلما إزداد مقدار شدة التيار الكهربائي وقلت مساحة مقطع السلك الناقل لهذا التيار، فضلاً على نقصان الموصلية الكهربائية التي تُعد خاصية من خواص المواد.

جدول 2-2 قابلية المعادن على التوصيل الحراري والكهربائي

المعدن	قابلية التوصيل الحراري %	الموصلية الحرارية W/m.°C	قابلية التوصيل الكهربائي %
الفضة	100	429	100
النحاس	94	401	95
الألمُنيوم	48	205	60
الخارصين	28	116	27
الحديد	18	80	16
النيكل	21	91	23
القصدير	15.2	67	14
الرصاص	8.2	35	7.8
الخشب	0.04	0.17	-
لصوف زجاجي	0.01	0.04	-
بولسترين	0.007	0.03	-

3-3-2 الخواص الكيميائية Chemical Properties

ويقصد بها التركيب الكيميائي Chemical Structure، سرعة التأكسد، طبيعة النشاط الكهرو-كيمائي (التآكل)، إمكانية الاتحاد مع بقية العناصر، مقاومة الأحماض والمذيبات القلوية، وغيرها. **يعرف التآكل بأنه تلف المواد المعدنية واللامعدنية غير المتعمد نتيجة تفاعله كيميائياً أو كهرو- كيميائياً مع الجو أو الوسط المحيط به**. أن المعادن كافة تبدي مقاومة معينة ضد العوامل الجوية والكيميائية ولكن

بنسب متفاوتة تختلف باختلاف المعادن ويقصد بمقاومة التآكل والتأكسد هي مقاومة المعادن للعوامل الجوية والكيميائية والمقاومة التي تبديها هذه المعادن للتفاعل مع الغازات الجوية كالأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون أو مع الرطوبة الجوية أو مع المواد الكيميائية كالحوامض والقواعد أو السوائل العضوية أو في ماء البحر أو التربة وغيرها، فالمعادن تختلف في سهولة أو طبيعة تآكلها وتأكسدها. أن الفرق ما بين التأكسد والتآكل هو أن التأكسد يحدث غالباً بدرجات الحرارة العالية وبدون الحاجة للرطوبة وهو تفاعل كيميائي، أما التآكل فهو تفاعل كهرو- كيميائي ويحدث في كافة الظروف مع وجود الرطوبة. أكاسيد المعادن تكون عادةً ضعيفة بمقاومة الجهود المختلفة المسلطة عليها، فكلما زادت قابلية المعدن للتأكسد والتآكل في الظروف الجوية الاعتيادية كلما قلت مقاومته وتقل أيضاً فترات الصيانة المطلوبة، لذلك كان من الضروري تغطية المنتجات المعدنية أما بصفائح معدنية رقيقة ذات قابلية عالية لمقاومة التآكل والعوامل الجوية كالألمُنيوم مثلاً أو طلائها كهربائياً بمعادن أخرى ذات مقاومة عالية كالنيكل لوقاية المعدن الأصلي أو طلائها بالأصباغ أو الزيوت وغيرها من طرائق الحماية من التآكل والتأكسد.

طرائق الحماية من تآكل وتأكسد المواد المعدنية كثيرة ومختلفة وتتضمن الآتي:

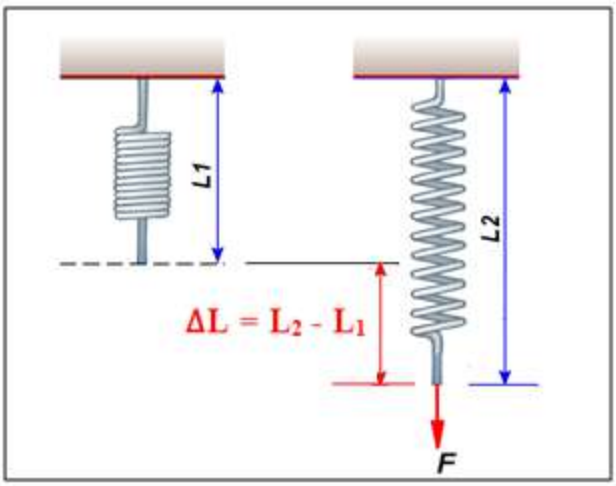
- اختيار المعدن أو السبيكة المناسبة لظروف عمل تلك المواد.
- التغطية بمادة مقاومة ضد التآكل، مثل التغطية بمواد معدنية معينة وبالمواد العضوية مثل الزيوت والشحوم والشمع واللاعضوية مثل أكاسيد المعادن كالطلاء بالمينا.
- الحماية بتغير الوسط (المحيط التآكلي).
- الحماية باستعمال الموانع الكيميائية مثل المواد المضافة لماء تبريد محركات السيارات.
- التحكم بالتآكل عن طريق تصميم قطعة العمل بشكل مناسب لظروف المحيط التآكلي.
- الحماية الكاثودية والحماية الآنودية.

أن كل طريقة من الطرائق المذكورة أعلاه لها أساليبها الخاصة المتنوعة، وسيتم ذكر تفاصيلها في مراحل دراسية قادمة، وتستند أساليب أو طرائق الحماية من التآكل على عدة مبادئ أساسية تتضمن الآتي:

- ❖ نوعية المادة
- ❖ طريقة تصنيع قطعة العمل
- ❖ مدة اشتغال قطعة العمل
- ❖ ظروف اشتغال قطعة العمل
- ❖ طبيعة ونوعية التآكل المحتمل حدوثه
- ❖ العوامل الاقتصادية

4-3-2 الخواص الميكانيكية Mechanical Properties

الخواص الميكانيكية هي ردود فعل أو سلوك المادة تحت تأثير القوى الخارجية، فعند تعرض أي مادة إلى قوة خارجية تنشأ قوى داخلية تحاول معادلة تأثير القوى الخارجية، أي بمعنى آخر، لو اعتبرنا المادة أو المعدن كنابض كما هو موضح بالشكل (2-4) فعند سحبه أو ضغطه بقوة خارجية تنشأ فيه قوة داخلية معاكسة، تكون واضحة لنا عند إزالة القوة الخارجية، حيث يعود النابض إلى وضعه الأصلي. القوى الداخلية هذه هي قوى الارتباط (الأواصر) المختلفة بين الذرات، سواء كانت معدنية أو أيونية أو تساهمية أو غيرها.



شكل 2-4 القوة المؤثرة على النابض

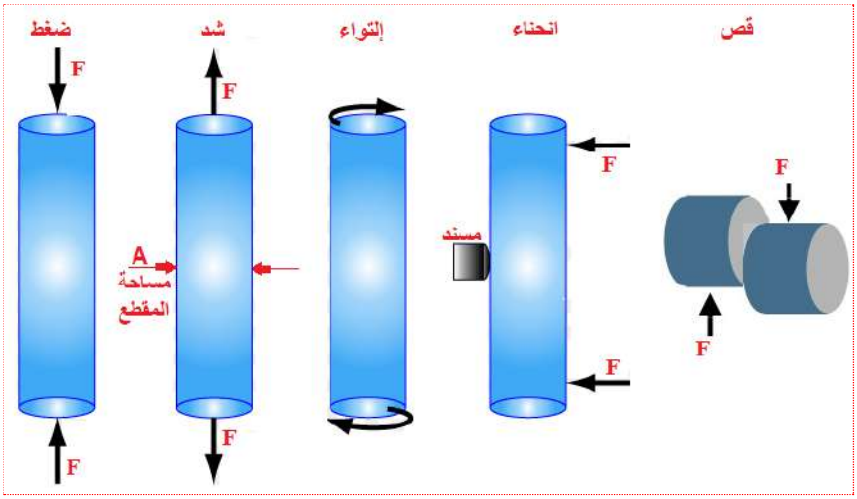
تُعد المقاومة Strength من أهم الخواص الميكانيكية للمعادن والمواد بصورة عامة، ولما كانت سلوكية المادة تعتمد على طريقة تسليط الأحمال، لاحظ الشكل (2-5)، لذا استنبطت طرائق عدة لاختبار المواد المعدنية (الفحوصات الهندسية) تتوافق مع طبيعة تعرض تلك المواد للقوى الخارجية المتمثلة بالآتي: $\Delta L = L_2 - L_1$

- قوة شد Tensile Force
- قوة ضغط Compressive Force
- التواء Torsion
- انحناء Bending
- قوة قص Shear Force

وكذلك تتأثر سلوكية المادة بمعدل تسليط الأحمال هل هو:

- ساكن (ستاتيكي) Static
- صدمي Impact
- دوري Cyclic

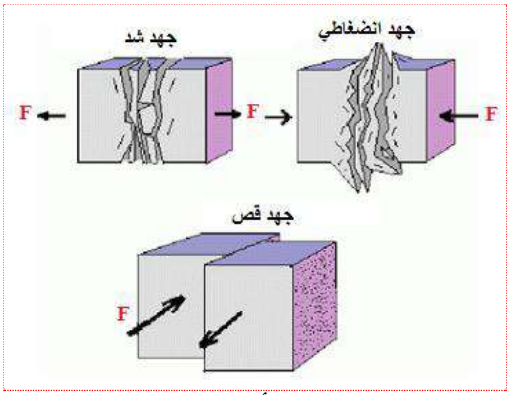
ومن الجدير بالذكر تُعد درجة حرارة الفحص من الأمور المهمة التي يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار لتتماشى مع ظروف عمل التصميم الهندسي للمادة.



شكل 2-5 أنواع الأحمال

2-4-3-1 منحني الجهد - الإجهاد Stress-Strain Curve

عند إخضاع عينة من معدن لقوة شد طولية، فإنها سوف تعاني تغير ملحوظ في شكلها، يقال عنه تشوه Deformation، لو استعادت العينة شكلها الأصلي بعد زوال تأثير القوة، يقال إن العينة مرت بتغير مرن Elastic Deformation، وإذا لم تستعيد العينة شكلها الأصلي يقال إنها عانت تغير لدن Plastic Deformation، مقدار تغير الأبعاد في التغير المرن صغير جداً، إذ أن الذرات تزاح عن مواقعها الأصلية ليس بالمقدار الذي يجعلها تنتقل إلى مواقع جديدة، ولذلك عند زوال القوة تعود الذرات إلى مواقعها الأصلية، وتستعيد العينة شكلها الأصلي. أما إذا كان تأثير القوة بحيث تنتقل الذرات إلى مواقع جديدة، فلن تستعيد العينة شكلها الأصلي بعد زوال القوة، ويصبح تشوهها دائم. هنالك ثلاثة أنواع من الجهود الستاتيكية (طريقة تسليط الأحمال تكون ببطء شديد) وهي جهود الشد والضغط والقص، جهود الشد تحاول أن تمط المعدن وجهود الضغط تعصر المعدن وجهود القص تعمل على قص القطعة المعدنية إلى قطعتين بموازاة منطقة القص، لاحظ الشكل (2-6). منحني الجهد-الإجهاد يوفر المعلومات المهمة للخواص الميكانيكية للمواد الهندسية عند تحميلها بالجهود المذكورة. وقبل التعرف على هذا المنحني وتفاصيله سيتم في هذه الفقرة توضيح المصطلحات المتعلقة بالموضوع، وكالآتي:



شكل 2-6 أنواع الجهود

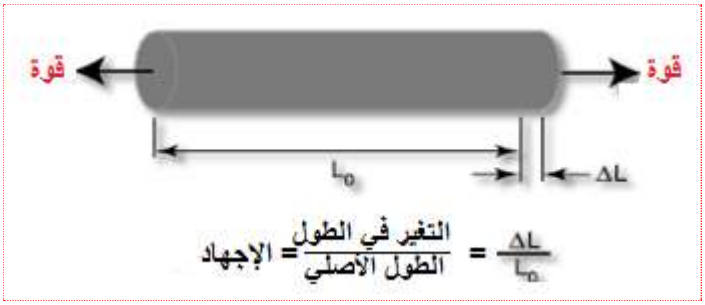
1- الجهد (σ) Stress: ويعرف بأنه مقدار القوة العمودية (F) المؤثرة على وحدة المساحة (A) من الجسم، ويقاس الجهد بوحدات (N/m^2) وتسمى الوحدة الناتجة باسكال (Pa).

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

مقطع العينة قد يكون بشكل دائري أو مستطيل أو أي شكل آخر، ونتيجة تأثير الجهد المسلط على القطعة المعدنية سيحدث إجهاد أو يسمى (انفعال) لها، مما يؤدي إلى حدوث استطالة بالمعدن نسبة إلى طولها الأصلي وهذا التأثير يسمى بالإجهاد أو الانفعال.

2- الإجهاد (ε) Strain: هو مقدار التغير في طول العينة (ΔL) نسبة إلى طولها الأصلي (L_0)، يسمى الإجهاد في بعض المصادر العلمية بالانفعال، لاحظ الشكل (2-7)، والإجهاد مجرد من الوحدات لأن وحدات التغير بالطول هي (mm) وهي نفسها وحدة الطول الأصلي.

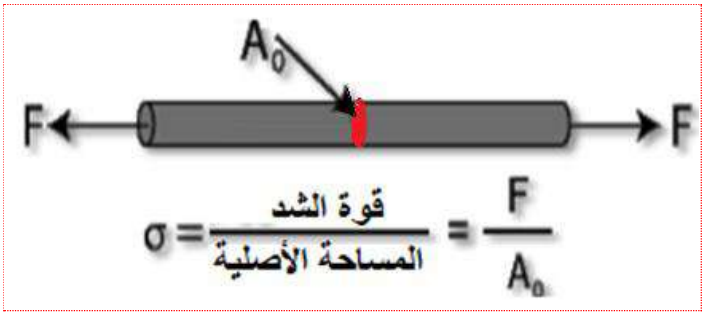
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$



شكل 2-7 يوضح تسليط قوة شد والتغير الحاصل في طول العينة

3- جهد الشد (σ_t) Tensile Stress: وهو الحمل الذي يسبب تشوهاً في طول الجسم عندما تؤثر قوتا شد (سحب) مع محور الجسم (عمودياً على مقطع الجسم)، ويؤدي إلى زيادة في الطول (استطالة)، كما مبين في الشكل (2-8)، ويمكن حساب هذا الجهد من المعادلة الآتية:

$$\sigma_t = \frac{F}{A_0}$$

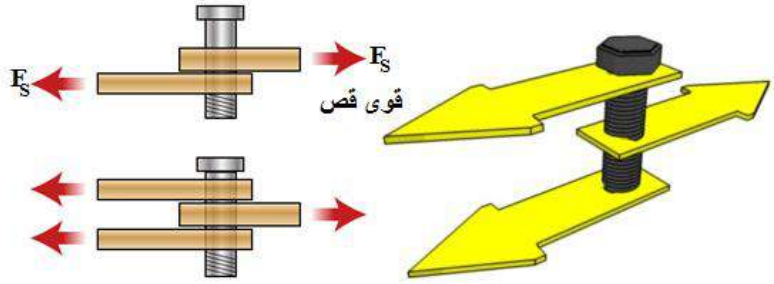


شكل 2-8 جهد الشد

4- جهد الضغط (σ_c) Compressive Stress: وهو الجهد الذي يسبب تشوهاً في طول الجسم عندما تؤثر قوتا ضغط عمودياً على مقطع الجسم مما يؤدي إلى نقصان في الطول، (القوة المسلطة تكون عمودية على المساحة) ويمكن حساب هذا الجهد بالمعادلة السابقة نفسها مع الأخذ بنظر الاعتبار أن تكون إشارة القوة سالبة.

5- جهد القص (τ) Shear Stress: وهو الجهد الذي يسبب تشوهاً في أبعاد الجسم عندما تؤثر قوتان مماستان لسطحه ويؤدي إلى تشوه، (القوة المسلطة تكون موازية لمستوي المساحة) لاحظ الشكل (2-9)، ويمكن حساب جهد القص بالمعادلة الآتية:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

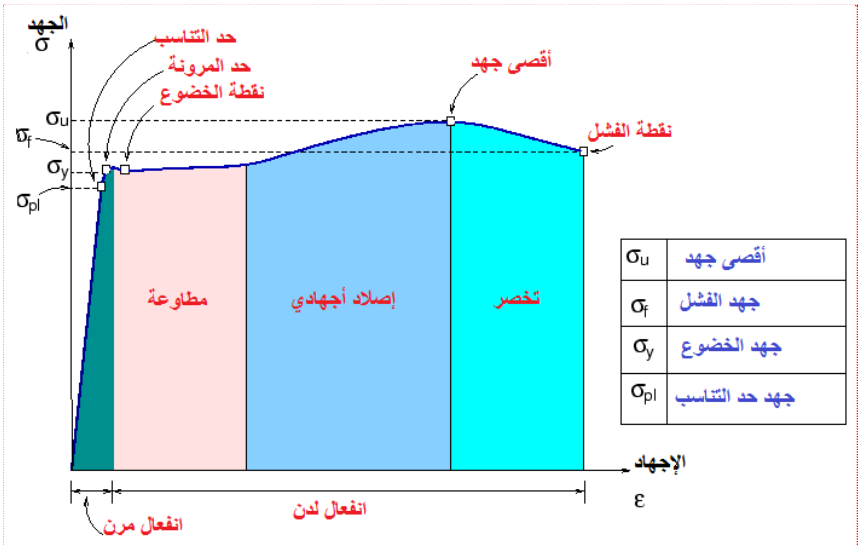


شكل 2-9 جهد القص

بعد التعرف على أهم المصطلحات ذات العلاقة بمنحي الجهد-الإجهاد، وهو عبارة عن العلاقة بين الجهد والإجهاد، لاحظ الشكل (2-10)، علماً أن لكل معدن ولكل سبيكة وبالأحرى لكل مادة منحني خاص بها، كما أن لكل مادة العديد من منحنيات الجهد-الإجهاد بالاعتماد على عوامل عدة، منها:

- **درجة حرارة العمل**
- **المعاملات الحرارية التي أجريت على المعدن**
- **سرعة الفحص**

ولذا يجب أن تذكر كل هذه المعلومات على المنحني نفسه.



شكل 2-10 منحني الجهد-الإجهاد موضح فيه منطقة المرونة واللدونة والجهود المختلفة

تتوفر مكائن فحص خاصة لغرض إجراء الفحوصات الهندسية المختلفة للمعادن ومنها فحص الشد، إذ يتم فيه تحضير عينات قياسية من المعدن أو المادة المراد معرفة خواصها الميكانيكية ومن خلال نتائج الفحص هذا يتم رسم منحني الجهد-الإجهاد الهندسي. ومن الجدير بالذكر أن هنالك منحني مشابه للمنحني المذكور ويسمى بمنحني الجهد-الإجهاد الفعلي أو الحقيقي True Stress-Strain Curve، ولا يختلف كثيراً عن المنحني الهندسي إلا بكيفية استنتاج الجهد في كل مرحلة يتم فيها رفع الحمل، وذلك بتقسيم الحمل (القوة) على مساحة مقطع العينة الفعلي أثناء الفحص وفي كل مرحلة، وليس بمساحة مقطع العينة الأصلي كما في استنتاج الجهود في منحني الجهد-الإجهاد الهندسي. حقيقةً أن منحني الجهد-الإجهاد الهندسي هو شائع الاستخدام وخصوصاً في التصاميم الهندسية. من خلال دراسة منحني الجهد-الإجهاد الهندسي يمكن معرفة الكثير من الخواص الميكانيكية المهمة المفيدة في التصاميم الهندسية كنقطة الخضوع ومنطقة المرونة، وأيضاً الخواص التي لها علاقة بعمليات التشكيل والتصنيع المختلفة مثل أقصى جهد تحمل Maximum tensile Stress ومنطقة اللدونة والمتانة وغيرها من الخواص.

2-4-3-2 المرونة وقانون هوك Elasticity and Hooke's Law

عند تعليق نابض من الفولاذ من أحد طرفيه وتسليط قوة (F) على الطرف الآخر، فانه يستطيل قليلاً بعد برهة من الزمن، وعند إزالة الثقل المسلط عاد النابض إلى طوله الأصلي بفعل قوى التجاذب بين جزيئات المادة بسبب المرونة العالية التي تمتلكها النوابض. وجد العالم روبرت هوك العلاقة بين القوة المؤثرة في سلك ومقدار التغير الحاصل في طوله، ***فالزيادة الحاصلة في طول سلك ما تتناسب طردياً مع قوة الشد ضمن حدود المرونة***، المعادلة الآتية توضح العلاقة المذكورة:

$$\boldsymbol{F = k \times \Delta L}$$

إذ أن:

F: قوة الشد Tensile Force التي سببت الاستطالة، وتقاس بوحدة نيوتن N.

ΔL: مقدار الاستطالة Elongation، ($L_1 - L_2$) وتقاس بوحدة المتر m.

k : ثابت المرونة، ويقاس بوحدات N/m.

وثابت التناسب يقع في منحني الجهد-الإجهاد قبل نهاية حد المرونة بقليل، ويمكن تطبيق قانون هوك بشكل صحيح لحد ثابت التناسب الذي يعرف بأنه نقطة الحمل التي يتوقف عندها تناسب التشويه مع الجهد طردياً، أما بعد هذه النقطة لا يمكن تطبيق القانون وإن كان الجهد ضمن حد المرونة لكون العلاقة بين الجهد والإجهاد بعد حد التناسب أخذت طابعاً غير خطياً. ويمكن صياغة قانون هوك كالآتي:

$$\boldsymbol{\sigma = E \times \varepsilon}$$

إذ أن E تمثل معامل المرونة Modulus of Elasticity، ووحدة قياسه مشابهة لوحدة قياس الجهد (Pa).

الجدول (2-3) يوضح مقادير معامل المرونة وجهد الخضوع وجهد الشد الأقصى لبعض المواد الهندسية. علماً أن مقادير جهد الخضوع والشد الأقصى هي ليست ثابتة بل قد تكون أكثر أو أقل مما ذكر بالجدول بالاعتماد على الكثير من العوامل منها طريقة تصنيع قطعة العمل أو نموذج الفحص، نوع المعاملة الحرارية، نسبة عناصر السبك بالنسبة للسبائك، الإصلاد الإجهادي، وغيرها من العوامل. أما بالنسبة لقيم معامل المرونة فهو لا يتأثر بالعوامل المذكورة لأنه هو معيار لصلبية المعدن Stiffness وهي خاصية أخرى للمعادن وهي دالة على مقاومة التشويه تحت حد المرونة والتي تعني التماسك النظري للذرات الناتجة من توازن قوى الجذب والتنافر بينها وتتغير مقادير هذه القوى عند تسليط قوى خارجية وذلك بتغير المسافة بين الذرات ولكن عند إزالة المؤثر الخارجي يعود المعدن إلى وضعه الأصلي، ويتأثر معامل المرونة بدرجة الحرارة فقط، ولذا يلاحظ تكرار نفس المقدار لمعامل المرونة في حالة المعدن نفسه ولكن بظروف متغيرة.

جدول 2-3 مقادير معامل المرونة وجهد الخضوع وجهد الشد الأقصى لبعض المواد الهندسية

المادة	معامل المرونة GPa	جهد الخضوع MPa	جهد الشد الأقصى MPa
الألمُنيوم (مخمر)	69	28	69
الألمُنيوم (أصلاد إجهادي)	69	105	125
سبائك الألمُنيوم	69	175	350
حديد الزهر	138	275	275
نحاس (مخمر)	110	70	205
سبائك النحاس	110	205	410
سبائك المغنسيوم	48	175	275
نيكل (مخمر)	209	150	450
الرصاص	21	-	17
فولاذ واطئ الكاربون	209	175	300
فولاذ عالي الكاربون	209	400	600
فولاذ سبائكي	209	500	700
فولاذ مقاوم للتآكل	209	275	650
تيتانيوم	117	350	515
سبائك التيتانيوم	117	800	900
التنكستن	407	550	620
كارباید السليكون	460	-	100-820
نايلون	1.8	50	70
بولسترين	3	40	45
PVC	3	42	48

يعرف حد المرونة بأنه أعلى حمل يمكن تسليطه على المعدن بحيث لا يترك تشويهاً دائماً عند رفعه، وإذا زاد الحمل عن هذا الحد لن يعود الجسم إلى ما كان عليه بعد زوال القوة، فيقال عن ذلك الجسم بأنه تعرض لتشوه دائمي Permanent Deformation. وحد المرونة كما هو واضح في منحني الجهد-الإجهاد يقع قبل نقطة (جهد) الخضوع بقليل، وفي هذه المنطقة يستعيد الجسم شكله وأبعاده الأصلية بعد زوال القوى المؤثرة عليه. تمثل نقطة الخضوع الحد الفاصل بين منطقتي المرونة واللدونة، أي عند زيادة الجهد المسلط عن جهد الخضوع فأن المادة ستكتسب أبعاد جديدة أو أشكال تختلف عن شكلها الأصلي، أن معرفة منطقة اللدونة مفيدة في عمليات التشكيل المختلفة. جميع المعادن تقاوم القوى الخارجية المؤثرة عليها بدرجات متفاوتة عندما تتعرض للضغط أو السحب أو الحني أو اللي وتسمى قدرة المعدن على استعادة شكله الأول بعد إزالة القوة المسببة للإجهاد بالمرونة وكلما زادت مقاومة الجسم للتغيرات زادت مرونته، فحدود مرونة الفولاذ أكبر من حدود مرونة الرصاص وهكذا.

أدناه التعاريف الخاصة بالخواص ذات العلاقة بفحص الشد:

1- **المرونة Elasticity**: هي قابلية المادة لاسترجاع شكلها الأصلي عند زوال القوة المؤثرة عليها، وتقع منطقة المرونة في منحني الجهد-الإجهاد إلى يسار نقطة الخضوع.

2- **اللدونة Plasticity**: المادة غير قابلة لاسترجاع شكلها الأصلي بعد زوال القوة المؤثرة، وتقع منطقة اللدونة في منحني جهد-الإجهاد إلى يمين نقطة الخضوع.

3- **المطيلية Ductility**: هي قابلية المادة للاستطالة عند شدها وتقاس هذه الخاصية بمقدار الزيادة في طول العينة أو النقصان في مساحة مقطعها. وهذه الخاصية مهمة في عمليات التشكيل، إذ يمكن تشكيل المعادن ذات المطيلية الجيدة بسهولة.

3-4-3-2 خواص ميكانيكية أخرى Other Mechanical properties

هنالك خواص ميكانيكية مهمة أخرى للمواد المعدنية لا يمكن استنتاجها من منحني الجهد-الإجهاد الهندسي وإنما تحتاج إلى فحوصات أخرى تختلف عن فحص الشد وتتضمن الآتي:

1- **المتانة Toughness**: هي قدرة المادة على مقاومة تأثير الصدمات المؤثرة عليها أو هي مقدار الشغل المصروف لكسر أو فشل المادة وهي حاصل جمع منطقتي المرونة واللدونة متمثلة في كامل المنطقة تحت منحني الجهد-الإجهاد. تمتلك بعض المعادن مقاومة شد أقصى عالية ولكن لا تمتلك متانة، ومعادن أخرى لها متانة جيدة في الظروف الاعتيادية ولكن بدرجات الحرارة المنخفضة تفقد متانتها وتتحول من مادة مطيلية إلى مادة قصفة Brittle وهذا التحول المفاجئ يكون خطير جداً إذ لا يصاحب زيادة الجهد تغير كبير في مساحة المقطع (لا يحدث تخصر) مما يسبب فشل القطعة المعدنية بشكل مفاجئ وليس بشكل تدريجي وهذا ما يحدث في الكثير من حوادث الطائرات ووسائط النقل الأخرى والمنشآت وغيرها.

المعدن ذو المتانة العالية يجب أن يمتلك مقاومة شد عالية وبنفس الوقت يمتلك مطيلية جيدة، أن معدن الرصاص يمتلك مطيلية عالية جداً ولكن ذو مقاومة شد واطئة لذا هذا المعدن تكون متانته واطئة أيضاً، وبنفس الحالة تقريباً أن الفولاذ المبرد سريعاً بالماء له مقاومة شد عالية ولكن مطيليته واطئة ولذا تكون متانته واطئة أيضاً. بصورة عامة المعادن ذات الشبكة الحيزية المكعبة ومتمركزة الأوجه FCC مثل سبائك النحاس والألمُنيوم والنيكل لها متانة أفضل من المعادن ذات الشبكة الحيزية المكعبة ومتمركزة الجسم BCC مثل الفولاذ وحديد الزهر لتأثر متانتها بشكل كبير عند انخفاض درجات الحرارة، وكذلك المعادن ذات الشبكة الحيزية السداسية المتراصة المغلقة HCP مثل الخارصين لها متانة واطئة. ومن الجدير بالذكر، يمكن تحسين خاصية المتانة للمعادن وذلك بتصغير الحجم الحبيبي عن طريق المعالجات الحرارية الخاصة لهذا الغرض.

أن هنالك طريقتين شائعتين لفحص المتانة وهما طريقتا Izod و Charpy، وتختلف الطريقتين فقط بطريقة تثبيت عينة الفحص على الجهاز. عادةً يتم إجراء هذا الفحص لمعرفة طاقة الصدمة للمعادن والتي تقاس بوحدات الشغل (J)، وكذلك لقياس درجة حرارة التحول Transition Temperature وهي درجة الحرارة التي يتحول فيها المعدن من مطيلي إلى قصيف.

2- **الصلادة Hardness**: هي مقاومة المادة للخدش أو الحك (مقاومة الاختراق) Indentation، من المعروف أن كل مادة عالية الصلادة تكون عالية المقاومة، ولكن ليس كل مادة عالية المقاومة تكون بالضرورة عالية الصلادة وخير مثال على ذلك معدن التنكستن إذ يمتلك المعدن مقاومة عالية ولكن صلادته واطئة جداً. هنالك طرائق عدة لفحص صلادة الأجسام تعتمد على نوعية المادة ومقدار صلادتها. إذ يتم فحص المواد المعدنية وغير المعدنية واطئة ومتوسطة الصلادة بطريقة برينيل (HB) Brinell Hardness Test وهي طريقة شائعة الاستعمال، إذ يستعمل في هذا الفحص كرة فولاذية مصلدة بقطر (10 mm) تضغط على سطح القطعة المراد فحص صلادتها بأحمال تصل إلى (3000 kg) ومن خلال الآثار التي تركتها الكرة على سطح القطعة المعدنية يمكن إيجاد مقدار صلادة هذه القطعة. أما طريقة روكويل Rockwell Hardness Test (HR) فتستخدم تقريباً لجميع المواد باستخدام مخروط أو كرة صغيرة تضغط على سطح العينة. وطريقة فيكرز (HV) Vickers Hardness Test يستخدم فيها هرم صغير من الماس كأداة اختراق سطح عينة الفحص، وتستخدم لجميع المواد إذ يمكن تسليط أحمال مختلفة كثيرة بحسب صلادة عينة الفحص، ولكون جهاز الفحص عالي الكلفة نسبياً يتم إجراء هذا النوع من الفحص عادةً في المختبرات. وهنالك طريقة فحص تسمى فحص الصلادة بالارتداد، وذلك بإسقاط أداة الاختراق من ارتفاع معين على عينة الفحص ويقاس مقدار الارتداد لغرض معرفة الصلادة عن طريق جداول معينة، وهي طريقة غير دقيقة ولكنها تمتاز بسهولتها وإمكانية تنفيذها موقعياً على قطع كبيرة. الجدول (2-4) يوضح مقادير صلادة بعض المواد الهندسية.

ومن الجدير بالذكر، لا يتم اعتماد قراءة واحدة بفحص الصلادة بل يتم أخذ قراءات عدة ومن ثم يأخذ المعدل لهم. هنالك تطبيقات كثيرة ومهمة تستخدم فيها معادن أو سبائك متوسطة أو واطئة الصلادة، ولكن يتم تصليد سطح القطعة المعدنية فقط مثل أعمدة الدوران التي تعاني كثيراً من التآكل الاحتكاكي وخصوصاً في مناطق الارتكاز نتيجة دورانها داخل المحامل، وبالرغم من عملية التصليد السطحي يحافظ عمود الدوران على متانة جيدة وهي المطلوبة أثناء العمل، قضبان سكك الحديد وعجلات القطار وغيرها من التطبيقات التي لا يسع المجال لذكرها يتم تصنيعها بالطريقة ذاتها أي صلادة عالية عند السطح ومتانة جيدة في وسط القطعة المعدنية. من خلال هذا المثال، يستنتج أن خاصية المتانة والصلادة في المواد المعدنية تكون على طرفي نقيض تقريباً أي عند زيادة الصلادة تقل المتانة، لأنه عندما يكون المعدن ذو متانة جيدة يجب أن يمتلك مقاومة عالية وفي نفس الوقت مطيلية جيدة، والمواد الصلدة لا تمتلك مطيلية جيدة بل تكون عادةً قصفة لا تتحمل الصدمات كما في حديد الزهر، ولهذا من غير الممكن تصنيع المعادن أو السبائك الصلدة بطريقة التشكيل التي تتطلب صلادة منخفضة ومطيلية جيدة مع مقاومة شد عالية.

جدول 2-4 صلادة بعض المواد الهندسية

المادة	صلادة برينيل HB	صلادة روكويل HR		صلادة فيكرز HV
		R_B	R_C	
بولي أثيلين (كثافة واطئة)	2			
الرصاص	4			
بولي فينيل-كلوريد (PVC)	10			
الألمُنيوم (مخمر)	20			
الخارصين	30			
الألمُنيوم (تشكيل على البارد)	35			
سبائك الألمُنيوم (مقسى)	90	52		
فولاذ واطئ الكربون (مخمر)	100	55		
فولاذ واطئ الكربون (مشكل على البارد)	148	80		155
حديد الزهر الرمادي	230		21	240
حديد الزهر الأبيض	425		45	450
فولاذ (مقسى بالماء) ومراجع	480		50	510
فولاذ القطع السريع	740		65	800
اللقم الكاربيدية (WC-Co)				2000
الألومينا (Al_2O_3)				2200
نتريد البورون (BN)				6000
الماس الصناعي				7000
الماس الطبيعي				10000

3- الكلال Fatigue: يعرف الكلال بأنه فشل المعادن المعرضة إلى جهود دورية أو متغيرة. من خصائص فشل الكلال إنه يعتمد على عامل الزمن ولا يحدث تغير في البنية الداخلية وأنه قصيف في مظهره إذ لا يصاحبه أي تخصر أو استطالة كما يحدث بحمل الشد، لذا يحدث الفشل بدون سابق إنذار. تتضمن القطع المعدنية التي تتعرض إلى هذا النوع من الفشل الأجزاء المتحركة بوسائط النقل، المضخات، التوربينات، أعمدة الدوران، المكابس، وغيرها الكثير. لأهمية خاصية الكلال استنبطت طرائق وأجهزة خاصة للفحص، ونتائج الفحص توضح مقدار الحمل المسلط على القطعة المعدنية وعدد الدورات التي تشير إلى زمن عمل القطعة وحدث الفشل فيها. من الجدير بالذكر أن الفولاذ من أفضل المواد المعدنية وغير المعدنية في مقاومة الكلال ويعود السبب إلى بنيته الداخلية. أهم العوامل المؤثرة على سلوكية الكلال هي:

- سرعة الدوران، إذ يتحسن حد الكلال عند زيادة سرعة الدوران.
- حجم القطعة المعدنية، كلما صغر حجم القطعة المعدنية كلما تحسن حد الكلال.
- جودة السطح، لما كان فشل الكلال يبدأ من شرخ على السطح، فيجب تجنب أي حالة تساعد على تكوين الشروخ مثل الحزوز أو التآكل النقطي أو وجود المركبات غير المعدنية لتحسين حد الكلال.
- تصميم القطعة المعدنية، تجنب الزوايا الحادة ومجاري الخابور وتحويرها تصميمياً لتلائم مقاومة الكلال
- المعاملات الحرارية، لتحسين حالة السطح وبالتالي تحسين حد الكلال.
- مقاومة المعدن، يتم تحسين مقاومة المعدن بطرائق عديدة مثل التشكيل على البارد ومنها يتم تحسين حد الكلال.
- طرائق التصنيع، لا تفضل طرائق تصنيعية معينة للقطع المعرضة للجهود الدورية مثل السباكة واللحام لأنها تعطي نتائج بحد كلال واطئة نسبة لطرائق أخرى.

4- الزحف Creep: يعرف الزحف بأنه التشوه اللدن البطيء للمواد المعدنية تحت جهد ثابت والذي قد يؤدي للفشل بسبب ارتفاع درجات حرارة العمل، التي تتراوح أعلى من ثلث درجات انصهار المعادن المعرضة لهذه الظروف. يصبح الزحف ظاهرة في المواد المعدنية ذات درجات الانصهار الواطئة مثل الرصاص والقصدير وسبائكهما وكذلك للقطع والمُعدات العاملة في درجات حرارة أعلى من 450°C مثل الصناعات الكيميائية ومُعدات البخار والتوربينات البخارية والغازية. تجري في العادة اختبارات الزحف في درجات حرارة ثابتة، إذ توضع العينات داخل فرن مسيطر على درجة حرارته آلياً، وتحمل العينات تحت حمل ثابت وتقاس الاستطالة لفترات زمنية، ومنها ترسم منحنيات الاختبار ما بين الإجهاد والزمن. آلية الفشل بالزحف تختلف عن آلية الفشل باختبار الشد الاعتيادي بدرجات حرارة الغرفة، علماً أن المواد المعدنية تفشل بظاهرة الزحف بجهود أوطأ بكثير من أقصى جهد تحمل لهذه المواد.

تتباين المواد المعدنية بمقاومتها للزحف، السبائك الخاصة Super Alloys التي تستعمل في صناعة التوربينات لها أعلى مقاومة للزحف وخصوصاً تلك التي أساسها النيكل. العوامل المؤثرة على الزحف هي كالاتي:

- درجات الانصهار، تتحسن مقاومة الزحف بارتفاع درجات انصهار المعادن.
- الحجم الحبيبي، تكون حدود البلورات مناطق ضعف في درجات الحرارة العالية ومصدر قوة في درجات الحرارة الواطئة، لذا فإن المواد المعدنية ذات الحجم الحبيبي الكبير هي المفضلة في قطع العمل المعرضة لظروف قاسية وبدرجات حرارة عالية.
- المعاملات الحرارية والتشكيل على البارد المسبق عوامل مهمة أيضاً تؤثر على ظاهرة الزحف للمواد المعدنية.

5-3-2 الخواص التكنولوجية Technological Properties

تُعد الخصائص التكنولوجية من العوامل المهمة التي يجب مراعاتها عند اختيار نوعية المادة التي تصنع منها المنتجات فضلاً على بقية الخواص، وذلك لتحقيق ملائمتها للعملية الإنتاجية إذ يتم تحديد قابلية المعادن بالتحول إلى صورة أجزاء مصنعة أو نصف مصنعة بأسلوب تكنولوجي محدد، وأهم تلك الخصائص هي :

1) السيوبة Fluidity : قابلية المعدن المنصهر على الجريان وملء تجويف قالب السباكة قبل انجماد المنصهر، إذ تعتمد تلك الخاصية على التركيب الكيمائي للمادة ودرجة انصهاره ومقدار الانكماش عند الانجماد، فضلاً على نوعية قالب السباكة، وحقيقةً السيوبة هي ليست خاصية منفردة للمواد مثل الكثافة إنما هي خصائص معقدة تشمل خصائص جريان الموائع وخصائص انتقال الحرارة.

2) قابلية التشكيلFormability: قابلية المعدن بتغير أبعاده وشكله بطرائق التشكيل المختلفة تحت تأثير القوى الخارجية دون أن ينكسر أو يتهشم أو يفشل، اعتماداً على مقدار متانته وليونته.

3) قابلية اللحام Weldability: هي قابلية المعدن للحام وإنتاج ملحومات مناسبة بحسب التصميم المطلوب، قابلية اللحام الجيدة تعني عملية لحام سهلة ومناسبة لطريقة اللحام المطلوبة، فضلاً على ملحومات خالية من العيوب وبخواص ميكانيكية جيدة. تتفاوت المعادن بقابليتها على اللحام، وتتوقف قابلية اللحام على:

- أسلوب اللحام وطريقته.
- نوعية معدن الأساس وخواصه وسرعة تأكسده، علماً أن جميع المعادن تتأكسد بارتفاع درجات الحرارة العالية.
- خواص معدن الإضافة
- نوعية سطح قطع العمل.

تُعد طريقة اللحام من العوامل المهمة لقابلية اللحام، لأن بعض المعادن لها قابلية جيدة للحام مع طريقة معينة وضعيفة مع طريقة أخرى. علماً أن هنالك طرائق عديدة للحام، وان اختيار الطريقة الملائمة للحام يعتمد على المعدن المُراد لحامه وعلى ظروف العمل، والمعادن الممكن لحامها بالطرائق المعروفة هي الفولاذ وحديد الزهر، أما الفولاذ السبائكي فيتم لحامه بطرائق معينة خاصة، والمعادن غير الحديدية جميعها تقريباً لها قابلية جيدة للحام، وتتوفر جداول خاصة للحام هذه المعادن وبحسب الطريقة المناسبة والمتوافقة معها.

4) قابلية التشغيل Machinability: قابلية وسهولة المعدن على إزالة الرايش Chip (إزالة أجزاء من المعدن) بوساطة الآت القطع المتنوعة المناسبة ضمن ماكينات التشغيل أو العُدد اليدوية وتسمى هذه العملية بتشغيل المواد بالقطع بإزالة طبقات من المعدن على شكل نحاتة لتصنيع منتجات ذات أسطح ناعمة. المعايير المهمة لتقييم قابلية التشغيل هي:

- العمر التشغيلي لأداة القطع.
- القوى والقدرات المطلوبة لعملية التشغيل.
- نوعية السطح المنتج.
- سهولة التخلص من الرايش.

أسئلة الفصل الثاني

1. عرف المعدن، وماهي الخصائص العامة له؟
2. ما المقصود بالشكل البلوري أذكر أهم أنواع الأشكال البلورية في المعادن.
3. ما هي أهم الأنواع الشائعة للشبكات الحيزية للمعادن.
4. وضح قابلية المواد المعدنية على توصيل الحرارة .
5. ما المقصود بالخواص الكيميائية للمعادن.
6. تكلم عن مقاومة الاجهاد في المواد المعدنية (الضغط ، السحب ، الثني ، اللي)
7. نابض مرن طوله (1 m) ومساحة مقطعة ($0.2\ cm^2$) علق به جسم كتلته (20 Kg) ، فاصبح طوله (1002 mm), احسب أ- انفعال السلك .ب- الجهد المؤثر عليه.
8. عرف التآكل والتأكسد، وما هو الفرق بينهما وطرائق حماية المعادن منهما.
9. عرف منحني الجهد- الاجهاد، وماهي أهم المصطلحات المتعلقة به، تكلم عنها باختصار.
10. ما ماهو الفرق بين منحني الجهد- الإجهاد الهندسي ومنحني الجهد- الإجهاد الفعلي؟
11. عرف قانون هوك، واذكر الصيغة الرياضية للقانون.
12. عرف صُلبية المعدن وعلى ماذا تعتمد؟
13. عرف حد المرونة، وما هو الفرق بين كل من المرونة واللدونة والمطيلية؟
14. ما هي المتانة، أذكر أهم الطرائق الشائعة لفحصها؟
15. عرف الكلال، وماهي أهم العوامل المؤثرة على سلوكيته؟
16. املأ الفراغات الآتية بما يناسبها:

أ- .....هو معيار يوضح ثقل أو وزن مادة ما، وهو النسبة بين..... إلى كثافة الماء.

ب- تزداد درجة حرارة المعدن كلما..... مقدار شدة التيار الكهربائي و..... مساحة مقطع السلك الناقل للتيار.

ت- أهم المعايير المهمة لتقييم قابلية تشغيل المعادن هي .....

و.....و.....و.....و.....

ث- أهم القوى الخارجية التي تتعرض لها المعادن هي.....

و.....و.....و.....و.....

ج- يتأثر معامل المرونة بـ .....فقط.

ح- أهم العوامل المؤثرة على الزحف هي.....و.....و.....

الفصل الثالث
تصنيف المواد الهندسية

تمهيد

يتضمن هذا الفصل المواد الهندسية وتصنيفاتها وخواصها العامة وطرائق استخلاصها وأهم تطبيقاتها وأهميتها في الصناعة

تصنيف المواد الهندسية

الأهداف العامة

بعد الانتهاء من هذا الفصل سيتمكن الطالب من :-

1. معرفة أهم المواد الهندسية وتصنيفها والمعايير المهمة في اختيار المادة المناسبة لكل عملية.
2. يفهم مخططات الأطوار.
3. معرفة كيفية إنتاج الحديد -بالفرن العالي ومبدأ عمله وأهم التفاعلات التي تحدث فيه وأهم نواتجه.
4. تصنيف سبائك الفولاذ وأهم عناصر السبك الداخلة لكل مجموعة واستخدامات كل منها.
5. التعرف على حديد الزهر، كيفية إنتاجه، وأهم أنواعه وتطبيقات كل نوع في الصناعة.
6. التعرف على أهم المواد المعدنية غير الحديدية وأهم سبائكها وخواصها العامة وأهم استخداماتها وطرائق استخلاصها وتشمل الألمُنيوم، المغنسيوم، النحاس، النيكل، القصدير، والخارصين.
7. معرفة أهم المعادن عالية درجات الانصهار واستخداماتها.
8. التعرف على المعادن الثمينة وخواصها واستخداماتها.
9. معرفة أهم المواد غير المعدنية ومجاميعها وتطبيقاتها العملية.

تصنيف المواد الهندسية
Engineering Materials Classification

1-3 نبذة تاريخية Historical Note

لقد كان في متناول الأنسان القديم عدد محدود من المواد الهندسية التي تتواجد طبيعياً، وتشمل الصخور، الأخشاب، الأطيان، الجلود، وما يغطي جلود الحيوانات من صوف، وشعر، ووبر، وغيرها. إذ استخدم الأنسان القديم الصخور لإنتاج العُدد لاستعمالاته اليومية، واكتشف عن طريق الصدفة المواد المعدنية في العصور القديمة وأول ما أكتشف كانت سبائك البرونز وبذلك انتقل من العصر الحجري إلى العصر البرونزي. وتبين له أن هذه المادة الجديدة تمتلك خواص لا تتوفر في الصخور وأهمها المطيلية العالية ومقاومتها للصدمات بدون تصدع أو فشل، وأكتشف قابليتها للتشكيل بالحدادة عند تسخينها وإمكانية صهرها لتحويلها إلى عُدد وأدوات معقدة الشكل مقارنة بالصخور التي تتصف بالقصافة وعدم تحملها للصدمات أثناء التشكيل وصعوبة صهرها. ومن ثم يكتشف الأنسان المواد الحديدية التي لها مقاومة عالية فضلاً على الخواص الميكانيكية الجيدة التي تمتلكها سبائك البرونز، واكتشف بالصدفة أيضاً المعاملات الحرارية وثم تطويرها بدون معرفة الأسباب المؤدية إلى التغيرات الحاصلة نتيجة إخماد الفولاذ الساخن في الماء أو السوائل الأخرى، وبذلك سمي هذا العصر بالعصر الحديدي.

تُعد بداية العصر البرونزي ميلاد علم المعادن، والذي تطور على مدى العصور وخاصة عند بداية الثورة الصناعية التي أوجدت ظروف عمل جديدة وبناء المصانع التي تحوي مكائن ومُعدات خاصة، ولذا تتطلب الموضوع إيجاد مواد معينة ملائمة للظروف الجديدة. بالإضافة إلى استخدام الأنسان المواد المعدنية، استخدمت الفخاريات التي أساسها أنواع معينة من الأطيان الملائمة لأغراض معينة، واستخدم أيضاً مواد البناء لأنشاء القصور والمعابد والمساكن المختلفة. ومع هذا أن التطور في المواد الهندسية التي أساسها المواد العضوية جاء متأخراً بعض الشئ حتى منتصف القرن التاسع عشر عند تطور علم الكيمياء العضوية وبذلك تمكن من معرفة اللدائن وكيفية إنتاجها صناعياً ودخلت كمواد هندسية. وبالرغم من استخدام المواد الخزفية مثل الصخور لفترة طويلة إلا أنه لم يتطور استخدام هذه المواد للأغراض الخاصة إلا حديثاً بعد معرفة مكوناتها وطرائق ارتباطها مع بعضها البعض وإضافة خواص جيدة عليها.

أن التطور في علم المعادن بالمعنى العلمي لا يتجاوز عمره قرناً واحداً، إذ مكُن من دراسة التراكيب المجهرية للمواد المعدنية وإيجاد العلاقة الوثيقة بين البُنية المجهرية والخواص الميكانيكية. ومن المسلَّم به أنه لا يمكن تصور قيام الحضارة الإنسانية وتطورها إلى الدرجة التي نراها حالياً لولا تطور علم المواد الهندسية خاصةً والعلوم الأخرى عامةً.

2-3 المواد الهندسية Engineering Materials

لا تقتصر علوم المواد الهندسية على علم المواد المعدنية بحسب، وإنما تشمل علوم اللدائن، الخزفيات، والمواد المركبة. تدخل المواد الهندسية في كافة النشاطات والفعاليات اليومية للحضارة الإنسانية من وسائط النقل المختلفة، الاتصالات السلكية واللاسلكية، الأبنية المختلفة، الطرق والجسور، المصانع والمعامل، مُعدات الزراعة، التغذية وطرائق حفظها، الأدوية والأجهزة الطبية والجراحية، الألبسة والمفروشات، وغيرها، فضلاً على أن أي عملية معالجة من الفعاليات اليومية لابد أن تتطلب استخدام نوع معين من المواد الهندسية بشكل أو بآخر.

تشمل علوم المواد الهندسية إيجاد العلاقة بين البنية الداخلية والخواص، وأنه يهدف إلى إيجاد مواد هندسية جديدة على ضوء الخواص ومتطلبات التصاميم الجديدة. وعند النظر في موضوع المواد الهندسية لاختيار المادة المناسبة فإن هنالك عدد من المعايير يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار ومنها:

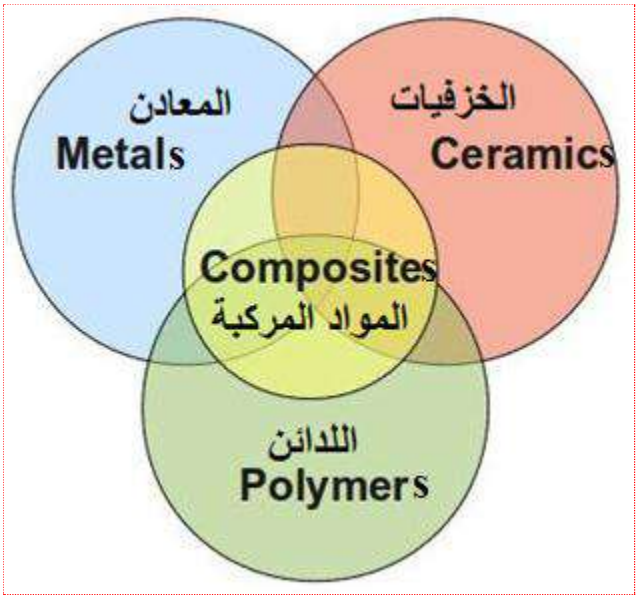
- **ظروف الخدمة لتلك المواد.**
- **جميع الخواص المطلوبة للمواد.**
- **في حالة تشابه الخواص الأساسية، يتم الاختيار بناءً على الخواص الأخرى.**
- **سهولة التصنيع.**
- **النواحي الاقتصادية ووفرة المواد.**
- **صديقة للبيئة، من حيث لا تؤثر سلباً على البيئة ويمكن إعادة استعمالها بعد الانتهاء من عمرها الافتراضي.**

ومن الجدير بالذكر أن النواحي الاقتصادية تشمل تكاليف طرائق التصنيع وتكاليف المواد نفسها، علماً أنه كلما كانت طرائق التصنيع سهلة وبسيطة قدر الإمكان كلما انخفضت كلفة التصنيع. أن بعض المواد يمكن تصنيعها بطرائق متعددة ومواد أخرى تتطلب طريقة خاصة للتصنيع بسبب خواصها الفريدة.

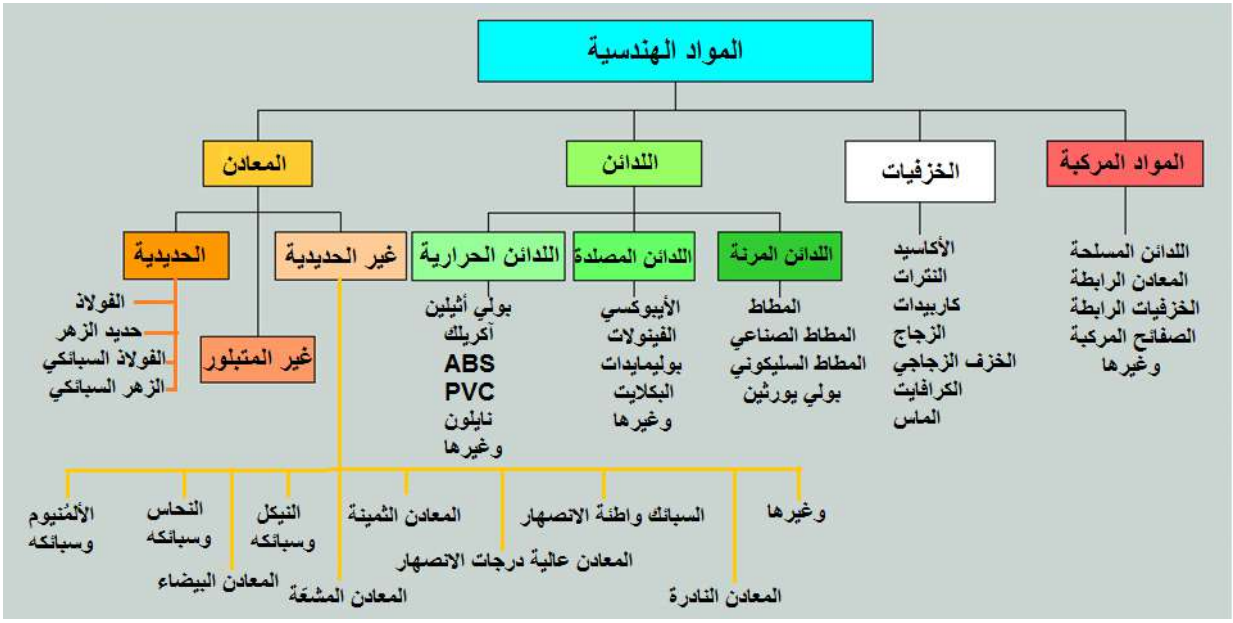
يتوقع هنالك أكثر من (40000) من المواد المعدنية المفيدة كمواد هندسية، واحتمالية وجود نفس العدد من المواد غير المعدنية كمواد هندسية مثل اللدائن، والزجاجيات، والخزفيات، والمواد المركبة، وأشباه الموصلات. لذا من المفيد عملياً أن يتم تقسيم هذه المواد إلى مجاميع رئيسة وأخرى فرعية لتسهيل تحليلها هندسياً ودراستها بشكل مستفيض.

1-2-3 تصنيف المواد الهندسية Engineering Materials Classification

تم تصنيف جميع المواد الهندسية إلى أربعة أصناف (مجاميع) رئيسة وهي المواد المعدنية، المواد اللدائنية، المواد الخزفية، ويضاف إلى الأصناف الثلاث أعلاه نوع رابع يطلق عليه المواد المركبة وهي المواد المنتجة من خلط صنفين أو ثلاث من الأصناف المذكورة للحصول على خواص لا يمكن الحصول عليها من كل المكونات على انفراد. الشكلان (3-1) و(3-2) يوضحان تصنيف المواد الهندسية.



شكل 3-1 المواد الهندسية



شكل 3-2 تصنيف المواد الهندسية

3-3 المواد المعدنية Metallic Materials

تُعد المعادن من أهم المواد الهندسية لخواصها المتميزة والمطلوبة في عمليات التصنيع والإنتاج المختلفة، وهذه الخواص تشمل المطيلية الجيدة، وقابلية الطرق العالية، والموصلية الحرارية والكهربائية العاليتين، وتقريباً جميع المعادن لامعة وبراقة، وهذه الخواص المتميزة تعطي مدى واسع من متطلبات التصاميم الهندسية.

الأهمية التكنولوجية والتجارية للمواد المعدنية نابعة من الخواص العامة الآتية:

1. مقاومة وصلادة عاليتين فضلاً على صلبية (Stiffness) عالية، مما يساعد على تصنيع الهياكل الهندسية من هذه المواد.
2. متانة جيدة، لها القابلية على امتصاص الطاقة أفضل من المواد الهندسية الأخرى.
3. موصلية كهربائية جيدة بسبب نوعية الترابط المعدني الذي يسمح بوفرة الإلكترونات الحرة الطليقة المتحركة، لذا تصنع منها الموصلات الكهربائية بصورة عامة.
4. موصلية حرارية جيدة لنفس السبب أعلاه، ولذا تصنع منها المبادلات الحرارية والمراجل وأواني الطهي المنزلية وغيرها من التطبيقات.

فضلاً على الخواص المذكورة أعلاه هنالك خواص محددة تتصف بعض المواد المعدنية بها، مما يجعلها جذابة لتطبيقات معينة خاصة، أغلب المعادن متوفرة بكلف واطئة نسبياً لوحدة الكتلة. المواد المعدنية تحول إلى قطع ومنتجات مفيدة بطرائق تصنيعية متنوعة، وأن طريقة التصنيع المناسبة تحدد الحالة الأولية للمواد المعدنية الخام، فمثلاً المسبوكات المعدنية تكون فيها حالة المعادن بشكل سبائك قابلة للانصهار، المطروقات المعدنية تكون حالة المعادن بشكل تسمح بالشغل أو التشكيل مثل عمليات الدرفلة وهذه المطروقات تمتلك أفضل خواص ميكانيكية من المسبوكات، والقطع المنتجة (مثل المحامل) عن طريق تكنولوجيا مساحيق المعدنية تكون الحالة الأولية للمواد المعدنية بشكل مسحوق ناعم دقيق جداً.

المواد المعدنية تتضمن العناصر المعدنية وسبائكها، وتقسم إلى قسمين رئيسين هما:

- **المواد المعدنية الحديدية**
- **المواد المعدنية غير الحديدية**

المواد المعدنية الحديدية تعتمد أساساً على عنصر الحديد، أما المواد غير المعدنية فتعتمد على كل باقي عناصر المعادن بشكل عام. وهنالك قسم ثالث أقل أهمية وهي الفلزات غير المتبلورة التي لن يتم تناولها في هذا الكتاب لكونها بعيدة نوعاً ما عن تخصص اللحام وتشكيل المعادن.

1-3-3 السبائك ومخططات الأطوار Alloys and Phase Diagrams

بالرغم من أن بعض المعادن له أهميته الخاصة كمادة نقية مثل الذهب والبلاتين والفضة والنحاس وغيرها، ولكن معظم التطبيقات الهندسية تتطلب خواص محسنة يمكن الحصول عليها من عملية التسبيك، إذ يمكن تحسين وتعزيز خاصيتي المقاومة والصلادة فضلاً على خواص أخرى معينة مقارنة مع المعادن النقية. في هذه الفقرة سيتم توضيح أنواع السبائك وكذلك مخططات الأطوار المتوازنة التي توضح تواجد الأطوار المختلفة في نظام سبائكي معين بحسب نسبة المكونات للنظام السبائكي ودرجات الحرارة.

1-1-3-3 السبائك Alloys

تُعرف السبيكة بانها المادة المعدنية التي تحوي عنصرين أو أكثر، ويشترط على الأقل أن يكون أحد هذه العناصر معدن. تصنف السبائك بصورة عامة إلى نوعين هما:

- ❖ المحاليل الجامدة Solid Solutions
- ❖ الأطوار الوسطية Intermediate Phases

أولاً: المحاليل الجامدة

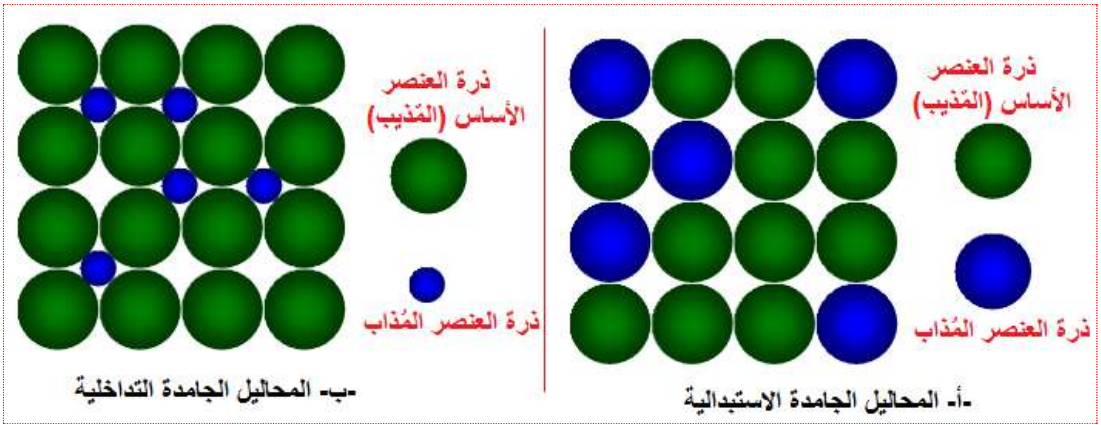
وهي السبائك التي يذوب فيها أحد عناصرها بالعنصر الآخر لتكوين بنية من طور واحد. مصطلح الطور يعني أي كتلة من مادة متجانسة مثل معدنٍ ما بلوراته تتكون من شبكة حيزية واحدة. يكون المُذيب (العنصر الأساس) في المحاليل الجامدة معدن، والمُذاب قد يكون إما عنصر معدني أو عنصر غير معدني. تقسم السبائك من نوع المحاليل الجامدة بحسب تكوينهما إلى قسمين هما:

- المحاليل الاستبدالية Substitutional Solid Solutions

تُستبدل فيها ذرات عناصر المُذاب بذرات العنصر الأساس (المُذيب) كما في حالة سبائك البراص، إذ تستبدل ذرات الخارصين محل ذرات النحاس، كما موضح في الشكل (3-3- أ). هنالك شروط عدة لتكوين هكذا نوع من السبائك منها: أن تكون حجم ذرات العناصر متقاربة، والشبكات الحيزية للعناصر تكون متشابهة.

- المحاليل التداخلية Interstitial Solid Solutions

تتكون السبائك من هذا النوع عن طريق تداخل ذرات المُذيب بالفراغات الموجودة ما بين ذرات المُذاب (العنصر الأساس) بالشبكة الحيزية، كما في سبائك الفولاذ إذ تذوب ذرات الكربون داخل الشبكة الحيزية للحديد. من الجدير بالذكر تتكون هذه السبائك عندما تكون ذرات المُذاب صغيرةً مقارنة بذرات العنصر الأساس، كما موضح في الشكل (3-3-ب).



شكل 3-3 أنواع المحاليل الجامدة

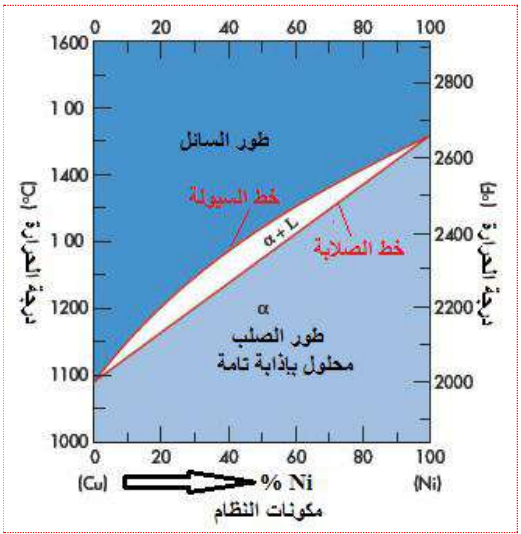
ثانياً: الأطوار الوسطية

تتكون هذه الأنواع من السبائك نتيجة محدودية الإذابة بين عناصر النظام السبائكي، وتتكون في السبيكة عندما تتجاوز إذابة عنصر التسبيك بالعنصر الأساس حد الإشباع. يستخدم مصطلح الأطوار الوسطية لتوضيح أن مركبها الكيميائي يكون ما بين العنصرين النقيين، أما بنية هذه الأطوار فتختلف عن بنية عناصرها النقية. قد تكون الأطوار الوسطية متكونة من أكثر من عنصرين وهي على نوعين هما المركبات المعدنية التي يكون أحد عناصرها معدني والآخر غير معدني مثل مركب السمنتايت Fe_3C، والمركبات شبه المعدنية التي تتكون من معدنين مثل Mg_2Pb.

2-1-3-3 مخططات الأطوار Phase Diagrams

مخططات الأطوار عبارة عن رسومات بيانية توضح العلاقة بين درجة الحرارة ونسب التركيب الكيميائي لمكونات نظام سبائكي معين موضحاً فيها الأطوار المتكونة لذلك النظام في حالة التوازن، وتستعمل لتوضيح التغيرات التي تتعرض لها المعادن وسبائكها عند تبريدها وتسخينها شاملاً انصهارها وانجمادها. في هذه المرحلة الدراسية سيتم فقط تناول مخططات التوازن لمعدنين فقط وليس أكثر.

الشكل (3-4) يبين أحد أبسط مخططات التوازن لنظام سبائكي متكون من معدني النحاس والنيكل، جميع سبائك هذا النظام عبارة عن محاليل جامدة من نوع المحاليل الاستبدالية ومن طور واحد. ومن الجدير بالذكر أن المخطط به عدة أطوار، طور الصلب يتواجد تحت خط الصلابة Solidus Line وهو محلول جامد بإذابة تامة ولجميع نسب مكونات النظام، وطور السائل يتواجد فوق خط السيولة Liquidus Line، وما بين خطي الصلابة والسيولة هنالك طورين الصلب والسائل، علماً أن السبائك تنصهر وتنجمد على مدى من درجات الحرارة بخلاف المعادن النقية التي تنصهر وتنجمد بدرجة حرارة معينة، ولو أن بعض السبائك بنسبة معينة محددة تتصرف وكأنها معدن نقي أي تنصهر وتنجمد بدرجة حرارة واحدة مثل السبائك اليوتكتويدية التي سوف يتم تناولها لاحقاً.



شكل 3-4 مخطط الأطوار لنظام سبائك نحاس نيكل

درجة انصهار النحاس النقي تساوي 1083°C ودرجة انصهار النيكل النقي تساوي 1455°C أما درجات انصهار سبائك النحاس – نيكل فتكون بمدى من درجات الحرارة وليس بدرجة حرارة واحدة ويعتمد مدى درجات حرارة الانصهار على نسب مكونات السبيكة كما مبين في الشكل المجاور.

α: هو طور الصلب (محلول جامد) إذابة تامة للنيكل بالنحاس أو العكس.

L: هو طور السائل لمحلول النحاس والنيكل

4-3 المواد المعدنية الحديدية Ferrous Materials

المواد المعدنية الحديدية تعتمد أساساً على عنصر الحديد كما تم ذكره، وهو من أقدم المعادن المعروفة والمستخدمة للبشرية عبر التاريخ. الجدول (3-1) يبين أهم الخواص المهمة للحديد. المواد المعدنية الحديدية تشكل أهمية هندسية فقط في حالة السبائك الحديدية المتضمنة عنصري الحديد والكربون. وهذه السبائك تصنف إلى صنفين رئيسين هما:

1. **الفولاذ Steel**
2. **حديد الزهر (الآهين) Cast Iron**

ويشغل الحديد رابع مرتبة من حيث وجوده في القشرة الأرضية ونسبته تساوي (4.7%) في الطبيعة، ونظراً لكثرة انتشاره وتوفره في أماكن كثيرة ولخواصه التكنولوجية العالية والمختلفة فأنه يعد أكثر المعادن استعمالاً في التطبيقات الهندسية، إذ ما زالت الكثير من المنتجات تصنع من المواد المعدنية الحديدية. ويخمن أن أكثر من (75%) نسبة وزنية هو مقدار ما ينتج من المواد الحديدية بصنفيها الفولاذ وحديد الزهر وسبائكهما على مستوى الإنتاج العالمي.

جدول 3-1 خواص الحديد العامة

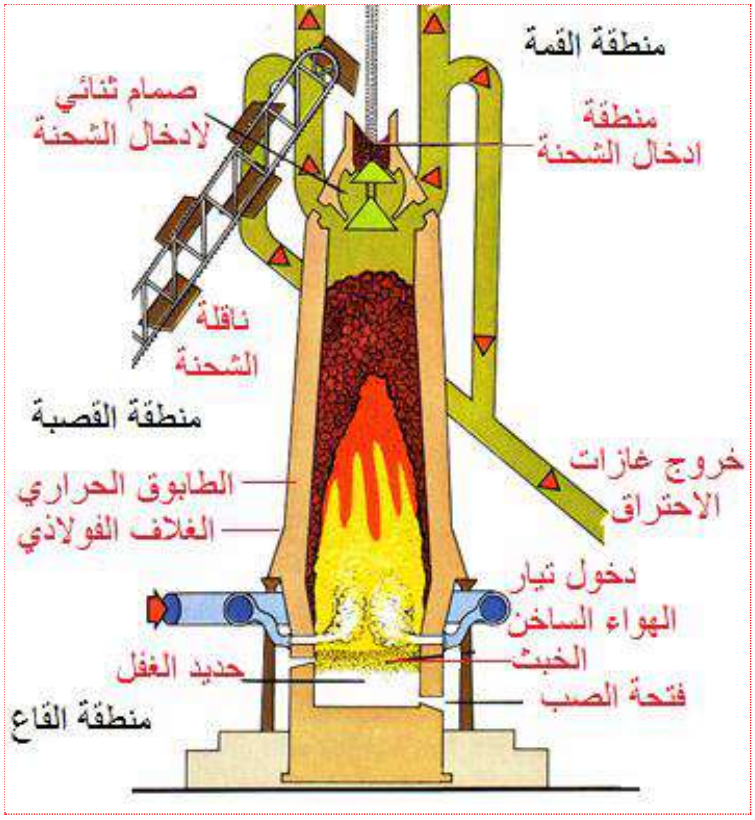
الرمز الكيميائي	Fe	الشبكة الحيزية	BCC
العدد الذري	26	درجة حرارة الانصهار	1539°C
الوزن النوعي	7.87	معامل المرونة	209 GPa
الخام الرئيسي	الهيمتايت (Fe_2O_3)	أهم عناصر السبك	C, Cr, Mn, Ni, Mo, V, Si
اللون	فضي	الحالة المغناطيسية	متمغنط
أهم التطبيقات	المنشآت ، المكائن ، المركبات ، القاطرات والسكك ، والمُعدات والأدوات		

1-4-3 إنتاج الحديد Iron Production

الحديد معدن ليّن قابل للطرق والسحب والثني، ذو متانة عالية، له قابلية تمغنط ويفقد مغناطيسيته بدرجة حرارة 770°C ، التكافؤ الكيميائي للحديد في مركباته إما أن يكون ثنائياً أو ثلاثياً، والحديد يتأكسد بارتفاع درجة الحرارة وتظهر عليه قشرة رقيقة أوكسيدية (Fe_2O_3) سوداء اللون كما يحدث في عمليات التشكيل مثل الدرفلة على الساخن، ولا يتآكل في الهواء الجاف ولكنه يتآكل بسرعة في الهواء الرطب الغني بالأوكسجين ليكون أوكسيد الحديد المائي ($2Fe_2O_3.3H_2O$) وهو عبارة عن طبقة سميكة خشنة مسامية ذات لون جوزي غامق. أهم خامات الحديد التي تحوي نسبة عالية بحدود (70%) من الحديد هي الهيماتايت Hematite (Fe_2O_3)، والمغناتايت Magnetite (Fe_3O_4)، في حين تحوي خامات الليمونايت Limonite (Fe_2O_3-$1.5H_2O$)، والسيديرايت Siderite ($FeCO_3$) على نسبة أقل حديد.

تستخدم أفران خاصة في إنتاج حديد الغفل Pig Iron الذى يدخل بعد ذلك في إنتاج الفولاذ وحديد الزهر وسبائكهما، وتسمى هذه الأفران بالفرن العالي Blast Furnace الذي يعمل بصورة مستمرة بدون توقف. يعمل الفرن العالي تحت مبدأ التيارين المتصادمين بحيث تهبط الشحنة من الأعلى بينما يتم دفع الهواء الساخن أو الغازات المختزلة من الأسفل، ويصل ارتفاع الفرن إلى (40 m) وقطره ما بين (9-11 m)، في حين يكون إنتاجه اليومي بحدود (1000) طن أو أكثر وبحسب تصميمه الهندسي، الشكل (3-5) يوضح مخططاً للفرن العالي. يتكون الفرن من ثلاثة مناطق رئيسة هي:

1. **منطقة القمة**: تكون بهيئة ناقوسين وظيفتهما إدخال الشحنة وعدم خروج الغازات مباشرةً.
2. **منطقة القصبة**: عبارة عن مخروط طويل من الطابوق الحرارى المغلف بصفائح من الفولاذ.
3. **منطقة القاع**: المنطقة التي يتجمع فيها المعدن المنصهر والخبث Slag.



شكل 3-5 مخطط للفرن العالي

شحنة الفرن العالي:

تتكون شحنة الفرن العالي من ثلاث مواد أساسية هي:

1. **خام الحديد Iron Ore**
2. **فحم الكوك Coke**
3. **الحجر الجيري Limestone الذي يحوي نسبة عالية جداً من كربونات الكالسيوم $CaCO_3$**

أهم التفاعلات داخل الفرن العالي:

- دفع تيار من الهواء الساخن إلى الفرن كي تتم عملية احتراق فحم الكوك مكوناً أول أوكسيد الكربون ويؤدى ذلك إلى ارتفاع درجة الحرارة داخل الفرن لتصل إلى 1650°C، كما في التفاعل الكيميائي الآتي:

$$2C + O2 \rightarrow 2CO \uparrow$$

- يتصاعد غاز أول أوكسيد الكربون المجهز مع الهواء الساخن والناتج من احتراق الفحم إلى الأعلى مختزلاً أوكسيد الحديد لكون هذا الغاز عامل مختزل قوي، كما في التفاعل الكيميائي البسيط الآتي:

$$Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2FeO + CO_2 \uparrow$$

- يتفاعل ثاني أوكسيد الكربون مع فحم الكوك ليكون مزيداً من غاز أول أوكسيد الكربون كما في المعادلة الآتية:

$$CO_2 + C \rightarrow 2CO \uparrow$$

- ومن خلال ذلك يتم اختزال أوكسيد الحديد ليكون حديد الغفل بحسب المعادلة الآتية:

$$FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2 \uparrow$$

- الحجر الجيري يختزل بسبب الحرارة العالية إلى أوكسيد الكالسيوم الذي يتحد مع الشوائب مثل السليكا (SiO_2) والكبريت (S) والألومينا (Al_2O_3) مكوناً خبثاً منصهراً يطفو فوق الحديد المنصهر.

وهنالك نوعان من الاختزال هما الاختزال المباشر ويتم على أكاسيد الحديد المنصهرة والاختزال غير المباشر ويتم على الحديد في حالته الصلبة بواسطة غازي أول أكسيد الكربون والهيدروجين. تخرج الغازات الساخنة من أعلى الفرن لتمر على المبادلات الحرارية حتى ترتفع درجة حرارتها وذلك استعداداً لشحنة جديدة. يتجمع الحديد المنصهر في قاع الفرن. يتم صب الحديد والخبث في بوتقات ضخمة على شكل عربة من خلال فتحات الصب الموجودة في قاع الفرن.

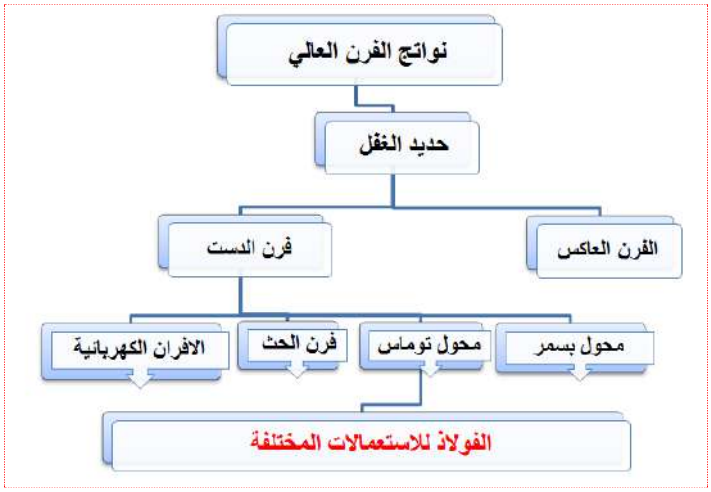
نواتج الفرن العالي:

1- حديد الغفل: يحوي حديد الغفل على أكثر من 4% كربون ونسبة عالية من الشوائب وهي: (سليكون Si 0.3-1.3%، منغنيز Mn % 0.5-2.0، فسفور P % 0.1-1.0، كبريت S % 0.02-0.08). ولذا أصبح من الضروري أن يؤخذ حديد الغفل إلى أفران أخرى تسمى بالأفران التحويلية لتقليل نسبة الشوائب والكربون والسيطرة عليهما لإنتاج حديد الزهر والفولاذ وسبائكهما.

2- الخبث: وهو إما أن يستخدم كمادة مساعدة في صناعة الأسفلت أو في صناعة الإسمنت أو كمواد عازلة وكذلك يستعمل في صناعة الطابوق.

3- الغازات : وتستخدم في تسخين المبادلات الحرارية وذلك بعد تنقيتها من الأتربة.

الشكل (3-6) يوضح المخطط الانسيابي لإنتاج الفولاذ من حديد الغفل الناتج من الفرن العالي. في حين يبين الشكل (3-7) مراحل إنتاج المقاطع الفولاذية.



شكل 3-6 المخطط الانسيابي لإنتاج الفولاذ

شكل 3-7 مراحل إنتاج الفولاذ

3-4-2 مخطط أطوار حديد - كربيد الحديد Phase Diagram of $Fe-Fe_3C$

يذوب الكربون بالحديد بسهولة وتزداد قابلية الذوبان بازدياد درجات الحرارة، عند ذوبان الكربون بالحديد يكون مركب كربيد الحديد والمعروف باسم (السمنتايت) Fe_3C، والذي تكون فيه نسبة الكربون هي (6.67%) كحد أقصى، وهو مركب ذو بنية بلورية معقدة وذو صلادة عالية جداً وقصف، وتسمى سبائك الحديد مع الكربون المحتوية على نسبة كربون أقل من (2%) بالفولاذ (حديد الصُلب) وعملياً أن نسبة الكربون في أنواع سبائك الفولاذ لا تتجاوز (1.1%)، وعندما تكون نسبة الكربون أعلى من (2%) فتسمى عندئذٍ هذه السبائك بحديد الزهر (الآهين). يمكن تعريف الحديد الصناعي بانه سبيكة من الحديد والكربون ونسبة الحديد في سبائكه حوالي (95%) أو أكثر. ويحتوي الحديد الصناعي على عناصر بشكل شوائب وبنسب قليلة منها السليكون، المنغنيز، الفسفور، الكبريت، وعناصر أخرى.

الشكل (3-8) يوضح مخطط حديد- كربيد الحديد وقد أشرت جميع أطوار الحديد على المخطط، وهي كالآتي:

حديد دلتا δ-Fe: يتواجد هذا الطور بدرجات الحرارة العالية فقط وبالقرب من درجة الانصهار، وهو ذو بنية من نوع BCC.

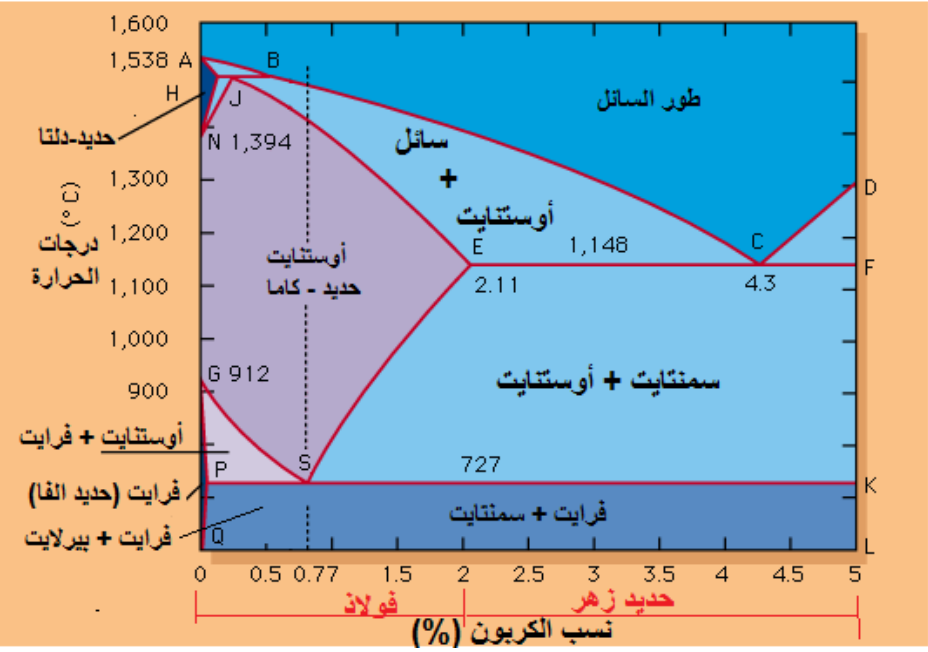
حديد كاما γ-Fe: ويسمى هذا الطور بالأوستنايت يتواجد هذا الطور بدرجات حرارة أعلى من 727°C، وهو ذو بنية من نوع FCC ويمكنه استيعاب ذرات كربون أعلى من حديد دلتا وحديد ألفا.

حديد ألفا α-Fe: يتواجد هذا الطور بدرجات الحرارة الاعتيادية وله بنية من نوع BCC ويعرف بالفرايت وتنخفض قابلية ذوبان الكربون في الحديد حتى تصل بنسبة 0.025% في درجة حرارة الغرفة، وهو طور لين ومطيلي مقارنة ببقية أطوار الحديد ومركباته الأخرى.

السمنتايت: وهو مركب معدني Fe_3C يذوب الكربون في الحديد في هذا المركب لحد نسبة 6.67% وهو طور صلد جداً.

البيرلايت (P): عبارة عن مكون مجهري وليس بطور، يتواجد في الفولاذ وحديد الزهر على حدٍ سواء، ويتكون من طبقات متناوبة أو متعاقبة من الفرايت والسمنتايت، علماً أن سبيكة الحديد التي فيها نسبة كربون تساوي 0.8% تتكون من بيرلايت فقط.

من الجدير بالذكر أن هنالك أطوار أخرى لم تذكر مثل طور المارتنسايت بسبب أن هذا الطور غير متوازن وهو طور ذو صلادة عالية جداً يتكون عند تبريد الحديد من طور الأوستنايت تبريداً سريعاً لدرجة حرارة الغرفة، مما يسبب انحباس ذرات الكربون داخل الشبكة الحيزية للفولاذ وتصبح حالة إذابة فوق حد الإشباع.



شكل 3-8 مخطط أطوار حديد – كربيد الحديد

3-4-3 الفولاذ Steel

تُعد سبائك الفولاذ المختلفة وسبائك حديد الزهر من أهم المواد المعدنية المستعملة في الصناعات الهندسية، ويُعرف الفولاذ وحديد الزهر بأنه سبيكة من الحديد والكربون وقد يحتوي كذلك على عناصر معدنية أو غير معدنية. الفولاذ الكربوني هو سبيكة الحديد والكربون بنسبة تقل عن 2% مع وجود عناصر أخرى متواجدة أصلاً في خاماته ولم يتم إزالتها بشكل تام، إذ يحوي الفولاذ الكربوني على نسب قليلة جداً من السليكون، الكبريت، والفسفور. أما عند إضافة عناصر سبائكية معدنية أخرى إلى الفولاذ الكربوني فيسمى عندئذٍ بالفولاذ السبائكي، وأهم عناصر السبك هي: المنغنيز، النيكل، الكروم، تيتانيوم، الفناديوم، الموليبدنيوم، التنكستن، الكوبلت، وكذلك النحاس والألمُنيوم، وتضاف عناصر السبك عادةً للحصول على خواص ميكانيكية أفضل لتلبي حاجات ومتطلبات معينة. تستخدم في الوقت الحاضر سبائك فولاذ كثيرة ومختلفة ولغرض دراستها بشكل مفصل يمكن تقسيمها إلى خمسة مجاميع رئيسة:

- **الفولاذ الكربوني Plain Carbon Steels**
- **الفولاذ السبائكي Low Alloy Steels**
- **الفولاذ المقاوم للتآكل Stainless Steels**
- **فولاذ العُدد Tool Steels**
- **سبائك الفولاذ الخاصة Specialty Steels**

أولاً: **الفولاذ الكربوني**

العنصر السبائكي الوحيد للحديد في هذه المجموعة هو الكربون وتتراوح نسبته ما بين (0.02-2.0%)، ومع هذا فهنالك كميات بنسب قليلة من عناصر أخرى وهي المنغنيز بحدود 0.4% وبنسب أقل كل من السليكون والكبريت والفسفور، تزداد مقاومة الفولاذ الكربوني كلما زادت نسبة الكربون. يرمز لسبائك الفولاذ بحسب المعهد الأمريكي للحديد والفولاذ AISI بأربعة أرقام (10XX) الرقم عشرة يعني فولاذ كربوني والرقمين الآخرين يمثلان نسبة الكربون بالمئات، فمثلاً (1020) تعني فولاذ كربوني بنسبة كربون تساوي 0.2%، ويمكن تصنيف الفولاذ الكربوني إلى ثلاثة مجاميع هي:

- **فولاذ واطئ الكربون Low Carbon Steel**، نسبة الكربون لا تتجاوز 0.2% ويستخدم في الكثير من الصناعات مثل صفائح المركبات والقاطرات وله قابلية عالية على التشكيل.
- **فولاذ متوسط الكربون Medium Carbon Steel**، نسبة الكربون ما بين (0.2-0.5%) وله مقاومة أعلى من المجموعة السابقة ويستخدم في أجزاء المحركات مثل عمود المرفق.
- **فولاذ عالي الكربون High Carbon Steel**، نسبة الكربون تكون أعلى من 0.5% ولهذا تكون مقاومته أعلى من المجموعتين السابقتين، ويستخدم في صناعة النوابض والأرياش وعُدد القطع.

ثانياً: **الفولاذ السبائكي**

مجموعة الفولاذ السبائكي هي سبائك الحديد والكربون المحتوية على عناصر سبائكية إضافية أخرى وبنسبة لا تتجاوز 5% من وزن السبيكة، وبهذا تمتلك هذه السبائك خواص ميكانيكية مفضلة عن سبائك الفولاذ الكربوني مثل مقاومة وصلادة ومتانة عالية، فضلاً على مقاومة تآكل احتكاكي جيدة، وغالباً ما يُجرى على هذه السبائك معالجة حرارية Heat Treatment لغرض الوصول إلى الخواص المطلوبة. أهم عناصر السبك هي الكروم، المنغنيز، الموليبدنيوم، النيكل، والفناديوم، وتضاف هذه العناصر بشكل مختلط أو في بعض الأحيان تضاف منفرداً. يمكن تلخيص تأثير عناصر السبك على الفولاذ بالآتي:

- **الكروم** Cr: لتحسين المقاومة والصلادة ومقاومة التآكل الاحتكاكي، وهو من أحسن العناصر السبائكية للفولاذ في زيادة قابلية الأصلاد.
- **المنغنيز** Mn: لتحسين المقاومة والصلادة، وهو من أكثر العناصر السبائكية المستخدمة للفولاذ.
- **الموليبدنيوم** Mo: لتحسين المتانة، ويكون كاربيدات تحسن من مقاومة التآكل الاحتكاكي.
- **النيكل** Ni: لتحسين المقاومة والمتانة، وفي حالة زيادة نسبته مع إضافة الكروم ستتحسن مقاومة التآكل ويسمى بالفولاذ المقاوم للتآكل.
- **الفناديوم** V: يعمل على عدم زيادة حجم بلورات الفولاذ عند ارتفاع درجة الحرارة وبهذا تحافظ السبائك على المقاومة والمتانة، فضلاً على تكوينه الكاربيدات التي تقاوم التآكل الاحتكاكي.

مشكلة الفولاذ السبائكي هي صعوبة إجراء عمليات اللحام له وخصوصاً مع احتوائه على نسب عالية ومتوسطة من الكربون، ومع هذا تم تطوير سبائك فولاذ واطئة الكربون وواطئة نسبة عناصر السبك منذ سنة 1960 لغرض تفادي مشكلة صعوبة اللحام، وهذه السبائك تسمى بالفولاذ العالي المقاومة وواطئ التسبيك High-Strength Low-Alloy (HSLA). تضاف للفولاذ نسبة لا تتجاوز 3% من الوزن عناصر سبائكية هي المنغنيز والنحاس والنيكل والكروم، مقاومة الشد الأقصى لها (586 MPa)، ولا تحتاج هذه السبائك إلى معالجة حرارية لزيادة المقاومة لكونها واطئة الكربون.

ثالثاً: **الفولاذ المقاوم للتآكل**

الفولاذ المقاوم للتآكل Stainless Steel يحوي نسب عالية من العناصر السبائكية وتنتج هذه السبائك لأغراض مقاومة التآكل Corrosion، عناصر التسبيك هي الكروم بنسبة أعلى من 15% الذي يكون طبقة من أوكسيده (Cr_2O_3) وهذه الطبقة تكون رقيقة وملتصقة على السطح تحمي الفولاذ من التآكل، وكذلك يضاف النيكل بنسب معينة، ويضاف الكربون لتحسين المقاومة والصلادة لهذه السبائك. هذه المجموعة تقسم إلى عدة أنواع بحسب نسب الكروم والنيكل، ومن أشهر هذه السبائك هي سبيكة (18%Cr-8%Ni) وهي سبيكة غير قابلة للتمغنط وذات مطيلية عالية وتستخدم بكثرة في الصناعات الغذائية والكيميائية، فضلاً على أجزاء المكائن التي تتعرض إلى تآكل شديد.

رابعاً: **فولاذ العُدد**

تصنف هذه السبائك بنسب التسبيك العالية لإنتاج عُدد القطع والقوالب المستخدمة في المصانع والمعامل المختلفة، ويجب أن تمتلك هذه السبائك مقاومة وصلادة عالية ومتانة صدمة جيدة، فضلاً على مقاومة التآكل الاحتكاكي العالية جداً. ولغرض الحصول على هذه الخواص مجتمعةً يجب أن تعامل هذه السبائك حرارياً. تصنف سبائك فولاذ العُدد إلى عدة أنواع بحسب استخداماتها وهي:

- **فولاذ العُدد القطع السريع High-Speed Tool Steels** ويرمز له **(HSS)**: تستخدم هذه الأنواع كأدوات قطع في عمليات التشغيل مثل أقلام القطع بمكائن الخراطة، وتتحمل درجات حرارة عالية نسبياً أثناء العمل فضلاً على المقاومة العالية للتآكل الاحتكاكي، عناصر السبك الرئيسة هما التنكستن (W) والموليبدنيوم (Mo).
- **فولاذ العُدد للأعمال الساخنة Hot-Working Tool Steels**: تستخدم هذه السبائك لإنتاج القوالب المستخدمة في عمليات التشكيل الساخن مثل قوالب الحدادة والبثق.
- **فولاذ العُدد للأعمال الباردة Cold-Working Tool Steels**: تستخدم هذه السبائك لإنتاج القوالب المستخدمة في عمليات التشكيل البارد مثل البثق وأعمال الصفائح.
- **فولاذ العُدد المصلد بالماء Water-Hardening Tool Steels**: هذه السبائك لها نسب عالية من الكربون وبدون عناصر سبائكية مضافة، إذ يتم تصليدها عن طريق إخمادها بسرعة بالماء بعد التسخين، وتستخدم بكثرة كأدوات عُدد بسبب كلفتها الواطئة ولكنها تستعمل فقط بالتطبيقات ذات درجات العمل الواطئة.
- **فولاذ العُدد المقاومة للصدمة Shock-Resistant Tool Steels**: تمتلك هذه السبائك متانة عالية ولهذا فهي تستخدم في عمليات التثقيب والثني للصفائح.
- **فولاذ القوالبMold Steels**: تستخدم في قوالب مكائن تشكيل البلاستك.

من الجدير بالذكر، تستخدم سبائك أخرى لتصنيع العُدد مثل الفولاذ المقاوم والفولاذ الكربوني وكذلك حديد الزهر والسبائك غير الحديدية والمواد الحرارية (السيراميك) ولكن تطبيقاتها خاصة.

خامساً: **سبائك فولاذية خاصة**

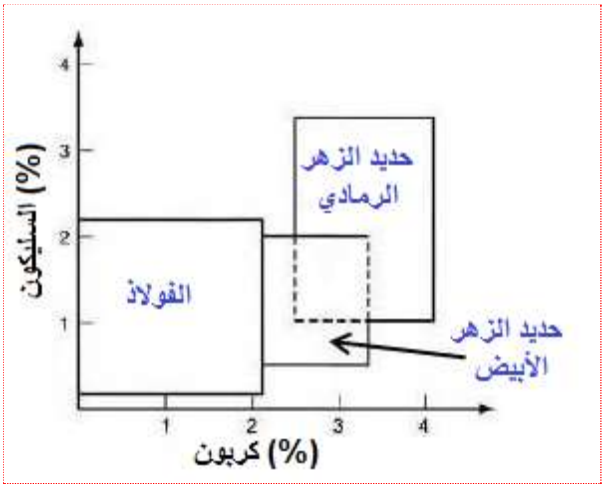
فضلاً على مجاميع سبائك الفولاذ المذكورة أعلاه هنالك سبائك منتجة من الفولاذ لها تسميات خاصة واستخدامات خاصة أيضاً وتمتلك خصائص تصنيعية معينة مثل:

- **الفولاذ فائق المقاومة Maraging Steels** وهي سبائك فولاذية خاصة يضاف له النيكل بنسب ما بين (15-25%) وكذلك تضاف عناصر سبائكية أخرى بنسب أقل، تمتلك هذه السبائك مقاومة عالية جداً تصل لحد 2000 MPa كجهد شد اقصى، فضلاً على متانة وقابلية لحام جيدتين، تستخدم في صناعة القوالب وأجزاء الصواريخ وغيرها من الاستخدامات الخاصة.

- **سبائك الفولاذ جيدة التشغيل Free-Machining Steels**: وهي السبائك التي تضاف لها عناصر مثل الرصاص والقصدير وغيرها والتي تحسن من قابلية التشغيل وخصوصاً في الخراطة.
- **سبائك الفولاذ عالية المطيلية Interstitial-Free Steels**: هذه السبائك تكون محتوية على نسب ضئيلة جداً من الكربون بسبب إضافة عناصر تتحد مع الكربون مثل التيتانيوم (Ti)، وهي مفيدة باستخدامات السحب العميق وفي أبدان المركبات.

4-4-3 حديد الزهر Cast Iron

حديد الزهر (الآهين) هي سبائك الحديد المحتوية على نسبة عالية من الكربون ما بين (2.1-4%)، ونسبة من السليكون ما بين (1-3%). مكونات هذه السبائك تجعلها مناسبة جداً في عمليات السباكة، إذ تمتلك سبائك حديد الزهر سيوبه Fluidity عالية جداً، وهي من أكثر المواد المعدنية المستخدمة في السباكة من حيث وزن المواد المعدنية المصنعة بالسباكة. هنالك عدة أنواع من سبائك حديد الزهر، وأهما هي سبائك حديد الزهر الرمادي Gray Cast Iron، والنوع الثاني هو حديد الزهر الأبيض White Cast Iron، كذلك هنالك أنواع أخرى سيتم التطرق إليها لاحقاً. يستخدم فرن الدست Cupola لإنتاج حديد الزهر الرمادي من تحويل حديد الغفل المنتج من الفرن العالي، ويضاف للفرن حديد السكراب (الخردة) مع الفحم ومساعدات الصهر. تزداد نسبة تكون حديد الزهر الرمادي كلما زادت نسبة الكربون والسليكون والعكس صحيح لتكون حديد الزهر الأبيض، الشكل (3-9) يوضح العلاقة ما بين نسب الكربون والسليكون لتكون نوعي حديد الزهر الرمادي والأبيض وكذلك الفولاذ، كما إن لسرعة التبريد تأثير على تكون أنواع حديد الزهر، فكلما زادت سرعة التبريد تكون حديد الزهر الأبيض والعكس صحيح. بصورة عامة خصائص حديد الزهر تشمل الصلادة العالية جداً والمطيلية الواطئة ولا يتحمل الصدمات لهشاشته وقلة متانته ولذا لا يمكن تشكيله كما في سبائك الفولاذ، كما أن له مقاومة جيدة للتآكل أفضل من الفولاذ الكربوني، رخيص الثمن، له درجات انصهار واطئة نسبياً (1120-1200°C).



شكل 3-9 تأثير نسب الكربون والسليكون على تكوين سبائك حديد الزهر والفولاذ

1-4-4-3 أنواع حديد الزهر Cast Iron Types

أولاً: **حديد الزهر الرمادي Gray Cast Iron**

وفيه يتكون الكرافيت (أسود اللون) على هيئة قشور موزعة ما بين بلورات الحديد مما يجعله قابل لامتصاص الاهتزازات، اللون الرمادي للسبائك والذي يظهر عند قطعها ناتج عن وجود الكرافيت، ولكون الكرافيت مادة زيتية تمتلك السبائك قابلية جيدة للتشغيل، السبائك لها مدى واسع من مقاومة الشد الأقصى بحسب نسبة الكربون وتتراوح (138-345 MPa)، ولها مقاومة عالية للانضغاط، يمكن السيطرة على الخواص من خلال المعالجة الحرارية. تصنع من هذه السبائك قواعد المكائن المختلفة لقابليتها على امتصاص الاهتزازات، وكتلة المحركات ورؤوسها، وغلاف المحركات، وعُدد المكائن.

ثانياً: **حديد الزهر الأبيض White Cast Iron**

تتكون سبائك حديد الزهر الأبيض نتيجة التبريد السريع لمنصهر المعدن بعد الصب، مما يجعل ذرات الكربون تبقى متحدة كيميائياً مع الحديد مكونة السمنتايت Fe_3C بدلاً من ترسيبها على شكل قشور الكرافيت، تظهر عند قطع السبيكة بلورات بيضاء اللون، بسبب مركب السمنتايت تكون هذه السبائك ذات صلادة عالية جداً وهش، وله مقاومة احتكاك ممتازة ومقاومة شد تصل لغاية (275 MPa). بسبب مقاومة الاحتكاك العالية جداً تصنع من هذه السبائك موقفات عجلات سكك القطار، ومن الملاحظ أن استخدامات هذه السبائك قليلة بسبب هشاشته العالية، ويستخدم كثيراً لإنتاج حديد الزهر الطروق.

ثالثاً: **حديد الزهر الطروق Malleable Cast Iron**

يكون شكل الكربون فيه على هيئة تجمعات من الكرافيت، وينتج من المعالجة الحرارية لحديد الزهر الأبيض وتحلل السمنتايت وفصل الكربون وترسبه، ولهذا تقل الهشاشة وتتحسن المطيلية (تصبح الاستطالة لحد 20%) ولذلك يتميز بقابليته على الطرق والسحب. يستخدم في إنتاج ملحقات الأنابيب وأجزاء مُعدات القاطرات والمكائن، ويستخدم في صناعة بعض أجزاء ماكينات النسيج.

رابعاً: **حديد الزهر الكروي Spherical Cast Iron**

ينتج من معالجة منصهر حديد الزهر الرمادي كيميائياً قبل الصب ليكون الكرافيت بشكل كروي بدلاً من هيئة قشور، ويتميز بمقاومة أعلى ومطيلية أفضل من الأنواع السابقة، فضلاً على احتفاظه بمقاومة احتكاك جيدة. ويستخدم في صناعة التروس وأجزاء المكائن.

خامساً: **مجموعة حديد الزهر السبائكي Alloy Cast Irons**

يمكن تسبيك حديد الزهر للأغراض والتطبيقات الخاصة، مثل حديد الزهر ذو الصدمة الحرارية ويضاف له النيكل، وحديد الزهر المقاوم للتآكل الذي يضاف له النيكل والكروم، وحديد الزهر ذو القابلية على المعالجة حرارياً.

5-3 المواد المعدنية غير الحديدية Non-ferrous Metal Materials

تتضمن المواد المعدنية غير الحديدية كافة المعادن وسبائكها التي لا يكون أساسها الحديد، أهم المواد الهندسية في هذه المجموعة هي الألمُنيوم، النحاس، المغنسيوم، النيكل، التيتانيوم، والخارصين، وسبائكهما. بالرغم من أن هذه المواد المعدنية لا تمتلك المقاومة Strength التي يمتلكها الحديد وسبائكه، ولكنها تبقى مواد جذابة في الإنتاج والتصنيع بسبب امتلاكها خواص مهمة مثل المقاومة العالية نسبة للوزن وكذلك مقاومة التآكل، فضلاً على أن بعضها لها خواص منفردة تناسب تطبيقات معينة مثل الموصلية الكهربائية والحرارية مثل النحاس والألمُنيوم ودرجة الانصهار الواطئة مثل الخارصين والقصدير التي تستعمل سبائكهما بكثرة في لحام المونة والقصدرة.

1-5-3 الألمُنيوم وسبائكه Aluminum and its Alloys

الألمُنيوم Al والمغنسيوم Mg من المعادن الخفيفة ولهذه الخاصية أهميتها العالية في التطبيقات الصناعية المهمة، وهما من المعادن الغزيرة المتوفرة في الكرة الأرضية، الألمُنيوم على سطح الأرض والمغنسيوم في البحر، ولكن عملية استخلاصهما من خاماتها ليست بالسهلة ولا الرخيصة على حدٍ سواء، وبسبب ذلك يُعد الألمُنيوم من المعادن حديثة الاستعمال. يتوفر الألمُنيوم بشكل أكاسيد أو سيليكات ولا يوجد حراً في الطبيعة وذلك لميله الشديد للتفاعل مع الأوكسجين في درجات الحرارة الاعتيادية. أهم خامات الألمُنيوم التي انتشر استخدامها كثيراً في إنتاجه هي أوكسيد الألمُنيوم المائي (Al_2O_3-H_2O) المعروف بالـ بوكسايت Bauxite، وتتلخص عملية الاستخلاص المعدن من الخام بثلاث خطوات هي:

1. غسل وسحق (طحن) الخام إلى مسحوق.
2. تحويل مسحوق الخام إلى الألومينا Al_2O_3 بمعاملته بهيدروكسيد الصوديوم NaOH لفصل الشوائب بطريقة باير Bayer Process.
3. استخلاص المعدن النقي من أوكسيده بالتحليل الكهربائي بمساعدة عامل مساعد هو كريولايت Cryolite (Na_3AlF_6) الذي يساعد في خفض درجات انصهار الأوكسيد العالية ومقدارها (2050℃) مما يجعل عملية الصهر بدون العامل المساعد عالية الكلفة، ويتجمع المعدن النقي على قطب الكاثود وغاز الأوكسجين يتجمع على قطب الأنود. تعتمد اقتصاديات إنتاج الألمُنيوم على توفر الطاقة الكهربائية الرخيصة، إذ يحتاج استخلاص طن واحد من المعدن النقي إلى حوالي (17000 kW) بالساعة.

الألمُنيوم المنتج يحتوي على شوائب الحديد، المغنسيوم، السليكون، وغيرها وتصل نسبتها إلى (1.7%) ويسمى بالصنف التجاري، ويمكن معالجة هذا الصنف بالتحليل الكهربائي مرةً أخرى للحصول على صنف عالي النقاوة تصل نسبة المعدن فيه إلى (99.995%)، المستخدم في صناعة الطائرات.

الجدول (3-2) يوضح أهم المعلومات عن هذا المعدن.

جدول 3-2 أهم معلومات الألمُنيوم

الرمز الكيميائي	Al	الشبكة الحيزية	FCC
العدد الذري	13	درجة الانصهار	660°C
الوزن النوعي	2.7	معامل المرونة	69 GPa

أما أهم خواص الألمُنيوم فتتضمن الآتي:

1. خفة الوزن: إذ أن كثافة المعدن تساوي ($2.7\ g/cm^3$)، لذا يستخدم المعدن بكثرة في الصناعات الفضائية، وصناعة الطائرات، والصناعات الأخرى التي تتطلب خفة وزن المعدن المستعمل.
2. المعدن مقاوم جيد للتآكل الجوي، بسبب الميل الشديد للتفاعل مع الأوكسجين في درجات الحرارة الاعتيادية مكوناً غشاءً رقيقاً صلباً غير مسامي لماعاً من أوكسيد الألمُنيوم ملتصقاً بقوة على سطح المعدن وبهذا يحمي المعدن من استمرار التأكسد والتآكل، هذه الحالة تسمى بخمولية التآكل Passivation، ووجود القشرة الأوكسيدية على سطح المعدن تؤدي إلى صعوبة اللحام بالطرائق المألوفة.
3. موصلية كهربائية عالية بحدود 60% من موصلية النحاس، إلا أنه أفضل من النحاس بهذه الخاصية إذا أُخذ عاملي الوزن والكلفة بنظر الاعتبار، لهذا يستخدم بصناعة أسلاك الضغط العالي الكهربائية.
4. موصلية حرارية عالية وبنفس الوقت له انعكاسية جيدة للحرارة مما يسمح باستخدامه للأغراض العمرانية في الواجهات وغيرها من التطبيقات.
5. المعدن مطيلي وذو درجة حرارة إعادة التبلور (درجة الحرارة التي يستعيد المعدن فيها مطيليته بعد عمليات التشكيل) واطئة بحدود (150-190°C).
6. مقاومته واطئة، ولكن يمكن تحسين المقاومة بالشغل على البارد أو بإنتاج سبائك الألمُنيوم، وتتقارب مقاومة الشد النوعي لسبائك الألمُنيوم مع سبائك الفولاذ الكربوني إذا أخذ بنظر الاعتبار وزن المعدن، ولذا أصبحت سبائك الألمُنيوم تنافس الفولاذ في الكثير من المنتجات الصناعية.

3-1-5-1 سبائك الألمُنيوم Aluminum Alloys

تضاف العناصر السبائكية للألمُنيوم بقصد تحسين خواصه الميكانيكية وبالذات خاصيتي مقاومة الشد والصلادة بالإضافة إلى تحسين خصائص السيوبة Fluidity لسبائك الألمُنيوم المصنعة بالسباكة. وتصنف سبائك الألمُنيوم إلى صنفين رئيسين هما سبائك المطروقات Wrought Alloys وسبائك المسبوكات Cast Alloys، وفضلاً على الصنفين المذكورين يمكن تقسيم هذه السبائك بحسب طريقة تحسين المقاومة إذ تقسم إلى السبائك التي تصلد بالترسيب Precipitation Hardening، والسبائك التي تصلد أثناء التشكيل Work Hardening.

من أهم المعادن التي تضاف كعناصر سبك للألمُنيوم هي:

- **النحاس Cu**: يضاف النحاس بنسبة 4% تقريباً لسبائك التشغيل الميكانيكي وبنسبة 8% لسبائك المسبوكات الذي يقوم بالحد من التقلص أثناء الانجماد، وسبائك الألمُنيوم يمكن أصلادها بالترسيب عند إضافة النحاس بنسبة معينة ولهذه السبائك مقاومة عالية تصل مقاومة الشد لها إلى أكثر من (500 MPa) ولها استخدامات وتطبيقات كثيرة مثل صناعة الطائرات وإنتاج المقاطع التصنيعية.
- **السليكون Si**: يضاف السليكون للألمُنيوم بنسب تتراوح (1-14%) بحسب إذا كان عنصر رئيسي أو عنصر سبائكي ثانوي، إضافة السليكون لسبائك المسبوكات يحسن من خصائص السيوبة والتشقق في درجات الحرارة العالية ويرفع من الموصلية الحرارية ويقلل من معامل التمدد الحراري ولسبائك الألمُنيوم- سليكون مقاومة صدمية جيدة وقابلية أحكام ضغط عالية.
- **المغنسيوم Mg**: يضاف بنسب تتراوح (1-10%)، وهي سبائك خفيفة الوزن أخف من الألمُنيوم مع احتفاظها بخواص ميكانيكية جيدة وقابلية خراطة جيدة أيضاً، ولها مقاومة عالية للتآكل في ماء البحر عند زيادة محتوى المغنسيوم. ولسبائك الألمُنيوم- مغنسيوم مع إضافة السليكون مقاومة عالية نتيجة الأصلاد بالترسيب.
- **الخارصين Zn**: يضاف بنسب تصل إلى 10% مع إضافة عناصر سبائكية ثانوية أخرى، ولهذه السبائك مقاومة شد عالية تصل إلى أكثر من (700 MPa) وتستخدم بكثرة في صناعة الطائرات.
- **المنغنيز Mn**: يضاف المنغنيز لسبائك المطروقات وبنسب قليلة لتحسين المقاومة ومقاومة التآكل.

من الجدير بالذكر تضاف عناصر سبائكية أخرى إلى الألمُنيوم لتطبيقات معينة مثل إضافة الحديد لتقليل قابلية الأصلاد بالترسيب لسبائك الألمُنيوم-النحاس، ويضاف النيكل لتحسين المقاومة في درجات الحرارة العالية، ويضاف الرصاص والبزموث لإنتاج سبائك جيدة في خواص القطع (قابلية تشغيل جيدة)، وتضاف عناصر معينة لغرض تصغير الحجم الحبيبي. الجدول (3-3) يوضح تصنيف سبائك الألمُنيوم.

جدول 3-3 تصنيف سبائك الألمُنيوم

العناصر السبائكية	سبائك المطروقات	سبائك المسبوكات	مدى مقاومة الشد (MPa)	الاستطالة %
الألمنيوم التجاري	1XXX	1XXX	75 - 165	7 - 40
Cu	2XXX	2XXX	185 - 485	18 -20
Mn	3XXX		260 - 400	7 - 10
Si + Cu + Mg		3XXX	180 - 260	7 - 22
Si	4XXX	4XXX	130 - 285	1 - 25
Mg	5XXX	5XXX	125 - 200	3 - 18
Mg + Si	6XXX		90 – 172	20 - 25
Zn	7XXX	7XXX	270 – 700	11 - 17

2-1-5-3 استخدامات الألمُنيوم وسبائكه Aluminum and its Alloys Applications

الألمُنيوم بخصائصه الفريدة من نوعها قادر على توفير الحاجات المبتكرة الجديدة، الفعالة، وهي مواد قابلة لإعادة الاستعمال مرة أخرى بعد انتهاء عمرها التشغيلي بسهولة Reuse Material، وقبل هذا وذاك فإن للمعدن حلول مستدامة لمجموعة واسعة من احتياجات العصر الحديث. في الوقت الحاضر، الألومنيوم هو بالفعل في كل مكان من حولنا، نحن نسافر به، ونأكل ونشرب من خلاله، ونستخدم المُعدات المصنوعة منه، ونحن محاطون بأشياء كثيرة مصنوعة من الألمُنيوم. اليوم هو ثاني أكثر المعادن استخداماً في العالم، بعد أن شهدت السنوات الـ 50 الماضية زيادة كبيرة في استخدامه. أهم استخدامات الألمُنيوم وسبائكه تتلخص بالآتي:

- **الموصلات الكهربائية**: تستخدم سبائك الألُمنيوم من سلسلة 1XXX أو 6XXX كموصلات كهربائية بدلاً من النحاس في الكثير من التطبيقات، أسلاك الضغط العالي، الملفات الكهربائية، وغيرها.
- **وسائط النقل**: بالرغم من دخول بعض المواد في مجال صناعة الطائرات مثل التيتانيوم والمواد المركبة، ولكن لا يزال الألمُنيوم وسبائكه (سلسلة 2XXX, 7XXX, 8XXX) المعدن الأساس في صناعة الطائرات، ولولا هذا المعدن لما استمرت صناعة الطائرات بشكلها الحيوي الاقتصادي، فضلاً على ذلك أزداد استخدام الألمُنيوم في صناعة وسائط النقل الأخرى مثل المركبات على مختلف أنواعها والقاطرات والسفن بأنواعها، فعلى سبيل المثال تصنع من سبائك الألمُنيوم (سلسلة 5XXX, 6XXX) أجزاء كثيرة من المركبات مثل المحركات، الإطارات، المبادلات الحرارية، وحتى في أبدان بعض السيارات، ناهيك عن وسائط النقل المستخدمة في المجال العسكري.
- **التعبئة والتغليف**: تستخدم بنجاح سبائك سلسلة 1XXX في تغليف وحفظ المواد الغذائية بسبب المقاومة العالية للتآكل والحاجز الفعال ضد الأشعة والرطوبة والرائحة، ناهيك عن سهولة تشكيلها وتزيينها بشكل جذاب، وعلى سبيل المثال تستخدم مائة ألف مليون علبة في السنة كعلب للمشروبات.
- **البناء والهندسة المعمارية**: يستخدم الألمُنيوم في المباني لمجموعة واسعة من التطبيقات، وتشمل سقوف المصانع والنوافذ والأبواب والستائر وواجهات المحلات والمباني المرموقة، والمعدات، وفي الآونة الأخيرة استخدم الألمُنيوم في صناعة النفط والغاز وفي المنشآت البحرية على نطاق واسع.
- **تطبيقات متنوعة**: التطبيقات أعلاه تشكل 85% من استخدامات الألمُنيوم، أما باقي التطبيقات فتشمل حاويات نقل الغازات التي تتحمل ضغوط عالية والمصنعة من سبائك الألمُنيوم سلسلة 6XXX، الكثير من المنتجات المشغلة لسهولة تشغيلها وخصوصاً مع سلسلة 2XXX وسلسلة 6XXX والمضاف إليها معدني الرصاص والبزموث، السلالم ونقل المُعدات، السلع الرياضية التي تستخدم سبائك 2XXX 7XXX مثل مُعدات الجولف والمضارب المختلفة ومُعدات التزلج والزوارق الخفيفة وغيرها، العلامات المرورية والإشارات، الأثاث المنزلي والمكتبي، لوحات التصوير الطباعية.

2-5-3 المغنسيوم وسبائكه Magnesium and its Alloys

يُعد معدن المغنسيوم من أخف المعادن على الأطلاق، إذ لا تتجاوز كثافته ($1.74\ g/cm^3$)، الجدول (3-4) يوضح بعض المعلومات عن المعدن. المغنسيوم وسبائكه متوفرة بنوعيها المطروقات والمسبوكات، فضلاً على أن للمعدن وسبائكه قابلية تشغيل عالية. ويجب الحذر الشديد عند التعامل معه وخصوصاً عند تقطيعه إلى قطع صغيرة لكونه شديد التفاعل مع الأوكسجين مما قد يسبب الحرائق. أهم مصدر للمغنسيوم هو ماء البحر، إذ يشكل الملح كلوريد المغنسيوم ($MgCl_2$) نسبة 0.13% من ماء البحر. يتم استخلاص المعدن من خلط ماء البحر مع هيدروكسيد الكالسيوم ($Ca(OH)_2$)، ناتج التفاعل الكيميائي هو هيدروكسيد المغنسيوم ($Mg(OH)_2$) بهيئة محلول ومنه يتم تركيزه من خلال ترشيحه ومن ثم يخلط مع حامض الهيدروكلوريك (HCl) مكوناً كلوريد المغنسيوم ولكن بتركيز أكبر بكثير من تركيزه في ماء البحر، وأخيراً يتم تحليل الملح كهربائياً لغرض الحصول على المعدن النقي الذي يسبك بقوالب بحسب الطلب، علماً أن غاز الكلور الناتج من التحليل الكهربائي يعاد استعماله في العملية المذكورة. ويتواجد المغنسيوم في الطبيعة أيضاً على هيئة كربونات وتدعى الدولومايت.

جدول 3-4 أهم معلومات المغنسيوم

الرمز الكيميائي	Mg	الشبكة الحيزية	HCP
العدد الذري	12	درجة الانصهار	650°C
الوزن النوعي	1.74	معامل المرونة	48 GPa

1-2-5-3 خصائص المغنسيوم وسبائكه Magnesium and its Alloys properties

المعدن النقي لين وليس له خصائص ميكانيكية جيدة تجعله مادة هندسية صناعية، ولكن يمكن تسبيكه ومعالجة سبائكه حرارياً لتحسين هذه الخواص والحصول على مقاومة تقارب مقاومة سبائك الألمُنيوم، من الجدير بالذكر أن مقاومة سبائكه مع خفة وزنه شجعت استخدام سبائكه في صناعة مكونات الطائرات والصواريخ. أهم عناصر السبك للمغنسيوم هي الألمُنيوم، الخارصين، المنغنيز، والثريوم Th، وهذه العناصر تكون أطوار ثانوية ومركبات شبه معدنية تساعد في تحسن الخواص الميكانيكية نتيجة ظاهرة الأصلاد بالترسيب. الجدول (3-5) يوضح بعض مكونات سبائك المغنسيوم وخواصها.

جدول 3-5 مكونات سبائك المغنسيوم وخواصها الميكانيكية

الصنف	Mg%	Al%	Mn%	Si%	Zn%	أخرى%	العملية	مقاومة الشد MPa	الاستطالة %
AZ10A	98	1.3	0.2	0.1	0.4		مطروقة	240	10
AZ80A	91	8.5			0.5		حدادة	330	11
HM31A	95.8		1.2			3 Th	مطروقة	283	10
ZK21A	97.1				2.3	6 Zr	مطروقة	260	4
AM60	92.8	6	0.1	0.5	0.2	o.3 Cu	مسبوكة	220	6
AZ63A	91	6			3		مسبوكة	200	6

3-5-3 النحاس وسبائكه Copper and its Alloys

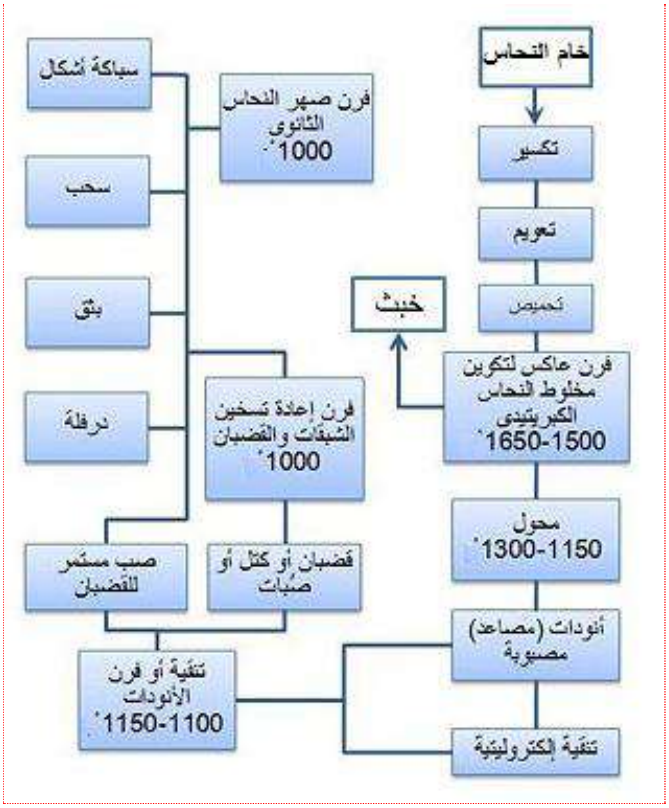
النحاس Cu أحد أقدم المعادن المعروفة والمستخدمة تاريخياً بحدود (6000 سنة قبل الميلاد) وذلك لوجوده حراً في الطبيعة، ولكن في الوقت الحاضر من الصعوبة جداً أن تجد النحاس حراً بالطبيعة، لذا يستخلص النحاس من خاماته التي تكون غالباً كبريتيد النحاس والتي تسمى كالكوبايرايت Chalcopyrite ($CuFeS_2$) والذي يحتوي على نسبة (32%) نحاس. عملية استخلاص النحاس تتم بتكسير الخام وسحقه (طحن) وزيادة تركيزه عن طريق الطفو (التعويم) ومن ثم صهر الخام مع أوكسيد السليكون بفرن أو أفران متعددة عاكسة بوجود الأوكسجين أو الهواء ومنه يتم فصل المعدن عن طريق التفاعل الكيميائي الآتي:

$$2CuFeS_2 + 2SiO_2 + 4O_2 \rightarrow Cu_2S + 2FeSiO_3 + 3SO_2 \uparrow$$

وكبريتيد النحاس المنتج يتم تحويله إلى نحاس عن طريق نفخ الهواء الأخير بموجب المعادلة الآتية:

$$Cu_2S + O_2 \rightarrow 2Cu + SO_2 \uparrow$$

النحاس المنتج في هذه المرحلة تكون درجة نقاوته (98-99%)، ويمكن تحسين النقاوة بالتحليل الكهربائي للتطبيقات العامة المطلوبة، الشكل (3-10) يوضح مخطط استخلاص النحاس وطرائق تصنيعه، أما الجدول (3-6) فيوضح أهم المعلومات عن هذا المعدن.



الشكل 3-10 مخطط استخلاص النحاس وطرائق تصنيعه

جدول 3-6 أهم معلومات النحاس

الرمز الكيميائي	Cu	الشبكة الحيزية	FCC
العدد الذري	29	درجة الانصهار	1083°C
الوزن النوعي	8.69	معامل المرونة	110 GPa

أما أهم خواص النحاس فتتضمن الآتي:

1. **اللون**: النحاس النقي مميز بلونه الوردي المحمر، أما سبائكه فلها ألوان مختلفة، ولذا تستخدم هذه الصفة من قبل المعماريين بكثرة.
2. **التوصيل الكهربائي**: النحاس أفضل المواد الهندسية قاطبة بالتوصيل الكهربائي، ولكن أية عناصر بشكل شوائب أو تسبيك تؤثر سلباً على الموصلية الكهربائية.
3. **التوصيل الحراري**: يمتاز المعدن بموصليته الحرارية الممتازة وهي بحدود (400 W/m.°C).
4. **قابلية التشكيل**: النحاس معدن قابل للطرق والسحب وتسهل درفلته إلى صفائح رقيقة وسحبه إلى أسلاك دقيقة، استطالته بحدود (40-50%)، ويكتسب النحاس بعض الصلادة إذا تم تشكيله على البارد ولكنه يستعيد ليونته عند تسخينه لدرجة حرارة التبلور التي مقدارها (320°C).
5. **قابلية اللحام**: قابلية اللحام للمعدن جيدة وخصوصاً لحام المونة.
6. **مقاومة التآكل**: يُعد النحاس من المعادن النبيلة مثل الذهب والفضة لكونه مقاوم جيد للظروف الجوية، ولكن بوجود الرطوبة العالية ولفترة طويلة تظهر عليه طبقة رقيقة خضراء فاتحة من كبريتات النحاس، لاحظ الشكل (3-11).
7. **عناصر السبك**: يمكن تسبيك المعدن بسهولة للحصول على خواص مفضلة ومن أهم سبائك النحاس هما البراص والبرونز وعناصر السبك لهما الخارصين والقصدير على التوالي، وهنالك عناصر سبائكية أخرى مثل الألمُنيوم، السليكون، النيكل، البريليوم الذي يعطي النحاس أقصى مقاومة شد.

الخواص أعلاه مجتمعةً تجعل النحاس أحد أهم المعادن المستخدمة كمواد هندسية، أما الخواص التي تُعد غير مرغوبة فتكمن بالآتي:

8. **المقاومة والصلادة**: المقاومة الميكانيكية والصلادة للمعدن واطئة نسبياً وخصوصاً إذا أخذ بنظر الاعتبار الوزن الثقيل للمعدن ويمكن تحسين خواصه الميكانيكية عن طريق التشكيل على البارد أو عن طريق التسبيك، الجدول (3-7) يبين مقاومة الشد والاستطالة لبعض سبائك النحاس، مقاومة الشد تتراوح (172-220 MPa) وصلادته بحدود (40-45 HB).
9. **قابلية التشغيل**: لكون النحاس معدن لين لذلك عند التشغيل سيكون سطح المعدن خشن، ويمكن تحسين خاصية التشغيل بإضافة معدن الرصاص له.

شكل 3-11 صورة أبنية قديمة توضح تحول النحاس إلى كبريتات النحاس

جدول 3-7 مقاومة الشد والاستطالة للنحاس وبعض سبائكه

الصنف	التركيب النمطي %					مقاومة الشد MPa	الاستطالة %
	Cu	*Be*	*Ni*	*Son*	*Zn*		
C10100	**99.99**					**235**	**45**
C11000	**99.95**					**220**	**45**
C17000	**98.0**	**1.7**				**500**	**45**
C24000	**80.0**				**20.0**	**290**	**52**
C26000	**70.0**				**30.0**	**300**	**68**
C52100	**92.0**			**8.0**		**380**	**70**
C71500	**70.0**		**30.0**			**580**	**3**

3-5-1-3 سبائك النحاس Copper Alloys

استخدام النحاس النقي يقتصر غالباً للموصلات الكهربائية وبعض المبادلات الحرارية، ولكن سبائكه واسعة الانتشار وتطبيقاتها كثيرة جداً، أهم سبائكه هي سبائك البراص وسبائك البرونز.

أولاً: **البراص Brass**

تُعد سبائك البراص من المواد الهندسية المهمة لكثرة استخداماتها وتطبيقاتها الواسعة، وهي عبارة عن سبيكة من النحاس والخارصين (Zn) وتصل نسبة الخارصين لحد (45%)، علماً أن الخارصين يذوب بالنحاس ويسمى الطور بطور ألفا (∝) ولحد نسبة (35%)، وهو طور مطيلي لين يمكن تشكيله بسهولة على البارد وتصنع المقذوفات بطريقة السحب العميق من هذه السبائك. وتتكون أطوار أخرى عند زيادة نسبة الخارصين وهي أطوار صلدة مثل طور بيتا (β) لحد (45%) ويعطي مقاومة أكبر لسبائك البراص، أما بعد هذه النسبة فلا تستخدم هذه السبائك بسبب أطوارها الصلدة جداً وعدم إمكانية تشكيلها وتشغيلها. ولهذا كلما زادت نسبة الخارصين زادت معها مقاومة السبيكة وصلادتها وقلت المطيلية وعملية التشكيل على البارد تكون صعبة جداً، ولذا يتم تصنيع منتجات هذه الأنواع عن طريق السباكة. ومن أهم خواص سبائك البراص هي المقاومة العالية للتآكل والاحتكاك.

سبائك البراص يمكن تسبيكها بعناصر معينة للحصول على خواص مفضلة لتطبيقات معينة ومن هذه العناصر القصدير، الألمُنيوم، النيكل، والسليكون وبنسب لا تزيد عن 1% لتحسين خاصية مقاومة التآكل والمقاومة وتستخدم في صناعة المبادلات الحرارية ومراوح السفن وغيرها من المُعدات المستخدمة للأغراض البحرية. ويضاف الرصاص بنسبة 2% لتحسين خواص التشغيل مثل الخراطة، وهو لا يذوب في السبيكة ولكنه يصبح بشكل كروي صغير يساعد على تكسر المعدن أثناء التشغيل. ويضاف الزرنيخ (As) بنسبة (0.6%)، لمعالجة ظاهرة فقدان الخارصين من السبيكة عند تعرضها لماء البحر.

ثانياً: **البرونز Bronze**

سبائك البرونز عديدة وتمتاز عن سبائك البراص بمقاومة عالية ومتانة جيدة، فضلاً على مقاومتها العالية للتآكل، وتستخدم بالصناعة بكثرة. وأنواع سبائك البرونز هي:

i. **البرونز الحقيقي Sn-Bronze**: وهي سبائك النحاس – قصدير ونسبة القصدير لا تزيد عن 20% في جميع الأحوال لمحدودية ذوبان القصدير بالنحاس، وطور ألفا (∝) يتكون لحد نسبة 14% قصدير، وهو طور مطيلي ومتين بينما طور ألفا في سبائك البراص طور مطيلي لين. تصنف سبائك البرونز الحقيقي إلى سبائك المطروقات وسبائك المسبوكات، سبائك المطروقات لا تتجاوز نسبة القصدير فيها عن 7% لإنتاج الصفائح المدرفلة والقضبان، أما سبائك المسبوكات فتصل نسبة القصدير فيها إلى 18% وتستعمل لأغراض المحامل Bearings لاحتوائها على طور دلتا (δ) الصلد جداً المطمور بطور ألفا المتين وكذلك تستخدم في صناعة التماثيل. ويمكن إضافة عناصر سبائكية للبرونز الحقيقي لأغراض خاصة مثل إضافة الفسفور بنسبة 1% لزيادة مقاومة التآكل الاحتكاكي ويستخدم بصناعة المحامل، ويضاف الرصاص بنسبة 2% لتحسين خواص التشغيل، ويضاف الخارصين بنسبة 2% لتحسين المطيلية ويستعمل في عمل المداليات والنقود المعدنية.

ii. **برونز الألمُنيوم Al-Bronze**: تمتاز هذه السبائك بلونها الأبيض ويضاف لها الفضة لإعطاءها بريق وتستخدم في صناعة الملاعق والسكاكين. تصنف السبائك على أساس سبائك المطروقات التي لا تتجاوز نسبة الألمُنيوم فيها عن 10% وسبائك المسبوكات وتكون نسبة الألمُنيوم أعلى من ذلك. تستخدم سبائك برونز الألمُنيوم في صناعة المبادلات الحرارية والصناعات الكيميائية وصناعة العُدد بمنشآت الغاز لكونها لا تعطي شرارة Spark عند العمل.

iii. **برونز الفضة Siliver-Bronze**: وتسمى أيضاً بالفضة الألمانية وهي سبيكة من النحاس والنيكل والخارصين، أشهرها بنسبة (Cu50% - Ni25% - Zn25%) ولها لون فضي براق وتستخدم في صناعة النقود المعدنية، الحُلي، الأجهزة والأدوات الطبية والمنزلية مثل الملاعق، لمقاومتها العالية للتآكل الجوي والأحماض والقلويات، فضلاً على قابليتها الجيدة للتشكيل.

ثالثاً: **سبائك النحاس الأخرى**

هنالك مجموعة أخرى من سبائك النحاس تستخدم لأغراض خاصة ومنها:

- **سبائك النحاس- نيكل Cu-Ni**: يذوب النيكل بالنحاس إذابة تامة مكوناً طوراً واحداً لكافة النسب، وتصنف هذه السبائك بحسب نسب المكونات، سبائك 20% تستخدم في صناعة النوابض والمُعدات الكهربائية والبدالات الآلية، وسبائك 30% نيكل تستخدم بنقل الماء المالح لمقاومتها العالية للتآكل. سبائك (40-60% Ni) تستخدم في صناعة المزدوجات الحرارية لانخفاض معامل تمددها الحراري، وسبائك المونيل التي تتراوح نسبة النيكل فيها بحدود (66-68%) وهي تستخدم لأغراض مقاومة التآكل للحوامض والمحاليل القاعدية.
- **سبائك النحاس- بريليوم Cu-Be**: سبائك عالية المقاومة الميكانيكية تتصلد بالترسيب وتستعمل في عُدد ومُعدات مصانع المفرقعات والغاز والمناجم.
- **سبائك النحاس- كروم Cu-Cr**: أيضاً من السبائك عالية المقاومة وتستعمل في إنتاج أقطاب مكائن لحام المقاومة الكهربائية النقطي Spot Welding.

4-5-3 النيكل وسبائكه Nickel and its Alloys

يشابه النيكل الحديد بالكثير من الخواص، فهو معدن يتمغنط ومعامل مرونته مساوي تقريباً لمعامل مرونة الحديد، لكنه أفضل من الحديد في مقاومة التآكل الجوي والماء ولهذا يستعمل كطلاء لسبائك الفولاذ، وكذلك لسبائكه مقاومة جيدة في درجات الحرارة العالية. أهم المعلومات للنيكل مذكورة في الجدول (3-8). يستخلص المعدن من خامه الذي يدعى (Pentlandite) ($(NiFe)_9S_8$) بعمليات متعددة

جدول 3-8 أهم معلومات النيكل

الرمز الكيميائي	Ni	الشبكة الحيزية	FCC
العدد الذري	28	درجة الانصهار	1453℃
الوزن النوعي	8.9	معامل المرونة	209 GPa

سبائك النيكل لها أهميتها الخاصة بالصناعة لتميز خواصها ومنها المقاومة العالية للتآكل والحفاظ على خواص ميكانيكية جيدة مع ارتفاع درجات الحرارة العالية، والكثير من السبائك الخاصة أساسها هو النيكل والتي لها تطبيقات في صناعة المحركات التوربينية وخصوصاً الأجزاء المتحركة بسبب خفة وزنها ومقاومة الكلال العالية الميكانيكية والحرارية، الجدول (3-9) يوضح أهم مكونات سبائك النيكل.

الجدول 3-9 مكونات سبائك النيكل وخواصها الميكانيكية

الصنف	Ni%	Cr%	Cu%	Fe%	Mn%	Si%	أخرى	مقاومة الشد MPa	الاستطالة %
270	99.9							345	50
200	99		0.2	0.3	0.2	0.2	C, S	462	47
400	66.8		30	2.5	0.2	0.5	C	550	40
600	74	16	0.5	8	1	0.5		655	40
230	52.8	22		3	0.4	0.4		860	47

4-5-3 القصدير وسبائكه Tin and its Alloys

ينتمي القصدير إلى المعادن النادرة وأهم خاماته الموجودة في الطبيعة هي أوكسيد القصدير (SnO_2) الذي يسمى (الكاستيرات) والمعروف (بحجر القصدير) ويكون في العادة مخلوطا بالمواد الترابية وكميات قليلة من الكبريت والزرنيخ والنحاس والحديد، ويستخلص القصدير من خاماته باختزال أوكسيد القصدير بوساطة الفحم في أفران عاكسة وذلك بعد غسله بالماء وتنظيفه وتحميصه، بعد استخلاص القصدير من خاماته تتم تنقيته وتصفيته بطريقة التسييل وذلك بتسخينه على سطح فرن منحدر تاركاً المواد الغريبة على سطح الفرن. القصدير فلز أبيض فضي ناصع اللون وهو لين جداً وقابل للطرق والسحب في درجات الحرارة الاعتيادية ويمكن تحويله إلى صفائح رقيقة ولكنه إذا سخن إلى درجة (200°C) فأنه يصبح هشاً ويتكسر بسهولة ويتفتت بالطرق ويتحول إلى مسحوق وإذا لوي قضيب القصدير فانه يحدث صوتاً خفيفاً وذلك نتيجة احتكاك بلوراته بعضها ببعض. صلادة القصدير ومتانته واطئة، وموصليته الكهربائية والحرارية منخفضة. مقاومة تآكل القصدير عالية ولا يتأثر بالماء، ولا يتأثر بالحوامض العضوية لذا يستعمل في طلاء الأواني النحاسية وأيضاً في طلاء الفولاذ الكربوني بتطبيقات الصفائح الفولاذية المطلية بالقصدير والتي تسمى (تنك) التي يتم حفظ المواد الغذائية فيها، ويشترط أن تنظف الصفائح جيداً قبل الطلاء وأن يتم السيطرة على الطلاء بشكل دقيق تحسباً من حوادث التسمم. يذوب القصدير في حامض الكبريتيك الساخن كما انه يتفاعل مع حامض النتريك المركز، ويتأثر قليلاً وببطء بالحوامض الباردة المخففة. الجدول (3-10) يوضح المعلومات عن المعدن.

جدول 3-10 أهم معلومات القصدير

الرمز الكيميائي	Sn	الشبكة الحيزية	HCP
العدد الذري	50	درجة الانصهار	232°C
الوزن النوعي	7.3	معامل المرونة	42 GPa

1-4-5-3 سبائك القصدير وتطبيقاتها Tin Alloys and its Applications

أهم سبائك القصدير هي سبائك لحام القصدرة التي تتكون أساساً من القصدير والرصاص وكذلك النحاس، ويمكن استعمالها بلحام جميع أنواع الفولاذ الكربوني والسبائكي ولحام المعادن غير الحديدية وسبائكها وهذا النوع من اللحام يكون رخيص الثمن سهل الاستعمال. ويضاف إلى سبائك لحام القصدرة الأنتيمون (Sb) لتحسين سيوبة معدن اللحام. يستعمل القصدير في الصناعات الكهربائية في طلاء أسلاك النحاس قبل تغليفها بمادة عازلة وذلك لمنع تأثير الكبريت الذي يحتويه المطاط المحيط بالأسلاك، ويستخدم أوكسيد القصدير في إنتاج المينا المقاوم للحرارة. ويستخدم القصدير في إنتاج سبيكة (بابيت) المستعملة في صناعة المحامل وكراسي التحميل وتتكون هذه السبيكة من القصدير والنحاس والأنتيمون ومعادن أخرى كما انه يدخل في تركيب سبائك (حروف الطباعة) والعديد من السبائك الأخرى.

5-5-3 الخارصين وسبائكه Zinc and its Alloys

أهم خامات الخارصين الموجودة في الطبيعة هي كبريتيد الخارصين (ZnS) التي تسمى (بلنده) Blende، وكاربونات الخارصين ($ZnCO_3$)، ولاستخلاص الخارصين تحمص الخامات أولاً في فرن عاكس لتحويلها إلى أوكسيد الخارصين وبعد ذلك تخلط الخامات المحمصة مع مسحوق الفحم الخشبي في أفران خاصة ونتيجة للحرارة العالية يتكون بخار الخارصين ذو اللون المخضر الذي يكثف ويصب في قوالب، وهناك طريقة أخرى لاستخلاص الخارصين من كبريتاته والتي تعرف بطريقة التحليل الكهربائي، الخارصين الناتج بهاتين الطريقتين خارصين نقي. الجدول (3-11) يتضمن المعلومات العامة عن المعدن، وتتضمن خواص الخارصين النقي الآتي:

- الخارصين معدن أبيض مائل إلى الزرقة مقطعه بلوري وهو قابل للكسر في درجة الحرارة الاعتيادية ولكن بتسخينه بحدود (100-150°C) يصبح قابلاً للطرق والسحب ويمكن درفلته إلى صفائح وسحبه إلى أسلاك وفي درجة حرارة (200°C) يصبح مرةً أخرى قابلاً للكسر.
- لا يتأكسد الخارصين في الهواء الجاف البارد ولكنه يتآكل في الهواء الرطب مكوناً طبقة رقيقة واقية من كربونات الخارصين القاعدية تلتصق بالمعدن التصاقاً تاماً وتمنعه من استمرار التآكل.
- إذا سخن الخارصين في الهواء فوق درجة انصهاره (420°C) يشتعل بلهب مائل إلى الزرقة مكوناً أوكسيد الخارصين (ZnO).
- يذوب الخارصين في الحوامض المخففة محرراً الهيدروجين ويتأثر بالمحاليل القلوية الساخنة.
- تتراوح نسبة الاستطالة للخارصين وسبائكه بحدود (30-60%).

جدول 3-11 أهم معلومات الخارصين

الرمز الكيميائي	Zn	الشبكة الحيزية	HCP
العدد الذري	30	درجة الانصهار	419°C
الوزن النوعي	7.13	معامل المرونة	90 GPa

1-5-5-3 سبائك الخارصين وتطبيقاتها Zinc Alloys and its Applications

سبائك الخارصين تستخدم بكثرة في السباكة تحت الضغط للأهمية الاقتصادية للإنتاج الكمي لتصنيع بعض مكونات المركبات والأدوات، وغيرها، الجدول (3-12) يوضح بعض أهم سبائك الخارصين.

جدول 3-12 مكونات سبائك الخارصين وخواصها الميكانيكية

الصنف	Zn%	Al%	Cu%	Mg%	Fe%	مقاومة الشد MPa	التطبيقات
Z33520	95.6	4	0.25	0.04	0.1	283	مسبوكات بالضغط
Z35540	93.4	4	2.5	0.04	0.1	359	مسبوكات بالضغط
Z35635	91	8	1	0.02	0.06	374	مسبوكات
Z35840	70.9	27	2	0.02	0.07	425	مسبوكات
Z45330	98.9		0.01	0.01		227	صفائح مدرفلة

أهم تطبيقات الخارصين هي إنتاج سبائك البراص مع النحاس التي تم ذكرها في موضوع سبائك النحاس، كذلك فإن للخارصين تطبيق مهم باستخدامه كطلاء لبعض المعادن منها الحديد والفولاذ الكربوني وتسمى العملية **بالغلونه** وتستخدم بكثرة للصفائح الفولاذية لحماية هذه الصفائح من التآكل، والسبب في حماية هذه الصفائح هو أن للخارصين فعالية كلفانية أعلى من المعادن الأخرى مثل الحديد، والفعالية الكلفانية تعني أن المعدن يتآكل اسرع من تآكل المعادن الأقل منه بالجهد الكلفاني، وبهذا يقدم الخارصين التضحية بالتآكل بدلاً من المعدن الأساس عند استخدامه كطلاء، تطبيقات الصفائح الفولاذية المغلونة كثيرة جداً منها صناعة خزانات الماء ومجاري الهواء وغيرها، تتم عملية الغلونه أما بتغطيس المعدن الأساس في منصهر الخارصين وإما بالطلاء الكهربائي أو بالرش بتيار رذاذي من منصهر الخارصين، علماً أن المتطلبات المهمة لعملية الطلاء هي أن تكون درجة انصهار معدن الطلاء واطئة وهذا ما يتمتع به الخارصين. من تطبيقات سبائك الخارصين المهمة الأخرى استخدامه في إنتاج سبائك لحام المونة، والتي تكون على عدة أنواع بحسب نوعية اللحام والمعدن الأساس المراد لحامه وهي على نوعين بحسب المعادن الأساسية لها، الأولى تسمى سبائك لحام المونة النحاسية والثانية سبائك لحام المونة الفضية، ولحام المونة يكون أقوى وأمتن من لحام القصدرة، ويستعمل لحام المونة للحام سبائك الفولاذ وسبائك حديد الزهر والنيكل والنحاس وغيرها، وتستعمل سبائك لحام المونة على شكل قضبان، أسلاك، أشرطة، أو مساحيق. وينصح للحام الأجزاء المصنوعة من الفولاذ باستعمال سبائك لحام المونة التي لا تحتوي على كثير من الخارصين أما في سبائك النحاس فيجب أن تكون نسبة الخارصين بالمونة عالية، تمتاز سبائك لحام الفضة بسيوبه جيدة ومقاومة عالية للتآكل وهي ذات درجة انصهار أوطأ من سبائك لحام النحاس، وكذلك يمتاز اللحام بسبائك المونة الفضية إنتاج وصلات متينة تتحمل الصدمات الكبيرة والأحمال الاهتزازية، ويبين الجدول (3-13) النسب المئوية لعناصر بعض سبائك لحام المونة. وأخيراً أن لبعض سبائك الخارصين قابلية جيدة للتشكيل، لذا تصنع منها بعض النقود المعدنية، ويستخدم مسحوق الخارصين المخلوط مع زيت بذرة الكتان في صنع دهون زيتية رمادية.

جدول 3-13 النسب المئوية لعناصر بعض سبائك لحام المونة ودرجات انصهارها

اسم لحام السبيكة	النحاس %	الخارصين %	الفضة %	درجة الانصهار (°C)
نحاسية	38-34	الباقي	-	833
نحاسية	50-64	الباقي	-	925
نحاسية	56-52	الباقي	-	870
فضية	36	52	12	785
فضية	40	35	25	765
فضية	30	25	45	720

6-5-3 المعادن الحرارية (عالية درجات الانصهار) Refractory Metals

أهم المعادن في هذه المجموعة هما الموليبدنيوم والتنكستن، وهنالك معادن أخرى ذات درجات انصهار عالية مثل تانتاليوم (Ta) ولكنها أقل أهمية بالإنتاج الصناعي. أهم خواص هذه المعادن هي المقاومة الميكانيكية العالية حتى بارتفاع درجات الحرارة، الجدول (3-14) يوضح أهم المعلومات لمعدني الموليبدنيوم والتنكستن. تطبيقات الموليبدنيوم تشمل صناعة المسخنات والواقيات الحرارية، أقطاب لحام المقاومة، قوالب التشكيل على الساخن وأجزاء الصواريخ والمحركات النفاثة، فضلاً على استخدامه كعنصر سبائكي في سبائك الفولاذ والسبائك الخاصة. أما التنكستن الذي يمتلك أعلى درجة انصهار من كافة المعادن، فإن تطبيقاته تشابه تطبيقات الموليبدنيوم، فضلاً على استخدامه بصناعة أسلاك مصابيح الإنارة وكعنصر سبائكي لسبائك فولاذ العُدد التي تتطلب مقاومة لدرجات الحرارة العالية.

جدول 3-14 أهم معلومات معدني الموليبدنيوم والتنكستن

المعدن	الموليبدنيوم	التنكستن
الرمز الكيميائي	**Mo**	**W**
العدد الذري	42	74
الوزن النوعي	10.2	19.3
الشبكة الحيزية	BCC	BCC
درجة الانصهار	2619°C	3400°C
معامل المرونة	324 GPa	407 GPa

7-5-3 المعادن الثمينة Precious Metals

تشمل المعادن الثمينة الذهب والبلاتين والفضة، وتسمى أيضاً المعادن النبيلة Noble Metals، لكونها غير فعالة كيميائياً، وهي معادن جذابة لها قيمتها العالية، واستخدمت عبر التاريخ بصناعة العملات النقدية المعدنية أو الورقية واستخدمت بكثرة في الحُلي والمجوهرات. الجدول (3-15) يوضح أهم المعلومات لتلك المعادن، أما أهم الخواص لهذه المعادن فتشمل كثافة عالية، مطيلية جيدة، موصلية كهربائية عالية، ومقاومة تآكل جيدة. تُعد الفضة أقل قيمة من الذهب والبلاتين، ولكنه الأعلى من ناحية الموصلية الكهربائية من كافة المعادن لذا يستخدم في صناعة المفاتيح الكهربائية المهمة وخصوصاً في الصناعات الإلكترونية. يُعد الذهب من أثقل المعادن وله تطبيقات صناعية محدودة بسبب سعره العالي ومن هذه التطبيقات تغطية المعادن المعرضة لجو تآكلي شديد. البلاتين أعلى قيمة من الذهب ولذا تطبيقاته محدودة جداً وتقتصر على القطع المهمة الصغيرة مثل المزدوج الحراري Thermocouple وشمعات القدح وفي العمليات الجراحية.

جدول 3-15 أهم معلومات معادن الذهب والبلاتين والفضة

المعدن	الذهب	البلاتين	الفضة
الرمز الكيميائي	Au	Pt	Ag
العدد الذري	79	78	47
الوزن النوعي	19.3	21.5	10.5
الشبكة الحيزية	FCC	FCC	FCC
درجة الانصهار	1063°C	1769°C	961°C

6-3 المواد غير المعدنية Non-Metals Materials

نعتقد جميعاً أن المواد المعدنية هي أهم المواد الهندسية، ولكن بالحقيقة هنالك مواد غير معدنية لها تطبيقات كثيرة وواسعة جداً في مجال الصناعة والتكنولوجيا، ولا يسع المجال في هذه المرحلة لذكرها ودراستها وسيقتصر تناولها بصورة عامة فقط، وتشمل المواد غير المعدنية الهندسية عدة مجاميع هي:

1. **الحراريات Ceramics**
2. **اللدائن Polymers**
3. **المواد المركبة Composite Materials**

تتضمن المواد الحرارية أو الفخارية المنتجات المصنوعة من الطين Clay، الزجاجيات، المواد الرابطة مثل الإسمنت، والمواد الحديثة عالية الصلادة مثل كربيد التنكستن ونترات البورون. جميع المواد الأولية للحراريات متوفرة كثيراً بالطبيعة ومن أهمها السليكا (SiO_2) والألومينا (Al_2O_3). وتتميز الحراريات بخواص تختلف كلياً عن خواص المواد المعدنية مثل الصلادة العالية، خصائص عزل كهربائي وحراري جيدة، استقرارية كيميائية شديدة ومقاومة تآكل جيدة، ودرجة انصهار عالية. تكمن الأهمية التجارية والتكنولوجية للمواد الحرارية باستعمالاتها وتطبيقاتها الكثيرة والمتنوعة مثل:

- منتجات الأطيان من طابوق بأنواعه وأنابيب خزفية وبلاطات وغيرها، والخزفيات الحرارية مثل جدران أفران الصهر، وقوالب السباكة، والإسمنت Cement المستعمل بالخرسانة Concrete، علماً أن الخرسانة تُعد مادة مركبة، العوازل الحرارية الخزفية مثل شمعات القدح والعناصر الإلكترونية.
- المنتجات الخزفية البيضاء مثل البورسلين والأواني الخزفية والصينية، والخزفيات المستخدمة في صناعة الأسنان والعظام.
- الزجاجيات مثل الألواح الزجاجية، العدسات، القناني، المصابيح، الألياف الزجاجية (الصوف الزجاجي) المستعملة بالعزل الحراري، وغيرها.
- أدوات القطع المتنوعة المصنوعة من كربيد التنكستن ونترات البورون، وأدوات التجليخ المصنوعة من السليكا والألومينا.

أما اللدائن فهي مواد تعتمد بالأساس على الكربون ولذا تُعد هذه المواد من المواد العضوية، وهي حديثة الاستخدام كمادة هندسية مقارنة مع المعادن والحراريات. اللدائن تتكون من سلسلة طويلة من الوحدات الجزئية الصغيرة قد تصل إلى آلاف الوحدات التي تنتج عن طريق الحرارة والضغط وعامل مساعد بعملية تسمى بالبلمرة Polymerization. أهم الخواص العامة للدائن الاستطالة العالية جداً، مقاومة تآكل عالية، خفة الوزن، عوازل جيدة للحرارة والكهرباء، تتأثر بالإشعاع الضوئي والأحوال الجوية، تتأثر بصورة عامة بدرجة الحرارة بشكل كبير ولها مقاومة خضوع وشد أقل من المواد الأخرى وتزداد المقاومة كلما زادت درجة التشابك والتفرع للجزيئات ونفس الشيء بالنسبة لدرجة الانصهار. تصنف اللدائن إلى صنفين البلاستك والمطاط، والنوع الأول يقسم على أساس درجة التشابك بين الجزيئات وطريقة الإنتاج إلى قسمين هما اللدائن الحرارية Thermoplastics واللدائن المصلدة Thermosetting، ويمتاز النوع الأول بسهولة تشكيلها وإمكانية إعادة تسخينها وتشكيلها عدة مرات بسهولة لكونها تصبح بحالة سائلة لزجة بدرجات حرارة ليست عالية، أما النوع الثاني فيمتاز بمقاومته العالية، ويمتاز المطاط الطبيعي أو الصناعي بالاستطالة الفائقة تحت جهود قليلة. تطبيقات اللدائن توسعت ونمت بشكل كبير ساعدها على ذلك خواصها المميزة وسهولة التعامل معها صناعياً وتجارياً، هنالك أنواع لا تحصى من المنتجات اللدائنية المعروفة ويمكن تلخيص أهم الاستخدامات الحديثة بالآتي:

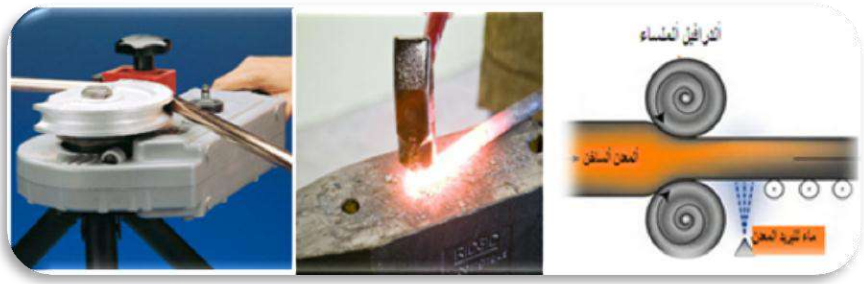
- عدسات بلاستيكية مختلفة لأجهزة التصوير وتحسين الرؤية وغيرها.
- أدوات جراحية من البلاستيك، حيث يطوّر الباحثون نوعاً من البلاستيك المقوّى بألياف كربونية من أجل استخدامها في هذه الأدوات.
- المطاط المعدني (البلاستيك الجديد): مركب يجمع بين مرونة المطاط وقوة المعدن، وتجري اليوم أبحاث واختبارات حوله، فإذا ما ثبت نجاحه فإنه سيغير آلاف المنتجات جذرياً.
- بطاريات جديدة من البلاستيك تعتمد على مادة Polystyrene، ويتوقع استخدامها لتولد الطاقة في أي شيء ابتداء من السيارة حتى الهاتف الخلوي.
- في صناعة المعالجات وتغليفها وصناعة الترانزستور البلاستيكي المرن والقابل للشد.
- لدائن ناقلة للكهرباء، تتكون من أجزاء كيمياوية صغيرة الحجم تمتلك نواة ناقلة للكهرباء وطرفيتين.
- تخفيف وزن وسائط النقل باستخدام أنواع جديدة من البلاستيك المقوى بألياف زجاجية.

الصنف الأخير من المواد الهندسية هي المواد المركبة، وهو اصطلاح يطلق على المواد التي تنتج من صنفين أو ثلاث من المواد الهندسية المذكورة، تصنف المواد المركبة إلى النوع الدقائقي والألياف والصفائح. أحد المواد المركبة يكون المادة الأساس الذي يعمل على تماسك المادة الأخرى. تمتاز المواد المركبة بخواص لا يمكن الحصول عليها من صنف واحد من المواد الهندسية وتمتاز بمقاومة ومرونة عاليتين مع خفة وزن، من الأمثلة على المواد المركبة الخرسانة المسلحة ومواد التجليخ، وغيرها.

أسئلة الفصل الثالث

1. أملأ الفراغات الآتية بما يناسبها:
   - أ- تشمل علوم المواد الهندسية إيجاد العلاقة بين .....و..... .
   - ب- تصنف جميع المواد الهندسية إلى أربعة أصناف رئيسة هي.....
     و.....و.....و..... .
   - ت- تقسم المواد المعدنية إلى.....و..... .
   - ث- تصنف السبائك الحديدية إلى.....و..... .
   - ج- من نواتج الفرن العالي .....و.....و..... .
   - ح- تسمى سبائك الحديد التي تحوي على نسبة كربون أقل من 2% بـ.....، في حين تسمى السبائك التي تحوي على نسبة أعلى من ذلك بـ..... .
   - خ- أهم المجاميع الرئيسة لسبائك الفولاذ هي .....
     و.....و.....و..... .
   - د- يمكن أن تصنف سبائك الألمُنيوم إلى صنفين رئيسين هما.....و..... .
   - ذ- أهم عناصر السبك للمغنسيوم هي .....و.....و.....و.....وهذه العناصر تساعد في تحسين الخواص الميكانيكية للمغنسيوم نتيجة ..... .
   - ر- سبيكة البراص عبارة عن سبيكة من .....و..... الذي تصل نسبته لحد..... .
2. ما هي المعايير التي يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار عند اختيار مادة هندسية معينة.
3. بين أهم الخواص العامة للمعادن التي لها الأثر في زيادة الأهمية التكنولوجية والتجارية لها.
4. عرف السبائك واذكر أصنافها.
5. عرف مخططات الأطوار.
6. اذكر أهم الخواص العامة للحديد، وما هي أهم خاماته.
7. ما هو الفرن العالي، وبماذا يستخدم وتحت أي مبدأ يعمل، أذكر اجزائه وأهم التفاعلات التي تحدث داخله داعماً إجابتك بالمعادلات الكيميائية.
8. ما المقصود بالفولاذ السبائكي، أذكر أهم عناصر السبك فيها وتأثير كل من هذه العناصر.
9. عرف حديد الزهر، وما هي أنواعه واستخداماته وكيف يتم استخلاصه، وضحها واذكر أهم خواصه واستخداماته.
10. كيف يوجد الألمُنيوم في الطبيعة، وكيف يتم استخلاصه، إشرح عملية استخلاصه، ما هي أهم خواصه واستخداماته؟
11. أذكر أهم المعادن التي تضاف كعناصر سبك للألمُنيوم مع إيضاح نسبة الإضافة وتأثير كل عنصر.
12. كيف يوجد النحاس في الطبيعة، وكيف يتم استخلاصه، بين ذلك داعماً إجابتك بالمعادلات الكيميائية.
13. ماهي أهم خواص النحاس المرغوبة وغي المرغوبة، ما هي أهم استخداماته؟
14. ما هي سبائك البرونز؟ أذكر أنواعها واستخداماتها.
15. كيف يوجد القصدير في الطبيعة، وكيف يتم استخلاصه، إشرح عملية استخلاصه، ما هي أهم خواصه واستخداماته؟.
16. كيف يتم استخلاص الخارصين؟ أذكر أهم خواصه.
17. مالمقصود بالمعادن الثمينة؟ أذكر أهم خواصها واستخداماتها.
18. ما هي أهم المواد غير المعدنية؟ أذكر خواص كل مجموعة واستخداماتها.

الفصل الرابع
تصنيف طرائق التصنيع



الأهداف العامة

بعد الانتهاء من هذا الفصل سيكون الطالب قادرا على:-

1. معرفة تصنيف العمليات الهندسية.
2. يفهم العمليات الإجرائية وأصنافها ومفهوم كل منها وعملياته.
3. معرفة عملية السباكة ومميزاتها ومحددات ومساوئ وطرائق هذه العملية.
4. معرفة السباكة بالقوالب المستهلكة وأنواعها.
5. يفهم السباكة بالقوالب الرملية وآلية العمل بها والقوالب المستخدمة.
6. معرفة عملية السباكة بالقوالب الدائمية المعدنية، ومزاياها ومساوئها وطرائق هذا النوع من أنواع السباكة.
7. يفهم تكنولوجيا مساحيق المعادن ومميزاتها ومحدداتها، وأشكال المساحيق وخطوات التصنيع بهذه الطريقة.

تصنيف طرائق التصنيع
Manufacturing Processes Classification

1-4 مقدمة Introduction

مصطلح التصنيع Manufacturing مشتق من كلمتين لاتينية تعني ***manus*** اليد وكلمة أخرى ***factus*** وتعني صنع، وبجمع الكلمتين يكون المعنى صنع باليد Made by Hand، وهذا المعنى استخدم لقرون طويلة ولكنه تغير في الوقت الحاضر، إذ أن معظم طرائق التصنيع الحديثة تنجز آلياً وبمساعدة مكائن وأجهزة مسيطر عليها بالحواسيب المتقدمة.

يمكن تعريف التصنيع من وجهتي نظر تكنولوجية واقتصادية، فمن الوجهة التكنولوجية فإن التصنيع يعرف على أنه الإجراءات الفيزيائية أو الكيميائية لتغيير الشكل، الخواص، والمظهر لقطعة عمل أولية لصنع منتج معين شاملاً في بعض الأحيان إجراءات التجميع أو الربط، ولغرض إنجاز ذلك يتحتم استعمال مجموعة من الأدوات والمكائن والطاقة والعمالة، وتكون العملية عبارة عن مجموعة من الفعاليات المتعاقبة وفي كل مرحلة من المراحل يتم التقرب والوصول إلى المنتج المطلوب. أما مفهوم كلمة التصنيع من وجهة نظر اقتصادية فتعني تحويل مادةٍ ما بقيمة سعرية معينة إلى منتج معين بقيمة أعلى. طرائق التصنيع متعددة ومختلفة، يعتمد اختيار الطريقة المناسبة على عوامل عدة من أهمها:

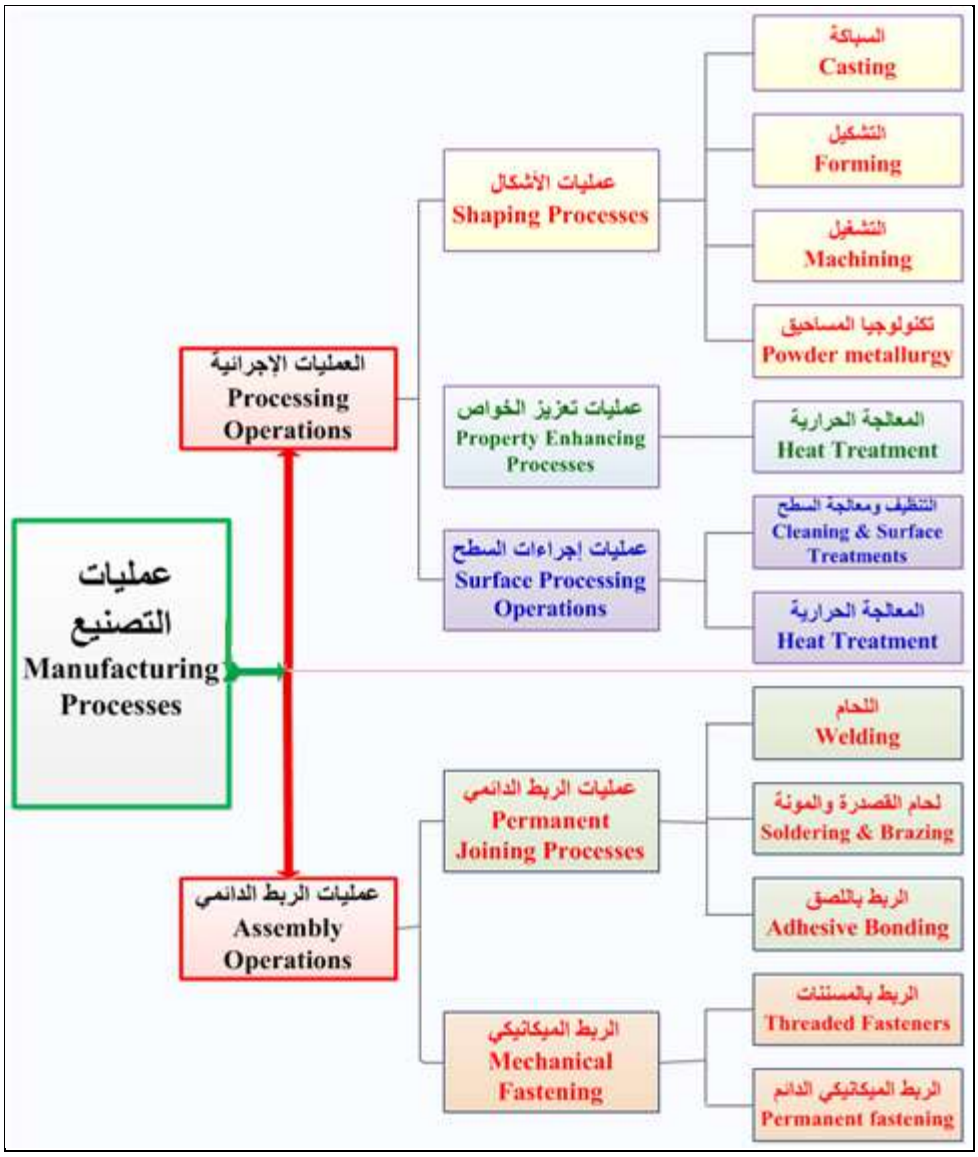
- **نوعية مادة قطعة العمل الأولية.**
- **نوعية المنتج النهائي من ناحية الحجم، الشكل، الخواص، وغيرها.**
- **نوعية الطاقة المتوفرة.**
- **الكميات الإنتاجية.**
- **توفر التكنولوجيا.**
- **توفر الأيدي العاملة الماهرة.**
- **الكلفة الاقتصادية.**
- **ديمومة الإنتاج.**

بالإضافة إلى عوامل ثانوية أخرى لا يسع المجال لذكرها جميعاً. والمنتجات الصناعية يمكن تقسيمها إلى قسمين رئيسين، السلع أو البضائع الاستهلاكية Consumer Goods والسلع الرئيسة (السلع الرأسمالية) Capital Goods، النوعية الأولى يكون التجهيز مباشر للمستهلكين مثل السيارات والحواسيب وغيرها من البضائع، أما النوعية الثانية فتكون البضائع مجهزة للشركات أو المصانع مثل المكائن الصناعية والطائرات والقاطرات مُعدات البناء وغيرها.

2-4 تصنيف العمليات التصنيعية

Manufacturing Processes Classification

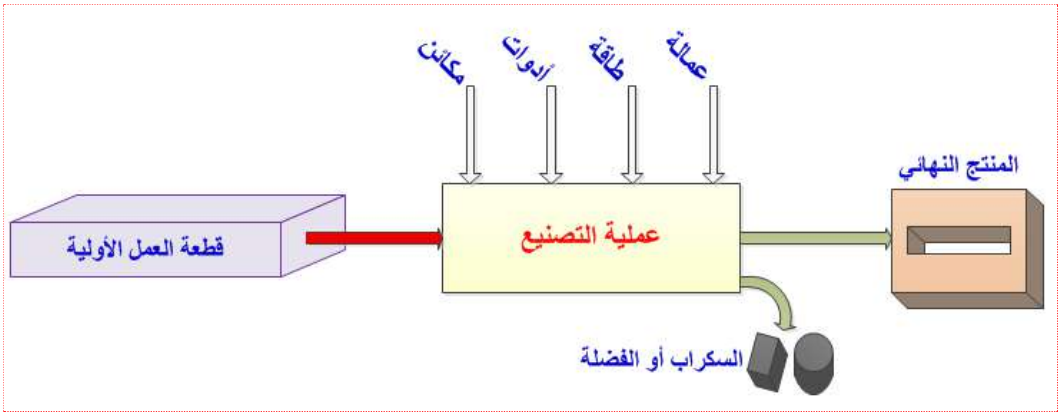
العمليات التصنيعية يمكن تقسيمها إلى نوعين رئيسين هما: (1) العمليات الإجرائية Processing Operations (2) عمليات التجميع Assembly Operations، العمليات الإجرائية هي جميع الفعاليات التصنيعية لتحويل قطعة العمل إلى المنتج النهائي المرغوب تقريباً، أما عمليات التجميع هو ربط جزئين أو أكثر من أجزاء القطعة المجمعة أو الملحومة. الشكل (4-1) يوضح تصنيف العمليات التصنيعية بكل أنواعها ومصطلحاتها العلمية المعروفة على نطاق العالم. سيتم في هذا الفصل التطرق عن الجزء الأول من العمليات التصنيعية التي تتضمن العمليات الإجرائية وكيفية تصنيف طرائق التصنيع المختلفة التي يطلق عليها مصطلح عمليات الحصول على شكل المنتج المطلوب مع إعطاء فكرة توضيحية عن باقي العمليات الإجرائية.



شكل 4-1 مخطط تصنيف العمليات التصنيعية المعروفة

3-4 العمليات الإجرائية Processing Operations

تستخدم العمليات الإجرائية الطاقة بشتى صورها لتحويل قطعة العمل الأولية إلى شكل آخر أو تعزيز خواص معينة أو مظهر للسطح جديد لإضافة قيمة مادية لمادة العمل. صور الطاقة تشمل الطاقة الميكانيكية، الحرارية، الكهربائية، الكيميائية، والضوئية. تسلط الطاقة بطريقة مسيطر عليها عن طريق المكائن والأدوات والأجهزة، الطاقة البشرية قد تستخدم في بعض الأحيان، ولكن عموماً العمالة توظف لغرض السيطرة على المكائن وتشغيلها وإجراءات الفحص والتفتيش على المواد الأولية والمنتجات على حدٍ سواء. الشكل (2-4) يبين نموذج عام للعمليات الإجرائية من وجهة نظر فنية وليس اقتصادية. الإجراء يستلم قطع العمل الأولية وتسلط الطاقة عن طريق الأدوات أو المكائن لتحويل قطعة العمل إلى المنتج المطلوب النهائي. معظم العمليات التصنيعية تترك مخلفات على شكل سكراب أو فضلة، وهي ناتجة بسبب الحالة الطبيعية للعملية مثل إزالة رايش Chip في عمليات التشغيل أو بسبب العيوب الناتجة من الأخطاء التصنيعية، المهم في عمليات التصنيع هو كيفية تقليل هذه المخلفات بنوعيها. عادةً هنالك الحاجة لإجراء أكثر من عملية تصنيعية لتحويل قطعة العمل إلى منتج نهائي.



شكل 2-4 مخطط عام للعملية الإجرائية

تصنف العمليات الإجرائية بثلاثة أصناف رئيسة وهي: ***عمليات الأشكال وعمليات تعزيز الخواص وعمليات السطح***. الصنف الأخير يعني جميع العمليات التي يمكن إجراءها على سطح قطعة العمل لغرض إظهارها بمظهر جديد ومن هذه العمليات هي:

- **تنظيف الأسطح** التي تتم أما يدوياً أو آلياً وبوسائل عديدة قد تكون ميكانيكية أو كيميائية لإزالة الأتربة والزيوت والشوائب الأخرى.
- **معالجات السطح** التي قد تكون بطرائق ميكانيكية مثل القذف بالرمل أو بطرائق فيزيائية مثل الانتشار لغرض الحصول على نوعية سطح معين، فضلاً على خشونة السطح.
- **إجراءات التغطية** مثل الغلونة أو القصدرة (التغطية بالقصدير لصفائح الفولاذ) أو التغطية بالمواد العضوية مثل الأصباغ أو الطلاء بالمينا وغيرها من العمليات.

مفهوم تعزيز الخواص يعني إكساب قطعة العمل خواص جديدة تختلف عن خواصها الأولية والموضوع يشمل تحسين جميع أنواع الخواص الميكانيكية أو الفيزيائية أو الكيميائية دون تغير شكل قطعة العمل، وأهم إجراءاتها هي **المعالجة الحرارية** Heat Treatment التي تتضمن عملية التخمير Annealing وزيادة المقاومة للمعادن وتصليدها وتلبيد Sintering مساحيق المعادن.

أما عمليات التصنيع للحصول على الأشكال سيتم التطرق إلى كيفية تصنيف طرائقها ومن ثم سيتم تناول طرائق التصنيع بشيء من التفصيل.

4-4 عمليات الشكل Shaping Processes

المقصود بعمليات الشكل هي جميع طرائق التصنيع التي يتم فيها الحصول على الشكل النهائي للمنتج النهائي أو مكونات المنتجات الصناعية المختلفة، معظم عمليات الحصول على الأشكال تسلط بطريقةٍ أو بأخرى على قطع العمل الأولية طاقة حرارية أو طاقة ميكانيكية أو الأثنين معاً، لتغيير شكلها أو أبعادها أو الأثنين معاً. هنالك طرائق عديدة من عمليات الشكل، سيتم تصنيفها في هذه المرحلة الدراسية على أساس حالة قطع العمل الأولية، ولذا ستصنف إلى عمليات الانجماد والتي يتم فيها تسخين قطع العمل إلى حالة السيولة أو شبه السيولة ومن ثم تبرد لإنتاج الشكل المطلوب، الصنف الثاني سيكون عمليات التشوه اللدن والتي تكون قطع العمل الأولية عبارة عن مادة صلبة مطيلية عادةً تكون من المعدن والتي يمكن إجراء التشوهات اللازمة عليها للحصول على الشكل المطلوب، أما الصنف الثالث فيشمل عمليات إزالة جزء من المادة الصلبة قد تكون مطيلية أو قصفة للحصول على الشكل المرغوب، الصنف الأخير عبارة عن عملية تشكيل الدقائق والتي تكون فيها حالة المادة لقطع العمل الأولية عبارة عن مساحيق المواد والتي يتم تشكيلها وتسخينها للشكل المطلوب. الشرح المذكور أعلاه يمثل وصف موجز عن نوعية العمليات التصنيعية التي يمكن تصنيفها وتسميتها كالآتي:

1. السباكة Casting
2. التشكيل Forming
3. التشغيل Machining
4. تكنولوجيا مساحيق المعادن Powder Metallurgy Technology

سيتم شرح الطرائق التصنيعية المذكورة أعلاه من حيث أنواع طرائقها ومميزات كل طريقة ومحدداتها وأهم المواد الملائمة وغير الملائمة لكل طريقة، فضلاً على وصف توضيحي لكل طريقة موضحاً فيها نوعية الطاقة المستخدمة ومقاديرها، ليكون الطالب قادراً على فهم العمليات التصنيعية المختلفة وكيفية اختيار الطريقة المناسبة للحصول على شكل المنتج المطلوب.

من الجدير بالذكر، أن التسلسل المذكور للطرائق التصنيعية الثلاث الأولى تم اختيارها بشكل منطقي بسبب أن المنتج الذي يتطلب إجراء أكثر من طريقة تصنيعية عليه ستكون على سبيل المثال، سباكة قطعة العمل الأولية، ومن ثم تشكيله إلى الشكل القريب للشكل النهائي، وفي المرحلة الأخيرة سيتم إجراء التشغيل عليه مثل عمل الثقوب أو الأسنان أو الأبعاد النهائية للحصول على الشكل النهائي للمنتج المطلوب. في هذا الفصل سيتم تناول عمليات السباكة وتكنولوجيا مساحيق المعادن لوجود تشابه واختلاف بين هاتين الطريقتين في آن واحد ل إجراء مقارنة بينهما وفهمهما بشكل أفضل، أما في الفصل اللاحق فسيتم تناول طرائق التشكيل، في حين سيتناول الفصل السادس موضوع طرائق التشغيل.

5-4 عمليات السباكة Casting Processes

السباكة Casting والمقالبة Molding عمليات تصنيعية مهمة لإنتاج الأشكال المطلوبة، وتكون حالة المادة الأولية الداخلة للعملية التصنيعية عبارة عن منصهر أو عجينية (شبه سائلة) **للمواد المعدنية** في تخصص **السباكة**، ومنصهر أو عجينية **للمواد اللدائنية** و**الفخارية** وخصوصاً **الزجاجية** في تخصص **المقالبة**، علماً أن خاصية المادة للحالة العجينية تكون بلدونة عالية جداً.

عملية السباكة عبارة عن صهر المعدن أو السبيكة المعدنية بأفران خاصة وصب المنصهر بقوالب مُعدة لهذا الغرض ويجري المنصهر داخل تجويف القالب بوساطة الجاذبية الأرضية أو بتسليط قوى معينة ومن ثم يترك المنصهر ليتجمد داخل تجويف القالب لإخذ شكل ذلك التجويف. مصطلح المسبوكة Casting يطلق على المنتج النهائي لهذه الطريقة. تُعد السباكة أحدى أقدم العمليات التصنيعية وتؤرخ إلى أكثر من 6000 سنة. مبدأ عملية السباكة يُعد للوهلة الأولى بسيطاً وهو عبارة عن ثلاث مراحل رئيسة:

- **صهر المعدن**
- **صب المنصهر داخل تجويف القالب**
- **ترك المنصهر داخل القالب لحين الانجماد ليأخذ شكل تجويفه**

هنالك عوامل ومتغيرات كثيرة يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار لإنجاح عملية السباكة والحصول على مسبوكات خالية من العيوب Sound Casting. تصنف عمليات السباكة إلى صنفين رئيسين بحسب ناتج العملية، الصنف الأول هي سباكة المسبوكات الأولية Ingot Casting التي لها علاقة بإنتاج المعادن وسبائكهما من خاماتها أو موادها الأولية، وأن الإشارة إلى المسبوكات الأولية تعني المنتجات غير النهائية والتي ستكون هي المادة الأولية لعملية تصنيعية معينة، غالباً ما تكون المسبوكات الأولية بسيطة من ناحية الشكل، إذ تكون أشكالها عبارة عن مكعبات أو متوازي مستطيلات أو في بعض الأحيان بشكل أسطوانة ويعتمد الشكل على نوعية العملية التصنيعية اللاحقة.

الشكل (4-3) يبين بعض أشكال المسبوكات الأولية والمواد المعدنية المصنعة منها. علماً أن السباكة الأولية ليس لها علاقة في الموضوع الحالي الذي يختص بموضوع العمليات التصنيعية للأشكال Shaping Processes.

شكل 4-3 بعض الأنواع من المسبوكات الأولية

أما الصنف الثاني فهو عمليات السباكة للأشكال Casting of Shapes والمطلوبة بحسب تصميم القطعة (المنتج)، وهذه العمليات تتضمن تصنيع مسبوكات تحوي أشكال معقدة وفي بعضها تكون مصممة إلى الشكل النهائي للقطعة المطلوبة. هنالك طرائق عديدة متوفرة من سباكة الأشكال لتلبي تنوع العمليات التصنيعية المختلفة ولها مميزات يمكن تلخيصها بالآتي:

- قد تستخدم السباكة لتصنيع مسبوكات معقدة الأشكال من ناحية المظهر الخارجي أو حتى التفاصيل الداخلية للمسبوكة.
- بعض عمليات السباكة لها إمكانية تصنيع مسبوكة لحد الشكل النهائي وبأبعاد نهائية دون الحاجة إلى عمليات تصنيعية ثانوية لاحقة، مثل التصنيع الكمي لرؤوس بطاريات السيارات، وعمليات سباكة أخرى يتم فيها تصنيع قطع للشكل القريب من الشكل النهائي وتحتاج إلى عمليات بسيطة لاحقة مثل عمليات تشغيل كالتثقيب والتهذيب لإكمال الشكل والأبعاد النهائية الصحيحة.
- إمكانية السباكة بتصنيع قطع بأحجام كبيرة جداً تزن أكثر من 100 طن، لا يمكن تصنيعها بطرائق أخرى.
- إمكانية التصنيع بالسباكة لأي معدن يمكن تسخينه وصهره.
- بعض طرائق السباكة لها إمكانية الإنتاج الكمي المسيطر آلياً.

بالرغم من المميزات المهمة والمذكورة آنفاً، هنالك محددات أو مساوئ لها علاقة ببعض طرائق عمليات السباكة وتتضمن الآتي:

- محددات في الخواص الميكانيكية، مثل مقاومة ميكانيكية ضعيفة نوعاً ما.
- المسامية التي تصاحب المنتجات المسبوكة.
- عدم الدقة بالأبعاد للأشكال المطلوبة.
- نوعية سطح غير مرغوبة.
- والمشكلة الأهم هي مخاطر عمليات السباكة التي يتعرض لها العاملين والتأثير السيء على البيئة.

المسبوكات بصورة عامة يمكن أن تتراوح بأحجامها ما بين الحجم الصغير جداً ووزنه لا يتجاوز عدد من الغرامات مثل سباكة الأسنان الصناعية وبعض أنواع الحلي والمجوهرات، إلى مسبوكات كبيرة جداً تزن أكثر من 100 طن كما سبق ذكره مثل سباكة مراوح السفن والناقلات الكبيرة. تتنوع المنتجات المصنوعة بالسباكة بتنوع كبير ويمكن تصنيعها من مواد معدنية حديدية وأخرى غير حديدية، وتشمل المسبوكات المهمة الآتية:

- الحلي والمجوهرات وتوج الأسنان الصناعية.
- أجراس الكنائس التي تصنع من البرونز.
- أسطوانة محركات المركبات ورأسها، وبعض قطع الغيار ومكونات وسائط النقل المختلفة.
- هياكل المكائن.
- عجلات القاطرات.
- الأنابيب وملحقاتها.
- أغلفة المحركات الكهربائية والمضخات.
- مراوح السفن والناقلات وغيرها.

1-5-4 أنواع عمليات السباكة Casting Processes Categories

يمكن تقسيم عمليات السباكة للأشكال إلى نوعين رئيسين بحسب نوعية قالب السباكة:

1. **القوالب المستهلكة**
2. **القوالب الدائمية**

ولكل نوع من النوعين المذكورين طرائق عديدة مثل السباكة الرملية، السباكة الدقيقة، السباكة القشرية، السباكة بالشمع المفقود، السباكة بالطرد المركزي، السباكة بالقوالب المعدنية، السباكة بالضغط، السباكة بالقوالب شبه الدائمية. كل طريقة من طرائق السباكة المذكورة لها مميزاتها ومحدداتها الخاصة بها، فضلاً على أن لكل طريقة مزايا تؤهلها لسباكة مادة معدنية معينة أو لها إجراءات لمهام خاصة، علماً أن سباكة قطعة معدنية معينة بطرائق مختلفة ستكوَن نواتج مسبوكات مختلفة كلٍ بحسب طريقة السباكة التي تمت بها ولها خواص متباينة فما بينها.

1-1-5-4 السباكة بالقوالب المستهلكة Expendable Mold Casting

مفهوم عمليات السباكة بالقوالب المستهلكة تعني أن كل قوالب السباكة المستعملة سيتم التضحية بها (إتلافها) لغرض إخراج المسبوكات منها، أي بعبارة أخرى أن لكل عملية سباكة يتطلب تهيئة وتشكيل قالب جديد، لذا أن التصنيع الكمي للسباكة بالقوالب المستهلكة يصبح محدوداً نوعاً ما بسبب الوقت المستغرق لتهيئة قالب جديد لكل مسبوكة. تتضمن طرائق السباكة بالقوالب المفقودة عدة أنواع من أهما:

- السباكة الرملية Sand Casting
- السباكة القشرية Shell Casting
- السباكة بالرغوة المفقودة أو تسمى السباكة بقوالب البولسترين Lost Foam Casting
- السباكة بالشمع المفقود أو تسمى السباكة الدقيقة Investment Casting
- السباكة بالقوالب الجبسية Plaster-Mold Casting

في هذه المرحلة الدراسية سوف يتم شرح تفاصيل النوع الأول فقط من طرائق السباكة بالقوالب المستهلكة وهي السباكة الرملية كونها الأكثر شيوعاً من باقي طرائق المجموعة، علماً أن الطرائق الأخرى تمت الإشارة إليها آنفاً لغرض تنويه الطالب ومعرفته بها.

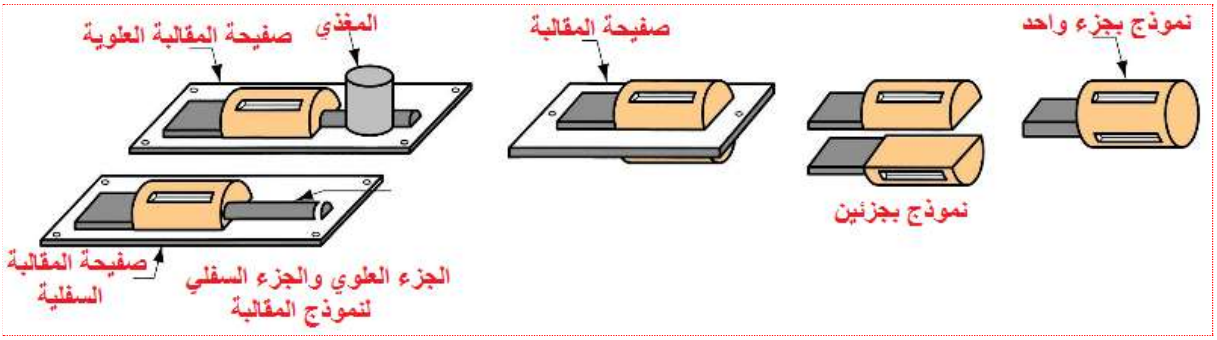
1-1-1-5-4 السباكة الرملية Sand Casting

تكتسب السباكة الرملية اسمها من حقيقة كون الرمل هو المادة الأساسية للمقالبة. وتُعد السباكة الرملية من أكثر الطرائق المستخدمة من حيث الكميات المنتجة وأوزانها، جميع المعادن وسبائكها تقريباً يمكن سباكتها بهذه الطريقة وحتى المواد المعدنية ذوات درجات الحرارة المرتفعة نسبياً مثل سبائك الفولاذ والنيكل والتيتانيوم، فضلاً على سباكة المعادن ذات درجات الانصهار الواطئة مثل سبائك الألمُنيوم والمغنسيوم. إجراءات عملية السباكة الرملية تتضمن صهر المعدن بأفران خاصة ومن ثم صبه بالقالب الرملي الذي يحوي على تجويف بشكل معين يشابه الشكل المطلوب للمسبوكة، ويترك المنصهر بالقالب لحين تحوله من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة (الانجماد) Solidification، ومن ثم بعد انجماد المسبوكة يتم إتلاف القالب الرملي بكسره أو تهشيمه لإزالة (رفع) المسبوكة. تؤخذ المسبوكات بعد ذلك لعمليات ثانوية لتنظيفها من الرمل وتهذيبها (رفع الزوائد والمغذيات وما إلى ذلك)، وبعدها يتم فحصها ومعالجتها حرارياً إذا تطلب الأمر تحسين الخواص في بعض الأحيان.

تجويف القالب الرملي يشكَل بوساطة رص Packing رمل المقالبة حول النموذج Pattern، وهو عبارة عن جسم بهيئة مشابهة لشكل المنتج المطلوب سباكته (نسخة منه)، ومن ثم يسحب أو يرفع النموذج من القالب الرملي بوساطة فصل نصفي القالب الرملي عن بعضهما، ومن ثم إعادة دمج نصفي القالب بعد رفع النموذج وسيكون القالب الذي يحوي التجويف المطلوب جاهزاً لصب منصهر المعدن.

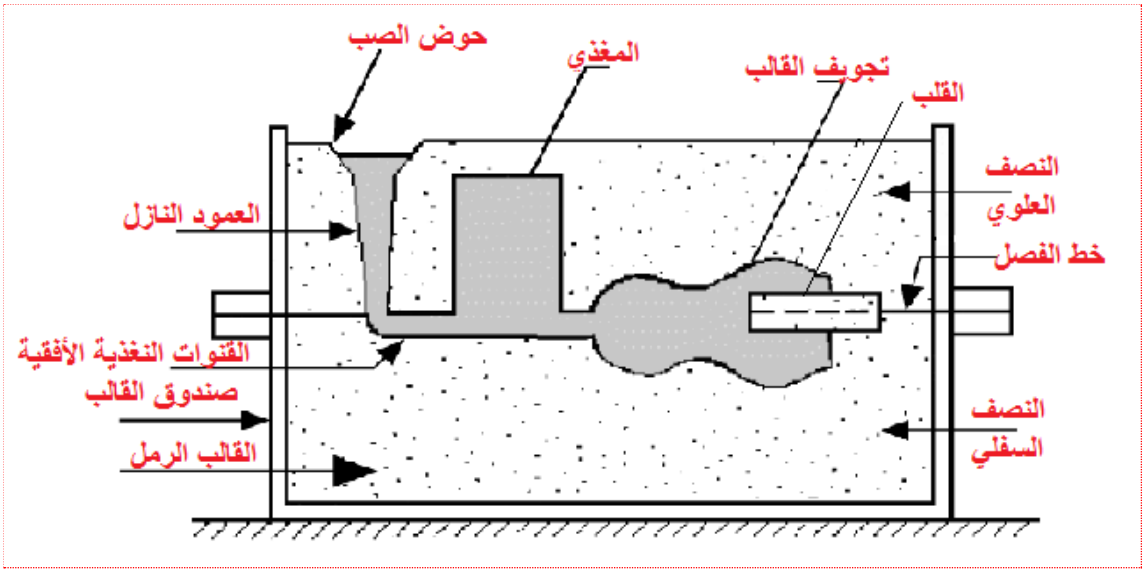
علماً أن القالب الرملي يحتوي على عدة تفاصيل داخلية وهي: مجموعة الصب التي تتكون من حوض الصب والعمود المغذي النازل والقنوات المستعرضة المغذية، المغذيات التي تغذي المسبوكة بالمعدن المنصهر الإضافي نتيجة الانكماش، وكذلك المنفسات التي تسمح بخروج الهواء والغازات وعدم بقاءها محصورةً داخل المسبوكة والتي تسبب بالمسامية الغازية المعروفة، وكذلك يحتوي القالب على التفاصيل الداخلية المطلوبة في المسبوكة النهائية مثل الثقوب وغيرها والتي يمكن تشكيلها عن طريق استخدام اللب (القلب) Core. لحاجة هدم وكسر القالب الرملي لإخراج المسبوكة منه يتطلب الأمر بناء أو تشكيل قالب رملي جديد لكل قطعة منتجة. من خلال الشرح الموجز آنفاً، يلاحظ حاجة تصنيع أو تشكيل نماذج مُعدة لهذا الغرض.

النموذج عبارة عن نسخة مصنعة بنفس شكل وهيئة وأبعاد المسبوكة المطلوبة، ولكن عادةً يكون حجمه أي أبعاده أكبر بقليل نوعاً ما ليلبي متطلبات الانكماش، لكون أن معظم المعادن يصغر حجمها عند انجمادها (الانكماش) Shrinkage وتسمى هذه الزيادة بالأبعاد بسماحات الانكماش، وكذلك ليلبي العمليات الثانوية من عمليات التشغيل لإنتاج الشكل النهائي المطلوب والتي تسمى بسماحات التشغيل. المواد التي تصنع منها النماذج تشمل الأخشاب وتفضل الصلدة، البلاستك، والمعادن، ولو أن الأخشاب هي الأكثر استعمالاً لسهولة تصنيعها ورخص ثمنها نسبياً. هنالك أنواع عدة من النماذج بجزء واحد، أو جزئين، أو عدة أجزاء بالاعتماد على تعقيد الشكل المطلوب إنتاجه. النماذج التي تتكون من جزئين تحتاج إلى تصميم دقيق لتحديد موقع خط الفصل، الشكل (4-4) يوضح أنواع النماذج.



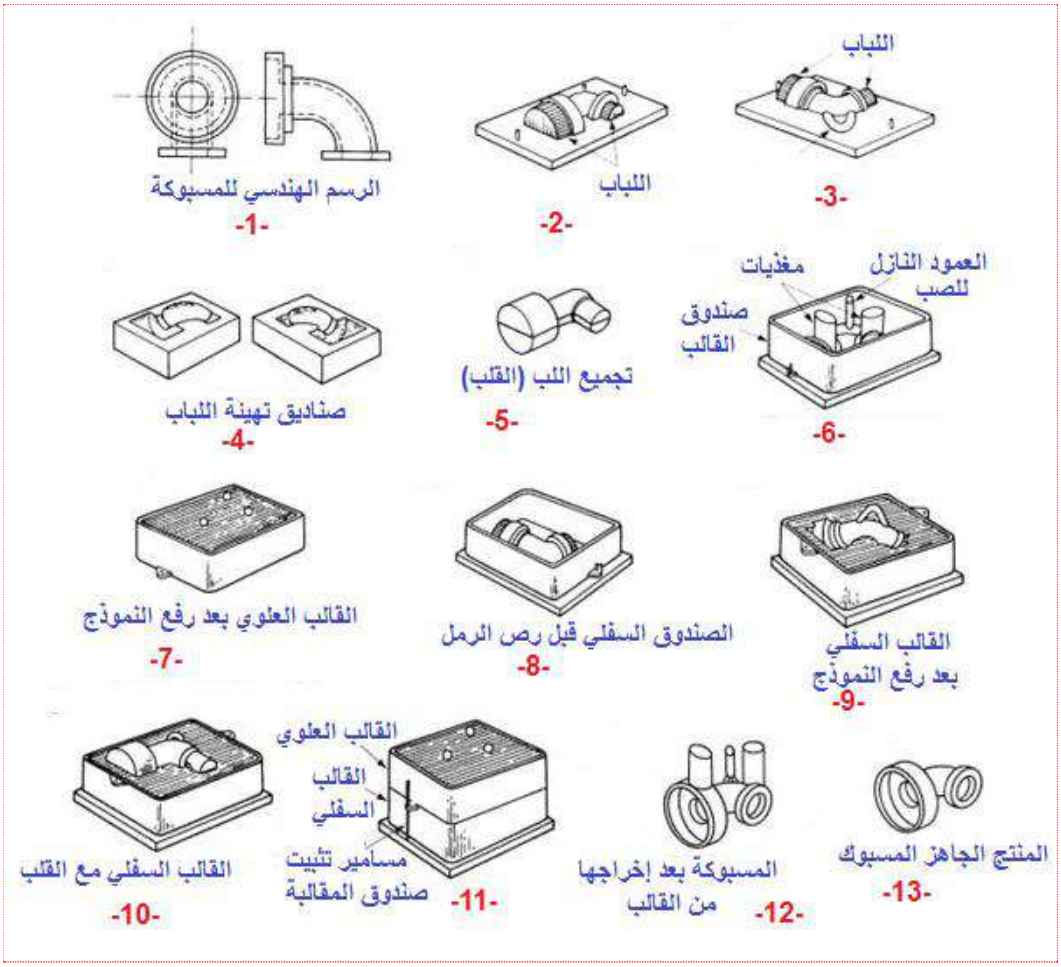
شكل 4-4 نماذج مقالبة بجزء واحد وبجزأين

النماذج تعطي التفاصيل والشكل الخارجي المطلوب، أما اللباب أو القلوب فهي التي تعطي التفاصيل الداخلية المطلوبة للمنتج المسبوك، تصنع أو تشكل اللباب من الرمل عادةً ويكون شكلها وأبعادها بحجم أصغر من التجويف المطلوب للمسبوكة للسماح بالانكماش والتشغيل كما في صناعة النماذج، يثبت اللباب داخل تجويف القالب بمثبتات تصنع من معادن درجات انصهارها أعلى من درجات انصهار معدن المسبوكة. عند إنجاز عملية السباكة وإخراج المسبوكة يكون رمل اللباب محصوراً داخل المسبوكة ويتم إزالته بالتنظيف عن طريق ضخ الهواء أو الماء. الشكل (4-5) يوضح قالب رملي وتفاصيله.



شكل 4-5 تفاصيل القالب الرملي والمصطلحات المستعملة

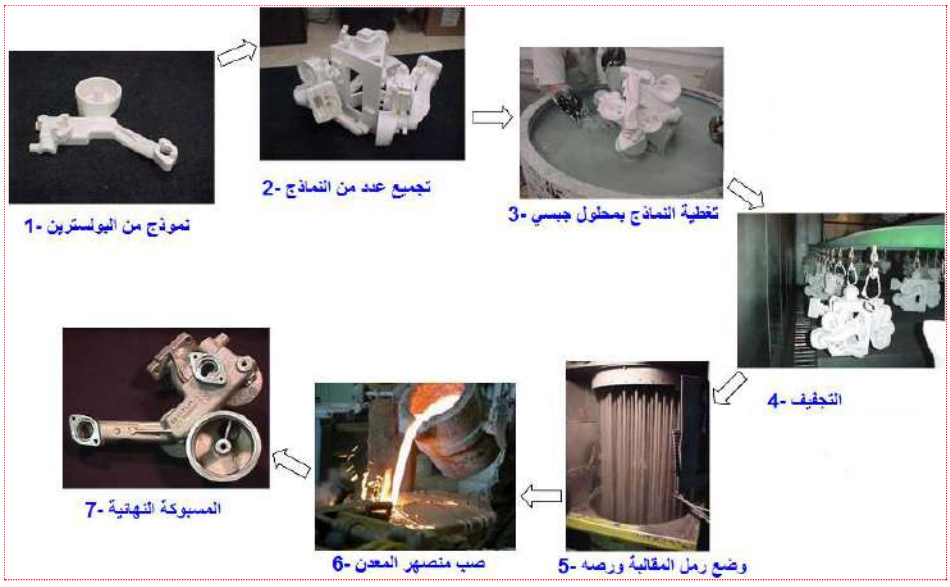
خطوات عملية السباكة من تهيئة القالب الرملي مع النموذج لحين الحصول على المسبوكة موضحة في الشكل (4-6).



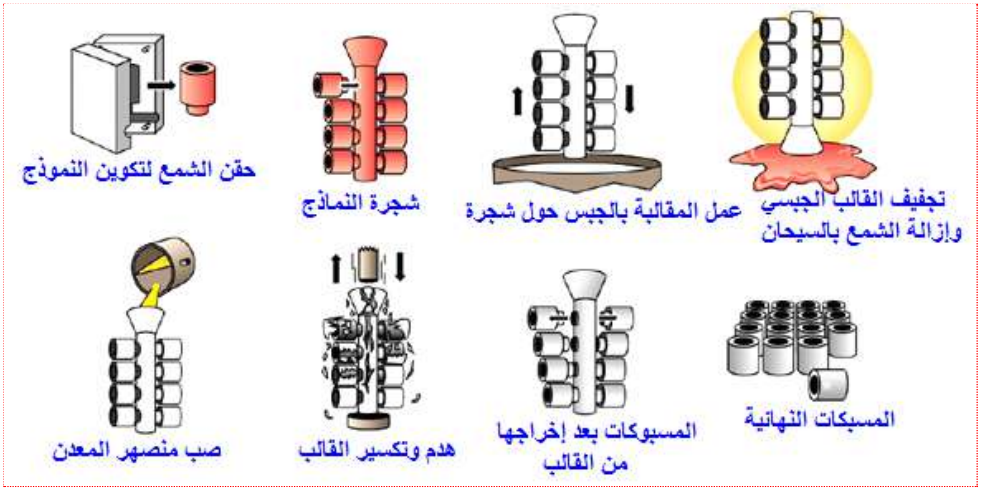
شكل 4-6 خطوات السباكة الرملية

لغرض توضيح طرائق السباكة بالقوالب المستهلكة الأخرى الشكل (4-7) يوضح السباكة القشرية التي تستخدم عادة للمسبوكات التي تحتاج إظهار تفاصيل بدقة متناهية مثل سباكة التماثيل وغيرها. والشكل (4-8) يوضح سباكة الرغوة المفقودة أو التي تسمى سباكة البولسترين المفقود أو تسمى سباكة بالقالب الواحد والتي تستعمل بكثرة في مسبوكات أسطوانة محرك السيارات وغطاء المحرك والتي تمتاز بسهولة عملية السباكة، إذ لا تحتاج هذه الطريقة لسحب النموذج ورفعه قبل الصب ولذا تمتاز بعدم الحاجة لمهارة عالية للعمالة، فضلاً على الإنتاج الكمي السريع. وأخيراً الشكل (4-9) يبين سباكة الشمع المفقود التي تستخدم عادةً للمسبوكات الدقيقة والمعقدة وصغيرة الحجم.

شكل 4-7 السباكة القشرية



شكل 4-8 سباكة بنماذج الرغوة المفقودة (البولستيرين)



شكل 4-9 السباكة الدقيقة بالشمع المفقود

4-5-1-2 السباكة بالقوالب الدائمية Permanent Mold Casting

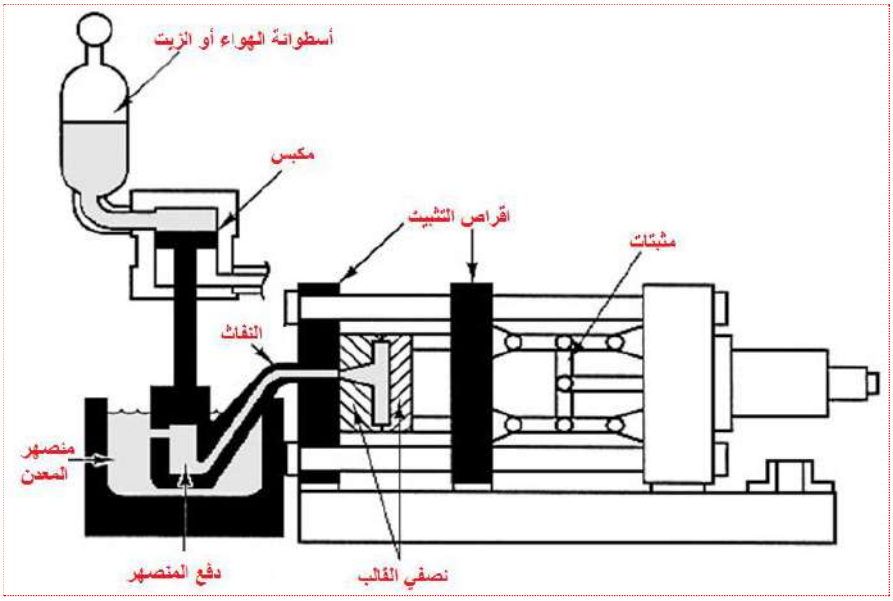
تتميز السباكة بالقوالب الدائمية عن السباكة بالقوالب المستهلكة بإمكانية استخدام القالب ولأكثر من مرة والذي يكون عادةً مصنوع من المعدن. طرائق السباكة بالقوالب الدائمية تتضمن السباكة بالضغط والسباكة بالطرد المركزي.

القالب المعدني يكون من جزئين، ومصمم بحيث تكون عملية صب المنصهر وإخراج المسبوكة عملية يسيرة وسهلة، وفي نفس الوقت دقة بغلق وفتح القالب، تجويف القالب يتضمن مجموعة الصب والمغذيات وجميع التفاصيل المطلوبة، وعادةً يصنع القالب من الفولاذ أو الآهين. المسبوكات المنتجة بهذه الطريقة عادةً تكون مصنوعة من الألمُنيوم، المغنسيوم، سبائك النحاس وغيرها من المعادن. يستعمل مسحوق الكرافيت كمادة مزيتة للقالب لتسهيل عملية إخراج المسبوكة بعد الصب وبنفس الوقت يكون عامل مساعد لمنع الانجماد السريع للمناطق الملامسة لسطح القالب المعدني من الداخل التي يمكن أن تتعرض لها المسبوكة وتسبب عيوب تؤدي إلى فشل العملية. مزايا السباكة بالقالب المعدني تتضمن الآتي:

1. نوعية سطح جيدة مع دقة متناهية بالأبعاد.
2. الحصول على حجم حبيبي ناعم للمسبوكات بسبب الانجماد السريع نسبياً الناتج من الانتقال السريع للحرارة من خلال جدران القالب المعدني، والذي يؤدي إلى تحسين الخواص الميكانيكية.

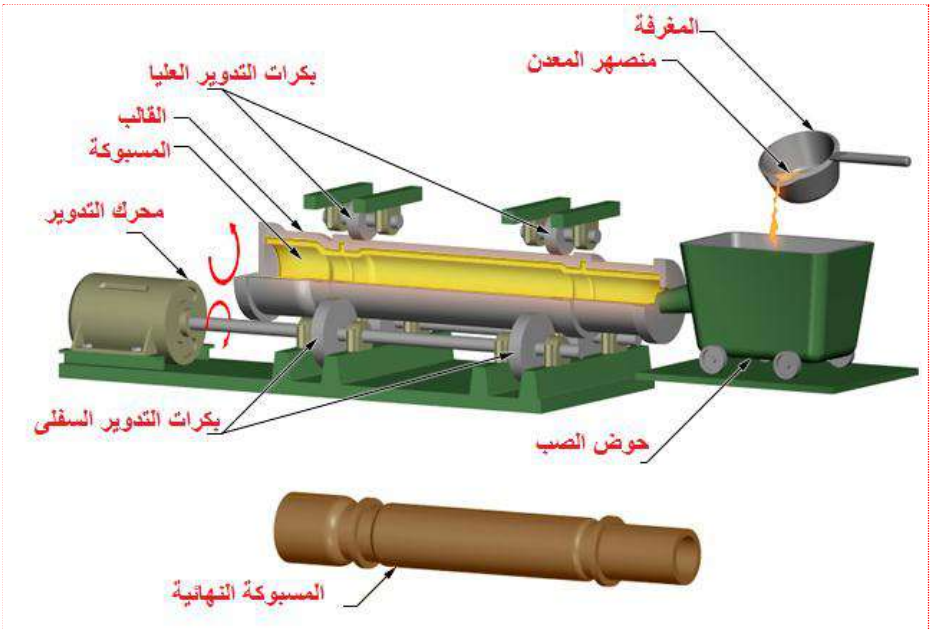
أما محددات السباكة بالقالب المعدني الدائمي هي عدم إمكانية سباكة المعادن ذات درجات الانصهار العالية، ويمكن سباكة الأشكال البسيطة فقط دون الأشكال المعقدة والتي يمكن سباكتها بالقالب الرملي، وهنالك سبب آخر لمحدداتها هو الكلفة العالية للقالب المعدني. لذا تستخدم هذه الطريقة فقط بالإنتاج الكمي السريع الآلي لغرض تقليل كلف المنتجات المسبوكة. وهنالك منتجات متنوعة كثيرة تنتج بهذه الطريقة منها مكابس الأسطوانات، هياكل المضخات، أغطية المحركات وغيرها.

من طرائق السباكة بالقوالب الدائمية المعدنية هي السباكة بالضغط والتي تستعمل بكثرة في إنتاج مسبوكات صغيرة الحجم ولكن عالية الدقة. إذ يحقن منصهر المعدن بين تجويفي القالب المعدني تحت الضغط العالي لغرض إملاء التجويف بشكل كامل وبسرعة عالية ونتيجة الضغط العالي يمكن أن تبرز جميع التفاصيل الخارجية للمسبوكة فضلاً على التفاصيل الداخلية وبدقة متناهية جداً. هنالك نوعين من المكائن، الأولى تسمى مكائن حجرة القالب الساخنة والثانية حجرة القالب الباردة. في الأولى يكون فرن الصهر ملاصق لماكنة السباكة ويعمل المكبس على دفع المنصهر إلى تجويف القالب بضغط واطئ نسبياً بحدود (7-35 MPa) ويستخدم هذا النوع بسباكة المعادن واطئة الانصهار مثل الخارصين، القصدير، الرصاص. أما النوع الثاني فيكون الضغط عالي جداً يصل إلى (140 MPa)، علماً أن القوالب مصنعة من فولاذ العُدد السبائكي الذي يتحمل الضغوط العالية ودرجات الحرارة المرتفعة، ويمكن سباكة المعادن مثل سبائك الألمُنيوم والمغنسيوم والبراص بهذه الطريقة. الشكل (4-10) يوضح عملية السباكة بالضغط.

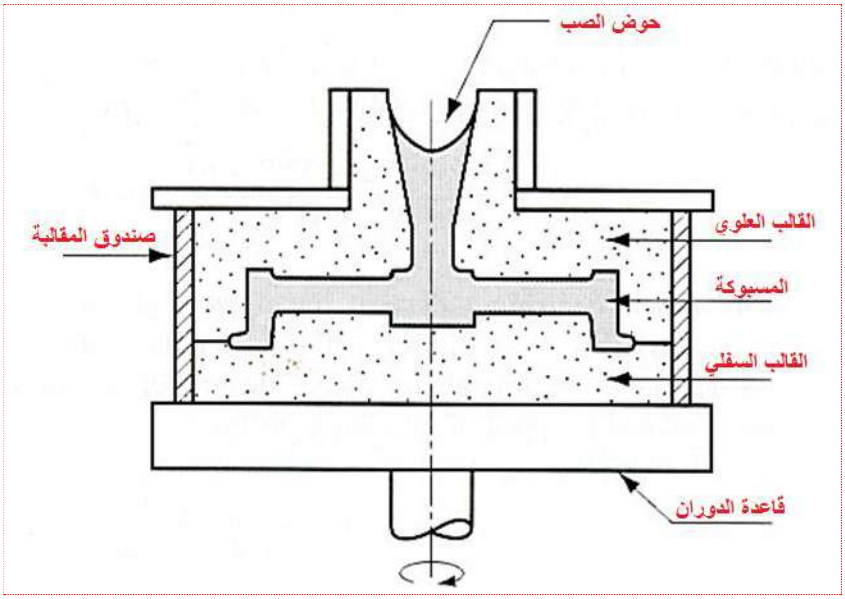


شكل 4-10 مخطط عملية سباكة بالضغط بالحجرة الساخنة

الطريقة الأخرى من طرائق السباكة بالقوالب الدائمية السباكة بالطرد المركزي، والتي يتم فيها تدوير القالب بسرعة عالية عند صب منصهر المعدن لغرض توزيع المعدن على المنطقة الخارجية من القالب والحصول على مسبوكات جيدة. تتضمن السباكة بالطرد المركزي ثلاثة طرائق وهي السباكة بالطرد المركزي الفعلي True Centrifugal Casting والذي يستخدم لإنتاج الأنابيب كما موضح في الشكل (4-11)، والسباكة بالطرد شبه المركزي Semi-Centrifugal Casting والتي تستخدم لإنتاج مسبوكات صلدة وليست مجوفة كما في النوع الأول مثل سباكة العجلات والطارات، وأن القالب المستخدم في هذا النوع يكون من نوع القالب الرملي المثبت على قاعدة تدور، الشكل (4-12) يوضح هذه الطريقة. أما النوع الأخير وهي السباكة بالطرد البعيدة عن المركز Centrifuge Casting ويستخدم للقطع الصغيرة المتناظرة، الشكل (4-13) يوضح بعض المسبوكات المنتجة بطرائق مختلفة.



شكل 4-11 السباكة بالطرد المركزي الفعلية لإنتاج الأنابيب



شكل 4-12 السباكة بالطرد شبه المركزي

شكل 4-13 مسبوكات متنوعة، اليمين مسبوكات من الألمُنيوم بالضغط، الوسط واليسار مسبوكات منتجة بالطرد المركزي

6-4 تكنولوجيا مساحيق المعادن Powder Metallurgy Technology (PM)

عمليات مساحيق المعادن هي أحدى عمليات الشكل عن طريق استخدام مساحيق معدنية معينة والتي يتم فيها ضغط تلك المساحيق بقوالب خاصة فيها تجاويف مشابهة للشكل المطلوب، ومن ثم يتم وضعها بأفران خاصة لغرض تسخينها وتكوين أواصر قوية بين الدقائق لتكوين قطعة مشكلة بحسب الشكل المطلوب وتمتلك خواص ميكانيكية مرغوبة. عملية التسخين لها تسمية خاصة في هذا الموضوع تسمى التلبيد Sintering، تكون درجات الحرارة في عملية التلبيد أقل من درجات انصهار مساحيق تلك المعادن. مميزات تكنولوجيا مساحيق المعادن تتضمن الآتي:

- إمكانية الإنتاج الكمي المستمر الآلي لقطع بأشكال وأبعاد نهائية أو شبه نهائية، وإلغاء أو تقليل الحاجة لعمليات ثانوية.
- تقليل السكراب والفضلات الناتجة من العمليات التصنيعية، تقريباً بحدود 97% من المادة الأولية تتحول إلى منتج مفيد.
- بسبب طبيعة المساحيق، يكون المنتج حاوياً على مسامية مرغوبة لأغراض معينة.
- بعض المعادن لا يمكن تصنيعها بطرائق تصنيعية عديدة، ولكن يمكن تصنيعها بمساحيق المعادن، على سبيل المثال التنكستن.
- صعوبة تسبيك بعض المعادن لأغراض الحصول على خواص معينة، ولكن يمكن جمع عناصر السبائك المطلوبة بهذه الطريقة.
- إمكانية إنتاج قطع بأبعاد دقيقة.

أما محددات الطريقة فتتضمن: 1) الكلفة العالية للأدوات والمعدات، 2) الكلفة العالية لإنتاج المساحيق، 3) صعوبة الخزن وحفظ المساحيق وتأثيرها على الأنسان والبيئة، 4) صعوبة تشكيل القطع معقدة الشكل بسبب عملية الضغط التي تتطلب أشكالاً بسيطة نوعاً ما.

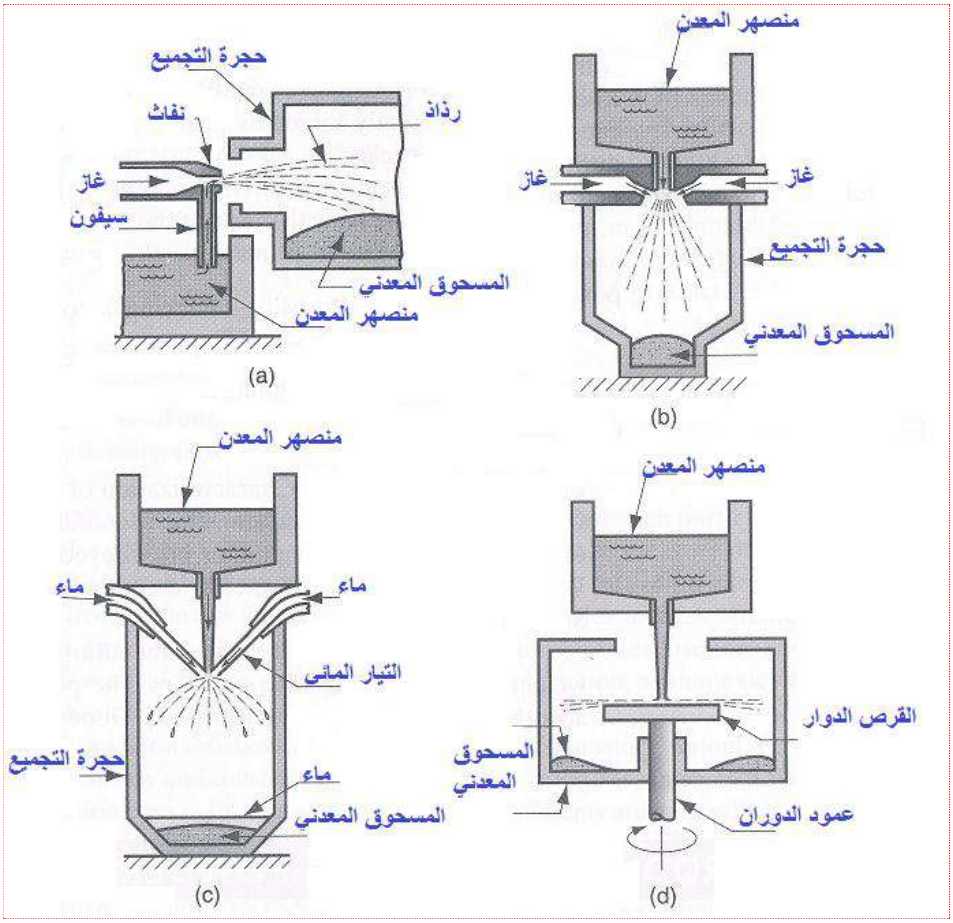
أشكال المساحيق المستخدمة في طريقة التصنيع هذه متنوعة مثل المكعب، الأسطوانة، الكرة، الدائري، الإسفنجي، المسطح، وغيرها، ناهيك عن أن أحجامها أيضاً غير متساوية، ويعتمد اختيار شكل الحبيبة وحجمها على نوع المعدن وحجم المنتج ومقدار الضغط وعوامل أخرى.

خطوات التصنيع بهذه الطريقة تبدء من إنتاج المسحوق المعدني وتنتهي عند الحصول على المنتج النهائي المطلوب بحسب الشكل والأبعاد المطلوبة، وكما يأتي:

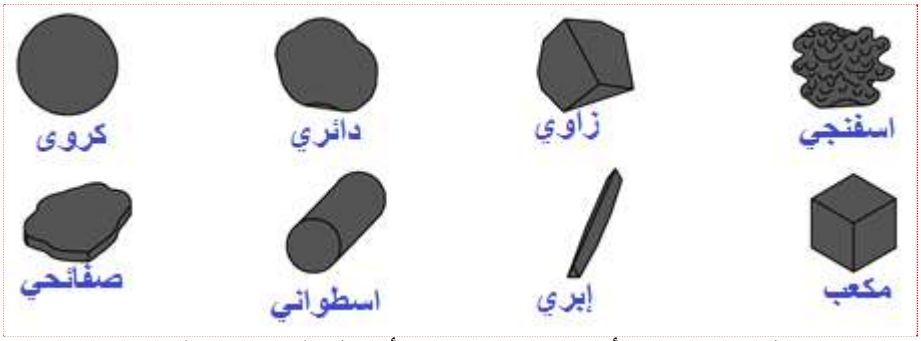
إنتاج المساحيق المعدنية:

الطريقة التي يتم فيها تحويل منصهر المعدن إلى رذاذ من قطرات والتي تتجمد بشكل حبيبات صغيرة تسمى **التذرية Atomization**، وهي الطريقة الحيوية الشائعة المستخدمة بالوقت الحاضر لإنتاج المسحوق المعدني، ويمكن استخدامها لجميع المعادن تقريباً وحتى للسبائك المعدنية.

هنالك طرائق عدة لتكوين الرذاذ من منصهر المعدن موضحة في الشكل (4-14)، أثنان منها تعتمد على التذرية بمساعدة الغاز المسلط بتيار يتحرك بسرعة عالية تجاه المنصهر، والطريقة الثالثة يستخدم تيار من الماء بدلاً من الغاز للتذرية وهي الطريقة الأكثر استخداماً بسبب الحصول على دقائق غير متناظرة من ناحية الشكل والحجم بدلاً من الحصول على كريات منتظمة علماً أن الدقائق غير المنتظمة هي المفضلة بعملية تصنيع الأشكال فضلاً على التبريد السريع، وتستخدم للمعادن ذات درجات انصهار اقل من 1600°C، والمشكلة الوحيدة بهذه الطريقة هي الأكسدة للدقائق المصاحبة لعملية التذرية، لذا بدأ استخدام تيار زيتي بدلاً من الماء لتقليل مشكلة الأكسدة. السيطرة على حجم الدقائق بالطرائق المذكورة تعتمد على سرعة تيار الغاز أو الماء، علماً أنه كلما ازدادت سرعة التيار كلما صغر حجم الدقائق. أما الطريقة الرابعة فتعتمد على مبدأ الطرد المركزي، إذ يتم إسقاط منصهر المعدن على قرص يدور بسرعة ويتم تذرية المعدن نحو جميع الاتجاهات. هنالك طرائق تذرية أخرى غير التي ذكرت منها الطريقة الكيميائية، طريقة الترسيب، وطريقة التحليل الكهربائي، تستخدم في حالات المعادن التي لا يمكن تذريتها بالأسلوب التقليدي، فضلاً على الحاجة إلى مساحيق معدنية عالية الجودة للأغراض الخاصة. الشكل (4-15) يبين بعض أنواع المساحيق المعدنية.



شكل 4-14 طرائق التذرية لإنتاج المساحيق المعدنية، (a) و (b) طريقة التذرية بالغاز (c) التذرية بالماء، (d) التذرية بالطرد المركزي بمساعدة القرص الدوار



شكل 4-15 عدة أنواع نموذجية من أشكال المساحيق المعدنية

المزج والخلط

المزج Blending والخلط Mixing عمليتان مهمتان قبل إجراء عملية الضغط للمساحيق المعدنية، المصطلح الأول المزج يستخدم عندما تكون المساحيق المعدنية من نفس النوع وقد لا تكون بنفس الأحجام، أما المصطلح الآخر فيستخدم للإشارة إلى أن المساحيق المخلوطة هي ليست بنفس النوع كيميائياً، وهي الحالة التي تمتاز بها تكنولوجيا المساحيق المعدنية التي يمكن أن تخلط مواد مختلفة التركيب الكيميائي. عملية المزج أو الخلط تنجزان بطريقة آلية ميكانيكية، تضاف عادةً مواد معينة مع عمليات المزج أو الخلط وهي الزيوت، المواد اللاصقة، ومواد مساعدة لعدم الترسيب وتسهيل عملية حركة المساحيق أثناء الضغط.

الضغط

يسلط ضغط وبمقدارٍ عالٍ على المساحيق المعدنية لغرض إعطاء الشكل النهائي للقطعة المنتجة، إذ يتم ضغط المساحيق بين جزئي القالب وعمود الضغط، تسمى القطعة الناتجة من هذه العملية بالمجموعة الخضراء Green Compact أو القطعة الخضراء وكثافتها أعلى بكثير من قبل عملية العصر والضغط، وحالة القطعة الخضراء تجعلها قابلة للحمل والنقل إلى الخطوة اللاحقة وبسهولة وبدون مشاكل. أساليب الضغط قد تكون ميكانيكية أو هيدروليكية أو مجتمعة والمهم أن تكون عملية الضغط كافية لتصنيع الشكل المطلوب وقد تصل مقادير قوى الضغط إلى 40 طن أو أكثر، وهنالك أساليب أخرى من ناحية أتجاه تسليط القوى بحسب تعقيد الشكل المطلوب، فإذا كانت القطعة بسيطة الشكل يكون الضغط باتجاه واحد، أما إذا كانت معقدة الشكل فقد يكون الضغط بعدة اتجاهات.

التلبيد

القطعة الخضراء ليس لها أي مقاومة أو خواص ميكانيكية جيدة، لذا يتطلب الأمر إجراء عملية التلبيد Sintering، هي وضع القطعة الخضراء في أفران خاصة لتسخينها أو لعمل معالجة حرارية لها لغرض تكوين أواصر معدنية بين حدود الدقائق لتحسين الخواص الميكانيكية للقطعة الخضراء. تتراوح درجات الحرارة العاملة لعملية التلبيد ما بين (0.7-0.9) من درجات انصهار المعادن وبالمقياس المطلق وتؤخذ على أساس أقل درجة انصهار في حالة استخدام أكثر من تركيب كيميائي للمساحيق المعدنية.

تجري عملية التلبيد بالحقيقة بثلاث خطوات، وهي التسخين الأولي، التلبيد، ومن ثم التبريد. في المرحلة الأولى تحترق المواد المزيتة المضافة أثناء عملية الخلط، في الوقت الحاضر تستخدم أفران مفرغة من الهواء لغرض الحماية من الأكسدة وتسهيل عملية خروج أبخرة مواد التزييت والمواد الرابطة الأخرى. تسمى القطعة بعد عملية التلبيد بالقطعة الملبدة Sintering Part.

عمليات ثانوية

هنالك عدد من العمليات الثانوية بعد عملية التلبيد قبل أن تكون القطعة جاهزة للاستخدام، ومن هذه العمليات: التحجيم (تثبيت شكل وحجم القطعة) Sizing، والتي تعمل على إعطاء الشكل النهائي وفي نفس الوقت زيادة كثافة القطعة الملبدة. عمليات التشغيل من تثقيب أو إعطاء بعض التفاصيل في الشكل المطلوب. لطبيعة المساحيق المعدنية وبالرغم من عمليتي الضغط والتلبيد يبقى هنالك مسامية بين دقائق المساحيق ولأغراض خاصة يتم ملئها بمواد معينة مثل الزيوت وغيرها، وعلى سبيل المثال أن القطع المصنعة لتكون محامل Bearings، التروس. في بعض التطبيقات هنالك حاجة للمعالجة الحرارية للقطع الملبدة قبل أن تكون جاهزة للاستعمال.

من الجدير بالذكر أن هنالك تقنيات جديدة بعملية التصنيع بمساحيق المعادن وهي: الانضغاط المتوازن Isostatic Pressing، إذ يستخدم الضغط من جميع الاتجاهات وذلك باستخدام قالب مرن يسلط عليه ضغط هيدروليكي من كافة الاتجاهات لغرض تحقيق ضغط متوازن وخصوصاً للقطع ذات الأشكال المعقدة. وكذلك تقنية جمع عمليتي الانضغاط والتلبيد في آنٍ واحد، إذ يتم تسليط الضغط داخل الأفران، أي تتزامن تسليط قوى الضاغط بارتفاع درجات الحرارة، وكذلك يمكن أن تكون العملية بالانضغاط المتوازن وتسمى بذلك عملية الضغط المتوازن الساخن Hot Isostatic Pressing (HIP)، وتستخدم غازات مثل الهليوم أو الآركون لعملية الانضغاط.

وكذلك هنالك تطبيقات عديدة لا يسع المجال لذكرها في تكنولوجيا المساحيق المعدنية، ولأغراض اقتصادية يعمل على تصنيع قطعة طويلة من شكل معين على سبيل المثال ترس واحد ومن ثم يتم تقسيمه إلى عدد من التروس بحسب سمكه وبنفس الأسلوب يمكن تطبيق الكثير من المنتجات مثل المحامل وغيرها. الشكل (4-16) يوضح بعض منتجات تكنولوجيا المساحيق المعدنية.

شكل 4-16 منتجات تكنولوجيا المساحيق المعدنية، اليمين- محامل، اليسار- تروس

أسئلة الفصل الرابع

1- أملأ الفراغات الآتية بما يناسبها:

أ- يمكن تقسيم العمليات التصنيعية إلى .....و..... .

ب- تصنف العمليات الإجرائية إلى ثلاثة أصناف رئيسة هي .....

و.....و..... .

ت- تصنف عمليات السباكة من حيث ناتج العملية إلى .....و..... .

ث- تصنف عمليات السباكة للأشكال بحسب نوعية قالب السباكة إلى .....و..... .

ج- تتكون مجموعة الصب في عملية السباكة بالقالب الرملي من .....

و.....و.....و..... .

ح- تتضمن السباكة بالقوالب الدائمية نوعين هما .....و..... .

خ- يعتمد اختيار شكل وحجم الحبيبة في تكنولوجيا مساحيق المعادن على.....

و.....و..... .

د- تجري عملية التلبيد في تكنولوجيا مساحيق المعادن بثلاث خطوات هي.....

و.....و..... .

2- أذكر أهم العوامل التي يتم بموجبها اختيار طريقة التصنيع المناسبة.

3- ما هي أهم عمليات السطح.

4- ما المقصود بعمليات الشكل، وكيف يمكن تصنيفها على أساس قطع العمل الأولية؟

5- عرف السباكة، وماهي مراحل هذه العملية؟

6- أذكر أهم مميزات عملية السباكة، وما هي مميزات ومحددات وطرائق هذه العملية؟

7- ما هي عملية السباكة الرملية؟ وما هي المعادن التي يتم سباكتها بها؟ تكلم عن آلية العملية.

8- لماذا يتم عمل النموذج في السباكة الرملية أكبر بقليل من الأبعاد المطلوبة؟ وماذا تسمى هذه الزيادة بالأبعاد؟ أذكر أهم المواد التي تدخل في صناعة النماذج مع بيان الأسباب.

9- أذكر طرائق ومزايا ومحددات السباكة بالقوالب المعدنية الدائمية.

10- عرف تكنولوجيا مساحيق المعادن، وما هي أهم ميزاتها ومحدداتها؟

11- ما هي التذرية؟ وأين تستخدم؟ أذكر طرائقها.

12- تكلم عن المجموعة أو القطعة الخضراء.

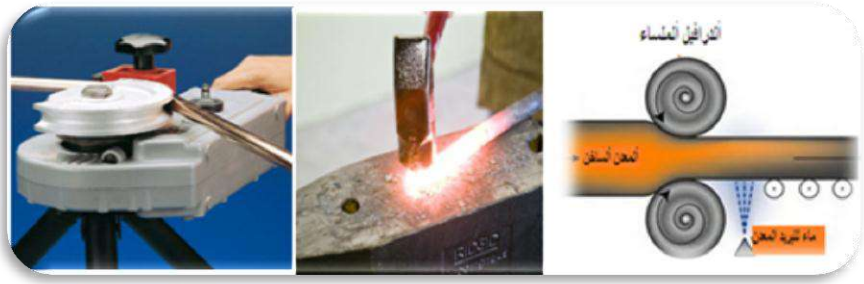
13- أين يتم استخدام كل من طرائق السباكة الآتية:

- ✓ السباكة القشرية.
- ✓ سباكة الرغوة المفقودة.
- ✓ سباكة الشمع المفقود.

14- بين أسباب ما يأتي:

- استخدام قالب معدني من جزئين عند السباكة بالقوالب الدائمية.
- استعمال مسحوق الكرافيت كمادة مزيتة للقوالب عند السباكة بالقوالب الدائمية.

الفصل الخامس
طرائق تشكيل المعادن



الأهداف العامة

بعد الانتهاء من هذا الفصل سيكون الطالب قادرا على:-

1. معرفة أهم عمليات التشكيل.
2. التمييز بين عمليات التشكيل على البارد والتشكيل على الساخن ومميزات وعيوب كلٍ منهما.
3. معرفة عملية الدرفلة وأنواعها.
4. معرفة عمليات سحب المعادن على البارد وعلى الساخن.
5. التمييز بين عملية السحب وعملية البثق.
6. معرفة عملية التشكيل بالحدادة اليدوية.
7. معرفة أنواع الصفائح المعدنية ومزايا وعيوب واستخدامات كلٍ منها.
8. معرفة أعمال القص والقطع وطرائقهما.
9. التمييز بين أهم زوايا القص.
10. معرفة أهم أنواع المقصات اليدوية والآلية واستعمالاتها.
11. معرفة مفهوم عمليات التخريم، ومراحلها ومكائنها.
12. معرفة عملية الثني وأهم الأدوات المستعملة في عمليات الثني وطرائقها.

طرائق تشكيل المعادن
Metal Forming Processes

1-5 مقدمة Introduction

تستعمل عمليات التشكيل للحصول على المنتج النهائي وبالمقاسات المطلوبة وبدقة عالية وتعتمد عمليات التشكيل في الصناعات المعدنية على العديد من العمليات الميكانيكية التي تتعامل مع المعادن وسبائكها بعد عمليات السباكة الأولية التي تم التنويه عليها سابقاً، لإكسابها الأشكال المطلوبة.

2-5 عمليات تشكيل المعادن Metal Forming Processes

المقصود بالتشكيل هو تغير في شكل المعدن وتحويله إلى شكل آخر وبدون إزالة أجزاء من المعدن بشكل رايش. ويحدث التشكيل نتيجة انزلاق المستويات البلورية للمعدن المشكل وحدوث تشويه في البنية البلورية وهذا التشويه يسمى التشويه اللدن لأن المعدن تجاوز حد المرونة ودخل في منطقة اللدونة، وعند زوال القوة المؤثرة عليه لا يرجع المعدن إلى وضعه الأصلي، أي انه تشكل تشكيلاً لدناً. وتتم عمليات التشكيل بطرائق عدة للحصول على المنتج المطلوب وفيها يتم تغيير شكل المعدن بدون إزالة رايش منه، وممكن أن تجرى هذه العمليات على الساخن أو على البارد (بدرجة حرارة الغرفة).

1-2-5 عمليات التشكيل الميكانيكي على الساخن Hot Forming

إذا كانت تجري عملية التشكيل على قطعة المعدن وهي ساخنة تسمى عملية التشكيل بعملية تشكيل المعادن على الساخن، وتكون درجات الحرارة بحدود نصف درجات حرارة الانصهار للمعدن أو أقل أو أكثر بقليل، وتستخدم هذه الطريقة لأنواع الفولاذ الكربوني وبعض السبائك المعدنية الأخرى.

أهم مميزات التشكيل على الساخن:

- تحسين بعض الخواص الفيزيائية.
- التخلص من عيوب المسبوكات الأولية.
- يتم أجراء عمليات التشكيل على الساخن للمعادن التي تحتاج إلى تغيير كبير في الأبعاد.
- تستخدم في عمليات التشكيل التي تتطلب قوى كبيرة.

أهم عيوب التشكيل على الساخن:

- تأكسد السطوح الساخنة بسهولة.
- صعوبة السيطرة على أبعاد ومقاسات المنتج المشكل.

2-2-5 عمليات التشكيل الميكانيكي على البارد Cold Forming

وهي عمليات التشكيل التي تجري في درجة حرارة الغرفة، أو في الحقيقة بدرجات حرارة منخفضة، ومن المعادن والسبائك التي يتم تشكيلها على البارد هي الفولاذ واطئ الكربون, الألمُنيوم وسبائكه, النحاس وسبائكه, وبعض المعادن الأخرى.

أهم مزايا التشكيل على البارد:

- تحسن في بعض الخواص الميكانيكية (الصلادة, مقاومة الشد, ... الخ).
- إنجاز سطحي ومظهر خارجي جيدين.
- يمكن التحكم بصورة دقيقة في الأبعاد والمقاسات.
- يمكن تشكيل الأشكال الدقيقة (ذات الأبعاد الصغيرة).

أهم عيوب التشكيل على البارد:

- تتطلب قوى تشكيل عالية جداً مقارنة بالتشكيل الساخن.
- لا يمكن تشكيل بعض المعادن والسبائك بهذا الأسلوب.

3-5 طرائق تشكيل المعادن Metal Forming Methods

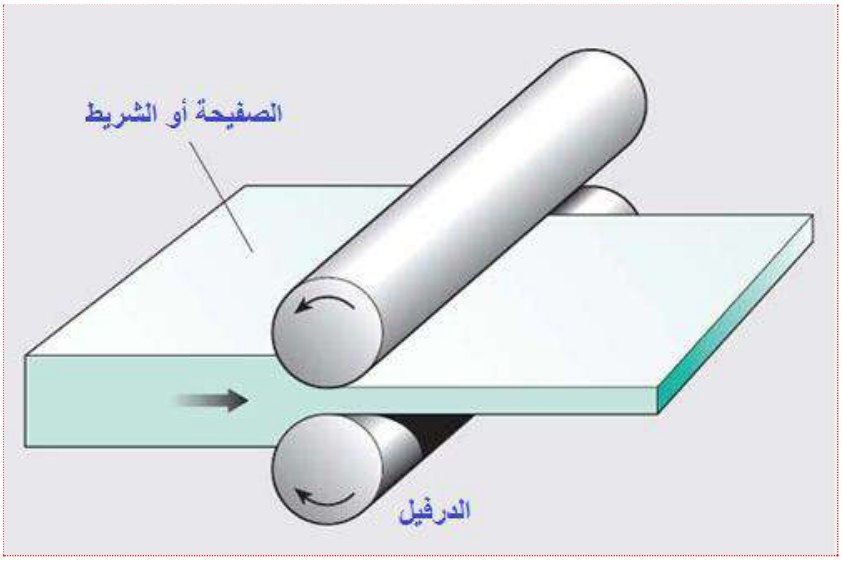
طرائق تشكيل المعادن عديدة وتصنف إلى مجموعتين بحسب المساحة السطحية نسبةً للحجم الكلي، طرائق المجموعة الأولى تسمى التشكيل الكتلي Bulk Forming التي تكون فيها نسبة المساحة السطحية للحجم صغيرة، وتشكيل الصفائح المعدنية Sheet Forming وفيها تكون نسبة المساحة السطحية للحجم كبيرة جداً. تصنع العُدد والمُعدات من قوالب ومكابس والتي يتم فيها عمليات التشكيل من سبائك الفولاذ وفولاذ العُدد والتي تمتلك خواص ميكانيكية عالية جداً في المرحلة الدراسية القادمة سيتم عرض الموضوع مع التحليل الهندسي بشكل مفصل وفي هذه المرحلة سيتم فقط استعراض عمليات التشكيل. تتضمن طرائق التشكيل الكتلي الآتي:

- **الدرفلة Rolling**
- **الحدادة Forging**
- **السحب Drawing**
- **البثق Extrusion**

1-3-5 الدرفلة Rolling

هي إحدى عمليات تشكيل المعادن التي يتم فيها ضغط (عصر) المعدن بين درفيلين يدوران باتجاهين مختلفين أو متشابهين حسب نوع العملية. تُعد عملية الدرفلة من أرخص وأكفأ الطرائق نسبياً والمستخدمة في تقليل مساحة المقطع لقطعة العمل المطلوب تشكيلها بحيث يتم الحصول على سمك منتظم على طول المنتج المطلوب. أن التأثير الأساسي للدرفلة هو تقليص السمك وبما إن الحجم يبقى ثابتاً بعد التشكيل، لذا ستصبح هنالك زيادة في طول المنتج على حساب سمكه. تصنف مكائن الدرفلة إلى مجموعتين أساسيتين هما:

أ- المجموعة الأولى: تمثل المكائن التي تنتج الأشكال المستوية مثل الصفائح Plates والألواح Sheets والشرائط Strips، وفيها تكون الدرافيل ذات أسطح أسطوانية خالية من الحزوز وتدور حول محاور متوازية، لاحظ الشكل (5-1).

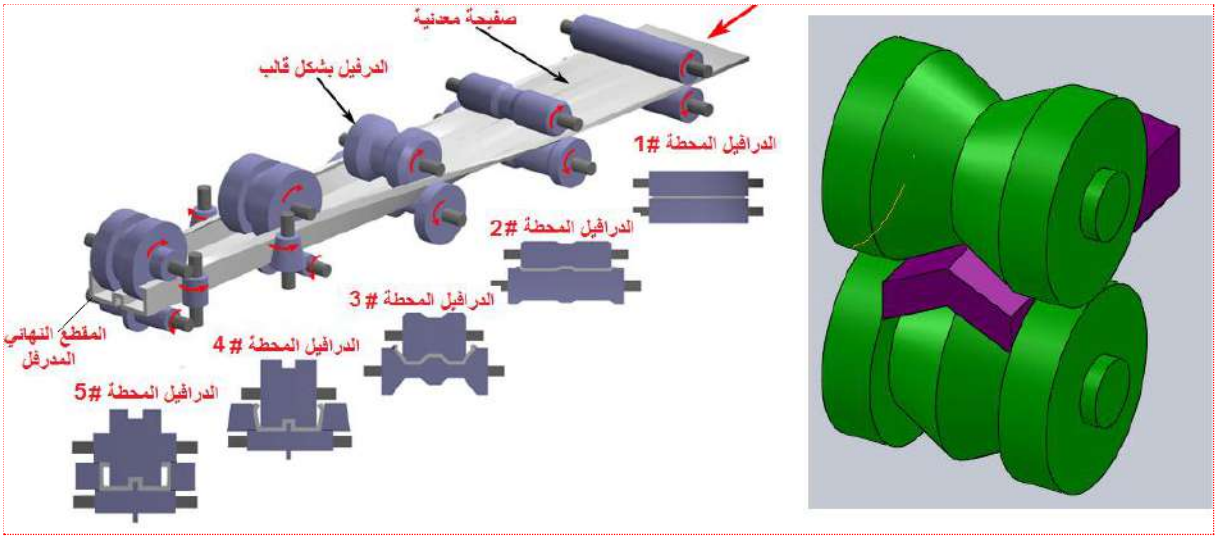


شكل5-1 الدرفلة المسطحة

ب- المجموعة الثانية: وهي المكائن المصممة لإنتاج مقاطع مختلفة الأشكال مثل المقاطع المضلعة والدائرية ومقاطع السكك الحديد وغيرها من الأشكال المعقدة، تزود الدرافيل في هذه المجموعة بأخاديد وحزوز لتعطي الشكل النهائي للمنتج المطلوب، كما هو موضح في الشكل (5-2).

كما في جميع عمليات التشكيل، هنالك نوعان من الدرفلة على البارد والدرفلة على الساخن، ولكل واحدٍ منها تطبيقاتها واستعمالاتها.

ومن الجدير بالذكر أيضاً أن الاستخدام الرئيسي للدرفلة يكون في مواقع معامل إنتاج الفولاذ وسبائكه ومعادن الألمُنيوم والنحاس لكثرة التطبيقات المطلوبة لها.



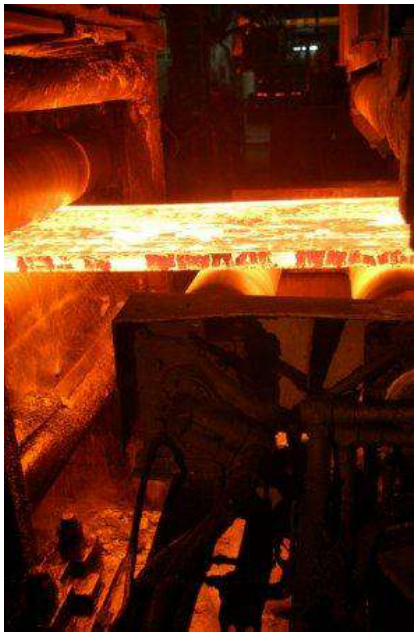
شكل 5-2 الدرافيل المحتوية على حزوز وتفاصيل أخرى لإنتاج المقاطع المختلفة

الدرفلة على الساخن:

في عمليات الدرفلة على الساخن يتم تسخين المعدن إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة إعادة التبلور Recrystallization Temperature قبل تمريره بين الدرافيل، لاحظ الشكل (5-3). هذه العملية (التسخين) تخفض من مقاومة المعدن للتشكيل، وبالتالي تساهم في تقليل القوة المطلوبة لإحداث التشكيل وبالنتيجة إمكانية الحصول مختلف المقاطع والأشكال المطلوبة للمنتجات. في كُلِ مرحلة من مراحل الدرفلة يتم تخفيض السمك بنسبة مئوية صغيرة، لذلك فان عمليات الدرفلة النموذجية تتضمن عدة مراحل متسلسلة، في كُلِ مرحلة يتم تخفيض نسبة من السُمك حتى يتم الحصول على المقطع العرضي النهائي.

ملاحظات:

- عندما يراد درفلة سمك كبير جداً للحصول على سمك صغير جداً، يجب أن تكون العملية بمراحل عديدة، وذلك باستخدام عدد من أجهزة الدرافيل المنتظمة بالتعاقب.
- يجب الحفاظ على درجة حرارة المعدن أثناء الدرفلة المستمرة بحيث يتم تسخين المعدن بعد كل عملية درفلة والا أصبحت عملية التشكيل على البارد.
- عملية الدرفلة أما أن تكون بهدف تغيير الأبعاد أو بهدف تغيير الأشكال أو الأثنين معاً.



شكل 5-3 عملية درفلة على الساخن

2-3-5 الحدادة Forging

تشكيل المعادن بالحدادة له دور رئيسي شأنه في ذلك شأن عمليات التشكيل الأخرى. أن هذه العملية تتضمن بالأساس تسخين قطعة المعدن إلى أن تصبح في حالة لدنة، ومن ثم استعمال الضغط أو الطرق لغرض تشكيلها، بحيث تكون ذات أشكال وأحجام مختلفة، والضغط لا يكون متواصلاً على المعدن وإنما يكون بشكل متقطع في حالة كون العملية تنجز بالضغط. أما إذا كانت العملية تنجز بالطرق فيتم استعمال المطارق اليدوية على اختلاف أنواعها (في الحدادة اليدوية) وتتم عملية طرق المعدن لغاية تشكيله والوصول إلى الشكل النهائي. وتستخدم عملية الطرق اليدوي (التشكيل بالحدادة اليدوية) لإنتاج الأشكال البسيطة وغير الكبيرة نسبياً، وتعتمد كمية الإنتاج على جهد العامل، وتُعد عملية الحدادة عملية صعبة ومجهدة وتحتاج إلى مهارة عالية للعاملين القائمين عليها، الشكل (5-4) يوضح التشكيل بالحدادة اليدوية.

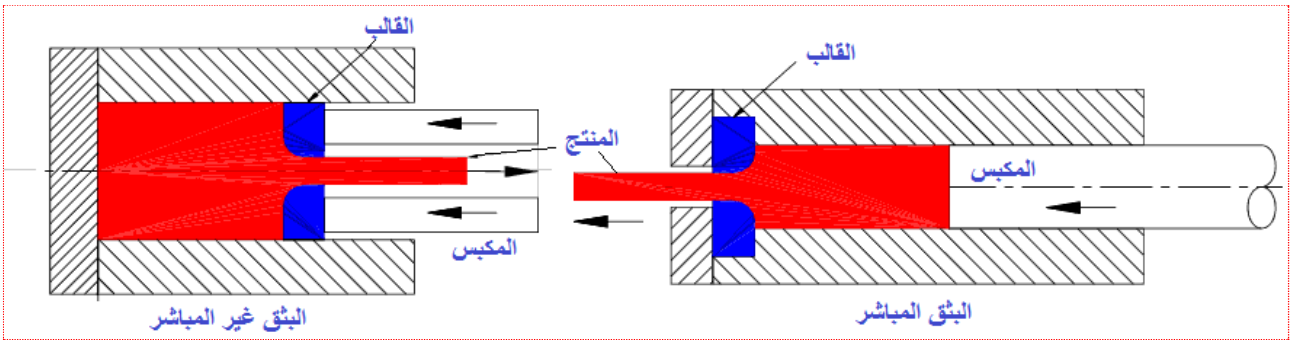
شكل 5-4 خطوات الحدادة اليدوية

وفي الوقت الحاضر، استغنت معظم الورش عن الحدادة اليدوية, واستبدلتها بالمطارق أو المكابس الآلية الميكانيكية أو الهيدروليكية، كما استبدلت الأفران الحديثة بدلاً من الأفران البسيطة القديمة (الكور القديمة) في تسخين المعادن. المهم أن مبادئ وقواعد الحدادة اليدوية لا تزال تستخدم في أساليب التشكيل بالحدادة الميكانيكية الحديثة، علاوة على ذلك أن كثيراً من المنتجات لاتزال تشكل بالحدادة اليدوية في مراحلة التصميم، قبل البدء بالإنتاج المستمر.

من الجدير بالذكر أن في عملية التشكيل بالحدادة طرائق وأساليب عديدة سوف يتم التطرق إليها في المرحلة الدراسية القادمة، وأن في بعض الطرائق تتم عملية التشكيل بالحدادة على البارد وليس على الساخن. كذلك تصنف طرائق الحدادة بالاعتماد على درجة جريان المعدن أثناء العملية داخل تجويف القالب، وعلى هذا الأساس هنالك الحدادة بالقوالب المفتوحة، وتستخدم للمطروقات البسيطة من ناحية الشكل. والحدادة بقوالب الضبعة، التي تستخدم للمطروقات المعقدة الأشكال مثل أذرع المكابس وغيرها. والحدادة بالقوالب المغلقة التي لا تسمح مطلقاً بخروج المعدن من بين فتحتي القالب، لذا يجب حساب حجم قطعة العمل بشكل دقيق قبل إجراء عملية الحداد، وتستخدم لتصنيع المطروقات المختومة مثل العملة النقدية.

5-3-3 البثق Extrusion

البثق إحدى عمليات التشكيل بالضغط التي يتم فيها دفع مادة قطعة العمل الأولية بقوة نحو فتحة القالب لتشكيلها بالمقطع المرغوب، في هذه العملية يتم تسخين كتلة معدنية إلى درجات حرارة عالية داخل حجرة يتحرك فيها مكبس يضغط على الكتلة المعدنية ويجبرها على الخروج من فتحة القالب فينساب المعدن خلال فتحة القالب متخذاً شكل هذه الفتحة، والعملية تشبه عصر علبة معجون الأسنان بحيث يخرج المعجون بشكل فتحة العلبة، تمتاز عملية البثق بالآتي: 1) يمكن الحصول على مقاطع مختلفة الأشكال وخصوصاً مع البثق على الساخن، 2) تتحسن الخواص الميكانيكية مع البثق على البارد، 3) دقة جيدة بالشكل والأبعاد المرغوبة، 4) في بعض تطبيقات البثق، تلفيات أو فضلات (سكراب) المادة الأولية تكون معدومة أو قليلة جداً. ويمكن أن تتم هذه العملية على الساخن أو على البارد، وتستخدم هذه الطريقة في التشكيل لإنتاج الأجزاء والمقاطع المعقدة أو لإنتاج الأنابيب، وغيرها، علماً أن هنالك طريقتين للبثق وهما البثق المباشر والبثق غير المباشر، كما موضح في الشكل (5-5). علماً أن هنالك طريقة ثالثة تسمى بالبثق الصدمي Impact Extrusion والتي تستخدم بكثرة في إنتاج علب المشروبات الغازية، كما موضح في الشكل (5-6).

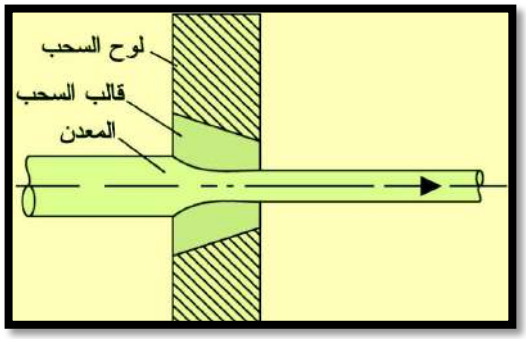


شكل 5-5 يوضح التشكيل بالبثق، اليمين - مباشر، اليسار - غير مباشر

شكل 5-6 عملية البثق الصدمي مع بعض من منتجاتها

4-3-5 سحب الأسلاك والقضبان Wire and Bar Drawing

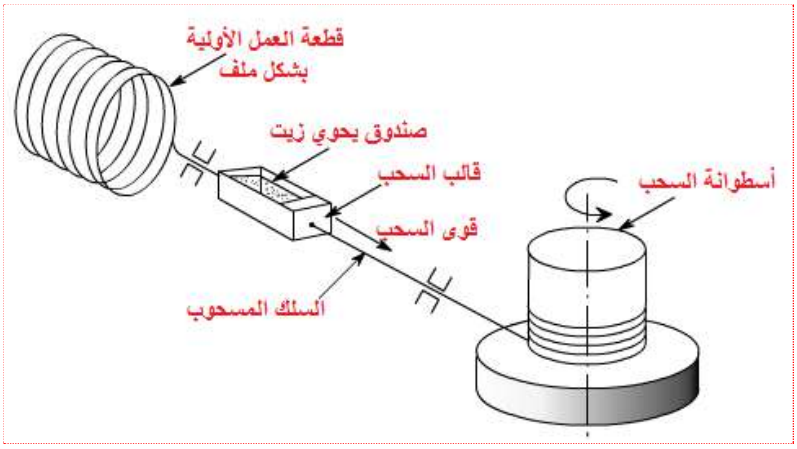
يتم في هذه العملية تشكيل المعدن على البارد بسحبه خلال فتحة ذات قطر أقل من قطر مقطع قطع العمل الأولية، ويطبق هذا الأسلوب على سحب الأسلاك والقضبان والأنابيب رقيقة الجدران، وبعد السحب يتم الحصول على أبعاد مضبوطة وسطح أملس ومقاومة ومتانة جيدة نتيجة تشكيله على البارد، وتصنع قوالب السحب أو عتلة السحب من الفولاذ الكربوني أو الفولاذ السبائكي، الشكل (5-7) يوضح مخطط عملية سحب الأسلاك أو القضبان. ومن الجدير بالذكر أن عملية السحب قد تتكون من مراحل عدة للوصول إلى مساحة المقطع المطلوب وبين هذه المراحل قد يتم خفض نقطة خضوع المعدن وإعادة مطيليته بوساطة المعالجة الحرارية، لأن الاستمرار بعملية السحب قد تؤدي إلى فشل قطعة العمل قبل الانتهاء من عملية التشكيل نتيجة تصليد المعدن بسبب التشكيل، علماً أن هنالك حدود قصوى لنقصان مساحة المقطع في كل مرحلة. وعندما تجري عملية السحب بعدد مراحل تتم العملية بوساطة منضدة خاصة للسحب تسمى منضدة السحب Drawing Bench، في كل مرحلة هنالك متطلبات السحب كاملة من أسطوانة السحب وقالب السحب وهكذا، لاحظ الشكل (5-8).



شكل 5-7 مخطط عملية سحب الأسلاك والقضبان

ما الفرق الرئيس بين عملية البثق وعملية السحب؟

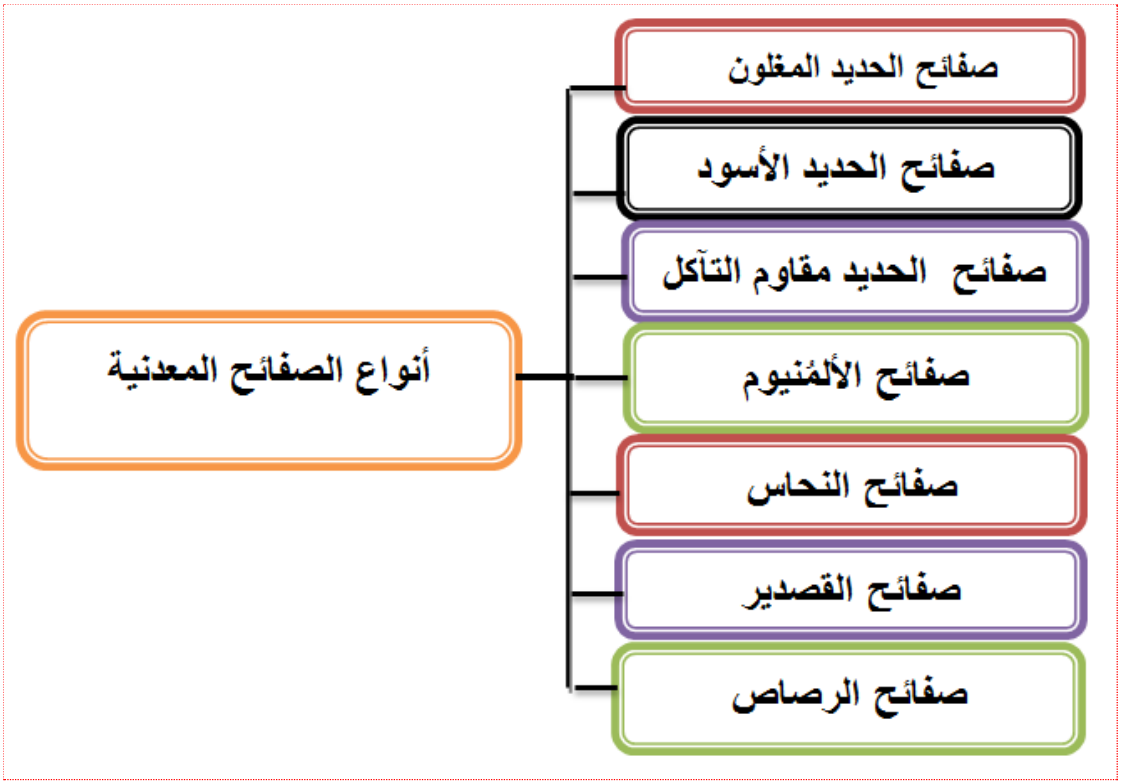
الفرق الرئيس هو في عملية البثق تدفع مادة العمل أما في السحب فإن مادة العمل تسحب.



شكل 5-8 مخطط يوضح مكونات عملية السحب بمرحلة واحدة

4-5 تشكيل الصفائح المعدنية Sheet Metal Forming

تستخدم الصفائح المعدنية بشكل كبير في الصناعة وقد تبدو هذه الصفائح متشابهة مع بعضها البعض، ولكن عند إجراء عمليات الفحص سنجد إن هنالك اختلاف كبير بين صفيحة وأخرى، وهنالك أنواع عديدة من هذه الألواح والصفائح. قبل كل شيء يجب أن يتم التمييز ما بين اللوح Sheet والصفيحة Plate والذي يعتمد على السمك فقط، إذا كان السمك أقل من (6 mm) سميت القطعة لوحة وإذا كان السمك أكبر من هذا الرقم سميت بالصفيحة، وعلى كل حال سيتم استخدام كلمة صفائح في هذا الكتاب للإشارة للأثنين معاً. تصنع الألواح والصفائح عادةً من الفولاذ واطئ الكربون والذي يتراوح نسبة حدود الكربون ما بين (0.06-0.15%) لكونه يمتاز بقابلية تشكيل جيدة مع مقاومة ميكانيكية جيدة أيضاً، فضلاً على الكلفة الواطئة. ومع هذا هنالك صفائح أو ألواح تصنع من معادن أو سبائك أخرى، الشكل (5-9) يوضح أهم أنواع الصفائح المعدنية من ناحية نوع المعدن المصنع منه الصفيحة.



شكل 5-9 أنواع الصفائح المعدنية

المقصود بصفائح الحديد الأسود هي الصفائح المصنوعة من الفولاذ واطئ الكربون جداً وغير المغلون أو المطلي وهذه التسمية تستخدم فقط في العراق وليست تسمية شائعة بباقي دول العالم. كذلك هنالك صفائح معدنية أخرى غير التي ذكرت منها صفائح البراص والخارصين والتيتانيوم ولكن اقتصر الحديث عن الصفائح أعلاه للتطبيقات الشائعة وليست الخاصة. أن لكل من أنواع الصفائح مزايا وعيوب أو محددات واستخدامات خاصة، الجدول (5-1) يوضح مزايا وعيوب هذه الصفائح وأهم استخداماتها.

جدول 5-1 مزايا وعيوب الصفائح شائعة الاستخدام وأهم استخداماتها

نوع الصفائح	الاستعمالات	المزايا	العيوب
الحديد المغلون عبارة عن صفائح من الحديد الأسود المطلية بطبقة من الخارصين لإكسابها مقاومة تآكل جيدة، كما يكسبها منظراً حسناً	يستعمل في معظم صناعات الصفائح المعدنية مثل خزانات المياه ومجاري تكييف الهواء والمداخن.	1- مقاوم للتآكل. 2- رخيص الثمن. 3- سهولة لحامه بلحام القصدرة والمونة. 4- سهل التشكيل.	1. يتعرض للتآكل إذ أزيلت طبقة الطلاء. 2. تصاعد أبخرة عند لحامه
الحديد الأسود هي صفائح مصنعة من فولاذ واطئ الكربون، وهو من أكثر أنواع الصفائح استخداماً في شتى الصناعات، ويتميز بلون سطحه الأسود ويتوفر في الأسواق بأنواع وأحجام مختلفة.	يستعمل في ورش الإنتاج عندما تكون هنالك حاجة للطلاء بعد التشييد.	1- رخيص الثمن. 2- قابل للدهان. 3- قابل للحام. 4- سهل التشكيل.	مقاومة ضعيفة للتآكل
صفائح الفولاذ مقاوم للتآكل يحتوي هذا الفولاذ على نسبة كبيرة من معدن الكروم تجعله لا يتأثر بالعوامل الجوية والكيميائية، ويمكن إجراء جميع أعمال عمليات التشكيل والتشغيل عليه دون إنقاص من خواصه الميكانيكية والتكنولوجية	يستعمل بكثرة في سقوف المطاعم والأجهزة الطبية والأغراض المعمارية	1- صلب وقوي. 2- قابل للحام. 3- ذو مظهر جميل. 4- يدوم لفترات طويلة. يمتلك مقاومة عالية للتآكل	1. غالي الثمن. 2. صعوبة لحامه. 3. صعوبة تشكيله.
صفائح الألمُنيوم ذو مظهر مائل للبياض ولا يحتاج إلى طلاء.	يستعمل في صناعة القواطع الفاصلة والأثاث المعدني وأجزاء الطائرات	1- خفيف الوزن. 2- مقاوم للصدأ والتآكل 3- لا يحتاج إلى طلاء	1- غالية الثمن. 2- صعوبة لحامه. 3- صعوبة تشكيله
صفائح النحاس أنواعه هي: النحاس النقي البراص	المشغولات الزخرفية وأجزاء صناعة أجهزة التكييف والتوصيلات الكهربائية	1- سهل التشكيل. 2- سهل اللحام. 3- مقاوم للتآكل	يتأكسد عند تعرضه للرطوبة، وغالي الثمن.
صفائح القصدير ذات لون رمادي داكن ومظهر أفضل من الحديد المغلون وأسهل منه في التنظيف.	تستعمل في صناعة صفائح البترول وأوعية الأواني المنزلية والمختبرية	1- مقاوم للتآكل بالحوامض. 2- ذات منظر جذاب	غالي الثمن، لذلك لا يستخدم على نطاق واسع.
صفائح الرصاص الرصاص معدن ثقيل جداً	في السقوف وحشوات مانع التسرب في أحواض الغسيل وفي المختبرات للحماية من الإشعاع	قابل للطرق والسحب مقاوم للتآكل	1. غالي الثمن 2. غير عاكس للضوء

الأهمية التجارية لأعمال الصفائح المعدنية تكمن في الطلب المتزايد على الصفائح المعدنية بمختلف أنواعها وقياساتها من قبل المستهلكين والزبائن من أصحاب مصانع وسائط النقل المختلفة ومصانع الأجهزة ومُعدات البناء والأجهزة والأدوات المنزلية والأثاث المعدني وغيرها. تتميز الصفائح المعدنية بالآتي:

- مقاومة ميكانيكية عالية.
- دقة عالية بالأبعاد.
- نوعية سطح جيدة.
- كلفة قليلة نسبياً.

تتضمن أعمال الصفائح المعدنية العديد من العمليات المختلفة وجميعها تقريباً تنجز بدرجة حرارة الغرفة أي أنها تشكل وتقطع على البارد، عدا عندما تكون الصفائح بسمك كبير. ومن أهم أعمال الصفائح المعدنية الآتي:

1. **عمليات القص والقطع**
2. **عمليات الثني**
3. **عمليات سحب الصفائح**
4. **عمليات أخرى**

سيتم التطرق أولاً لعمليات القص والقطع، لأنها أول خطوة من خطوات أعمال الصفائح، إذ لابد من تهيئة الصفيحة من ناحية الأبعاد قبل البدء بعمليات تشكيلها وتصنيعها للأغراض المطلوبة منها.

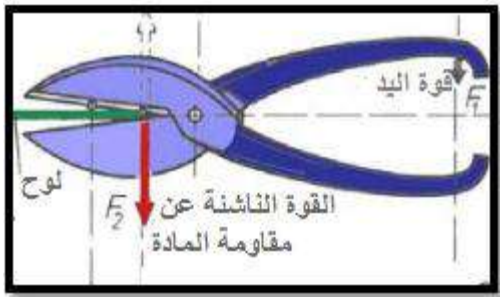
5-4-1 عمليات القص والقطع Shearing and Cutting Operations

هنالك طرائق متعددة في عمليات قطع Cutting الصفائح المعدنية أو قصها، تتضمن القطع بالمنشار الذي يصنف تحت عنوان إزالة رايش (التشغيل)، القطع بالشُعلة الغازية التي تستخدم في اللحام وهي طريقة شائعة أخرى تستخدم في قطع الصفائح السميكة المستعملة في المقاطع الإنشائية، القطع بالأقراص الاحتكاكية (أقراص الكوسرة) والتي يعتمد عملها على توليد الحرارة المطلوبة نتيجة الاحتكاك لصهر منطقة القطع الضيقة، وهذه الطرائق تتم بأساليب قد تكون يدوية أو باستخدام المُعدات أو المكائن الخاصة. وهنالك طرائق غير تقليدية أخرى مثل القطع بالليزر، القطع أو التخريم بالمحاليل الكيميائية، القطع بنفث الماء، ومعظم هذه الطرائق تحتاج إلى أجهزة ومكائن خاصة.

أحدى طرائق القطع الأخرى هي القص Shearing وتتضمن طريقتين، الأولى أن تتم بعملية قص على طول خط مستقيم بين حافتين حادتين باستعمال مكائن القص الآلية، والشكل (5-10) يبين ماكنة قص الصفائح آلية حديثة تعمل بالسيطرة المحوسبة، وتستخدم لقطع صفيحة كبيرة إلى مجموعة صفائح صغيرة وبسمك لحد (8 mm).

شكل 5-10 ماكنة حديثة لقص الصفائح المعدنية

الطريقة الثانية في عملية القص هي بشكل منحني أو مضلع مغلق محدد للحصول على قطعة العمل المطلوبة بوضع الصفيحة الخام بين مكبس (مثقب) وقالب (Punch & Die) بضربة واحدة، إذ يتحرك المكبس إلى الأسفل بقوة وسرعة كافيتين للحصول على القطع المطلوب نتيجة الإجهادات القصية العالية المسلطة على معدن الصفيحة. أن مفهوم كلمة القص Shearing بالمعنى العام هو فصل أجزاء من الصفائح أو القضبان بوساطة آلة القص. القطع بالمقص اليدوي يتم عن طريق حركة حدي المقص بعضها أمام البعض عند حركة اليد، كما هو موضح في الشكل (5-11)، ويتم فصل القطعة بعد التغلب على مقاومة المادة لعملية القص.



شكل 5-11 عملية القص بالمقص اليدوي

تُعد عملية القص من العمليات الابتدائية لتحضير الصفيحة المعدنية أو الشريط إلى عمليات أخرى كاللحام أو السمكرة أو الحني، ويحدث انفصال القطعة عند حافات القص والتي يسلط فيها أعظم جهد، وحافات القص عبارة عن حدين قاطعين أحدهما ثابت والآخر متحرك (في معظم المقصات) ويجب أن تكون هنالك مسافة بين الحدين القاطعين تسمى **الخلوص** وتعتمد هذه المسافة على نوع المعدن وسمك القطعة المراد قصها وهي بحدود (0.1- 0.2 mm) من سمك الصفيحة.

فإذا كانت المسافة بين الحدين القاطعين صغيرة فان الشقوق من جهتي القطعة لا تلتقي في المنتصف ولا يتم الحصول على قص نظيف، أما إذا كانت المسافة بين الحدين القاطعين كبيرة فان مساحة كبيرة من المعدن سوف تتعرض إلى التشويه قبل حدوث القص، لذا ستكون حافة القص مثلمة وسطح خشن وتحتاج قوة قص كبيرة جداً لإنجاز عملية القص.

للمقصات زوايا قطع خاصة بها حيث تختلف هذه الزوايا باختلاف سمك ونوعية المعدن المراد قصه وهذه الزوايا هي:

أولاً: زاوية الجرف Rake Angle

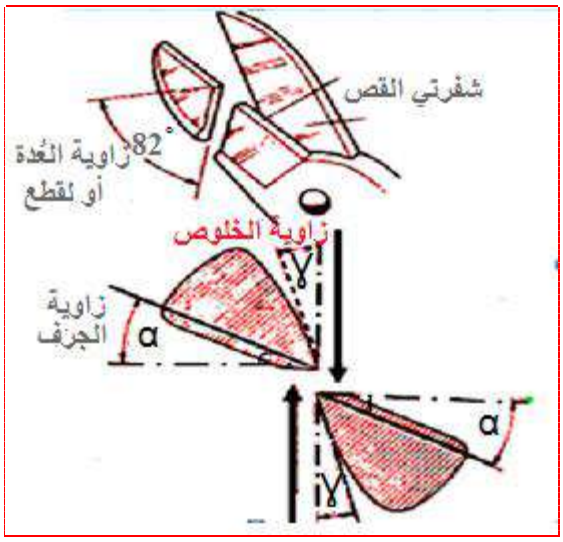
ويرمز للزاوية (α) وتلفظ ألفا، وفائدة هذه الزاوية هي منع تماس الحدين القاطعين مع بعضهما البعض، وبهذا سوف تمنع الاحتكاك الناتج إذا تماس السطحان، ومعرفة مقدار الزاوية مهم جداً لأنها ليست ثابتة، بل تعتمد على نوعية المعدن، زيادة زاوية الجرف يجعل عملية القص أسرع وأسهل عندما يكون المعدن واطئ المقاومة، إلا أن الزيادة غير الضرورية للزاوية يؤدي إلى تقليل مقاومة حافة القطع، وتبلغ زاوية الجرف بحدود 2-3 درجة.

ثانياً: زاوية الخلوص Clearance Angle

يرمز للزاوية بالرمز (γ) وتلفظ كاما، فائدة زاوية الخلوص هو جعل الحد القاطع بزاوية أقل ما يمكن وعدم تماس مادة العمل بنقاط كثيرة بل في نقطة واحدة، وبالتالي يتحسن العمر التشغيلي للشفرة، بسبب عدم تأثرها بالحرارة الناتجة من الاحتكاك. وتتراوح قيمة زاوية الخلوص بحدود خمس درجات.

ثالثاً: زاوية العُدة أو (الأسفين) Tool Angle

وهي الزاوية التي تساعد بعملية قطع المعدن وتسهل عملية القطع، ويرمز لها (β) وتلفظ بيتا، تعتمد هذه الزاوية على نوع وسمك المعدن وتكون قيمتها ما بين (82-83) درجة. الشكل (5-12) يوضح أنواع زوايا القص.



شكل 5-12 زوايا القص

أجزاء المقص اليدوي: يتكون المقص كما هو موضح بالشكل (5-13) من الأجزاء الآتية:

1- **شفرتي القص العليا والسفلى.**

2- **المقبض.**

شكل 5-13حركة المقص اليدوي

وللمقصات اليدوية أحجام وأشكال مختلفة تختلف باختلاف نوع المعدن وسمكه ليتلاءم مع متطلبات قوة القص، يجب أن تكون اليد بعيدة قدر الإمكان عن نقطة الارتكاز (محور الحركة)، كما أن المعدن المراد قصه، يجب أن يكون قريباً من نقطة الارتكاز.

ملاحظة: إن الشفرة العليا القابلة للحركة تكون مقوسة لغرض إعطاء زاوية قص ثابتة عند وضعية القص.

أنواع المقصات: يوجد عدد كبير من المقصات بعضها يدوي والآخر آلي، وتستخدم لقص أو قطع أنواع مختلفة من الصفائح والأنابيب والأسلاك وبسمك وأشكال مختلفة، وتصنف هذه المقصات بحسب أنواعها وأشكالها وكما يأتي:

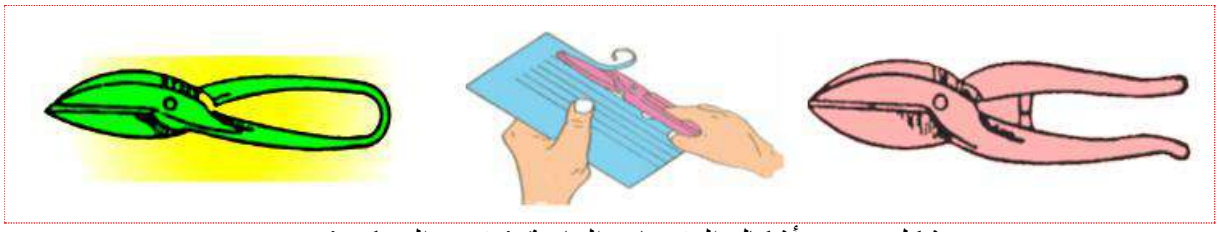
أولاً: **المقصات اليدوية**

يوجد الكثير من أنواع المقصات اليدوية منها الآتي:

1. المقص العادي (مقص السمكرة).
2. المقص المنحني (مقص الحدود المستقيمة الطويلة).
3. مقص التخريم (لعمل الثقوب).
4. مقص الأنابيب الرقيقة.
5. مقص السمك الكبير.
6. مقص الأسلاك.

1- المقص (العادي) أو مقص السمكري

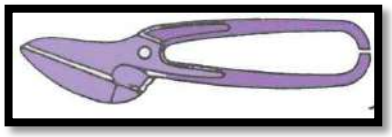
وهو المقص الاعتيادي الذي يستعمله السمكري لقص الصفائح المعدنية الرقيقة بشكل خطوط مستقيمة أو قص الأقواس الخارجية الكبيرة، اعتماداً على طبيعة المادة المراد قصها. ويوجد منه نوعين، مقصات يمين ومقصات يسار، المقصود باليمين يعني أن الفك السفلي لفم المقص يكون منظم على اليمين من جهة القطع، أما المقص اليساري فيستخدم لقص الأجزاء أو أماكن القطع التي لا يمكن الوصول إليها من جهة اليمين، كما موضح في الشكل (5-14).



شكل 5-14 أشكال المقصات العادية (مقص السمكرة)

2- مقص القطع المستمر أو (مقص الحدود المستقيمة الطويلة)

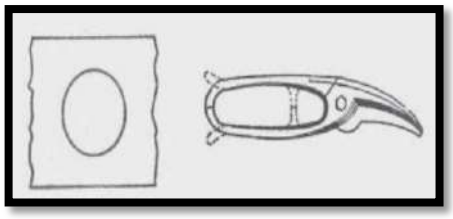
يستخدم لقطع الصفائح المستقيمة الطويلة مثل قطع شريط طويل من طول الصفيحة الكلية، كما هو موضح بالشكل (5-15).



شكل 5-15 مقص الصفائح الطويلة المستقيمة

3- مقص التخريم (فتح الثقوب)

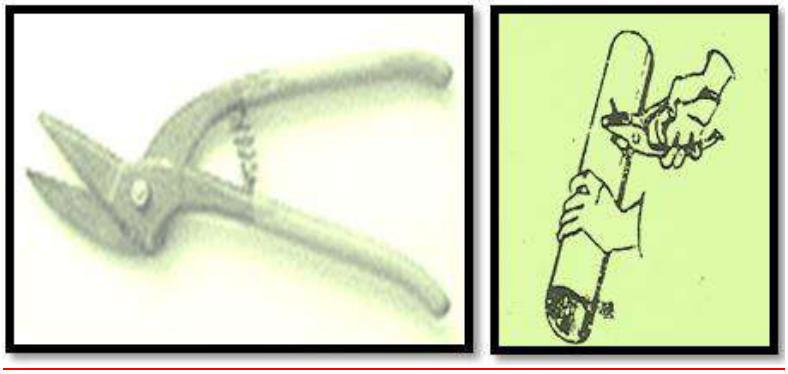
يستخدم لعمل ثقوب وقص الأقواس الدائرية ويصمم بحيث تكون شفرتي المقص بشكل رفيع ومائل، كما هو موضح بالشكل (5-16).



شكل 5-16 مقص الثقوب أو التخريم

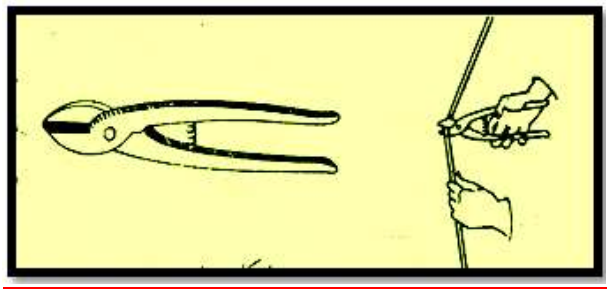
4- مقص الأنابيب

كما يدل الاسم فإن هذا النوع من المقصات يستعمل لغرض قص الأعمال الأُسطوانية أو المخروطية في الصفائح المعدنية، وتمتاز بأن لها شفرات أصغر وأرق من الشفرات للمقصات الأخرى ويتم في البداية تكوين حز ثم الاستمرار بعملية القص، كما هو موضح بالشكل (5-17).



شكل 5-17 مقص الأنابيب

5- مقص الأسلاك: يستخدم هذا النوع من المقصات لقص الأسلاك بكافة أنواعها كالأسلاك الرفيعة والأسلاك السميكة، وتكون عملية القص بشكل مباشر ولا تحتاج إلى تثبيت أو مسك من طرف معين والشكل (5-18) يوضح شكل مقص الأسلاك.



شكل 5-18 يوضح شكل مقص الأسلاك

6- مقص الرافعة ذو الذراع (مقص السمك الكبير)

يستخدم هذا المقص لقص الصفائح عند سماكات كبيرة بحدود 6 ملمتر أو أكثر، ويتكون من ذراع جانبي يرفع باليد وشفرتين شفرة عليا وشفرة إلى الأسفل عند رفع الذراع إلى الأعلى توضع الصفيحة المراد قصها بين الشفرتين ثم تسحب الذراع إلى الأسفل لقص الصفيحة بالشكل المطلوب، كما هو موضح بالشكل (5-19).

شكل 5-19 مقص السماكات الكبيرة

ثانياً: **المقصات الآلية**

1- مقص الأشكال الدائرية والمنحنيات

تتم عملية القطع من خلال قرصي القطع اللذين يتخذان شكل المخروط الناقص بالدوران فوق بعضهما البعض، تثبت الصفيحة بواسطة ذنبة التمركز ثم تتحرك الصفيحة فوق الحدين القاطعين وتتم عملية القطع بأشكال مختلفة ويستخدم هذا النوع من المقصات لقطع الأشكال الدائرية والأقواس، كما هو موضح بالشكل (5-20).

شكل 5-20 مقص الأشكال الدائرية والمنحنيات

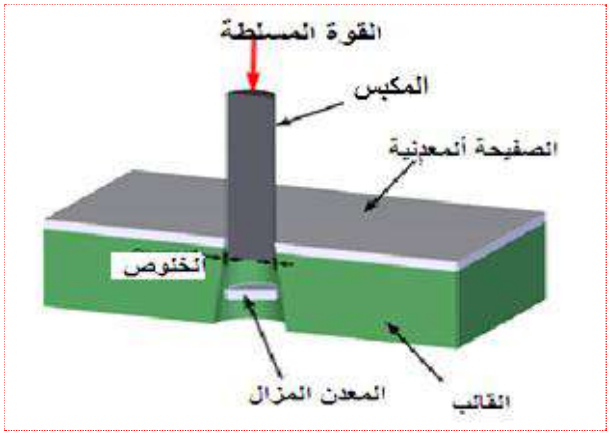
2- المقص الهيدروليكي: يستخدم المقص الهيدروليكي لقطع وقص كافة الصفائح وعند سماكات مختلفة وبدون إزالة رايش، وتكون عملية القص سريعة وسهلة وتوفر وقت، ومن الممكن الحصول على قطع مشغولات بأحجام وأشكال مختلفة.

5-4-2 عمليات التخريم Punching and Blanking Operations

تستخدم عملية التخريم للحصول على ثقوب أو أشكال قطع مختلفة كأن تكون دائرية، مربعة، مستديرة، وغيرها من الأشكال، في القطعة المطلوبة أو صفيحة العمل وتعتبر عمليات التخريم من العمليات المهمة لتخريم وقطع بعض الأشكال المختلفة من سطح الصفيحة، وتُعد مكائن التخريم من مكائن الإنتاج الكمي وتتكون هذه المكائن من مكبس (سنبك) علوي وقالب سفلي.

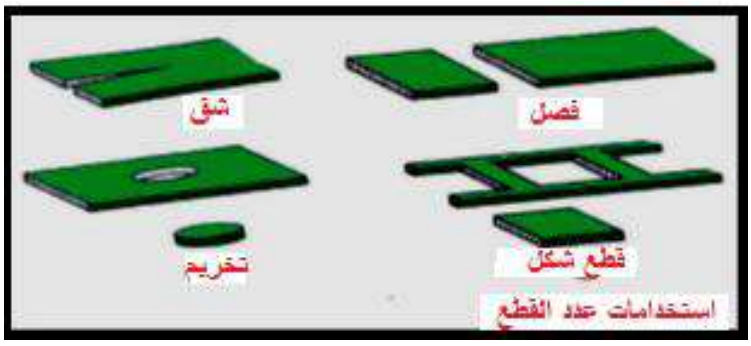
وتتم عملية التخريم بالمراحل الآتية:

1- يتم الضغط على الصفيحة بواسطة مكبس علوي.
2- نتيجة الضغط سيتكون حز.
3- سوف تنبعج الصفيحة من خلال القالب.
4- ستتغلب قوة القص على مقاومة القص للصفيحة.
5- قبل تطابق المكبس مع القالب سو ف تنفصل قطعة العمل من الصفيحة ليتم الحصول على الشكل المطلوب، كما هو موضح بالشكل (5-21).



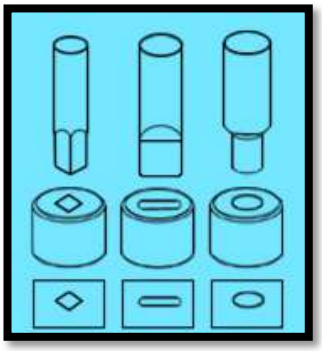
شكل 5-21 مخطط عملية التخريم

يصنع المكبس من الفولاذ السبائكي المقسى ويكون طرفه القاطع أما صلداً أو مجوفاً ويستعمل المكبس المجوف في عمل الثقوب ذات القطر الأصغر من 12 ملم أو لعمل الأقراص. بينما يستخدم المكبس الصلد (غير المجوف) في عمل الثقوب ذات الأقطار الصغيرة. تستخدم عدد القطع الآلية لإنجاز عمليات التخريم وقطع الأشكال المختلفة وتكوين الفتحات والشقوق والحزوز، كما في الشكل (5-22).



شكل 5-22 أشكال قطع التخريم

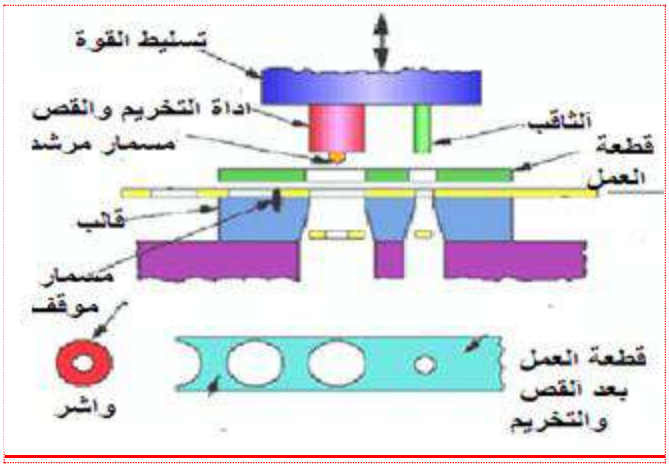
وتستخدم عدد التخريم (السنابك) للحصول على أشكال فتحات مختلفة، كما هو موضح بالشكل (5-23) بحسب نوع القالب وشكل الفتحات، كأن تكون الفتحات بشكل معين، أو فتحات دائرية، أو بشكل مستدير.



شكل 5-23 أشكال فتحات التخريم

مكائن التخريم متنوعة منها الآتي:

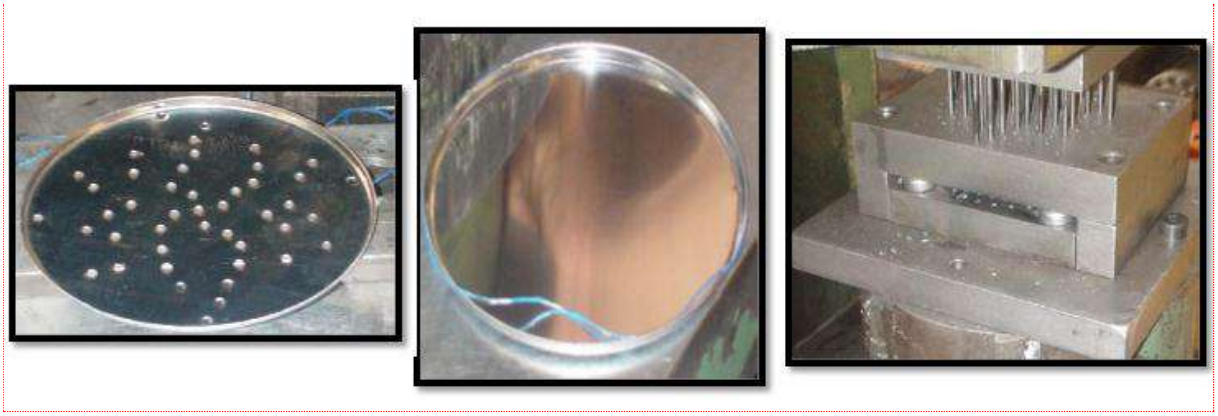
1- ماكنة القص والتخريم: تحوي هذه الماكنة على مجموعة من المكابس تعمل في عُدة واحدة، وتنجز أكثر من عملية قص في كل طرقة مكبس، وتحوي هذه الماكنة على مسمار صد ليحدد مقدار تغلغل المادة في قطعة العمل، كما هو موضح بالشكل (5-24) التي تبين ماكنة عُدة القطع المتتابع.



شكل 5-24 ماكنة تخريم وقص لإنتاج الحلقات (الواشرات)

2- ماكنة تخريم لإنتاج صفيحة مثقبة

لإنتاج صفيحة ذات ثقوب عديدة يتم وضع الصفيحة المراد تثقيبها (تخريمها) على قاعدة ماكنة التخريم وتكون هذه القاعدة مثقبة وبواسطة المكبس العلوي الحاوي على مجموعة ريش تثقيب ذات أقطار مختلفة أو قطر واحد حسب التصميم، فبعد نزول المكبس العلوي على الصفيحة المعدنية تتم مباشرة عملية التثقيب (التخريم والقص بنفس الوقت) للحصول على الشكل المطلوب، كما هو موضح بالشكل (5-25) الذي يمثل أداة تخريم وقطع بنفس الوقت.



شكل 5-25 عملية التخريم، اليمين- تكوين الثقوب، وسط - قص الصفيحة، يسار- القطعة المثقبة

3-4-5 عمليات الثني Bending Operations

تعرف عملية الثني أو الحني بانها عملية تشكيل قطع العمل المختلفة كالصفائح المعدنية، القضبان، والأنابيب، إذ يتم التواء المعدن حول محور مستقيم وتحويله من الاتجاه الأصلي إلى اتجاه مغاير له، وتتم العملية أما بتسخين منطقة الثني أو بدونها. وتتم عملية الثني يدوياً أو باستعمال المكائن، وتعتمد عملية ثني المعادن على عوامل عديدة منها:

1- نوع المعدن، 2- سمك المعدن، 3- درجة الحرارة التي تتم فيها عملية التشكيل.

ومن عملية الثني يتم الحصول على أشكال مختلفة كالأقواس أو أشكال زوايا مختلفة كالزوايا القائمة أو الحادة، وممكن أيضاً ثني القضبان والأنابيب ولف الأسلاك بنفس أسلوب ثني الصفائح وممكن أيضاً الحصول على تموجات مختلفة للصفائح المعدنية عن طريق عملية الثني. وعمليات الثني ممكن أن تتم يدوياً، أو يدوياً مع استعمال آلة أو ماكنة متخصصة، أو أن تتم بشكل آلي باستعمال مكائن الثني أو مكائن القوالب.

أهم العُدد والأدوات المستعملة في عملية ثني الصفائح المعدنية يدوياً تتضمن الآتي:

1- ملزمة لتثبيت القطعة المعدنية للتشكيل.
2- مطرقة العمل.
3- مسطرة لتسوية السطوح.

الملازم

تستخدم الملازم (منكنة) على اختلاف أنواعها وأشكالها للاستعانة بها في تثبيت قطع العمل لتنفيذ عمليات مختلفة كعملية البرادة أو عمليات القطع أو عملية النشر أو ممكن استخدامها لعمليات التشكيل كسحب المعدن أو ثني الصفائح المعدنية. وتصنع الملازم عادة من حديد الزهر أو الفولاذ، وتتكون الملزمة من فك ثابت وفك متحرك وتتحدد أبعادها بالمسافة بين فكيها وتتراوح المسافة بين الفكين بحدود (50- 200) ملم، تثبت الملزمة عادة على حافة طاولة (منضدة العمل)، كما هو مبين بالشكل (5-26).

شكل 5-26 الملزمة وأجزاءها، اليسار- كيفية تثبيت الملزمة على طاولة العمل

لحصول الثني لأي قطعة معدنية، هنالك نوعان من القوة المؤثرة على قطعة العمل وهي:

1- قوة الثني:

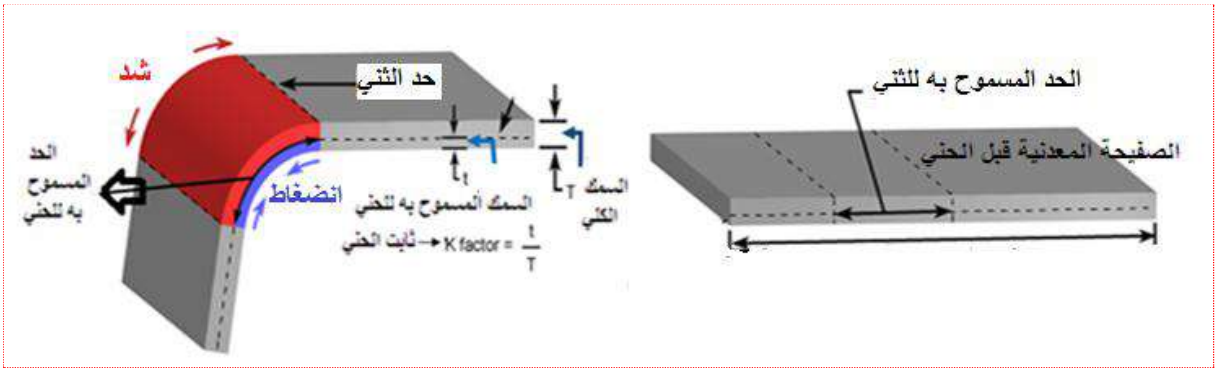
هي القوة المبذولة لثني قطع العمل، ولهذه القوة اتجاه مستمر أو متناوب تبعاً لنوع الجهاز أو أداة العمل ويجب أن تكون هذه القوة أكبر من القوة المضادة التي تنشأ عن مقامة قطع العمل، كما يجب أن تكون أصغر من قوة مقامة الجهاز أو أداة العمل.

2-القوة المضادة:

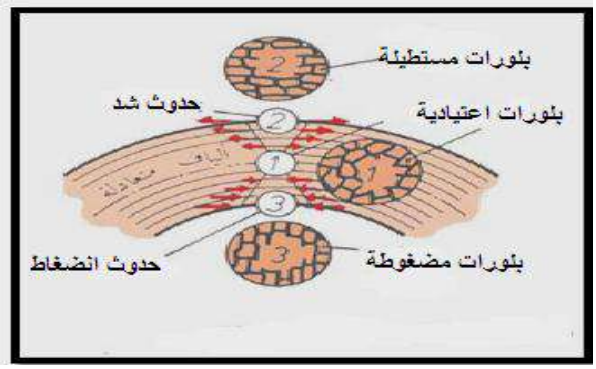
هي القوة التي تؤثر في الاتجاه المعاكس لقوة الثني، وتنشأ نتيجة لمقاومة القطعة المعدنية لأداة العمل أو الجهاز المستخدم في عملية الثني ويبدأ تأثير القوة المضادة ابتداءً من مزاولة عملية الثني أي بعد تأثير قوة الثني.

كيف يحدث ثني أو حني المعادن؟

لاحظ الصفيحة المعدنية بالشكل (5-27)، بعد تسليط قوة معينة عليها (يجب أن تكون قوة الثني المستخدمة كبيرة) بحيث تستطيع التغلب على مقاومة قطعة العمل (الصفيحة المعدنية)، وينتج عن عملية الثني قوة سحب أو قوة شد من الجهة الخارجية لمحور الثني، وانضغاط في الجهة الداخلية، أما منطقة الوسط للمادة فلا تتأثر بالقوة المؤثرة عليها لذا تسمى بالمنطقة (الحيادية). وتقلل عملية التسخين لمنطقة الثني الإجهادات الداخلية والخارجية عند أجراء عملية الثني. وهنالك ثابت معين يسمى حد الثني، وعند إجراء عملية الثني لأي معدن يجب مراعاة عدم تجاوز هذا الحد. وثابت الثني هو النسبة بين السمك المسموح به للثني إلى سمك القطعة الكلي. علماً أن البنية البلورية للقطعة المعدنية تتغير أثناء عملية الثني، كما هو موضح بالشكل (5-28)، إذ تستطيل البلورات عند المنطقة التي يحدث فيها شد وتتكور (تنضغط) في المنطقة التي يحدث فيها انضغاط، أما المنطقة الوسطية فتبقى البلورات محافظة على شكلها.



شكل 5-27 مخطط عملية الثني لصفيحة معدنية مبين فيها الإجهادات وثابت الثني



شكل 5-28 التغير في البنية البلورية للمعدن أثناء الثني

5-4-3-1 طرائق ثني المعادن Bending Methods

هنالك طرائق عديدة لثني الصفائح المعدنية والأنابيب والمقاطع الأخرى سيتم توضيح أهمها، وكما يأتي:

1- الثني اليدوي للصفائح

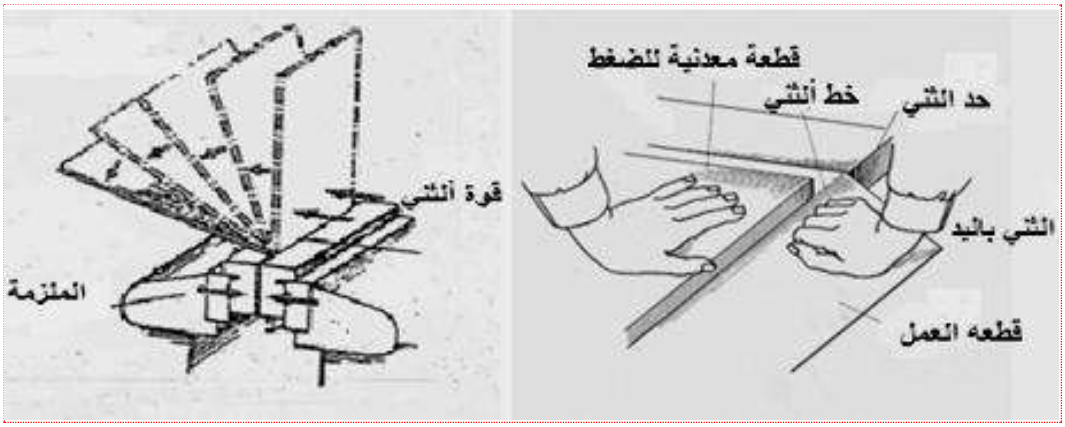
الشكل (5-29) يوضح ثني صفيحة معدنية باليد بعد تثبيتها على ملزمة العمل، ثم تثنى هذه الصفيحة يدوياً إلى أتجاه معاكس، ويتم تسوية الصفيحة باستخدام المطرقة ومسطرة التسوية لتعديل السطح بعد عملية الثني، وهذه العملية هي أبسط طرائق الثني التي يمكن أن تنجز يدوياً.

شكل 5-29عملية الثني اليدوي

2- ثني المقاطع:

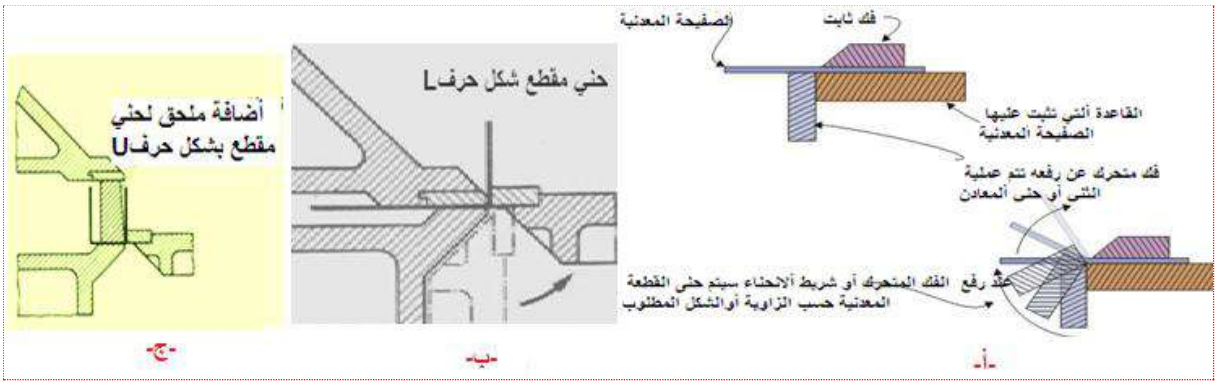
تسمى العملية الثني الحدي، ويتم فيها ثني المقاطع الحديدية بشكل زاوية أو على شكل حرف (T)، وممكن أن يتم الثني يدوياً أو باستعمال آلات الثني الآلية.

أ- الثني الحدي اليدوي: هي عملية ثني مادة العمل بأصغر نصف قطر ثني ممكن، ويتغير اتجاه قوة الثني باستمرار، وتتم عملية الثني هذه أما بواسطة أداة للتسوية أو بدونها، والشكل (5-30) يوضح الثني الحدي لقطعة المعدن المثبتة بين فكي الملزمة.



شكل 5-30 مخطط يوضح عملية الثني الحدي

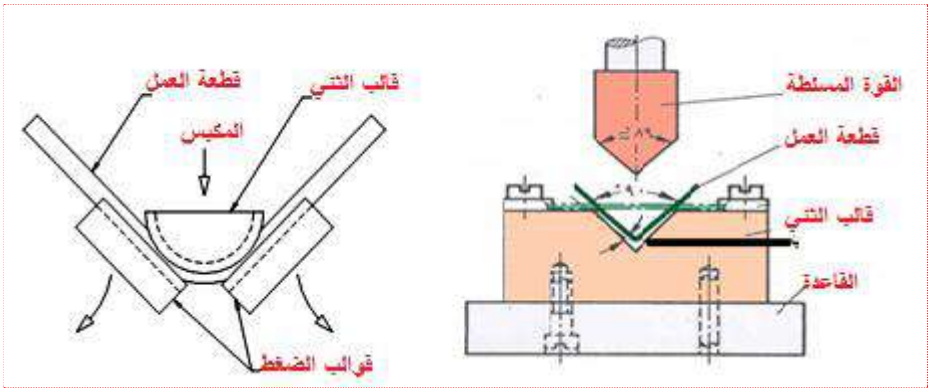
ب- **ثني المعادن بأشكال مختلفة باستعمال آلة الثني:** عند أجراء عملية ثني الصفائح بزوايا معينة وخاصة عند استعمال الصفائح المعدنية لتشكيل مجاري الهواء (الدكتات) أو خزانات المياه فتستعمل مكائن خاصة لهذا الغرض، وهي عبارة عن فكين توضع الصفيحة المعدنية أو المقطع المراد ثنيها بين هذين الفكين ويتم تحريك الفك المتحرك بشكل تدريجي وحسب الشكل أو الزاوية المطلوبة، كما هو موضح في الشكل (5-31) الذي يبين مراحل الثني بأشكال مختلفة.



شكل 5-31 مخطط يبين عمليات ثني مختلفة

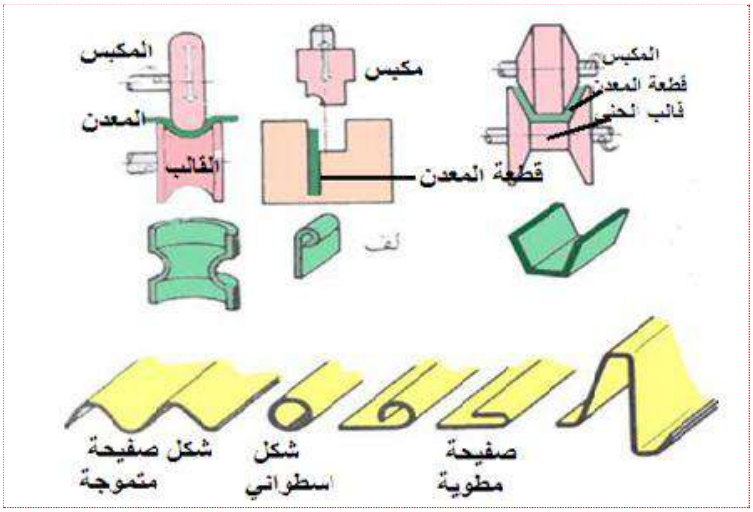
ج- **الثني باستعمال القوالب**

تتوفر مكائن ثني تحوي قوالب ثني خاصة بحسب الشكل المطلوب كأن يكون بشكل حرف (V) أو أشكال مربعة أو نصف دائرية، إذ يتم تثبيت الصفيحة على القالب مباشرة، وبعد تسليط قوة الثني المطلوبة يتم الحصول على الشكل المطلوب، وتستعمل هذه الماكنات للإنتاج الكمي والحصول على مقاطع ذات مقاسات دقيقة، كما هو موضح بالشكل (5-32).



شكل 5-32 مخطط لقالب الثني بشكل حرف (V)

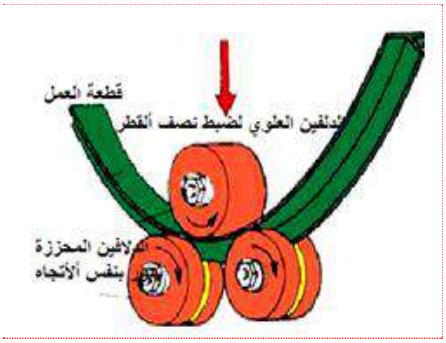
وهنالك مكائن ذات أشكال بقوالب أخرى كأن يكون الشكل مستدير، مقطع مربع, نصف دائري، أشكال مطوية، متموجة، وغيرها، كما هو موضح بالشكل (5-33). يمكن أيضاً استخدام عملية الثني لزيادة جساءة الصفائح المعدنية حيث تزداد مقاومتها وصلادتها لحدوث ما يسمى بالتصليد الانفعالي، ويحدث التصليد الانفعالي عندما تتم عمليات التشكيل على البارد فقط لأن التشكيل على الساخن سيعيد المعدن إلى حالته الأولية قبل التشكيل بسبب ارتفاع درجات حرارة قطعة العمل أعلى من درجة حرارة إعادة التبلور، وبالتالي البلورات الجديدة ستحل محل البلورات المشوهة.



شكل 5-33 أشكال قوالب الثني بالمكائن

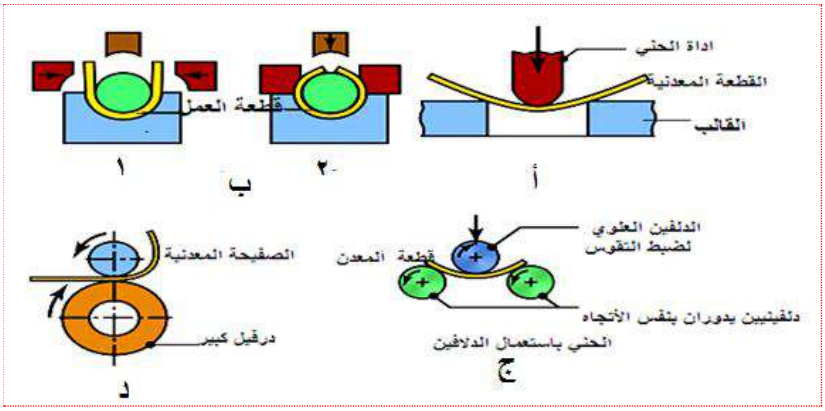
د- الثني المستدير

يتم أجراء عملية الثني الدائري أو المستدير لقضبان الفولاذ ذات المقاطع الخاصة (المحززة) قضبان التسليح، وذلك باستعمال دلافين ثنى المقاطع، التي تدور بنفس الاتجاه وتكون الدلافين محززة وتدار أما يدوياً أو باستعمال محرك كهربائي، ويوجد فوق الدلفينين أسطوانة دوران أو دلفين علوي الهدف منه هو لتغيير نصف قطر الثني، وكما هو مبين بالشكل (5-34).



شكل 5-34 الثني المستدير للمقاطع

ويمكن استخدام هذه الطريقة أيضاً لثني الصفائح المعدنية لعمل القضبان أو الأسطوانات المجوفة، حيث هنالك طرائق عديدة لإجراء عملية الثني المستدير للحصول على أشكال مقوسة أو دائرية أو نصف مقوسة، وتتم العملية أما بتسليط قوة على القطعة المعدنية الموضوعة بين القالب أو ممكن الحصول على أشكال أسطوانية باستخدام قالب تشكيل وتتم العملية على مرحلتين للحصول على الشكل النهائي، كما يمكن أيضاً استخدام عملية الدرفلة للحصول على أشكال مقوسة أو نصف دائرية، لاحظ الشكل (5-35).



شكل 5-35 مخطط لعمليات الثني المستدير

3- ثني الأنابيب:

يتطلب الثني المستدير للأنابيب (كذلك أنابيب المقاطع) إجراءات خاصة لمنع تغيير شكل مقطع الأنابيب وبدون استعمال هذه الإجراءات تكون منطقة ثني الأنبوب غير مستديرة، ومن بين الإجراءات التي يجب اتخاذها لمنع تغير شكل مقطع الأنابيب هي تسخين جدران الأنبوب في منطقة الثني وأثناء عملية الثني، ويجب أن يكون التسخين شاملاً لكل منطقة الثني، وأيضاً في حالة الأنابيب يمكن ملئ الأنبوب المراد ثنيه بمواد يسهل إخراجها بعد إنجاز عملية الثني مثل الرمل، السليكون أو إدخال نابض قطره بنفس قطر الأنبوب من الداخل. وتتم عملية الثني للأنابيب أما يدوياً أو آلياً باستخدام الماكنات المتخصصة.

تتم عملية الثني اليدوي للأنابيب وذلك بتسخينها ثم تثبيتها على ملزمة العمل مع وجود وتد ساند ويتم ثني الأنابيب بمساعدة المطرقة، كما هو موضح في الشكل (5-36).

شكل 5-36 عملية ثني الأنابيب يدوياً

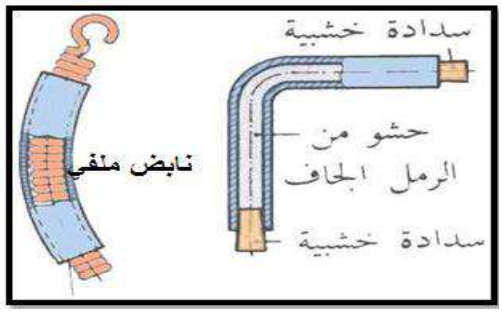
العوامل المؤثرة بعملية ثني الأنابيب بمساعدة التسخين أو بدونه هي:

- **نصف قطر الثني.**
- **مادة العمل.**
- **سمك جدار الأنبوب.**

وممكن أن تتم عملية ثني الأنابيب بعد ملئها بالمواد الآتية:

- الرمل.
- سلسلة من الكرات.
- نابض ملفي.
- السليكون.
- الرصاص في حالة الثني على البارد.
- استعمال وتد خاص.

الشكل (5-37) يبين عملية ثني الأنابيب بعد ملئها بالرمل أو إدخال نابض ملفي.

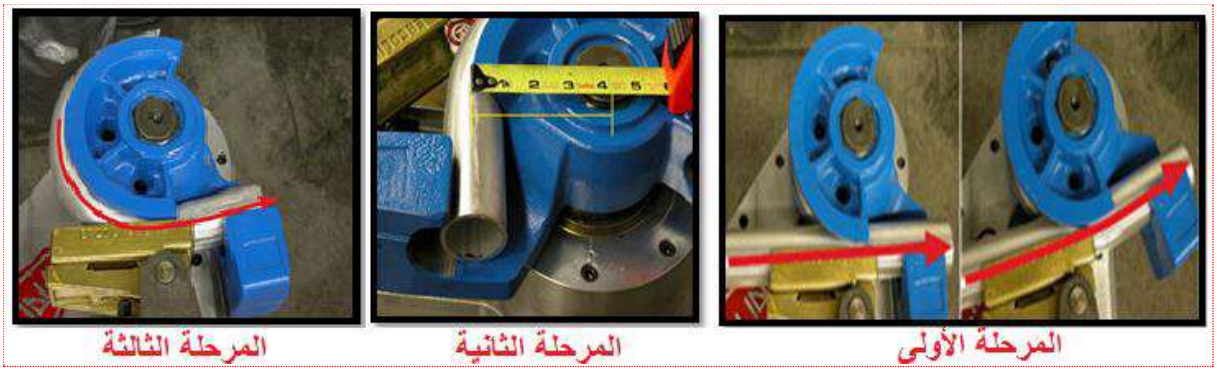


شكل 5-37 طريقة ثني الأنابيب، يمين- بعد ملئها بالرمل، يسار- إدخال نابض ملفي

أما الأنابيب رقيقة الجدران فيسخن الطرف الداخلي لمكان الثني أكثر من الطرف الخارجي، وذلك كي يتم الضغط في الطرف الداخلي بسهولة أكبر، وفي حالة الأنابيب كبيرة القطر تسخن وتثنى على مراحل عدة جزءً بعد آخر، أما إذا كانت مواد ملئ الأنابيب سائلة فيجب أن يتم الملء مرة واحدة دون انقطاع، بعد أن تطلى جدران الأنابيب الداخلية بالكرافيت، وبعد تجمد المادة السائلة وتكون لدنة، يعاد صهرها بعد الانتهاء من عملية الثني. وتجري عملية ثني الأنابيب المملؤة أما بواسطة اليد أو بمساعدة أداة التثبيت أو بمكائن الثني. وتستعمل في أجهزة الثني المستدير أجـزاء أقراص (دوائر) ذات مُعدة للشد، كما هو موضح بالشكل (5-38).

شكل 5-38 آلة ثني الأنابيب

ويجب ملائمة قالب الثني (القرص) وجهاز الشد لقطر الأنبوب المراد ثنيه، وفي بعض الأجهزة يعوَض وتد الثني عن ملئ الأنابيب المراد ثنيها، إذ يمكن استعماله إلى جانب استعمال مُعدة خاصة بذلك. ويعين الخط الفعال الثابت للجهاز أولاً (مكان وتد الثني)، ومن ثم سحب الأنبوب حول الوتد المثبت بواسطة تدوير القرص ويكون قرص الثني بمثابة قالب الثني في الوقت نفسه. ويستحسن تشحيم وتد الثني هذا لضامن سهولة انزلاقه، أما في الأنابيب ذات الحد (مثل اللحام) فيجب أن يكون هذا الحد في منطقة الثني الحيادية في أثناء العملية، والشكل (5-39) يوضح مراحل عملية ثني أنبوب.



شكل 5-39 مراحل ثني الأنابيب

- ❖ المرحلة الأولى: يثبت الأنبوب على وتد الثني والقرص.
- ❖ المرحلة الثانية: يتم تدوير القرص الدوار.
- ❖ المرحلة الثالثة: إخراج الأنبوب النصف دائري بعد عملية الثني.

وهنالك طرائق أخرى لثني الأنابيب، وتُعد هذه الطرائق التي تم استعراضها من طرائق الثني شائعة الاستعمال بشكل كبير في عمليات التشكيل.

أسئلة الفصل الخامس

1. ماذا تعني عملية التشكيل، وضح كيف يمكن أن تجري هذه العمليات.
2. قارن بين عمليتي التشكيل على الساخن والتشكيل على البارد.
3. ما المقصود بعملية الدرفلة؟ وما هي أنواعها؟ كيف يتم تصنيف مكائن هذه العملية.
4. ما المقصود بعملية البثق؟ وبماذا تمتاز، وضح ذلك.
5. عدد مميزات الصفائح المعدنية.
6. عدد طرائق عمليات كل من القطع والقص، وأين تستخدم كل طريقة منها؟
7. عدد زوايا القطع الخاصة، وعلى ماذا تعتمد هذه الزوايا، وما فائدة كلٍ منها؟
8. عدد أنواع المقصات اليدوية واستخدامات كلٍ منها.
9. ما هي مراحل عملية التخريم، وضح أنواع مكائن التخريم.
10. ما هي القوى المؤثرة على قطعة العمل عند إجراء عملية الثني؟ كيف تحدث هذه العملية، وضح إجابتك بمخطط مبسط.
11. تكلم عن أنواع الثني الحدي.
12. اشرح مع الرسم كيف تتم عملية ثني الأنابيب.
13. ما المقصود بالثني المستدير، اشرح ذلك.
14. ما الفرق بين الثني الحدي والثني المستدير.
15. أملأ الفراغات الآتية بما يناسبها:

أ- تجري عمليات تشكيل المعادن على الساخن بدرجات حرارة بحدود .....درجات حرارة انصهار المعادن، وتستخدم هذه الطريقة لـ ..... .

ب- تتضمن طرائق التشكيل الكتلي .....و..... و..... و..... .

ت- في عمليات الدرفلة على الساخن يتم تسخين المعدن إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة .....قبل تمريره بين الدرافيل.

ث- تصنف طرائق الحدادة اعتماداً على درجة جريان المعدن أثناء العملية داخل تجويف القالب إلى ..... و..... و..... .

ج- أهم طرائق عملية البثق .....و..... و..... .

ح- يتم التمييز بين الألواح والصفائح اعتماداً على السمك فقط، فإذا كان السمك أقل من (6mm) سميت القطعة ..... وإذا زاد عن ذلك سُميت ..... .

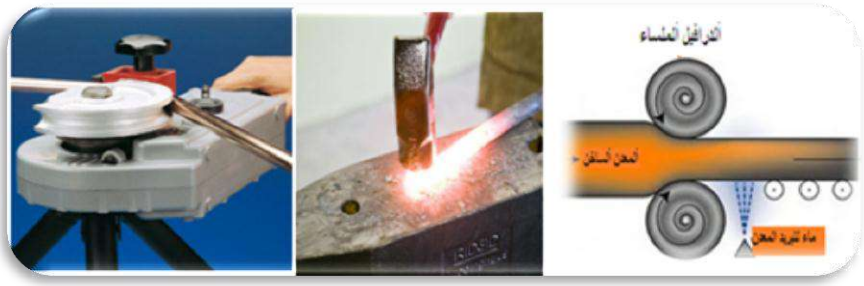
خ- يعتمد مقدار الخلوص على ..... و..... .

د- هنالك نوعين من القصات الآلية هما .....و..... .

ذ- تعتمد عملية الثني على عوامل عديدة أهمها .....و..... و..... .

ر- أهم العوامل المؤثرة على عملية ثني الأنابيب بمساعدة أدوات التسخين هي ..... و..... و..... .

الفصل السادس
عمليات تشغيل المعادن



الأهداف العامة

بعد الانتهاء من هذا الفصل سيكون الطالب قادرا على:-

1. معرفة عمليات التشغيل ومميزات كل منها ومحدداته، وأهم المعايير الأساسية لهذه العمليات.
2. معرفة عملية نشر المعادن وأنواع المناشير اليدوية والآلية واستخدامات كل منها.
3. يفهم عمليات القطع بالأزاميل والعُدد المستخدمة فيها، وأنواعها.
4. يعرف عملية البرادة واستعمالاتها والأدوات المستخدمة، وأنواعها.
5. معرفة مكائن البرادة الآلية .
6. معرفة عملية القشط اليدوي وأنواع المقاشط.
7. معرفة عملية التجليخ وأنواع موادها.
8. معرفة عملية التثقيب والأدوات الخاصة بها وأنواع المثاقب.
9. معرفة عمليات البرغلة واللولبة.

عمليات تشغيل المعادن
Metal Machining Processes

1-6 مقدمة
Introduction

صممت آلات قطع المعادن وجميع آلات الإنتاج المختلفة لتخفيف المجهود البشري، ولرفع كفاءة وجودة الإنتاج مع خفض نفقاته. تعرف عمليات التشغيل Machining على أنها جميع العمليات التي يتم فيها الوصول إلى المنتج النهائي بمقاسات هندسية مناسبة، وتشمل كل عمليات القطع وتسوية السطوح والتثقيب، وتتم عملية التشغيل بإزالة الطبقة الزائدة من المعدن على شكل رايش (Chip) بواسطة الآلات القاطعة التي تحركها مكائن التشغيل الميكانيكي وهذا ما يسمى بالتشغيل الآلي, ومكائن تشغيل المعادن هي المخارط Lathes، مكائن التفريز Mills، المقاشط Shapers and Planners، المثاقب Drills، آلات التجليخ Grinders، للحصول على مشغولات ذات اسطح أسطوانية، مستوية، مخروطية، مسننة، بدرجة الخشونة أو النعومة المطلوبة، وذلك عن طريق إزالة طبقات من معدن القطعة المراد تشغيلها على هيئة رايش، ولأجل الحصول على المنتج بالشكل والقياس المطلوب. ويمكن أن تجرى بعض عمليات التشغيل بشكل يدوي باستخدام بعض أدوات التشغيل اليدوية كما في عملية النشر والبرادة والقشط والتجليخ، وممكن أن تتم هذه العمليات بشكل آلي أيضاً أو بشكل آلي مسيطر عليه سيطرة رقمية.

في هذه المرحلة الدراسية سيتم التركيز على العمليات الميكانيكية التي تؤدى بالطرائق اليدوية لأن طرائق التشغيل الآلية ليست من اختصاص الطالب، العمليات الميكانيكية اليدوية تشمل عمليات القطع بالأجنة، عمليات البرادة، النشر، القشط اليدوي، قطع القلاووظ اليدوي، وغيرها. وعلى الرغم من تطور الآلات والمكائن وانعكاسها على عمليات التشغيل المختلفة، إلا إن عمليات التشغيل اليدوي ما زالت مستخدمة، إذ تستخدم أثناء عمليات التجميع وأثناء صيانة المُعدات والمكائن.

2-6 مميزات ومساوئ عمليات التشغيل
Advantages and Disadvantages of Machining

تتميز عمليات التشغيل بصورة عامة إلى الآتي:

- نعومة الأسطح ودقة الأبعاد.
- إمكانية إنتاج مشغولات ذات أخاديد أو تجاويف داخلية لا يمكن الحصول عليها بالطرائق الأخرى.
- اقتصادية في توفير الوقت والمجهود البدني.

أما محددات عمليات التشغيل فتكمن بالآتي:

- فقدان جزء ليس بالقليل (فضلات) من المعدن بعد التشغيل بشكل رايش.
- تحتاج مكائن التشغيل إلى طاقة كهربائية مما يزيد من استهلاك الكهرباء.
- تحتاج إلى صيانة دورية ووقائية من فترة لأخرى للتأكد من حسن تشغيلها وعملها.
- زيادة أساليب الأمن الصناعي المتبعة قبل وأثناء التشغيل.

3-6 معايير عمليات التشغيل Machining Criteria

عمليات التشغيل يجب أن تتم وفقاً لثلاث معايير أساسية هي:

أولاً: استخدام سبائك ذات صلادة ومقاومة عاليتين فضلاً على المتانة الجيدة لأدوات القطع التي تستخدم لإجراء عمليات التشغيل والقطع.

ملاحظة: المواد المستخدمة كحدود قاطعة للمعادن لعمليات التشغيل يجب أن تكون (مواد ذات صلادة أعلى من المعدن الذى ستقطعه) لكي لا يحدث تآكل احتكاكي (تثليم) لعُدة القطع أو فشل في عملية القطع.

ويستخدم فولاذ السرعات العالية High Carbon Steel (HSS) كأداة قطع مهمة، وهو عبارة عن سبيكة من الفولاذ محتوية على بعض العناصر السبائكية وهي معادن الفناديوم والتيتانيوم لتكوين كاربيدات لزيادة الصلادة لأداة القطع. وكذلك يستخدم **فولاذ العُدة** Tool Steel، وهو عبارة عن فولاذ عالي الكربون مضاف إليه نسبة من العناصر السبائكية لزيادة الصلادة والمقاومة وتصنع منه أغلب أدوات القطع، فضلاً على العُدد الهندسية الأخرى.

ثانياً: **زوايا القطع (أو التشغيل) Cutting Angles**

يجب معرفة قيم هذه الزوايا للسيطرة على عمليات التشغيل وتسهيل العملية للحصول على النتائج المضبوطة بدقة عالية، وأهم هذه الزوايا التي يجب معرفتها قبل إجراء أي عملية تشغيل هي:

1- **زاوية الجرف** Rake Angle: هي الزاوية التي تسهل عملية خروج الرايش أثناء التشغيل.

2- **زاوية الخلوص** Clearness Angle: الزاوية التي تمنع زيادة الاحتكاك بين العُدة وسطح مادة قطعة العمل.

3- **زاوية العُدة** Tool Angle: الزاوية التي تُعطي العُدة المقاومة والمتانة المطلوبة للقطع.

ثالثاً: **متغيرات عملية القطع:** المقصود بمتغيرات عملية القطع هي سرعة القطع، زوايا القطع، عمق التغذية، ويتم اختيار متغيرات القطع المناسبة تبعاً لما يأتي:

1- نوع المعدن (المشغولة).

2- مادة الحد القاطع (نوع معدن الحد القاطع).

3- وجود سائل تبريد.

ويُعد اختيار متغيرات القطع المثلى مهم جداً على الإنتاجية، وكلفة العمل، وعمر أداة القطع.

1- **سرعة القطع** Cutting Speed: تعرف سرعة القطع بانها المسافة التي تقطعها أداة القطع بالنسبة للسطح المشغل في وحدة الزمن ووحدة قياسها هي (m/min)، تؤثر سرعة القطع على جودة المشغولات والإنتاجية وكلفة العمل، إذ كلما كانت سرعة القطع أعلى كلما كان السطح أكثر نعومة. وتُعد سرعة القطع العامل الأساس لتحديد عمر أداة القطع، وذلك للعلاقة المباشرة بين أداة القطع والحرارة المتولدة إثناء سرعة القطع العالية.

2– **سرعة التغذية** Feed Speed: هي سرعة تقدم أداة القطع عند إكمال قطعة العمل لدورة قطع واحدة (بحسب نوعها) كأن تكون مثقاب أو سلاح منشار أو قلم خراطة، ويشترط أن تكون التغذية صغيرة للحصول على سطح ناعم ودقة مقاسات عالية، ووحدة قياس سرعة التغذية بالدورة لكل ملم (mm/rev). وتعتمد سرعة التغذية أيضاً على نوع المعدن إذا كان صلداً أو ليناً.

3- **عمق القطع** Depth of Cut: وهى المسافة التي يتحرك بها الحد القاطع داخل قطعة العمل، أي مقدار السمك الذي يُزال من المعدن بشكل رايش، ويؤثر عمق القطع على جودة المشغولات وعمر أداة القطع. ويشترط أن يكون عمق القطع صغيراً للحصول على سطح ناعم ودقة مقاسات عالية.

هنالك ثلاث أنواع من الرايش المتكون نتيجة عمليات التشغيل، ويعتمد إزالة الرايش على نوع المعدن وعمق القطع، لاحظ الشكل (6-1). أن سرعة وعمق القطع ونوع المعدن من العوامل المؤثرة بشكل كبير على شكل الرايش الناتج من عملية القطع.

1- **الرايش المستمر** (يكون بقطعة واحدة) وهذا النوع من الرايش غير مرغوب به لأنه يؤدي إلى إزالة كبيرة من المعدن.

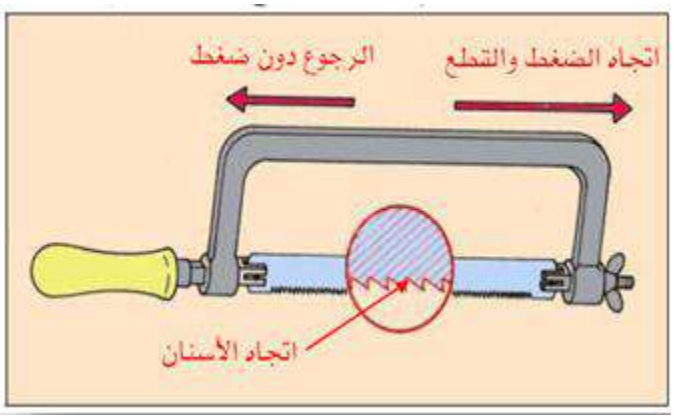
2- **الرايش المتقطع** (يكون بشكل أجزاء صغيرة متقطعة).

3- **الرايش المتكسر** (يكون له بروزات صغيرة) ويكون بهيئة البرادة الناعمة، يتكون هذا النوع عند تشغيل المعادن ذات الصلادة العالية.

شكل 6-1 أنواع الرايش

4-6 عملية نشر المعادن Metal Sawing

عملية النشر هي عملية فصل الأجزاء عن بعضها البعض بإزالة المعدن من المنطقة التي يجري فيها المنشار، وتعتمد عملية النشر اليدوي على القوة العضلية للعامل مع مراعاة قيادة سلاح المنشار في مستوٍ ثابت، والضغط على السلاح أثناء الحركة الأمامية له، حيث تقوم إسنان المنشار بإزالة المعدن على هيئة رايش، ويزال الضغط في مشوار الرجوع بدون رفع المنشار، كما هو موضح بالشكل (6-2).



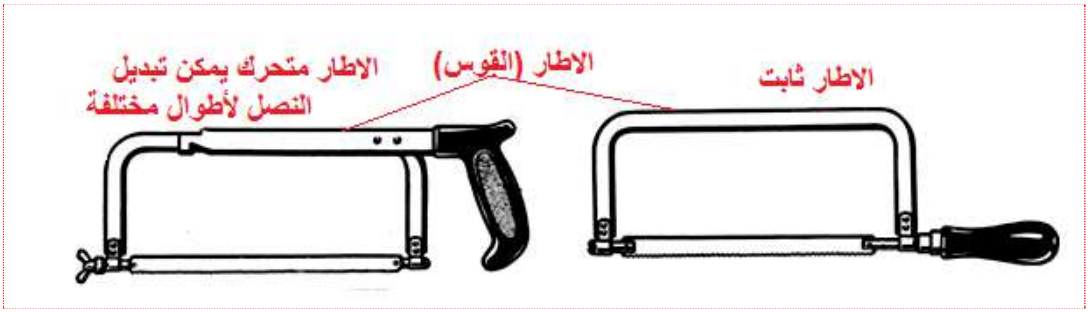
شكل 6-2 حركة المنشار أثناء القطع

وتتم عملية النشر بطريقتين، أما بطريقة يدوية كاستعمال المنشار اليدوي، أو بطريقة آلية. ويستخدم النشر في قطع الأعمدة والقضبان وعمل مجاري وفتحات بالمشغولة، فضلاً على فصل الأجزاء الزائدة، بعد تحديد مكان النشر بالشنكرة، ويستخدم المنشار اليدوي في عملية النشر اليدوية، والمنشار اليدوي متعدد بأنواعه وذلك تبعاً لاستعمالاته.

أجزاء المنشار

يتكون منشار المعادن من الأجزاء الآتية:

1- **الإطار** (القوس): وهو الجزء الذي يحمل النصل (سلاح المنشار), ويسمى أيضاً حامل السلاح، وتتوفر إطارات من الأنواع التي يمكن استخدامها على أكثر من طول، إذ يوجد به جزء يسمى الجريدة التي تسمح بتغير طولها، كما هو موضح بالشكل (6-3).

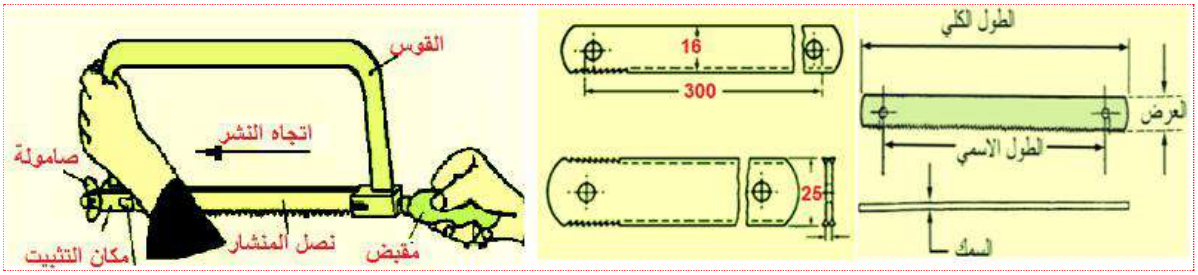


شكل 6-3 أنواع المناشير اليدوية

2- **مقبض**: يستخدم لمسك المنشار ويفضل مسكه باليد اليمنى.

3- **صامولة أو لولب** لتثبيت سلاح المنشار، وتسمح بتوجيه السلاح في مستوٍ يختلف عن مستوى الإطار مما يساعد على إجراء عمليات نشر مائلة أو طويلة أفقية وبمسافة طويلة بسهولة.

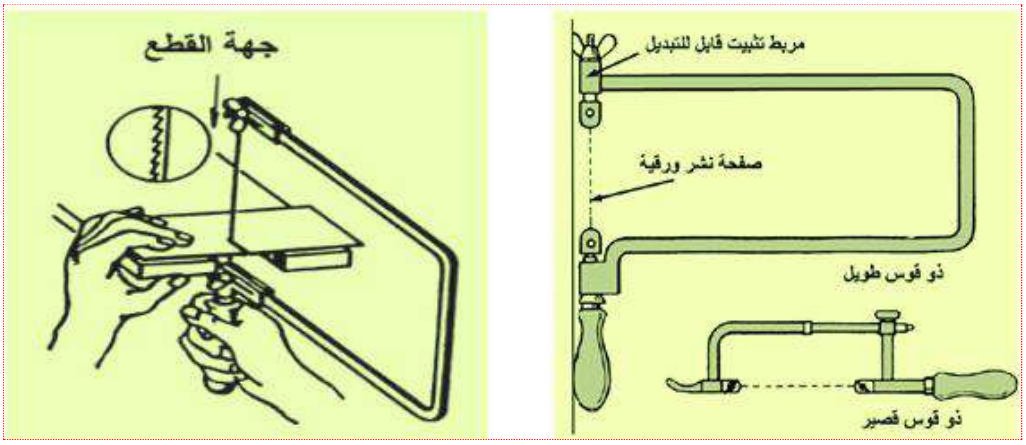
4- **سلاح المنشار** (النصل): وهو أداة القطع الفعلية، ويعرف على أنه شريط من الفولاذ في كل من نهايتيه ثقب وبإحدى حافتيه أسنان وقد تتواجد الأسنان من الحافتين، الحافة الأخرى المقابلة تسمى ظهر, ومقطع السلاح يكون دائماً مستطيل ومع ذلك يصنع سلاح المنشار على شكل شبه منحرف قليل الانحراف حتى لا يحشر أثناء العمل. الشكل (6-4) يوضح المنشار ونصله ومقاساته.



شكل 6-4 تفاصيل المنشار اليدوي

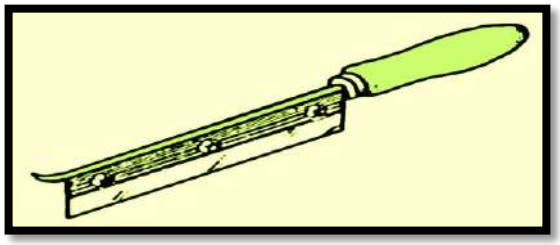
1-4-6 أنواع المنشار اليدوي Types of Saw

1- **منشار التخريم** يستعمل منشار التخريم لنشر المقاطع الداخلية البسيطة في المعادن اللينة مثل الألمُنيوم ويستخدم أيضاً في نشر الصفائح المعدنية، يربط نصل المنشار بوساطة مسامير فولاذية مثبتة فيه وتوضع في ثقوب خاصة موجودة في قوس المنشار ويتم التركيب بالشد على طرفي النصل لتقترب من بعضها البعض وتكون حركة القطع للمنشار مائلة إلى الجهة اليسرى ليكون ضغط القطع خفيف، كما هو موضح بالشكل (6-5).



شكل 6-5 منشار التخريم، اليسار- يوضح طريقة العمل

2- **منشار شق المجاري** يستعمل هذا المنشار لنشر المجاري الضيقة وشكل المنشار كما هو موضح بالشكل (6-6).



شكل 6-6 منشار شق المجاري

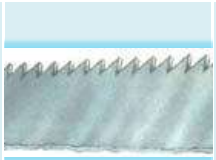
3- **منشار الفرز** يستعمل هذا النوع أغلب الاحيان لقطع الحزوز ورؤوس المسامير ويكون بشكل صفيحة رفيعة من الامام وعريضة من الخلف، كما هو موضح بالشكل (6-7).

شكل 6-7 منشار الفرز

4- **أسنان المنشار** اختيار الأسنان المناسبة لعملية النشر من الضروريات الأساسية, ويرتبط هذا الاختيار بخطوة السن (وهي المسافة ما بين سنين متتاليين), وخطوة السن مختلفة من نصل إلى آخر. ويتوقف اختيار الخطوة على طبيعة الأعمال المطلوب تنفيذها ونوعية المعادن المشغولة.

الجدول (6-1) يوضح تصنيف أنواع المناشير بحسب عدد الأسنان واستعمالاتها.

جدول 6-1 تصنيف أنواع المناشير واستعمالاتها

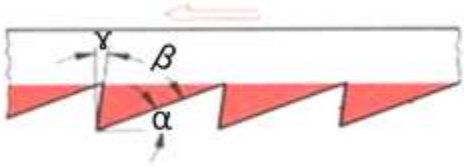
التصنيف	التسنين	عدد الأسنان لكل واحد إنج	الاستعمالات
منشار خشن		16 -14 سن	يستعمل هذا النوع لنشر المعادن غير الحديدية مثل النحاس والألمنيوم والقصدير وبعض المواد البلاستيكية وأيضاً يستخدم لنشر الأنابيب التي يزيد سمكها عن 40 mm
منشار متوسط الخشونة		25-22 سن	هذه الشفرة (سلاح) تستعمل للأغراض العامة وبشكل رئيس لقطع البراص والفولاذ متوسط الكاربون ولنشر الأنابيب التي لا يتجاوز سمكها 20 mm بصورة عامة يستخدم هذا النوع للمعادن ذات الصلادة المتوسطة
منشار ناعم		32-28 سن	تستعمل هذه الشفرة لقطع حديد الزاوية والأنابيب النحاسية رقيقة الجدران وأنابيب الحديد وكذلك للفولاذ ذو الصلادة العالية.

ملاحظات مهمة:

1- كلما كان المعدن المطلوب تشغيله بالمنشار ذو صلادة عالية كلما يفضل استخدام منشار ناعم.

2- كلما كان الرايش صغير الحجم كانت الأسنان ناعمة.

زوايا القطع لسلاح المنشار: كأي أداة قطع، هنالك زوايا قطع خاصة لسلاح المنشار، كما هو موضح بالشكل (6-8)، وأهم هذه الزوايا هي:



شكل 6-8 زوايا سلاح المنشار

زاوية الخلوص γ - زاوية العُدة (زاوية القطع) β - وزاوية الجرف α

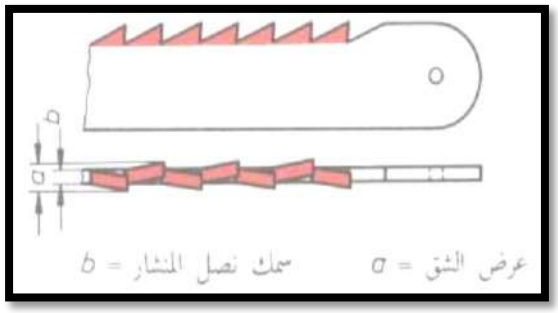
وتتوقف قيمة اختيار هذه الزوايا على نوع المادة المقطوعة (صلاد المادة) فيجب تغيير مقادير هذه الزوايا بحسب نوع المعدن، وأيضاً نوع الرايش الناتج يختلف باختلاف المعادن فالمعادن الصلدة كفولاذ العُدد يكون مقدار الرايش المزال من المعدن قليل، أما بالنسبة للمعادن ذات الصلادة المتوسطة واللينة كالألمُنيوم والفولاذ واطئ الكربون فالرايش يكون أخشن وكميته أكبر، كما هو موضح بالجدول (6-2).

جدول 6-2 أنواع المعادن والزوايا المستعملة عند القطع ونوع الرايش الناتج أثناء القطع

أنواع المعدن	نوع الرايش وكميته	زاوية الخلوص درجة	زاوية العُدة درجة	زاوية الجرف درجة
معادن صلدة	ناعم جداً وقليل	**40**	**50**	**0**
معادن متوسطة الصلادة	ناعم وقليل	**20**	**65**	**5**
معادن منخفضة الصلادة	خشن وكثيرة	**30**	**50**	**10**

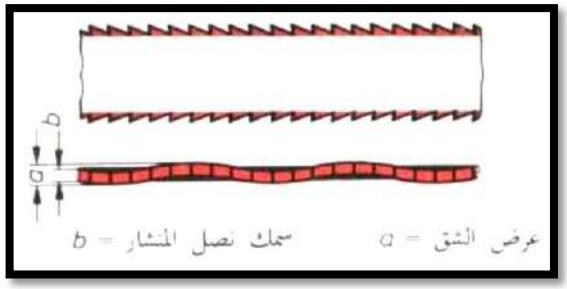
تفليج المنشار:

تجري هذه العملية لتجنب حشر سلاح المنشار في القطعة المعدنية أثناء التشغيل، والذي يؤدي بدوره لتوليد حرارة نتيجة الاحتكاك وبالتالي يؤدي إلى تلف الشفرة. ويتم عمل التفليج أثناء تصنيع السلاح بطريقة آلية أو يمكن عملها بالورشة بعد الاستعمال إذا توفرت آلة التفليج، وتفليج المنشار هو ثني الأسنان قليلاً واحدة إلى اليمين والتالية إلى اليسار وهكذا على امتداد الشفرة ليكون عرض خط القطع أكثر عرضاً من سمك الشفرة لكي لا تحشر الشفرة في خط القطع ولا تحتك بالمادة المقطوعة، كما هو موضح بالشكل (6-9).



شكل 6-9 يوضح تفليج المنشار

وإذا كان عدد الأسنان في كل عقدة من طول الشفرة كبيراً فهذا يعني أن حجم الأسنان يكون صغيراً، فيستعاض عن تفليج الأسنان بجعل جسم الشفرة متموجاً، كما هو موضح بالشكل (6-10).



شكل 6-10 تمويج أسنان المنشار

أما بالنسبة للشفرات الخاصة بقطع المعادن اللينة كالنحاس والألمُنيوم يتم تصنيع الشفرة لتكون مسلوبة في اتجاه ظهر الشفرة أي يكون سمك الشفرة من ناحية الأسنان أكبر مما هي عليه عند الظهر. ويراعى عدم زيادة سرعة القطع بالمنشار عن الحد المناسب وإلا أدى ذلك إلى زيادة الحرارة المتولدة، مما يؤدي إلى تلف الشفرة وعدم صلاحيتها للقطع، يعتبر معدل القطع المناسب لذلك هو ما بين (50-60) مشواراً للقطع بالدقيقة الواحدة في عمليات النشر اليدوية.

2-4-6 أنواع المناشير الآلية

المناشير الآلية تُدار بوساطة مُحرِّك كهربائي، ويمكن تركيب مختلف أنواع النّصال على غالبية المناشير الآلية لقطع مواد متنوعة ويتحرّك نصل المنشار بسرعة كبيرة، ولذلك ينبغي استعمالها بحرص وحذر شديدين. ونظراً للكم الكبير من عمليات نشر المعادن فقد ازداد استعمال المناشير الآلية، وتكون هذه المناشير ذات مواصفات عالية، لغرض القطع الصحيح والدقيق للمعادن المختلفة. ويوجد أنواع متعددة من المناشير الآلية مختلفة الأنواع والأحجام.

ومن أهم أنواع هذه المناشير:

أولاً: المنشار الترددي

ثانياً: المنشار القرصي

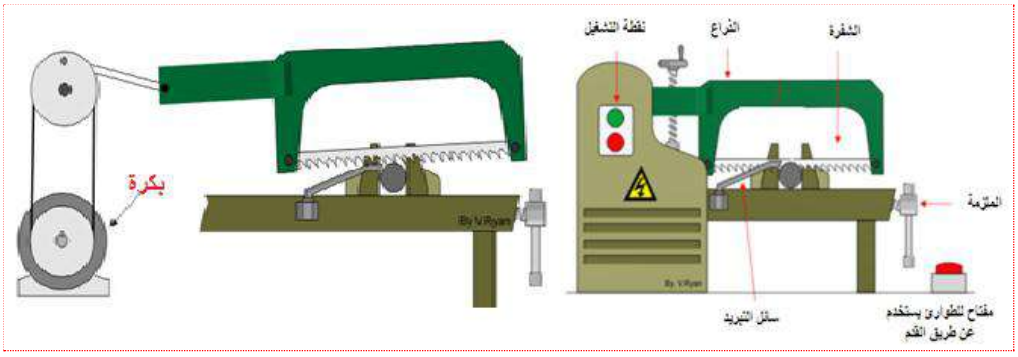
ثالثاً: المنشار الشريطي

المنشار الترددي

هو عبارة عن منشار يعمل بالقدرة الكهربائية وقد يكون مجهزاً بمحرك ذاتي أو يعمل على القدرة المتوفرة في موقع العمل، ويكون مثبتاً على قاعدة معدنية صلبة، وعُدة القطع عبارة عن شفرة طويلة نسبياً في حدود (50-60 cm) وتكون مثبتة في الجزء العلوي أي الجزء المتحرك، يتم تشغيل المنشار بواسطة المحرك الكهربائي ويمكن استخدام القدم للتشغيل مباشرة بواسطة الضغط على نقطة التشغيل بالقدم وتستخدم هذه الحالة لتقليل الخطورة أثناء التشغيل وعدم تعرض العامل إلى الحوادث. يتحرك الذراع الذي يحمل المنشار بوساطة المحرك الكهربائي المتصل ببكرتين مختلفتي الأحجام صغيرة وكبيرة لتغير السرع، فعند تشغيل المحرك الكهربائي المتصل بالبكرتين سوف تتحول حركة البكرات من حركة دائرية إلى حركة ترددية.

تتحرك الشفرة أو (أداة القطع) بشكل ترددي حيث تتحرك إلى الأمام وإلى الخلف. ويتم تثبيت القطع المعدنية المراد نشرها في ملزمة تثبيت (ممكن تحريكها) بسهولة لتثبيت قطعة العمل المراد قطعها

ويستعمل هذا النوع من المناشير لقطع مختلف أنواع الفولاذ الكربوني والمعادن غير الحديدية مثل الألمُنيوم والنحاس إضافة إلى قطع الفولاذ المقاوم للتآكل ولمختلف المقاطع الدائرية والمربعة والقضبان الدائرية والمربعة وكذلك الأشرطة المعدنية المختلفة وحديد الزاوية والأنابيب الصغيرة المختلفة الأقطار والسمك. ويستعمل سائل تبريد أثناء القطع لتخفيض درجة الحرارة، لاحظ الشكل (6-11).



شكل 6-11 المنشار الترددي

المنشار القرصي

المنشار القرصي هو أكثر أنواع المناشير الآلية استخداماً، إذ إن له نصلاً يشبه القرص، ويستعمل للقطع الطولي، وهو على نوعين، نوع يُثبَّت على حامل ونوع يُمسك باليد. يتكون المنشار القرصي من جزئين هما القاعدة وهي الجزء الثابت وتكون عبارة عن منضدة معدنية تحتوي على ملزمة لتثبيت الشغلة أثناء القطع، وتوجد على السطح العلوي للمنضدة شق طولي لمرور الشفرة المستعملة في القطع والنصل أو شفرة القطع عبارة عن قرص دائري مسنن سريع الحركة مصنع من الفولاذ عالي السرع وتكون مثبتة في الجزء العلوي وهو الجزء المتحرك، ويستعمل ذراع لتحريك الجزء العلوي كي يلامس المعدن المراد قطعه. ويوجد الكثير من أنواع الشفرات المستعملة بحسب نوع المعدن المُراد قطعه، إذ من الممكن القيام بقطع مختلف المعادن الحديدية مثل الفولاذ الكربوني بأنواعه وكذلك الفولاذ المقاوم للتآكل والمعادن غير الحديدية مثل الألمُنيوم والنحاس ولمختلف المقاطع والقياسات، كما هو مبين في الشكل (6-12).

شكل 6-12 المنشار القرصي وشفرته

المنشار الشريطي

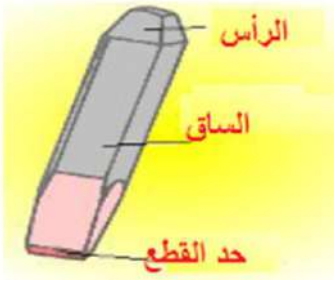
يُثبَّت المنشار الشريطي الكهربائي على حامل لعمل قطع طولي أو منحني. نصل المنشار الشريطي عبارة عن شريط طولي مصنوع من الفولاذ المرن جداً وذو أسنان متباعدة، ويتحرك هذا النصل بين بكرتين كبيرتين، كما هو موضح في الشكل (6-13)، ويستعمل هذا النوع من المناشير عادةً لقطع الأخشاب.

شكل 6-13 المنشار الشريطي

6-5 القطع بالأزاميل Chiseling Cutting

يعتبر القطع بالأزاميل (الأجنة) من العمليات اليدوية المألوفة، وتمثل الأجنة أبسط أنواع عُدد التشغيل، لذا تتخذ أساساً لشرح عملية القطع وتوضيح زواياه وكيفية تكوين الرايش أمام عُدة القطع فيه، وتقتصر عملية القطع بالأجنة على المشغولات التي لا تحتاج إلى متطلبات الدقة كعمليات الإزالة والتشطيب.

شكل الإزميل:



شكل 6-14 شكل الإزميل

بشكل عام تتكون الأزاميل من: الحد القاطع، الساق، الرأس، كما هو موضح بالشكل (6-14). ويراعى في الأزاميل المستخدمة في تشغيل المعادن أن يكون طول الساق كافياً بحيث يتسنى القبض عليه بأمان. وللأزاميل القصيرة عيوب أبرزها صعوبة إمساكها، واحتمالية تعرض المشتغل بها للإصابة ومن ناحية أخرى تتعرض الأزاميل الطويلة للانحناء أثناء الطرق عليها، مما قد يؤدي إلى كسر الإزميل، وصعوبة التحكم بها أثناء العمل. ويجب أن يكون الحد القاطع للأجنة ذو صلادة ومقاومة بحيث يتحمل الطرق ولا يحدث به تثلم أثناء العمل.

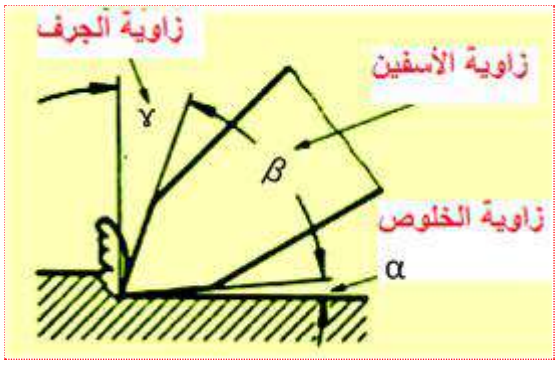
زوايا الحد القاطع للإزميل

الإزميل كأي أداة قطع تتكون هنالك ثلاث زوايا أساسية، وهي كما موضحة بالشكل (6-15):

1- **زاوية الجرف** α : هي الزاوية المحصورة بين سطح الجرف ومستوى الأسناد لأداة القطع.

2- **زاوية الخلوص** ϒ: هي الزاوية المحصورة بين سطح الشغلة ومستوى حد القطع وعليها يتوقف مقدار الاحتكاك

3- **زاوية الأسفين** β (زاوية القطع): هي الزاوية المحصورة بين سطح الجرف والخلوص.



شكل 6-15 زوايا الحد القاطع للإزميل

هذا وتختلف زوايا القطع بالأزاميل بحسب نوع المعدن الذي يتم قطعه، ومن المألوف لزوايا القطع أن تتخذ القيم الآتية في الأعمال العامة:

زاوية الخلوص بحدود 10°

زاوية العدة بحدود 60°

زاوية الجرف بحدود 20°

وتتغير قيم هذه الزوايا تبعاً لتغير نوع المعدن من ناحية الصلادة وتعتبر زاوية الأسفين أو العُدة من أهم الزوايا التي تتأثر بشكل كبير بنوع المعدن، وتزداد قيمة زاوية العدة كلما كان المعدن صلداً والجدول (6-3) يوضح قيم زاوية القطع وعلاقتها بنوع المعدن.

جدول 6-3 مقادير زوايا القطع (الأسفين) وعلاقتها بنوع المعدن

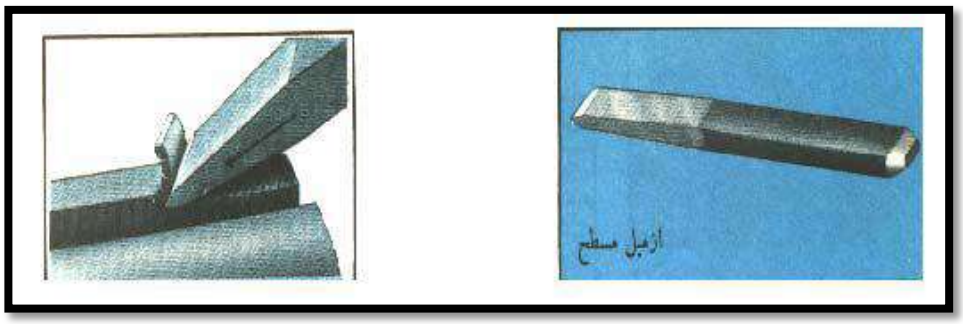
مقدار الزاوية (درجة)	نوع المعدن	أمثلة
45-30	المعادن اللينة (صلادة قليلة)	الرصاص، الألمُنيوم، الخاصين
60-45	معادن متوسطة الصلادة	النحاس، والبراص
80-60	معادن عالية الصلادة	حديد الزهر، الفولاذ

تصنع الأزاميل على اختلاف أنواعها من الفولاذ عالي الكربون (فولاذ العُدد) وتصنع الأزاميل بأشكال خاصة بحسب الغرض المطلوب منها، ويتم تحديد شكل طرف الإزميل بحسب شكل القص أو القطع المطلوب ويتم تشكيل الأزاميل تحت درجات حرارة عالية جداً، ثم يشغل حد القطع بالبرادة ويعامل حرارياً لتصليده، ويشطب بالتجليخ ويعتمد سمك وحجم الإزميل على شكل ونوع القطعة التي يُراد العمل عليها، وقد يصل سمك طرف الأجنة العريضة عند قطع بعض المعادن غير الحديدية مثل الألمُنيوم والخارصين والرصاص إلى 1.5 ملمتر.

هنالك أنواع عديدة من الأزاميل، يمكن تقسيم الأنواع العامة للأزاميل من حيث الشكل إلى خمس أنواع رئيسة وهي:

1-**الأزاميل المستوية** (العريضة):

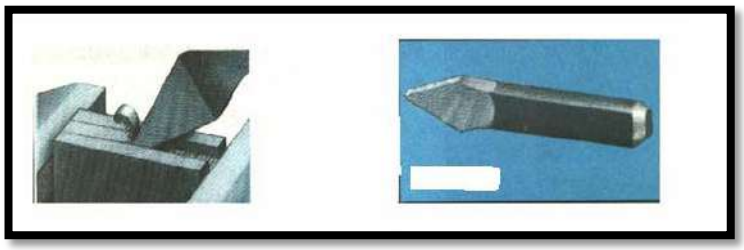
وتكون ذات حد قطع عريض، كما هو موضح بالشكل (6-16)، ويكون منحياً عند طرفيه، وذلك لتجنب غوص حد القطع في المعدن أثناء عملية القطع وخدشه، ويستعمل هذا النوع من الأزاميل في عمليات الإزالة من المشغولات عريضة السطح، وكذلك للأغراض العامة مثل تقليل السمك، قص أو إزالة الشرائح المعدنية، قطع الصفائح، إزالة المسامير، وغيرها.



شكل 6-16 الإزميل المستوي

2- **الأزاميل الضيقة**:

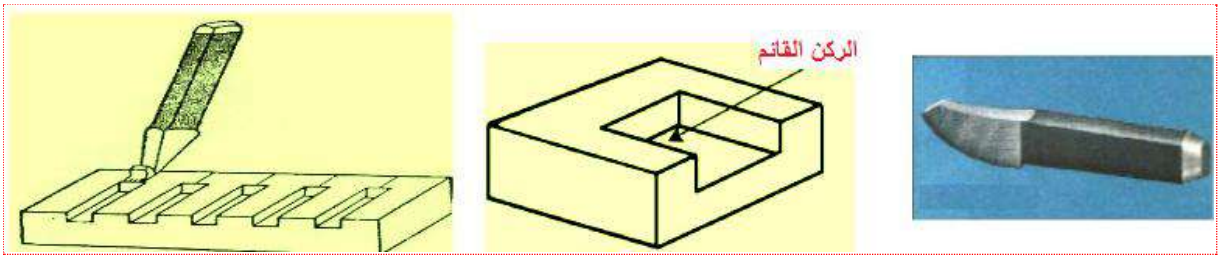
ويكون عرض الحد القاطع في هذا النوع من الأزاميل قليل ومستدق وأقل من عرض الحد القاطع للأزاميل المستوية، ويقل عرض الحد القاطع للأجنة عن عرض الثقب تاركاً خلوصاً جانبياً حتى لا تحشر الأجنة في الثقب أثناء القطع، ويتراوح عرض حد القطع عادة بين حوالي 3-26 ملمتر، كما هو موضح بالشكل (6-17). وتستخدم الأزاميل الضيقة في فتح الشقوق الضيقة ومجاري الخوابير.



الشكل 6-17 الإزميل الضيق

3- الإزميل ذو الأركان المربعة:

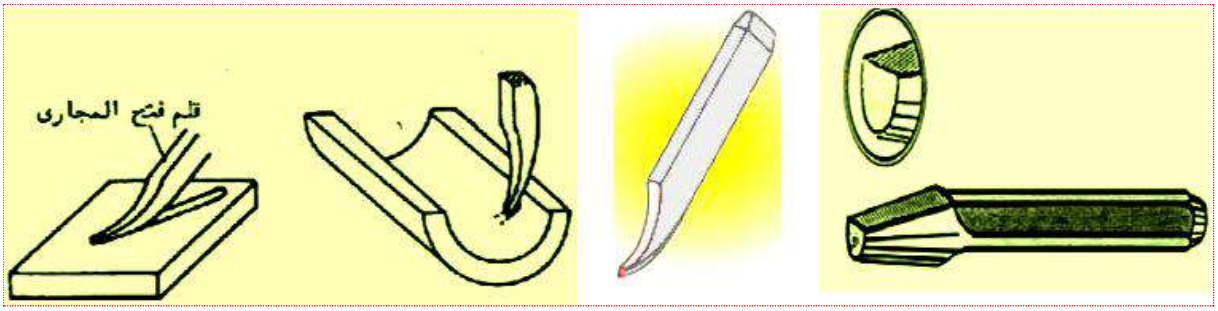
يكون شكل حد القطع مربع المقطع، لاحظ الشكل (6-18)، ويستعمل هذا النوع في تشغيل أركان الزوايا (القائمة) الداخلية بالتسوية، كذلك في قطع المجاري والقنوات ذات الأركان، والمجاري ذات السطوح المتخذة شكل حرف (V).



شكل 6-18 الإزميل المربع

4- الإزميل مدور الطرف (مستدير أو نصف مستدير):

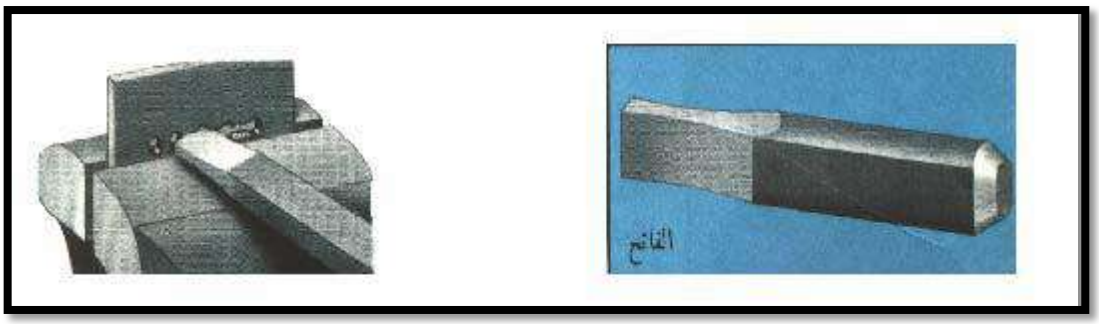
شكل حد القطع يكون بشكل نصف دائري أو ممكن أن يكون دائري، كما هو موضح بالشكل (6-19)، ويستعمل لفتح مجاري التزيت وفتح المجاري الحلزونية والمستقيمة.



شكل 6-19 الإزميل المدور

5- إزميل فتح المسافات بين الثقوب

ويسمى أيضاً الإزميل التراكبي، ويستعمل لفتح الثقوب وإزالة الحدود بينها في المشغولات المثقوبة سابقاً، كما هو موضح بالشكل (6-20).

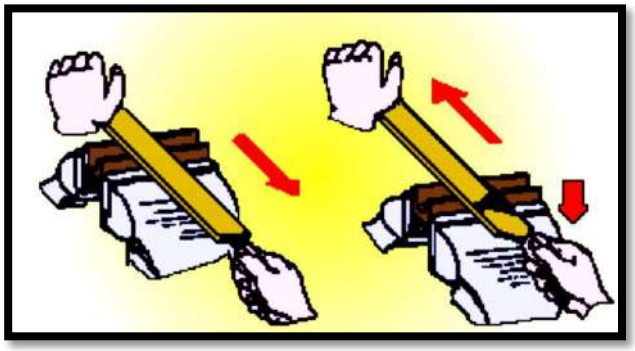


شكل 6-20 الإزميل التراكبي

ولا تقتصر الأزاميل على تلك المستعملة في قطع المعادن المذكورة آنفاً، فهنالك أزاميل الحفر، والأزاميل التي تعمل بالهواء المضغوط، والتي تعمل بالكهرباء، أما عن زوايا عملها، فإن زوايا العُدة للأزاميل التي تعمل بالهواء المضغوط تكون بحدود 60°، ويمكن لحدها القاطع أن يتخذ أشكالا متعددة، فمنها الحد المستقيم والعريض والضيق.

6-6 عملية البرادة Filings Operation

البرادة من العمليات اليدوية القديمة والمهمة التي مارسها الإنسان, وقد أخذت في التطور شأنها شأن العمليات الأخرى, وعملية البرادة عبارة عن إزالة أجزاء من الشغلة المراد بردها وتكون هذه الأجزاء على شكل رايش (نحاتة). ويستخدم المبرد في عملية البرادة ويعرف المبرد بانه آلة للقطع, يحوي أسنان تشبه الإزميل في تركيبها, مرتبة بنظام خاص يساعد على تسوية السطح. وتجري عملية البرادة اليدوية بتحريك المبرد حركة خطية ترددية ويكون الضغط عليه عند الدفع للأمام (مشوار القطع) ثم سحبه إلى الوراء دون ضغط (مشوار الرجوع), وتتجمع البرادة أو (الرايش) في الفراغات بين الحدود القاطعة للأسنان ومن ثم تأخذ طريقها إلى حافات الشغلة, وبتكرار العملية هذه يزال قسم من معدن الشغلة ويطلق على هذه الحركة حركة التغذية، كما هو موضح بالشكل (6-21).



شكل 6-21 عملية البرادة

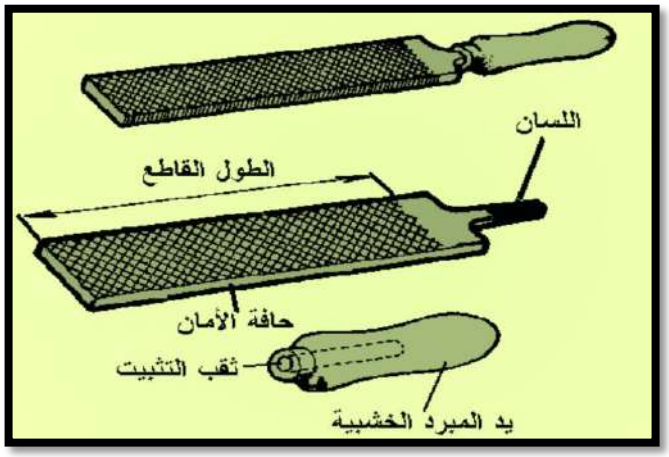
1-6-6 استعمالات البرادة Filings Uses

تستعمل عمليات البرادة للحصول على أسطح مستوية أو متوازية أو أسطح منحرفة (مائلة على بعضها البعض)، كما تستعمل في تشغيل الأجسام المنتظمة وغير المنتظمة، وفي إزالة الحدود الحادة للمشغولات، فضلاً على استعمالها في تشغيل القوالب المستخدمة في عمليات التشكيل وذلك باستعمال المبارد العادية والدوارة.

2-6-6 المبرد File

المبرد هو عبارة عن أداة قطع متعدد الأسنان، أي ذات حدود خاصة يمكنها من تسوية الأسطح، لكل سن من أسنان المبرد حد قاطع Cutting Edge يحتوي على زاوية جرف وزاوية خلوص، شأنها شأن الأدوات والعدد القاطعة الأخرى. الشكل (6-22) يوضح الأجزاء الأساسية للمبرد وتتمثل في:

1. طول المبرد File Length يعرف طول المبرد بطول الجزء القاطع، أي من طرف المبرد إلى كتفه، (أي بعد استبعاد المقبض)، ويتراوح طوله عادة بين (4-12إنج) ويصل إلى 14 إنج، وفي النظام المتري ما بين 100-355 ملليمتر.
2. المقبض ويصنع من الخشب أو الحديد ويحتوي على فتحة لتثبيت اللسان.
3. سطح المبرد ويحتوي على أسنان تمثل الحد القاطع ويختلف شكل الأسنان باختلاف نوع المبرد واستعماله.



الشكل 6-22 المبرد وأجزاءه

3-6-6 أنواع المبارد Files Types

أنواع المبارد كثيرة وبمقاسات مختلفة لتناسب عملية التشغيل المطلوبة من حيث شكل السطح المراد برده وصلادة المعدن ودرجة النعومة المطلوبة، وتصنف المبارد كما يأتي:

1. بالنسبة لعدد الأسنان في الإنج الواحد, فمنها المبارد الناعمة والخشنة.
2. بالنسبة لميل الأسنان فمنها المبارد ذات السن المفرد والمزدوج.
3. بالنسبة للطول, فمنها طوله 4, 6, 8, 10, 12 إنج أو اكثر.
4. بالنسبة للمقطع, فمنها المربع، الدائري، نصف الدائري، المسلوب، والمثلث.

المبارد الخشنة والناعمة:

تستعمل المبارد الخشنة لإزالة الزوائد حيث يتم ذلك بسرعة, ولكن تترك سطحاً خشناً, كما وتستعمل عند برادة المعادن الطرية نظراً لبعد المسافة بين الأسنان, إما المبارد الناعمة فتستعمل في العمليات الدقيقة حيث ينبغي الحصول على سطوح ناعمة. ويوضع عادة الطباشير على أسنان المبارد لتخفف من مقدرة الأسنان على إزالة الزوائد من القطعة في مرحلة التنعيم. والجدول (6-4) يوضح درجة خشونة المبرد بالنسبة لعدد الأسنان.

جدول 6-4 درجة خشونة المبرد بالنسبة لعدد الأسنان

درجة خشونة المبرد	عدد الأسنان / سم
خشن Coarse	5- 11
نصف خشن Bastard	7- 16
نصف ناعم Second Cut	7- 17
ناعم Smooth	13- 24
ناعم جداً Dead Smooth	22- 35

تصنيف المبارد من حيث شكل المقطع

من ناحية شكل المقطع يوجد المبرد المستوي والمستدير ونصف المستدير والمربع والمثلث ومبرد السكينة, وهذه أكثر الأنواع استعمالاً وكما في الأشكال التالية وأهم استعمالاتها.

1- **مبرد عدل** (مبطط): وهو يستخدم لتسوية الأسطح والمقاطع المستوية.

2- **المبرد ذو المقطع النصف دائري**: يستخدم للأسطح ذات الأشكال النصف دائرية.

3- **المبرد ذو المقطع الدائري**: يستعمل في برد الأسطح الأسطوانية والمقوسة الداخلية والمنحنية.

4- **المبرد ذو المقطع المثلث**: يستعمل لبرادة الأسطح التي تكون بزاوية 60 درجة

5- **مبرد السكينة**: لبرادة الأسطح التي تكون زواياها أقل من 60 درجة.

6- **المبرد ذو المقطع المربع**: يستعمل هذا النوع من المبارد في برادة الأركان المتعامدة.

تصنيف المبارد من حيث ميل أسنان المبرد

1- **أسنان مفردة القطع مائلة** ولها مجموعة واحدة من الأسنان (الحزوز) متوازية على سطح المبرد في اتجاه العرض وتميل بزاوية تتراوح بين 60–80 درجة لإزالة الرايش، وهذه الأسنان المفردة القطع مشكّلة بالطرق على جسم المبرد بالأجنة وتستعمل لبرادة النحاس والقصدير.

2- **أسنان ثنائية ذات قطع مزدوج لها** مجموعتان متوازيتان من الأسنان (الحزوز) تقاطعت فيما بينها ونتيجة لتقاطع الأسنان ينتج عنها عدد أكبر من حدود القطع وتميل إحدى المجموعتين بزاوية 55 درجة مع محور المبرد وتميل الأخرى مع 70 درجة, الأمر الذي يجعل الأسنان مرتبة خلف بعضها بنظام خاص بحيث يمكن لكل واحدة من الأسنان إزالة جزء من المعدن. ويستعمل هذا النوع من المبارد في تشغيل حديد الصلب وحديد الزهر.

3- **أسنان محببة** و توجد على صفيحة هذه المبارد نتوءات حادة الحواف على شكل أسنان تم تصنيعها بواسطة التفريز، ويستعمل هذا النوع من المبارد للجلود والأخشاب.

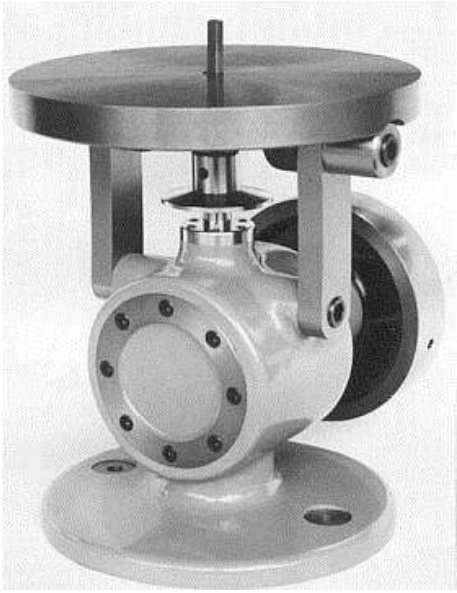
4- **أسنان مقوسة** مبارد ذات أسنان مقوسة لتسهيل خروج الرايش من الطرفين.

4-6-6 البرادة الآلية Machinery Filing

تجرى عملية البرادة الآلية باستخدام مكائن البرادة وهي كثيرة الأنواع، وذلك بحسب متطلبات العمل. ومن أهم أنواع مكائن البرادة هي:

مكائن البرادة ذات القرص الدوار

تستخدم مكائن البرادة ذات القرص الدوار في تشكيل الأسطح الخارجية للمشغولات المعدنية المختلفة باستعمال أقراص البرادة الدائرية الشكل المتعددة الأنواع. تتراوح سرعة هذا النوع من المكائن بين 100-300 لفة في الدقيقة، تتراوح أقطار الأقراص بين (50-300 mm)، كما يمكن استعمال هذه الأقراص على المخرطة في بعض الحالات الخاصة. كما هو موضح بالشكل (6-23).



شكل 6-23 ماكنة البرادة ذات القرص الدوار

مكائن البرادة الترددية

تستخدم مكائن البرادة الترددية في تشغيل الأسطح الداخلية والخارجية للمشغولات المعدنية على حدٍ سواء، وخاصة في أثناء تشغيل العُدد والقوالب (Jigs and Tools) وغيرها من وسائل الإنتاج الدقيقة. يتراوح عدد الأشواط الفعالة في هذا النوع من المكائن بين 50-350 شوط فعال (أي عملية قطع) في الدقيقة. صممت المبارد المستعملة في مكائن البرادة الترددية بأشكال مختلفة ودرجات خشونة متنوعة، وتتخذ أطوال المقادير التالية 100، 125، 150، 200 ملليمتر.

مكائن البرادة ذات الشريط

تتشابه ماكينة البرادة ذات الشريط مع ماكينة البرادة الترددية، حيث تقوم الماكينتين بنفس المهام، إلا أن الأولى تتفوق في قدرتها من حيث حركة القطع، لان الشريط يتحرك حركة دائرية في اتجاه واحد وهو أتجاه القطع. يمكن ضبط سرعة قطع الشريط الدائري في مجال قدره 10-100 متر في الدقيقة، لذلك فإن الأسطح الناتجة بعد التشغيل تكون أقل جودة بالمقارنة بالأسطح المشغلة على ماكينة البرادة الترددية، كما هو موضح بالشكل (6-24).

شكل 6-24 ماكنة البرادة الشريطية

6-7 القشط اليدوي Hand Scraper

يمكن تعريف عملية القشط بإنها عملية التسوية النهائية للسطوح التي تمت عليها عمليات تصنيعية سابقة للمعدن مثل اللحام أو السباكة وغيرها من العمليات، والغرض من عملية القشط هو إزالة الحزوز أو الخشونة أو البروزات الناتجة من عمليات التشكيل السابقة وجعل السطوح المعدنية ناعمة أو ملساء وذات ابعاد دقيقة قدر الإمكان. وتتم هذه العملية لتسوية السطوح الداخلية للأنابيب ومجاري الزيوت وغيرها من التجاويف وحواشي وحافات الأجزاء المعدنية لإعطاها مظهراً أفضل، كما يتم إستعمالها لغرض تسوية السطوح الخارجية وقشط المساحات المستوية أو المنحنية كما في أذرع التوصيل والوصلات الملحومة وغيرها.

أنواع المقاشط اليدوية

هناك أنواع عديدة من المقاشط اليدوية التي تستخدم لقشط أنواع مختلفة من السطوح مثل السطوح المستوية أو السطوح المستديرة ومن أهم أنواع المقاشط:

1. المقاشط المستوية ويكون لها حد واحد للقطع.
2. المقاشط المدببة ويكون لها ثلاث حدود للقطع
3. المقاشط النصف مستديرة وتكون على نوعين نوع له حد قاطع واحد والنوع الآخر يحتوي على حدي قطع. الشكل (6-25) يوضح الأنواع المختلفة من المقاشط اليدوية.

شكل 6-25 أنواع المقاشط اليدوية

6-8 التجليخ Grinding

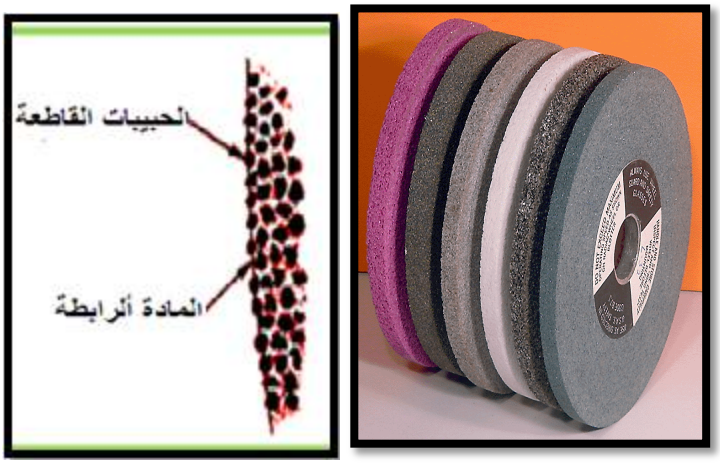
تعرف عملية التجليخ بانها عملية تشطيب دقيق بإزالة طبقة رقيقة جداً من المعدن عن طريق أداة تسمى حجر التجليخ وتختلف أداة التجليخ عن باقي أدوات القطع السابقة على أنها تملك آلاف من الحدود القاطعة. تُعد عملية الجلخ آخر عمليات التصنيع لأي قطعة فهي بمثابة تشطيب نهائي للأسطح، وهي عملية مهمة نظراً لأن عمليات التشغيل لا تعطي أسطح فائقة النعومة مهما بلغ استواء السطح، وتلك العيوب تؤدي لتراكم المواد والأكاسيد مما يؤدي إلى ضعف المادة، لذا فهي بحاجة لجلخ المادة لزيادة استواء السطح للدرجة المطلوبة.

6-8-1 أنواع مواد التجليخ اليدوي

1. **ورقة التنعيم ذات الخشونة المختلفة (جاف - رطب).**
2. **ورقة صقل (تجليخ) ذات النعومة العالية (جاف - رطب).**
3. **أقمشة صقل.**
4. **أحجار تجليخ (أقراص).**

أحجار التجليخ (الأقراص) Grinder Disk

تصنع أحجار التجليخ من مواد طبيعية Natured-Abrasives الحجر الرملي (الكوارتز)، أو الصنفرة (مسحوق كورنداوم) أو من مواد صناعية مثل كربيد السيلكون (SiC) أوكسيد الألمُنيوم (Al_2O_3) أما المواد الرابطة Bonds تستعمل في ربط الحبيبات القاطعة وتثبيتها في موضعها مثل المواد الزجاجية، الخزفية، السيليكات، الشيلاك، المطاط، الراتنجات، اللدائن الصناعية، كما هو موضح بالشكل (6-26) وتحت ضغط ودرجة حرارة معينة نحصل على قرص بسمك وقطر معين بحسب الاستخدام، وتكون هذه الأقراص على أشكال بحسب استخدامها وتعمل كل حبيبة كأداة قطع منفرد.



شكل 6-26 أقراص التجليخ، اليسار- مكونات أقراص التجليخ

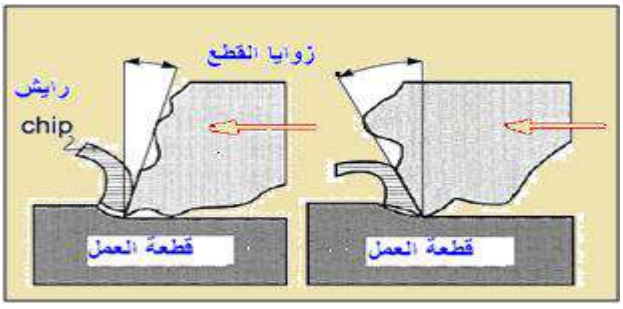
الجدول (6-5) يبين بعض الأشكال لأحجار التجليخ

جدول 6-5 بعض الإشكال المختلفة لأحجار التجليخ

1	اسطواني معتدل	9	اسطواني حلقي
2	اسطواني مجوف من جانب واحد	10	فنجاني معتدل
3	اسطواني مجوف من الجانبين	11	فنجاني مزدوج
4	اسطواني مقعر	12	فنجاني مخروطي
5	اسطواني غاطس	13	طبقي مقعر
6	اسطواني بارز	14	طبقي رقيق (لحد أسنان المنشار)
7	اسطواني مسلوب من جهة واحدة	15	قرصي لقطع أو فتح المجاري الضيقة
8	اسطواني مسلوب من الجهتين	16	اسطواني (لتجليخ التداخل)

عملية التجليخ

تتم عملية التجليخ بواسطة حبيبات التجليخ المتواجدة بشكل أقراص، إذ تشكل كل حبيبة أداة قطع تحتوي على زوايا أداة القطع، وهي زاوية الجرف والعُدة والخلوص، كما هو موضح بالشكل (6-27).



شكل 6-27 زوايا القطع لحجر التجليخ

ويعتمد حجم القطع على نوع الحبيبات ونوع المادة الرابطة ونوعية عملية التجليخ سواء كان خشن أو ناعم. وتتم عملية التجليخ من خلال دوران قرص التجليخ بسرعة معينة تتناسب مع المعدن المزال. ومن الممكن أن يكون رأس الآلة متحركاً والمشغولة ثابتة أو العكس. ونتيجة لعملية الحك أثناء دوران القرص الأمر الذي يؤدي إلى إنتاج كميات كبيرة من الحرارة، مما يوجب وجود سائل تبريد ليقوم بتبريد المشغولة حتى لا يؤدي ارتفاع درجة الحرارة لتجاوز سماحات التشغيل، كما أن ارتفاع الحرارة يمكن أن يؤدي إلى تأكسد أو احتراق المشغولة أو الحجر. ويجدر الإشارة إلى أنه في بعض الأحيان يكون عمق الجلخ صغيراً وفي هذه الحالة تكون كمية الحرارة الناتجة صغيرة يمكن تجاهلها ويمكن في هذه الحالة الاستغناء عن سائل التبريد. الشكل (6-28) يوضح عملية التجليخ.

شكل 6-28 عملية التجليخ

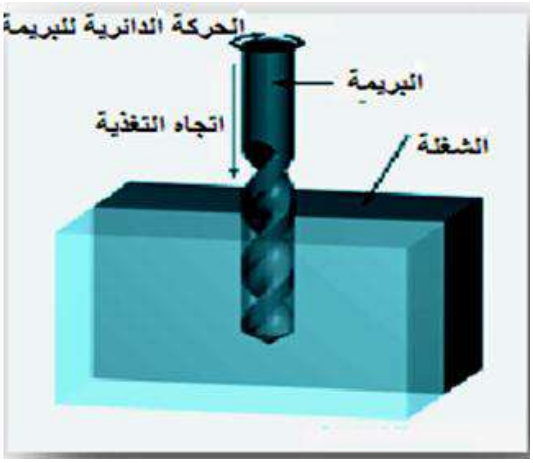
الغرض من التجليخ

1- التشطيب النهائي للسطوح بدرجة تنعيم عالية.
2- الوصول بالأبعاد والمقاسات إلى درجة عالية من الدقة.
3- سَن (شحذ)عدد القطع المختلفة وخاصة أقلام الخراطة وريش التثقيب وسكاكين التفريز.

9-6 التثقيب Drilling

تُعد عملية التثقيب من العمليات الميكانيكية القديمة في تشغيل المواد مثل الأخشاب، المعادن، اللدائن، وذلك بثقبها بواسطة عُدد ذات أشكال هندسية حسب الغرض المطلوب. وعادة تستخدم عملية التثقيب لعمل التجاويف الأسطوانية لاستعمالها في الربط بين معدنين بواسطة مسامير لولبية أو مبرشمة، وتشغل المثاقيب إما يدوياً أو بواسطة الطاقة الكهربائية أو بواسطة الهواء المضغوط.

الثقب هو تجويف أسطواني بأقطار مختلفة في المشغولات، ويتم ذلك باستعمال مكائن الثقب التي يثبت فيها المثقاب (البريمة)، كما في الشكل (6-29).



شكل 6-29 عملية التثقيب

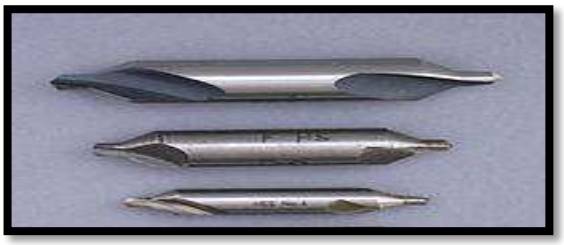
أداة التثقيب (المثاقب)

المثقب ويسمى أيضاً (البريمة) هو أداة القطع التي تقوم بعملية الثقب وتكوين تجويف في المعدن، وتصنع المثاقب من فولاذ العُدد السبائكي أو فولاذ السرعات العالية، وتكون ذات صلادة عالية لتتمكن من التغلغل داخل المعدن وثقبه.

أنواع المثاقب (البرايم)

1. المثاقب المستقيمة غير شائعة الاستعمال ولها استخدامات محدودة وخاصة مثل تثقيب المعادن اللينة كالبراص والنحاس النقي.

2. مثاقب (بريمة) المركز: وتستخدم لتحديد مراكز الشغلات المراد ثقبها لتكون دليل ارتكاز المثقب الحلزوني (البريمة) على الجزء المراد ثقبه ليمنع انحراف أداة الثقب، كما مبين في الشكل (6-30).



شكل 6-30 مثاقب المركز

3.المثاقب الحلزونية: وهي من الأنواع الشائعة الاستعمال في المعامل والورش، لاحظ الشكل (6-31).

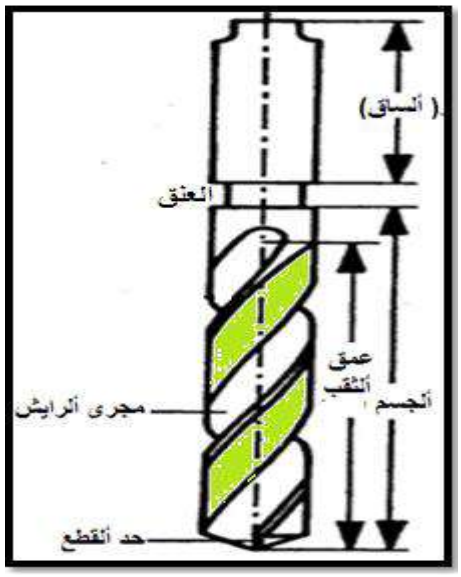
شكل 6-31 المثاقب الحلزونية

أجزاء المثقب الحلزوني

1- الجسم: وهو الجزء والرأس المخروطي للبريمة ويتكون الجسم من القنوات وتكون لولبية وفائدتها أنها تكون حافات القطع وتساعد على خروج الرايش وتوصيل سوائل زيت التبريد إلى منطقة القطع. ويحتوي على رأس حاد قاطع هو الجزء المخروطي القاطع في الريشة الذي يقلل من الاحتكاك في أثناء عملية التثقيب، ويتألف من حدّين قاطعين رئيسين، بزاوية ميل محددة بالنسبة للجسم. تتراوح زاوية ميل الرأس المخروطي القاطع في ريش التثقيب العادية بين47 درجة و 55 درجة، وذلك بحسب قطر الريشة.

2- العنق: وهي الجزء الواقع بين ساق ريشة الثقب والجسم ومهمته إحكام مسك الريشة ومنعها من الخروج من الماسك في المثقب (آلة التثقيب).

3- النصاب أو(الساق): وهو الجزء من البريمة الذي يثبت بمحور عمود الدوران ويكون إما مسلوباً أو مستقيماً ونهايته تكون مسطحة وتسمى اللسان، واللسان يعتبر مهماً لأنه يمنع انزلاق البريمة عند الثقب، كما هو موضح بالشكل (6-32).

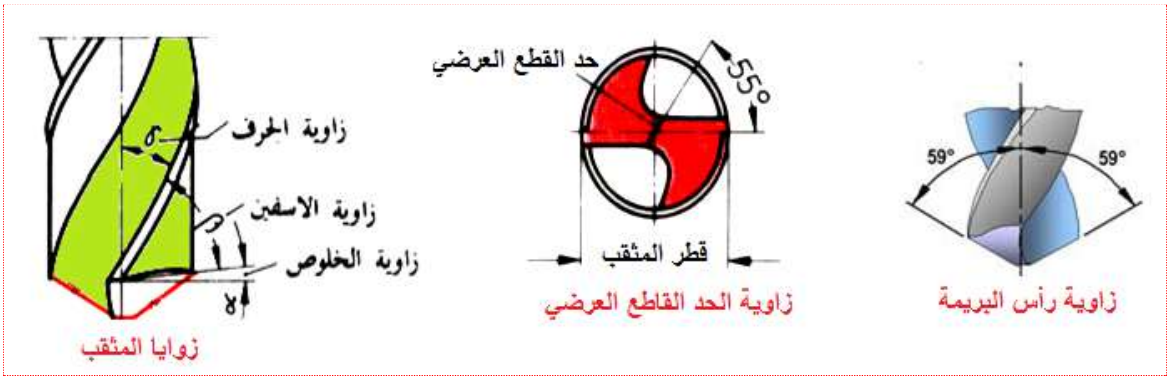


شكل 6-32 أجزاء المثقاب الحلزوني (ريشة المثقب)

أهم زوايا الحدود القاطعة للثاقب

لإنجاز الثقوب المطلوب تشغيلها، يجب أن يكون الثاقب (البريمة) ذو حدود قاطعة بزوايا حادة، لاحظ الشكل (6-33)، لإمكانية التغلغل داخل معادن المشغولات المختلفة وأهم هذه الزوايا هي:

1- زاوية الرأس: هي زاوية القمة وتعتبر من أهم زوايا الثاقب، يشكلها الحدان القاطعان الرئيسان وعادة تكون قيمة هذه الزاوية في المثاقب المصنوعة من فولاذ السرعات العالية مقدارها 118 درجة، وتختلف هذه الزاوية باختلاف معدن القطعة المراد ثقبها.



شكل 6-33 زوايا المثقب

2- زاوية الحد القاطع العرضي: تسمى أيضاً بزاوية دليل الثاقب ومقدارها يتراوح بين 45 - 55 درجة تقريباً، وهي تتكون نتيجة لتقاطع الحدين القاطعين الرئيسين (زاوية الرأس).

3- زاوية الجرف: وهي الزاوية المحصورة بين المحور ومماس الخط الحلزوني على سطح القطر الخارجي للثاقب وتساوي زاوية ميل الخطوة الحلزونية أو الشريط الحلزوني، وإذا كانت زاوية الجرف كبيرة هذا يعني زاوية ميل قناة الثاقب كبيرة، وهي ناتجة عن تشكيل القناة الملتوية.

4 - زاوية الخلوص الأمامية: تسمى أيضاً سطح التجليخ الخلفي بزاوية الرأس ومقدارها 6 درجة تقريباً، إذ لا يستطيع بدونها الحد القاطع الأمامي (زاوية الرأس) التغلغل داخل المعدن المراد ثقبه إلا إذا كانت هذه الزاوية حادة. وتكون قيمة هذه الزاوية 12 درجة عند ثقب المعادن الطرية مثل معدن الألمُنيوم والقصدير

السبائك التي تصنع منها ريش التثقيب (البريمة)

تصنع العُدد القاطعة ومن بينها ريش الثقب من سبائك ذات صلادة عالية جرت عليها معالجات حرارية خاصة لتعطي صلادة ومتانة عالية أثناء عملية القطع ومن هذه السبائك فولاذ السرعات العالية، راجع فصل المواد الهندسية لمعرفة العناصر السبائكية المضافة للفولاذ لهذا النوع، هذا النوع من السبائك يحافظ على صلادته العالية (64 روكويل) في درجات الحرارة العالية التي قد تصل إلى (600°C).

سرعة القطع

إن اختيار السرعة المناسبة للقطع تعتمد على مهارة العامل وخبرته فعندما تكون سرعة القطع أكبر من المعدل سوف تؤثر على المثقب، مما يؤدي إلى تثليمها أو كسرها، وعندما تكون سرعة القطع أقل من المعدل فان المثقب سوف يتآكل وينكسر وتحدث أصواتاً، يجب اختيار السرعة المناسبة للقطع:

يمكن تعريف سرعة القطع بانها السرعة المحيطة للبريمة ووحداتها متر / دقيقة.

$$v = \frac{\pi DN}{1000}$$

إذ أن: v سرعة القطع، D قطر المثقب، N عدد الدورات

وتعتمد سرعة القطع على نوع معدن البريمة (ريشة القطع)، ففي حالة استعمال المثقب المصنوع من فولاذ القطع السريع تكون سرعة القطع حوالي ضعف السرعة المستعملة للقطع في حالة استعمال البريمة المصنوعة من فولاذ العُدد. وتتوقف سرعة دوران آلة التثقيب على نوع وصلادة المعدن المطلوب ثقبه فكلما ازدادت صلادة المعدن كلما قلت سرعة القطع وبالعكس كما في الجدول (6-6).

جدول 6 -6 سرعة القطع في عمليات التثقيب

نوع المعدن	مثاقب من فولاذ العدد سرعة القطع m/min	مثاقب من فولاذ السرعات العالية سرعة القطع m/min
صلب متوسط الصلادة	12 إلى 16	20 إلى 35
صلب مرتفع الصلادة	6 إلى 9	15 إلى 20
حديد زهر	8 إلى 12	18 إلى 25
النحاس الأصفر	25 إلى 35	40 إلى 60
النحاس الأحمر	25 إلى 50	35 إلى 70
الألمُنيوم	40 إلى 80	50 إلى 150

أنواع مكائن التثقيب

تُعد مكائن التثقيب إحدى الآلات المهمة في الورش الميكانيكية، إذ لا يمكن الاستغناء عن عمليات التثقيب في أية عملية من عمليات التصنيع الميكانيكية. إن وظيفة مكائن التثقيب هي إعطاء المثقاب حركة دورانية والتغذية لتمكنه من التغلغل داخل المعدن وعمل التجويف. وأنواع مكائن التثقيب هي:

المثقب اليدوي: يستعمل في مواقع العمل ويكون على عدة أنواع بحسب طريقة التشغيل: بالطاقة الكهربائية، أو بالهواء المضغوط وأخرى يدوية، كما هو موضح بالشكل (6-34).

شكل 6-34 المثقب اليدوي والكهربائي

المثقب العمودي البسيط:

يستعمل للمشغولات المتوسطة الحجم نسبياً، وتتم التغذية فيها عادة بطريقة آلية أو بطريقة يدوية ويكون بسرعات مختلفة، الشكل (6-35) المجاور يوضح أجزاء المثقب.

شكل 6-35 أجزاء المثقب العمودي البسيط

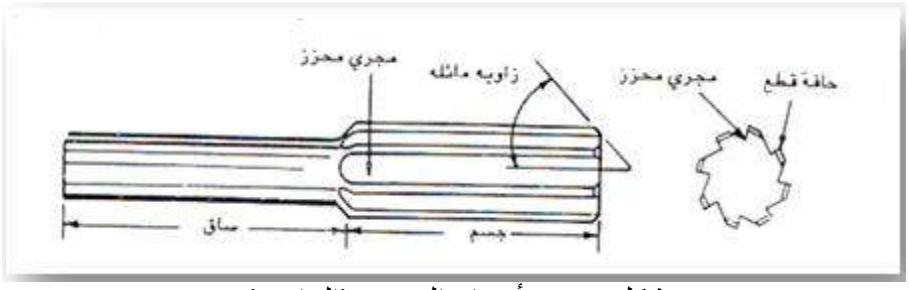
المثقب المنضدي الحساس:

يستعمل للشغلات الخفيفة وذات الأقطار الصغيرة لغاية قطر (12 mm)، وتتم حركة التغذية عادة بتحريك عمود الدوران يدوياً إلى الأسفل، وتكون سرعات القطع في هذه المكائن محدودة، الشكل (6-36) يوضح المثقب المنضدي.

شكل 6-36 المثقب المنضدي

6-10 التوسيع Reaming

التوسيع هو عملية التشطيب النِّهائي للتثقيب الذي تمَّ تشغيله لغرض الحصول على الشَّكل الهندسي, والبعد, ودرجة الدقة الخاصة بسطح الثُّقب لتركيب المسامير الأسطوانية والمخروطية وعمل الازدواج ذو الخلوص الدقيق للمحاور والأعمدة. وممكن أن تتم هذه العملية بشكل يدوي أو بشكل آلي، يتم استعمال عُدة توسيع وتنعيم ثقوب خاصة وذات اشكال وانواع مختلفة وتستعمل حسب نوع الثقب المطلوب. تجري عملية التوسيع (عادة بعد عملية التثقيب) وذلك من أجل الحصول على سطوح ملساء جداً ودقيقة القياس. تستعمل لهذه الغاية عادة (رايمر) ريشة التوسيع واحدة أو ريشتان على التوالي، ريشة توسيع خشنة وريشة للإنجاز النهائي. وعند اختيار قطر (الرايمر) يجب أن يكون أكبر قليلاً من قطر الثقب تقريباً بحدود 0.02 حتى 0.04 مليمتر. يتكون الرايمر من الأجزاء الأساسية الآتية، وكما هو موضح بالشكل (6-37): 1) الساق، 2) الجسم وهو عبارة عن جزء أسطواني له عدة حدود قطع تتراوح بين (16-18) حد قاطع وتساعد هذه الحدود على إزالة الرايش المتكون نتيجة عملية التوسيع، ويشكل الجزء الأمامي المائل لسن الرايمر حافة قاطعة تنتزع بها طبقة رقيقة من المعدن أما الجزء الآخر فيكون للتنعيم، ويتم استعمال سوائل تبريد وخاصة عند تنعيم ثقوب الأنواع المختلفة من الحديد، فعند توسيع ثقب في قطعة معدنية مصنوعة من الفولاذ يستعمل للتبريد سائل مستحلب أو زيت معدني، أما عند توسيع ثقب حديد الزهر أو البرونز أو النحاس الأصفر فتجري العملية من دون تبريد.



شكل 6-37 أجزاء الموسع (الرايمر)

أنواع ريش التوسيع (الرايمر)

يجهز الرايمر في أطقم من قطعتين أو ثلاث، فالأول موسع خشن، والثاني انتقالي والثالث ناعم إنجازي، وهذا الأخير هو الذي يعطي الثقب دقة البعد النهائي ونعومة السطح اللازمة، وعند التوسيع اليدوي للثقوب يجب أن يتطابق محورا الرايمر والثقب بدِقة وبدون أي انحراف، كما يجب إدارته بيسرٍ وبدون دفعات. تقسم ريش الموسع أو (ريش تنعيم الثقوب) بحسب شكلها إلى ريش مخروطية أو أسطوانية أو حلزونية، كما هو موضح بالشكل (6-38).

شكل 6-38 أنواع الموسع (الرايمر)

اللولبة Threading

اللولبة هي عملية قطع مجرى حلزوني (سن) على السطح الخارجي لجسم اسطواني كالأعمدة المدورة لإنجاز البراغي، أو قطع أسنان على السطح الداخلي لثقب اسطواني لإنجاز الصواميل، كما هو موضح بالشكل (6-39).

شكل 6-39 لولبة من الخارج ومن الداخل (البراغي والصامولات)

وتتم عملية اللولبة (القلوظة) أو التسنين بوساطة مجوعة من العُدد اليدوية تقوم بتشغيل قطع العمل الأسطوانية، والجزء الناتج يدعى باللولب (البرغي). تستعمل اللوالب في التثبيت أو نقل الحركة أو وصل القطع ببعضها البعض.

أنواع اللوالب يعتمد كل لولب أساساً على ما يسمى السن الحلزوني (القلاووظ)، على هذا الأساس تكون اللوالب بنوعين:

النوع الأول هو المستخدم في **التثبيت** Fastener، وينسب إليه كل لولب تثبيت أو ربط من أي نوع كان، من البراغي والصامولات إلى المسمار الملولب المستعمل في النجارة وحتى وصلات الأنابيب، كما هو موضح بالشكل (6-40).

شكل 6-40 أنواع البراغي والصامولات

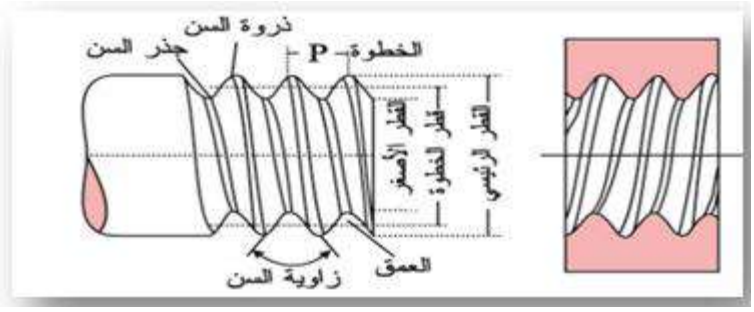
النوع الثاني فيستخدم أداة للتحريك وإحكام الوضع أو تقريب الأشياء بعضها من بعض، كعمود السحب الملولب Lead Screw، عمود المقود في السيارة، لولب المرفاع Jack Screw، لوالب العيار والضبط في المجاهر والأنابيب وأجهزة المساحة والرصد الفلكي ومآخذ المصابيح الكهربائية.

تصنيع اللوالب بحسب المواصفات العالمية

1-النظام القياسي الدولي (آيزو) ISO International Standards Organization

2-- نظام الأنابيب القياسي البريطاني British Standard Pipe- BSP. مصمم على أساس الإنج

أجزاء اللولب: يتكون اللولب كما هو موضح بالشكل (6-41) من الأجزاء الآتية:



شكل 6-41 أجزاء اللولب

1- السن Thread: هو الخيط الحلزوني (البروز) الذي تتألف منه اللولبة، ويقابله الأخدود أو المجرى (قاع اللولبة الحلزونية).

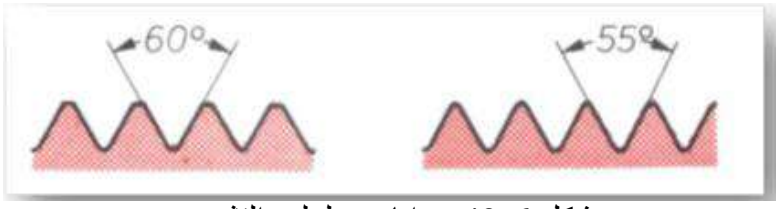
2- القطر الرئيسي Major Diameter D : هو قطر السن الخارجي من الذروة إلى الذروة.

3- القطر الصغير Minor Diameter d: وهو قطر جذر السن الخارجي أو ذروة السن الداخلي وقد يسمى أحياناً قطر النواة.

4- قطر الخطوة Pitch Diameter (PD) : هو قطر الأسطوانة المحورية بدون أسنان.

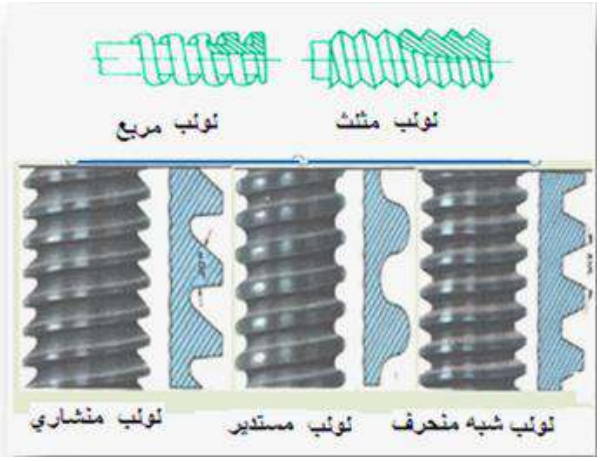
5- الخطوة Pitch (P): وهي المسافة المحورية بين نقطة على السن (ذروة السن عادة) والنقطة المقابلة لها على السن التالي (المجاور).

6- زاوية سن اللولب: هي الزاوية المحصورة بين جانبي السن في مستوى القطر، وهي بحدود 60˚ في النظام العالمي للوحدات و 55˚ في النظام البريطاني، بالنسبة للوالب التثبيت، لاحظ الشكل (6-42).



شكل 6-42 زوايا سن لولب التثبيت

أما أشكال أسنان لوالب الحركة فتوجد أنواع عديدة لشكل أسنانها، منها شكل الأسنان المثلث والمربع وشبه المنحرف، وهذه الأنواع هي الأكثر شيوعاً، وهنالك أنواع أخرى بحسب شكل السن منها الشكل المستدير والشكل المنشاري، أما السن المثلث فهو شائع الاستعمال إذ يستخدم لأغراض الربط، كما هو موضح بالشكل (6-43). وتعرف قياسات اللوالب بمصطلحات متفق عليها.



شكل 6-43 أشكال الأسنان

أسئلة الفصل السادس

1. ما المقصود بعمليات التشغيل، وبماذا تتميز؟ وما هي محدداتها؟
2. أذكر أهم المعايير الأساسية التي تتم بموجبها عمليات التشغيل، وما الغرض من معرفتها؟
3. هل لنوع المعدن تأثير على عملية القطع؟ وضح ذلك.
4. ما هي أهم العوامل التي تؤثر على شكل الرايش الناتج عن عمليات التشغيل؟ أذكر أنواع الرايش.
5. عدد أنواع المناشير اليدوية، وأين يستخدم كلٍ منها.
6. ما هي أنواع المناشير الآلية، وما هي آلية عمل كلٍ منها؟
7. ما المقصود بزوايا القطع بالأزاميل؟ عددها مع الرسم، ذاكراً قيمها المألوفة.
8. عدد أنواع الأزاميل من حيث الشكل، وضح أشكالها واستخداماتها.
9. ما المقصود بعملية البرادة؟ ولماذا تستعمل؟
10. كيف يتم تصنيف المبارد؟ وضحها مع الأمثلة.
11. ما المقصود بأسنان المبرد، وما هي أنواعها؟
12. ما المقصود بالقطع المزدوج والقطع المفرد.
13. عدد أنواع مكائن البرادة الآلية، وبين استخدامات كل منها.
14. ما هي أهم أنواع المقاشط اليدوية؟
15. ما هي أهم مقاشط السطوح غير المستوية؟ وضح ذلك.
16. ما المقصود بعملية التجليخ؟ وما هي أنواع مواد التجليخ اليدوي؟ وكيف تتم العملية؟ وما هو الغرض منها؟
17. ماهي أشكال وأنواع أحجار التجليخ؟
18. عدد أنواع المثاقب؟ وبين استخدامات كلٍ منها.
19. ماذا يقصد بزوايا الحد القاطع للثاقب؟ عددها معززاً إجابتك بالرسم.
20. عرف اللولب، وعدد أنواع اللوالب.
21. عدد أجزاء اللولب، موضحاً إجابتك بالرسم.
22. عرف ما يأتي:

1) سرعة القطع، 2) سرعة التغذية، 3) عمق القطع، 4) سلاح المنشار، 5) تفليج المنشار، 6) المبرد، 7) القشط، 8) البرغلة

الفصل السابع
وصل المعادن

تمهيد

يتناول هذا الفصل أهم عمليات وصل وربط المعادن بشكل دائمي ومؤقت بالطرائق المختلفة ويتضمن هذا الفصل جزئين، يتضمن الأول منها عمليات الربط المؤقت للمعادن المختلفة وتشمل الربط باللوالب والصامولات وتطبيقاتها والربط بالدسرة وأهم العُدد والأدوات اللازمة لإجراء هذه العملية. أما الجزء الثاني فيتناول طرائق وصل المعادن بشكل دائمي ويشمل عمليات اللحام والوصل باللصق، واستعراض أهم طرائق اللحام المختلفة.

الأهداف العامة

بعد الانتهاء من هذا الفصل سيكون الطالب قادرا على:-

1. معرفة أهم أنواع الربط الميكانيكي المؤقت والدائمي للمعادن.
2. معرفة أنواع اللوالب والمسامير والصامولات.
3. التمييز بين الربط باللوالب والصامولات.
4. التمييز بين أنواع البراغي، وكيفية استعمالها.
5. التعرف على مسامير التثبيت وأهم أنواعها.
6. معرفة مفهوم الربط بالدسرة، والتمييز بين أنواع الدسرات، وأهم العُدد والأدوات المستعملة في هذه العملية.
7. معرفة أهم عمليات البرشمة وتطبيقاتها.
8. معرفة مبادئ اللحام الأساسية.
9. التمييز بين عمليات اللحام المختلفة، وأهم وصلات اللحام.
10. التعرف على أهم أنواع اللواصق وتطبيقاتها، والتمييز بين بين طرائق اللصق المختلفة.

وصل المعادن
Metal Assembly

1-7 مقدمة Introduction

من أهم أهداف وصل المعادن هو الحصول على منتجات كبيرة مركبة أو منتجات معقدة الشكل عن طريق وصل أجزاء بسيطة في شكلها أو صغيرة، وعلى سبيل المثال لا الحصر يتم تشييد الجسور والعبارات والسقوف الحديدية، وكذلك خطوط أنابيب نقل المياه والبترول من خلال تجميع قطع صغيرة بسيطة وتتجمع وتوصل هذه القطع مع بعضها البعض للحصول على الشكل النهائي المطلوب.

يتم توصيل الأجزاء المعدنية مع بعضها البعض بطرائق مختلفة، ويتم اختيار الطريقة المناسبة بحسب وظيفة المنتج والغرض من استخدامه. ويمكن أن يتم الوصل بين الأجزاء المراد تجميعها بالطرائق الميكانيكية بصورة غير دائمية باستخدام مسامير مقلوظة وصواميل، أو بصورة شبه دائمية باستخدام الربط بالداسرة أو طي وثني الصفائح المعدنية أو مسامير البرشام، أو وصل المعادن بصورة دائمية باستخدام اللحام.

2-7 الربط الميكانيكي Mechanical Assembly

قديماً يتم ربط القطع المعدنية بعضها ببعض بعملية البرشمة Riveting بنوعيها على الساخن أو البارد. وكان لابتكار اللحام بالقصدرة Soldering دور كبير في تطوير تقنيات الوصل والربط في زمن قياسي، غير أن فصل (تجزئة) القطع الملحومة صعب أو غير ممكن عملياً. وكان ابتكار المسامير الملولبة Screws والبراغي Bolts والصواميل Nuts وغيرها حلاً لهذه المشكلة. وتعددت فيما بعد أشكال القضبان الملولبة الأسطوانية والمخروطية وأنواعها وبتصاميم مختلفة، حسب طبيعة استخداماتها والغاية منها، كما تنوعت المواد المعدنية التي تصنع منها لتحتل الموقع الأول في صناعة الآلات والمكائن، ولا يوجد جهاز واحد في العالم اليوم لا يحتوي على لوالب من نوعٍ ما. وتستخدم اللوالب (البراغي) في عمليات توصيل قطع المنتجات بشكل واسع ثم تفكيكها بدون إتلاف أي جزء من أجزائها، فضلاً على استخدامها في نقل القدرة والحركة (تحويل الحركة الخطية إلى حركة دائرية وبالعكس) وفي (أجهزة القياس)، ويسمى هذا النوع من الربط القابل للفصل (بالربط الميكانيكي) كالربط بالبراغي والصواميل والخوابير لإعطاء الأجزاء حرية ويمكن استخدام اللولب والصامولة في تجميع الأجزاء المثقوبة ثقباً نافذاً بأن يكون أحد الثقوب ملولباً (سن داخلي) ليعمل عمل الصامولة. في الربط الميكانيكي يمكن فك الوصلات وتركيبها مرة ثانية واستعمالها دون حدوث أي ضرر للقطع المعدنية الموصولة ومن طرائق الربط الميكانيكي الآتي:

7-2-1 التوصيل باللوالب Threaded Fasteners

اللولب (أو البرغي أو المسمار) أداة ربط تتميز بأخدود حلزوني Helical Groove ذي مقطع منتظم حول سطح أسطواني يسمى سن اللولب الخارجي External Thread مصمم ليتداخل مع سن داخلي Internal Thread لصامولة متحركة أو في جسم ثابت. غالباً ما يكون للبراغي رؤوس، يصمم شكل مقطعها لكي يدار بواسطة مفتاح أو مفك، والرأس يكون بقطر أكبر من قطر الجسم، ليمنع الدخول لأعمق من طول اللولب عدا استثناءات لبعض الأشكال، ويكون اتجاه دوران اللوالب (السن اليمين) مع عقارب الساعة عند الضبط. أما عند تعرض اللولب لعزم دوران بعكس اتجاه عقرب الساعة فأن اللولب ذو السن اليسار يكون هو الاختيار الأفضل. لاحظ الشكل (7-1).

شكل 7-1 لولب مع صامولة، الوسط- بعض أنواع البراغي، اليسار- برغي مع صامولة (يمين ويسار)

وتستخدم اللوالب بصورة عامة لأغراض الربط مثل لوالب المكائن ولوالب الأخشاب ويكون شكل السن لجميع براغي الربط مثلث، لثباتها الجيد عند التجميع وعدم انحلالها بفعل الاهتزازات، ويتميز هذا النوع من السن بوجود جزء محدب في القمة وفي قاع السن مما يزيد في قوته ومتانته. يمكن للمسمار أو البرغي أن يكون مسنناً بنسبة كبيرة من طوله بينما الأغلب أن يكون تسنينه لمدى أكبر بقليل من ارتفاع الصمولة، وتكون البراغي على أشكال عدة وأنواع مختلفة، لاحظ الشكل (7-2).

شكل 7-2 سن اللولب، اليسار- بعض أنواع البراغي

ويكون للصامولات نفس المواصفات القياسية والإنتاجية للبراغي، إذ تكون مسننة من الداخل، وهي على أشكال عدة وأنواع مختلفة، كما هو موضح بالشكل (7-3) وتعد الصامولة السداسية والصامولة الرباعية الأكثر استخداماً وانتشاراً، أما رأس الصامولة السداسية فهو منشور سداسي قائم ومشطوف من الأعلى والأسفل بزاوية 30°.

شكل 7-3 بعض أشكال الصامولات

ويمكن تقسيم مجموعة البراغي والصامولات بحسب حجم السن إلى ناعم وخشن إذ يتم تمييزها عن بعضها في معرفة عدد الأسنان في مسافة محددة، ويستعمل السن الخشن عندما تكون الحاجة للفك وإعادة التركيب مستمرة ويكون مناسباً للمعادن غير الحديدية ولا يفضل استخدامها في حالة وجود الاهتزازات بل يستخدم السن الناعم.

طرائق الربط بالبراغي بحسب شكل البرغي وكما يأتي:

البرغي العادي Bolt: ويكون له رأس سداسي يستخدم لوصل جزأين بثقب نافذ لأحدهما وثقب غير نافذ للجزء الآخر يكون مسنناً (سن داخلي) ويراعى أن يكون عمق الثقب المسنن أكبر من قطر البرغي (لضمان تداخل أكبر بعدد الأسنان) وأقل من طول الجزء المسنن من البرغي (لماذا؟)، وتوجد أنواع مختلفة بشكل الرأس وطول الجزء المسنن.

مسمار ملولب Stud Bolt: ويكون مسنناً من الطرفين، يثبت الأول في ثقب مسنن (في إحدى القطعتين مثل جسم الآلة) والطرف الآخر يقفل بواسطة صامولة بعد نفوذه من خلال ثقب في القطعة الأخرى المطلوب تثبيتها.

البرغي والصامولة Bolt and Nut: ويكون له رأس سداسي يستعمل لتوصيل جزأين معدنيين من خلال ثقب نافذ في كليهما ويقفل بصامولة، ويراعى أن لا يكون قطر الثقوب أكبر من القطر الخارجي للبرغي لتجنب حدوث زحف لأحد القطع مما يولد قوى قص على البرغي.

مسامير الضبط والضغط (الأصابع الملولبة): تستعمل لمنع الحركة النسبية بين الأجزاء في الآلات، ووظيفتها منع دوران جزء نسبةً لجزء آخر (بكرة مثبتة على عمود محور)، فضلاً على استخدامها لغلق فتحات الزيت، وتكون بدون رأس بل تكون مجوفة برأس مفتاح حرف L والذي يستعمل للفتح والغلق.

المسامير الملولبة Screw: تتميز عن سابقتها Bolt باحتوائها على شق طولي Slot (أو شقين متعامدين) في السطح العلوي لرأس المسمار، يستخدم المفك بنوعيه لغرض الضبط، وقد يكون السن على طول جسم المسمار أو على جزء منه، ويكون شكل رأس المسمار بتصاميم متعددة كالنوع العدل أو المحدب أو المخروط، وتستخدم في ربط القطع غير المعدنية ولها أشكال كثيرة.

7-1-2-1 حلقات التأمين Washers

تعتمد فكرة الربط باللوالب على مبدأ الاحتكاك بين سطوح الأسنان المتداخلة للبرغي والصامولة أو السن الداخلي للثقب، وكلما زادت قوة الشد بينهما زاد التداخل بين تلك الأسطح (المائلة)، إلا أنها غالباً ما تتعرض لقوى وإجهادات متكررة تسبب اهتزازات تؤدي لفتح تلك اللوالب وانحلالها، ولضمان استمرارية عملية الربط بإحكام تستخدم وسائل لتأمين الربط توضع تحت اللولب أو بينه وبين الصامولة لتهيئة أسطح ملساء فضلاً على أنها تضمن توزيعاً منتظماً للقوى في كل من البرغي والصامولة وتبقي حالة الضبط مستقرة، ومن تلك الوسائل وضع صفائح على شكل حلقات ملساء أو محززة أو حلقات نابضيه، ويمكن اللجوء إلى وضع صامولة أخرى بعد صامولة الضبط الرئيسة تعمل كقفل لمجموعة الربط، لاحظ الشكل (7-4).

شكل 7-4 أنواع حلقات التأمين

7-1-2-2 مسامير التثبيت

تُعد مسامير التثبيت وسيلة لتثبيت الصواميل بعد إتمام ربطها وشدها لتحول دون ارتخاءها أو فكها وتدخل هذه المسامير خلال ثقوب أو شقوق الصواميل أو البراغي، كما هو مبين في الشكل (7-5).

شكل 7-5 أنواع مسامير التثبيت

7-1-2-3 مفاتيح الربط اليدوية Hand Tools

مفاتيح الربط اليدوية عبارة عن أدوات تستخدم باليد لضبط أو فتح الصواميل والبراغي في الوصلات الملولبة، يناسب حجمها أبعاد رأس البرغي أو قطر الصامولة تماماً لمنع التشوه المحتمل في أشكال رؤوس اللوالب عند الضبط والفتح، ومنها مفتاح ذو الطرف الواحد أو الطرفين Flat Spanner، يستخدم مع البراغي والصواميل التي تكون رباعية أو سداسية الشكل ويتم استخدامه مباشرة ووفق القياس المطلوب. وتوجد أنواع ذات نهايات حلقية Ring Spanner لزيادة التماسك مع رأس البرغي السداسي إذ تحيط بكامل الأوجه بدلاً من وجهين، وتكون هذه المفاتيح متدرجة القياس تتناسب مع قياس البراغي والصامولات، لاحظ الشكل (7-6).

شكل 7-6 أشكال مفاتيح الربط

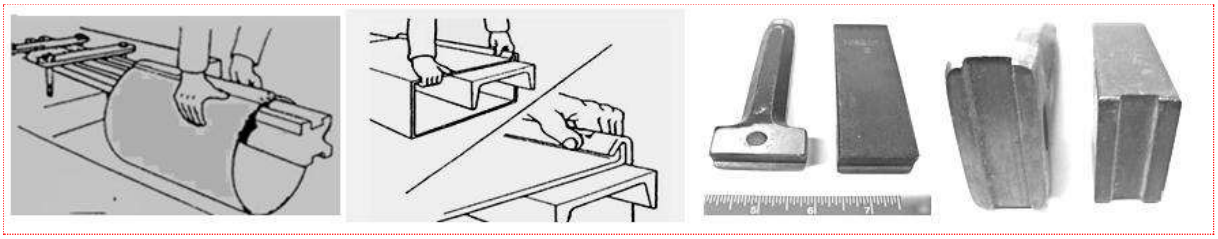
وتستعمل المفكات ذات اللقم Socket Spanner مختلفة القياس على شكل أسطوانة فيها تجويف مضلع (رباعي أو سداسي) من الداخل تركب على ذراع ثابت أو مفصلي لزيادة عزم الفتح أو الضبط لتوفر مرونة وسهولة في العمل، ويوجد منها بنفس التصميم المفتاح الصندوقي Box Spanner للبراغي الغائرة في موقع يصعب الوصول له بواسطة المفكات أو المفاتيح الأخرى إن لم يكن مستحيلاً، ويكون على شكل عمود بأطوال مختلفة أحد طرفيه أو كلاهما مجوف مضلع ومزود بقبضة قوية تولد عزماً دائرياً.

أما في حالة المسامير الملولبة ذات الرأس الغاطس فصممت لها مفاتيح على شكل قضبان مضلعة أحد طرفيها (أو كلاهما) معقوف بزاوية ليكون الطرف الآخر ذراع عزم، وتسمى Allen Key، وتتنوع المفاتيح لتناسب كثيراً من التطبيقات للحصول على قوة ضبط عالية، لاحظ الشكل (7-7).

شكل 7-7 أنواع المفاتيح ذات اللقم ومفاتيح حرف L

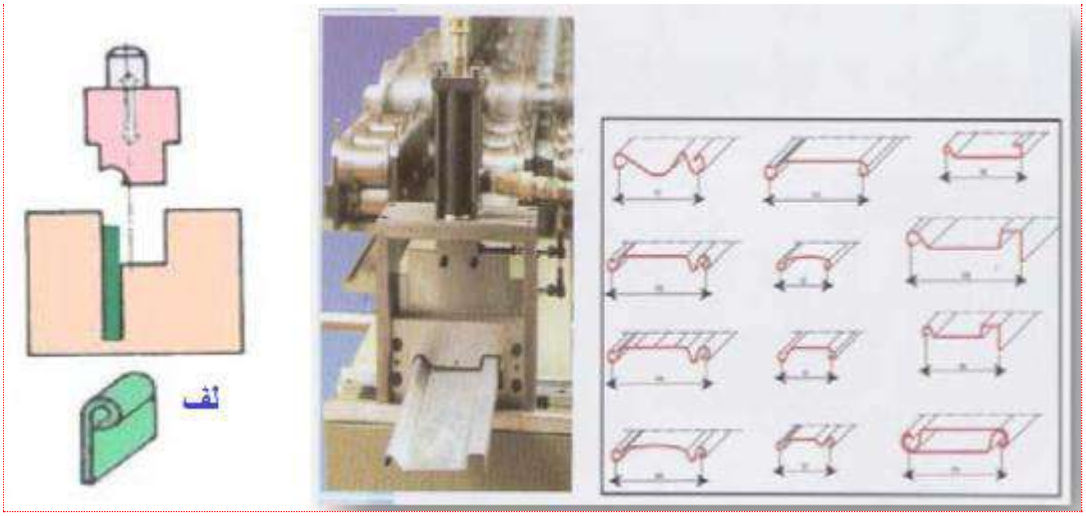
7-2-2 الوصل بالدسرة Seaming Joining

هي عملية وصل اطراف الألواح المعدنية الرقيقة, وذلك بعمل ثنايا مختلفة بحسب شكل ومكان الوصل (بالجانب أو الركن أو القاع)، وتُعد هذه العملية من عمليات السمكرة بطريقة الثني المتلابس والذي يحدث تغيراً في شكلها دون التغير في أبعادها الحقيقية. فائدة الدسرة هي لربط قطع الصفيح مع بعضها البعض، وكذلك يمكن بواسطة هذه العملية الحصول على الحوافِ الجيدة لمادة العمل. كما أن المعادن التي تستعمل في هذ العملية يجب أن تكون ذات مرونة وقابلية جيدة للثني. ومن أهم العُدد اليدوية والآليات المستعملة في عملية الدسرة هي المطارق بأنواعها المختلفة، وقوالب تشكيل خاصة تشبه مساند المطارق، لتشكيل الثنايات المختلفة والحزوز للصفائح، كما في الشكل (7-8).



شكل 7-8 أشكال قوالب الربط بالدسرة، الوسط - لعمل الزوايا القائمة، اليسار- لعمل المقاطع المقوسة

ويمكن أيضاً استخدام مكائن وآلات خاصة لتكوين الحزوز المضلعة (الطي والثني)، كما هو موضح بالشكل (7-9).



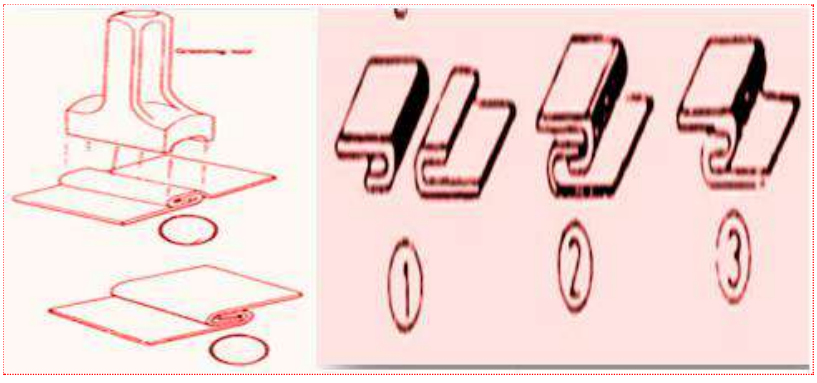
شكل 7-9 ماكنة لعمل الدسرات

مراحل عمل دسرة بسيطة، لاحظ شكل (7-10):

1- يتم في البداية تحضير الحافات لعملية الثني.

2- تقريب الحافات من بعضها البعض بعد عملية الثني، وكل طرف يكون عكس الطرف الآخر.

3- ربط الأطراف مع بعضها البعض بعد تسليط قالب التشكيل وبضغط معين على القطعتين سوف يتم الحصول على قطعة مطوية بشكل معين.



شكل 7-10 مراحل عمل دسرة بسيطة

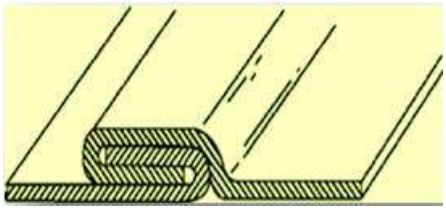
7-2-2-1 أنواع الدسرات

يوجد العديد من الدسرات تختلف عن بعضها البعض بحسب استخدامها، لاحظ الجدول (7-1).

جدول 7-1 أنواع الدسرات شائعة الاستخدام

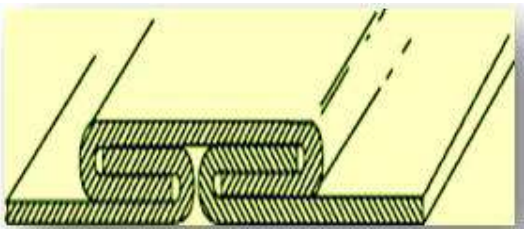
الدسرة المخصرة

وتستعمل في وصل الأسطوانات والمواسير المصنوعة من الصفائح المعدنية، والتي تستعمل في مجاري تصريف الغازات والمياه.



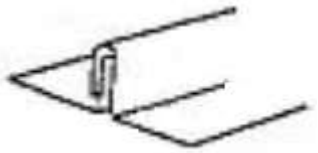
الدسرة بغطاء

تستخدم عادة في وصل أجزاء مجاري الهواء.



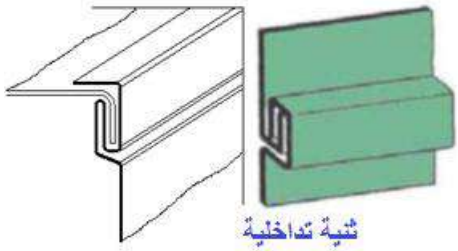
الدسرة القائمة

تستخدم في وصل مجاري الهواء الطويلة التي يحتاج بناؤها إلى صفيحتين أو أكثر.



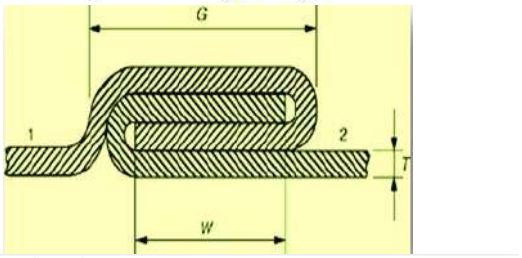
دسرة بتسبورج

وتستخدم في بعض الأركان المربعة والمستطيلة.



الدسرة الجانبية (السحاب)

وتُعد من الوصلات غير الدائمة وتستخدم في صناعة الدواليب (تركيب الجوانب مع الظهر).

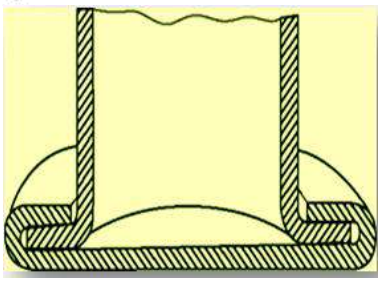


الدسرة حرف S الخلفية

وتستعمل في وصل الأركان أو الأجزاء التي توجد في الأماكن التي يصعب الوصول لها.

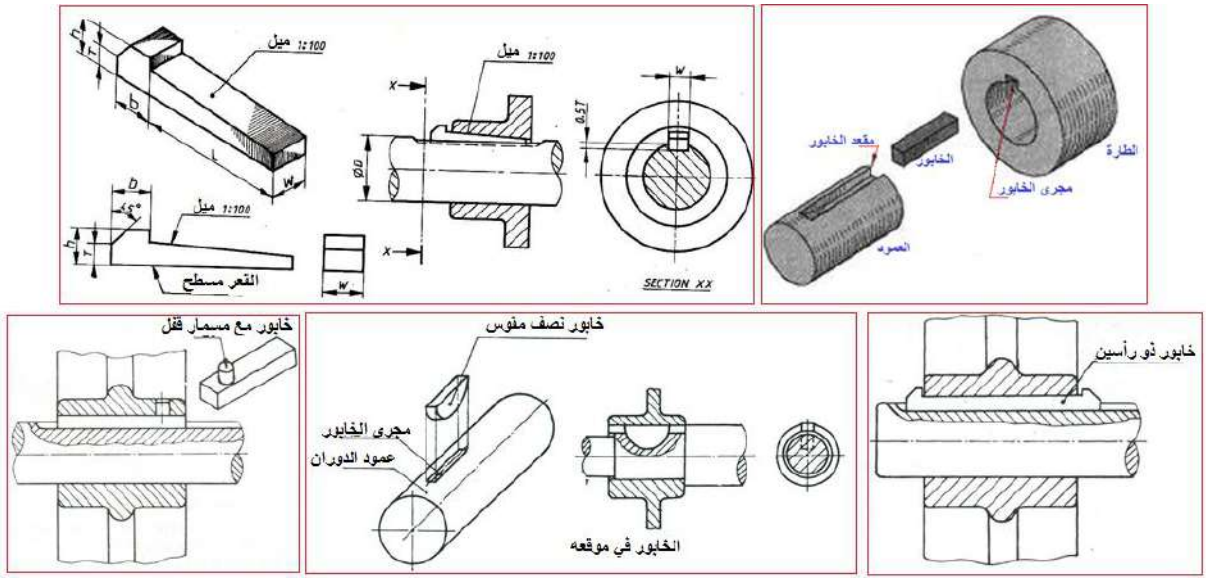
دسرة القاع

تستعمل هذه الدسرة في وصل قيعان الأجسام الأسطوانية.



7-2-3 الربط بالخوابير Keys Fasteners

يستخدم الربط بالخوابير للأجزاء المتحركة الدوارة عادة مثل ربط المحاور مع التروس Gears أو العجلات Wheels أو الطارات Pulleys، ومجرى الخابور عبارة عن شق في العمود أو المحور والأجزاء المتحركة معه مثل الترس في موقع الربط، حجم هذا الشق يتناسب بشكل كبير مع قطر العمود، وتحشر مع هذا الشق القطعة المعدنية (الخابور) التي تصنع عادةً من الحديد المطروق أو الفولاذ المطاوع بمقاطع مربعة، مستطيلة، دائرية، أو شبه دائرية، بحيث تكون مقاساتها متوافقة مع الشق في العمود والترس، كما هو موضح في الشكل (7-11). عندما يكون الخابور في موقعه، سيعمل على منع الحركة الدورانية النسبية بين الأجزاء المعشقة، وفي بعض الأحيان سيمنع الحركة النسبية المحورية بين الأجزاء أيضاً.



شكل 7-11 بعض أنواع الربط بالخابور

علاقة حجم الشق مع العمود هي كالآتي:

$$W = \frac{D}{4} \qquad T = \frac{D}{6} \qquad L = \frac{D}{1.5}$$

إذ أن : W، T ، L ، عبارة عن عرض وسمك وطول الشق على التوالي، D قطر العمود

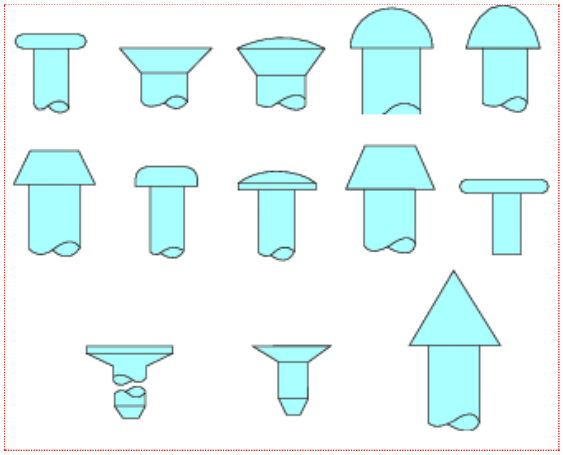
7-2-4 البرشمة Riveting

يُعد الربط أو الوصل بالبراشم أحد أنواع الربط الميكانيكي شبه الدائمية، ويستخدم لوصل عناصر الإنشاءات المعدنية وصفائح المراجل والخزانات وفي صناعة المركبات وغيرها من التطبيقات. وكمثال على الربط بالبرشمة هو الجسر الحديدي في وسط مدينة بغداد، إذ تم تشييد الجسر وربطت هياكله الحديدية بهذا النوع من الربط. مميزات الربط بالبرشمة هي: 1- معدل إنتاجية عالية، 2- كلفة قليلة، 3- سهولة في التنفيذ، 4- اعتمادية جيدة.

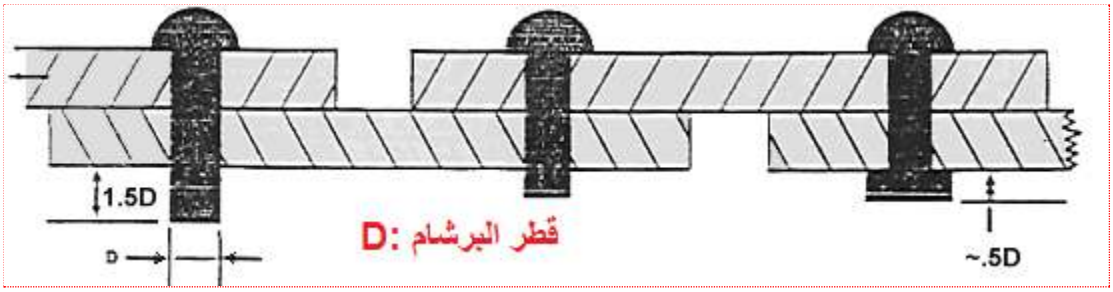
البرشمة تأتي بالمرتبة الأولى في عمليات التجميع بصناعة الطائرات والمركبات الفضائية، إذ توصل جميع قطع أبدان الطائرات والمركبات الفضائية بهذه الطريقة. يمتاز الوصل بالبرشمة عن الربط باللحام مثلاً، كون عدم حاجة عملية الوصل بالبرشمة إلى أية معالجات حرارية خاصة والتي تطلبها عملية اللحام، بسبب تأثير حرارة اللحام على خواص القطع المعدنية الملحومة.

البرشام عبارة عن محور أسطواني (مسمار) ذو رأس واحد، لاحظ الشكل (7-12)، يستعمل لوصل قطعتين أو أكثر من خلال إمرار المحور بالثقب النافذ بقطع العمل، ومن ثم يتم كبس المسمار من الجهتين بوساطة آلات خاصة فيتشكل من الجهة الأخرى رأس آخر وتكون عملية التشكيل أما على البارد أو على الساخن بحسب تصميم المعمل وبحسب نوع معدن البرشام. لا يمكن تفكيك القطعة المربوطة بهذا النوع إلى بعد تكسير وإتلاف البراشم نفسها، ولذا تُعد عملية الربط بالبرشام من عمليات التجميع الدائمية لهذا السبب، ولكن في هذا الكتاب صنفت على أساس الربط شبه الدائمي لغرض مقارنتها مع عمليات اللحام والتي لا يمكن تفكيك القطع الملحومة إلا بعد إتلاف المعدن الملحوم الأساس، وهذا هو الفرق ما بين العمليتين.

محددات الوصل بالبرشمة هي في نوع المفصل، إذ يستعمل بشكل رئيس مع المفصل التراكبي، ولا يمكن استعماله مع المفصل التناكبي (التقابلي). الشكل (7-13) يوضح عملية وصل الأجزاء الميكانيكية بالرشمة.



شكل 7-12 بعض أهم أنواع رؤوس البراشم



شكل 7-13 مقطع تجميعي الربط بالبرشام

3-7 اللحام Welding

هو عملية ربط قطعتين معدنيتين أو أكثر عند منطقة أسطح تقابلهم بتسليط مناسب للحرارة أو الضغط أو كليهما معاً. وتكون المجموعة الناتجة عبارة عن وصلة دائمة لا يمكن تفكيكها إلا بإيقاع الضرر بالأجزاء المربوطة، أغلب عمليات اللحام تتم بتسليط حرارة فقط دون تسليط ضغط، وأخرى تتم بتسليط حرارة وضغط، ويبقى هنالك عمليات لحام تتم بتسليط ضغط فقط دون تسليط حرارة خارجية، كما سيتم إيضاحها في الفقرات اللاحقة عند التطرق لموضوع تصنيف طرائق اللحام. في بعض عمليات اللحام لابد من استعمال مادة إملاء مضافة (Filler Material) لإتمام عملية اللحام. مجموعة الأجزاء المربوطة في هذه العمليات تسمى بالملحومة (Weldment). ينجز اللحام عادة للأجزاء المصنعة من المعدن نفسه، وفي بعض التطبيقات يمكن أن يتم لأجزاء مصنوعة من معادن أو سبائك مختلفة

1-3-7 مبادئ اللحام Welding Principles

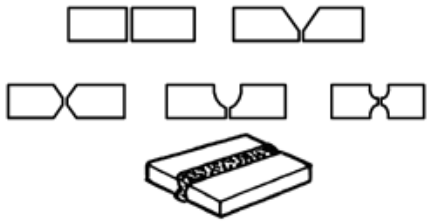
تتم عملية اللحام من خلال أحد المبادئ الآتية:

- يتم صهر جزء من معدني الأساس بواسطة مصدر حراري حيث تتكون منطقة منصهرة (سائلة) بين القطعتين تسمى بركة اللحام Weld Pool وعند تصلب هذه البركة تتكون وصلة اللحام، ويمكن إضافة مادة إملاء Filler Metal (مادة خارجية) إلى البركة لتسهيل عملية اللحام والحفاظ على بركة اللحام من الأكسدة ولملء الفراغ بين القطعتين، أو أن تتم عملية اللحام دون الحاجة إلى المادة المضافة، وتسمى عملية اللحام بدون المادة المضافة بعملية اللحام المتجانسة. هنالك طرائق عديدة للحصول على المصدر الحراري والذي قد يكون مصدر كهربائي مثل لحام القوس الكهربائي أو الطاقة الكيميائية مثل اللحام بالمشعل أو بمصادر أخرى. جميع هذه الطرائق تقع تحت أسم مجموعة لحام الحالة السائلة.
- يتم رفع درجة حرارة المعدن الأساس إلى درجة الاحمرار دون درجة الانصهار للمعدن الأساس، ثم يتم ضغط طرفي المعدن فيتداخل المعدن الذي يكون بدرجة لدونة عالية وتتكون وصلة اللحام. والتي تسمى عملية اللحام بالضغط، وقد تجري العملية بدون التسخين المسبق. وهنالك طرائق عديدة للحصول على اللحام بدون انصهار المعدن الأساس جميعها تقع تحت عنوان لحام الحالة الصلبة، مثل لحام الضغط، لحام الاحتكاك، لحام الانتشار وغيرها.
- كذلك يمكن أن تتم عملية لحام معدنين دون صهرهما أو ضغطهما وذلك عن طريق إذابة معدن إضافي تكون درجة انصهاره أقل من المعدن الأساس وتسمى هذه العملية بلحام المونة Brazing أو لحام القصدرة Soldering، هذه الطرائق تسمى لحام الحالة السائلة – الصلبة.

هنالك عدد من وصلات اللحام، والمقصود بوصلات اللحام هي كيفية تصميم القطع المراد لحامها وطريقة تثبيتهما، ومن أنواع هذه الوصلات: الوصلة المتقابلة، الوصلة التراكبية، ووصلة الحافة وغيرها، الجدول (7-2) يوضح أهم أنواع وصلات اللحام.

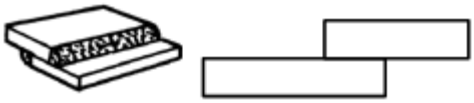
جدول 7-2 أهم وصلات اللحام

الوصلة التناكبية Butt Joint



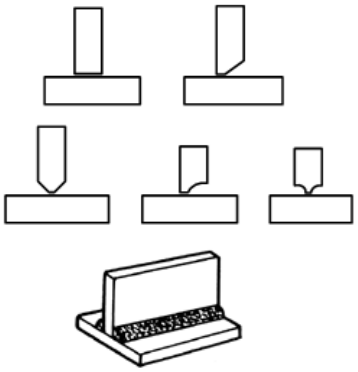
قطع العمل تقع بنفس المستوي، وتلحم الأطراف المتقابلة مع بعضها البعض. وهذه الوصلة شائعة الاستخدام.

الوصلة التراكبية Lap Joint



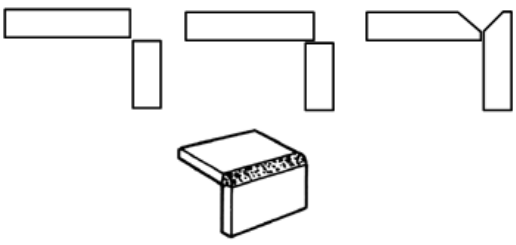
يتم التوصيل في هذا النوع بحيث يغطي جزء من أحد السطحين السطح الآخر ولمسافة بحدود أربعة أضعاف سمك الصفائح المطلوب لحامها ويصل سمكها لحد سمك 13 mm، وتوفر تلك الوصلة سهولة في اللحام ولا تحتاج إلى تجهيز مسبق، ويتم لحام طرف واحد Single Fillet Lap Joint، وفي حالة اللحام من طرفين تكون قوة اللحام تقارب قوة المعدن الأصلي.

الوصلة بحرف Tee Joint T



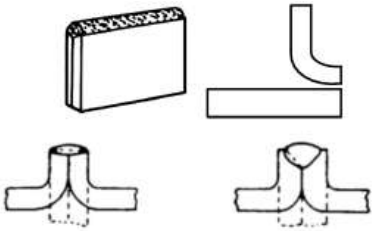
توضع أحدى قطعتي اللحام بصورة عمودية على القطعة الأخرى لتشكل حرف T، وفيها يتم اللحام من جهة واحدة أو من الجهتين وفي بعض الأحيان يتم تجهيز طرف الجزء القائم بعمل حافة مائلة من جهة واحدة أو من الجهتين وبحسب سمك الأجزاء الملحومة.

التوصيل الزاوي Corner Joint



توصل القطع المراد لحامها عند الأطراف بحيث يشكلان زاوية معينة بينهما وقد يتم تجهيز حافة قطعة العمل أو يكون التراكب كلي أو جزئي، أو بدون تراكب Full Open Corner Joint وبحسب سمك المشغولات ونوع الحمل المسلط.

وصلة الحافة Edge Joint



في هذه الوصلة تكون إحدى حافات قطع العمل متوازية على الأقل مع بعضها البعض.

2-3-7 مميزات ومحددات عمليات اللحام
Advantages and Disadvantages of Welding Processes

الأهمية التكنولوجية والتجارية لعمليات اللحام تكمن في النقاط الآتية:

1. يجهز اللحام ربطاً دائمياً ينتج عنه ملحومة بقطعة واحدة كاملة تؤدي الغرض المطلوب الذي صممت لأجله. أن بعض عمليات اللحام لا تتحدد بموقع عمل خاص أو ببيئة معينة، أي يمكن أن تنجز موقعياً.
2. قد تكون الملحومة أقوى من المواد الأصلية (قطع العمل) وخصوصاً إذا أضيفت مادة إملاء لها القابلية لتحسين وتعزيز الخواص الميكانيكية، وباستعمال تقنيات اللحام المناسبة الصحيحة.
3. اللحام عادة هو من أكثر الطرائق اقتصادياً لربط الأجزاء من حيث الاستفادة القصوى للمادة فضلاً على كلف الإنتاج، إذ أن الطرائق البديلة للربط والتجميع تحتاج إلى عمليات تشكيل معقدة مثل تكوين الثقوب وأجزاء الربط الميكانيكية كالبراغي وغيرها، ومن البديهي إن المجموعات الناتجة عن الربط الميكانيكي تكون أثقل من الملحومات.

بالرغم من مزايا طرائق اللحام المختلفة المذكورة أعلاه، لكن هنالك محددات معينة لكل طريقة من طرائق اللحام وهي كما يأتي:

1. معظم طرائق اللحام تنجز يدوياً، ومن الطبيعي أن العمل اليدوي مُكلف نسبياً بسبب الكلف العالية للأيدي العاملة الماهرة (النادرة) التي يحتاجها هذا العمل.
2. أغلب طرائق اللحام تُعد خطرة بسبب استعمال مصادر الطاقة العالية.
3. اللحام من طرائق الربط الدائمي الذي لا يتلاءم مع مبدأ التجميع والتفكيك، التي تحتاجها بعض المنتجات لأغراض التصليح والصيانة.
4. بعض الملحومات تعاني من عيوب نوعية لا يمكن اكتشافها بصرياً، إلا باستعمال أجهزة وتقنيات خاصة، هذه العيوب تؤدي إلى إضعاف (نقصان) قوة الربط وبالتالي فشل الملحومة عند الاستخدام.

3-3-7 طرائق اللحام Welding Processes

أولاً: لحام الحالة السائلة Liquid State Welding

يُعد لحام الحالة السائلة أو يسمى باللحام الانصهاري Fusion Welding من أكثر طرائق اللحام انتشاراً وتطبيقاً. في عمليات اللحام بالصهر تستخدم مادة إضافية لغرض تحسين خصائص عملية اللحام وحماية بركة اللحام من الأكسدة، فضلاً على تكوين خبث اللحام في حالة الأسلاك المغطاة بالمواد المساعدة للصهر، الذي يطفو ويتصلب فوق منطقة اللحام دون أن تدخل الشوائب في داخل منطقة اللحام والتي ستسبب في ضعف قوة وصلة اللحام، وكذلك تضاف المادة لملء الفراغ بين قطع العمل المراد لحامهما.

تكون المادة المضافة غالباً في حالة إضافتها من مادة تماثل نوع معدن الأجزاء المراد لحامها ولها نفس الخواص، وهي بهيئة أسلاك أو أقطاب أو أشكال أخرى. ولإجراء عمليات اللحام بالصهر تسخن منطقة اللحام، وكذلك المادة المضافة حتى تصل درجة الحرارة إلى درجة الانصهار، عندئذ تنصهر المادة المضافة وتملأ الفراغ ما بين قطع العمل وتختلط مع المعدن الأساس المنصهر في منطقة اللحام لتتم عملية الوصل باللحام عند تجمد المادة المنصهرة بمنطقة التسخين.

أهم طرائق اللحام بالحالة السائلة هي:

اللحام الغازي Gas Welding

لحام القوس الكهربائي Arc Welding

1- اللحام الغازي Gas Welding

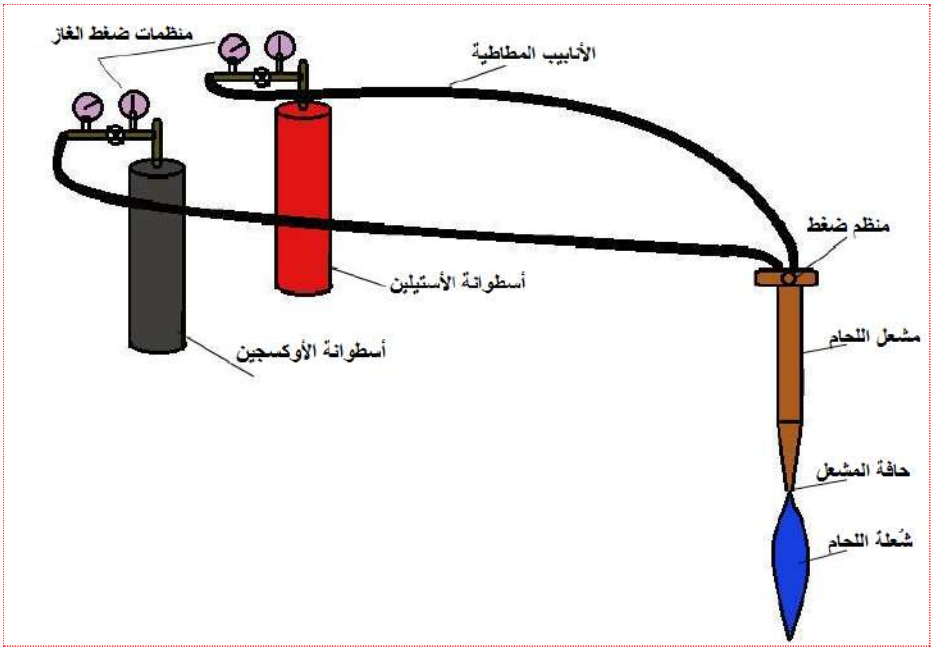
يُعد اللحام الغازي أحد أنواع لحام الحالة السائلة، إذ تتولد حرارة عالية نتيجة اشتعال الوقود الغازي بإضافة الأوكسجين، في هذا الأسلوب تصهر الأطراف عند المواضع المراد وصلها بواسطة اللهب الغازي الناتج عن احتراق غاز مختلط مع أوكسجين نقي، وتصل حرارة اللهب إلى عدة آلاف من الدرجات السيليزية، وهذه الحرارة كافية لصهر مناطق اللحام وصهر المادة المضافة، ولهذا يسمى لحام الوقود الغازي Oxy-fuel Gas Welding، شكل (7-14) يبين مكونات عملية اللحام الغازي. الغازات الشائعة الاستعمال هي (الأستيلين، الهيدروجين، البروبان، الغاز الطبيعي، وغيرها). يُعد لحام الأوكسي-أستيلين أحد أهم أنواع هذه المجموعة لتوليده الحرارة العالية والتي تتجاوز فيها درجة الحرارة في بركة اللحام 3480°C والتي يستفاد منها في صهر مناطق اللحام، وفي بعض الأحيان تستعمل هذه التقنية لقطع المعادن ومنها السميكة المقطع. من الجدير بالذكر أن اللحام الغازي يستعمل أيضاً بمجموعة لحام الحالة السائلة – الصلبة مثل لحام المونة ولكن الحرارة المتولدة فيه تكون أقل من سابقتها بكثير.

يستعمل اللحام الغازي بصفة خاصة في وصل المعادن المتشابهة التي يتراوح سمكها ما بين 2 إلى 50 ملليمتر، وأيضاً للحالات التي يتعذر فيها الوصول بسهولة إلى مواضع الوصلات المراد لحمها، وقد يستخدم الهواء بدلاً من الأوكسجين في حالة لحام المعادن واطئة درجات الانصهار مثل القصدير والرصاص. من الأنواع الأخرى للحام الغازي هي:

لحام الأوكسي – هيدروجين Oxy Hydrogen Welding: ويستخدم في لحام الألواح الرقيقة من السبائك التي تكون درجة انصهارها منخفضة (يستخدم أحيانا في لحام المونة).

لحام غاز البروبان Propane: هذا الغاز يستعمل في كثير من الأحيان في التسخين الأولي لعمليات اللحام المختلفة ولحام المونة والقصدرة، فضلاً على قطع المعادن وخصوصاً المقاطع الإنشائية الفولاذية، ويحترق الغاز بمرحلة واحدة.

لحام الغاز الطبيعي Natural Gas: الغاز الطبيعي يحوي في أغلب الأحيان على غازي الميثان (CH_4) والإيثان (C_2H_6)، ويتم الحصول عليه طبيعياً بعملية مشابهة لعملية استخراج النفط وأحياناً يكون الغاز مصاحباً لعملية استخراج النفط، عند احتراق الغاز الطبيعي مع الأوكسجين تنتج شُعلة بدرجة حرارة عالية يمكن الاستفادة منها بعمليات اللحام بالورش الصغيرة.



شكل 7-14 مكونات عملية اللحام الغازي

2- لحام القوس الكهربائي Electric Arc Welding

أحد أهم أنواع اللحام، تتولد الحرارة اللازمة لعملية اللحام من نشوء قوس كهربائي (تفريغ أيوني) بين القطب والجزء الملحوم، وتصل درجة الحرارة إلى 4000°C تكفي لصهر المعدن في نقطة اللحام أو صهر معدن إضافي (حشو) من سلك اللحام، عند تجمد منطقة اللحام تتكون وصلة متينة، وينشأ القوس الكهربائي عند حدوث تماس بين قطب اللحام Electrode ومعدن قطعة العمل لإيصال الدائرة الكهربائية، لاحظ الشكل (7-15)، ثم يبعد القطب بمسافة لا تتجاوز قطر القطب الكهربائي لكي ينشأ القوس الكهربائي، وتجهز الطلقة الكهربائية عن طريق مولد يستطيع إنتاج تيار متردد AC أو تيار مستمرDC، (50-500Amps)، بفرق جهد (فولت) ثابت أو متغير، (20- 50 Volts)، ويستخدم اللحام بالتيار المتردد بكثرة نظراً لرخص المعدات اللازمة لعمليات اللحام فضلاً على قلة الطاقة اللازمة في عمليات اللحام. وعمليات لحام القوس الكهربائي متنوعة وعديدة وهي مجموعة واسعة من طرائق اللحام ولها تطبيقات كثيرة ومهمة في الصناعة، في بعض تطبيقات اللحام بالقوس الكهربائي يسلط ضغط معين أثناء عملية اللحام، من الجدير بالإشارة أن نفس الأسلوب يستعمل لقطع المعادن بالقوس الكهربائي أيضاً.

طرائق اللحام بالقوس الكهربائي، سيتم تناولها بالتفصيل في المرحلة الدراسية اللاحقة، وهي كالآتي:

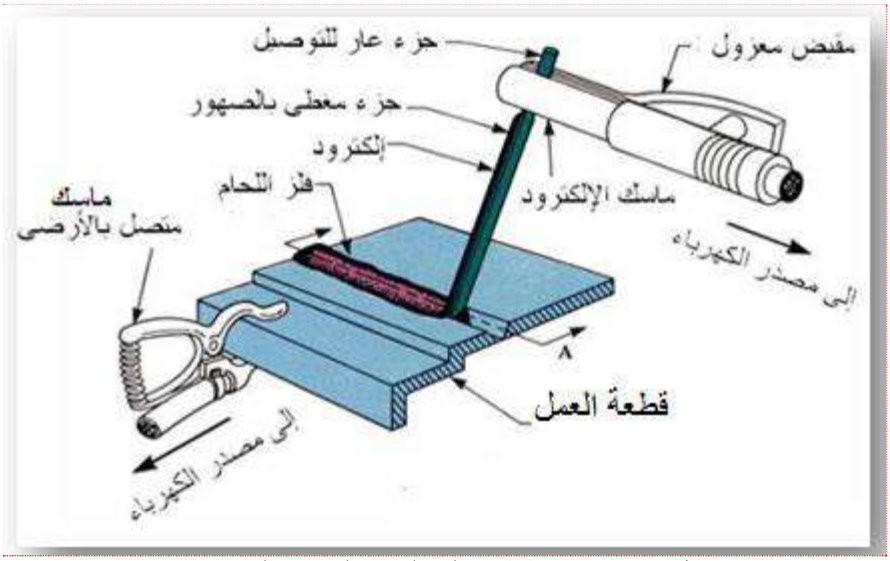
1. **الأقطاب المستهلكة وتتضمن التقنيات الآتية:**

- الأقطاب المُغلفة بمواد كيميائية مُساعدة للصهر وتزود منطقة اللحام في هذه الحالة بحجاب يمنع وصول الهواء للمنطقة.
- الأقطاب العارية المغمورة بالغاز الخامل مثل الآركون.
- الأقطاب المجوفة وفي داخلها مساعد الصهر.
- الأقطاب المُغلفة والمحاطة بالغاز المغمور.
- الأقطاب العارية المغمورة بمساعد صهر حبيبي.

2. **الأقطاب غير المستهلكة وتتضمن التقنيات الآتية:**

- أقطاب التنكستن مع الغاز الخامل، والمصطلح (TIG) غالباً ما يشير إلى هذا النوع من تقنيات اللحام.
- أقطاب التنكستن مع تيار من البلازما وهي حالة خاصة من سابقتها.
- أقطاب الكرافيت وأنحسر استعمال هذه التقنية في الوقت.

تستعمل أقطاب معدنية من الصلب (سلك اللحام) يتراوح قطرها 1-12 mm ويصل طولها إلى 500 mm، من معدن يتوافق مع المعادن الملحومة ويغطى بطبقة من مساعد الصهر Flux الذي يمنع أكسدة بركة اللحام بتكوين غلاف من غاز ثاني أكسيد الكربون ويترسب كخبث (Slug) فوق خطوط اللحام، ويتم استعمال سلك جديد عند انتهاء السلك القديم مما يؤثر على زمن الإنجاز.



شكل 7-15 مخطط عملية لحام القوس الكهربائي

ثانياً: لحام الحالة الصلبة Solid State Welding

تنجز عملية اللحام بالحالة الصلبة بدون انصهار المناطق المتداخلة المراد لحامها لقطعتي العمل، وتتم إما بتسليط ضغط فقط أو ضغط مع حرارة، إن كمية الحرارة المسلطة في هذه الحالة لوحدها لن تكون كافية لإنجاز عملية اللحام دون الضغط، أي بعبارة أخرى أن الحرارة المزودة لن ترفع درجات الحرارة إلى درجات انصهار المعادن المراد لحامها (لا وجود لطور السائل)، إنما فقط لإتمام عملية اللحام بالضغط وبجودة عالية وكلٍ حسب التقنية المستعملة ونوع المعدن المستعمل. في بعض طرائق اللحام بالحالة الصلبة زمن عملية اللحام يُعد أيضاً عاملاً مهماً. لا يتم استعمال مواد منصهرة مضافة في حالة اللحام بالحالة الصلبة. يتكون في معظم طرائق اللحام بالحالة الصلبة ارتباط معدني من نوع معين بين ذرات المعدن الأساس لقطع العمل في منطقة التداخل، لهذا يشترط أن تكون الأسطح المتقابلة نظيفة وخالية من أية شوائب. يرمز إلى لحام الحالة الصلبة (SSW)، يصنف لحام الحالة الصلبة إلى مجموعتين رئيستين هما لحام الحالة الصلبة بالانتشار ولحام الحالة الصلبة بالتشوه اللدن. سيتم التنويه في هذه المرحلة على بعض أهم أنواع هذه المجموعة وهي:

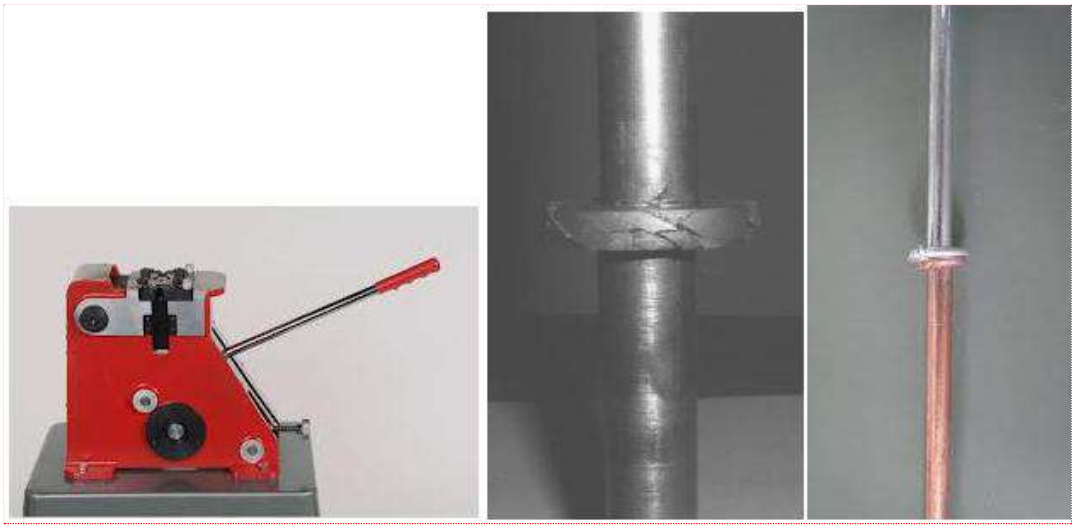
- **لحام الضغط Pressure Welding**
- **لحام الحدادة Forge Welding**

1- لحام الضغط Pressure Welding

لحام الضغط هو احدى طرائق لحام الحالة الصلبة، والذي يستخدم فيه الضغط بدرجة حرارة الغرفة، وبهذه الطريقة يتم الحصول على وصلات لحام بإحداث تشوهات (انفعالات) لدنة كبيرة في سطحي القطعتين المراد وصلهما من دون إي تسخين خارجي لهاتين القطعتين قبل أو أثناء عملية اللحام. يتلخص مبدأ الطريقة في ضغط الأسطح المتقابلة لقطعتي العمل المراد لحامها باستخدام ضغوط خارجية عالية بوساطة قوالب أو درافيل حتى تصبحان في تماس مباشر وتتعرضان إلى قوى قصية كافية لحدوث انزلاق احدهما فوق الآخر وتداخل فيما بينهما وتنتج بذلك وصلة اللحام. ويحدث اتصال تام بين السطحين وترابط متين. ويتعلق مقدار التشوهات اللدنة المراد إحداثها في سطحي الوصلة بكل من خواص المعدن وطريقة إحداث هذه الانفعالات أي مقدار الضغط المسلط على سطحي التقابل. تستخدم هذه الطريقة لوصل المعادن ذات المطيلية العالية والخالية من أية إجهادات مسبقة. لذا يتم استعمالها للمعادن المطيلية مثل الألمُنيوم والنحاس للحصول على وصلات تراكبية أو تناكبية.

تعد هذه الطريقة من الطرائق السهلة ولها قدرة إنتاجية عالية وتمتاز أيضاً بإمكانية لحام المعادن غير المتشابهة، وفي لحام الألواح صغيرة السمك للمعادن المختلفة سواء كانت حديدية أو غير حديدية.

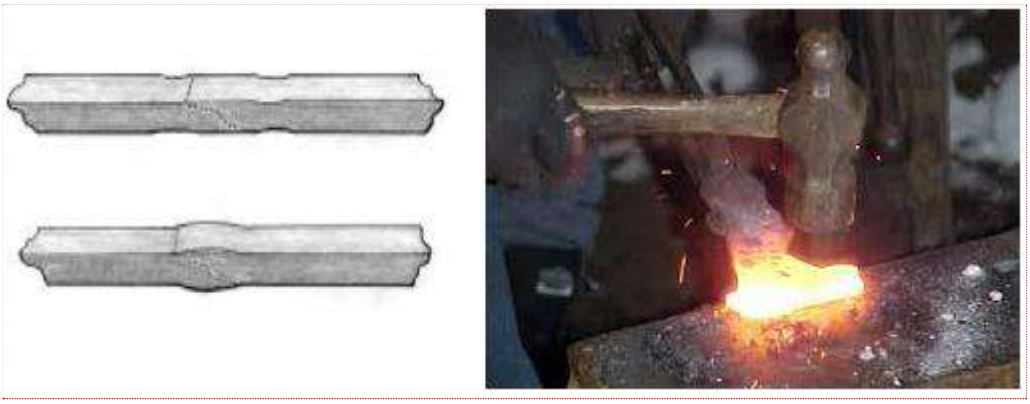
الشكل (7-16) يوضح ملحومات بلحام الضغط مع إحدى آلات عملية اللحام.



شكل 7-16 لحام الضغط، اليمين- ملحومات بالضغط، اليسار- آلة لحام بالضغط

2- اللحام بالحدادة Forge Welding

لحام الطرق هو نوع من أنواع اللحام بالضغط والحرارة ويتم عن طريق تسخين المعدنين حتى درجة حرارة معينة ثم طرقهما معاً حتى يتم الحصول على لحام متين، وتعد من أقدم عمليات اللحام التي عرفها الإنسان على مدى التاريخ، إذ تُعد عمليات اللحام الحديثة تطويراً لهذه العملية وتتم باستعمال نفس الوصلات المذكورة (اللحام التراكبي ، اللحام التداخلي، واللحام التناكبي)، ويستخدم فرن الحدادة الصغير (كور) الذي يعمل بفحم الكوك أو بأفران غازية أو كهربائية كمصدر لتوليد الحرارة اللازمة لتسخين الأجزاء المطلوب لحامها، الشكل (7-17)، للوصول بها إلى درجة حرارة عالية قريبة إلى درجات الانصهار، ثم تستخدم المطرقة في طرقات عديدة مختلفة القوة طبقاً لسمك الجزء المراد لحامه. وقد تكون العملية يدوية أو آلية.



شكل 7-17 لحام الحدادة

من الجدير بالذكر أن عمليات اللحام كثيرة جداً ولا يمكن حصرها بفقرة صغيرة، ولكن تم خلال هذه المرحلة فقط التنويه عنها، وسيتم تناولها بشكل مفصل في كتاب العلوم الصناعية بالمراحل اللاحقة.

4-7 الوصل باللصق Adhesive Welding

هو احدى طرائق الربط أو الوصل لقطع العمل، الغاية منه الحصول على وصلة متينة من معادن متجانسة أو غير متجانسة أو حتى مواد غير معدنية، باستخدام مواد لدائنية أو عضوية، ويشاع تسميتها في العراق باللحام البارد وهي تسمية غير صحيحة علمياً لأن الحرارة تتولد بسبب التفاعل بين المواد المضافة ومواد العمل. هذه المواد تتفاعل وتتداخل مع مواد العمل نتيجة التفاعلات الكيميائية بحيث ترتبط القطع مع بعضها من خلال قوى الالتصاق والتماسك بين هذه المواد والسطوح من جهة وقوى الترابط بين الجزيئات الداخلية للمواد اللاصقة من جهة أخرى وبعد التصلب تتكون وصلات قوية ومتينة. استخدمت هذه الطرائق قبل أكثر من 3300 سنة بتصميغ قطع الأخشاب وربطها معاً، وفي هذه الأيام يستعمل هذا النوع في تطبيقات واسعة لربط مواد متشابهة وأخرى غير متشابهة مثل المعادن، اللدائن، الحراريات، الأخشاب، الورق والورق المقوى وهي في طريقها للزيادة يوماً بعد آخر. تُدعى عملية اللصق أيضاً الربط Bonding وهو مصطلح عام يحمل في طياته ما تعنيه من مصطلحات أخرى تُستخدم في بعض المجالات الصناعية الخاصة مثل التغرية Gluing والملط Cementing. تحتاج عملية اللصق إلى وقت إنضاج مناسب يختلف بحسب آلية عملية الإنضاج. وتعتمد قوة الملصوقة على نوع المادة اللاصقة وشكل مفصل الربط، إذ أن هنالك أشكالاً مختلفة للمفاصل تستعمل مع هذه الطريقة لها علاقة بشكل قطعة العمل ووظيفتها، وفي بعض الأحيان تستعمل هذه الطريقة مزدوجة مع طرائق ربط أخرى لزيادة قوة المفاصل. تتوفر من مواد اللصق التجارية بأعداد كثيرة وتصنف إلى ثلاث فئات وهي كالآتي:

- مواد اللصق الطبيعية (Natural Adhesives)، مصادر هذه المواد طبيعية (نباتية وحيوانية)، مثل النشاء والديكسترين والصمغ النباتي والبروتينات وجلود الحيوانات وعظامها وجلود الأسماك والدم، والكازئين وطحين فول الصويا.
- مواد اللصق غير العضوية (In Organic Adhesives)، أساساً هي سيليكات الصوديوم وكلوريدات المغنيسيوم، وهي ذات أسعار منخفضة وقوة منخفضة كذلك، ولهذا لها محددات لتطبيقها في المفاصل الهيكلية.
- المواد اللاصقة الاصطناعية (Synthetic Adhesives)، وهي من أهم فئات مواد اللصق في الصناعة وتتضمن لدائن مختلفة الأنواع وبآليات إنضاج مختلفة، الراتنجات المتلدنة بالحرارة ومنها إسترات وإيترات السليلوز، واسترات الالكيد والأكريليك، ومتعدد الأميد، ومتعدد الستيرين، والمطاط الصناعي، ومتعدد فينيل الكحول ومشتقاته. والراتنجات المتصلدة بالحرارة ومنها اليوريا والميلامين والفينول والريزورسينول والفوران، والإيبوكسي وأخيراً متعددات الأستر غير المشبعة.

1-4-7 أنماط الاستخدام الرئيسة

تُصنف المواد اللاصقة وفق أنماط الاستخدام إلى: -

أ- **المواد اللاصقة البنيوية Structural Adhesives**: يُستعمل هذا النوع من المواد لربط سطحين والحصول على متانة عالية تجاه القص والتوتر أو التقشير كما هو الحال في لصق السطوح المعدنية والخشبية.

ب- **المواد اللاصقة الرابطة Bonding Adhesives**: يُستعمل هذا النوع من المواد لربط سطحين من دون الحاجة إلى أي مقاومة نوعية للإجهاد الخارجي كما هو الحال في تصنيع القوارير والتغليف.

ح- **المواد اللاصقة محكمة السد Sealing Adhesives**: يُستعمل هذا النوع من المواد لسد الوصلة بين سطحين ملتصقين مؤلفة سداً محكماً تجاه الرطوبة والغازات والأبخرة من دون الحاجة إلى توفير متانة نوعية كما هو الحال في تغليف الأغذية والأدوية.

2-4-7 قوة الالتصاق

تُصنف المواد اللاصقة وفق طبيعة السطح الملصق إلى:

مواد لاصقة للورق - مواد لاصقة للخشب - مواد لاصقة للمعادن - مواد لاصقة للدائن (للبلاستك).

تتطلب عملية اللصق تبللاً فعلياً للسطح المراد لصقه بوساطة المادة اللاصقة لضمان حدوث تماس بالكامل. يحدث اللصق الدائم عندما تكون الطاقة الحدية ما بين الوجوه لكل من اللاصق والملصق (السطح المراد لصقه) أقل من حاصل جمع الطاقات السطحية لكليهما.

تُعزى قوى الالتصاق إلى روابط أولية وثانوية. تتضمن الأولية منها الروابط الكهربائية والتساهمية انتقالاً للإلكترون أو المشاركة فيه بين ذرات وجزيئات المادة اللاصقة والملصق. يندر وجود الروابط الكهربائية في عملية اللصق. وأهم مثال عليها ارتباط معدن النحاس مع الكبريت في المطاط لدى لصق السطوح المعدنية. وعلى النقيض من ذلك يكثر وجود الروابط التساهمية بين المعادن والمركبات اللاعضوية. تسود الروابط التساهمية غالباً في الحالات المتضمنة مركبات عضوية كما هو الحال في الروابط الهدروجينية المتشكلة بين مادة لاصقة عضوية مع مادة تحوي على زمر هيدروكسيل أو كربونيل مثل السيللوز.

تتضمن الروابط المعدنية التي تربط بين سطحين معدنيين حركة مستمرة لإلكترونات حرة بين الذرات. تؤدي هذه الحركة إلى تحريض قوى كهربائية على السطح تساوي وتعاكس في شحنتها حقل القوة للمادة الموجودة على تماس مع السطح المعدني، ولما كانت الشحنات متعاكسة تخلق هاتان القوتان رابطة قطبية قوية بين المادتين المتلامستين. ينشأ هذا النوع من الارتباط في العديد من السطوح المختلفة مؤدية إلى لصق متماسك ومتين.

7-4-3 تطبيقات المواد اللاصقة

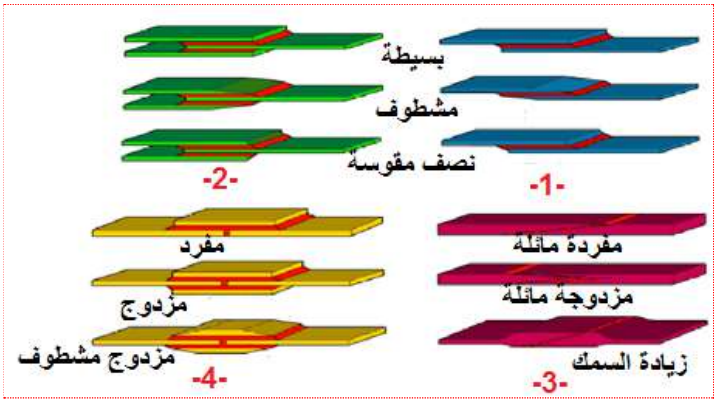
تستخدم المواد اللاصقة على نطاق واسع جداً وفي مجالات متعددة أهمها لصق الورق والكرتون وعمليات التغليف المختلفة، وفي لصق الأخشاب. ويُعد الغراء المصنع من البروتينات الحيوانية من أقدم المواد اللاصقة وأكثرها شيوعاً في لصق السطوح الخشبية. تستعمل المواد اللاصقة أيضاً في لصق السطوح المعدنية وقد أصبح هذا التطبيق مهماً جداً؛ لتعدد استخداماته في مجال صناعة الطائرات (التي تطورت مع الزمن) بسبب ضرورة الحصول على سطوح ملساء من دون نتوءات بارزة مقاومة للهواء على جسم الطائرة. وازداد كذلك استخدام المواد اللاصقة الصناعية في ربط السطوح اللدائنية، واستخدام المواد اللاصقة على شكل لفافات ورقاقات، وهي تُصنع بترسيب طبقة من المادة اللاصقة على سطح قماشي أو ورقي أو لدائني.

7-4-4 مراحل عملية اللصق

تتعلق جودة عملية اللصق بمواصفة كل من المادة اللاصقة والسطح المراد لصقه، تمر عملية اللصق بالمراحل الآتية:

- إعداد السطح لعملية اللصق وتتضمن معالجة السطح غالباً بطرائق كيميائية وميكانيكية من تنظيف وإزالة التأكسدات والزيوت وغيرها.
- تحضير المادة اللاصقة ويتضمن تذويب المادة اللاصقة الأساسية أو صهرها وإضافة مواد مساعدة مثل المقسيات والمواد المالئة والمواد الملدنة وغيرها.
- تطبيق اللاصق بتحميله على السطح بطرائق عدة منها استخدام الفرشاة أو الطلي أو الرش.
- التجميع أو مرحلة التجفيف بالهواء

وصلات اللصق هي مشابهة لوصلات اللحام ومن أهمها ما موضح في الشكل (7-18).



شكل 7-18 أنواع وصلات اللصق

أسئلة الفصل السابع

1. ما المقصود بالربط الميكانيكي، وأذكر أهم طرائقه.
2. ما هي أهم أنواع اللوالب؟ عددها مع توضيح استعمال كل نوع.
3. ما هي أهم أنواع رؤوس المسامير الملولبة، ارسم شكل توضيحي لكل نوع.
4. ما المقصود بالصامولة؟ ولماذا تستعمل؟ اذكر أهم أنواع الصامولات المستعملة في عملية الربط.
5. وضح طرائق الربط بالبراغي بحسب أشكالها.
6. ما هي أهم أنواع مسامير الربط؟ عددها وأكر استخدام كل نوع منها.
7. تكلم عن عملية الوصل بالدسرة.
8. عدد مراحل عمل دسرة بسيطة، داعماً إجابتك بالرسم.
9. عدد أنواع الدسرات واستخداماتها مع الرسم.
10. ما هي البرشمة؟ وما هي مميزات هذا النوع من الربط ومحدداته؟
11. ما هي المبادئ التي تتم من خلالها عملية اللحام؟
12. أذكر أنواع وصلات اللحام، موضحاً إجابتك بالرسم.
13. بين الأهمية التكنولوجية والتجارية لعملية اللحام، ثم وضح محددات طرائق اللحام.
14. ما المقصود باللحام الانصهاري؟ وما هي اهم أنواعه ومواقع استخدام كلٍ منها.
15. عدد أهم طرائق اللحام بالقوس الكهربائي وتقنياتها.
16. اشرح طريقة اللحام الغازي، وما هي أهم الغازات المستعملة في هذا النوع من اللحام.
17. ما المقصود بالوصل باللصق؟ وما هي مواد اللصق التجارية المتوفرة؟
18. كيف يتم تصنيف المواد اللاصقة وفق أنماط الاستخدام؟
19. وضح تطبيقات المواد اللاصقة.
20. عدد مراحل إجراء عملية اللصق.
21. بين الغرض مما يأتي:

أ- يكون شكل السن لجميع براغي الربط مثلث الشكل.
ب- استخدام وسائل لتأمين الربط توضع تحت اللولب أو بينه وبين الصامولة.
ت- استخدام البرشمة بدل اللحام في توصيل وجمع قطع أبدان الطائرات.
ث- استخدام مادة إضافية في عمليات اللحام بالصهر.

22. عرف ما يأتي:

أ- اللولب.
ب- مفاتيح الربط اليدوية.
ت- مجرى الخابور.
ث- البرشام.