جمهورية العراق
وزارة التربية
المديرية العامة للتعليم المهني

العلوم الصناعية

الميكانيك

الأول

الصناعي

تأليف

د. سعد عباس الصراف
د. علي عبار خليف
حيدر موسى الشكري
كاظم تايه غالي
علي زيدان عباس

الطبعة الثالثة
1442 هـ - 2020 م

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

بتوجيه من المديرية العامة للتعليم المهني وتنفيذاً للنهج الذي وضعته لتحديث مناهج التعليم المهني بما يواكب التطور الحاصل في العلوم الصناعية، قمنا بعون من الله تعالى بإعداد هذا الكتاب الذي تضمن الأساسيات العلمية والنظرية التي يحتاجها الطالب في موضوع الميكانيك في الفرع الصناعي للمرحلة الأولى من التخصص، وقد شمل الكتاب خمسة فصول، الفصل الأول تضمن طرائق وعمليات التشكيل الميكانيكي، الفصل الثاني تناول أدوات القياس والمعايرة ونظرية عمل كل منها وطرائق قراءتها ، في الفصل الثالث تم عرض أنواع المواد الهندسية التي من الضروري أن يطلع عليها الطالب لكونه سوف يتعامل مع الكثير منها، أما الفصل الرابع فقد تم عرض أغلب عمليات التشغيل اليدوية وكثيراً من عمليات التشغيل الآلية التي يحتاجها الطالب في حياته العملية، وركزنا في الفصل الخامس على وسائل ربط المعادن بالوصلات المؤقتة والوصلات الدائمة وطرق تنفيذها، وسيتمم الطالب معارفه في الجانب العملي عندما تتاح له الفرصة لتطبيق تلك المعارف، ونحن لا ندعي المثالية في مضمون هذا الكتاب ولكن نترك لزملائنا المدرسين ومن ذوي الاختصاص رفدنا بملاحظاتهم وتصويباتهم خدمة للمسيرة التعليمية، آملين أن نكون قد وفقنا في تقديم ما يخدم ويعزز التوجه لدى أبنائنا الطلبة وإكسابهم المهارات الضرورية في مسيرتهم العلمية والمهنية.

ومن الله التوفيق.

المؤلفون

1432 هـ / 2011م

التسلسل	المحتويات	رقم الصفحة
المقدمة		2
المحتويات		3
الفصل الأول	أدوات القياس والمعايرة	4
1-1	علم القياس	5
2-1	نظم وحدات القياس	6
3-1	طرائق القياس	9
4-1	قدمات القياس	12
5-1	الميكروميتر	21
6-1	ادوات قياس الزوايا	27
7-1	أدوات الفحص والمعايرة	32
8-1	أسئلة الفصل الاول	39
الفصل الثاني	تشكيل المعادن	40
1-2	طرائق تشكيل المعادن	41
2-2	عمليات التشكيل الميكانيكي	42
3-2	أسئلة الفصل الثاني	48
الفصل الثالث	المواد الهندسية	49
1-3	أنواع المواد الهندسية	50
2-3	حواص المواد الهندسية	53
3-3	المواد المعدنية	64
4-3	استخلاص الحديد	66
5-3	المعادن غير الحديدية	71
6-3	السبائك	77
7-3	المواد الحرارية	80
8-3	اللدائن	81
9-3	المواد المركبة	83
10-3	اسئلة الفصل الثالث	86
الفصل الرابع	عمليات التشغيل	88
1-4	عمليات التشغيل اليدوية	90
2-4	عمليات التشغيل الآلي	111
3-4	أسئلة الفصل الرابع	130
الفصل الخامس	عمليات وصل وربط المعادن	132
1-5	الوصل باللوالب والصواميل	133
2-5	الخوابير	137
3-5	المسامير الإصبعية	139
4-5	البرشمة	139
5-5	اللحام	142
6-5	لحام الانصهار	148
7-5	اللحام بالضغط والحرارة	153
8-5	انواع اللحام الحديثة	157
9-5	أسئلة الفصل الخامس	161

الفصل الأول

أدوات القياس والمعايرة

Measurement Tool and Calibration

 # أهداف الفصل الاول

لب قادرا على أن :-

تمهيد

استعمل الإنسان القياسات قديما كوسيلة عملية للتعرف على الظواهر الطبيعية المحيطة به خلال حياته اليومية، إذ اخترع أجهزة قياس الأطوال والمكاييل في الحضارات الإنسانية الأولى لتنظيم أسلوب حياته الاجتماعية والاقتصادية، سمحت دقة قياسات الأبعاد في الحضارات القديمة ببناء الأهرامات والجنائن المعلقة فضلاً عن استعمال المكاييل الدقيقة في المعاملات التجارية بين مختلف الأمم.

إن التطور الصناعي والتكنولوجي الحالي يعتمد على الاستعمال الصحيح لمبادئ القياسات وديمومته مرتبطة بدقة عملية القياس وخلوها من الأخطاء، فنلاحظ أنواعاً عدة من القياسات أصبحت تنظم حياتنا (الاجتماعية، الاقتصادية و السياسية) ومرتبطة بأجهزة قياس مختلفة، ومن الأمثلة على ذلك؛ الساعة التي تنظم الوقت، أجهزة القياس في وسائل النقل، مقاييس درجة الحرارة وسرعة الرياح واتجاهها، الموازيين و المكاييل في المعاملات التجارية كافة، وغيرها.

1-1 علم القياس (Metrology)

عرف علم القياس وفقاً للقاموس الدولي للقياسات 1993 م بأنه؛ علم إجراء عملية القياس مع تحديد نسبة الخطأ المترتبة عليها، ولعلم القياسات ثلاثة عناصر أساسية هي :-

1. عملية القياس (Operation of Measurement)
2. نظام وحدات القياس الدولي (International System of Units - SI)
3. مرجعية عملية القياس (Traceability)

1-1-1 المصطلحات الأساسية في القياس

1) **القياس (Measurement) :-** تحديد كمية فيزيائية كالطول أو الزمن أو الكتلة أو درجة الحرارة أو الزاوية أو شدة التيار...الخ، باستعمال جهاز في عملية القياس لغرض المقارنة بين البعد المقاس ووحدة قياس معلومة تظهر في جهاز القياس.

2) **المعايرة (Calibration):-** هو التحقق من وقوع مقدار كمي لصفة فيزيائية ضمن حدين مفترضين وعدم تجاوزه لأحدهما بالزيادة أو بالنقصان، وأن يكون ضمن الخطأ المسموح به.

3) **المقارنة (Comparison):-** هي عملية فحص واختبار أبعاد وشكل الجزء المنتج مع قوالب وطبعات جاهزة للقياس.

4) **الدقة (Accuracy) :-** مقدار التطابق بين القيمة المتحصلة عن عملية القياس والقيمة الحقيقية للكمية الفيزيائية كالوزن أو البعد، ..... الخ.

5) **أجهزة القياس (Measurement Instruments):-** الأدوات والمعدات التي تستخدم في عملية القياس المباشرة أو غير المباشرة للحصول على الكمية المقاسة بوحدات القياس المتعارف عليها ضمن أنظمة الوحدات العالمية..

6) **أجهزة المعايرة (Calibrating Instruments):-** أدوات ومعدات قياس عالية الدقة، مضبوطة على وفق نظم القياس لكي تختبر عليها أجهزة القياس للوقوف على مدى صلاحيتها ودقتها ومن ثم القيام بضبطها.

7) **المقارنة (Compatibility):-** مقارنة أبعاد وشكل الجزء المطلوب اختباره مع محدد كطبعات القياس.

2-1 نظم وحدات القياس (System of Units)

يتبع في نظم القياس نظامان رئيسان لوحدات القياس، هما النظام المتري (متر، كيلوغرام، ثانية) والذي كان يستخدم في فرنسا وبعض الدول، والنظام البريطاني (قدم، باوند، ثانية)، Customary System (USCS) المعتمد على الوحدات الانكليزية والذي يستخدم في دول الكومنولث والولايات المتحدة وغيرها. ولتحقيق تفاهم دولي أفضل في المجالات الصناعية اتفق على استعمال النظام الدولي ليوحد وحدات القياس عالمياً، سُمي بنظام الوحدات العالمي (SI - International System of Units) الذي يتكون من سبع وحدات أساسية، ووحدتان إضافيتان، الجدول (1-1)، لكل وحدة من الوحدات الأساسية معيار دولي معرف بدقة متناهية يستعمل لمقارنة المعايير الوطنية الموجودة على مستوى مختلف دول العالم، وفي العراق يعنى الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية بنظم القياسات كافة.

الجدول 1-1 : الوحدات الأساسية لنظام الوحدات العالمي.

الكمية المقاسة Measured Quantity	الوحدة	الرمز	
الطول أو البعد Length	المتر Meter	م	m
الكتلة Mass	الكيلوغرام Kilogram	كلغم	kg
الزمن Time	الثانية Second	ثا	s
درجة الحرارة Temperature	الكلفن Kelvin	كلفن	K
التيار الكهربائي Electrical Current	الأمبير Ampere	مب	A
كمية المادة Quantity of matter	ألمول Mole	مول	mol
شدة الاستضاءة Luminosity	الشمعة Candela	شمعة	Cd
الزاوية المسطحة Plane angle	الراديان Radian	راد	rd
الزاوية المجسمة Solid Angle	الستي راديان Ste radian	ستي راد	sr

ويعرف المتر الطولي ضمن وحدات النظام الدولي (المتري) للوحدات بأنه وحدة لقياس الأطوال يمثل المسافة التي يقطعها الضوء في الفراغ أثناء زمن مقداره 1 / 299, 792, 458 ثانية.

1-2-1 الوحدات المشتقة (Derived Units)

يمكن استنباط وحدات عملية أخرى من الوحدات الأساسية، تسمى بالوحدات المشتقة، الجدول (1-2)، تشتق هذه الوحدات عن طريق القوانين الفيزيائية التي تحكم الكمية.

الجدول 1-2 : الوحدات المشتقة.

الكمية المقاسة	الوحدة المشتقة من القانون الفيزيائي	الرمز
المساحة Area	الطول x الطول	m^2
الحجم Volume	الطول x الطول x الطول	m^3
السرعة الخطيةSpeed	الطول / الزمن	m/s
الذبذبة Frequency	1/ الزمن (هرتز)	1/s(Hz)
الكثافة Density	الكتلة / الحجم	kg/m^3
التسارع Acceleration	السرعة / الزمن	m/s^2
القوة Force	الكتلة x التسارع (نيوتن)	$Kg.m/s^2$(N)
الطاقة Energy	قوة xمسافة (جول)	N.m(J)
القدرة Power	الطاقة/الزمن(واط)	J/s(W)
الإجهاد Stress	قوة/مساحة (باسكال)	N/m^2(Pa)
التدفق Flow Rate	الحجم / الزمن	m^3/s

2-2-1 مضاعفات وأجزاء الوحدات الأساسية

تستخدم عند كتابة مضاعفات الوحدات قوى العشرة لتحديدها، إذ يمكن استبدال كل رقم من مضاعفات العشرة بالرمز المكافئ له، كما في المثال الآتي:-

$1\ cm = 1/100\ m = 10^{-2}\ m$

$1\ mm = 1/1000\ m = 10^{-3}\ m$

ويبين الجدول (1-3) قيم المعاملات وأسمائها والرموز الدالة عليها.

الجدول 1-3 : معاملات الضرب للوحدات الأساسية.

اسـم المعامل Prefix	الرمز	معامل الضرب	اسـم المعامل Prefix	الرمز	معامل الضرب
يوفتا yofta	Y	10^{24}	ديسي deci	*d*	10^{-1}
زيتا zeta	Z	10^{21}	سنتي centi	*c*	10^{-2}
اكسا exa	E	10^{18}	ميلي mili	*m*	10^{-3}
بيتا peta	P	10^{15}	ميكرو micro	*μ*	10^{-6}
تيرا tera	*T*	10^{12}	نانو nano	*n*	10^{-9}
جيجا giga	*G*	10^{9}	بيكو Pico	*p*	10^{-12}
ميجا mega	*M*	10^{6}	فيمتو vimto	*f*	10^{-15}
كيلو kilo	*k*	10^{3}	أتو atto	*a*	10^{-18}
هكتو hekto	*h*	10^{2}	زبتو zepto	*z*	10^{-21}
ديكا daka	*da*	10	يوكتو yocto	*y*	10^{-24}

كما يوجد في قياس الزوايا النظام الستيني الذي يتخذ الدرجة (^{O}) كوحدة قياس وهي تساوي جزء من 360 جزءاً من محيط الدائرة فضلاً عن أن الدرجة تتقسم الى 60 دقيقةً (`) وتنقسم كل دقيقة الى 60 ثانية ("). والعلاقة بين النظام الستيني والنظام الدائري (الذي يستخدم الرديان كوحدة قياس للزوايا) كالآتي:-

$$1\,^{\circ} = \frac{2\pi}{360}\text{rad} = 0.01745329\ \text{rad}$$

3-2-1 نظام الوحدات الانكليزي

بالموازاة مع نظام الوحدات العالمي، يوجد النظام الإنجليزي الذي ما زال مستعملاً بصورة أقل شمولية في القياسات، إذ يتضمن وحدات قياس الطول الآتية؛ الميل - الياردة - القدم - البوصة، وهي معرفة في الجدول (1-4).

الجدول 1-4 : وحدات قياس الأطوال في النظام الانكليزي وتحويلاتها.

الوحدة	الرمز و القيمة	تحويل للنظام الدولي SI
الميل miles	1 mile = 1760 yard	1 mile = 1.609 km
اليادرة yard	1 yard = 3 ft	1 yd = 91.44 cm
القدم foot	1 ft = 12 in	1 ft = 30.48 cm
البوصة inch	in	1 in = 25.40 mm

تعد البوصة (الأنج) كوحدة لقياس الطول من ضمن الوحدات المعمول بها في المجال الصناعي، لذا نجد في معظم أجهزة قياس الأبعاد مثل المسطرة الحديدية أو القدمة ذات الورنية تدريجات تلك الوحدة إضافة إلى وحدة المليمتر، ولزيادة دقة القياس؛ تقسم البوصة على أجزاء عشرية أو كسرية، وكما يأتي:-

7/8, 3/4, 5/8, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, and 1/128.

3-1 طرائق القياس

تجرى عملية القياس بالطريقة المباشرة (Direct Measurement)، إذ تتم بمقارنة البعد المطلوب قياسه مباشرة مع جهاز القياس، أما الطريقة غير المباشرة (Indirect Measurement)، فتتم عن طريق وسائل مساعدة مثل الفراجيل لاستشعار البعد المراد قياسه ومن ثم مقارنته مع جهاز قياس مثل المسطرة أو القدمة ذات الورنية.

ويمكن تصنيف أدوات القياس بحسب طرق استعمالها، كما يأتي:-

- أدوات القياس المباشر(المساطر).
- الأدوات الناقلة للقياس (الفراجيل)
- أدوات وأجهزة قابلة للتبديل (قدمة القياس والميكرومتر).
- أدوات وأجهزة الفحص والمعايرة (المحددات والقوالب).

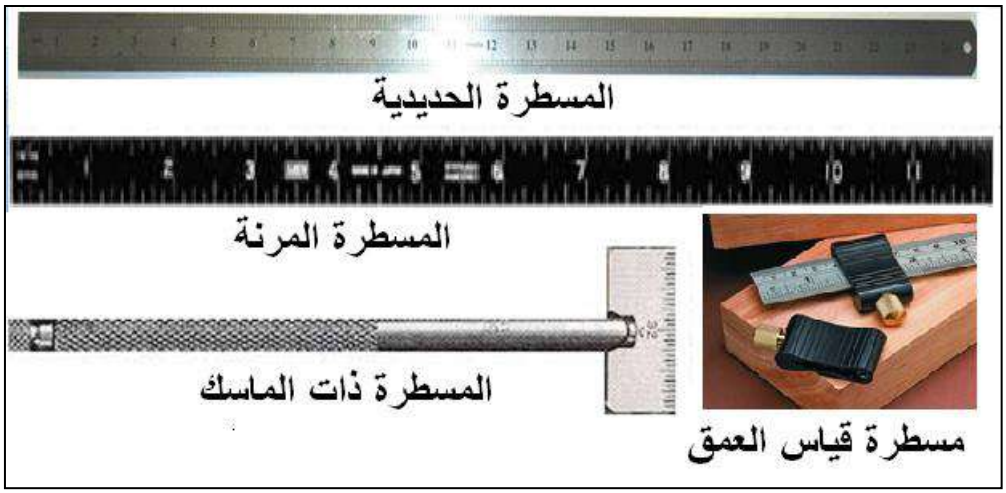
1-3-1أدوات القياس المباشر

أدوات لقياس الإبعاد الخطية، إذ تتسم بسهولة استخدامها وتتصف بمستوى دقة منخفض يبلغ نحو نصف مليمتر، مثل المساطر الفولاذية وأشرطة القياس.

أ) **المساطر المدرجة (Rules):** أدوات قياس بسيطة لقياس الأطوال تقرأ القيمة المطلوب قياسها مباشرة من على التدريج الموجود عليها وتصنع من الفولاذ الصلد غير القابل للصدأ؛ لضمان

فعاليتها في الاستخدام ضمن ظروف العمل، ورغم وجود الأجهزة الالكترونية ذات التقنية العالية في القياس تبقى المسطرة الأداة البسيطة والأكثر استعمالاً في ورش التشغيل ومختبرات التدريب وفي متناول أيدي الفنيين ، تتوفر المساطر الفولاذية المرنة بأطوال مختلفة ويكون محفوراً عليها تدريج إما بالنظام المتري (بدقة 1mm أو بدقة 0.5mm) او بنظام البوصة (بدقة 1/8in أو بدقة 1/16in) أو كلا النظامين، وهي الأكثر انتشاراً في ورش الميكانيك.

تتنوع أشكال وأطوال المساطر، الشكل (1-1)، أهمها المسطرة الحديدية والمسطرة المرنة المصنوعة من الصلب ذات الطول 30cm، والمسطرة ذات الماسك لقياس الأبعاد الصغيرة والمسطرة المرنة ذات السمك ألقليل للأبعاد والتي تحتاج الى ثني المسطرة لصعوبة قياسها بالمسطرة الاعتيادية، ومسطرة قياس العمق التي تحتوي على جزء ينزلق عليها بوضع يساعد على تحديد القياس إذ يوضع الجزء المنزلق على المشغولة وتدفع المسطرة للداخل ثم يقرأ البعد.



الشكل 1-1 : مساطر القياس.

ب) **أشرطة القياس (Measuring Tapes)**:- وتستعمل لقياس المسافات الكبيرة، الشكل (1-2)، مثل المساطر المفصلية وأشرطة القياس النسيجية والمعدنية، والتي تتيح لقياس أبعاد طويلة ويمكن طيها في حيز صغير.

الشكل 1-2 : أشرطة القياس.

2-3-1 أدوات القياس الناقلة (الفرجال والمقسم Divider)

أدوات مساعدة لإجراء عملية القياس للأبعاد بالطريقة غير المباشرة إذ تسمح بنقل قيمة البعد المقاس من المشغولة إلى جهاز القياس، (تجهز بعضها بمسمار ذو نابض للضبط)، تستعمل هذه الوسائل في الحالات التي يتعذر فيها وصول جهاز القياس الى البعد المقاس، الشكل (1-3)، وتكون على عدة أنواع أهمها :-

أ) فرجال القياس الخارجي

يتصف بانفراج نهايتي ساقية للداخل، يستعمل لأخذ مقاس قطر خارجي وبعد بين سطحين في المشغولة ثم نقل هذا المقاس لقياسه على المسطرة، كما يستعمل لمراجعة بعد معين لمشغولة ما أثناء التشغيل او بعده وذلك بعد ضبط فتحة الفرجال على المقاس المطلوب، الشكل (1-3- أ).

ب) فرجال القياس الداخلي

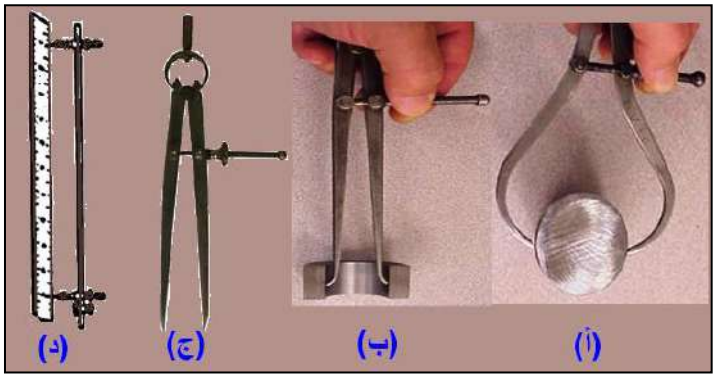
يتصف بانفراج نهاية ساقيه للخارج، تستعمل في قياس الأبعاد الداخلية للمشغولات وهي أنواع مختلفة ويراعى في تصميم فرجال القياس الداخلي ان يكون طرف كل من ساقي الفرجال كروي الشكل؛ لضمان التلامس النقطي في حالة قياس الأبعاد الداخلية للسطوح، الشكل (1-3- ب).

ج) فرجال التقسيم (المقسم)

يتصف بكون ساقيه مستقيمان ذو أطراف مدببة، يستعمل في تخطيط أقواس او دوائر او لتوقيع إبعاد على سطح المشغولة مأخوذة مقاساتها من المسطرة المدرجة، كما يستعمل في تكرار نقل بعد على سطح المشغولات بدلاً عن المسطرة، الشكل (1-3-ج).

د) الفرجال ذو العمود

يتكون من عمود من الصلب يتراوح طوله عادة بين 220- 500mm يستعمل عادة في قياس الأبعاد التي تزيد على مدى قياس الأبعاد التي يقيسها فرجالا القياس العادي والتقسيم، الشكل (1-3- د).



الشكل 1-3 : أدوات القياس الناقلة.

1-3-3 أداوت وأجهزة الفحص القابلة للتبديل

تعتبر هذة الأدوات الأكثر انتشاراً في ورش الخراطة والتسوية وباقي الورش الميكانيكية لما تمتاز به من دقة عالية في القياس وسهولة في الاستخدام وقد ظهرت منها حديثاً أجهزة أكثر تطوراً بإضافة مبينات رقمية أو ساعات ذات مؤشر، وأبرز أنواعها قدمة القياس ذات الورنية، وميكرومتر القياس على اختلاف أنواعهما.

1-3-4 أدوات وأجهزة الفحص والمعايرة (الضبعات والمحددات)

تتصف هذه الأدوات بأنها ذات قيم ثابتة، تستعمل لتحديد مدى التطابق بين مقدار البعد المشغل او الشكل المطلوب إنتاجه ومقدار القيمة القياسية، وبالتالي قبول أو رفض المشغولة بطريقة فحص دقيقة وسريعة، من تلك العُدد الضبعات وقوالب القياس والمساطر الشعرية فضلاً عن المعايير الحدية الثابتة والقابلة للتغيير والضبط، والتي سترد لاحقا.

1-4 قدمات القياس ذات الورنية (Vernier Calipers)

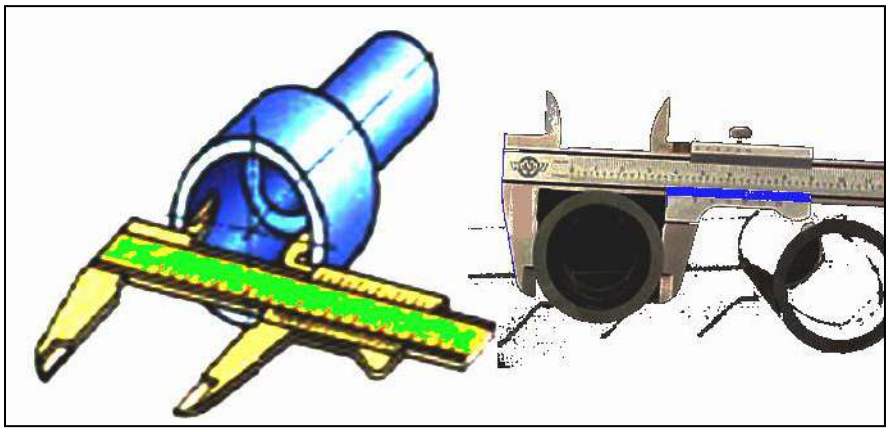
تعد القدمة ذات الورنية من بين أكثر الأدوات المستعملة في القياس في المجال المهني وورش التشغيل والإنتاج، لصغر حجمها وتعدد أشكالها وإمكانية القياس المتعددة التي توفرها في قياس الأبعاد الخارجية والداخلية وفي قياس الأعماق، فضلاً عن الدقة العالية التي يمتلكها البعض منها.

1-4-1 أنواع قدمة القياس

توجد عدة أشكال للقدمة ذات الورنية التي يختلف استخدام كل منها عن الأخرى باختلاف الجزء المطلوب قياسه لكنها تشترك بعدة صفات منها؛ مصنوعة من الصلب غير القابل للصدأ وحجمها مناسب وسهل للاستخدام اليدوي مع إمكانية تثبيتها على القياس المطلوب وغالبا ما تجمع بين القياسين المتري والانكليزي وأجزائهما، ويمكن تصنيعها بأحجام متعددة.

أ) قدمة القياس المنزلقة ذات الورنية:-

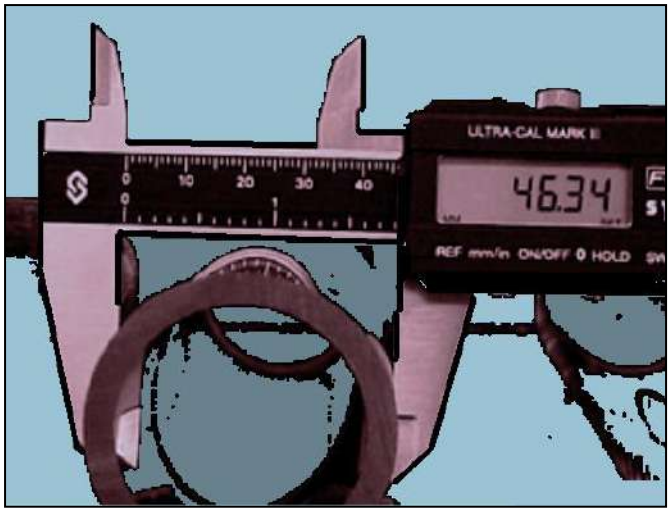
وهي القدمة الاعتيادية (الشاملة) شائعة الاستعمال، الشكل (1-4)، تستخدم في قياس الأقطار الخارجية والداخلية إذ يوضع الفك الثابت على المشغولة، بينما تستعمل اليد الأخرى في تدوير صامولة الضبط للحصول على المقاس الصحيح .



الشكل 1-4 : قدمة ذات الورنية لقياس البعد الخارجي والداخلي.

ب) القدمة الرقمية (Digital Caliper)

تستعمل القدمة الإلكترونية بنفس الطريقة المذكورة للقدمة ذات الورنية، إلاّ أن قراءة نتيجة القياس تكون مباشرة على الشاشة الإلكترونية، الشكل (1-5)، يتميز هذا النوع بسهولة استعماله و لكنه حساس وقد تتأثر دقته بالحرارة، الرطوبة، أو المواد الكيماوية.

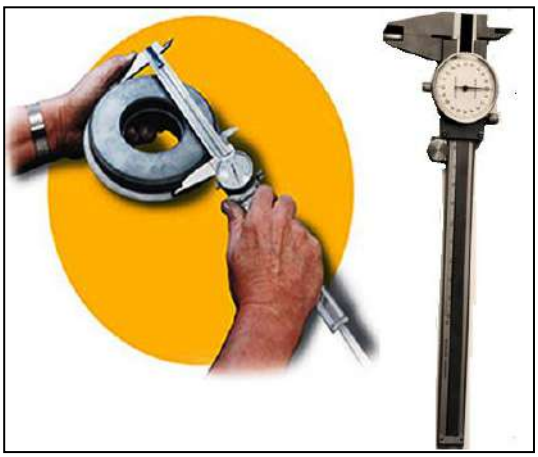


الشكل 1-5 : القدمة الرقمية.

ج) القدمة ذات الساعة (Dial gauge Caliper)

مشابهة لقدمة القياس ذات الورنية باختلاف الساعة البيانية، الشكل (1-6)، وكما في ساعة الوقت تتكون من مؤشرين، يشير الصغير الى قراءة السنتمترات، (التقسيم الدائري مقسم على عشرة أجزاء متساوية قيمة كل منها 1cm)، كما يشير المؤشر الكبير الى قراءة المليمترات، (التقسيم الدائري مقسم على عشرة أجزاء متساوية قيمة كل منها 1mm)، كما يوجد تقسيم نقطي لتنصيف المليمتر،

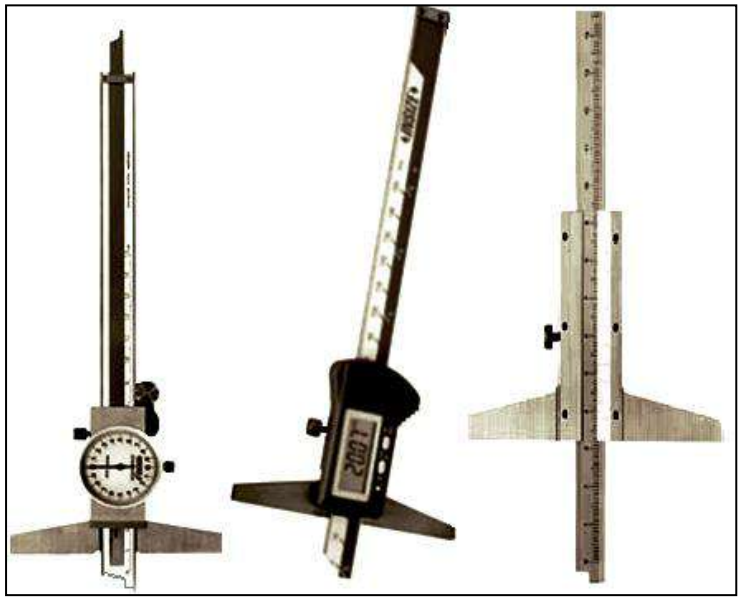
لتكون دقة القراءة (0.05mm)، وتعمل مسطرة القدمة كجريدة مسننة يتحرك عليها ترس صغير يعطي حركته لمجموعة تروس أخرى ليتحرك المؤشر حركة دائرية مشيراً إلى قراءة القياس.



الشكل 1-6 : قدمة القياس ذات ساعة البيان.

د) قدمة قياس الأعماق (Depths Caliper)

تشبه هذه القدمة مسطرة قياس العمق وكذلك ميكروميتر قياس العمق وهي تستعمل في قياس أعماق الفتحات والثقوب، وتتكون من ذراع مدرج بطول 200mm-250mm، ينزلق عليها الجزء المتحرك ذي القنطرة، ويبين الشكل (1-7) ثلاثة أنواع هي القدمة ذات الورنية، القدمة الرقمية، والقدمة ذات ساعة البيان، وتجرى عملية القياس بتثبت القنطرة على سطح المشغولة ويحرك عمود مسطرة القياس حتى يرتكز على القاع ثم يربط مسمار التثبيت وتقرأ القيمة بنفس طريقة القدمة العادية.



الشكل 1-7 : أنواع قدمة قياس الأعماق.

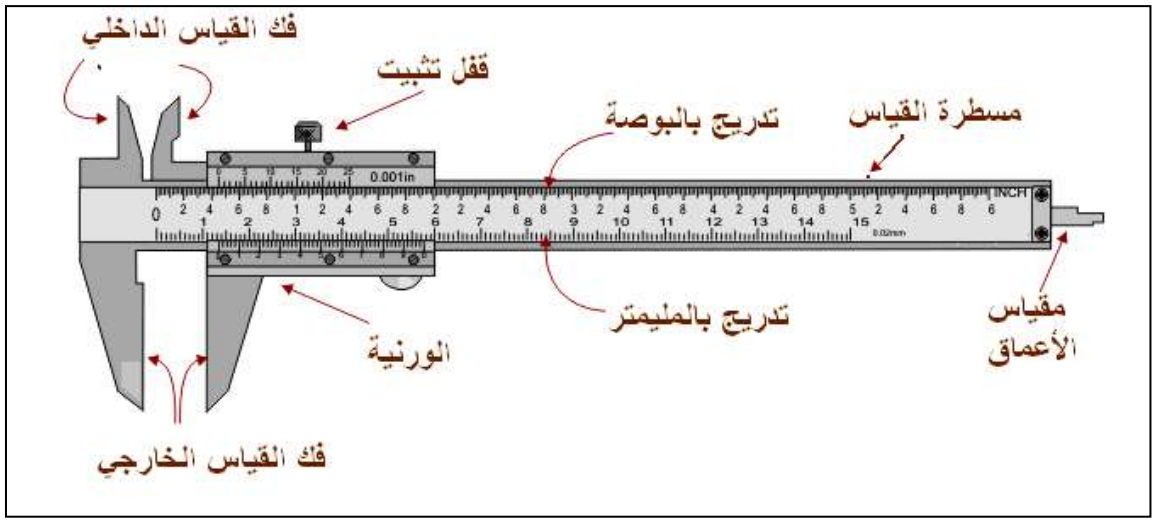
هـ) قدمة قياس الارتفاع (Height Caliper)

تستعمل هذه القدمة لقياس إرتفاع المشغولات وفي إنجاز تخطيط العلامات عليها (عملية الشنكرة) وتقرأ القيمة على الورنية، أو بساعة بيان، أو بشاشة رقمية، الشكل (1-8).

الشكل 1-8 : قدمة قياس الارتفاع.

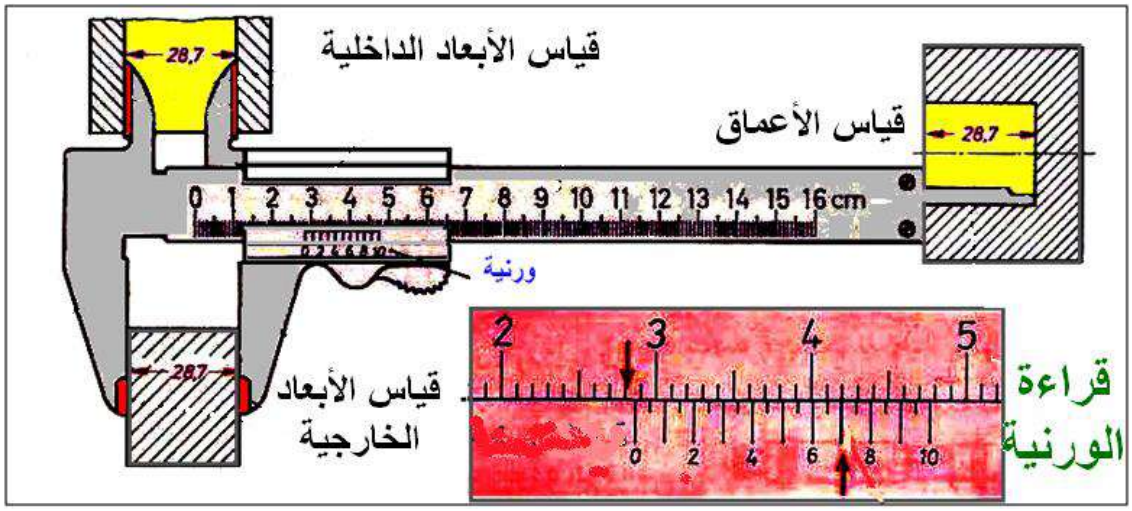
1-4-2 أجزاء القدمة ذات الورنية

تتكون القدمة ذات الورنية، الشكل (1-9)، من جزأين رئيسين أحدهما ثابت ومدرج عليه مقياس أساس (Main Scale) مشابه لمقياس المسطرة بتدريج مليمتري (وأحياناً تدريج بالبوصة على الجانب الآخر)، متصل بأحد فكي القياس (الفك الثابت Fixed Jaw)، أما الجزء الثاني فهو منزلق وبه تدريج آخر يسمى بالتدريج الثانوي أو الورنية (Vernier Scale)، يكون متصلاً بفك القياس الثاني (الفك المتحرك Movable Jaw)، مثبت عليه ساق لقياس الأعماق (Stem for Depth Measurements) يتحرك مع الورنية، إذ تتم عملية القياس بوضع المشغولة بين فكي القدمة ويحرك الجزء المتحرك نحوها ثم تثبت على القياس المطلوب بواسطة مسمار للتثبيت (أو عتلة نابضية) ويحدد البعد المطلوب قياسه عن طريق قراءة المسطرة والتدريج الثانوي على الورنية.



الشكل 1-9 : أجزاء قدمة القياس ذات الورنية.

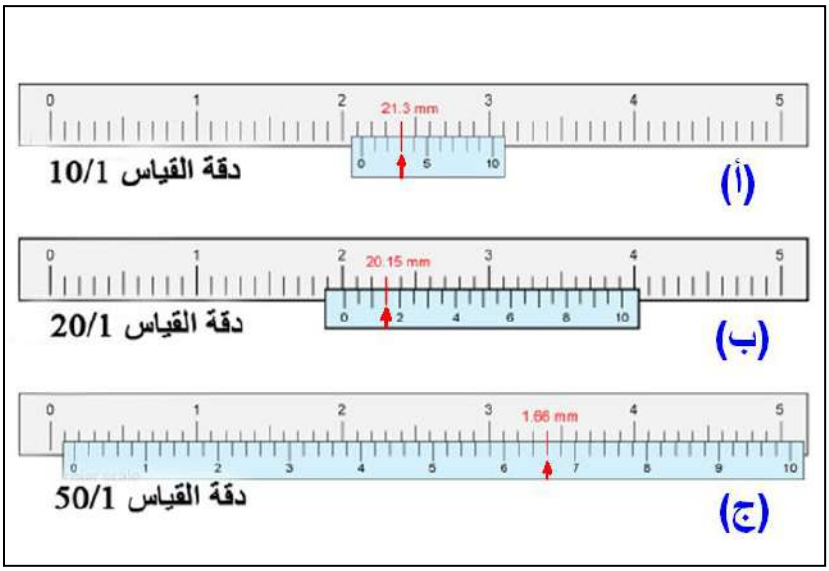
تتمكن قدمة القياس من إجراء عمليات القياس بواسطة الفكوك للأبعاد الداخلية والخارجية فضلاً عن قياس الأعماق إذ تتم القراءة (نفسها) على المسطرة المدرجة والورنية، الشكل (1-10).



الشكل 1-10 : عمليات قياس الأبعاد بقدمة القياس.

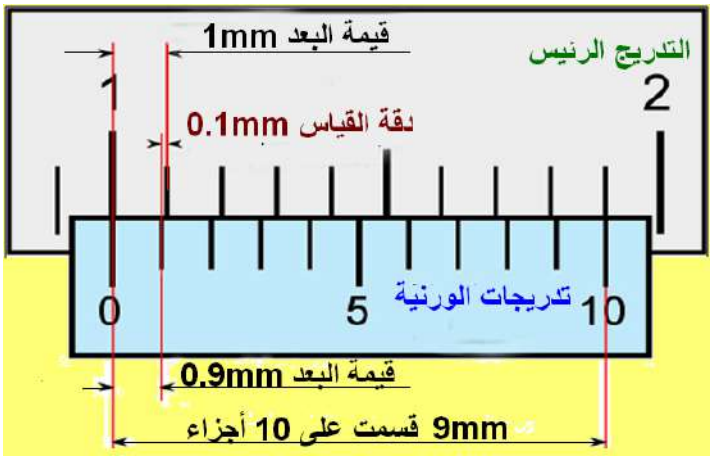
1-4-3 نظرية عمل القدمة ذات الورنية

يبين الشكل (1-11) توفر القدمة ذات الورنية بدرجات دقة مختلفة (0.1mm, 0.05mm, 0.02mm)، يتم تحديد دقة الورنية من لوحة تفاصيل الجهاز وعادة تكتب على جسم القدمة.



الشكل 1-11 : درجات الدقة في القدمة ذات الورنية.

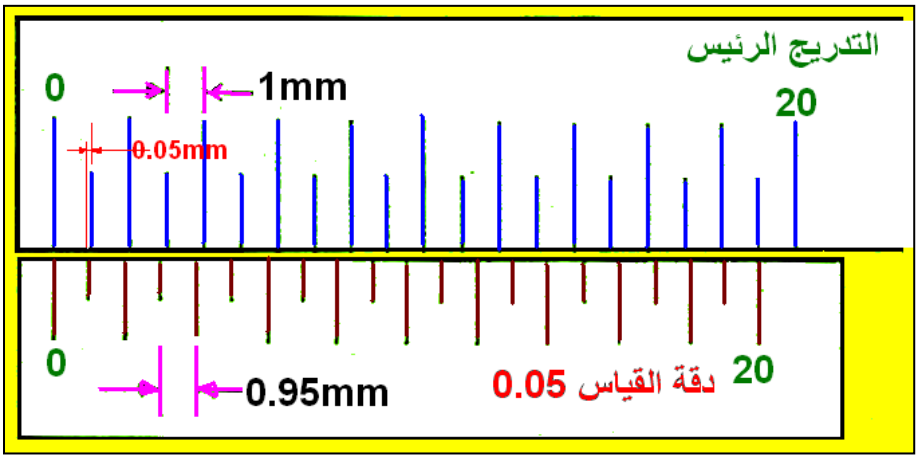
أ) القدمة ذات الدقة (0.1mm) : يقابل طول التدريج (الثانوي) على ورنية القدمة المنزلقة (9) أجزاء من تدريج المسطرة الثابتة (الرئيس)، إذ قسم هذا الطول على (10) أجزاء لتكون المسافة بين الأجزاء تعادل (0.9mm)، الشكل (1-12)، وبذلك يقل كل جزء على المسطرة المنزلقة بمقدار (0.1mm) عن أجزاء المسطرة الثابتة.



الشكل 1-12 : القدمة ذات الدقة (0.1mm).

عندما ينطبق تدريج الصفر على في الورنية مع تدريج الصفر في المسطرة الثابتة، نلاحظ أن التدريج الأول مزاح (متأخر) بمقدار (0.1mm) عن تدريج الجزء الأول في المسطرة، والتدريج الثاني سيكون بالتالي مزاحا بمقدار (0.2mm) عن مثيله في المسطرة، والثالث بمقدار (0.3mm) وهكذا يكون التدريج التاسع مزاحاً بمقدار (0.9mm)، أما التدريج العاشر من تدريجات الورنية المنزلقة فينطبق حتماً على التدريج التاسع من المسطرة الثابتة، وعلى ذلك تكون دقة الورنية (1/10).

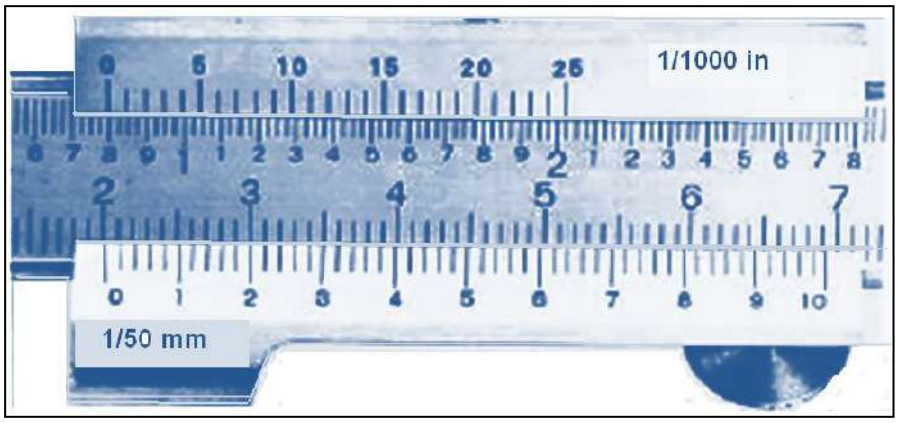
القدمة ذات الدقة (0.05mm) : يقابل طول التدريج (الثانوي) على ورنية القدمة المنزلقة (19) جزءاً من تدريج المسطرة الثابتة (الرئيس)، إذ قسم هذا الطول على (20) جزءاً لتكون المسافة بين الأجزاء تعادل (0.95mm)، الشكل (1-13)، وبذلك يقل كل جزء على المسطرة المنزلقة بمقدار (0.05mm) عن أجزاء المسطرة الثابتة.



الشكل 1-13 : القدمة ذات الدقة (0.05mm) .

عندما ينطبق تدريج الصفر على في الورنية مع تدريج الصفر في المسطرة الثابتة، نلاحظ أن التدريج الأول مزاح (متأخر) بمقدار (0.05mm) عن تدريج الجزء الأول في المسطرة، والتدريج الثاني سيكون بالتالي مزاحا بمقدار (0.05 x 2 = 0.1mm) عن مثيله في المسطرة، والثالث بمقدار (0.15mm) وهكذا يكون التدريج التاسع عشر مزاحاً بمقدار (0.95mm)، أما التدريج العشرون من تدريجات الورنية المنزلقة فينطبق حتماً على التدريج التاسع عشر من المسطرة الثابتة، وعلى ذلك تكون دقة الورنية (1/20).

القدمة ذات دقة (0.02mm) : يقابل طول التدريج (الثانوي) على ورنية القدمة المنزلقة (49) جزءاً من تدريج المسطرة الثابتة (الرئيس)، إذ قسم هذا الطول على (50) جزءاً لتكون المسافة بين الأجزاء تعادل (0.98mm)، الشكل (1-14)، وبذلك يقل كل جزء على المسطرة المنزلقة بمقدار (0.02mm) عن أجزاء المسطرة الثابتة، ويبين الشكل أن الورنية مجهزة بتدريجات البوصة ذات دقة القياس (1/1000 in)، لأن القدمة مقسمة على 25 جزءاً وتدريجات المسطرة مقسمة على 40 جزءاً لكل بوصة.

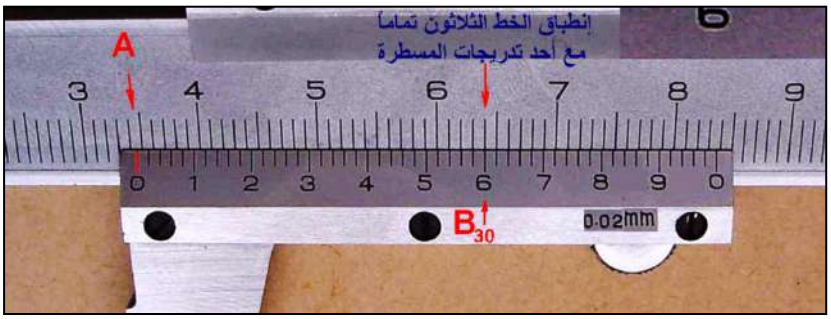


الشكل 1-14 قدمة القياس ذات الدقة (0.02mm).

عندما ينطبق تدريج الصفر على في الورنية مع تدريج الصفر في المسطرة الثابتة، نلاحظ أن التدريج الأول مزاح (متأخر) بمقدار (0.02mm) عن تدريج الجزء الأول في المسطرة، والتدريج الثاني سيكون بالتالي مزاحا بمقدار (0.02 x 2 = 0.04mm) عن مثيله في المسطرة، والثالث بمقدار (0.06mm) وهكذا يكون التدريج التاسع والأربعون مزاحاً بمقدار (0.98mm)، أما التدريج الخمسون من تدريجات الورنية المنزلقة فينطبق حتماً على التدريج التاسع والأربعين من المسطرة الثابتة، وعلى ذلك تكون دقة الورنية (1/50).

مثال 1-1

يبين الشكل (1-15) قدمة قياس ذات دقة قياس (0.02mm)، كم تكون قراءة البعد النهائي للقدمة؟



الشكل 1-15 : قراءة ورنية ذات دقة قياس (0.02mm).

تتم عملية قراءة قياس القدمة ذات الورنية على مرحلتين أساسيتين :

1. ننظر إلى ورنية القياس وبالتحديد إلى موقع الصفر ونقرأ العدد الذي على يساره والمسجل على مسطره القياس الرئيس، نسجل قيمه القراءة (A) بالمليمترات الصحيحة، (الأرقام المبينة على المسطرة هي سنتمترات والتدريجات البينية هي مليمترات).

$A = 34mm$

2. ننظر من بداية صفر المسطرة ونحدد أول تطابق تام بين تدرجي المسطرة والورنية ثم نقرأ عدد تدرج الورنية المسجلة مع التطابق، يضرب هذا العدد في دقة الورنية ويكون ذلك قيمة قراءه الورنية (B) بأجزاء المليمتر.

$$B= 30 \times 0.02 = 0.6\ mm$$

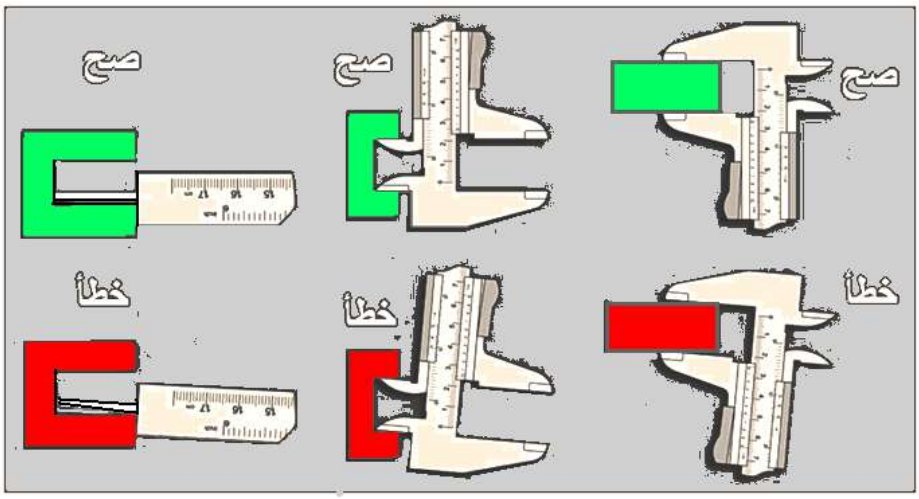
تكون نتيجة قيمة القياس، حاصل جمع قيمة (A) وقيمة (B)، لنحصل على قيمة القراءة الكلية لقدمة القياس ذات الورنية.

$$A + B = 34 + 0.6 = 34.6\ mm$$

4-4-1 قواعد استعمال قدمة القياس

للحصول على قراءات صحيحة وضمان دقة قياس القدمة عند إجراء أي عملية قياس من الواجب مراعاة القواعد والشروط الآتية : -

1. تنظيف عدة القياس والفكوك والمشغولة المطلوب قياسها من الزيوت والأتربة قبل الاستعمال.
2. اختيار أداة القياس المناسبة وتحديد موقع نقطة الصفر عليها.
3. يكون النظر عمودياً على التدريج في أداة أو جهاز القياس عند أخذ القراءة.
4. استعمال أداة القياس برفق وعدم استخدام الضغط والقوة أثناء عملية القياس.
5. الضغط على الفك السفلي (المنزلق) باتجاه سطح الجزء المطلوب قياسه، ومن دون استعمال قوة اكبر مما يلزم.
6. لا يجوز أن تكون القدمة مائلة ومرتكزة على حافتيها أثناء القياس مع الحفاظ على توازي الفكوك مع أسطح المشغولة، الشكل (1 - 16).



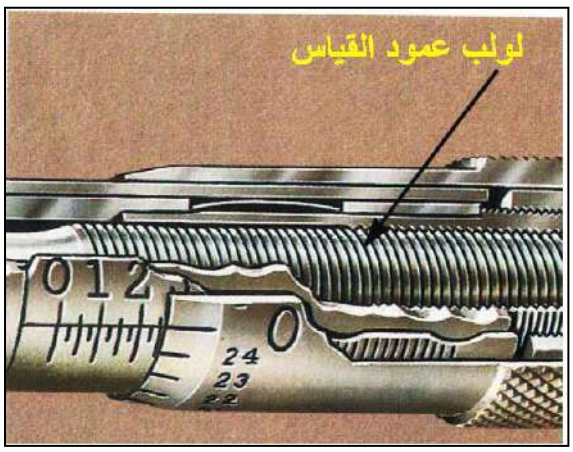
الشكل 1-16 : الطريقة الصحيحة لاستعمال القدمة ذات الورنية في القياس.

7. تقاس المشغولات عندما تكون الماكينة متوقفة (حتماً)؛ لمنع استهلاك أسطح الفكوك فضلاً عن حماية الأفراد من الحوادث .
8. تقاس المشغولات وهي باردة (درجة حرارة الغرفة)؛ إذ أن المشغولات الساخنة اكبر حجماً من أبعادها الاعتيادية.
9. تنظف القدمات بعد استعمالها وتزييتها ووضعها في أغلفة وفوق قاعدة لينة، لمنع التلف الذي يلحق بها من احتكاكها بالعدد الأخرى، أو تضررها نتيجة سقوطها على الأرض.

5-1 الميكروميتر (Micrometer)

تختلف طرق تصنيع المشغولات باختلاف الدقة المطلوبة التي تحددها أهمية الجزء المنتج، وتبعا لذلك صممت أدوات القياس لتكون حساسة لدقة محددة، وكما مر سابقا فإن أقصى دقة لقدمة القياس ذات الفرنية لا تصل لحد المايكرون (10^{-3} mm أو 10^{-6} m) وللحاجة لإنتاج قطع وأجزاء ميكانيكية يتطلب تجميعها وأداؤها دقة عالية أثناء التشغيل والإنتاج، صار ضرورياً استخدام أدوات وأجهزة قياس أكثر دقة، إذ يعد الميكروميتر من معدات القياس البسيطة الاستعمال والتي تستخدم في ورش التشغيل والمختبرات على نطاق واسع لصغر حجمه ودقته العالية التي تصل الى (0.001mm)، وتتوفر العديد من الأنواع المناسبة للقياسات الخارجية والداخلية وفي قياس الأعماق واللوالب (القلاووظ)، وسوف يأتي تفصيلها لاحقاً.

تعتمد فكرة الميكروميتر على حركة اللولب (القلاووظ) والصامولة والعلاقة التي تحكم حركتهما والتي هي الخطوة (Pitch) والتي تعرف بأنها المسافة الطولية التي يقطعها اللولب المرتبط مع صامولة عند تدويره دورة كاملة، فإذا كانت خطوة سن اللولب 1mm فعند دورانه دورة كاملة يتحرك اللولب الى الأمام (أو للخلف) مسافة قدرها 1mm، أي تحويل الحركة الدائرية الى حركة مستقيمة، ويبين الشكل (1-17) التركيب الداخلي للميكروميتر.



الشكل 1-17 :التركيب الداخلي للميكروميتر.

1-5-1 أنواع واستعمالات الميكروميتر

تنتج الميكرومترات بأشكال وأحجام مختلفة، كل منها مصمم لوظيفة، وذو مميزات تناسب المنتج المطلوب قياسه وعملية القياس المطلوبة بحسب نطاق القياس المطلوب، ويكون طول مشوار عمود القياس 25mm، والغرض من تصنيعه بهذه الصورة وعدم زيادة طول مشوار عمود القياس هو المحافظة على دقة وحساسية الميكروميتر، ويزداد نطاق قياس الميكروميتر بمقدار 25mm كمثل :-

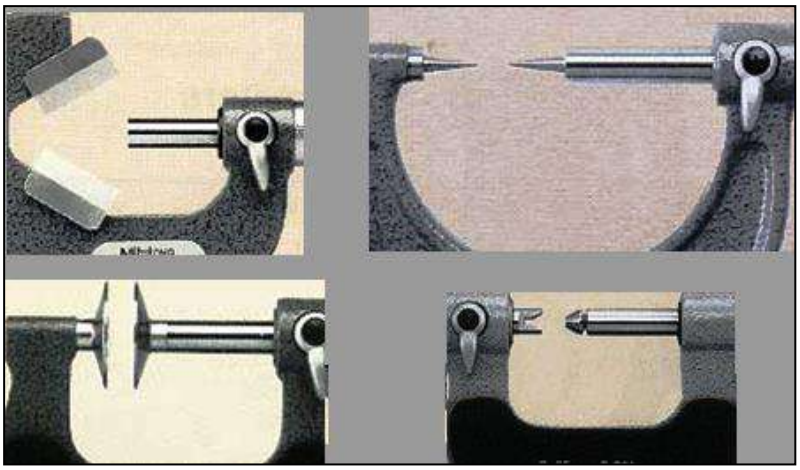
(0-25, 25-50, 50-75)، وهكذا الى أن يصل الى 1000mm، والذي يحتاج الى ثلاثة أشخاص لإتمام عملية القياس، أما في النظام الانكليزي فيمكن قياس الأبعاد حتى 40 in، ومن أهم أنواع الميكروميتر ما يأتي :-

1) ميكروميتر القياس الخارجي (Outside Micrometer)

تستعمل هذه الأجهزة لقياس الأبعاد الخارجية للقطع والمشغولات، كالأقطار الخارجية و السطوح المتقابلة، الشكل (1-18).

الشكل 1-18 : بعض أنواع ميكروميتر القياس الخارجي.

وتوجد أشكال متعددة لسطحي الفك الثابت (سندان الارتكاز) والفك المتحرك (عمود القياس)، لتناسب قياس سمك الألواح المعدنية والفراغات الرفيعة (رؤوس مدببة) واللوالب (القلاووظ) فضلاً عن المشغولات غير المنتظمة، الشكل (1-19).



الشكل 1-19 : ميكروميترات قياس خارجي ذات أشكال مختلفة لمنطقة القياس.

1-5-2 تركيب ميكروميتر القياس الخارجي

يبين الشكل (1-20) الأجزاء الرئيسة التي يتكون منها الميكروميتر.

1- **إطار (هيكل) (Frame):-** الهيكل الذي يحمل جميع الأجزاء، يكون على شكل حرف (U) يصنع من الصلب أو سبائك غير قابلة للصدأ، تغطى منطقة الحمل بطبقة عازلة لمنع تأثير تسرب حرارة اليد.

2- **قاعدة الارتكاز (السندان) (Anvil):-** وهو الجزء الثابت بالهيكل يرتكز (يستند) عليه الجسم المطلوب قياسه ويقابل الجزء المتحرك.

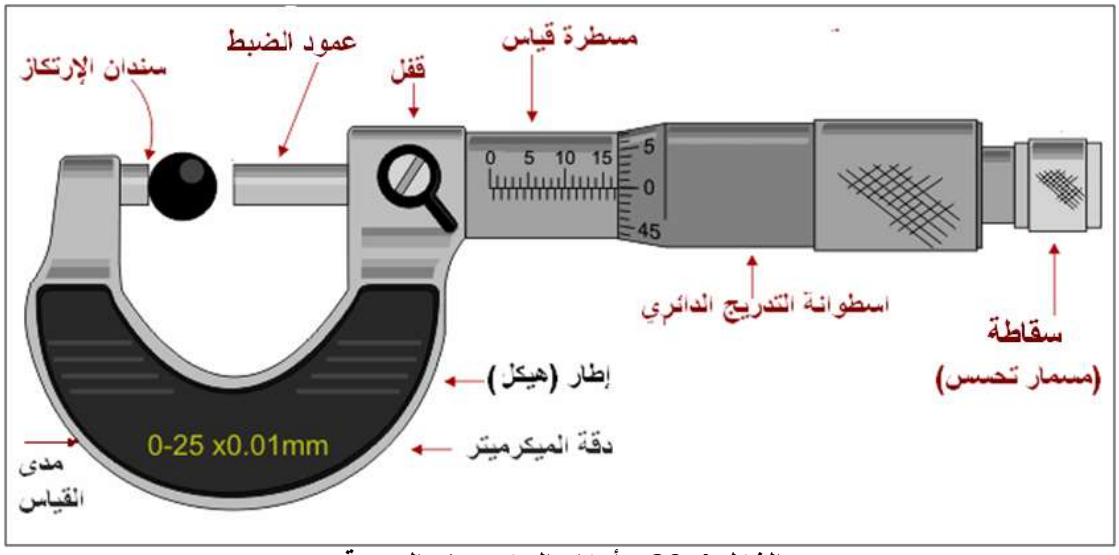
3- **عمود الضبط (المحور) (Spindle) :-** ساق أسطواني ذو صلادة ونعومة عاليتين يتحرك الى الداخل والخارج بواسطة لولب خطوة (0.5mm) ويقوم بحصر الجسم المراد قياسه مع قاعدة الارتكاز.

4- **مسطرة قياس (تدريج رئيس) (Sleeve with Main Scale) :-** الجزء الثابت بالهيكل يوجد على سطحها الخارجي خط طول يسمى الخط الأساس للقياس ويبدأ من (25 – 0) ملم وتكون قراءة المليمترات من الأعلى وأنصاف المليمتر من الأسفل .

5- **اسطوانة التدريج الدائري (Thimble with Rotating Vernier Scale) :-** الجزء الذي يتحكم في حركة عمود الضبط فيه أرقام مدرجة على محيطه (بدون وحدات)، مقسم على 50 جزءاً .

6- **سقاطة (عجلة تحسس) (Ratchet):-** تقوم بتحريك عمود الضبط لتحديد مقدار قوة ضغط الفكين على المشغولة، وعند التلاقي مع قاعدة الارتكاز تنزلق ويسمع لها صوت تزويل يدل على توقف حركة عمود الضبط وإمكانية أخذ القراءة.

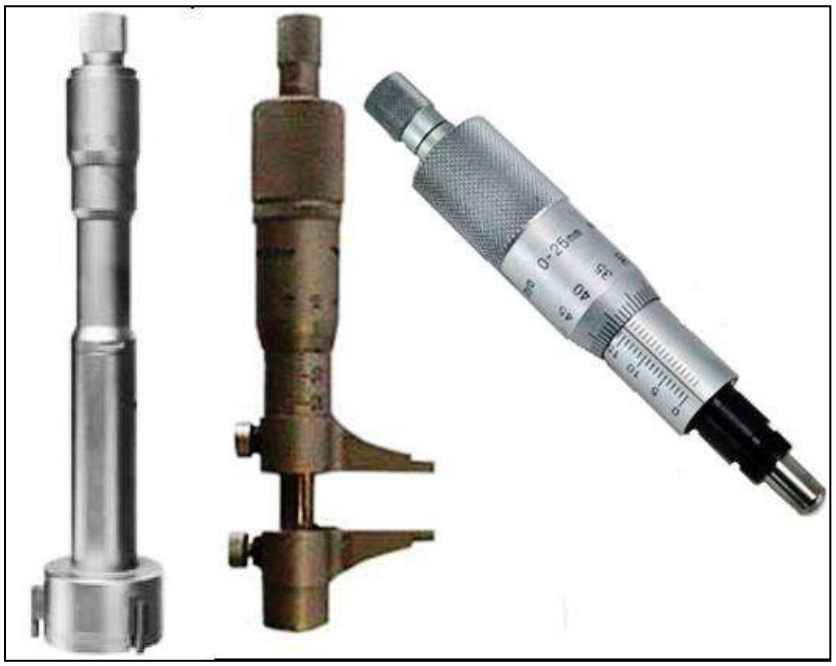
7- **قفل (عتلة تثبيت) (Lock): -** يثبت عمود الضبط لتحديد قراءة القياس.



الشكل 1-20 : أجزاء الميكروميتر الرئيسة.

2) ميكروميتر القياس الداخلي (Inside Micrometer)

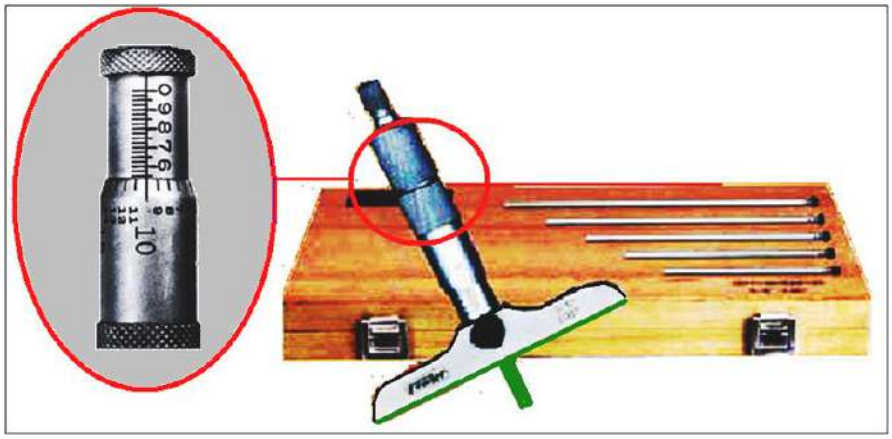
يستعمل هذا النوع من الميكروميترات لقياس الأقطار الداخلية، الثقوب والتجاويف، هذا النوع لا يحتوي على هيكل أو عمود ارتكاز ومزود بأعمدة تطويل يمكن استخدامها لزيادة مجال القياس، أو فكوك (ثابت ومتحرك)، أو ثلاثة فكوك لقياس الأقطار الداخلية، الشكل (1-21)، وتتم قراءة القياس على الميكروميتر الداخلي بنفس الطريقة لميكروميتر القياس الخارجي وتضاف إلى النتيجة قيمة الطول الصفري للميكروميتر (طول العمود المضاف).



الشكل 1-21 : ميكروميتر القياس الداخلي.

3) ميكروميتر قياس الأعماق (Depth Micrometer)

يستعمل هذا النوع لقياس أعماق الثقوب والمجاري، يتكون هذا النوع من جزء ثابت و جزء متحرك كما في ميكروميتر القياس الخارجي، يكون شكل الجزء الثابت مصمماً لإسناد الجهاز على سطح المشغولة المراد قياسها، الشكل (1-22)، ولزيادة مدى القياس يزود بأعمدة قياسية من الصلب يتم توصيلها بالجزء المتحرك ذات أبعاد قياسية، مع ملاحظة أن التدريج الموجود على عمود القياس (مسطرة القياس) يكون وضعه معاكساً لوضعه في ميكروميتر القياس الخارجي، إذ يبدأ الصفر الموجود في الأعلى وينتهي بالقيمة العظمى في الأسفل؛ نتيجة طبيعة قياس الأعماق فكلما زاد العمق تطلب ذلك امتداد العمود المتحرك، وذلك ينطبق أيضاً على تدريجات عجلة القياس الدائري.



الشكل 1-22 : ميكروميتر قياس الأعماق.

العناية بجهاز الميكروميتر

يعد جهاز الميكروميتر من أدوات القياس ذات الحساسية العالية فضلاً عن ارتفاع ثمنه، وللحفاظ على هذه الدقة يجب التعامل بعناية مع الجهاز وإتباع الإرشادات الآتية:-

1) وضع الميكروميتر بمعزل عن باقي العدد عند التشغيل على الماكينات،فضلاً عن وضعه في مكان آمن ونظيف بعد الاستعمال.
2) عدم وضع الميكروميتر على الرايش الناتج عن عمليات تشغيل المواد أو غبار التجليخ، وعدم تعريضه للزيوت و سوائل التبريد.
3) مسك الميكروميتر من المناطق المغلفة بالعازل لتجنب تأثره بحرارة اليد مع عدم تعريضه للسقوط.

4) عند القياس يجب استعمال السقاطة (عجلة التزويل) لتجنب الضغط المبالغ فيه لعمود القياس مما قد يؤثر سلبا على دقة الجهاز.

5) ترك مسافة صغيرة بين فكي الميكروميتر أثناء التخزين لتجنب التآكل (بفعل رطوبة الجو) بمضي الوقت.

قراءة قياس الميكروميتر الخارجي

لإجراء القياس بالميكروميتر تسُند المشغولة المطلوب قياسها على سندان الميكروميتر ويدفع عمود الضبط ويتم حصر قطعة العمل بين السندان وعمود الضبط وذلك بتدوير الاسطوانة المتحركة حتى يقترب عمود الضبط من التلامس مع المشغولة، ثم تدوير سقاطة التدوير لتضغط على المشغولة ويسمع صوتها (صوت الراجز)، يغلق بعدها قفل أو حلقة الربط، ويسحب الميكروميتر بعيدا عن المشغولة، ثم تؤخذ نتيجة القياس.

مثال 1-2

بعد الانتهاء من عملية قياس مشغولة بواسطة ميكروميتر قياس الأبعاد الخارجية، مطلوب حساب قيمة القراءة المبينة في الشكل (1-23)، علما أن خطوة لولب الميكروميتر 0.5mm.

الشكل 1-23 : قراءة قياس ميكروميتر الأبعاد الخارجية.

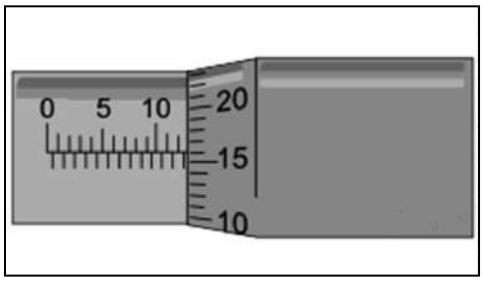
بما إن خطوة اللولب (القلاووظ) تمثل المسافة الخطية التي ينتقل بها عمود القياس عند تدوير الاسطوانة المدرجة دورة كاملة، ولكون الاسطوانة مقسمة على 50 جزءاً فأن كل جزء يمثل قيمة تعادل 0.01mm، والتي تمثل دقة الميكروميتر، (0.5 ÷ 50 = 0.01 mm)، وللحصول على القيمة النهائية نتبع الآتي:-

1. نقرأ على مسطرة القياس (التقسيم الرئيس العلوي) الذي يمثل عدد المليمترات الصحيحة (7mm).
2. نقرأ على مسطرة القياس (التقسيم الرئيس السفلي) الذي يمثل أنصاف المليمترات (في حالة ظهوره) ومنه نحصل على (0.5mm).

3. نقرأ قيمة الجزء في الاسطوانة ذات التدريج الدائري (المخروط) والمتطابق مع الخط الموازي لمحور الميكروميتر على مسطرة القياس، (المتكون من 50 جزءاً) والذي يعادل كل جزء منه 0.01mm لنحصل على (0.38mm).
4. تجمع القراءات الثلاث فيكون الناتج هو القياس المطلوب، (7+ 0.5 + 0.38 = 7.88mm).

مثال 1-3

احسب مقدار القراءة للميكروميتر المبينة بالشكل (1-24).



الشكل 1-24 : قراءة قياس ميكروميتر الأبعاد الخارجية.

قراءة المسطرة بالتدريج العلوي (12mm)

قراءة المسطرة بالتدريج السفلي في حالة ظهوره (أنصاف المليمتر) (0.5 mm)

قراءة التدريج الدائري ستة عشر جزءاً 16 x 0.01 = 0.16

تجمع القراءات 12 + 0.5 + 0.16 = 12.66mm

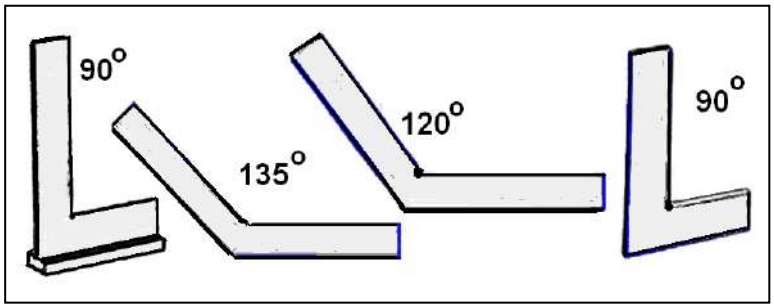
1-6 أدوات قياس الزوايا (Angles Measuring Equipments)

يعد قياس الزوايا من الإجراءات الضرورية في مجال التشغيل لوجود السطوح المتعامدة والمائلة بزاوية في المشغولات وعدد القطع على حد سواء، ما يستوجب التأكد من القيم القياسية والمطلوبة بدقة تناسب نوع المشغولة أو عدة القطع، وتتطلب عمليات التشغيل تخطيط وقياس الزوايا المختلفة (الحادة – القائمة – المنفرجة) باستخدام زوايا ثابتة، وهي أدوات قياس ذات قيم ثابتة، يتم التحقق من قيم الزوايا بانطباقها تماما على الأسطح المشغولة، أو باستخدام زوايا متحركة وهي أدوات قياس قابلة للضبط مزودة بمعايير مدرجة لتحديد قيم الزوايا المطلوب تخطيطها أو فحصها، ذات درجات دقة مختلفة تعطي قياسات الزوايا بالدرجات وأجزائها بحسب النظام الستيني (راجع الفقرة 2-2-2)، فضلاً عن أجهزة قياس تعتمد على العلاقات المثلثية في حساب الزوايا، من تلك الأدوات ما يأتي:-

1-6-1 الزوايا الثابتة (Flat Angles)

تصنع الزوايا الثابتة بشكل ألواح مستطيلة من الصلب متوسط الصلادة (لا يصدأ) تقسى وتجلخ. إن الجزء العلوي والذي يسمى بالوجه يكون مقطعه مستطيل وذو سمك رقيق أو مشطوف ليساعد على وضوح الرؤية أثناء استخدامها لاختبار استواء المشغولات، وتنحصر الزوايا الثابتة بين جانبي اللوحين، الشكل (1-25)، وأنواع الزاوية كما يأتي :-

- زاوية قائمة 90^o وهي الأكثر انتشاراً.
- زاوية منفرجة 120^o لاستخدامها أثناء مراجعة المشغولات المسدسة.
- زاوية منفرجة 135^o لاستخدامها أثناء مراجعة المشغولات المثمنة.

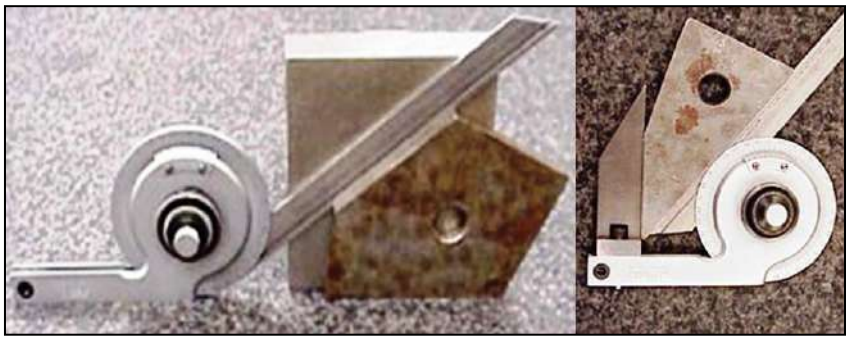


الشكل 1-25 : الزوايا الثابتة.

وتوجد الزوايا الثابتة الحادة الزاوية (30^o, 45^o, 60^o) وهي أقل انتشاراً، كما توجد الزاوية القائمة ذات القاعدة والتي تماثل الزاوية القائمة السابق ذكرها بإضافة قاعدة على شكل جناحين لارتكازها على زهرة الاستواء بشكل رأسي، عند استخدامها لرسم الخطوط العمودية أو لتخطيط (شنكرة) المشغولات أو لاختبار ومراجعة تعامدها.

2-6-1 الزوايا المتحركة (Moving Angles)

تتكون تلك المقاييس من جزأين أو أكثر، المسطرة الثابتة التي تحمل المنقلة والمسطرة المتحركة التي تنزلق على مجاري انزلاق، تثبت المسطرة المتحركة بمسمار لولبي عند إتمام عملية القياس، وتعد المنقلة هي الجزء الأساس بجميع أشكال الزوايا المتحركة، لتحديد قيمة الزوايا أثناء تخطيطها أو مراجعتها، ويبين الشكل (1- 26) طريقة قياس الزوايا المنفرجة والحادة.



الشكل 1-26 : استعمال أدوات قياس الزوايا.

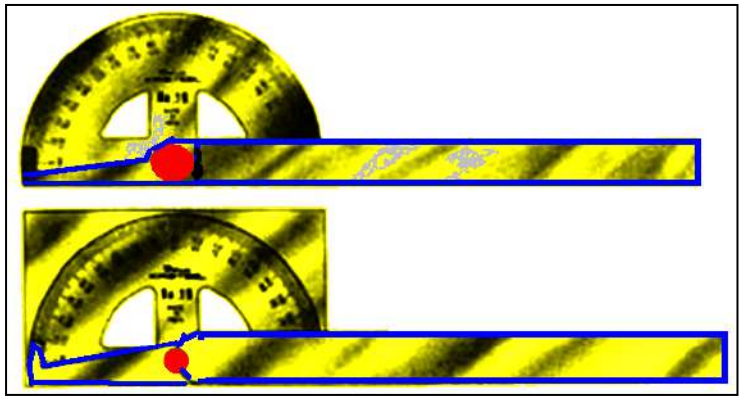
صممت الزوايا المتحركة بعدة أشكال، وأنواع الزوايا المتحركة هي كما يأتي:-

1. الزاوية المتحركة البسيطة (Simple Moving Angle)

جهاز بسيط لضبط ورسم أي زاوية، بخلاف الزاوية القائمة، إذ تعتمد على نقل الزوايا من القطع الأصلية إلى الأجزاء المطلوب اختبارها أو تخطيطها، تتكون الزاوية المتحركة البسيطة من ثلاثة أجزاء: المسطرة الثابتة وتمثل قاعدة الزاوية فيها مجرى طولي، والمسطرة المتحركة التي تثبت مع المسطرة الثابتة بواسطة لولب ضبط.

2. المنقلة البسيطة (Simple Protractor)

أداة قياس على شكل نصف دائرة، وهي مقسمة على 180^o تتكون من المسطرة الثابتة التي توجد بقاعدة المنقلة، والمسطرة المتحركة وتثبت على المسطرة الثابتة بواسطة لولب ضبط، وقوس المنقلة المدرج ويوجد بنهاية المسطرة المتحركة المؤشر الذي يحدد قيمة الزوايا بالدرجات، الشكل (1-27)، تستخدم المنقلة البسيطة للتخطيط ولاختبار ومراجعة زوايا المشغولات غير الدقيقة، إذ توضع المسطرة الثابتة على قطعة التشغيل المطلوب مراجعة قياسها أو تخطيطها، وبتحريك المسطرة المتحركة لتتطابق مع المشغولة يتم تحديد قيمة الزوايا بالدرجات . تصل دقة قراءة المنقلة إلى درجة واحدة .



الشكل 1-27 : المنقلة البسيطة.

3. المنقلة البسيطة ذات الورنية (Simple Vernier Protractor)

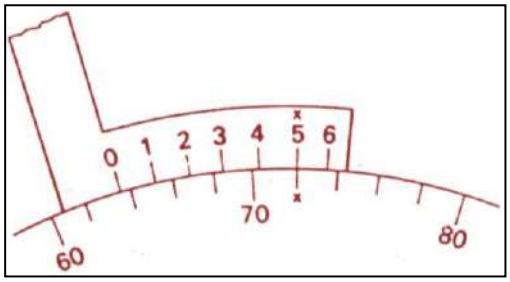
تتكون المنقلة البسيطة ذات الورنية كما المنقلة البسيطة باختلاف إضافة ورنية لتصل دقة قياسها إلى ثلث درجة (20 دقيقة)، (الدرجة تساوي ستين دقيقة)، إذ يوجد التدريج الرئيس بالدرجات على المنقلة وكل قسم يساوي 2^o تكتب الأرقام كل 10^o، أما التدريج الثانوي على الورنية، فيقابل مسافة 10^o من التقسيم الأساس وقسمت على 6 أقسام متساوية ويكون حساب دقة الورنية كالآتي:-

$$10^\circ \div 6 = 1\frac{2}{3}^\circ$$

ولكون القسم الواحد من التدريج الأساس يعادل 2^o ويكافئ قسماً واحداً من التقسيم الثانوي أي أن الدقة ستكون الفرق بين التدريج الأساس والثانوي:-

$$2° - 1\frac{2}{3}° = \frac{1}{3}°, \quad (20`)$$

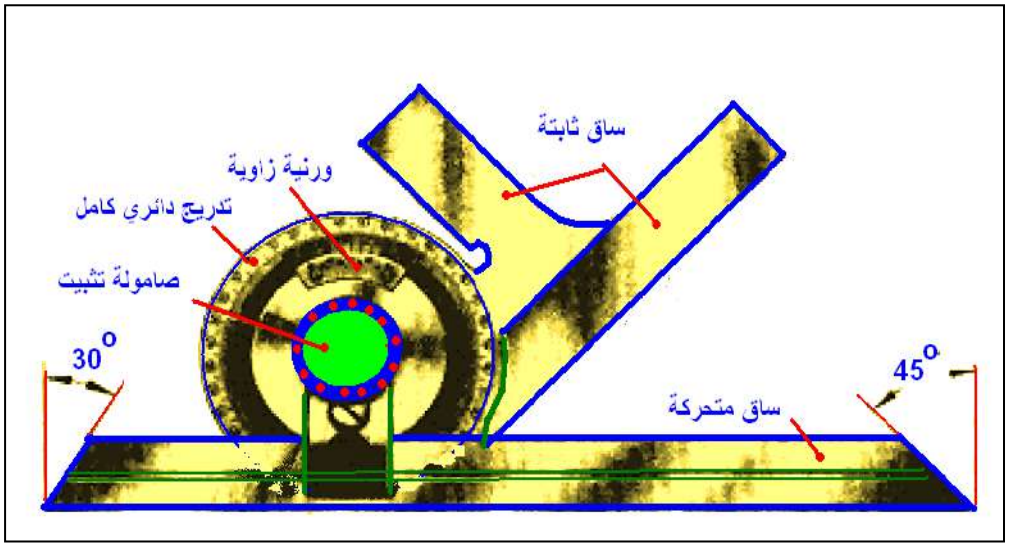
ويبين الشكل (1-28) مثالاً على قراءة المنقلة إذ يشير صفر الورنية الى قراءة الدرجات على المنقلة أكبر من 62^o وأقل 63^o ، لذلك تكون الدرجات الصحيحة 62^o يضاف اليها جزء من الدرجة الذي يشير اليه التدريج المساعد بالورنية (5 أقسام)، $5 \times 2` = 100`$ ، والمائة دقيقة تعادل $1^o\ 40`$ لتصبح القراءة الكلية $63^o\ 40`$.



الشكل 1-28 : قراءة المنقلة ذات الورنية البسيطة.

4. المنقلة ذات الورنية الشاملة (Vernier Protractor)

هي أحد الأشكال المتطورة للمنقلة البسيطة وتتكون من الساق المتحركة وساقين ثابتتين وتدريج دائري كامل مع تدريج الورنية على جانبي خط الصفر يضم كل تدريج 12 قسماً وصامولة تثبيت، الشكل (1-29)، وتبلغ دقة المنقلة $5`$ (جزءاً واحداً من اثني عشر جزءاً من الدرجة)، أما الساق المتحركة فهي قابلة للحركة طولياً ذات طرفين بزوايا قياسية $(30^o, 45^o)$، وتحسب الدرجات من الصفر أو من 90^o حسبما يتم الضبط، باتجاه صفر الورنية ثم الاتجاه نحو الأسفل على الورنية بنفس الاتجاه لحين إيجاد التقابل بين التدريجين لتؤخذ منه قراءة الدقائق، وتزود قسم من المنقلات بعدسة مكبرة لتسهيل القراءة الدقيقة والتي تعوض أحيانا عن الورنية.



الشكل 1-29 : المنقلة ذات الورنية.

أخذت مسافة قدرها 23^o من التقسيم الأساسي من كلا الجهتين اليمنى واليسرى بالمنقلة الدائرية وقسمت على 12 قسماً (متساوياً) على الورنية من كلا الجهتين أيضاً، بحيث ينطبق صفر التدريج الرئيس بالمنقلة الدائرية مع صفر التدريج الثانوي للورنية بذلك يكون مقدار القسم الواحد بالورنية :-

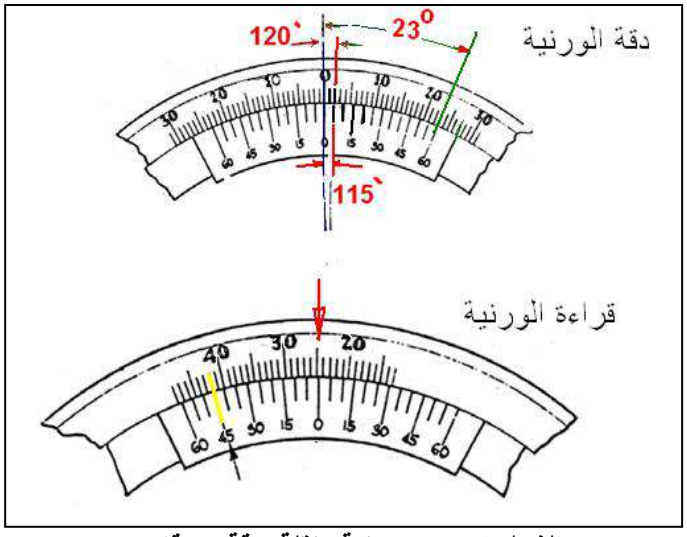
$$23° \div 12 = 1°\frac{11}{12} \ , \quad (60` \times \ 1°\frac{11}{12} = 115`)$$

وكل قسمين من التقسيم الرئيس بالمنقلة يساوي 2^o ويكافئ قسماً واحداً من التقسيم المساعد بالورنية المنزلقة، وهذا يعني أن الفرق بين قيمة قسمين من التقسيم الرئيس وقسم واحد من التقسيم المساعد بالورنية:-

$$2° - 1\frac{11}{12}° = \frac{1}{12}° \ , \quad (\frac{1}{12}° \times 60 = 5`)$$ وهي دقة الورنية

ويرقم كل خط ثالث في التدريجات وابتداءاً من الصفر بخطوة مقدارها 5 دقائق، لتسهيل القراءة.

ويوضح الشكل (1-30) دقة الورنية ومثالاً على قراءة قيمة لزاوية مقدارها $25^o\ 45`$.



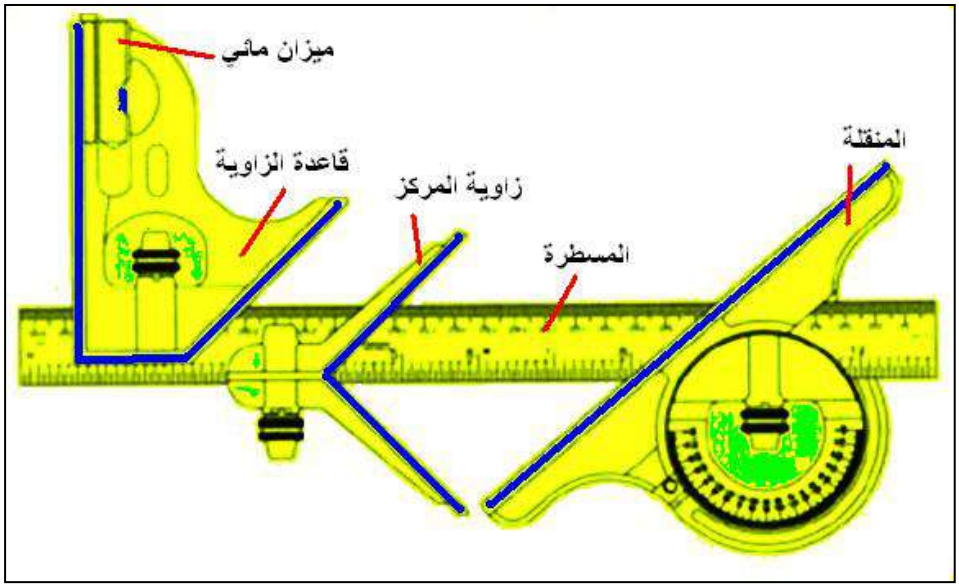
الشكل 1-30 : ورنية منقلة بدقة 5 دقائق.

5. المنقلة الجامعة (Universal Bevel Protractor)

تسمى بالجامعة لكونها تستخدم لمجموعة أغراض مختلفة كقياس ومراجعة ورسم الزوايا المختلفة بالدرجات والدقائق، تخطيط (شنكرة) المشغولات الأسطوانية لتحديد المراكز باستخدام زاوية تحديد المراكز، مراجعة الاستواء باستخدام ميزان الماء، ويمكن استخدامها كزاوية قائمة لتخطيط وقياس ومراجعة المشغولات العمودية، واستخدامها كمسطرة مدرجة رأسية.

يوضح الشكل (1-31) أجزاء المنقلة الجامعة إذ تتكون الزاوية من المسطرة لاستخدامها في القياسات العادية وتركب عليها جميع أجزاء الزاوية، ويمكن استخدامها مع القاعدة بشكل رأسي لتقوم بعمل الزاوية القائمة، وتعد المنقلة الجزء الأساسي بالزاوية الجامعة إذ تستخدم في ضبط ومراجعة ورسم

الزوايا المختلفة، أما زاوية المراكز فتستخدم لتحديد مراكز المشغولات الأسطوانية، وتحمل قاعدة الزاوية ميزان ماء وتستخدم في مراجعة واختبار استواء المشغولات.



الشكل 1-31 : المنقلة الجامعة.

7-1 أدوات وأجهزة الفحص والمعايرة

تستخدم أنواع عديدة من أدوات الفحص ذات القيم الثابتة لاختبار القياسات وكذلك الأشكال عن طريق مقارنتها مع أبعاد دقيقة لتلك الأدوات، وهي لا تعطي قيماً عددية وإنما تستخدم للتأكد من التطابق مع البعد المشغل أو شكل المشغولة المطلوب وبالتالي قبول أو رفض المنتج بطريقة فحص دقيقة وسريعة، إذ تصنع تلك الأدوات من صلب العدة ألسبائكي المصلّد والمجلخ بنعومة فائقة. وتشمل ضبعات الأقواس، ضبعات الأسنان، قوالب القياس، المساطر الشعرية لفحص استواء الأسطح، المعايير الحدية الثابتة والقابلة للضبط التي يمكن بواسطتها فحص الأقطار الداخلية والخارجية والسلبات، فضلاً عن محددات القياس (Gauges).

1-7-1 ساعة القياس (Dial Gauges)

محددات قياس ذات قرص مدرج أو مبين تستعمل لتحديد قيم انحرافات مقاسات وأبعاد القطع المصنعة عن الأبعاد المنصوص عليها في المواصفات والتصاميم، وتتكون من عمود القياس المنتهي بأصبع استشعار، عمود للتثبيت، ساعة بيان تحتوي على قرص مدرج ثابت وآخر قابل للدوران مع حلقة قابلة للدوران مرتبطة بالتدريج القابل للدوران، ومؤشر بدقة 1mm وآخر بدقة 0.01mm، وتتراوح أحجام ومجالات قراءة الساعة بحدود (6-10mm, 10-18mm, 50-150mm).

تثبت ساعة القياس على سطح مستوٍ وعن طريق تحريك إصبع الاستشعار على السطح المراد فحصه تنتقل انحرافات الأبعاد إلى المؤشر على الساعة المدرجة لتحديد قيم الانحرافات على السطح المقاس، الشكل (1-32).

الشكل 1-32 : أجزاء ساعة القياس وطريقة التثبيت.

1-7-2 محددات القياس (Measurement Gauges)

توجد أنواع عديدة من محددات القياس المستعملة بشكل واسع في ورش التشغيل و في المجال الصناعي، يمكن تصنيفها كما يأتي:-

1) **محددات القياس الحدية :** تسمح هذه المحددات بالتأكد بطريقة سريعة وسهلة فيما إذا كان بعد القطعة المطلوب قياسها في نطاق حدي التجاوز المطلوب (أو التفاوت المسموح به)، ومن أهم هذه المحددات ما يأتي:-

أ) محددات القياس السدادية (Plain Cylindrical gauges): تستخدم لاختبار سماحات وتفاوتات الثقوب (تنتج الثقوب وفقاً لأبعاد قياسية عالمية متفق على أقطارها بما يتوافق مع الأقطار الخارجية للأعمدة التي تدور فيها) إذ تحتوي على طرفين الأول القياسي (السماحي ويرمز له بالكلمة Go) والثاني المتجاوز على القياس (الغير سماحي ويرمز له بالكلمة Not Go) مؤشر باللون الأحمر ويكون أكبر من الطرف الأول (في حالة إمكانية نفاذه في الثقب المطلوب قياسه يدل على تجاوز القطر الداخلي وعدم صلاحيته) وتثبت أرقام السماحات ورموز القياسات على جسم العدة، الشكل (1-33).

ب) محددات القياس الفكية (Snap gauges): تستخدم لاختبار سماحات وتفاوتات الأعمدة (تنتج الأعمدة وفقاً لأبعاد قياسية عالمية متفق على أقطارها بما يتوافق مع الأقطار الداخلية للثقوب التي تدور داخلها) إذ تحتوي على طرفين الأول القياسي (السماحي Go) والثاني المتجاوز على القياس (الغير سماحي Not Go) مؤشر باللون الأحمر يكون أصغر من الطرف الأول (في

حالة إمكانية احتوائه للعمود المطلوب قياسه يدل على تجاوز القطر الخارجي وعدم صلاحيته) وتثبت أرقام السماحات ورموز القياسات على جسم العدة، الشكل (1-33).

الشكل 1-33 : محددات القياس السدادية والفكية.

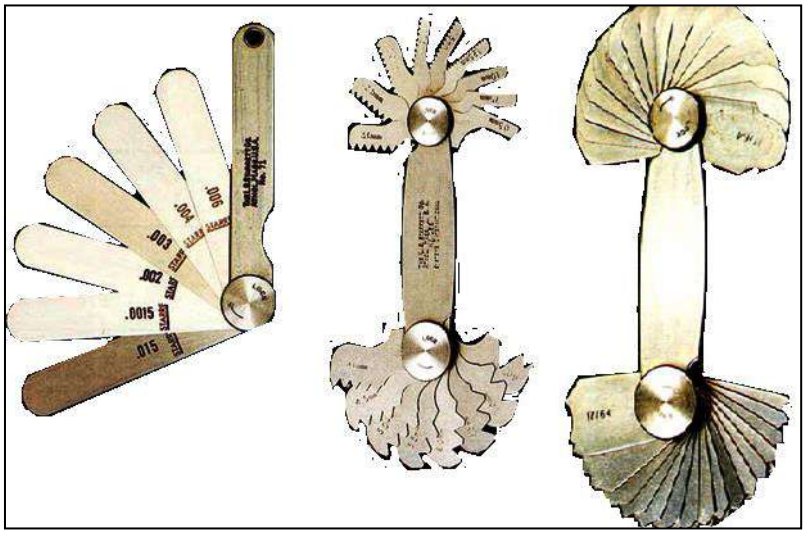
ج) محددات قياس اللوالب السدادية (للقلاووظ الداخلي) (Thread Gauge): تكون مشابهة لمحددات القياس السدادية العادية إلاّ أنها تستخدم لفحص واختبار أسنان اللوالب الداخلية الدقيقة، الشكل (1-34).

د) محددات قياس اللوالب الحلقية (Ring Gauges): تستعمل لفحص ومطابقة أسنان اللوالب الخارجية الدقيقة ولها أشكال متنوعة كحلقات (صواميل) أو محدد قياس اللوالب الفكي الذي يكون على شكل حرف U إذ يحتوي على أربع بكرات ملولبة مركبة على محاور متوازية تدور أثناء فحص اللولب تمثل البكرتان الأماميتان الطرف السماحي Go والبكرتان الخلفيتان الطرف غير السماحي Not Go، الشكل (1-34).

الشكل 1-34 : محددات قياس أسنان اللوالب (الداخلية والخارجية).

يراعى عند استخدام المحددات آنفة الذكر عند استعمالها في عمليات الفحص لأبعاد القطع المصنعة، أن تنظف المشغولات قبل الفحص، وعدم ضغط المحددات السدادية أو الفكية لغرض إدخالها بالقوة داخل القطعة المفحوصة بل يكون تأثير قوة الوزن الذاتي للمحدد حتى يدخل داخل القطر المراد فحصه، أما عند استعمال محددات القياس بطرفين، فنبدأ دائما بالجانب الغير سماحي ليتم تحديد مصير القطعة فيما اذا كانت تالفة أو يمكن إعادة تشغيلها يليها الطرف السماحي ولأبعد حد ممكن لضمان مطابقتها للمواصفات و ضمن نطاق التفاوت المسموح به.

2) **محددات القياس البسيطة :** تستعمل هذه المحددات للفحص السريع والدقيق لأشكال وأبعاد القطع، كمحددات فحص الاستدارة والانحناءات البارزة والداخلية، محددات قياس خطوة أسنان اللوالب الداخلية والخارجية، إذ يتم الفحص بالنظر عند عدم ظهور فاصل ضوئي بين محدد القياس والمشغولة، ومحددات قياس السمك المتكونة من شرائح فولاذية متعددة السماكات تستخدم لتعيين الخلوص في المجاري الإنزلاقية والصمامات وكراسي التحميل، الشكل (1-35).



الشكل 1-35 : محددات القياس البسيطة.

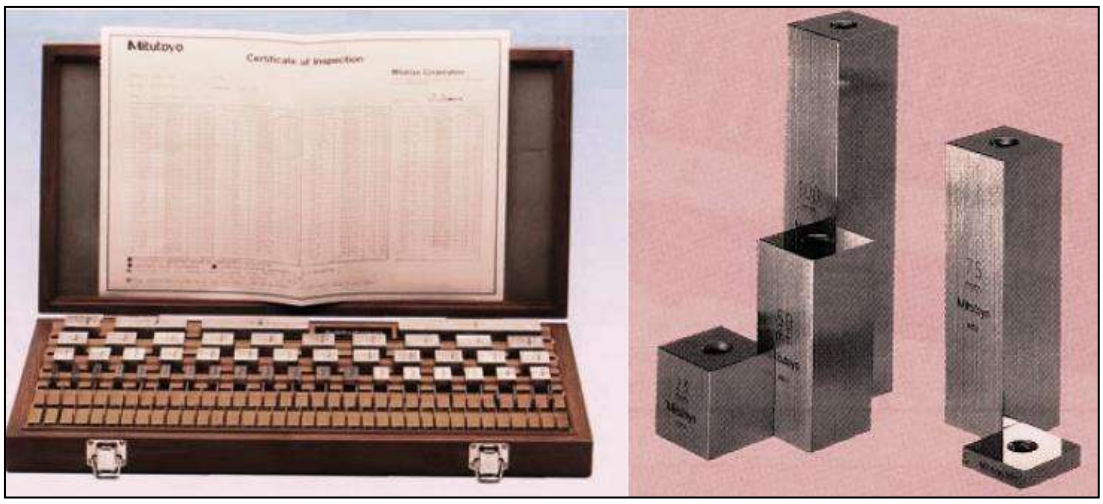
3-7-1 قوالب القياس

أدوات لتمثيل الأبعاد بدقة عالية جدا تستخدم للقياس المباشر أو في مقارنة القياس (كمحددات قياس) بهدف مراقبة جودة المشغولات ودقة أبعادها، فضلاً عن ضبط ومعايرة أجهزة القياس وتحديد نسبة الخطأ في قراءاتها، وتصنع من الصلب السبائكي المصلّد والذي يحتوي على نسبة كروم لمنع الصدأ، على شكل ألواح موشورية ذات مقطع مستطيل أو مربع، تعالج حرارياً بعدة عمليات لإزالة كافة الإجهادات الداخلية ويصفى البعد النهائي عند درجة حرارة $20^{o}C$، لذلك يوصى باستخدامها عند تلك

الدرجة لتلافي الخطأ الناتج عن التمدد الحراري، (تم تصنيعها مؤخراً من السيراميك لخفة وزنه ومقاومته للحرارة والتآكل).

سطحا القياس في كل قالب يكونان مصقولين ومتوازيين ويكتب على أحدهما البعد المحدد للقالب وتختلف دقة القياس لكل مجموعة (Set) وتكون على أربع رتب تبدأ من الرتبة الصفرية ذات الدقة العالية 0.00006mm (±0.06 ميكرون) الى الرتبة الرابعة ذات الدقة 0.00045mm (± 0.45 ميكرون).

تتوافر قوالب القياس بشكل مجموعات (أطقم) في صناديق خشبية بهدف المحافظة عليها وعلى دقتها، يحتوي كل منها على عدد محدد من القوالب متدرجة بالأبعاد بشكل يسمح بتجميعها لتوفير القياس المطلوب، الشكل (1-36).



الشكل 1-36 : قوال قياس من الصلب.

ويبين الجدول (1-5) مثالاً عن طقم من قوالب القياس :

الجدول (1- 5) : محتويات طقم لقوالب قياس.

مقدار التزايد (الخطوة) (mm)	أطوال القوالب (mm)	عدد القوالب
-	1.005	1
0.01	1.01 :1.19	19
0.1	1.2 : 1.9	8
1	1 : 9	9
10	10 : 100	10
المجموع		47

لتركيب بعد معين باستخدام قوالب القياس يجب تحديد مقاسات القوالب التي نستعملها في تركيب القياس المطلوب إذ تجرى عمليه حسابيه بسيطة على النحو الأتي:

1. اختيار قالب القياس الذي يحقق أصغر رقم عشري في قيمة البعد المطلوب يليه قالب يحقق الرقم العشري التالي وهكذا حتى يكتمل البعد الكلي المراد تحديده.
2. يجب أن يراعى خلال هذه العملية استعمال أقل عدد ممكن من قوالب القياس وهذا للتقليل من نسبه الخطأ في البعد المطلوب تحقيقه.

مثال 1-4

باستعمال قوالب القياس كون البعد: 5.615mm

الطريقة الحسابية تقتضي طرح الأعداد العشرية الصغيرة (أقصى اليمين) وابتداءاً بالقالب ذو القياس 1.005 mm وكالآتي:-

5.615 – 1.005 = 4.61 mm

4.61 – 1.01 = 3.60 mm

3.6 – 1.6 = 2.0 mm

وعليه ستكون القوالب هي: 1.005mm, 1.01mm, 1.6mm, 2mm والتي عند اصطفافها تحقق البعد المطلوب.

وبالطريقة نفسها ستكون قوالب القياس اللازمة لقياس الأبعاد التالية كما موضح بالجدول أدناه:-

البعد المطلوب mm	قوالب القياس المطلوبة mm
50.395	40, 7, 1.2, 1.19, 1,005
67.985	60, 4, 1.8, 1.18, 1.005
70.615	60, 7, 1.5, 1.11, 1.005
5.620	3, 1.5, 1.12

أخطاء القياس (Measurement Error)

ترجع أسباب ومصادر الخطأ في القياس عند استعمال أدوات القياس الى ما يأتي:-

1) درجة الحرارة : يتسبب التغيير في درجات الحرارة حدوث التمدد أو الانكماش في المشغولات المطلوب قياسها، مما يتطلب تثبيت ظروف قياسية تجرى القياسات ضمنها، إذ تم تحديد درجة الحرارة الإسنادية عند 20 درجة سيلزية .

2) طريقة القراءة : يحدث اختلاف في طريقة النظر لأجهزة القياس، فالنظر في اتجاه مائل وعند وجود مسافة بين المؤشر وتدريج القياس لن يتم الحصول على القيمة الدقيقة للمقياس، وتختلف من شخص الى آخلر وضمن حدود مقبولة.

3) موضع أداة القياس : قد توضع أداة القياس بشكل مخالف لموقعها الصحيح، كأن يكون سطحها مائلاً وغير موازي لسطح أداة القياس.

4) الشدة في القياس : استخدام القوة الزائدة أو القليلة وبما لا يتناسب وآلية أداة القياس ينتج عنه زيادة أو نقصان في قيمة القياس لذالك يستخدم أحياناً نابض ثابت القوة تقريبا.

5) أجهزة القياس : بسبب زيادة الخلوص بين الأجزاء المتحركة نتيجة الاحتكاك، وخطأ تقسيم التدريجات، مما يستوجب بين الحين والآخر إجراء معايرة وتصفير لأدوات القياس تجنباً للأخطاء المحتملة.

8-1 أسئلة الفصل الأول

1) عرف ما يأتي :-علم القياس، المعايرة، الدقة، المقارنة، القياس، المتر الطولي.
2) توجد طريقتان لإجراء عملية القياس، اذكرهما وبين الفرق بينهما.
3) صف أدوات القياس المباشر ذي الدقة 0.5mm، والحاجة لاستعمال كل من تلك الأدوات.
4) ما هي الأدوات الناقلة للقياس ؟ بين أنواعها وطريقة عملها.
5) عدد أنواع قدمة القياس، ووضح الفرق في عمل كل منها.
6) ارسم مخططا لقدمة القياس ذات الورنية، مشيراً على أجزائها الرئيسة.
7) وضح معنى دقة القياس (0.02mm) لقدمة القياس ذات الورنية.
8) عدد قواعد استعمال قدمات القياس .
9) وضح فكرة وآلية عمل الميكروميتر.
10) بين على رسم تخطيطي الأجزاء الرئيسة لميكروميتر القياس الخارجي.
11) ما هو الفرق بين ميكروميتر القياس الداخلي وميكروميتر قياس الأعماق؟
12) كيف تتم العناية بأجهزة الميكروميتر؟
13) مشغولة قياس طولها الحقيقي 14.76mm، كم ستكون عدد التقسيمات المسجلة على التدريج الدائري لميكروميتر ذو دقة قياس 0.01mm؟ (ج : 26)
14) ما هي زوايا القياس الثابتة؟ عدد أنواعها وطرق استخدامها.
15) عدد أنواع زوايا القياس المتحركة، وما هي طريقة استخدام كل منها؟
16) ما الغرض من استعمال ساعة القياس؟ وما هي أجزاؤها الرئيسة؟
17) كيف تستخدم محددات القياس الحدية للأعمدة والثقوب عند فحص المشغولات؟
18) ما الغرض من استعمال محددات القياس البسيطة؟
19) ما هي قياسات مجموعة القوالب اللازمة لتكوين بعد مقداره 23.425mm؟ (ج : 1.005, 1.12, 1.3, 20)
20) ما هي أسباب ومصادر الخطأ الحاصل في القياس؟ وكيف يمكن تجنبه؟

الفصل الثاني

تشكيل المعادن

Metal Forming

\

 # أهداف الفصل الثاني

ن :

لتشكيل.

عض المنتجات.

يات التشغيل.

تمهيد

إن طرائق الإنتاج الصناعي تشمل عمليات سباكة المعادن، تشكيل المعادن، لحام المعادن، عمليات التشغيل على آلات القطع، إنهاء السطوح ومعالجتها، وعمليات التجميع والتركيب، إذ تعد عمليات تشكيل المعادن إحدى أهم طرائق الإنتاج الصناعي، ويمكن القول أن أكثر من 75% من إنتاج الفولاذ يخضع لعمليات التشكيل من أجل الحصول على منتجات أولية أو نهائية.

ويقصد بعملية التشكيل؛ إنها طريقة تغيير شكل المادة الأولية للحصول على منتج بشكل محدد بدون قطع جزء من المعدن، إذ يمكن الحصول على منتجات متنوعة بأشكال وكتل مختلفة، وبسبب الإنتاجية العالية لتلك الطريقة وجودة المنتجات من حيث الخواص الميكانيكية ودقة الأبعاد والشكل الهندسي ونعومة السطوح وتنوع المقاطع فإنها تكاد تدخل في بناء جميع الآلات بدءاً من الدبوس الصغير وحتى السفن العملاقة، وبسبب ذلك فقد تطورت أساليب وطرائق التشكيل فأدخلت إليها نظم الأتمتة والتحكم المتطورة.

ومن ميزات عمليات التشكيل المختلفة أنها؛ تحسن الخواص الميكانيكية للمعدن من دون تغيير في تركيبته الكيميائية، إذ تزداد متانة المعدن ومقاومته، فضلاً عن الحصول على منتجات بأشكال ومقاطع لا يمكن الحصول عليها بطرائق الإنتاج الأخرى وبكفاءة عالية، كإنتاج الأنابيب والمقاطع والقضبان.

تنفذ عمليات التشكيل للمعادن إما في درجات الحرارة العالية وتسمى بعمليات التشكيل على الساخن أو في درجات الحرارة العادية وتسمى بعمليات التشكيل على البارد ولكل من هاتين الطريقتين ميزاتها ومجالات استخدامها إذ يعتمد اختيار هذه الطريقة أو تلك على النظام الميكانيكي الحراري المتبع في التشكيل وعلى جودة المنتج مع عوامل أخرى.

ولكي يكون المعدن قابلاً للتشكيل يجب أن تتوافر فيه بعض الخواص المهمة كقابلية التشكيل اللدن، إذ لا يمكن تشكيل حديد الصب بينما يتشكل الفولاذ بسهولة.

1-2 طرائق تشكيل المعادن (Metals Forming Methods)

تعتبر عمليات تشكيل المعادن من العمليات المهمة في الإنتاج الصناعي الحديث وهي آخذة بالزيادة والتطور لاقتصاديتها وإنتاجيتها العالية ودقة القطع المنتجة، ويمكن تقسيم عمليات إنتاج المعادن إلى مرحلتين أساسيتين، يتم في الأولى الحصول على المعادن وسبائكها بتركيب كيميائي معين، وفي المرحلة الثانية يضفي عليها وهي في الحالة السائلة أو اللدنة الشكل المطلوب مع عدم المساس بتركيبها الكيميائي.

تقسم أساليب وتقنيات تشكيل المعادن على عدة أنواع رئيسة يتفرع من كل نوع منها مجموعة من الطرائق التي تجمع بينها خصائص مشتركة ولعل أوضح هذه التقنيات وأقربها إلى الدقة ما يأتي:-

1. **تشكيل المعادن بدون قطع** : في تلك العمليات لا يجرى تشكيل المعادن بإزالة الرايش، بل تشكل بطرائق أخرى من خلال تسخين المعدن حتى درجة الانصهار ومن ثم صبه وسباكته، أو حتى يصبح لدينا (عجيني القوام) يمكن تحويله لمجسمات لها هيئات وأشكال مختلفة، وقد تشكل المعادن التي تطاوع عمليات التشكيل إلى الهيئة والأبعاد المطلوبة وهي باردة أو مسخنة تسخيناً بسيطاً، وتندرج تحت هذا النوع من التشكيل للمعادن بدون قطع عدة عمليات منها؛ **السباكة وصب المعادن، الحدادة، الدرفلة، سحب الأسلاك، السحب العميق، البثق** وغيرها من العمليات.
2. **تشكيل المعادن بالقطع (التشغيل):** إزالة كمية من المعدن على هيئة نحاتة (رايش) للوصول بالمنتج إلى الشكل المطلوب، وتستخدم في ذلك طرائق عديدة يقطع فيها المعدن ويشغل لإنتاج سطوح ناعمة نهائية ومنها؛ **الخراطة، التفريز، القشط، الثقب**، وغيرها من العمليات.

2-2 عمليات التشكيل الميكانيكي (Mechanical Forming Processes)

تقسم عمليات التشكيل الميكانيكي بحسب درجة الحرارة التي تجرى فيها هذه العمليات إلى ما يأتي:-

2-2-1 عمليات التشكيل الميكانيكي على الساخن (Hot Forming Processes)

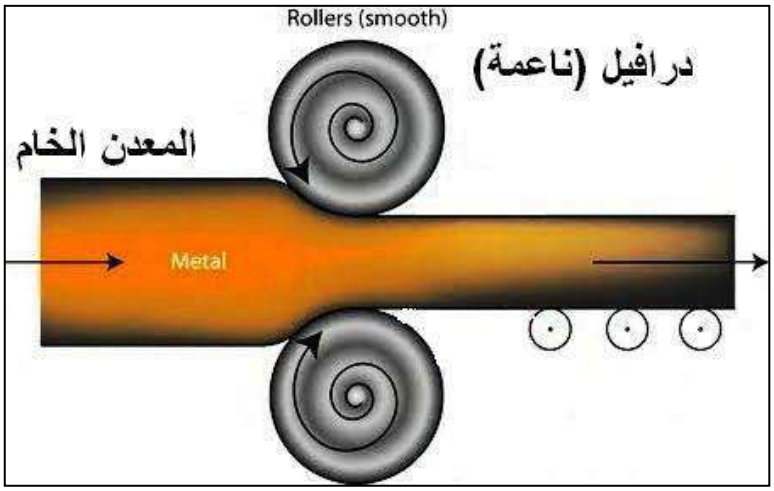
عملية تشكيل للمعادن في درجات حرارة عالية (أعلى من درجة الانصهار) وهذه الطريقة تستخدم عادةً للحديد الصلب، وأهم تلك الطرائق؛ **الدرفلة على الساخن، الحدادة، والبثق على الساخن**، ومن أهم عيوب هذه الطريقة تأكسد السطوح الساخنة بسهولة، وصعوبة السيطرة على أبعاد ومقاسات المنتج، وبالرغم من ذلك فتلك العمليات تتميز بكونها تعيد تبلور المعدن وتحسين بعض خواصه الفيزيائية، وتمنحه قابلية عالية في التشكيل من تغيير كبير في الأبعاد فضلاً عن أنها تخلص المعدن من عيوب المسبوكات الأولية.

2-2-2 عمليات التشكيل على البارد (Cold Forming Processes)

عمليات التشكيل التي تجري في درجة حرارة الغرفة، وتجري على قسم من المعادن كمثل حديد الصلب ذو نسب الكربون المنخفضة، الألمنيوم وسبائكه، النحاس وسبائكه والرصاص، أما عيوب هذه الطريقة فهي انخفاض مطيلية المعادن وزيادة الهشاشية، وأهم طرائق التشكيل على البارد هي؛ **الدرفلة، الطرق، الحدادة، السك، القص، التخريم، السحب، والبثق على البارد**، ومن مزايا تلك العمليات، إنها تحسن في بعض الخواص الميكانيكية مثل الصلادة ومقاومة الشد والإنجاز السطحي وتحسين المظهر الخارجي، كما يمكن التحكم بصورة دقيقة في الأبعاد والمقاسات وتشكيل الأجزاء ذات الأبعاد الصغيرة.

عملية الدرفلة (Rolling Process)

تعرف عملية التشكيل بالدرفلة على إنها عملية مستمرة لتشكيل المعدن بالضغط إلى الشكل المرغوب فيه عبر إمرار المعدن بشكل قضبان أو هياكل أو كتل معدنية بين اسطوانتين (Rolls) تدوران في اتجاهين متضادين بحيث يكون الخلوص بين الاسطوانتين أقل من سمك المعدن الخام، الشكل(2-1).

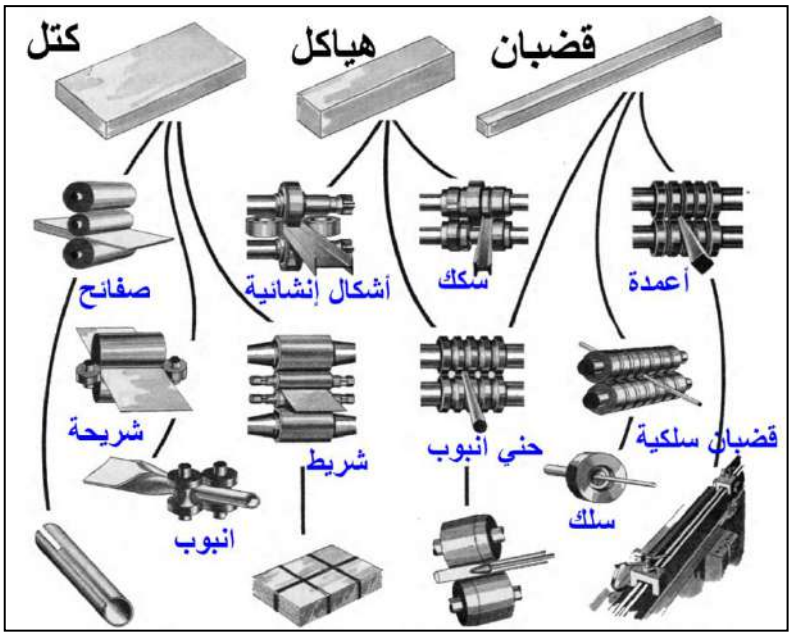


الشكل 2-1: مبدأ عملية التشكيل بالدرفلة.

يوجد في العادة درفيلان أو أكثر في كل محطة تشكيل، ومعظم القطع المشكلة بالدرفلة يتم إنهاؤها بعد إمرارها بشكل مستمر على مرحلتي درفلة أو أكثر للحصول على إشكال وصفائح ذات مقاطع مختلفة حتى الوصول إلى الشكل النهائي، تلك العملية مناسبة تحديداً لإنتاج الكميات الضخمة والأطوال الكبيرة .

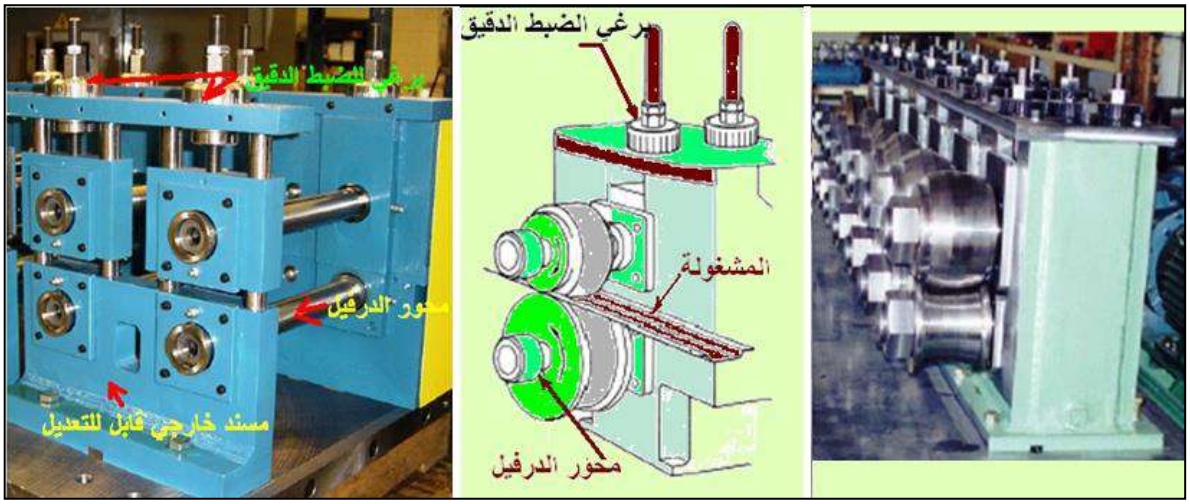
وتكون الدرافيل بشكل عام على شكل بكرات واسطوانات متقابلة ضاغطة بقوة تستطيع كبس المعدن وسحبه، وهي إما اسطوانات ملساء لتشكل الصفائح، أو بكرات ذات مجرى لتشكيل القضبان وأشكال المقاطع الإنشائية، أو بكرات صغيرة للتشكيل الفني داخل الصفائح الكبيرة لتكوين أشكال هندسية حرة.

تستخدم عملية التشكيل بالدرفلة في صناعات متنوعة لإنتاج تشكيلة واسعة من الأشكال والمنتجات والأحجام، كالآليات، الأبنية، أثاث المكاتب، اللوازم المنزلية، الصناعات الطبية، القطارات، الطائرات، صناعات التكييف والتبريد وصناعات التهوية، ويبين الشكل (2-2) قسما من المنتجات المشكلة بعمليات الدرفلة.



الشكل 2-2 : عمليات التشكيل بالدرفلة.

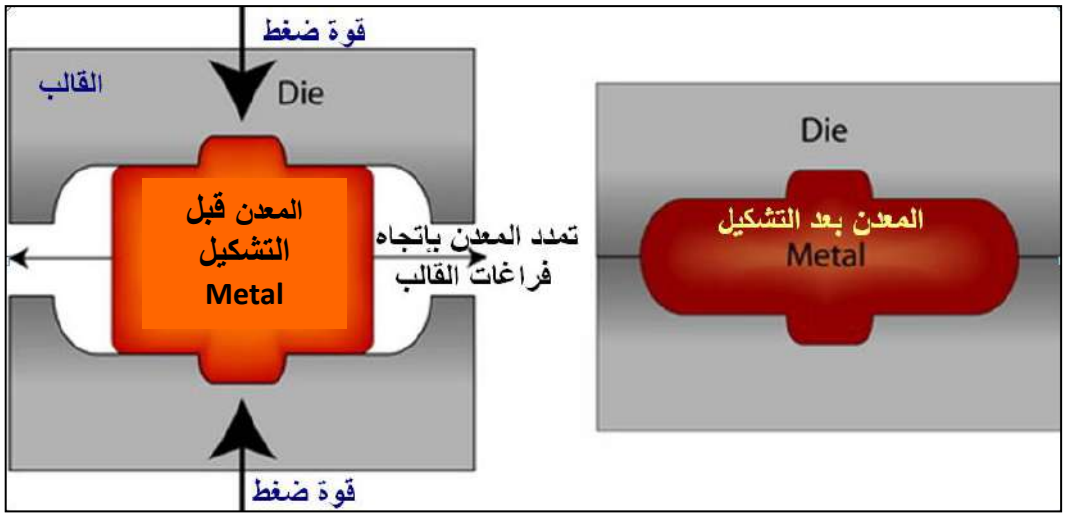
توجد عدة أنواع من آلات التشكيل بالدرفلة يمكن تصنيفها تبعاً لارتكاز محور الدوران، (ذاتية وخارجية الارتكاز)، الشكل (2-3)، وتبعاً لخصائص مرحلة التشكيل، أو بحسب نظام نقل الحركة.



الشكل 2-3: نماذج لماكينات درفلة ذاتية وخارجية الارتكاز.

التشكيل بالحدادة (Forging)

تعتبر الحدادة من عمليات تشكيل المعادن على الساخن وذلك بكبسها في قوالب (Dies) يمثل تجويفها الداخلي الشكل المطلوب الحصول عليه، الشكل (2-4)، ويجري التشكيل أما باستعمال ضغط عالٍ من خلال مكابس او التشكيل بالصدمة بواسطة الطرق، وتسخن المعادن إلى درجات حرارة مرتفعة بحيث تقبل التشكيل بسهولة، والقوالب المستعملة في الحدادة يجب ان تكون مصنوعة من مواد معدنية تحافظ على خواصها في درجات حرارة الحدادة وتحت تأثير القوى المؤثرة عليها.



الشكل 2-4 : تشكيل المعادن في قوالب الحدادة.

يوجد نوعان من المكابس المستعملة في الحدادة هما:-

أ. **مكابس ميكانيكية :** وفيها تستعمل الروافع أو العمود اللولبي الذي يدار بالأقراص الاحتكاكية ليحرك المكبس.

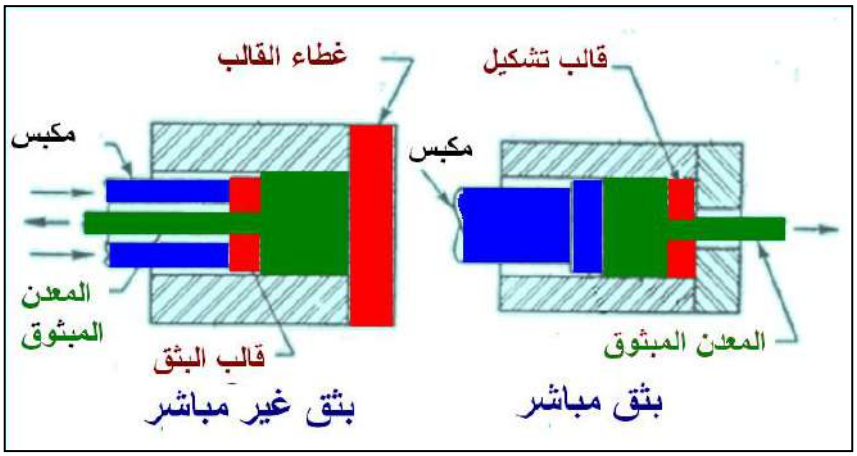
ب. **مكابس هيدروليكية :** وهي تستعمل ضغط الموائع (الماء أو الزيت) في عملية تحريك المكبس.

توجد أنواع أخرى من عمليات الحدادة التي تستعمل المطارق الميكانيكية في عمليات التشكيل على الساخن والتي تؤدي الى تركز الإجهادات على السطح الخارجي للمشغولة على العكس من عملية الكبس التي تتوزع فيها الإجهادات داخل المشغولة بانتظام غير مسببة للشروخ.

عمليات البثق (Extrusion Processes)

تشكيل كتلة معدنية مسخنة إلى درجات حرارة عالية نسبياً داخل وعاء يتحرك فيه مكبس يضغط على الكتلة المعدنية ويجبرها على الخروج من فتحة في نهاية الوعاء، فينساب المعدن خلال الفتحة متخذاً شكلها، لذا فان الفتحة تقوم هنا مقام قالب التشكيل، وبالتحكم في شكلها ومقطعها يمكن إنتاج المنتجات ذات المقاطع المختلفة، وتستعمل عملية البثق عادة لتشكيل المعادن ألاحديدية التي تمتاز بارتفاع ليونتها وانخفاض درجات انصهارها مثل الألمنيوم والنحاس والمغنيسيوم والرصاص، وتستعمل عملية البثق بصورة محدودة لتشكيل الصلب، بسبب صعوبة التشكيل وارتفاع درجات الحرارة الضرورية للتشكيل.

تنقسم أساليب البثق من حيث طريقة عملها إلى نوعين رئيسين هما البثق المباشر والبثق غير المباشر والشكل (2-5) يبين الأجهزة المستعملة وطريقة العمل لهذين الأسلوبين.

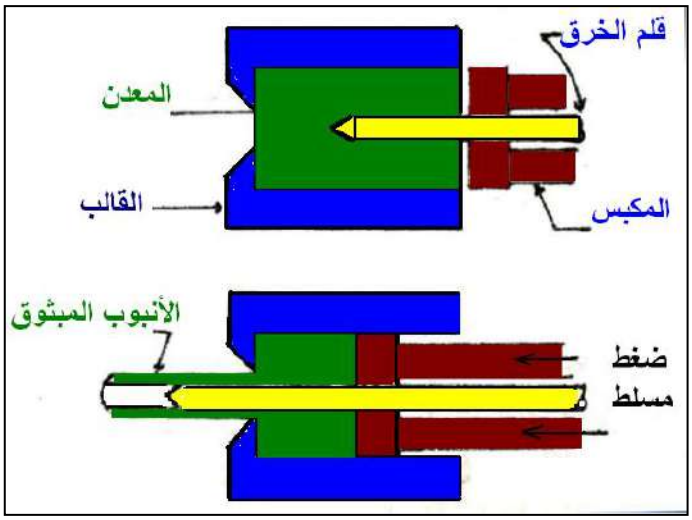


الشكل 2-5 :عمليات البثق المباشر وغير المباشر

تعتمد طريقة البثق المباشر على تشكيل الكتلة المعدنية بواسطة مكبس يضغط عليها من جهة، بينما ينساب المعدن خارجاً خلال فتحة القالب الموجودة في النهاية المواجهة من الوعاء، أي إن المعدن ينساب متحركاً في نفس اتجاه حركة المكبس، بينما في طريقة البثق غير المباشر تكون إحدى نهايتي الوعاء مغلقة ويحتوي المكبس على فتحة القالب في وسطه، ويحتاج البثق المباشر لقوة اكبر للتشكيل من البثق غير المباشر، إذ ان الكتلة المعدنية في البثق المباشر سوف تحتك بالجدران الداخلية للوعاء، في حين إن الاحتكاك سوف يقل كثيرا في البثق غير المباشر ويكون مقتصرا فقط على الاحتكاك بين جدران فتحة القالب الصغيرة المساحة نسبيا وبين الكتلة المعدنية، ويستعمل التزييت لتخفيف قوى الاحتكاك وخاصة لتشكيل المعادن الصعبة التشكيل مثل الصلب الذي يستوجب تشكيله رفع درجة حرارة التشكيل من جهة وبذل قوة اكبر للتشكيل من جهة أخرى.

ومن أهم منتجات عمليات البثق هي القضبان ذات المقاطع المختلفة، أنابيب صغيرة الأقطار نسبياً، المقاطع الإنشائية، وظروف الطلقات النارية، وتستعمل عملية البثق لغرض تغليف الأسلاك (الأسلاك الكهربائية على سبيل المثال) بالمواد العازلة مثل اللدائن.

خلال عملية إنتاج الأنابيب بواسطة عملية البثق، تستعمل الآلية المبينة في الشكل (2-6)، إذ يتم تثبيت قلم تشكيل في مركز المكبس يقوم بخرق الكتلة المعدنية، بينما يضغطها المكبس باتجاه فتحة القالب في النهاية المقابلة من وعاء التشكيل، وبذلك ينساب المعدن من خلال المجال المتروك بين قلم الخرق، الذي يساوي قطره القطر الداخلي للأنبوب المراد تشكيله، وبين فتحة القالب التي يساوي قطرها القطر الخارجي للأنبوب.

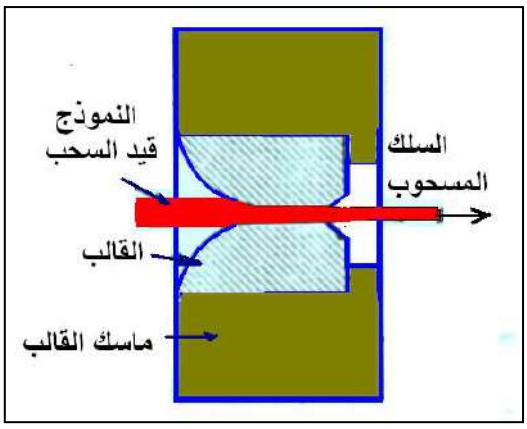


الشكل 2-6 : إنتاج الأنابيب بالبثق.

عمليات السحب على البارد (Cold Drawing)

تتضمن تشكيل القضبان المعدنية الكبيرة الأقطار نسبياً الى الأسلاك القليلة القطر، بواسطة السحب على البارد فضلاً عن تشكيل الصفائح المعدنية، وتعتبر المطيلية العالية من أهم خواص المعادن التي تؤهلها لتلك العمليات التي تتضمن؛ **سحب الأسلاك، السحب العميق، البثق بالصدمة، السك، والختم،** وفي أدناه بعض العمليات الشائعة الاستعمال وكما يأتي:-

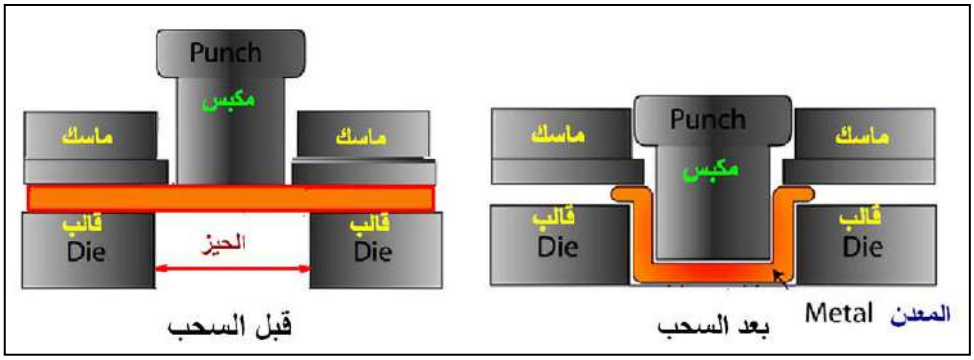
1. **سحب الأسلاك :** بعد تشكيل القضبان بواسطة الدرفلة على الساخن تمرر القضبان وبعدة مراحل الى أن تتحول الى أسلاك بالأقطار المطلوبة وذلك بسحبها بواسطة قوالب السحب، الشكل (2 -7)، بعد تنظيفها من طبقات الأكسيد السطحية وبالاستعانة بمواد التزييت لتسهيل عملية السحب، وعندما تتطلب عملية السحب عدة مراحل يتم بعد كل مرحلة معاملة المعدن حراريا لاستعادة ليونته بعد أن يتصلد نتيجة عملية السحب ومن ثم يتم إدخاله إلى المرحلة الثانية.



الشكل 2-7: تشكيل الأسلاك بالسحب.

2. **السحب العميق :** تشكيل الصفائح المعدنية بسمك معين بواسطة مكبس دائري المقطع يقوم بكبس الصفيح داخل قالب دائري المقطع أيضاً ليكون الشكل الناتج وعاءً سمكه الفرق بين نصفي قطري المكبس والقالب، الشكل(2-8)، ويمكن إجراء العملية على عدة مراحل للأعماق الكبيرة تتطلب

المعاملة الحرارية قبل كل مرحلة، تستعمل عملية السحب العميق لإنتاج ظروف القذائف وهياكل السيارات واسطوانات الغاز وغيرها.



الشكل 2-8 : التشكيل بالسحب العميق.

3-2 أسئلة الفصل الثاني

1) ما هي مميزات عمليات التشكيل؟
2) تشكل المعادن بطريقتين، اذكرهما مع أمثلة للعمليات المستخدمة في كل طريقة.
3) تقسم عمليات التشكيل الميكانيكي تبعا لدرجة الحرارة التي تجري فيها تلك العمليات، اذكرها معززاً إجابتك بالأمثلة لكل منها.
4) عرف عملية الدرفلة، مع بيان طريقة إجراءها، موضحا ذلك بالرسم التخطيطي.
5) كيف يتم التشكيل بالحدادة، وضحها مع الرسم، ثم عدد أنواع المكابس المستعملة في انجازها مبينا أفضلها نوعا.
6) يستعمل البثق لتشكيل المعادن اللاحديدية، وضح تلك العملية واهم منتجاتها، مع بيان أنواع تلك العملية، موضحا ذلك بالرسم.
7) كيف يتم إنتاج الأنابيب بواسطة عملية البثق، وضح الآلية التي تعمل بها الماكينة مع الرسم التوضيحي.
8) بين القصد من إجراء عمليات السحب على البارد، ولأي المنتجات يستخدم، وضح ذلك مع الرسم لكل عملية.

الفصل الثالث

المواد الهندسية

Engineering Materials

 # أهداف الفصل الثالث

كانيكية.

ك الأنواع.

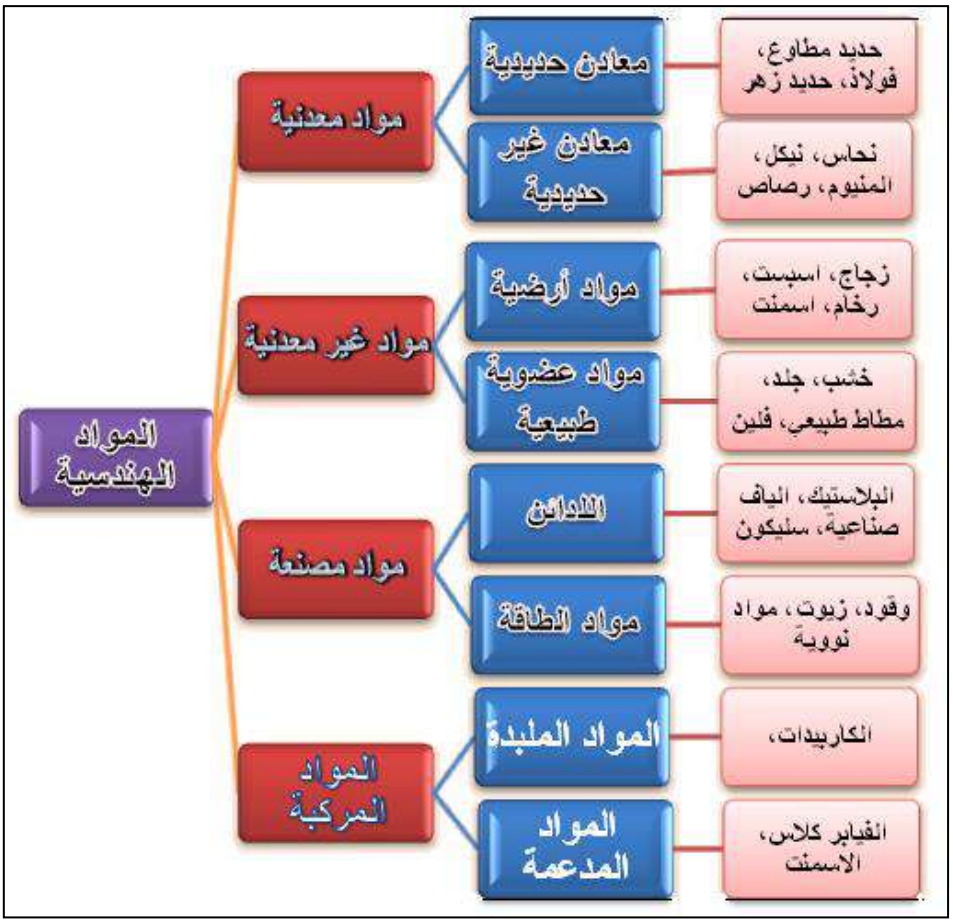
تمهيد

برع العلماء المسلمون قديما في علوم المواد، وخصوصا علم المعادن ومنهم ابن سينا الذي يعتبر أول من درس وصنف المعادن, والبيروني مؤلف كتاب "الجاهر في معرفة الجواهر" الذي يدرس علم المعادن, والتيفاشي صاحب كتاب "أزهار الأفكار في جواهر الأحجار" الذي يصف فيه المعادن والأحجار الكريمة, ومن ذلك الحين والى الآن فقد تطور علم المواد الحديث في دراسة المعادن (Metallurgy)والتي تطورت بدورها في مجال التعدين إذ حدثت طفرة كبيرة في فهم علوم المواد أثناء القرن التاسع عشر عندما أثبت ويلارد جيبس (Willard Gibbs)، أن الخواص الديناميكية الحرارية (الثرموديناميكية) المتعلقة بالتركيب الذري في مختلف حالات المادة ترتبط بالخواص الفيزيائية للمادة، وقد جاءت الكثير من المواد الجديدة نتيجة للنجاح في حقل الفضاء، ومن بينها السبائك المعدنية ومواد الكربون والسليكون والمواد عالية الصلادة والمواد الحرارية التي تستخدم في بناء المركبات الفضائية، وقد كان علم المواد عاملا دافعا لتطوير تقنيات لمواد أحدثت تغيرات متسارعة مثل البلاستيك وأشباه الموصلات مثل (السليكون والأنتيمون)، وعليه فإن المواد الهندسية (Engineering Materials) هي غذاء أي تصميم هندسي قد يتحول إلى منتج صناعي، مما يستوجب التعرف على تلك المواد من خلال معرفة خواصها كافة، أكانت الفيزيائية أو الكيماوية وحتى الميكانيكية، لغرض تحديد مدى مطابقة خواص المنتج الصناعي لشروط التصميم قبل البدء في عملية الإنتاج، والمفاضلة بين الأنسب من المواد المتاحة التي تحقق تلك الشروط.

قد تكون المواد الهندسية طبيعية، مصنعة، أو مركبة، وقد تكون معالجة بطرق خاصة (كالمعاملات الحرارية) لتغيير خواصها نحو الأحسن، إذ تمثل تلك الطرق الأسلوب الأكثر صعوبة والتحدي الكبير للباحثين والمصممين لتحسين خواص تلك المواد لاستعمالها في التطبيقات الهندسية المختلفة، وقد أدى التقدم المستمر إلى زيادة الطلب على المواد الجديدة إضافة إلى المواد الخام، مما استدعى ظهور علم يسمى بعلم المواد أو هندسة المواد الذي يعنى بدراسة التركيب والبنية الداخلية للمواد والعوامل المؤثرة في خواصها.

1-3 أنواع المواد الهندسية (Engineering Materials Types)

تصنف المواد الهندسية إلى عدة أنواع يشترك كل نوع فيها بميزّات مشتركة فقد تتماثل في بعض الخواص أو طرق المعالجة، وأحيانا في التطبيقات، لذلك نجدها تصنف (في المصادر العلمية) بطرق مختلفة، فمنهم من يصنفها إلى ستة مجاميع أو أربعة أو ثلاثة بحسب المشتركات التي تجمع بين الأصناف، ويبين الشكل (3-1) أمثلة لأنواع المواد الهندسية.



الشكل 3-1 : أمثلة لأنواع المواد الهندسية.

تقسم المواد الهندسية بشكل عام إلى أربعة أصناف وكما يأتي :-

أولا : المواد المعدنية (Metallic Materials): وتعتبر من المواد الأساسية في الصناعات الهندسية وهي من الفلزات، ومن الممكن تصنيعها على شكل سبائك بتفاعلها مع بعضها بنسب محددة، وتقسم إلى:-

1. معادن حديدية (Ferrous Metals): من أهم المواد في الصناعات الثقيلة والإنشاءات، كالحديد الصُلب والزهر والمطاوع.
2. معادن غير حديدية (Nonferrous Metals): لها تطبيقات واستعمالات واسعة وتشمل ما يأتي:-

أ. معادن ثقيلة (Heavy Metals): مثل النحاس، النيكل، الفضة، والبلاتين، والتنجستن.

ب. معادن خفيفة (Light Metals): مثل الألمنيوم، الزنك، والمغنيسيوم.

ج. معادن طرية (Soft Metals): مثل القصدير والرصاص.

ثانيا : المواد غير المعدنية (Non- metallic Materials) : وتقسم إلى :-

1. مواد أرضية : مثل الرخام (المرمر)، الجبس، الزجاج، والاسبست.
2. مواد عضوية طبيعية : مثل الخشب، الجلد، المطاط الطبيعي، والإسفنج الطبيعي.

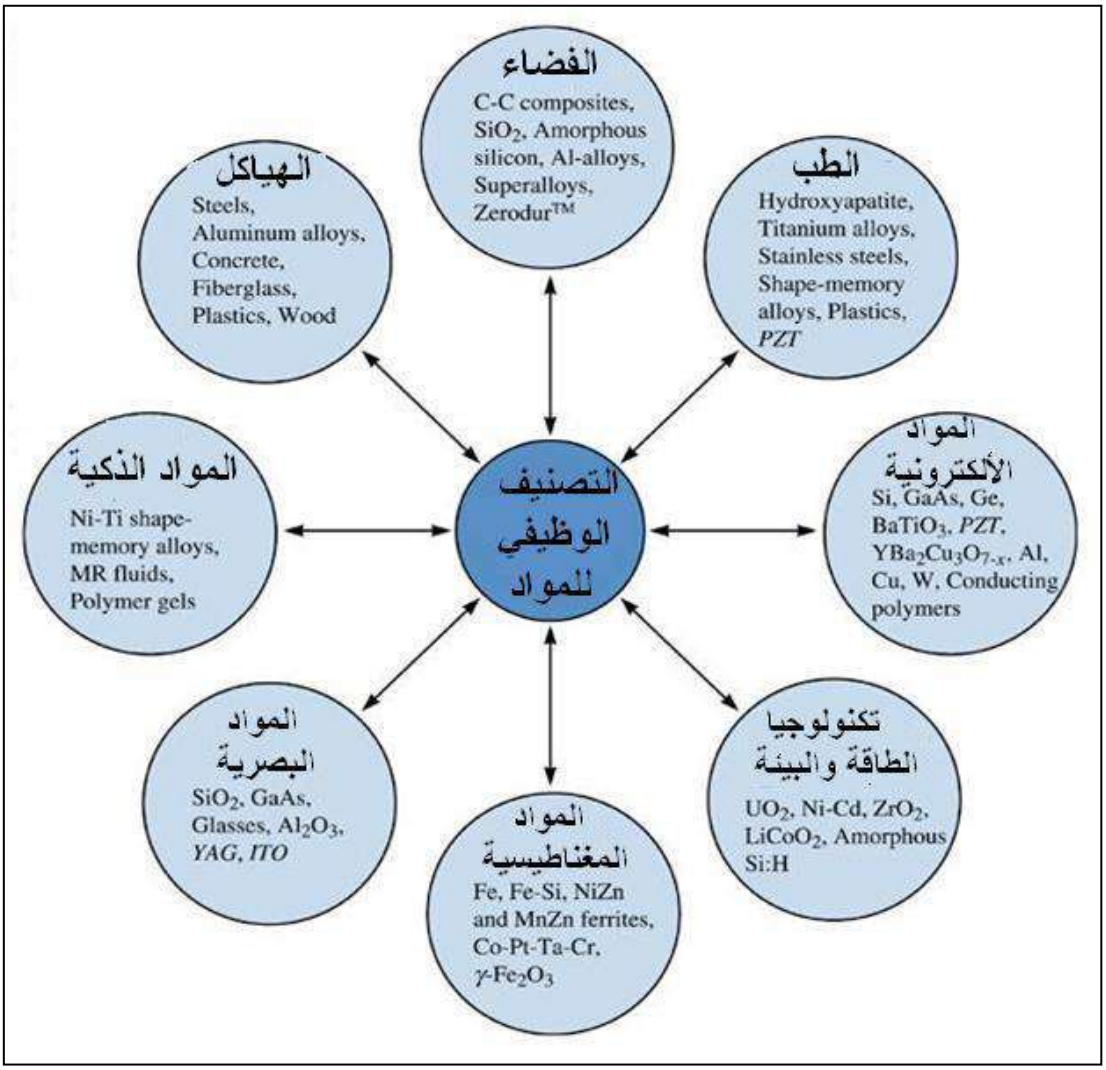
ثالثا : المواد المصنعة (Manufactured Materials): وتقسم إلى :-

1. اللدائن: مثل البلاستك، السليكون، ... الخ.
2. مواد الطاقة: ويشمل الوقود بأنواعه، الزيوت، والمواد الذرية.

رابعا : المواد المركبة (Composite Materials): وتقسم إلى :-

1. المواد الملبدة (felted Material):مثل مواد التلبيد، الكاربيدات (كاربيدات التنكسن والكوبالت).
2. المواد المدعمة (Reinforced Materials): المدعمة بالألياف، المدعمة بالدقائق (المساحيق)، والمدعمة بالطبقات.

وكذلك يوجد تصنيف للمواد الهندسية بحسب الأداء الوظيفي (Functional classification) الشكل (3-2)، إذ تستخدم المواد في مجالات الفضاء، الطب الحيوي، المواد الإلكترونية، تقنية الطاقة وتقنية البيئية، المواد المغناطيسية، المواد البصرية، المواد الذكية، والمواد الهيكلية.



الشكل 3-2 : التصنيف الوظيفي للمواد الهندسية.

2-3 خواص المواد الهندسية (Engineering Materials Properties)

يعتمد اختيار المواد الهندسية في الاستعمالات والتطبيقات الصناعية المختلفة على خواصها المناسبة لذلك التطبيق، إذ يكون بعض من تلك الخواص مرغوب جدا في بعض التطبيقات في حين تشكل عيبا في تطبيقات أخرى، وتتحدد مجالات استخدام المواد وصلاحيتها بحسب خصائصها الفيزيائية والكيماوية والميكانيكية إضافة لخصائصها التكنولوجية والتي تحدد جودتها، كما أن إمكانية قياس تلك الخواص له أهمية كبيرة في الاختيار وفي إمكانية التغلب على المشاكل خلال عمليات تشغيل وتشكيل تلك المواد.

1-2-3 الخواص الفيزيائية (الطبيعية) (Physical Properties)

ويقصد بها مجوعة الخواص الطبيعية كمثال: حالة المادة (الصلبة، السائلة، والغازية)، الكثافة (Density), المسامية (Porosity)، نسبة الرطوبة (Humidity Ratio)، اللون (Color)، التركيب البلوري (Crystalline Structure)، التوصيل الحراري والكهربائي (Conductivity)، معامل التمدد (Elongating Factor)، درجة الانصهار(Melting Point)، الحرارة الكامنة للانصهار (Latent Heat of Fusion)، الحرارة الكامنة للتبخر (Latent Heat of Vaporization)، الحرارة النوعية (Specific Heat)، والمغناطيسية.... الخ، والجدول (3-1) يبين بعض الخواص الفيزيائية لقسم من المواد الهندسية.

الجدول 3-1 : بعض الخواص الفيزيائية لقسم من المواد الهندسية

المادة	الكثافة (Kg/m^3) كلغم/متر مكعب	درجة الانصهار (C^o) (درجة سليزية)	الموصلية الحرارية (W/mK) (واط/متر.كلفن)
الألمنيوم Al	2700	660	222
النحاس Cu	8970	1082	393
الحديد Fe	7860	1535	74
الرصاص Pb	11350	327	35
المغنيسيوم Mg	1745	650	154
النيكل Ni	8910	1453	92
التنجستن Ti	19290	3410	166
اللدائن	900-2000	110-330	0.1-0.4
الخشب	400-700	----	0.1-0.4
الزجاج	2400-2700	580-1540	0.6-1.7
السيراميك	2300-5500	----	10-17

3-2-2 الخواص الكيماوية (Chemical Properties)

ويقصد بها التركيب الكيماوي (Chemical Structure)، ومنها مقاومة الأحماض والمذيبات القلوية، سرعة التأكسد، طبيعة النشاط الكهروكيماوي، إمكانية الاتحاد مع بقية العناصر، وغيرها.

3-2-3 الخواص الميكانيكية (Mechanical Properties)

ترتبط الخواص الميكانيكية للمادة بسلوكها عند تعرضها لتأثير الأحمالLoads والقوى الخارجية، وما قد تبديه من مقاومة أو استجابة وخضوع للتشكيل أو مدى المرونة والقابلية للرجوع لسابق شكلها وأبعادها، إذ لا تحتفظ المواد الغازية بشكلها ولا بحجمها، أما المواد السائلة فتحتفظ بحجمها ثابتاً بينما لا تحتفظ بشكلها، وإن تأثير القوى الخارجية في المواد الصلبة (ومنها المواد الهندسية) يسبب حدوث تشوّه (Deformation) فيها، أي يحصل تغيير في شكلها، ويعتمد مقدار ذلك التشوّه على طبيعة القوة الخارجية، أبعاد الجسم، ونوع المادة، إذ تبدي بعض المواد مقاومة عالية للضغط وضعفا لأحمال الشد والصدم (كالزجاج)، بينما في مواد أخرى يكون سلوكها مغايراً، وربما يكون الحمل الخارجي ديناميكياً (متحركاً)، إستاتيكياً (ساكناً)، أو متذبذب ويلقى استجابات متفاوتة من المواد بحسب طبيعة كل منها.

تقاس الخواص الميكانيكية بواسطة وسائل فنية وأجهزة متخصصة لاستخراج قيمها وتثبت في جداول وعلاقات بيانية هندسية دقيقة تتيح للمصممين تحديد أنسب المواد للتطبيقات المختلفة، والعمل أحيانا على استحداث مواد هندسية ذات مواصفات أفضل من خلال عمل سبائك ومعالجات حرارية أو اللجوء إلى المواد المركبة.

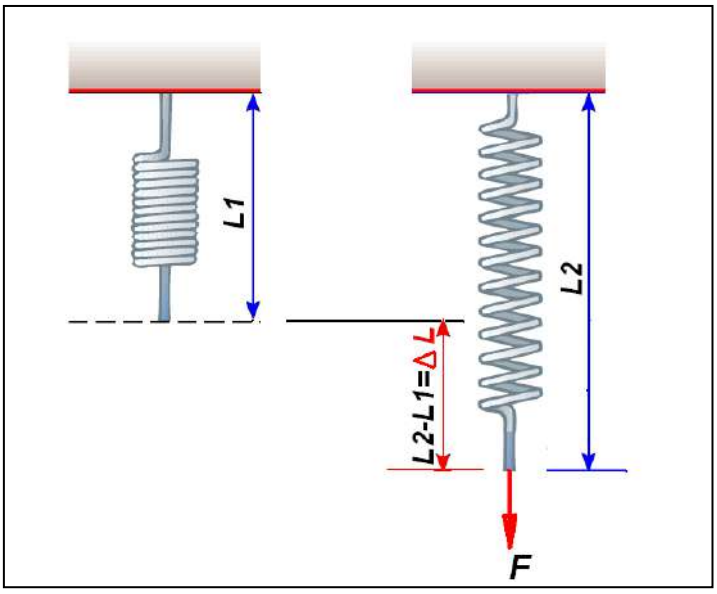
وفيما يأتي تعريف لبعض الخواص الميكانيكية :-

- **المرونة (Elasticity) :** مقاومة المادة الناشئة من قوى التجاذب بين جزيئات المادة للقوة الخارجية المغيرة في الشكل أو الطول ومحاولة العودة إلى الحالة الأصلية بعد زوال تأثيرها.
- **المطاوعة (Strain)** : مقياس لمقدار التشوه الحاصل للمادة نتيجة تعرضها لإجهاد، وقد تكون المطاوعة طولية (Longitudinal)، قص(Shear)، أو مطاوعة حجم (Volume).
- **الفشل (العجز) (Failure):** فقدان المادة لقوة تحملها للإجهاد الخارجي.
- **المطيلية (Ductility):** قدرة المادّة للمرور بتشوهات دائمة كبيرة قبل الفشل عبر أحمال المط، الكبس، اللي، السحب، أو الطرق.
- **الجساءة (القساوة) (Stiffness):** مقاومة المادّة ضد الأحمال المؤدية إلى التشوه.
- **المتانة (Toughness):** قابلية المادّة لامتصاص الطاقة ومقاومة الأحمال الخارجية بدون حدوث كسر، وهي تعبير على مقدار تحمل المادة للصدمات.

- **الهشاشة (Brittleness):** عجز المادة عن تحمل الإجهاد المفاجئ المؤدي للكسر قبل الوصول إلى التشوه الدائم.
- **الصلادة (Hardness):** مقاومة المادة للخدش والتآكل، أو خاصية المادة لخدش المواد الأخرى.
- **الليونة (Softness):** قابلية المادة للثني أو الانحناء.

مفهوم المرونة، وقانون هوك (Hooke's law)

عند سحب حبل مصنوع من مادة المطاط بقوة من طرفيه فأنه يقاوم المط وعند زيادة القوة سوف يتمدد ويزداد طوله، أما عند تركه فسوف يرجع إلى طوله الأصلي، وإذا علق نابض من الفولاذ من أحد طرفيه وسلط على الطرف السائب قوة ***F***، فانه يستطيل قليلاً بعد فترة من الزمن، فإذا زال الثقل عاد النابض إلى طوله الأصلي بفعل قوى التجاذب بين جزيئات المادة، الشكل (3-3).



الشكل 3-3 : مقدار الاستطالة الحاصلة في سلك نتيجة تأثير قوة.

وجد العالم روبرت هوك العلاقة بين القوة المؤثرة في نابض ومقدار التغير الحاصل في طوله، فالزيادة الحاصلة في طول سلك تتناسب طرديا مع قوة الشد ضمن ***حدود المرونة***.

قوة الشد = ثابت المرونة × الاستطالة

$$F = k\,\Delta L$$

إذ إن:-

F : قوة الشد Tensile Force التي سببت الاستطالة، وتقاس بوحدات النيوتن N.

ΔL: مقدار الاستطالة، ($L2-L1$) وتقاس بوحدة المتر m.

k : ثابت المرونة، ويقاس بوحدات N/m.

أما حد المرونة فيعني الحد الذي إذا اجتازته القوة المؤثرة، فلن يعود الجسم إلى ما كان عليه بعد زوال القوة، فيقال عن ذلك الجسم بأنه تعرض لتشوه دائمي(Permanent Deformation).

الإجهاد والمطاوعة (Stress and Strain)

يعرف الإجهاد σ (Sigma) بأنه مقدار القوة العمودية المؤثرة على وحدة المساحة من الجسم، محدثةً فيه تشوهاً، ويقاس الإجهاد بوحدات N/m^2 ، وتختلف الإجهادات التي تؤثر في المواد التي تؤثر فيها القوة في الجسم إلى ثلاثة أنواع هي:-

1. **الإجهاد الطولي (Longitudinal Stress) :** وهو الإجهاد الذي يسبب تشوهاً في طول الجسم كما هو الحال في النابض.

$$\text{الإجهاد الطولي} = \frac{\text{المركبة العمودية للقوة المؤثرة في السطح}}{\text{مساحة السطح الذي تؤثر فيه القوة}}$$

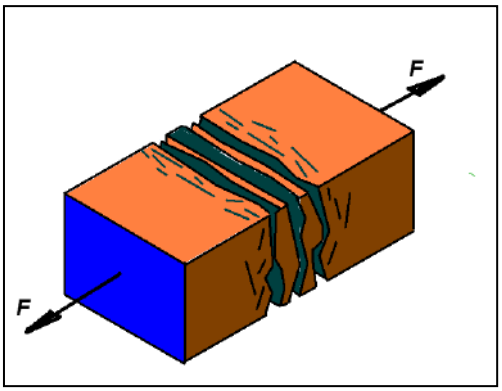
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \left(\frac{N}{m^2} \right)$$

علماً أن وحدة قياس القوة نيوتن N ووحدة قياس المساحة هي المتر المربع m^2، وتسمى الوحدة الناتجة، باسكال Pa.

ويكون الإجهاد على نوعين هما :-

أ. **إجهاد الشد(Tensile Stress σ_T)** : وهو الإجهاد الذي يسبب تشوها في طول الجسم عندما تؤثر قوتا شد (سحب) عمودياً في سطحيين متقابلين في الجسم يؤدي إلى زيادة في الطول (استطالة)، الشكل (3-4)، (القوة المسلطة تكون عمودية على المساحة) ويمكن حساب هذا الإجهاد بالقانون:-

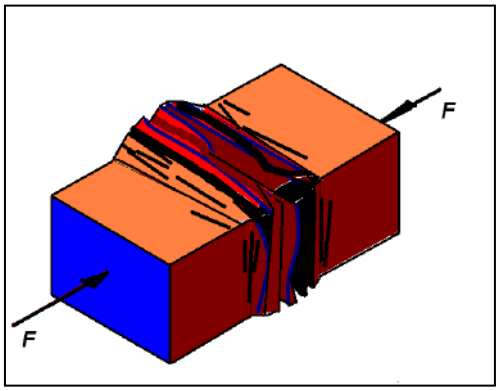
$$\sigma_T = \frac{F}{A} \quad (Pa)$$



الشكل 3-4 : إجهاد الشد.

ب.إجهاد الضغط (الكبس) Compressive Stress (σ_c): وهو الإجهاد الذي يسبب تشوها في طول الجسم عندما تؤثر قوتا ضغط عمودياً في سطحيين متقابلين في الجسم يؤدي إلى نقصان في الطول، الشكل (3-5)، (القوة المسلطة تكون عمودية على المساحة) ويمكن حساب هذا الإجهاد بالقانون نفسه مع الأخذ بنظر الاعتبار أن تكون إشارة القوة سالبة.

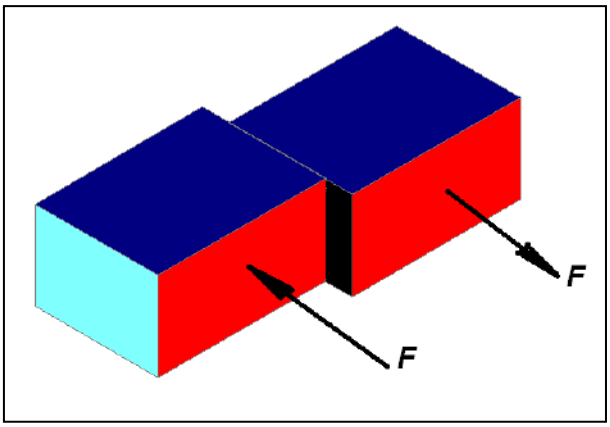
$$\sigma_c = \frac{F}{A} \qquad (Pa)$$



الشكل 3-5 : إجهاد الضغط

ت.إجهاد القص (Shear Stress) (τ): وهو الإجهاد الذي يسبب تشوها في أبعاد الجسم عندما تؤثر قوتان مماسيتان لسطحه يؤدي إلى تشوه، الشكل (3-6)، (القوة المسلطة تكون موازية لمستوي المساحة)، ويمكن حساب إجهاد القص بالقانون:-

$$\tau = \frac{F}{A} \qquad (Pa)$$



الشكل 3-6 : إجهاد القص.

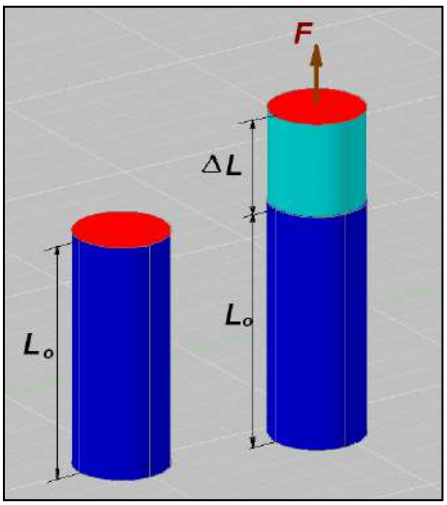
المطاوعة (الانفعال) Strain

تعرف المطاوعة ε (Epsilon) بأنها مقياس لمقدار تشوه المادة (تغير في الشكل أو الحجم) نتيجة الإجهاد الذي تعرضت له. ويعتمد نوع المطاوعة تبعا لنوع الإجهاد الذي يتعرض له الجسم، وأنواع المطاوعة هي :-

1. **المطاوعة الطولية (Longitudinal Strain) ε_L:** وتكون استطالة الجسم (أو انضغاطه) من دون تغير حجمه، الشكل (3-7)، إذ يتغير الطول الأصلي L_o بمقدار ΔL.

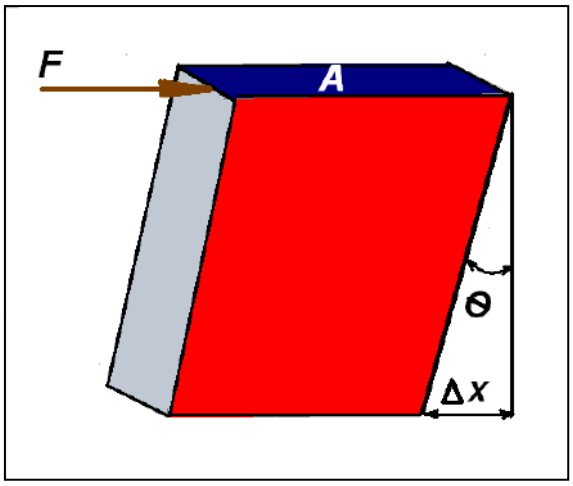
$$\text{المطاوعة الطولية النسبية} = \frac{\text{التغير في الطول}}{\text{الطول الأصلي}} \left(\frac{\text{متر}}{\text{متر}}\right)$$

$$\varepsilon_L = \frac{\Delta L}{L_o}$$



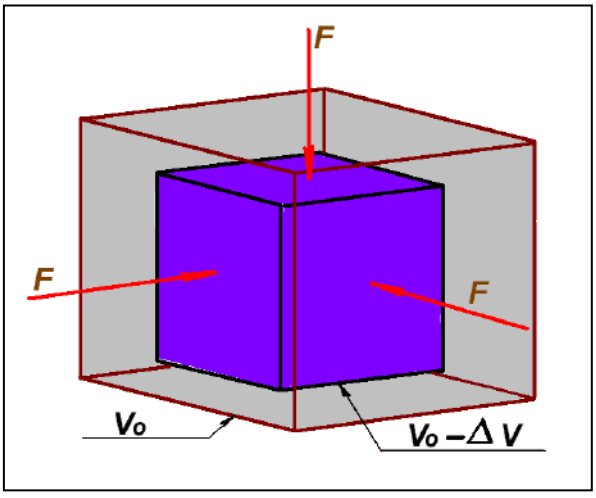
الشكل 3-7 : التغير بالطول والمطاوعة الطولية.

2. مطاوعة القص(Shear Strain): وتكون استجابة الجسم عند تعرضه لإجهاد قص على شكل إزاحة جانبية، الشكل(3-8)، فيتغير شكل الجسم ولا يتغير حجمه، إذ تقاس مطاوعة القص بمقدار الزاوية θ(Theta) والتي ينحرف بها سطحا الجسم الشاقوليان المتقابلان المؤثرة فيهما القوة F.



الشكل 3-8 : التغير بالزاوية ومطاوعة القص.

3. مطاوعة الحجم (Volume Strain): وتكون استجابة الجسم عند تعرضه لإجهاد انضغاط بتقليل حجمه مع ثبوت شكله، الشكل (3-9).



الشكل 3-9 : التغير بالحجم ومطاوعة الحجم.

معامل المرونة (معامل يونك) "Modulus of Elasticity " Young's

إن النسبة بين الإجهاد والمطاوعة النسبية يدعى بمعامل المرونة أو معامل يونك، ويعطى بالعلاقة الآتية :-

$$\text{معامل المرونة} = \frac{\text{الإجهاد}}{\text{المطاوعة النسبية}}$$

$$E = \frac{F/A}{\Delta L/L_o} \quad (\frac{N}{m^2})$$

ويقاس معامل المرونة بوحدات N/m^2 أو Pa، ولكون القيم كبيرة فتقاس بالميكا باسكال MPa ، علما أن :-

$$MPa = 10^6\ Pa$$

يعتبر معامل يونك للمرونة كمقياس لمدى القابلية لمقاومة الشد،ومؤشر لقساوة المادة، والجدول (2-3) يتضمن قيم معامل المرونة لبعض المواد الهندسية المختلفة.

الجدول 3-2 : قيم معامل المرونة (معامل يونك) لمواد مختلفة.

المادة	معامل المرونة E (MPa)
الألمنيوم	70
الرصاص	16
النحاس	120
نحاس أصفر(براص)	110
الألماس	1200
الذهب	79
التنكستن	360
الفولاذ	200
الخرسانة (كونكريت)	25-30
الزجاج	65

مثال 3-1:

سلك فولاذي طوله $4m$ ومساحة مقطعه $0.05\ cm^2$، ما مقدار الزيادة الحاصلة في طوله إذا سحب بقوة مقدارها $500\ N$ ؟علما إن معامل يونك للمرونة لمادة الفولاذ $200\times10^9\ N/m^2$.

الحل:

$$E = \frac{F/A}{\Delta L/L_O}$$ معامل المرونة = الإجهاد / المطاوعة النسبية

$$E = \frac{F.L}{A.\Delta L}$$

$$\Delta L = \frac{F.L}{A.E}$$

$$\Delta L = \frac{500 \times 4}{200 \times 10^{9} \times 0.05 \times 10^{-4}}$$

$$\Delta L = 2 \times 10^{-3}\ m$$ الزيادة في الطول

مثال 3-2 :

في مختبر المواد وفي تجربة اختبار المعادن بالشد لتحديد متانة معدن ما، تم الحصول على النتائج المبينة في الجدول (3-3)، أذا علمت أن طول عينة الاختبار $2m$ ومساحة مقطعها $1.25\times10^{-6}m^2$، أوجد ما يأتي:-

1. العلاقة البيانية بين الإجهاد والمطاوعة النسبية.
2. معامل يونك للمرونة لمادة العينة مستعينا بميل المستقيم.

الجدول 3-3 : قيم القوة والاستطالة المسجلة في المختبر.

قوة الشد F (N)	الاستطالة ΔL (mm)
0	0
1	2.8
2	6.2
3	7.8
4	12.1
5	15

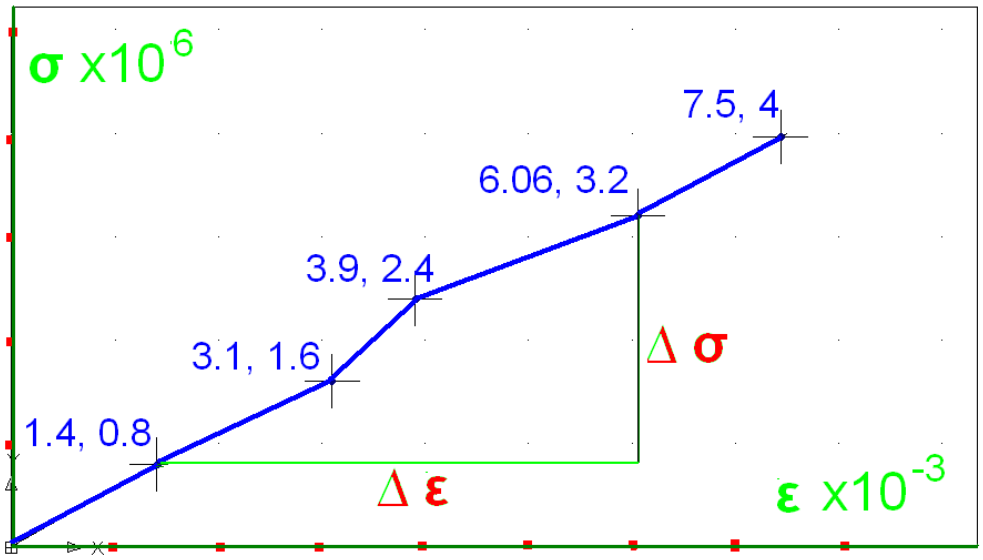
الحل:

باستخدام معادلة الإجهاد ومعادلة المطاوعة النسبية نستخرج القيم المبينة في الجدول (3-4)، وكما يأتي:-

الجدول 3-4 : قيم الإجهاد والمطاوعة النسبية.

الإجهاد $\sigma \times 10^{6}$	المطاوعة النسبية $\varepsilon \times 10^{-3}$
0	*0*
0.8	*1.4*
1.6	*3.1*
2.4	*3.9*
3.2	*6.06*
4	*7.5*

عند رسم العلاقة البيانية بين قيم الإجهاد **σ** والمطاوعة النسبية **ε** على ورقة الرسم البياني سوف يُظهر المنحني (بعد التوصيل بين النقاط) العلاقة البيانية بين الإجهاد والمطاوعة النسبية، وكما في الشكل (3-10).



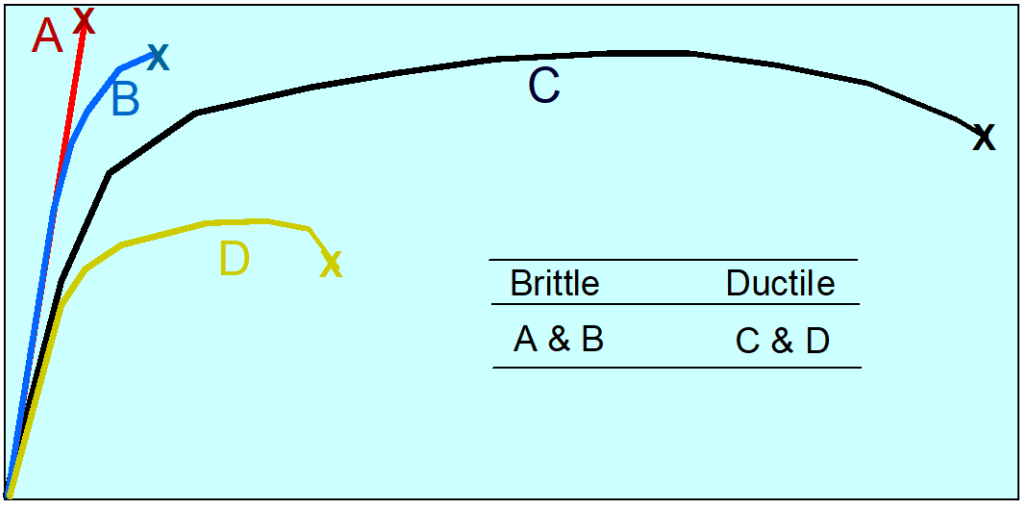
الشكل : 3-10

لاستخراج معامل يونك للمرونة لمادة العينة نستعين بميل المستقيم، والذي يستخرج كما يأتي :-

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

$$= \frac{(3.2 - 0.8) \times 10^{6}}{(6.06 - 1.4) \times 10^{-3}} = 515 \times 10^{6}\ Pa$$

في المثال أعلاه يتبين سلوك المواد عند تعرضها للإجهاد ممثلاً بمنحني (الإجهاد – الانفعال)، إذ تقسم المواد الهندسية إلى نوعين هما؛ المعادن المطيلية (Ductile) والتي تبدي مرونة عالية قبل الكسر عند تعرضها للإجهاد، والمعادن الهشة Brittle التي تنكسر بدون مرورها بمرحلة المرونة، ويبين الشكل (3-11) أنواعاً لمواد مرنة ومواد هشة من خلال سلوكها المبين بشكل منحنيات (الإجهاد – الانفعال).



الشكل 3-11 : المنحنيات للمواد الهشة (A, B) والمواد المطيلية (C, D).

3-2-4 الخواص التكنولوجية (للمعادن) Technological Properties

تعتبر من العوامل المهمة والتي يجب مراعاتها إضافة لبقية الخواص عند اختيار نوع المادة التي تصنع منها المنتجات، وذلك لمناسبتها لطبيعة عملية الإنتاج إذ يتم تحديد قابلية المعادن بالتحول إلى صورة أجزاء مصنعة أو نصف مصنعة بأسلوب تكنولوجي محدد، واهم تلك الخواص هي :-

1) **السيولة (Flow ability) :** قدرة المادة على ملء فراغ قالب الصب وهي في الحالة السائلة، إذ تعتمد تلك الخاصية على التركيب الكيماوي للمادة ودرجة انصهاره ومقدار الانكماش عند الإنجماد.

2) **قابلية التشكيل (Forming Ability):** قدرة المادة على تغير أبعادها وشكلها بطريقة التشكيل تحت تأثير القوى الخارجية بدون أن تنكسر أو تتهشم، اعتمادا على مقدار ليونة المادة.

3) **قابلية اللحام (Weld ability):** قدرة المادة على اللحام إذ تعتمد تلك الخاصية على التركيب الكيماوي للمعدن وطبيعة ونوع اللحام المستخدم إذ تكون موصليتها للحرارة جيدة ومعامل تمددها الطولي منخفضاً.

4) **قابلية التشغيل (Machinability):** قدرة المادة على إزالة أجزاء منها بواسطة آلات قاطعة ضمن ماكينات التشغيل الميكانيكية أو العُدد اليدوية وتسمى هذه العملية بتشغيل المواد بالقطع بإزالة طبقات من المعدن على شكل نحاتة (رايش) لينتج أشكالاً من المنتج ذات أسطح ناعمة.

التعرف على المواد

من الممكن التعرف على المواد الهندسية، وتقدير خواصها بشكل سريع دون اللجوء لإجراء اختبارات أو تحليلات، بل من خلال الوزن، الشكل الخارجي، وأحيانا شكل الشرر. فعند تشابه مظهر المواد فإن وزنها النوعي أو كثافتها يعتبر مؤشراً واضحاً، فوزن الذهب أكثر من ضعفي وزن النحاس، وبنفس الطريقة يمكن التمييز بين الحديد والألمنيوم، إضافة إلى الشكل واللون، أما التعرف على أنواع المواد الحديدية فيمكن اللجوء إلى طريقة تجليخ تلك المواد لغرض تمييز الشرر الناتج من تجليخها بواسطة حجر التجليخ، فلون الشرر الأحمر الغامق يدل على أن المعدن هو حديد الزهر، بينما يكون الشرر الناتج من تجليخ الصلب الكربوني أصفر محمر، وهكذا.

3-3 المواد المعدنية (Mineral Materials)

تكتسب المعادن أهمية هندسية بسبب وفرة تنوعها وقابليتها على التشكيل، وخواص فريدة في تماسكها بالأواصر المعدنية، تستخرج المعادن بشكل عام من خاماتها المتوفرة بصورة طبيعية على هيئة صخور أو أحجار أرضية والتي تحوي على 24 عنصراً معدنياً من الستة والعشرين عنصر الأكثر وفرة في قشرة الأرض مع فقط عنصران غير معدنيان هما الأوكسجين والسليكون، وتحتوي تلك الصخور على نسبة عالية من تلك المعادن، وهي المركبات الكيماوية للمعدن (أكاسيد، كربونات، أو كبريتات المعدن)، أما الباقي فيعتبر من الشوائب، وتسمى تلك الخامات Ores نسبة إلى المعدن (مثل خامات الحديد)، وتستخرج من باطن الأرض أو من الجبال بحسب توفرها إذ يتم إنشاء المناجم في تلك المناطق لنقلها فيما بعد إلى مصانع التعدين لغرض استخلاصها.

أما المعدنان الأكثر وفرة فهما الحديد (4.7%) والألمنيوم (8.1%)، فالحديد الأكثر استعمالاً لكونه يستخلص بجهد أقل من سواه من المعادن، إضافة الى كون خاماته غنية بالمعدن ولامتلاكه مدى عريض من الخواص الميكانيكية عن سواه من المعادن والسبائك الهندسية الأخرى مثل الكالسيوم (3.6%)، المغنيسيوم (2.1%)، التيتانيوم (0.63%)، المنغنيز (0.1%)، الكروم (0.073%)، الزركونيوم

(0.026%)، النيكل (0.02%)، الفاناديوم (0.017%)، النحاس (0.01%)، اليورانيوم (0.008%)، التنجستن (0.005%)، الخارصين (0.004%)، الرصاص (0.002%)، الكوبالت (0.001%)، والبيريليوم (0.001%)، أما بقية المعادن فتتوفر بنسب أقل.

إن سعر المعادن يتأثر بحسب نسبة توفرها إضافة إلى عوامل ثانوية مثل تكلفة إجراءات استخلاصها، فالفولاذ Steel وحديد الصب وسبائك الحديد الكربونية ذات التطبيقات الميكانيكية الأكثر شيوعا، تزداد كلفها مع ازدياد النسب المضافة ودقة تلك النسب.

تنفرد المعادن من بين المواد الهندسية بتنوع خواصها الذي ينشأ من طبيعة تركيبها، لاحتواء ذراتها على الكترونات التكافؤ الخارجية مما يجعل تلك الإلكترونات حرة الحركة (نسبيا) لاكتساب الطاقة وتغيير مواقعها ضمن البناء البلوري للجزيئات مما يمنحها قابلية للتشكيل والطرق في درجات الحرارة الواطئة والمعتدلة، مع مقاومتها العالية للكسر على العكس من بقية المواد الصلبة، وذلك يجعلها مناسبة في التطبيقات الميكانيكية.

تعتبر المعادن موصلات (Conductors) جيدة وذلك لأن الطاقة الحرارية والكهربائية تنتقل عبر الالكترونات الحرة في ذراتها، والمعادن النبيلة (Noble Metals)(النقية) كالذهب والفضة والنحاس تعتبر من بين أفضل الموصلات الحرارية والكهربائية، علما أن العناصر المعدنية ذات العدد الفردي من الكترونات التكافؤ تكون موصليتها (Conductivity) أعلى من موصلية العناصر ذات العدد الزوجي من الكترونات التكافؤ، وتقل تلك الخاصية في المعادن عندما لا تكون نقية أو عند خلطها مع عناصر أخرى.

المعادن تكون معتمة (غير شفافة) لكنها عاكسة للضوء ولأغلب الموجات الكهرومغناطيسية، لأن الطاقة الكهرومغناطيسية تتحول إلى الالكترونات الحرة والتي تقوم بدورها بإرسالها على الفور، مما يعطي لأكثر المعادن لمعاناً (اللون المعدني) وعند تنعيمها تكوّن أسطحاً كالمرآة.

1-3-3 المعادن الحديدية

الحديد (رمزه الكيماوي Fe) من الفلزات الصلبة ذو لون فضي وذو خاصية مغناطيسية وقابلية للتشكيل بالسحب أو بالطرق أو بالثني، ويعتبر الحديد من المعادن الثقيلة إذ تبلغ كثافته (الوزن النوعي) $7.875\ g/cm^3$ ودرجة حرارة انصهاره $1540C^O$ وهو من المعادن جيدة التوصيل للحرارة والكهرباء.

يعد الحديد المعدن الأكثر استعمالاً في الحياة العملية ولأغلب التطبيقات الهندسية، ويصدأ الحديد عند تعرضه للهواء الرطب مكونا أكسيد الحديد المائي $2Fe_2O_3.\ 3H_2O$، والمعروف بصدأ الحديد، أما

عند اتحاده مع عنصر الكربون فانه يكون كربيد الحديد Fe_3C وعندما تكون نسبة الكربون في الحديد أقل من 1.7% يسمى بالحديد الصلب (الفولاذ)، وعندما تكون نسبة الكربون أعلى من 2.5% ولغاية 4.5% يسمى بحديد الزهر (الآهين).

أما الحديد الصناعي فلا تقل نسبة عنصر الحديد عن 95% والنسبة الباقية من الكربون وفلزات أخرى مثل النيكل والكروم والكبريت وغيرها، لتكوين سبيكة (Alloy) تتميز بخواص ميكانيكية وقابلية للتشغيل ومقاومة الصدأ، مثل حديد الزهر والحديد المطاوع والفولاذ بأنواعه المختلفة.

4-3 استخلاص الحديد

يوجد الحديد في الطبيعة على شكل خامات مختلفة (Iron Ores) في القشرة الأرضية، ، إذ تبلغ نسبة وجوده في الطبيعة % 4.7، وتكون تلك الخامات مختلطة مع أكاسيد لمواد أخرى وشوائب غير مرغوب فيها وتتوقف صلاحية الخامات للاستخلاص على نسبة الحديد فيها، وتقسم تلك الخامات إلى أربع مجاميع، الشكل (3-12)، وهي كما يأتي:-

أ. خامات أكسيد الحديد المغناطيسية (الماجنيتايت Magnetite) : وتكون نسبة معدن الحديد فيها % 70 – 45 وعلى هيئة أكسيد الحديد المغناطيسي Fe_3O_4 والباقي هو كبريت وزنك وخارصين وسليكات مع شوائب أخرى.

ب. خامات الحديد الأحمر (الهماتايت Hematite) : وتكون نسبة معدن الحديد فيها % 65 – 45 وعلى هيئة أكسيد الحديد الغير المائي Fe_2O_3 والباقي هو كبريت وفسفور وسليكات مع شوائب أخرى.

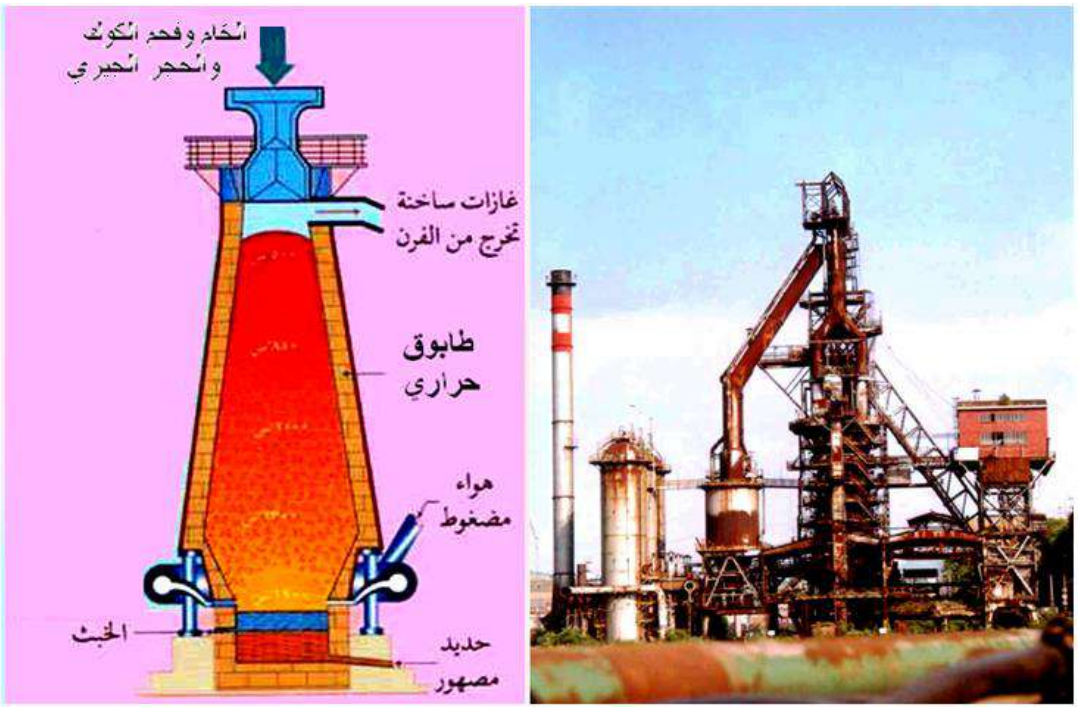
ج. خامات أكاسيد الحديد المائية (الليمونايت Limonite) : وتكون نسبة معدن الحديد فيها 50 – 25 % وعلى هيئة أكسيد الحديد المائي $2Fe_2O_3.3H_2O$ والباقي هو كبريت وفسفور أو زرنيخ وسليكات مع شوائب أخرى على شكل كتل طينية.

د. خامات كربونات الحديد (السيدريت Siderite) : وتكون نسبة معدن الحديد فيها % 40 – 30 وعلى هيئة كربونات الحديد $FeCO_3$ والباقي هو كبريت وفسفور وأكسيدات السليكون والمغنيسيوم مع شوائب أخرى.

الشكل 3-12 : خامات الحديد في الطبيعة.

قبل إرسال تلك الخامات إلى أفران الاستخلاص يتم تجهيزها بواسطة مجموعة من عمليات التجهيز الأساسية لرفع نسبة المعدن في الخامات كالتكسير، الفرز والتصنيف، التحميص، الغسل، التركيز الكهرومغناطيسي، والتلبيد.

يستعمل ألفرن العالي (Blast Furnace) الشكل (3-13)، في عملية الاستخلاص ويضاف لخامات الحديد كل من الوقود (فحم الكوك)، كعامل اختزال والحجر الجيري كمساعد صهر، ونتيجة الحرارة العالية (بحدود 1800 C^o) وسلسلة من التفاعلات الكيماوية يتركز الحديد على شكل منصهر مشبع بالكربون يسمى بحديد الغفل Pig Iron (Fe_3C) ويتكون من حوالي 95% حديد و 4% كربون مع كميات ضئيلة كعناصر ذائبة أخرى من السليكون والمنغنيز والفسفور والكبريت ، وهذا الحديد غير النقي تماماً صلب جداً ويمكن صبه في قوالب، أما الخبث (Slag) الخارج من الفرن فيستخدم في صناعة الإسمنت ويتم معالجة الحديد الناتج من الفرن العالي بواسطة أفرات خاصة مثل فرن الدست أو المحولات المختلفة كمحول بسمر ومحول مارتن ومحول توماس أو الأفران الكهربائية أو العاكسة للحصول على حديد الزهر والحديد المطاوع والصلب (الفولاذ).



الشكل 3-13 : الفرن العالي.

3-4-1 حديد الزهر (الصب) Cast Iron

يتم الحصول على الحديد الزهر (أو الآهين) بواسطة عمليات تكرير وتنقية للحديد الغفل باستعمال فرن الدست الذي يعمل بفحم الكوك كوقود مع إضافة قليل من نفايات الحديد (السكراب) لتحسين نوعية حديد الزهر الناتج وحجر الكلس ليتحد مع المواد الرملية الموجودة على سطح الحديد الغفل.

يحتوي حديد الزهر على نسبة عالية من الكربون تصل إلى 4% -3 إضافة إلى نسب قليلة من السليكون والفسفور والمنغنيز وهو هش ينكسر بسهولة إذا تعرض إلى الصدمات ويكون ضعيفاً تجاه أحمال الشد بينما يبدي مقاومة عالية إزاء أحمال الضغط، ويكون وزنه النوعي 7.2، وعند النظر إلى مناطق كسره تبدو جزيئاته كبيرة ولامعة وبلورية ذات ملمس خشن ويبدو لونه رمادياً ولا يستجيب بسهولة لعملية البرادة.

مميزات حديد الزهر

1. رخيص الثمن.
2. درجة انصهاره منخفضة ($1150 - 1200\ C^{o}$).
3. السيولة العالية عند صهره (يستعمل على نطاق واسع في عمل المسبوكات ذات الأشكال المعقدة كأجسام الماكينات).
4. سهولة تشكيلة وقطعه بآلات التشغيل المختلفة.
5. مقاومة الاحتكاك لوجود عنصر الكربون (الذي يعمل كمادة مزيتة تساعد على الانزلاق).

استعمالات حديد الزهر

يستعمل الحديد الزهر في السباكة لإنتاج العديد من القطع والأجزاء الميكانيكية إذ يصب منصهر الحديد في قوالب رملية تحتوي على تجاويف لنماذج معينة، وأهم استعمالاته في الصناعات الآتية :-

1. فرش ومنزلقات وأجسام الماكينات وقواعدها.
2. اسطوانات ومكابس محركات الاحتراق الداخلي والماكينات البخارية.
3. الأنابيب (لنقل الغاز، الماء، أو البترول) الكبيرة الحجم، وأجسام الصمامات الكبيرة (في المنشئات النفطية).
4. أغلفة التربينات وأجسام المضخات.
5. بعض التجهيزات المنزلية.

3-4-2 الحديد المطاوع (Wrought Iron)

يتم الحصول على الحديد المطاوع بواسطة عمليات أكسدة معظم الكربون الموجود في الحديد الخام باستعمال الفرن العاكس (Pudding Furnaces) الذي يقوم بتسخين الحديد بطريقة غير مباشرة وذلك بانعكاس الحرارة من على جدران الفرن، وتحرر أكاسيد الكربون على شكل غازات عادم وتخرج أكاسيد السليكون والفسفور والكبريت بصورة خبث. ثم تطرق نواتج الفرن بعد إخراجها بمطارق آلية

خاصة لتخليصها من الشوائب على السطح الخارجي ليتم درفلتها (تشكيلها بالضغط بتمريرها بين اسطوانتين تدوران باتجاهين مختلفين) وتحويلها إلى الأشكال والبعاد المطلوبة.

أنقى أنواع المعادن الحديدية إذ لا تزيد نسبة الكربون والشوائب الأخرى عن 0.5 % ويعد من أطرى المعادن الحديدية وأكثرها قابلية للسحب والانحناء والتشكيل بواسطة الطرق وهو في درجة حرارة الاحمرار، ويكون وزنه النوعي $7.87\ g/cm^3$.

مميزات الحديد المطاوع

1. درجة انصهاره عالية ($1500 - 1539\ C^o$).
2. يمكن لحام قطعتين منه بواسطة الطرق بعد تسخينهما إلى درجة الاحمرار.
3. أكثر المعادن الحديدية مقاومة للعوامل الخارجية، إذ أن الأوكسجين لا يمكنه الوصول لطبقات المعدن الداخلية.
4. يتأكسد عند تعرضه للهواء عندما يكون في درجة الاحمرار ويكون أكسيد أسود يسهل إزالته بالطرق، وإذا رفعت درجة حرارته إلى اللون الأبيض أثناء تعرضه للهواء فأنه يتأكسد من الداخل (يحترق) ويصبح غير قابل للتشكيل أو اللحام.

استعمالات الحديد المطاوع

1. يستعمل الحديد المطاوع في عمليات الحدادة لصناعة السلاسل والمفاصل والأبواب وملحقاتها والأدوات الزراعية.
2. يستخدم الحديد المطاوع في عمل بعض أجزاء الماكينات الكهربائية مثل الأقطاب والمكونات الداخلية للمحولات وصفائح الأجزاء الدوارة منها.

3-4-3 الفولاذ (الصلب) Steel

يتم الحصول على الحديد الصلب بواسطة استخلاصه من الحديد الخام الناتج من الفرن العالي أو من الحديد الخردة باستخدام المحولات Converters (محولات بسمر أو سيمنز- مارتن) وذلك بإمرار تيار من الهواء المضغوط على منصهر الحديد الخام لتتأكسد الشوائب بواسطة أوكسجين الهواء أو بواسطة أفران الحث أو القوس الكهربائي.

الفولاذ سبيكة من الحديد والكربون تتراوح نسبة الكربون فيه 2- 0.3 % على شكل كربيد الحديد والذي يعرف بالسمنتيت، ويمكن صبه في قوالب السباكة أو تشكيله وطرقه على البارد أو الساخن، كما يمكن قطعه وتشغيله على آلات التشغيل بسهولة، وكذلك تقسيته.

تتراوح درجة انصهار الصلب (C^o 1350 – 1300) أو أكثر قليلاً، ويمكن تحسين خواص الصلب بإضافة معادن أخرى كالتنكستن والنيكل والكروم أو غيرها ليسمى عند إذن بالصلب ألسبائكي.

ومن أبرز أنواع الصلب الكربوني هو الصلب منخفض الكربون، الصلب متوسط الكربون، والصلب عالي الكربون.

أ. الصلب منخفض الكربون (Low Carbon Steel)

تتراوح نسبة الكربون بحدود أقل 0.3 %، ويمكن تشكيله على شكل صفائح أو قضبان ذات مقاطع مختلفة، ويكون هذا النوع من الصلب ارخص ثمنا وأقوى من الحديد المطاوع وقد حل محله في الكثير من التطبيقات، إذ لا تتأثر صلادة الفولاذ منخفض الكربون بالتسخين لدرجة الاحمرار أو حتى بالتبريد الفجائي بالماء أو الزيت، بل يمكن زيادة صلادة سطحه بواسطة تقنيات خاصة.

يستعمل الصلب منخفض الكربون لعمل الأسلاك والصفائح الرقيقة والأنابيب وكذلك يستخدم في الجسور والأبراج وفي أعمال الورش كافة لسهولة تشغيله أو لحامه.

ب. الصلب متوسط الكربون (Medium Carbon Steel)

تتراوح نسبة الكربون فيه بين 0.8 % – 0.3 ويتم الحصول عليه بنفس الطريقة السابقة الذكر ويتميز عن الصلب منخفض الكربون بكون لون القشرة الخارجية فاتحاً قليلاً، ويتم تصليده برفع درجة حرارته لدرجة الاحمرار وتغطيسه مباشرة في الماء أو الزيت، وتعتمد تلك الصلادة على نسبة الكربون وسرعة التبريد، ولهذا النوع مقاومة أعلى للشد ومتانة اكبر (قابليته للسحب والطرق أقل) من الصلب عالي الكربون، لكنه لا يشكل أي صعوبة في عمليات التشكيل والتشغيل.

يستعمل لعمل المحاور (أعمدة) الدوران والأسلاك المعرضة لقوى شد عالية وكذلك في صنع النوابض وعجلات القطارات والمطارق والعدد الزراعية.

ج. الصلب عالي الكربون (High Carbon Steel)

تتراوح نسبة الكربون فيه بين 1.5 % – 0.8 وترتفع صلادته كثيرا عند تسخينه لدرجة الاحمرار ثم تبريده فجأة في الماء أو الزيت، ويمكن درفلته على الساخن لعمل قضبان مدورة أو مضلعة، والفولاذ الذي يحتوي نسبة كربون أكثر من 1.0 % يسمى بصلب العدة الكربوني والذي كان يستعمل في جميع عدد القطع المستعملة في الصناعة، (قبل اكتشاف فولاذ السرعات العالية High Speed Steel)، ويستعمل حاليا في صناعة عدد القطع ذات السرعات الواطئة بعد إجراء المعاملات الحرارية إذ يصبح

ذا مقاومة عالية للصدمات على الرغم من انكساره عند الانحناء، يستعمل في صناعة القوالب والأدوات كالفؤوس وعدد الحفر والمبارد اليدوية والمثاقب (البرايم) وأجهزة القياس وعدد قطع المعادن.

5-3 المعادن غير الحديدية (Non-ferrous Metals)

تستعمل المعادن غير الحديدية في الصناعة والمعامل بنفس أهمية المعادن الحديدية لتميزها بخواص مناسبة للتطبيقات الصناعية، وأهم هذه المعادن النحاس Cu، الألمنيوم Al، النيكل Ni، الرصاص Pb، القصدير Sn ، والزنك Zn.

1-5-3 النحاس (Copper)

يوجد النحاس في قشرة الأرض بشكل خامات من أكاسيد أو كبريتات حديدية مثل كبريتات النحاس الحديدية Chalcopyrite ($CuFeS_2$)، أو ($CuFeS_4$) وكبريتات النحاس (Cu_2S)، الشكل (3-14)، ويبلغ تركيز النحاس في خاماته إلى 35 % ويتم استخراجه أما بالطريقة الجافة، أو بالطريقة الرطبة، وتعد الطريقة الأولى الأكثر شيوعاً إذ يستعمل فيها أفران خاصة عاكسة أو نافخة تتم فيها العمليات المختلفة لتنقية الخامات ثم من بعدها تصفية النحاس الناتج، بينما في الطريقة الرطبة (Hydro metallurgy)تعامل خامات النحاس مع الحوامض وبعد ذلك تتم عملية ترسيب النحاس.

الشكل 3-14 : خامات النحاس.

خواص النحاس الفيزيائية والميكانيكية

1) معدن لامع معروف بلونه الأحمر وهو نقي بينما تميل سبائكه إلى الصفرة.
2) وزنه النوعي $8.92\ g/cm^3$ ولذلك يعتبر من المعادن الثقيلة.
3) ينصهر عند درجة حرارة مقدارها $1083C^o$ ودرجة غليانه $2360C^o$.
4) قابلية التوصيل العالية للتيار الكهربائي والحرارة.
5) قابلية عالية للطرق والسحب وإمكانية الدرفلة إلى صفائح رقيقة لكونه عالي المرونة.

6) يصعب صبه لكونه يمتص الغازات لتتكون فقاعات في المصبوبات.
7) تعتمد متانة المنتجات النحاسية على طريقة تصنيعها.

خواص النحاس الكيماوية

1. لا يتأكسد في الهواء الجاف بينما يتأكسد في الهواء الرطب مكونا أكسيد النحاس الأحمر وكربونات النحاس الخضراء.
2. لا يتفاعل مع القلويات ولا الحوامض المخففة ولكنه يتفاعل بسهولة مع حامض الكبريتيك المركز والساخن.

استعمالات النحاس

1) أول مادة استخدمت لصناعة الأواني المنزلية، لكن انعدم استخدامه لهذا الغرض لأسباب صحية.
2) من أجود المعادن في الصناعات الكهربائية، كالأسلاك وشبكات نقل القدرة بسبب قابلية توصيله العالية للتيار الكهربائي.
3) صناعة المبادلات الحرارية وأجهزة التبريد والتكييف والتدفئة بسبب قابلية التوصيل العالية للحرارة.
4) تستخدم سبائكه مثل البرونز والنحاس الأصفر في الصناعات الميكانيكية.
5) صناعة القوالب وألوح الحفر في تقنيات الطباعة
6) مركباته الكيماوية كأملاح النحاس وكبريتات النحاس تستخدم في تطبيقات كثيرة كالطلاء والتعقيم والصباغة.

3-5-2 الألمنيوم (Aluminium)

يعتبر خام الألمنيوم الأكثر انتشارا في القشرة الأرضية وذلك إما على شكل أكاسيد أو سيليكات ولا يمكن وجوده حراً في الطبيعة وذلك لنشاطه الكيميائي وسرعة تأكسده، وأبرز خاماته هي أكسيد الألمنيوم المائي $Al_2O_3 . 3H_2O$، ويعرف باسم البوكسايت، الشكل (3-15)، فعلى الرغم من كثرة وجود خامات الألمنيوم في الطبيعة إلاّ أن سعره مرتفع وذلك للكلفة العالية لاستخلاصه ومنها طريقة التحليل الكهربائي.

وتعتمد خواص الألمنيوم على درجة نقاوته، فكلما قلت نسبة الشوائب الداخلة في تركيبه زادت مقاومته للصدأ وزادت قابلية إيصاله للكهرباء.

الشكل 3-15 : خامات الألمنيوم.

خواص الألمنيوم الفيزيائية والميكانيكية

1) لونه أبيض فضي لامع.
2) وزنه النوعي $2.7\ g/cm^3$ لذلك يعتبر من ضمن مجموعة المعادن الخفيفة إذ تبلغ كثافته ثلث كثافة الحديد.
3) درجة انصهاره منخفضة تبلغ $660C^o$.
4) موصل جيد للكهرباء والحرارة.
5) له قابلية عالية للطرق والسحب ويمكن درفلته إلى صفائح ذات سمك 0.02mm، كما يمكن سحبه إلى أسلاك ذات قطر 0.1mm.
6) يمكن تحسين الخواص الى حد كبير بواسطة إضافة معادن أخرى مثل؛ النحاس، المنغنيز، الخارصين، ومواد غير معدنية كالسيلكون وبنسب محددة لتكوين سبائك الألمنيوم.

خواص الألمنيوم الكيماوية

الألمنيوم سريع التأكسد في الهواء إذ يتكون على سطحه طبقة صلبة من الأكسيد (الألومين) تمنع المعدن من الصدأ والتي تلتصق بالمعدن لتحول دون وصول الأوكسجين من الوصول لطبقات المعدن الداخلية.

استعمالات الألمنيوم

1) يستعمل وسبائكه مع النحاس في عمل الأسلاك الكهربائية الناقلة للقدرة (غالبا ما يفضل الألمنيوم وحده لخفة وزنه)،
2) صناعة الأواني المنزلية والتعليب لحفظ الأطعمة لكون مركباته غير ضارة للإنسان.

3) صناعة الطائرات والمحركات والصناعات العسكرية والمركبات الفضائية والأقمار الصناعية.

4) صناعة الأثاث المنزلي وأعمال البناء كالنوافذ والأبواب.

5) صناعة وبناء الأجهزة الكهربائية، وتستخدم سبائكه مع المغنسيوم كحاجز لمنع التأثير الإشعاعي في المفاعلات النووية، مع تطبيقات كثيرة أخرى.

3-5-3 النيكل (Nickel)

يوجد النيكل Ni في الطبيعة متحداً مع الكبريت والزرنيخ والحديد والسليكون، الشكل (3-16)، إذ يستخلص من خاماته بتحميص تلك الخامات ومن ثم اختزال الأكاسيد الناتجة بواسطة أول أكسيد الكربون، وتتم عملية تنقية النيكل بواسطة التحليل الكهربائي.

الشكل 3-16 : خامات النيكل.

خواص النيكل الفيزيائية والميكانيكية

1) معدن أبيض فضي اللون صلد جداً.

2) الوزن النوعي $8.9\ g/cm^3$.

3) معدن غير قابل للطرق والسحب وموصل جيد للحرارة والكهرباء.

4) درجة حرارة انصهاره $1455C^o$ ودرجة حرارة غليانه $3075C^o$.

5) مقاومة عالية للتآكل ومقاومة عالية للحرارة لذلك يضاف للمعادن الأخرى كسبيكة.

خواص النيكل الكيماوية

لا يتأكسد النيكل في الهواء الجاف ويتأثر قليلا في الهواء الرطب لذلك يستعمل في الطلاء الكهربائي للمعادن، والنيكل يذوب بسهولة في الأحماض ولكنه لا يتفاعل مع القلويات.

استعمالات النيكل

1) تستعمل برادة النيكل كعامل مساعد في الكثير من الصناعات الكيماوية وفي تصليب الزيوت السائلة.
2) يستعمل النيكل النقي في الصناعات الالكترونية .
3) تستخدم كبريتات النيكل النشادرية في الطلاء الكهربائي للمعادن لحمايتها من الصدأ.
4) السبائك التي يدخل فيها معدن النيكل تقاوم التأكسد ويكسبها صفات مغناطيسية عالية.

4-5-3 الرصاص (Lead)

يوجد الرصاص Pb في الطبيعة متحداً مع الكبريت والكربون والخارصين والنحاس والذهب والزرنيخ، الشكل (3-17)، ويستخلص من خاماته الرئيسة، كبريتيد الرصاص PbS (كالينا)، والذي يحتوي على نسبة من الرصاص بحدود 78%، وذلك بطريقة الصهر الاختزالي، إذ تحول الخامات إلى أكسيد الرصاص ثم يختزل الأكسيد الناتج بواسطة فحم الكوك في أفران رأسية خاصة ليتم تنقيته فيما بعد بطرق كهربائية.

الشكل 3-17 : خامات الرصاص.

خواص الرصاص الفيزيائية والميكانيكية

1) معدن لين قابل للطرق والسحب، ولونه رمادي يميل للزرقة ويترك أثراً أسود عند حكه في قطعة من الورق، ويمكن قطع الرصاص بواسطة السكينة كما يمكن ضغطه في قوالب أو درفلته باردا بسهولة.
2) الوزن النوعي $11.3\ g/cm^3$ وهو يعد من المعادن الثقيلة.
3) ينصهر الرصاصي عند درجة حرارة $327C^o$ ودرجة حرارة غليانه $1740C^o$.
4) معدن سام وكذلك أبخرته من المواد السامة.

خواص الرصاص الكيماوية

يتأكسد الرصاص بسرعة في الهواء الجوي مكوناً طبقة رقيقة من أكسيد الرصاص التي تحميه من المزيد من الأكسدة وتحافظ على بقية المعدن من التأكسد، ويذوب في الأحماض المركزة، ولا يتأثر الرصاص بالماء وذلك لأنه يتغطى بطبقة واقية من كربونات الرصاص القاعدية ولكنه يتأكسد تدريجياً ليتحول إلى هيدروكسيد الرصاص القابل للذوبان في الماء مما لا يسمح باستعماله في صناعة أنابيب الماء.

استعمالات الرصاص

1) صناعة واقيات المعدات الكهربائية.
2) يستخدم مع الزرنيخ (لزيادة صلادته) في صناعة الإطلاقات النارية والقذائف.
3) صناعة الدروع للوقاية من المواد المشعة لامتصاصه للأشعة الضارة بالجسم البشري.
4) صناعة حروف الطباعة.
5) مركب رابع أثيل الرصاص يضاف إلى البنزين ليزيل القرقعة ويخفض من سرعة الاشتعال.
6) لمركباته تطبيقات في صناعة الزجاج والمطاط والأصباغ وأعمال اللحام.

3-5-5 القصدير (Tin)

القصدير من المعادن النادرة، وتوجد خاماته في الطبيعة على شكل أكسيد القصدير SnO_2 مخلوطا مع مواد ترابية ومعادن أخرى، الشكل (3-18)، ويستخرج من خاماته باختزالها بواسطة الفحم في أفران عاكسة أو رأسية بعد غسله بالماء وتنظيفه وتحميصه ومن ثم تنقيته بواسطة تسخينه لدرجة الانصهار ليسيل على سطح منحدر في الفرن الساخن تاركا الشوائب عالقة على السطح.

والقصدير معدن لين وقابل للطرق والسحب في درجات الحرارة العادية (بنوعيه الأبيض والرمادي) ليتحول إلى صفائح رقيقة، وعند تسخينه إلى درجة حرارة $200C^o$ يصبح هشا قابلا للكسر، ويتحول عند طرقه ساخناً إلى مسحوق.

الشكل 3-18 : خامات القصدير.

خواص القصدير الفيزيائية والميكانيكية

1) فلز ابيض فضي ناصع.
2) الوزن النوعي للقصدير الأبيض $7.3\ g/cm^3$ والقصدير الرمادي $5.85\ g/cm^3$.
3) درجة حرارة انصهاره $232C^o$ ودرجة حرارة غليانه $2270C^o$.
4) ذو صلادة عالية ومتانة وقابلية توصيل للكهرباء وللحرارة منخفضة.

خواص القصدير الكيماوية

لا يتأكسد في الهواء ولا يتأثر في الماء، ولا في الحوامض العضوية فيستعمل في طلاء السطوح الداخلية للأواني النحاسية لخزن الزيوت، ويذوب في حامض الكبريتيك الساخن، ولا يتأثر بشدة في الحوامض المخففة.

استعمالات القصدير

1) لحماية ألواح الصلب من الصدأ لمقاومته للتأكسد.
2) صناعة المعدات الكهربائية إذ تطلى الأسلاك النحاسية قبل تغليفها بالمطاط لمنع تأثير الكبريت في النحاس.
3) يدخل في السبيكة المستعملة لصناعة كراسي التحميل.

6-3 السبائك (Alloys)

السبائك خليط متجانس من مادتين أو أكثر إحداهما معدن، إذ تمتزج بعض المعادن بشكل كلي لدى صهرها مكونة مادة تختلف في خواصها عن خواص المواد الأصلية وهي نقية، وتستخدم بشكل واسع في الصناعة لما لها من خواص ميكانيكية يمكن التحكم بها من خلال النسب والإضافات والمعالجات الحرارية.

1-6-3 سبائك الصلب

الصلب السبائكي هو صلب كربوني يحتوي على واحد او أكثر من العناصر الآتية: النيكل، الكروم، الفاناديوم، الكوبالت، التنجستن، المنغنيز، السليكون، ويسمى الصلب باسم المعدن المضاف كالصلب الكرومي أو الصلب النيكل كرومي أو السليكوني وهكذا. والغرض من إضافة تلك العناصر هو زيادة مقاومته للصدمات ومقاومته للتآكل والحرارة العالية.

يستخدم الصلب ألسبائكي في العديد من التطبيقات الصناعية والمنشآت وأدوات القطع واهم أنواعه هي :-

1. **الصلب النيكلي** : ويقسم الى منخفض وعالي النيكل ويستعمل في صناعة السيارات والطائرات لقدرته العالية على مقاومة الصدمات والاهتزازات والتآكل ولأن معامل تمدده قليل يستخدم في صناعة أدوات القياس وصمامات محركات الاحتراق الداخلي.
2. **الصلب الكرومي** : شديد الصلادة ومقاوم للتآكل، يستعمل في صناعة كرات كراسي التحميل وآلات تكسير وطحن الحجارة وفي صناعة المطارق.
3. **صلب النيكل الكرومي** : يحتوي عناصر أخرى مثل المنغنيز والسليكون لتحسين خواصه في تحمل الإجهادات والاهتزازات، ويستعمل في صناعة الشاحنات والرافعات الضخمة.
4. **الصلب السليكوني** : يحتوي على نسبة من السليكون ويستخدم في صناعة النوابض.
5. **الصلب المنغنيزي** : ويحتوي على نسبة عالية من معدن المنغنيز تصل إلى 14% وهو غير مغناطيسي لذلك يستعمل في صناعة بعض الأجزاء الكهربائية ولصلادته العالية يستعمل في صناعة فكوك الكسارات والجارفات وعجلات القطارات.
6. **صلب السرعات العالية H.S.S** : يحتوي على نسب من الكروم، التنجستن، الفناديوم، والكوبلت، مما يكسبه متانة عالية ومقاومة لدرجات الحرارة العالية بعد تقسيته بإجراء المعاملات الحرارية، ويستعمل في صناعة عدد القطع، الشكل (3-19)، التي تتعرض لسرعات قطع عالية تنشأ منها درجة حرارة مرتفعة.

الشكل 3-19 : عدد قطع مصنوعة من صلب السرعات العالية.

7. **الصلب غير القابل للصدأ (Stainless Steel)** : يحتوي على معدن النيكل والكروم بنسب عالية لزيادة متانته وتكوين طبقة من أكسيد الكروم الصلب غير القابل للصدأ إضافة لمظهره الفضي اللّماع، ويستعمل في صناعة القطع المعرضة للرطوبة والمكشوفة للهواء الجوي.

3-6-2 سبائك النحاس

أبرز سبائك النحاس هي البرونز والنحاس الأصفر التي تتميز على النحاس في بعض الخواص مما يجعلها مناسبة لكثير من التطبيقات.

1. **البرونز (Bronze)**: سبيكة من النحاس والألمنيوم وعناصر أخرى يسمى باسم العنصر المضاف إليه ويشمل :

- **البرونز القصديري** : يتكون بإضافة القصدير Sn بنسبة تصل الى 22% مع عناصر سبائكية أخرى وبنسب قليلة كالرصاص والخارصين والفسفور، وله قابلية عالية على التشكيل ومقاومة للتآكل ويستعمل في صناعة الصمامات وأنابيب المياه
- **البرونز الألومينيي** : يتكون بإضافة الألمنيوم بنسبة % 11 – 4 مع عناصر سبائكية أخرى وبنسب قليلة، ويمتاز بقلة تأثره بالمواد الكيماوية ويستعمل في سك العملات المعدنية.
- **البرونز السليكوني** : يتكون بإضافة السليكون بنسبة % 4 -3 مع عناصر سبائكية أخرى وبنسب قليلة كالمنغنيز والنيكل وله تطبيقات هندسية كثيرة.

2. **النحاس الأصفر (Brass)**: سبيكة من النحاس والزنك Cu – Zn، تتراوح نسبة الزنك – 10 % 40، يقاوم التأثيرات الجوية والكيماوية ويمكن صبه وتلميعه، ويتفوق على النحاس بخواصه الميكانيكية وقابليته العالية للصب والتشغيل، ويمكن معالجته حراريا ولتحسين خواص النحاس الأصفر يضاف له بعض العناصر مثل الألمنيوم والقصدير والنيكل والسليكون، ويستعمل في صناعة الوصلات الكهربائية والسخانات والصناعات الكيماوية.

3-6-3 سبائك الألمنيوم

تتكون بإضافة عناصر إلى معدن الألمنيوم مثل السليكون، النحاس، المغنيسيوم، الخارصين، المنغنيز، النيكل، والحديد لتصبح أكثر متانة ومقاومة للتآكل والصدمات من المعدن النقي ، ومن تلك السبائك ما يأتي :-

1. **سبيكة الألمنيوم – نحاس** : تتكون بإضافة معدن النحاس بنسبة % 11 – 4.5 وتكون ذات خواص ميكانيكية عالية وقابلية للمعالجات الحرارية في تحسين تلك الخواص، وتستعمل في صناعة المكابس والأجزاء ذات التحميل العالي.
2. **سبيكة الألمنيوم – مغنيسيوم** : تتكون بإضافة معدن المغنيسيوم Mg بنسبة % 10 – 4.5 وتكون ذات مقاومة عالية للصدمات والتأكسد.

3. **سبيكة الألمنيوم – خارصين** : تتكون بإضافة معدن الخارصين Zn بنسبة % 9 – 6 وتكون ذات صلادة عالية ومتانة متميزة بعد إجراء المعاملات الحرارية عليها.
4. **سبائك الدورلومين (Duralumin)**: تتكون بإضافة معدن النحاس بنسبة % 4.5 – 3.5 مع نسب قليلة من المغنيسيوم والمنغنيز وتمتاز بتصلدها بالتعتيق (تترك في الهواء الجوي لمدة أسبوع) لذلك تجرى عليها عملية التلدين (تسخين لدرجة حرارة $360C^{o}$ ثم تبرد بالهواء) قبل تشغيلها بآلات القطع، وتستعمل على نطاق واسع في صناعة السيارات والطائرات والمركبات الفضائية.

7-3 المواد الحرارية (السيراميك) Ceramic

السيراميك مواد اصطناعية لا تقل أهمية عن الفلزات واللدائن (البلاستيك) ضمن المواد الهندسية، ويشتمل السيراميك على مواد (غير معدنية لا عضوية) نتعامل معها كل يوم، مثل الطابوق والإسمنت والزجاج، والسيراميك الصيني، وتشمل أيضاً على بعض المواد غير العادية، كالتي تستخدم في القطع الإلكترونية ومركبات الفضاء، وغالبية مواد السيراميك صلدة ويمكنها مقاومة الحرارة والمواد الكيميائية، وتعطيها هذه الخواص انتشاراً واسعاً في استخداماتها بالصناعة والتي يمكن استخدامها لأغراض كثيرة ، ولكنها أقل متانة وقوة من بقية المواد.

صناعة السيراميك : تستخرج المواد الصلصالية والمعادن الأخرى الداخلة في صناعة السيراميك من باطن الأرض، ثم تصفى ليزداد نقاؤها، ثم تقوم آلات بتكسير وطحن هذه الخامات إلى حبيبات دقيقة، تخلط وفقاً لمقادير معينة، ثم يضاف إليها الماء أو سائل آخر للحصول على خليط يمكن تشكيله، ويتم صنع المنتجات الزجاجية ومقاومات الحرارة بصهر هذه الحبيبات وتشكيلها وهي على الحالة السائلة، وبعد أن يجف المنتج يصلّد بالحرارة وهي عملية تتم داخل أفران خاصة عند درجة حرارة 650- $1650C^{o}$ مما يعطيه قوة تحمل ومتانة وخصائص أخرى مرغوب فيها، بعدها تغطى المنتجات بطبقة لامعة في عملية تعرف بالتزجيج تمنعها من امتصاص السوائل وتجعلها ملساء وسهلة التنظيف.

خواص السيراميك : تقاوم معظم منتجات السيراميك الأحماض، الغازات، الأملاح، الماء، ودرجات الحرارة العالية، وتعد مواد السيراميك الشائعة عوازل كهربائية جيدة، أي موصلات رديئة التوصيل للتيار الكهربائي، ولكن في أحوال أخرى تفقد بعض أنواع السيراميك مقاومتها الكهربائية لتصبح مواد فائقة التوصيل بعد تبريدها، وبعض مواد السيراميك لها خاصية مغنطيسية.

استعمالات السيراميك : للسيراميك استعمالات تقليدية وأخرى متقدمة نستعرض قسم منها وكما يأتي :-

1. المواد الإنشائية كالقرميد والآجر.

2. مواد العزل الحراري كطابوق السيراميك الذي يمثل بطانة ممتازة لأفران صناعة الفولاذ لمقاومته درجات الحرارة العالية جداً.
3. تقنية النانو قد أحدثت ثورة هائلة في مجال الصناعة بإمكانية الحصول على مساحيق للمواد مع جزيئات لا يتجاوز قطرها مرتبة الميكرون قد مكن العالم الصناعي من تطوير مواد جديدة تجمع بين الخصائص المرغوب فيها والإنجاز المطلوب منها.
4. أدوات القطع (التشغيل) الميكانيكي المستخدمة في آلات الخراطة والثقب والتفريز وتصنع أدوات قطع المعادن من نتريد السليكون.
5. عزل وتبطين هيكل الطائرات والسيارات
6. أدوات القشط والتجليخ (مواد أكسيد الألمنيوم وكربيد السليكون).
7. يدخل السيراميك في صناعة أطباق ممتازة للأغذية والمشروبات، وهي لا تمتص السوائل، وتقاوم الأحماض والأملاح والمنظفات والتغيير في درجات الحرارة.
8. يستخدم السيراميك غير الموصّل للكهرباء كعازل في صناعة شمعات الإشعال في السيارة، وفي خطوط القدرة الكهربائية، وفي أجهزة التلفاز.

8-3 اللدائن (Plastics)

مواد مصنعة من أصل عضوي (هيدروكربونات)، كالبترول والفحم والمخلفات السليلوزية، وترجع صناعة البلاستك إلى العام 1907 م، إذ تعتمد عملية تصنيعها على المعالجات الكيماوية لخاماتها لتتحول إلى مركبات كيماوية ترتبط جزيئاتها بشكل خطي لتكون البوليمرات Polymers (متعددة الجزيئات)، تتحول عند تسخينها إلى الحالة اللدنة لتتخذ بعد الضغط عليها الأشكال المطلوبة، وتلعب خواصها الطبيعية والكيماوية والميكانيكية دوراً أساسياً في طرق تصنيعها، وتعتبر اللدائن من المواد الخفيفة إذ يتراوح وزنها النوعي $0.8 - 2\ g/cm^3$ مما يسمح باستعمالها لتخفيف وزن المصنوعات، إضافة لمقاومتها للماء والتأثيرات الكيماوية (الحمضية والقاعدية)، إذ يمكن تشغيلها بماكينات التشغيل (الخاصة) بإزالة النحاتة (الرايش) إضافة الى تطوير أنواع جديدة منها ذات خواص ميكانيكية جيدة تسمح باستخدامها في تطوير تصاميم منتجات هندسية كثيرة، ومن الممكن إعادة تصنيعها ولكنها تشكل أحياناً ملوثات بيئية لصعوبة تحللها طبيعياً.

يمكن تصنيف اللدائن إلى :-

1. اللدائن الحرارية (القابلة للتشكل بالحرارة) Thermo Plastic

شبكات من الجزيئات خطية غير ملتحمة (تلين بالحرارة) عند تسخين مكوناتها تضعف الروابط بين الجزيئات لتصبح أكثر تباعداً وحرية في حركتها وتصبح اللدائن قابلة لينه بحيث يمكن وضعها في إناء لغرض تشكيلها ثم تأخذ شكلاً ثابتا وصلادة بعد عمليات الضغط والتبريد، مثل (البوليثين، PVC، البولسترين، الأكريليك، والنايلون، عديد الإيثلين، عديد البروبلين، وعديد الستايرين Polystyrene، ثنائي فينولات Biphenyls، وغيرها) .

2. اللدائن التي تتصلد بالحرارة (غير قابلة لإعادة التشكيل) Thermo – Set

شبكات من الجزيئات ملتحمة ضيقة الفتحات (ولا يمكن إعادة تلينها) وعند التصنيع يصبح هذا النوع ليناً بالحرارة ويأخذ شكلاً محدداً بعد عملية الضغط بحيث تصبح جزيئاته مرتبطة بشكل محكم عبر تقاطعات السلاسل وبعد تصنيعه ولا يمكن إعادة تشكيله بالحرارة مرة أخرى ومن أشهر أنواعه؛ البكلايت، يلامين فورمالدهيد، وفينول فورمالدهيد، ويوريا فورمالدهيد .

3. اللدائن المرنة (Elastomers)

شبكات من الجزيئات ملتحمة واسعة الفتحات (مطاطية)، يمكن تشكيلها على البارد تتبعها عمليات حرارية.

مميزات اللدائن : تشترك جميع أنواع اللدائن في عدد من الصفات جعلتها ذات استخدامات واسعة في مجال الصناعة، ويمكن تلخيص مميزات اللدائن كالآتي:-

1. انخفاض كلفة إنتاجها وبالتالي رخص ثمنها .
2. خفة وزنها ومقاومتها للتآكل والصدأ.
3. سهولة تشكيلها وعزلها للحرارة والكهرباء.
4. شفافية بعض أنواعها للضوء فيمكن رؤية محتويات العبوات المصنوعة منها.
5. مقاومة بعضها لتأثير الكيماويات وشدة مقاومتها للكسر ومتانتها مما يسهل استخدامها.
6. قدرتها على عزل الرطوبة فتتفوق على العبوات المصنوعة من الورق والقماش.

تصنيع اللدائن : تتوافر المواد الخام للدائن بأشكال مختلفة منها ما هو على شكل مسحوق أو حبيبات مختلفة الأحجام أو على شكل سائل، وتمر عملية تصنيع اللدائن بعدة مراحل؛ السحب، النفخ، الحقن،

الكبس، والتفريغ، ويتم تثبيت قطع اللدائن مع بعضها بالتبريد والضغط أو التسخين أو بالأمواج فوق الصوتية، أو بواسطة مواد لاصقة

استخدامات اللدائن : من الممكن أن تجتمع صفات القوة والمرونة والصلابة وخفة الوزن والشفافية في آن واحد في مادة بلاستيكية واحدة مما يجعلها صالحة لعدة استخدامات متباينة ومثال ذلك ما يأتي:-

1. قضبان (لدائن مدعمة بالألياف) بدائل حديد التسليح في البناء.
2. تحويل الطاقة الشمسية إلي طاقة كهربائية.
3. صناعة أدوات منزلية وأنابيب المياه، والحاويات والصفائح وتعبئة الأغذية والمياه الصحية.
4. صناعة الألياف والأقمشة .

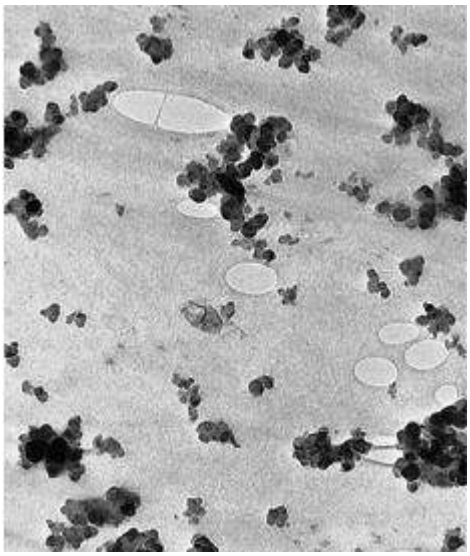
أما عيوب اللدائن فهي صعوبة الإصلاح وإمكانية إعطاء رائحة غير مرغوب فيها وعدم تحملها لدرجات الحرارة العالية وعدم ثبات الأبعاد والتعرض للكسر والتلف إلى جانب التأثيرات البيئية الضارة في حالة إحراقها أو استخدامها كأوانٍ وأكواب للطعام والشراب.

9-3 المواد المركبة (والمواد الملبدة) Composite Materials

احد أنواع المواد الهندسية، تتكون من مادتين مختلفتين أو أكثر (المادة الرابطة Matrix والمادة الداعمة أو المقوية Reinforcing) بشرط أن لا يتم انصهار أو ذوبان أحدها بالآخر، وأن تكون قابلية التجانس بينهما عالية، وأن لا تختلف اختلافاً كبيراً في الخصائص الفيزيائية أو الكيميائية، وينتج مادة جديدة لها خواص جديدة تختلف عن خواص أي من المواد الأولية، إذ تقوم المادة الرابطة بنقل الإجهاد الميكانيكي إلى مادة التقوية التي تعتبر الهيكل الذي يتحمل القوى.

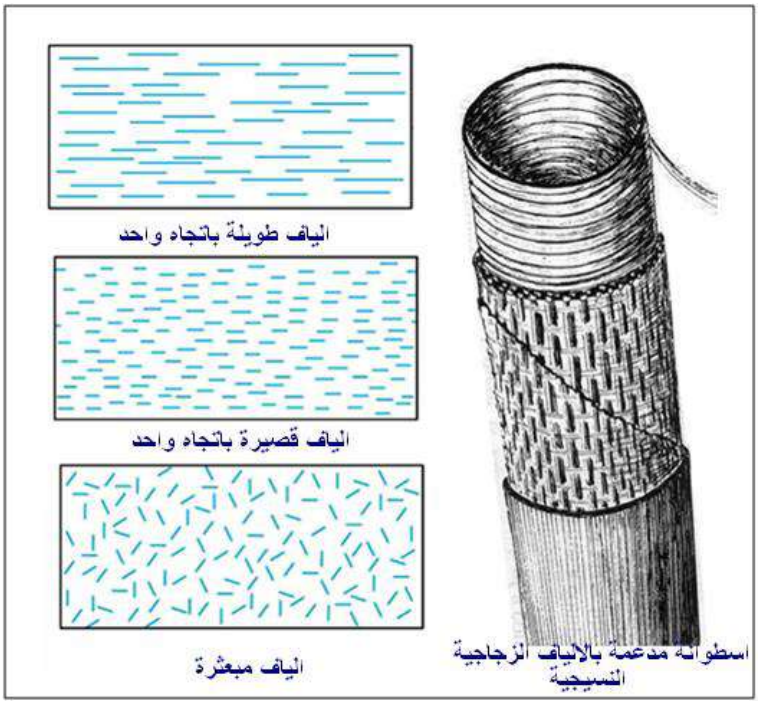
تصنيف المواد المركبة : يوجد تصنيفان يعتمد الأول على مواصفات المادة الرابطة (معدن، سيراميك، لدائن) والتصنيف الثاني يعتمد على تركيبة المادة الداعمة، وكما يأتي :-

- **المواد المدعمة بالمساحيق الدقيقة** : وتتكون من مادة رابطة مدعمة بحبيبات صلدة (معادن أو أكاسيدها، أو كربيدات) كمساحيق تنثر عشوائيا بشكل كثيف ومتجانس، الشكل (3-20)، وتلتصق بتأثير قوة الترابط عند كبسها لتتشابك بسبب عدم انتظام سطحها، وتتم معالجتها حراريا في أفران خاصة لدرجة حرارة مقدارها ثلث درجة انصهار المادة الرابطة مما يساعد على إعادة التبلور، وتلك العملية تسمى التلبيد.



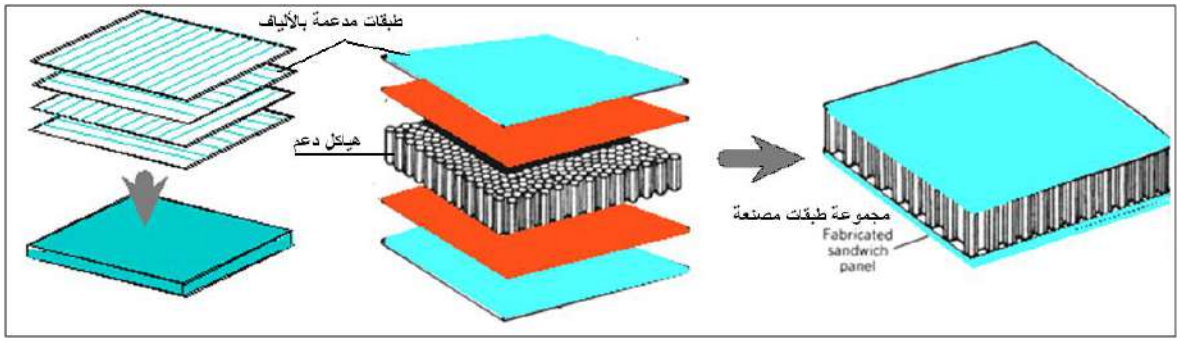
الشكل 3-20 : مقطع (مكبر) في مادة مركبة مدعمة بالمساحيق الدقيقة.

- **المواد المدعمة بالألياف** : وتتكون من مادة رابطة مدعمة بألياف تنتشر باتجاه واحد (Aligned) أو مبعثرة وقد تكون قصيرة أو طويلة أو محاكة كنسيج وبطبقة واحدة أو عدة طبقات داخل المادة الرابطة، الشكل (3-21)، وقد تكون الألياف طبيعية أو صناعية (ألياف زجاجية Fiber Glass، كربونية).



الشكل 3-21: طريقة ترتيب الألياف في المواد المركبة.

- **المواد المدعمة بالهياكل** : وتتكون من بناء هيكلي متعدد الطبقات من ألواح مدعمة بالألياف تربط مع بعضها وفق تتابع بحسب زوايا اتجاه ألياقها بواسطة مواد لاصقة، الشكل (3-22).



الشكل 3-22 : المواد المركبة المدعمة بالهياكل.

مميزات المواد المركبة

1- سهولة التشكيل وبأشكال معقدة (بحسب القالب).
2- اقتصادية في التصنيع (يعتمد على نوع المواد المنتجة وشكل المنتج).
3- مقاومة عالية للكلل، والتآكل، والحرارة (للمواد التي يدخل فيها السيراميك).
4- عوامل تمدد حرارية بحسب الطلب.
5- عدم التأكسد أو التأثر بالمواد الكيميائية الشائعة الاستخدام (شحوم، زيوت، وقود، دهانات ...).
6- خفة الوزن بشكل كبير بدون التأثير على خواص المتانة.
7- مقاومة كبيرة لانتشار الشقوق الذي قد يحدث نتيجة للاهتزاز، وبالتالي فهي مناسبة لتصنيع المحاور (الأعمدة) الدوارة.

مساوئ المواد المركبة

1- عمرها أقصر من عمر المواد التقليدية نتيجة التقادم تحت تأثير الرطوبة والحرارة.
2- مقاومة متوسطة للصدمات (الأنواع الحديثة المطورة لها خواص جيدة لمقاومة الصدمات).
3- صعوبة الإصلاح، والتأثير السلبي على البيئة عند التخلص من النفايات، ولا يمكن إعادة تصنيعها
4- صعوبة الإنتاج المتسلسل.

استخدامات المواد المركبة

تستخدم المواد المركبة لتصنيع أجزاء كثيرة كبديل لمواد أخرى، لما لها من خواص يمكن التحكم بها بحسب التطبيقات، وكمثال للانتشار الواسع لتطبيقاتها فقد استخدمت في السيارات والطائرات كالغلاف الخارجي، اللوحات الصندوقية، شفرات الجناح الدوار للمروحيات، عناصر نقل الحركة، والإطارات إذ تصل نسبة المواد المركبة في الطائرات الحالية إلى 30% من وزن الهيكل ويتوقع أن ترتفع النسبة في المستقبل، ومن المناسب أن نذكر أن الكونكريت (خليط الاسمنت والرمل والحصى)

يعتبر من المواد المركبة المدعمة بالمساحيق بينما يصنف الكونكريت المسلح كمواد مركبة مدعمة بالألياف.

10-3 أسئلة الفصل الثالث

1) عدد أنواع المواد الهندسية بحسب تصنيفها.

2) ما هي المجالات التي تستخدم فيها المواد الهندسية والتي يعتمد عليها عند تصنيف للمواد بحسب الأداء الوظيفي؟

3) اذكر الخواص الفيزيائية المعتمدة في توصيف المواد الهندسية

4) ما هي المجالات التي تستخدم فيها المواد الهندسية والتي يعتمد عليها عند تصنيف للمواد بحسب الأداء الوظيفي؟

5) ما المقصود بالخواص الكيماوية للمواد الهندسية؟

6) عرف ما يأتي:- المرونة، المطاوعة، الفشل، المطيلية، القساوة، الهشاشة، الصلادة، الليونة، السيولة، قابلية التشكيل، قابلية اللحام، قابلية التشغيل.

7) كيف يمكن التعرف على المواد الهندسية، وتقدير خواصها بشكل سريع دون اللجوء لأجراء اختبارات؟

8) خاصية المادة التي تجعل النابض يستعيد طوله الأصلي بعد سحبه قليلا وتركه تسمى (الهشاشة، الليونة، القساوة، المرونة).

9) المواد التي لا يمكن زيادة طولها إلاّ بإجهاد عالٍ وضمن حدود المرونة تسمى مواد: (هشة، عالية المرونة، غير المرنة، قابلة للطرق).

10) عندما تؤثر قوة في جسم فإن الإجهاد الطولي فيه يساوي: (التغير النسبي في أبعاده، القوة العمودية المؤثرة لوحدة المساحة، معامل يونك للمرونة، حد المرونة)

11) إجهاد القص العامل على جسم يؤثر في: (طوله، عرضه، حجمه، شكله).

12) ما المقصود بمعامل المرونة؟ وما وحدة قياسه؟

13) ما نوع المطاوعة النسبية والتي يعبر عنها بـ :-

- نسبة التغير في الطول إلى الطول الأصلي.
- نسبة التغير في الحجم إلى الحجم الأصلي.
- مقدار الزاوية التي ينحرف بها سطحا الجسم المتقابلان.

14) أثر إجهاد توتري مقداره $20 \times 10^6\ N/m^2$ في سلك معدني مساحة مقطعه العرضي $1.5\ mm^2$ ، ما مقدار القوة المؤثرة فيه ؟ (F=30N /ج)

15) ما الزيادة الحاصلة في طول سلك من الفولاذ طوله 2m وقطره 1mm؟ إذا علقت في نهايته كتلة 8kg معتبراً التعجيل الأرضي g=10N/kg، E=200MPa. (ج/ $\Delta L=1.01x10^{3}m$).

16) سلك نصف قطر مقطعه العرضي0.5mm وطوله 120cm معلق شاقولياً، ما القوة العمودية اللازمة لتسليطها على طرفه السفلي كي يصبح طوله 121.2cm؟ علما أن معامل مرونة مادة السلك $1.4x\ 1^{010}\ N/^{m2}$. (ج/ F=110N)

17) سلك من البرونز طوله 2.5m ومساحة مقطعه العرضي $1x10^{3}cm^{2}$ سحب فاستطال مليمتر واحد، يتعلق جسم كتلته 0.4kg، احسب معامل مرونة المعدن إذا كان التعجيل الأرضي g=10N/kg. (ج/ $E=10^{11}\ N/m^{2}$)

18) لماذا تعتبر المعادن من الموصلات الحرارية والكهربائية؟

19) عدد الخامات المستخدمة للحصول على معدن الحديد.

20) اذكر طريقة استخلاص الحديد من خاماته بواسطة الفرن العالي.

21) ما هو حديد الزهر، وما هي مميزاته واستعمالاته؟

22) ما هو الحديد المطاوع، وما هي مميزاته واستعمالاته؟

23) عدد أبرز أنواع الصلب الكربوني ومجال استعمال كل نوع.

24) اذكر خمسا من الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمعدن النحاس وبين مجالات استعماله.

25) اذكر أربعاً من الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمعدن الألمنيوم وبين مجالات استعماله.

26) اذكر أربعاً من الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمعدن النيكل وبين مجالات استعماله.

27) اذكر ثلاثة من الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمعدن الرصاص وبين مجالات استعماله.

28) اذكر ثلاثة من الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمعدن القصدير وبين مجالات استعماله.

29) عدد أنواع سبائك الصلب وبين استخدام كل منها.

30) عدد أنواع سبائك النحاس وبين استخدام كل منها.

31) عدد أنواع سبائك الألمنيوم وبين استخدام كل منها.

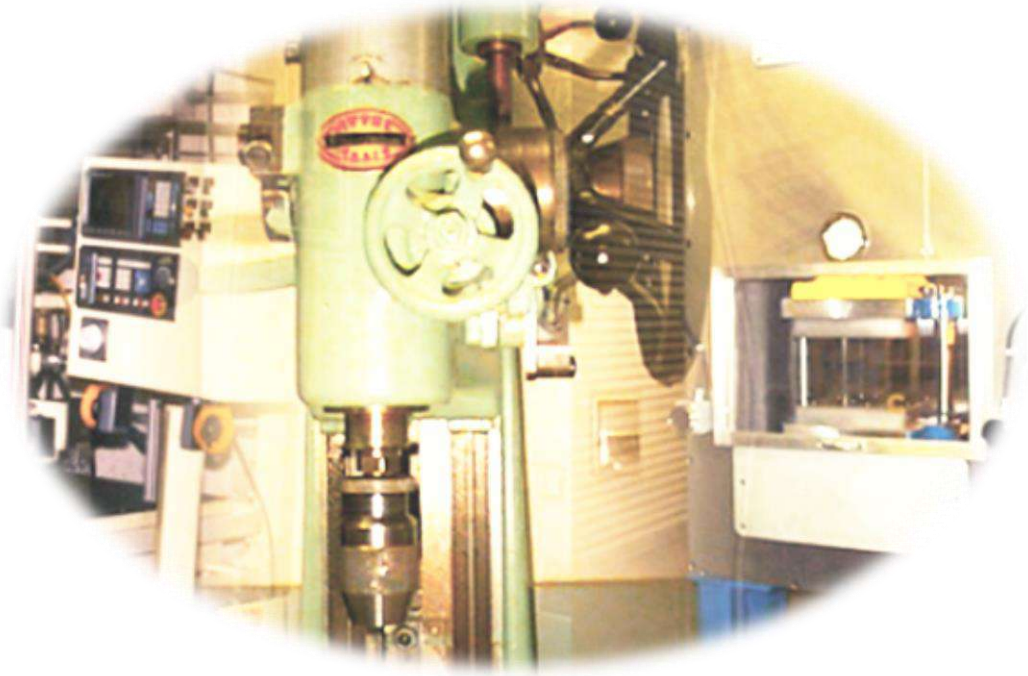
32) عرف السيراميك وبين خواصه وكيفية صناعته، ثم اذكر بعضاً من مجالات استخدامه.

33) عرف اللدائن وبين خواصها وكيفية صناعتها، ثم اذكر بعضاً من مجالات استخداماتها.

34) عرف المواد المركبة وأصنافها، مع بيان مميزاتها، ومجالات استخدامها.

الفصل الرابع

عمليات التشغيل



 # أهداف الفصل الرابع

وقطع اللوالب).

ريز).

تمهيد

التعبير عدة (Tooling) يشير إلى أيّ أجهزة أو آلات تساعد في الحصول على منتج أو أداء أيّ نشاطات ذات علاقة، إذ يشمل التعبير النوع الأكثر بساطة من الأدوات اليدوية مثل المبرد، إلى الآلات والماكينات المعقّدة جدا مثل الماكينات المعانة بالحاسوب (CNC Machining Centre).

وهنا يتبادر إلى الذهن، لماذا ما زلنا نستعمل الأدوات اليدوية في هذا العصر الحديث من التقنيات؟ ومن المعقول القول أن كفاءة أيّ عملية يدوية تكون منخفضة ونوعية الناتج تعتمد إلى حد كبير على مهارة الأفراد، ولكن المبررات الآتية قد تعطي جواباً قاطعاً إلى السؤال أعلاه، وهي:-

1. الدقة (Accuracy) : بالرغم من أن أي ماكينة حديثة يمكن أن تعطي درجة أعلى من دقة الأبعاد عندما تقارن بالنتيجة للمنجز اليدوي، إلاّ أن تلك الدقة تتطلب تحضيرات معقدة لمنضدة الماكينة والتي يمكن أن تنجز وبنفس الدقة بعملية قشط يدوية.
2. المرونة (Flexibility) : العمليات اليدوية مرنة جدا ويمكن أن تنفّذ بأي مكان حيثما اقتضت الضرورة وبتجهيزات بسيطة، بينما عمليات التشغيل الآلية (Machining) يتطلّب التواجد بجانب الماكينة.
3. الكمية (Quantity): تستخدم الماكينات في إنتاج الكميات الكبيرة وبدقة ثابتة فضلاً عن الكفاءة، ولكن في حالة الكميات المحدودة أو صناعة نموذج أو تصليح مكوّن وحيد، لن يكون استعمال الماكينات عملياً أو مربحاً، بدلا من ذلك تكون العمليات اليدوية هي الاختيار الأفضل.
4. التجميع النهائي (Final Assembly): عند تجميع الأجزاء المكوّنة لمنتج ومهما كانت دقيقة يجب اللجوء إلى شخص ميكانيكي ماهر لإعطاء اللمسة الأخيرة (Finishing Touch) الضرورية لضمان الشكل الصحيح للمنتج.

ان تصنيع أي نوع من المنتجات يتطلب تحديد أبعاده الرئيسة ونوع العمليات التشغيلية المناسبة موضوعة على المخططات والرسوم الهندسية ليتسنى نقلها إلى قطعة العمل الخام، ومن ثم تشغيلها أو ضبط ماكينات التشغيل بحسب تلك الأبعاد، وتتم إزالة طبقات من المعدن باستعمال أداة القطع بطرق تعتمد على نوع المعدن وحجم المشغولة، وهذه الطبقات المزالة من سطح المعدن تسمى بالنحاتة أو الرايش، ومن تلك الطرق عمليات أساسية تجرى يدوياً تستوجب قياس الأطوال والتخطيط (الشنكرة) ومن ثم أجراء عمليات تشغيل كمثل؛ القطع اليدوي بالأجنات، النشر اليدوي، البرادة، الثقب وتنعيم الثقوب، وقطع اللوالب يدوياً، أو تشغيلها (القطع الخام) آلياً بواسطة ماكينات التجليخ، الخراطة، التفريز، وغيرها.

قد تكون عمليات التشغيل اليدوية مرحلة أولية لتهيئة المشغولة بالشكل والبعد المناسبين حتى تصبح هذه المشغولة مناسبة لوضعها على الآلة وإجراء عمليات التشغيل المطلوبة، وقد تكون ضرورية بعد التشغيل الآلي، كما ان هناك بعض القطع يتم تشغيلها يدويا بالكامل.

1.4 عمليات التشغيل اليدوية

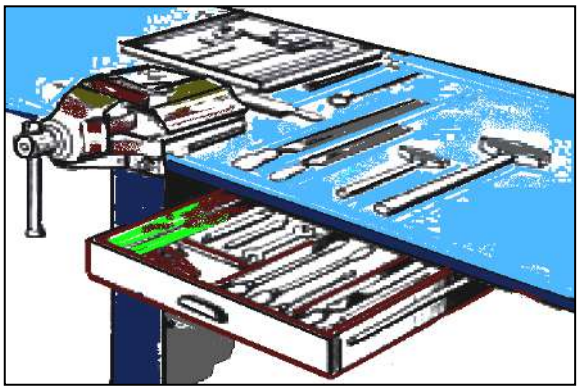
قبل البدء بالعمل داخل ورش الميكانيك يجب التأكد من توافر شروط السلامة والصحة المهنية لتجنب وقوع أي احتمال تعرض للمخاطر نتيجة حركة أجزاء الماكينات والأجسام المتطايرة والأعطال الميكانيكية فضلاً عن الصدمات الكهربائية، ومن تلك الشروط؛ ارتداء الملابس الواقية (بدلة العمل) والتي يجب أن تكون خالية من الزيوت أو المواد القابلة للاشتعال والتي لا تسبب الإعاقة في العمل وتتميز بالمتانة وخفة الوزن، فضلاً عن ضرورة استخدام واقيات العيون لتجنب الحرارة والوهج والأجزاء المتطايرة، وكذلك فأن ارتداء أحذية ذات الرقبة والمغلفة بغطاء سميك يوفر الوقاية من الحوادث، مع لبس الكفوف المناسبة لنوع العمل، ولبس الكمامات في حالة وجود غازات أو أبخرة.

إن تخطيط مكان العمل أو تصميمه بطريقة غير مناسبة قد يؤدي الى إصابة العاملين بصورة متكررة، لذلك يجب التخطيط لتحقيق أنظمة السلامة في ورشة العمل، وعدم استعمال آلات وعدد غير مناسبة للعمل مثل استعمال المبرد كرافعة أو مفتاح الصواميل كمطرقة أو استخدام مطرقة بمقبض غير ثابت، لذلك، فعلى القائم بالعمل انتقاء الأدوات المناسبة وتحضيرها قبل المباشرة بالعمل، ومنها منضدة العمل، الملازم، مساعدات الربط، فضلاً عن أدوات وعدد القطع المناسبة لكل عملية تشغيل.

منضدة (طاولة) العمل (Work Table) : لا يوجد تصميم موحد متقن لطاولة العمل، إنما يجب ان تتوفر فيها شروط منها:

1. الهيكل ويصنع من الفولاذ وانسب المقاطع مقطع الزاوية.
2. سطحها (سطح العمل) ويصنع من الخشب الثقيل لامتصاص الصوت الناتج من العمل، ويغطى سطح الطاولة بالصفيح للمحافظة على السطح الخشبي.
3. تكون مستوية وبارتفاع يناسب متوسط طول المتدربين إذ يبلغ ارتفاعها بين (80 -85 cm).
4. تحتوي على عدة أدراج (أو رفوف) لوضع العدد وأدوات القياس فيها بترتيب يسهل تناولها باليد.
5. يوجد على سطحها حمالة للمبارد ولأدوات العمل.
6. توافر الإضاءة الطبيعية أو الاصطناعية المناسبة للعمل.

وتثبت على منتصف الهيكل الحديدي (أو على إحدى زواياه) ملزمة يناسب حجمها طبيعة المشغولات المنتجة في الورشة، الشكل (4-1)، وقد تزود المنضدة بحواجز واقية أو لوحة لتعليق العدد.



الشكل 4-1 : منضدة العمل.

المِلزمة (المنكنة) المنضدية (Bench Vice): تعد من أكثر وسائل الربط المستخدمة في عمليات التشغيل اليدوي للمشغولات ومنع حركتها في أثناء العمل، وتتكون من فكين احدهما ثابت والاخر متحرك، وتعتمد طريقة التثبيت ووسيلتها على طبيعة العمل المطلوب وقطعة المشغولة وحجمها، إذ يصنع جسم الملزمة من الحديد الكربوني فيما تصنع الفكوك من الصلب السبائكي، تثبت على منضدة العمل بارتفاع مناسب لطول المتدرب، يمكن تصحيحه بوضع مسند خشبي في الأرض، وتتنوع الملازم في شكلها وحجمها بحسب نوع الاستخدام، فقد تكون ثابتة أو دوارة يتحدد حجمها بالمسافة القصوى بين فكيها، أو بعرض الفكوك، وتوجد أنواع مخصصة لمسك الأنابيب والمشغولات الصغيرة، يبين الشكل (4-2) بعضاً من انواع الملازم التي تثبت على سطح منضدة العمل لربط المشغولات، إذ تتكون من:-

- الفك الثابت والفك المتحرك: تكون فكوك الملزمة محززة لإحكام الربط، وللمحافظة عليها من التلف يستعان بواقيات الفكوك.
- منزلق الفك المتحرك.
- براغي تثبيت الملزمة بمنضدة العمل.
- العمود الرئيس : عمود لولب يتم تدويره باليد عن طريق ذراع تحريك ويكون العمود الرئيس معشقاً بصامولة ثابتة بجسم الفك الثابت، فعندما يدور العمود الرئيس يتحرك منزلق الفك المتحرك حركة خطية وبذلك يتم التحكم بمسافة فتحة الملزمة (البعد بين الفكين الثابت و المتحرك).

الشكل 4-2 : بعض أنواع الملازم المستخدمة في ورش الميكانيك.

تستعمل مساعدات الربط الأخرى في حالات المشغولات غير المستوية التي لا يمكن ربطها على الملازم بشكل مباشر أو قد تكون ذات سطوح مشغولةٌ بنعومة تحتاج لماسكات من معادن طرية للمحافظة على جودة سطحها إذ يمكن الاستعانة بفكوك مصنوعة من الرصاص أو الألمنيوم.

لكي تكون عملية التشغيل اليدوي ناجحة باستعمال عدد تشغيل يدوية بسيطة لابد من توفر شروط قبل إجرائها كاختيار العدد المناسبة من حيث الحجم والشكل والصلادة تؤهلها لعملية التشغيل المطلوبة، ثم تحديد وتأشير الأبعاد المطلوبة بصورة صحيحة على القطعة المراد تشغيلها، وأن يكون العمل وفق خطوات منتظمة ومتسلسلة للوصول إلى المنتج المطلوب.

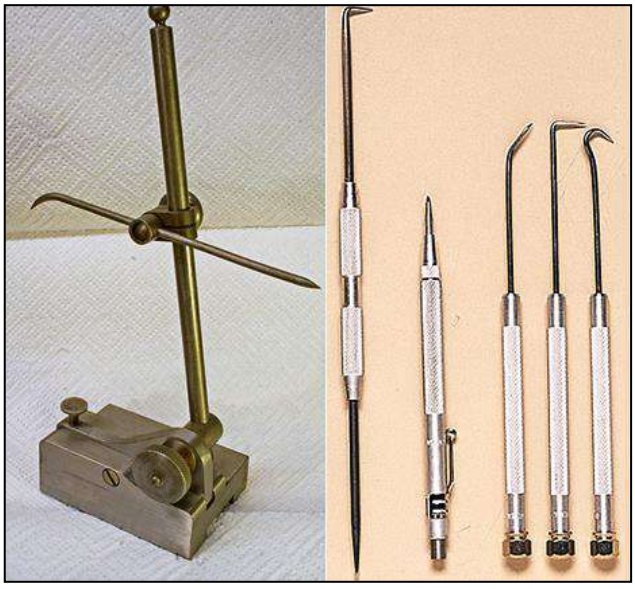
4-1-1 التخطيط (الشنكرة) Scribing

لا تختلف عملية رسم خطوط التشغيل على الأسطح المستوية المعدنية عن عملية الرسم العادية على الورق، إلاّ من حيث استعمال أداة الخدش (الشنكار Scriber) بدلاً من القلم، فالتخطيط أو الشنكرة هي عملية نقل خطوط وأبعاد ومراكز الثقوب الموجودة على الرسم إلى المشغولة المطلوب تنفيذها، تلك الخطوط التي تحدد أجزاء المعدن المطلوب إزالته، وتعتبر من أهم وأدق العمليات التي يقوم بتنفيذها الفني والتي تتطلب عناية وإتقان، إذ تتوقف صلاحية المشغولات المصنعة على دقة عمليات التخطيط والشنكرة، إذ أن التخطيط المدروس يقلل من الضائعات في الخامات فضلاً عن تقليل الوقت والجهد اللازمين للتصنيع.

تستخدم أدوات التخطيط بجانب أدوات النقل والقياس في عملية التخطيط وكما يأتي:-

1. **الصبغ الملون أو مسحوق الطباشير**: يستفاد منه لتوضيح وإظهار الخطوط على السطوح المعدنية.

2. **الخطاط (الشنكار):** يصنع من الصلب الكربوني (صلب العدة) برأس مخروطي مدبب، الشكل (3-4)، ويقوم بخدش أسطح قطعة العمل بحسب التخطيط التنفيذي المرسوم، إذ ترسم الخطوط من أعلى إلى أسفل مع إمالة الطرف المدبب بحدود 15^{o} عن الحافة العمودية للمسطرة، ويمكن استخدامه في التخطيط بارتفاعات محددة إذ يكون مثبتاً على محمل.



الشكل 4-3 : أنواع مختلفة من الشنكار.

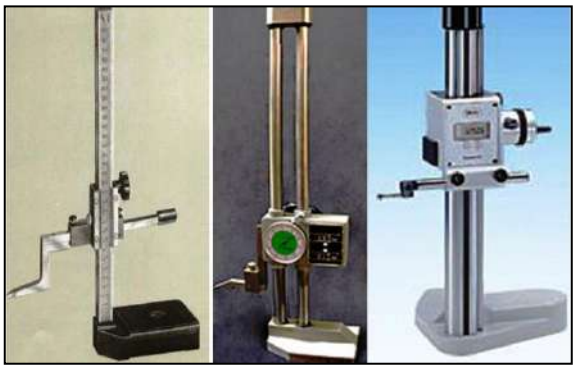
3. **البنط (السنبك) : Punch Tool** : تصنع من صلب العدة ويصلد طرفها المدبب، تستخدم لتحديد مراكز الثقوب تمهيداً لعملية الثقب (طرفها مدبب بزاوية أكثر من 60^{o})، أو لتنقيط الخطوط المرسومة قبل عملية التنفيذ (زاوية الرأس أقل من 60^{o})، باستعمال المطرقة، الشكل (4-4).

الشكل 4-4 : أنواع مختلفة من البنط.

4. **فرجال تقسيم وفرجال عدل:** تصنع من صلب العدة وتستعمل لتخطيط الدوائر والأقواس، فضلاً عن نقل القياسات المحددة، الشكل (4-5).

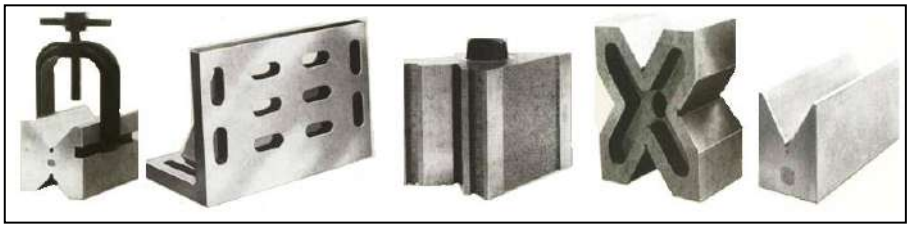
الشكل 4-5 : طقم فراجيل التخطيط مزودة بميزان مائي.

5. **شوكة التأشير(Height Measuring and Scribing Instrumen):** أداة مثالية للتخطيط والتَأشير على قطع العمل Workpieces، تستعمل لتخطيط الخطوط المتوازية الأفقية والعمودية، فضلاً عن قياس الارتفاعات، الشكل (4-6).



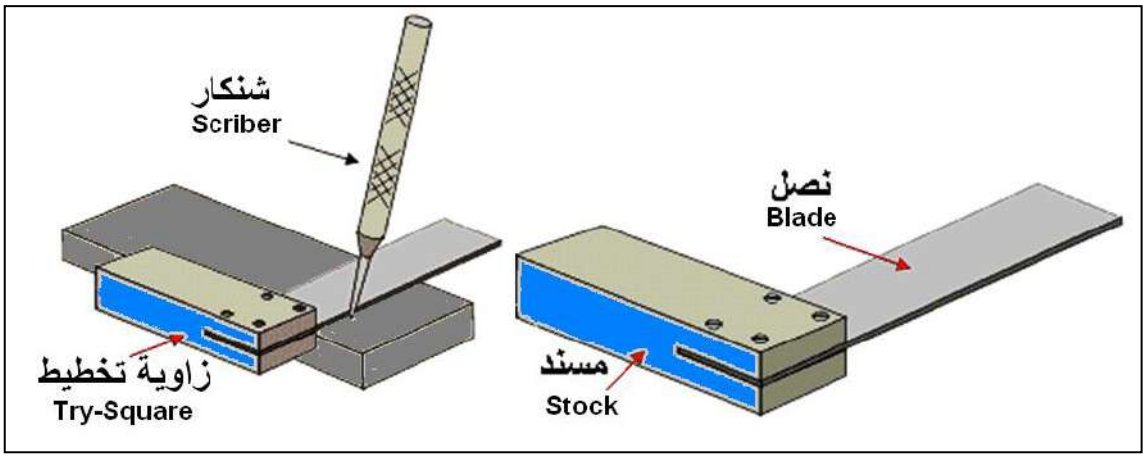
الشكل 4-6 : شوكة التأشير.

6. **أسطح الإسناد (وزهرة الاستواء):** من الوسائل المساعدة في عمليات التخطيط للمشغولات الاسطوانية وتكون مصنوعة من الصلب ألسبائكي وبأشكال مختلفة لتناسب مختلف قطع العمل، الشكل (4-7).



الشكل 4-7 : بعض من أنواع أسطح الإسناد.

7. **زاوية قائمة :-** تتكون من مسند عريض ونصل أملس تصنع من صلب العدة وتستعمل لرسم الخطوط المستقيمة والعمودية على أحد جوانب المشغولة، الشكل (4-8).



الشكل 4-8 : التخطيط باستعمال الزاوية القائمة.

4-1-2 النشر (Sawing)

عملية تشغيل بالقطع يتم فيها فصل أو إزالة أجزاء من المعدن من الحيز الضيق الذي يجري فيه المنشار والذي يحتوي على حدود قاطعة متتالية تسمى بأسنان نصل (أو سلاح) المنشار، يستخدم النشر لقطع الأعمدة والأنابيب والألواح المعدنية وتشكيل شقوق ومجارٍ فيها، وتعتمد عملية النشر اليدوي على القوة العضلية للعامل مع مراعاة قيادة المنشار في مستوٍ ثابت والضغط على السلاح أثناء الحركة الأمامية له، إذ تقوم أسنان المنشار بإزالة المعدن على هيئة رايش، ويزال الضغط في مشوار الرجوع بدون رفع المنشار، وتصدر حركة المنشار من الذراعين وتساعدها حركة مناسبة من الجسم وهذا يتطلب وضعاً وبعداً صحيحين للجسم من المشغولة، ويمكن انجاز عملية النشر آلياً باستعمال المنشار الكهربائي.

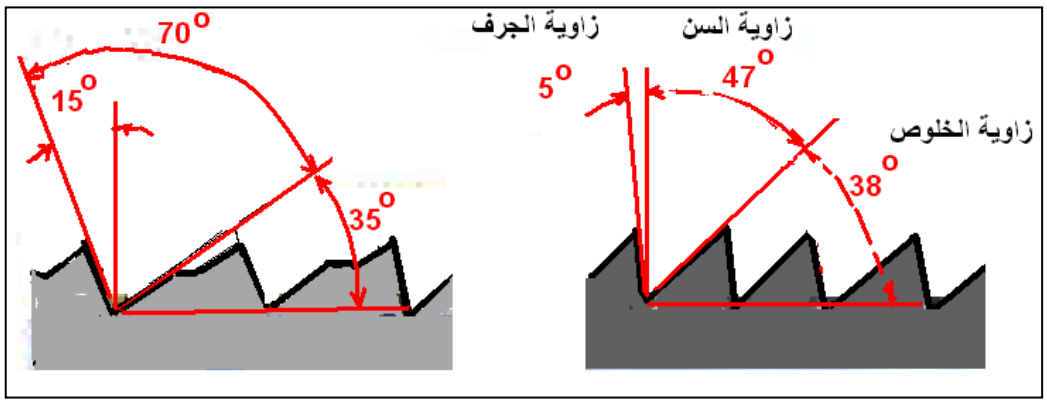
المنشار(Hacksaw): يتكون من جزئيين رئيسين، (الشكل 4-9)، هما:-

1. **الإطار (Frame):** الجزء الذي يحمل السلاح، يحتوي على مقبض ليمسك به في اليد اليمنى، وصامولة ضبط تسمح بتوجيه السلاح في مستوى يختلف عن مستوى الإطار مما يساعد على أداء عمليات نشر مائلة أو طويلة المسافة بسهولة، كما يوجد إطار مصمم للسماح بتغير طوله.
2. **النصل (السلاح) Saw Blade:** عدة القطع الحقيقية على شكل شريط من الصلب، تحتوي إحدى حافتيه (أو كلاهما) على عدد كبير من الأسنان التي تقوم بقطع المعدن، يصنع النصل من الصلب عالي الكربون High Carbon Steel (HCS) مخلوطاً بصلب السرعات العالية High Speed Steel (HSS) إذ يقّطع صفيح منه بشكل شريط ثم يصار إلى قطع الأسنان بواسطة ماكينة تجليخ خاصة وبعد ذلك تفلج أسنان المنشار، وعادة يتم تقسيته بالمعاملات الحرارية لاكتساب الخواص الميكانيكية الضرورية لعملية القطع وخاصة الصلادة، ثقبت كل من نهايته لتثبيته في الإطار، مقطع السلاح يكون دائما مستطيلاً ومع ذلك يصنع السلاح على شكل شبه منحرف قليل

الانحراف حتى لا ينحشر أثناء العمل، وكلما كان السلاح مقسى بالكامل ينبغي الحذر عند استخدامه لأنه يكون عرضة للكسر، في حين تقسى الأسنان فقط بعرض عدة ملليمترات تصير أسلحة المنشار مرنة أو نصف مرنة، لذلك تتحمل استعمال أكثر شدة من سابقتها لان مرونة الجزء غير المقسى تسمح بتغير شكلها في اتجاهي الطول والعرض أثناء القطع.

الشكل 4- 9 : أجزاء المنشار اليدوي.

أسنان المنشار:- يعد اختيار النصل على أساس عدد الأسنان المناسبة لعملية النشر من الضروريات الأساسية، ويرتبط هذا الاختيار بخطوة السن " وهي المسافة ما بين سنين متتاليين"، لكونها تختلف من سلاح إلى آخر، إذ يتوقف اختيار الخطوة على طبيعة العملية المطلوب تنفيذها، فضلاً عن نوع المعدن المشغول، فكلما كان المعدن المطلوب تشغيله صلد أو بسمك صغير كانت الأسنان أدق، والعكس صحيح.وينتج النصل بأسنان منفردة على جهة واحدة أو مزدوج التسنين أو بتسنين متصاعد تبدأ بسن قطع ناعم ثم متوسط ثم خشن، ويوضح الشكل (4-10) القيم لبعض انواع أنصال المنشار.

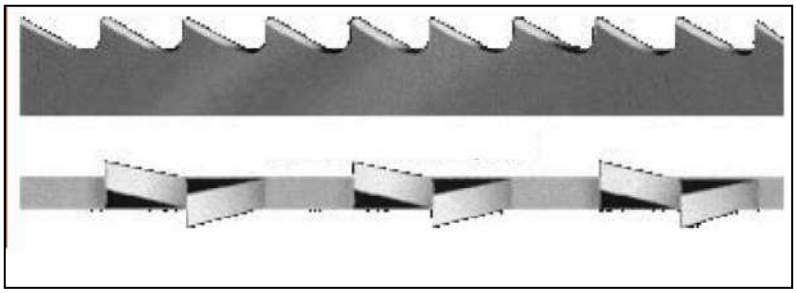


الشكل 4-10 : زوايا أسنان نصل المنشار.

يوصف نصل المنشار بخطوة أسنانه "عدد الأسنان في البوصة أو في السنتيمتر الطولي"،

التفليج :- تجري هذه العملية لتجنب حشر السلاح أثناء التشغيل وتؤدى أثناء صنع المنشار بطريقة آلية, وتحدث عادة لسن كل ثلاثة أسنان، الشكل (4-11)، وينتج عن ذلك أن يكون عرض خدش المنشار اكبر من سمك السلاح نفسه، وبذلك نتجنب انحشار أو اختناق المنشار، أي توقفه عن القطع

بسبب امتلاء المجالات بين الأسنان بالرايش إذ يساعد التفليج على تصريف الرايش المتكون، ويقل الاحتكاك بين جسم المنشار والقطعة المعدنية، يستعاض عن التفليج أحياناً بصنع نصل المنشار متموجاً خاصة عندما تكون أسنان المنشار صغيرة جدا.



الشكل 4-11 : تفليج أسنان المنشار.

أنواع المناشير (Saw Types):- تستخدم في عمليات النشر أدوات وآلات نشر مختلفة وكل نوع له استخداماته الخاصة، الشكل (4-12)، ومن تلك الأنواع ما يأتي:-

أ) منشار القوس:- يستخدم لعمليات النشر الاعتيادية والعامة، يكون سلاح (نصل) المنشار مثبتاً ومشدوداً جيدا بين نقطتين على طرفي إطار المنشار.

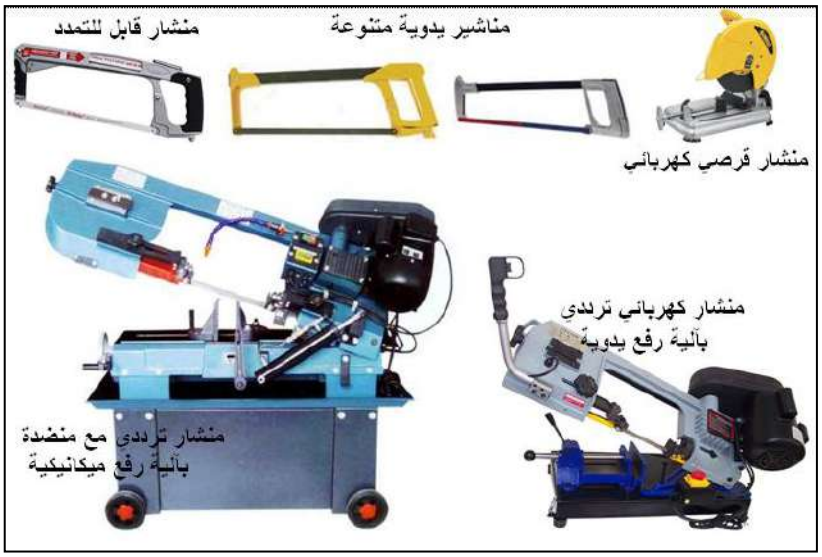
ب) منشار الغرز:- يستخدم لنشر المقاطع الداخلية البسيطة في المعادن اللينة والخشب.

ج) المنشار الورقي :- يستخدم لنشر الخطوط الداخلية المستقيمة في المعادن اللينة.

د) المنشار الترددي:- ويعمل بنفس مبدأ النشر اليدوي إلا أن المنشار يتحرك بواسطة المحرك الكهربائي.

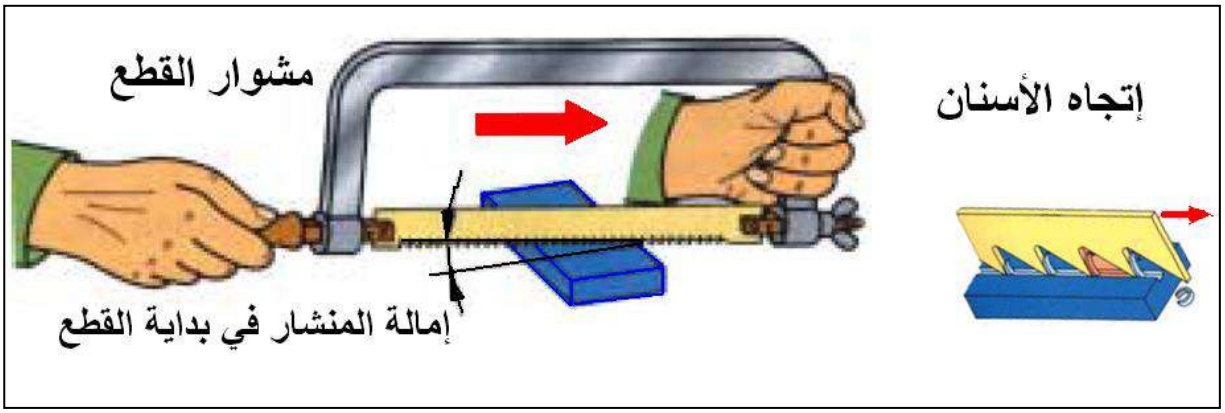
هـ) المنشار القرصي :- ويكون نصل المنشار على شكل قرص، يستخدم لنشر المقاطع المختلفة حيث تدفع قطعة العمل نحو قرص النشر.

و) المنشار الشريطي :- يستخدم للنشر الداخلي أو الخارجي بحسب نصل المنشار المستخدم ويكون نصل المنشار على شكل شريط أو سلك مسنن ويمكن بواسطته نشر خطوط مستقيمة أو أقواس.



الشكل 4-12 : بعض أنواع عدد وآلات النشر اليدوي والكهربائي.

عملية النشر :- يتم تحديد مكان القطع ومن ثم عمل الشنكرة عليه، وتثبت القطعة على الملزمة، ويستخدم السلاح بحيث يكون مشواره كاملاً بطول السلاح والضغط في مشوار الذهاب (مشوار القطع)، وتجنب كل ضغط أثناء الرجوع، ويكون معدل السرعة من 50-60 مشوار في الدقيقة، وتكون حركة الرجوع أسرع من حركة القطع، مع ملاحظة إن سرعة حركة المنشار المتتالية يجب أن لا ترتفع عن حد معين إذ يؤدي ذلك إلى ارتفاع الحرارة نتيجة الاحتكاك وفقدان المنشار لبعض خواصه الميكانيكية، مما يؤدي إلى اعوجاج النصل ودخول حبيبات المعدن بين الأسنان، وتقليل كفاءته في العمل، ويمكن تجنب هذه المشاكل بغمر المنشار كاملاً في الماء، ومن الممارسات الخاطئة تشحيم السلاح سواء بالزيت أو الشمع الذي يؤدي إلى زيادة الانزلاق، ويجب إمالة المنشار قليلاً إلى الأمام أو إلى الخلف عند إدخاله في خط القطع، الشكل (4-13)، في حين لو وضع السلاح أفقيا على القطعة فانه ينزلق عن خط الشنكرة. .



الشكل 4-13 : طريقة النشر.

أنواع أنصال المناشير :- تصنف المناشير بحسب عدد الأسنان في وحدة الطول وكما يأتي :-

1. المنشار الخشن: ويكون عدد الأسنان في وحدة الطول يساوي 14 – 18 سنا لكل 25mm، ويستعمل لنشر المواد المعدنية اللينة مثل الألمنيوم والقصدير والنحاس.
2. المنشار المتوسط الخشونة: عدد الأسنان في وحدة الطول يساوي 24 سنا لكل 25mm، ويستعمل لنشر الصلب منخفض الكربون وحديد الزهر الرمادي والمواد المعدنية الأخرى ذات الصلادة المتوسطة.
3. المنشار الناعم : عدد الأسنان لوحدة الطول يساوي 32 سنا لكل 25mm، ويستعمل لنشر المواد المعدنية ذات الصلادة العالية مثل الصلب عالي الكربون وحديد الزهر.

3-1-4 البرادة (Filings)

عملية تسوية سطح المشغولة وتنعيمها أو تشكيلها بحسب مواصفات محدده، عن طريق إزالة (قَطع) طبقة من المعدن على شكل شظايا صغيرة باستخدام حدود قاطعة (أسنان) بشكل الأزميل متراصة جانب بعضها بعضا على سطح أداة البرادة (المبرد)، إذ يعمل عدد كبير من أسنان المبرد في الوقت نفسه، وتتم العملية بالمبارد اليدوية او المبارد الآلية، لذا تعتبر من العمليات البطيئة، مما يساعد على السيطرة والتحكم في دقة الأبعاد المطلوبة، وتستعمل بشكل واسع في إعداد القطع المعدنية لعملية اللحام وتنظيف المسبوكات المعدنية وإزالة طبقات رقيقة من أسطح القطع المعدنية بسمك يتراوح بين (0.01 – 0.1 mm).

المبرد Rasp, File:- عدة معدنية مصنوع من الصلب عالي الكربون، وهو ذو شكل وطول محددان يحتوي على سلسلة من الأسنان الصغيرة تقوم بقطع أو إزالة طبقات رقيقة من سطح القطعة المعدنية قيد البرادة فيتكون نتيجة هذه العملية رايش ناعم نسبيا، يتكون المبرد اليدوي من عدة أجزاء، الشكل (4-14)، هي؛ المقدمة، الجانب، الكتف، الذيل، المقبض، الحلقة، وحدود القطع (الأسنان).

الشكل 4-14 : أجزاء المبرد.

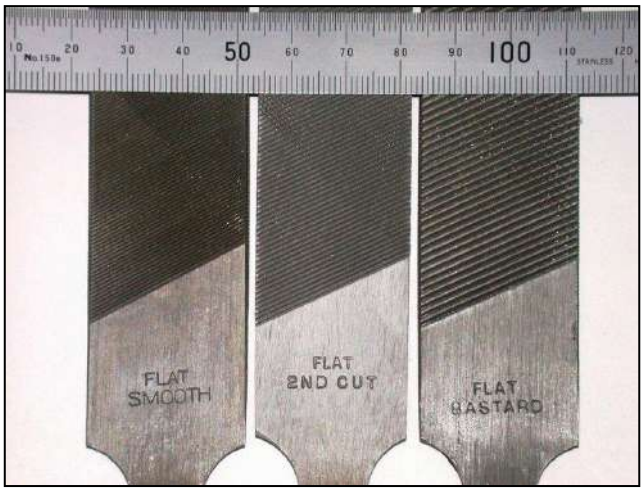
أنواع المبارد (Types of Files): تصنف المبارد إلى أنواع عديدة بحسب؛ نعومة المبرد، المقطع، وشكل الأسنان.

نعومة المبرد : يقصد بالنعومة عدد أسنان المبرد في وحدة الطول (السنتمتر الواحد) وتقسم المبارد بحسب نعومتها كما يأتي، الشكل (4-15).:-

أ) المبرد الخشن: ويتراوح عدد الأسنان في السنتمتر الواحد في هذا المبرد بين 5 - 13 سناً ويرمز له عادة بالرقم 1.

ب) المبرد المتوسط النعومة: ويتراوح عدد الأسنان في السنتمتر الواحد بين 13 - 25 سناً ويرمز له عادة بالرقم 2.

ج) المبرد الناعم: ويتراوح عدد الأسنان فيه بين 25 - 80 سناً في السنتمتر الواحد ويستعمل عادة لإنتاج السطوح الشديدة النعومة، ويرمز إلى هذه المبارد بالأرقام 3، 4، 5، و6.

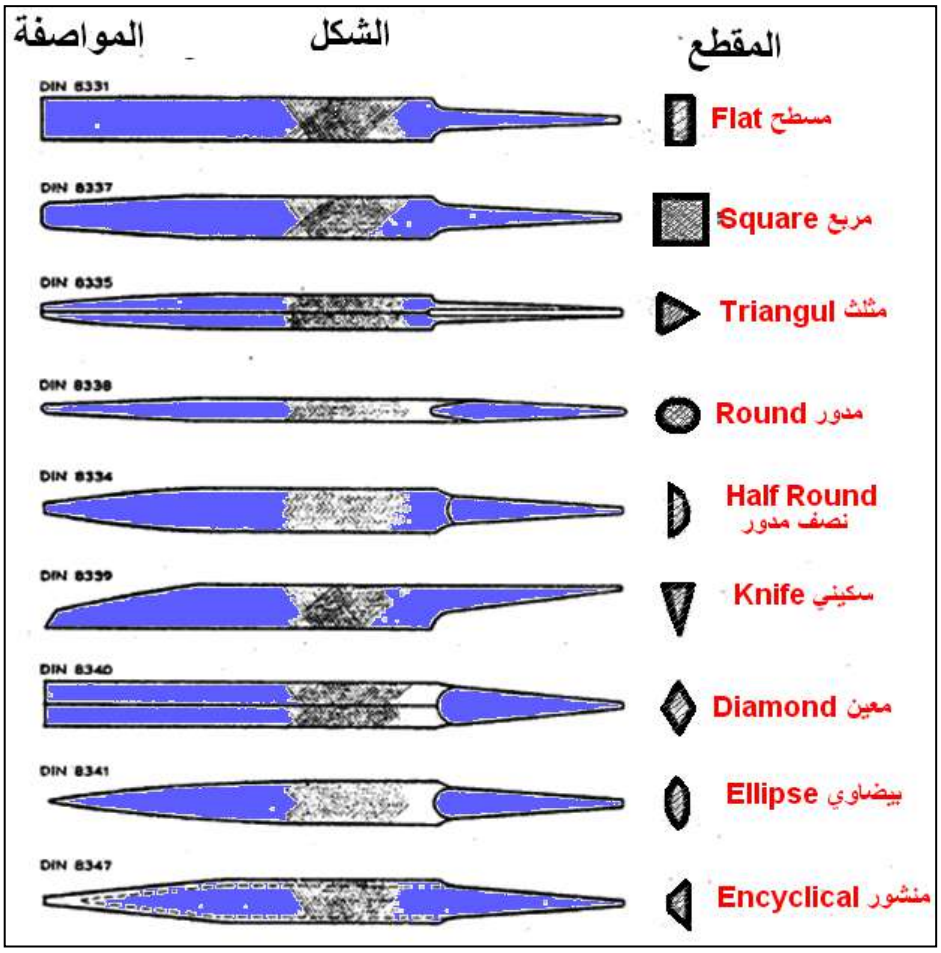


الشكل 4-15 : أنواع المبارد بحسب النعومة.

مقطع المبرد: تصنف المبارد من حيث شكل مقطعها إلى أنواع متعددة، الشكل (4-16)، أهمها :-

1. المبرد المسطح: مقطعه مستطيل الشكل، يستعمل عادة لبرادة السطوح المستوية الخارجية والداخلية.
2. المبرد المربع: مقطعه مربع الشكل، يكثر استعماله لبرادة الثقوب والقنوات المربعة والمستطيلة الشكل.
3. المبرد المثلث: مقطعه مثلث الشكل، يستعمل لبرادة الزوايا الداخلية والثقوب المثلثة الشكل أو ذات الزوايا الحادة.
4. المبرد المدور: مقطعه دائري الشكل، يستعمل لبرادة الثقوب الدائرية والسطوح المستديرة والنوع الآخر منه هو المبرد نصف الدائري والذي يستعمل لبرادة السطوح الداخلية المقعرة.
5. مبارد القطع: ذات مقاطع مثلثة الشكل وأركانها ذات حافة حادة، تستعمل لقطع المجاري والقنوات ولبرادة أسنان بعض الأنواع الخاصة من المسننات.

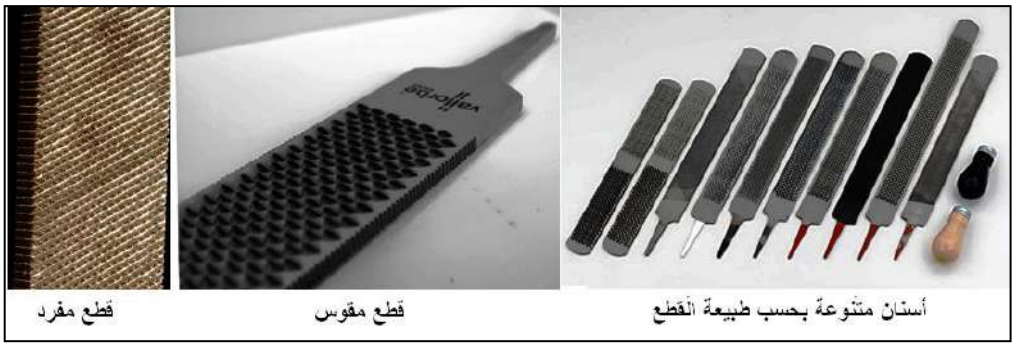
توجد أنواع أخرى من المقاطع مثل؛ المبرد نصف المدور، المبرد ألسكيني، المبرد ألمعيني، المبرد البيضاوي، المبرد الموشوري، ومبرد الألمنيوم الذي يستخدم لقطع الألمنيوم فقط.



الشكل 4-16 : بعض أشكال مقاطع المبارد.

أسنان القطع: تصنف المبارد بحسب طبيعة قطع الأسنان الموجودة فيها، الشكل (4-17)، إلى ما يأتي:-

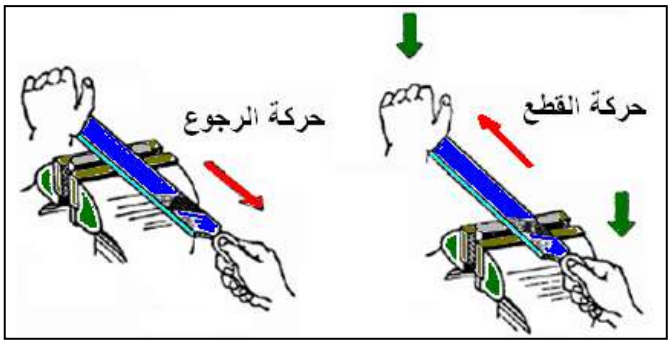
1. المبرد ذو القطع المفرد: تكون فيه أسنان القطع منتظمة على خطوط عرضية متوازية على المبرد وتميل بزاوية مقدارها (65^o – 85^o) ويستعمل عادة لبرادة المعادن اللينة مثل الألمنيوم والنحاس والبرونز، كما يستعمل أحياناً لشحذ أسنان المناشير وما شابه.
2. المبرد ذو القطع المزدوج: يحتوي على سلسلتين من الأسنان العرضية المتوازية على المبرد، السلسلة الأولى تميل بزاوية مقدارها (40^o – 45^o)، والسلسلة الثانية تكون أخشن ومنتظمة بزاوية معاكسة للأولى، وتستعمل لبرادة المعادن أو المواد ذات الصلادة العالية نسبيا مثل الحديد الزهر والصلب العالي الكربون.
3. المبرد ذو القطع المقوس: يحتوي على سلسلة متوازية من الأسنان المقوسة المنتظمة على عرض المبرد، ويستعمل عادة لبرادة المواد العالية الصلادة.



الشكل 4-17 : بعض أشكال أسنان المبارد.

عملية البرادة :- توصف عملية البرادة عن طريق حركتين، الشكل (4-18)، هما:-

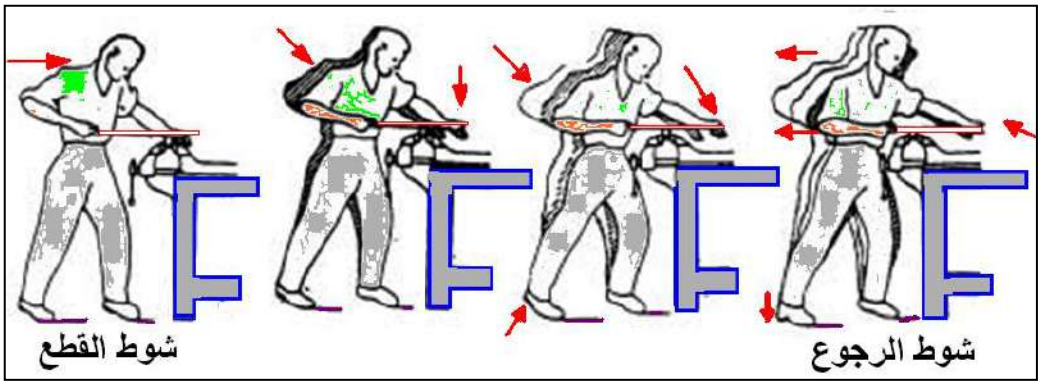
1) **حركة القطع** : يتم القطع في البرادة من جراء الضغط على المبرد عمودياً على سطح قطعة العمل والضغط على المبرد إلى الأمام ومن جراء هذا الضغط تتغلغل الأسنان في مادة العمل، وعند حركة تلك الأسنان المغروسة فإنها تزيل شظايا من المعدن.
2) **حركة الرجوع (السحب):** يزال الضغط العمودي على المبرد ويسحب المبرد إلى الخلف وتكون حركة القطع دائماً باتجاه المحور الطولي للمبرد؛ لتحاشي تكوين الشقوق (الحزوز)، أما حركة الرجوع (حركة السحب) فتميل بزاوية إلى اليمين او اليسار لتكسير الرايش العالق بين أسنان المبرد.



الشكل 4-18 : حركات عملية البرادة.

توضع العدد والأدوات التي تستعمل فقط على منضدة العمل، ويجب وضعها في الجهة اليمنى للملزمة بحيث لا تخرج نهايتها من المنضدة، وتوضع أدوات القياس على قطعة قماش أو لوح من الخشب بمحل فارغ يسار الملزمة مع القطع المراد برادتها وتشكيلها، ويقسم درج المنضدة قسمين الأعلى لأدوات القياس والأسفل للعدة (المبارد)، ويبين الشكل (4-19) الوقوف السليم بمواجهة المشغولة ومراعاة ثبات القدمين بأن يستند الجسم على القدم الأيسر والساق اليمنى تبقى مستقيمة، وان يكون ساعد العامل موازيا لسطح العمل مع إمالة الجسم قليلاً إلى الأمام، وتتم البرادة بحركة الأذرع والجسم بتسليط

ثقل الجسم عند شوط القطع والضغط على طرفي المبرد بصورة متساوية ورفع الثقل عند شوط الرجوع، وتتراوح سرعة البرادة ما بين 45 و 55 مشواراً في الدقيقة وعلى طول المبرد، ومن الممكن إجراء البرادة الطولية أو العرضية فضلاً عن البرادة المائلة عن محور المشغولة الطولي.



الشكل 4-19 : الوقوف السليم وقيادة المبرد أثناء عملية البرادة.

عند برادة السطوح المستوية يستعمل المبرد الخشن ويقاد باتجاه عرض المشغولة لإنجاز برادة التخشين بينما يقاد المبرد بالاتجاه الطولي للمشغولة باستعمال مبرد التنعيم لإزالة الخدوش، ومن ثم تفحص السطوح بمسطرة الاستواء للتأكد منها، أما عند تقويس السطوح فتكون البداية بالمبرد الخشن يليه المبرد الناعم بطريقة أرجحة المبرد، ومن ثم الفحص بواسطة طبعات قياسية للتأكد من انتظام القوس، وبنفس الطريقة تكون برادة الأشكال الأسطوانية والأعمدة وكما مبين في الشكل (4-20).

الشكل 4-20 : حركة المبرد عند برادة التخشين والتنعيم.

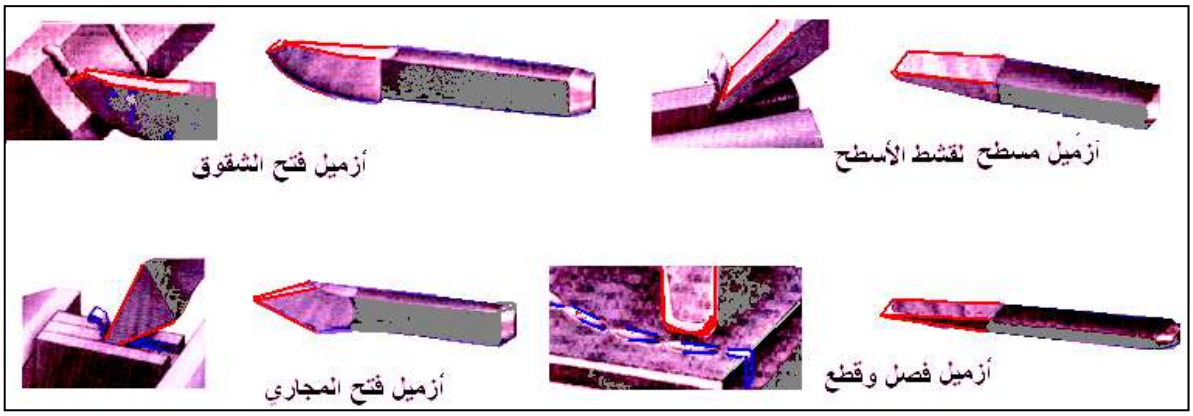
العناية بالمبارد: إن عمر الحدود القاطعة لأسنان المبرد تكون قصيرة جدا إن أسيء اختيارها، أو استعمالها أو قلت العناية بها، ويعجز المبرد عن القطع وتقل كفاءته عند تأكل قمم الأسنان فيه ويظهر هذا التآكل للعين المجردة إذ ينعكس الضوء على سطح وجه المبرد فتظهر الأسنان المتآكلة لامعة، كذلك يعجز المبرد عن القطع إن امتلأت الفراغات الواقعة بين أسنانه بالرايش أو المواد الغريبة، أو تعرض قمم أسنان المبرد للكسر، أو التأكسد، لذا يجب استعمال المبارد الجديدة (لأول مرة) في تسوية سطوح المعادن الرخوة نسبياً والسهلة القطع كالألمنيوم والنحاس الأحمر والأصفر والحديد والصلب اللين وفي تشغيل السطوح العريضة الواسعة، أما المبارد القديمة فتستعمل لتشغيل السطوح الضيقة، وفي تسوية سطوح المعادن الصلدة كالصلب وحديد الزهر المقسى، وعند الانتهاء من العمل يراعى تنظيفها من الرايش والمواد الغريبة العالقة بها باستعمال فرشاة سلكية Wire Brush من معدن لين أو قطع من الصفيح، وتغطيتها بطبقة رقيقة من الزيت، وعند التخزين لفترات طويلة تحفظ المبارد في الملح إذا لم يتيسر لفها بالورق المناسب، كما يجب أن لا تكدس المبارد في صناديق أو أوعية من دون ترتيب حتى لا تتعرض أسنانها الدقيقة إلى الكسر.

4-1-4 التأجين (القطع بالأزميل)Chiseling

عملية إزالة طبقات رقيقة من سطوح القطع المعدنية تجري على الساخن أو على البارد باستخدام أداة قطع يدوية تسمى الأجنة (الأزاميل)، عندما يكون استعمال العدد الأخرى مثل المقص غير ممكن، إذ تستعمل الأجنة عادة مع المطرقة اليدوية التي يطرق بواسطتها على نهاية طرفها العريض، فتقوم حافتها القاطعة بإزالة المعدن، ويعتبر التأجين من عمليات التشغيل التي تفتقر إلى الدقة لذلك فإن استعمالها يقتصر على الأعمال التي لا تتطلب الدقة العالية في الانجاز.

يراعى عند استعمال الأجنة تحديد زاوية ميلها على سطح القطعة قيد التشغيل، إذ يتراوح مقدارها ما بين 30^o و 40^o، أما إذا ازدادت على ذلك فإن الأجنة سوف تغرس إلى داخل القطعة فتصعب بذلك عملية القطع، أما الزاوية الصغيرة فإنها تسبب انزلاق عدة القطع على سطح القطعة المراد تشغيلها، كما إنه من الضروري اختيار الأجنة المناسبة لكل عملية خاصة من عمليات القطع، و تصنع الأزاميل من الصلب عالي الكربون بتشكيلها بعملية الحدادة بالمطرقة إلى الشكل المطلوب يليها تشغيل حافة القطع بواسطة عملية البرادة ثم تصلّد الحافة بالمعاملات الحرارية لرفع صلادتها.

أنواع الأزاميل (Types of Chisels) : تتنوع الأزاميل تبعا لطبيعة القطع، الشكل (4-20)، إذ يقوم الأزميل ذو حافة القطع العريضة والمسطحة بقشط طبقات المعدن السطحية وفصل الألواح المعدنية، في حين يستعمل الأزميل ذو الحافة الضيقة لفتح المجاري والقنوات، وتوجد أزاميل برؤوس مستديرة لفتح الشقوق.



الشكل 4-20 : أزاميل متنوعة الاستخدام.

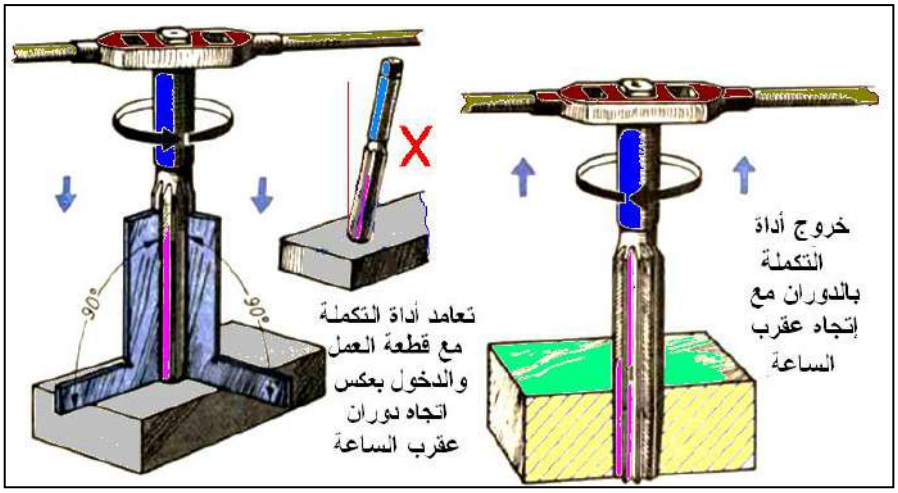
4-1-5 توسيع الثقوب (البرغلة) Reamers

عملية قطع بأداة متعددة الحدود القاطعة لإنجاز التّكملة النهائية لعملية التثقيب بغرض الحصول على الشكل الهندسي ودرجة النعومة الخاصة بسطح الثقب ودقة البعد تماماً، فضلاً عن إمكانية الحصول على عدد كبير من الثقوب بالنوعية والدقة المطلوبة نفسها، وإذا كان التوسيع يدوياً فتستخدم أدوات تكملة وتكون حدود القطع فيها طويلة وسهلة التوجيه تنتهي بطرف ذي مقطع مربع لتركيب ذراع التحريك المناسبة، وتكون الحدود القاطعة مستقيمة أو حلزونية، أو آلياً، فهناك نوع من الرايمر يستخدم آلياً تكون أدواته أقصر وذي نهاية مسطحة لتسهيل الربط مع أعمدة المثاقب والمخارط الكهربائية، وتوجد أدوات تكملة يكون الجزء العامل فيها ذا شكل مخروطي تناسب مثيلاتها من الثقوب، وتجهز البراغل في أطقم من قطعتين أو ثلاث، فالبرغل الأول في الطقم برغل خشن، والثاني انتقالي والثالث ناعم إنجازي، وهذا الأخير هو الذي يعطي الثقب دقة البعدَ النهائي ونعومة السطح اللازمة، وعند البرغلة اليدوية للثقوب يجب أن يتطابق محورا البرغل والثقب بدِقة وبدون أي انحراف، كما يجب إدارته بيسرٍ وبدون دفعات.

تصنف أدوات التكملة بحسب القابلية للضبط فمنها ذات قطر ثابت تستعمل لتكملة ثقوب لحد قطر 30mm، بينما تستعمل أدوات تكملة ذات قطر متغير وتكون حدودها القاطعة قابلة للضبط بحسب القطر المطلوب، الشكل (4-21).

الشكل 4-21 : أدوات تكملة الثقوب ثابتة ومتغيرة القطر.

من قواعد العمل بالبرغل وجوب كون المفتاح اليدوي (ذراع التدوير) مناسباً مع الأداة (لحد قطر 20mm تكون البرغلة اليدوية مناسبة)، ويجب أن يكون البرغل عموديا على المشغولة والضغط على الأداة عند توسيع الثقب (شوط القطع يكون بعكس اتجاه دوران عقارب الساعة) في حين يرفع الضغط اليدوي ويرفع البرغل بالدوران باتجاه عقارب الساعة، مع استعمال التزييت المستمر،الشكل (4-22).



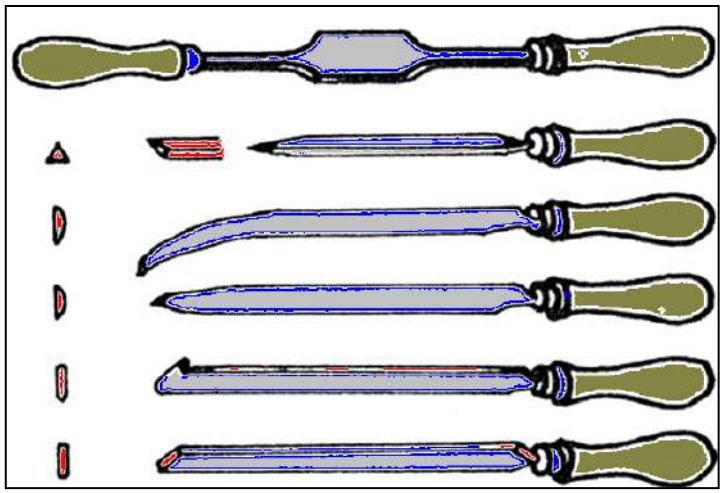
الشكل 4-22 : عملية توسيع الثقوب (البرغلة).

4-1-6 القشط اليدوي (Scraper)

عملية إزالة أو قشط الأجزاء البارزة مثل النتوءات والزوائد التي تؤدي إلى عدم استواء السطح أو استقامته بصورة دقيقة.

والمقشطة اليدوية عبارة عن عدة ذات حافة حادة قاطعة تقوم بإزالة هذه الزوائد لدى ضغطها ودفعها على سطح القطعة المعدنية المراد قطعها، وتجري عملية القشط بتأشير الزوائد الناتئة أولاً، وذلك بإطباق القطعة المراد قطعها على سطح مستوٍ تماما بعد صبغه بزيت أو سائل ذي لون مميز، وعند انطباق السطحين على بعضهما تتلون هذه الزوائد بلون السائل، فتبرز النتوءات إلى العيان فيسهل تحديدها وقشطها، وتختلف المقاشط اليدوية باختلاف الأغراض التي تستعمل من اجلها، أي طبيعة السطوح التي يراد قشطها، وتصنع المقاشط اليدوية عادة من المبارد القديمة أو المستهلكة إذ يتم شحذ الحافة العرضية للمبرد بواسطة ماكينة التجليخ، وقد يصار إلى تصليدها أحيانا بحيث تكتسب صلادة عالية، ومن أهم أنواع المقاشط اليدوية، الشكل (4-23) ما يأتي :-

- المقشطة اليدوية المستوية التي تستعمل لقشط السطوح المستوية.
- المقشطة اليدوية المثلثة الأركان، وتستعمل لتسوية أركان القطع والسطوح المنحنية.
- المقشطة اليدوية ذات الحافة المنحنية التي تستعمل لتسوية السطوح الداخلية.

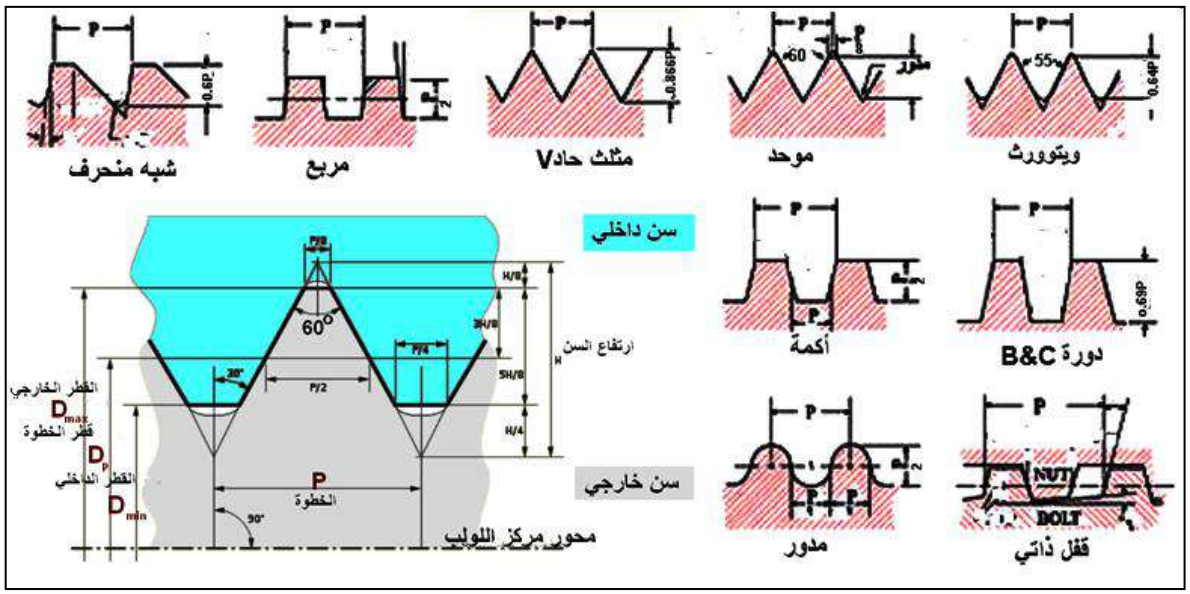


الشكل (4-23) بعض أشكال المقاشط اليدوية الشائعة الاستعمال.

4-1-7 اللولبة (القلوظة) Threading

هي عملية قطع مجرى حلزوني (سن) على السطح الخارجي لجسم اسطواني كالأعمدة المدورة لانجاز البراغي، أو قطع أسنان على السطح الداخلي لثقب اسطواني لانجاز الصواميل، بواسطة مجوعة من العدد اليدوية تقوم بتشغيل قطع العمل الأسطوانية، والجزء الناتج يدعى باللولب، وتقسم اللوالب بحسب استعمالها على نوعين رئيسين هما لوالب التثقيب ولوالب الحركة، تستخدم لوالب النوع الأول لربط ومسك المشغولات مع بعضها، بينما تستخدم لوالب الحركة لتحويل الحركة الدائرية للعمود المقلوظ (البرغي) Bolt إلى حركة خطية للصامولة Net.

توجد العديد من التصميمات للوالب التثقيب منها المصنعة بموجب النظام المتري ISO (زاوية السن 60^o) ولوالب ويتوورث (للأنابيب) (زاوية السن 55^o)، الشكل (4-24)، أما لوالب الحركة فتوجد أنواع عديدة لشكل أسنانها، منها لولب شبه المنحرف، المدور، المربع، والمثلث الذي يمكن انجازه باللولبة اليدوية، والسن المثلث شائع الاستعمال إذ يستخدم لأغراض الربط، وتعرف قياسات اللوالب بمصطلحات متفق عليها مثل الخطوة P والتي تعبر عن المسافة بين نقطتين متناظرتين على سنين متتاليين، أما عمق السن فهو المسافة بين قاع السن ورأسه، لذلك يمكن قياس ثلاثة أقطار هي القطر الخارجي D_{max} والقطر الداخلي D_{min} وقطر الخطوة D_p، ويعبر في النظام المتري عن قياس السن بالحرف M يليه رقم يمثل القطر الخارجي مضروب في رقم يمثل الخطوة بالمليمتر.



الشكل 4-24 : أسنان اللوالب وأنواعها.

تستخدم لقمة اللوالب (Screw Die) لعمل اللوالب الخارجية على السطح الخارجي للأعمدة المدورة أو الأنابيب، بينما يستخدم ذكر اللولبة (Tap Die) لعمل اللوالب الداخلية في الثقوب.

قطع اللوالب الخارجية : تقطع اللوالب على الأعمدة يدوياً باستخدام لقم اللولبة، الشكل (4-25)، حتى قطر M16 ويجب أن يكون قطر العمود أصغر من قطر اللولب المطلوب D_{max} بحدود 1/5 P (خُمس خطوة اللولب) وذلك لكون عملية القطع تولد ضغطاً على جزيئات المعدن باتجاه قمة السن ينتج عنها قطر أكبر للّولب وبالتالي الحصول على القطر القياسي المطلوب.

إذا كان اللولب المطلوب ذا قياس M12x1.75 فأن قطر العمود (قطعة العمل) يجب أن يكون:-

$$12 - 1.75 / 5 = 11.65mm$$

الشكل 4-25 : عدة قطع اللوالب الخارجية.

قطع اللوالب الداخلية : تقطع اللوالب على أسطح الثقوب الداخلية يدوياً باستخدام ذكر اللولبة، الشكل (4-26)، ويجب أن يكون قطر الثقب أكبر من القطر الداخلي للسن المطلوب D_{min} بحدود طول الخطوة P، وذلك لكون عملية القطع تولد ضغطاً على جزيئات المعدن من قبل ذكر اللولب باتجاه قمة السن يصعب إزالتها، وينشأ عنها حشر لعدة القطع، فالقطر الكبير سوف يصحح قياسه وينتج القياس المطلوب.

الشكل 4-26 : عدة قطع اللوالب الداخلية.

تتوافر عدة اللولبة بشكل طقم ولمدى محدد للقياس، الشكل (4-27)، ويتكون فيها كل قياس من ثلاث قطع متدرجة في القياس (أولي، متوسط، انجازي)، إذ تعرف بعلامات على شكل حلقات مثبتة على ساق ذكر اللولبة، وذلك لتسهيل عملية القطع ولعدة مراحل.

الشكل 4-27 : طقم عدة قطع اللوالب.

عند العمل باللولبة اليدوية يراعى التعامد بين عدة القطع ومحور المشغولة، الشكل (4-28)، مع إدارة العدة في الاتجاه المعاكس بين الحين والآخر وذلك لكي يصل سائل التزييت (المستخدم أثناء كل عملية قطع) إلى مواضع القطع ليسهل تكسر وخروج الرايش، وتختبر زاوية وخطوة أسنان اللوالب بواسطة طبعات القياس بحيث لا يظهر شق ضوئي بين الأسطح.

الشكل 4-28 : تعامد العدة مع المشغولة.

2-4 عمليات التشغيل الآلي (Machining)

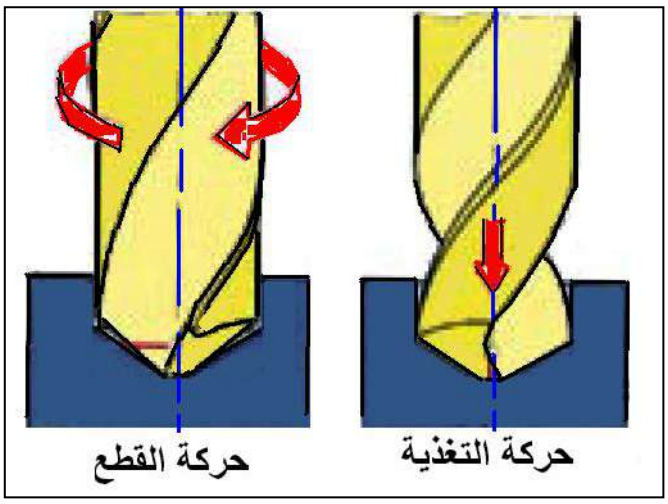
تعتبر عملية التشغيل جزءاً من عمليات تصنيع معظم المنتجات المعدنية إذ تتضمن مجموعة من العمليات التي تقوم بها ماكينات التشغيل لتصنيع المشغولات المعدنية، باستخدام آلات قطع حادة تتحرك ميكانيكيًا للحصول على الشكل الهندسي المطلوب، كمثل التثقيب، الخراطة، التفريز، والتجليخ، فعملية التثقيب تتم بعمل ثقوب أو صقلها وذلك بتدوير أداة القطع المزودة بحواف قاطعة في رأسها بحيث تفتح طريقها داخل المشغولة، وتتم باستخدام ماكينة تدعى المثقب، ولكن يمكن أن تتم على المخرطة وماكينة التفريز، أما عملية الخراطة فتتم بتدوير المشغولة وقطعها بقلم القطع الثابت كطريقة أولية لقطع المعدن،

وتعتبر المخرطة الآلة الأساسية للتشغيل بهذه الطريقة، فضلاً عن عملية التفريز التي تتم بتثبيت المشغولة وتدوير أداة القطع وتقريبها من المشغولة لتشق طريقه فيها، عمليات متنوعة يمكن أن تتم على وجه الدقة بدون إزالة الرايش من المشغولة، ولكن هذه العمليات تتم باستخدام آلات تشغيل نوعية وتعتبر عملية الصقلPolishing مثال عن تلك العمليات.

1-2-4 التثقيب (Drilling)

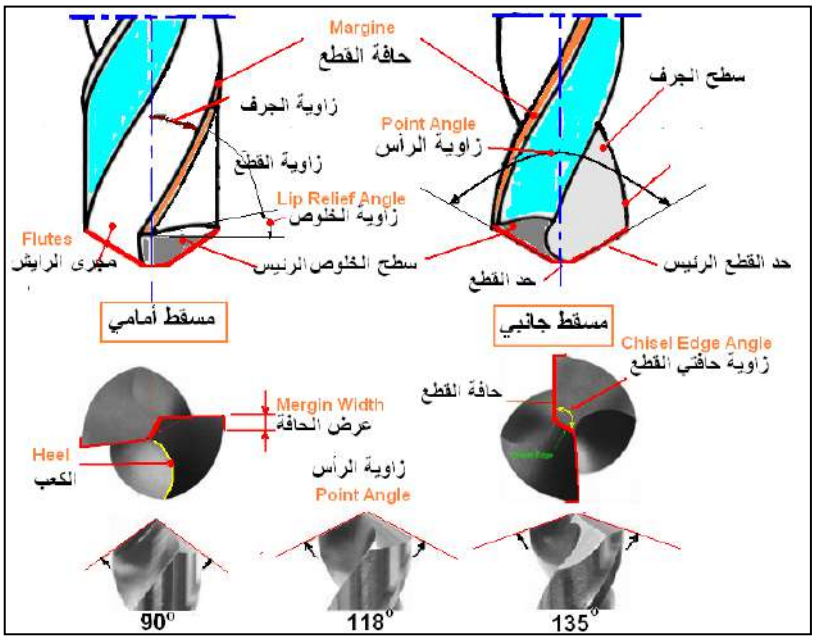
احدي عمليات القطع التي تستخدم للحصول علي الثقوب في المنتج، غالباً ما تتم هذه العملية بواسطة ماكينة ثقب مصممة خصيصاً لهذا الغرض، ومزودة بمثقاب مختلفة أنواعه لعمل ثقوب مختلفة في المشغولات، تتحكم في تلك العملية عدة عوامل منها؛ قطر الثقب، عدد الثقوب، زمن إنجاز عملية الثقب، سرعة القطع، وغيرها.

تتحرك أداة القطع في هذه العملية حركتين رئيستين، حركة دائرية (حركة القطع) وحركة محورية (حركة التغذية) وتبقى المشغولة ثابتة أثناء عملية القطع، الشكل (4-29)، وحركة القطع تتم بواسطة نقل الحركة من المحرك إلى المحور الحامل لأداة القطع باستخدام آليات متنوعة كالأحزمة (السيورBelts) أو الفواصل الاحتكاكية (Clutches) أو التروس (Gears) وبواسطة تدوير الذراع يمكن تحريك المحور حركة عمودية (للأعلى وللأسفل) وهي حركة التغذية، أما المنضدة والتي تثبت المشغولة عليها فيمكن تحريكها عموديا (للأعلى وللأسفل) على عمود المثقب المثبت على القاعدة بواسطة عتلة التحكم بالارتفاع، وذلك لضبط البعد بين أداة القطع والمشغولة.



الشكل 4-29 : حركات عملية التثقيب.

المثقاب الحلزوني (البريمة) Drill bit: أداة القطع المستخدمة في عمليات التثقيب تحتوي على مجريين حلزونيين متقابلين لتسهل خروج الرايش ويلتقي حداهما القاطعان الرئيسان بزاوية الرأس (Point Angle) تختلف قيمتها بحسب نوع المعدن المقطوع، وتكون في المثقاب عدة زوايا كزاوية الجرف تكون كبيرة للمواد اللينة وصغيرة للمواد الصلدة، بينما يمكن تحديد زاوية الرأس بعملية التجليخ، الشكل (4-30).



الشكل 4-30 : زوايا المثقاب الحلزوني (البريمة).

عملية الثقب : تثبت أداة الثقب في عمود الماكينة بشكل مباشر إذ يحتوي العمود على تجويف مخروطي يصلح للبريمة ذات الساق المسلوب (ألأحجام الكبيرة) أو من خلال ظرف فكوك التثبيت (ثلاثي) يسمح بتركيب أحجام وقياسات مختلفة، يضبط بمفتاح ضبط ليمنع المثقاب من الدوران داخل الظرف ويستوعب الظرف مقاسات متعددة لأقطار مثقاب مختلفة.

يؤشر مركز الثقب المطلوب بواسطة بنطة شنكرة الثقوب (كما مر سابقاً) ومن المهم أن تثبت قطعة العمل لمنعها من الدوران أثناء عملية الثقب، ويفضل وضع قطعة من الخشب تحت قطعة العمل لتجنب اصطدام المثقب في منضدة التثبيت، إذ يكفي مسك القطع الطويلة باليد بينما تثبت القطع الصغيرة بواسطة ملزمة أو فكوك متحركة أما القطع الاسطوانية فتثبت بواسطة أسطح الإسناد المناسبة، وتتم التغذية بعملية الثقب تدريجياً بعد اختيار سرعة القطع المناسبة مع استعمال سوائل التبريد أو الزيوت، ويراعى استعمال أقطار متدرجة للمثقاب عندما يكون قطر الثقب كبيراً.

ماكينات التثقيب بالضغط (Drills Press Machines): تتنوع ماكينات آلات التثقيب بحسب الحجم والتصميم وطريقة العمل كالمثقب اليدوي الكهربائي (Electric Hand Drill) الشائع الاستعمال في الورش ويتميز بسهولة التشغيل والنقل يدوياً في مكان العمل دون نقل المشغولة، ويستخدم لعمل الثقوب الصغيرة والتي لا تحتاج إلى دقة عالية كأعمال الثقب للقطع الكبيرة التي لا يمكن تركيبها على منضدة المثقب، الشكل (4-31).

الشكل 4-31 : المثقب اليدوي الكهربائي.

أما النوع الثابت فيتدرج بالحجم من النوع المنضدي؛ والذي يمكن أن يثبت على طاولة العمل، إذ تدار أداة القطع بواسطة محرك كهربائي مثبت عليه بكرتان كل منهما متدرجة الأقطار ترتبطان بواسطة سير ناقل، عند نقله بين البكرات يتم الحصول على سرعات مختلفة، أما حركة التغذية فتتم باليد عن طريق ذراع (عتلة) بتحريكه إلى أسفل او إلى أعلى، ويوجد النوع العمودي وهو أكثر الأنواع شيوعاً واستخداماً في ورش العمل إذ لا يختلف عن المثاقب المنضدية إلاّ في كون العمود الذي تثبت علية أجزاء المثقب طويلاً، ويثبت في قاعدة المثقاب التي تثبت على الأرض، الشكل (4-32).

الشكل 4-32 : أجزاء المثقب العمودي.

أما المثاقب العمودية التي تدار بواسطة التروس فتتميز عن سابقتها كونها تحتوي على صندوق تروس تعشيق وليس سيوراً للحصول على سرعات مختلفة ذات مدى واسع، وتتم حركة التغذية أما يدويا عن طريق الذراع او آلياً بواسطة تروس التغذية، ولا يتم إيقاف المثقب عن العمل لغرض تغير السرعة بل وهو يعمل؛ وذلك لوجود الفواصل الاحتكاكية وهو أفضل من المثقب اليدوي والمنضدي، ويوجد في الورش الإنتاجية الكبيرة أنواع أخرى مثل المثقاب القطري الذي يتصف بإمكانية تحريك مواقع أداة الثقب (البريمة) في الاتجاهات الثلاثة، الشكل (4-33)، إذ يستخدم للمشغولات الكبيرة متعددة الثقوب، ويتكون المثقب من قاعدة كبيرة مثبت عليها عمود اسطواني يحمل الذراع الذي تنزلق عليه العربة والتي تحمل صندوق تغيير سرعات، وتأخذ حركة القطع من محرك كهربائي وتنقلها عبر صندوق السرعات وصندوق التحكم في التغذية الأوتوماتيكية إلى عمود الدوران (حامل البريمة)، ويمكن للذراع ان يتحرك إلى أعلى أو إلى أسفل بواسطة عمود مسنن يتحرك بواسطة محرك كهربائي فضلاً عن حركته بزاوية حول العمود إلى أي موضع فوق فرش الماكينة، ويمكن ضبط رأس المثقاب في الاتجاه القطري على طول الذراع، وتسمح وسائل الضبط هذه للعامل بتثبيت المثقب بسرعة على أي نقطة على المشغولة.

الشكل 4-33 : مثقب متعدد السرعات بواسطة صندوق تروس ومثقب قطري.

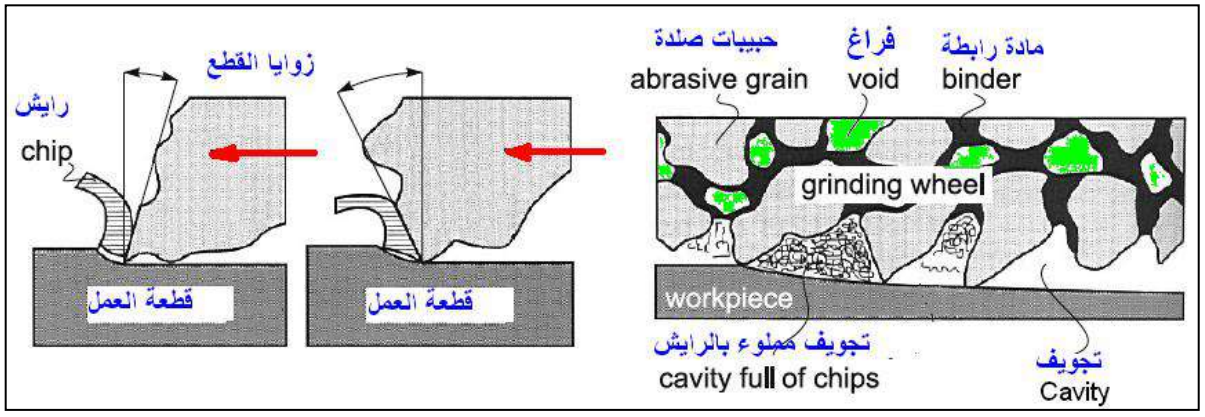
4-2-2 التجليخ (Grinding)

تعد ماكينة التجليخ (A grinding Machine) من المعدات الآلية التي تستعمل عجلة صلبة Abrasive Wheel (حجر الجلخ) كأداة قطع، كلّ جزء من مادة العجلة تزيل رقاقة صغيرة من قطعة العمل عن طريق قوة القص (Shear Force) بسرعة دائرية (سرعة القطع)، ويتم القطع بحركة المشغولة على أداة القطع، أو تثبيت المشغولة وتحريك أداة القطع، ويتكون حجر التجليخ من حبيبات صلدة صغيرة نسبياً مثل أوكسيد الألمنيوم، كاربيد السليكون، ثالث نتريد البورون CBN، الماس

الطبيعي أو الاصطناعي، ترتبط مع بعضها بواسطة مادة رابطة ولاصقة وتكبس بطرق صناعية، الشكل (4-34).

الشكل 4-34 : بعض أنواع أحجار التجليخ.

إنّ حجم حبيبات حجر التجليخ من العوامل المهمة في طبيعة السطوح المشغولة والإنهاء السطحي، إذ تنتج الحبيبات ذات الحجم الصغير نهايات أفضل بإزالتها شرائح من الرايش بحجم صغير والعكس بالعكس، وتحمل مادّة الالتصاق الحبيبات لتكون الشكل والهيكل النهائي، وتتضمّن مواصفاتها القوّة، الصلابة، القساوة، ومقاومة درجة الحرارة، وقد تكون زجاجية التركيب (خزفية) فتكون صلبة ومقاومة للحرارة والسوائل، أو من مادة مطاطية تكون مرنة، أو متكون من مادة الراتنج (Resin) أو الشلك (Shellac) وتستعمل مواد رابطة معدنية لحبيبات الماس الصناعي وفي محيط الحجر فقط إذ تستعمل لبعض التطبيقات ذات الإنهاء عالي الدقة، ويبين الشكل (4-35) التركيب الداخلي لحجر التجليخ وطريقة عمله.



الشكل 4-35 : مكونات حجر التجليخ وطريقة إزالة الرايش.

آلة التجليخ تزيل طبقات عن المشغولة عن طريق الاحتكاك، الأمر الذي يؤدي إلى إرتفاع كبير في درجة الحرارة، مما يوجب وجود سائل تبريد ليقوم بتبريد المشغولة حتى لا يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى تغيير صفات المعدن، أو إلى تأكسد أو احتراق المشغولة أو الآلة، ومن الممكن أن يكون التجليخ يدوياً باستعمال ماكينة منضدية (Table Grinding Machine) تثبت على منضدة العمل، أو عمودية بارتفاع مناسب (Bench Grinding Machine) لها قاعدة معدنية مثبتة في الأرض، الشكل

(4-36)، وتزود هذه الآلات بمحرك كهربائي يدير زوج من عجلات التجليخ المستوية، وتستخدم للأعمال التي تتطلب تجهيزاً أولياً أو شحذاً (Honing) لعدة القطع مثل أقلام الخراطة أو المثقاب الحلزوني، ويجب أن يكون مسند المشغولة أقرب ما يكون من حجر التجليخ لتحاشي انقلاب المشغولة أو حشرها بين الحجر والمسند، أحياناً تستخدم ماكينة التجليخ اليدوي (Angle Grinder) لإزالة طبقات من المعدن غير مرغوب فيها بعملية التجليخ لتتبعها عمليات تشغيل لاحقة، وأحيانا تستعمل لقطع وفصل المشغولات قليلة السمك أو إزالة النتوءات الناشئة عن ألصب أو عمليات اللحام.

الشكل 4-36 : ماكينات تجليخ منضدية ويدوية.

غالباً ما تنجز أعمال التجليخ في الإنهاء السطحي الدقيق (Super Finishing) على السطوح الاسطوانية والمستوية بواسطة ماكينات التجليخ المتنوعة التصاميم، الشكل (4-37)، فعند تجليخ السطوح الاسطوانية تتحرك أداة القطع حركة دائرية (حركة القطع)، أما المشغولة فتتحرك حركة دائرية وحركة مستقيمة متقطعة (حركة التغذية).

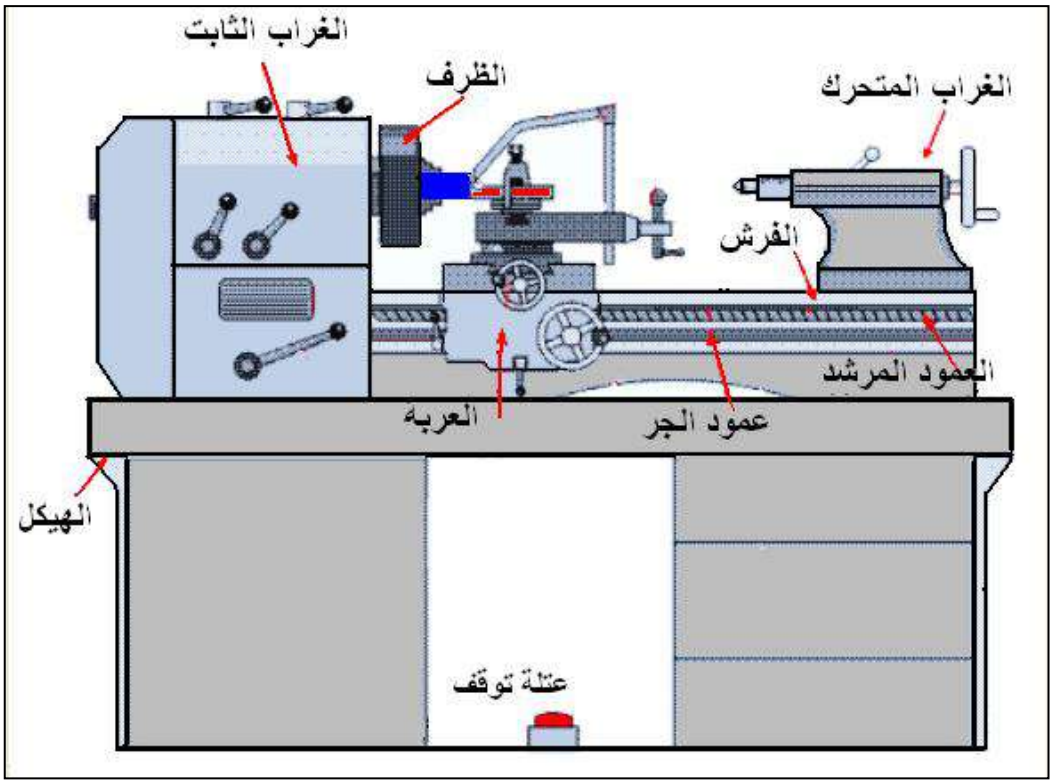
أما عند تجليخ السطوح المستوية فتتحرك أداة القطع حركة دائرية (حركة القطع) وحركة متقطعة مستقيمة موازية لمستوى المشغولة (حركة التغذية) إذ تتركب حركة المشغولة في هذا النوع من التجليخ من المشوار العامل الذي يتم فيه القطع والمشوار العاطل، علما ان الحصول على نعومة تشغيل عالية للسطوح تتطلب سرعة عالية لعجلة (حجر) التجليخ ومقدار للتغذية (عمق قطع) قليل.

الشكل 4-37 : بعض أنواع ماكينات تجليخ السطوح مختلفة الأحجام والاستعمالات.

3-2-4 الخراطة (Turning)

تعد الخراطة عملية تشغيل صناعية أساسية لقطع المعادن واللدائن والخشب باستعمال آلات تشغيل متخصصة في إنتاج المشغولات الدائرية المقطع أو الأسطوانية والمخروطية وعلى السطح الخارجي أو الداخلي للمشغولة كالأعمدة واللوالب والثقوب، إذ تستخدم المخرطة المركزية (العامة) Central Lathe وبتصاميم متنوعة في خراطة المعادن الحديدية بواسطة عدة قطع تسمى أقلام الخراطة، بالاعتماد على قدرة المحرك الكهربائي ومجموعة نقل الحركة، التي تسمح بعمليات القطع المتنوعة لغرض تصنيع الأجزاء المطلوبة.

تدار المشغولة بحركة دائرية حول محورها (حركة القطع الرئيسة) فيما يتم تغذية أداة القطع ببطء في خط موازٍ لمحور دوران المشغولة (سرعة التغذية) فينج سطح اسطواني قائم، ويوضح الشكل (4-38) الأجزاء الرئيسة للمخرطة المركزية وكما يأتي:-



الشكل 4-38 : الأجزاء الرئيسة للمخرطة المركزية.

1. **الفرش (Lathe Bed):** يقوم بحمل كل الأجزاء الثابتة والمتحركة، ويشكل السطح العلوي للفرش دليل انزلاق العربة والغراب المتحرك إذ يصنع من حديد الزهر ليتحمل الإجهاد المتولد أثناء عملية القطع.
2. **الغراب الثابت (Headstock):** يحتوي على عمود الدوران Spindle الذي تنتقل له الحركة من المحرك الكهربائي عن طريق السيور ومجموعة من فواصل الحركة، وفي طرفه الآخر يثبت الظرف، ويتم تغيير السرعات عبر عتلات صندوق التروس، إذ يتم تغيير السرعات أثناء توقف الماكينة حتماً، وتنقل الحركة إلى صندوق تروس التغذية الذي يسمح باختيار معدلات التغذية للخراطة العادية عبر عمود الجر أو تشغيل اللوالب عبر العمود المرشد.
3. **الغراب المتحرك (Tail Stock):** يركب على الفرش من الجهة اليمنى، قابل للانزلاق، يستعمل لإسناد المشغولات الطويلة لتجنب انحناءها أثناء ضغط أداة القطع، كما ويستخدم لعمل الثقوب في مركز المشغولة باستخدام مثقاب بدلاً من مرتكز الإسناد (الذنب).
4. **العربة (Saddle) والراسمة (Slide):** تستخدمان لتثبيت أداة القطع وتوفير حركة التغذية، أما الراسمة العرضية (السفلى) Cross Slide فتستخدم لتوفير عمق القطع وعمليات قطع الوجه والفصل.

5. **ظرف التثبيت (Chuck):** يستخدم لتثبيت وإدارة المشغولة، ويكون على عدة أنواع وأشكال ليناسب حجم ونوع المشغولات، يحتوي على فكوك تتحرك مركزيا نحو المشغولة.
6. **أعمدة الحركة :** يستخدم عمود الجر (Feed Shaft) لتحريك العربة آلياً، بينما يستخدم عمود المرشد (Lead Shaft) لحركة العربة آلياً عند قطع اللولب.

السرعات المستخدمة في الخراطة :

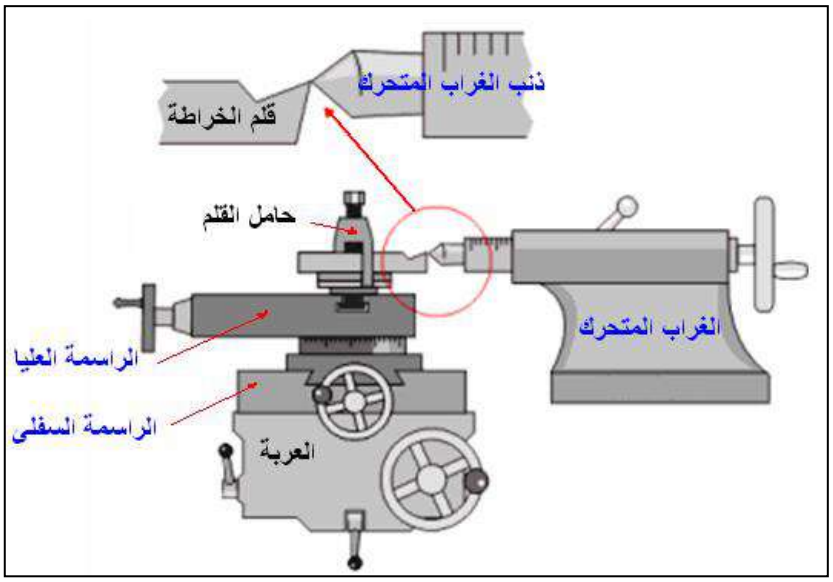
سرعة الدوران (Rotation Speed): عدد دورات قطعة العمل خلال وحدة الزمن وتقاس بوحدات الدورة بالدقيقة (r.p.m)، تضبط بواسطة صندوق السرعات في الغراب الثابت على أساس نوع معدن المشغولة ومعدن أداة القطع، فضلاً عن قطر المشغولة.

سرعة القطع (Cutting Speed): المسافة التي تقطعها نقطة على محيط قطعة العمل خلال وحدة الزمن، وتقاس بوحدات المتر بالدقيقة (m/min).

سرعة التغذية (Feed Speed): المسافة التي يقطعها الحد القاطع لأداة القطع باتجاه حركة التغذية خلال وحدة الزمن وتقاس بوحدات المليمتر بالدقيقة (mm/min)، وتعني التغذية مقدار المسافة الخطية للحد القاطع في كل دورة للمشغولة، وهناك اتجاهان للتغذية الأول بموازاة محور المشغولة عند التغذية الطولية والثاني عمودياً على محور المشغولة عند التغذية العرضية.

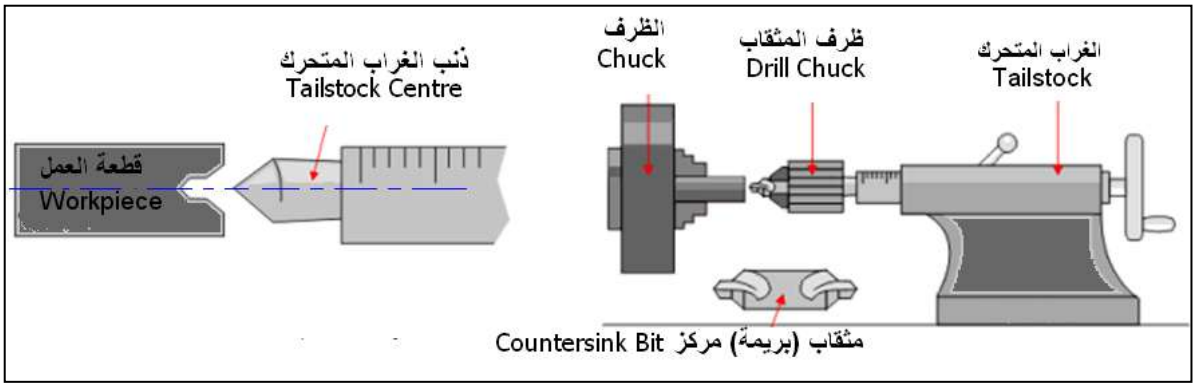
عمليات الخراطة الأساسية: تنجز العديد من العمليات على المخرطة أهمها العمليات الأساسية التي غالبا ما تستخدم لتصنيع المشغولات المعقدة والبسيطة ومنها ما يأتي:-

تمركز أداة القطع : قبل الشروع في أي عملية خراطة ولتجنب الاهتزاز أثناء عملية الخراطة، من الواجب ضبط مستوى ارتفاع الحد القاطع لقلم الخراطة مع مركز الدوران للمشغولة عن طريق ذنب الغراب المتحرك، الشكل (4-39).



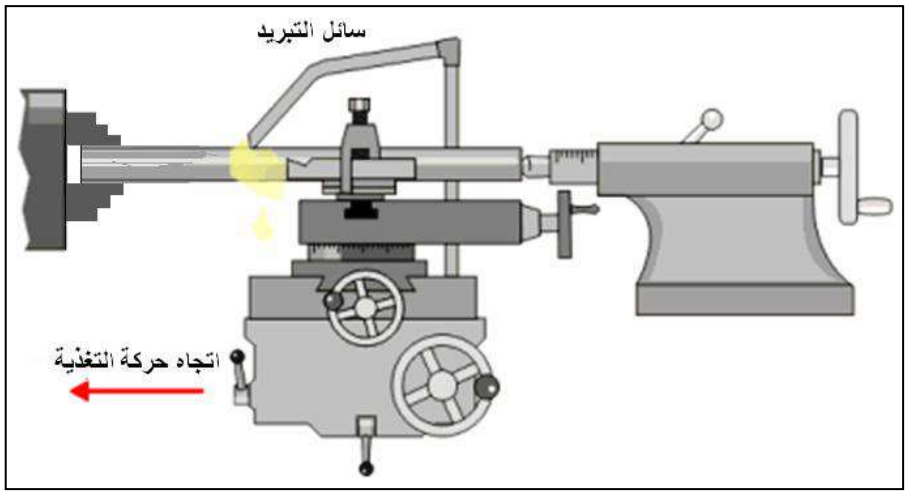
الشكل 4-39 : تمركز قلم الخراطة.

الثقب (Drilling) : تثقب المشغولات الطويلة ثقباً مركزياً لغرض إسنادها ومنعها من الاهتزاز أثناء عمليات الخراطة، بواسطة مثقاب (بريمة) المركز Countersink Bit وكذلك لغرض التهيئة لعمل ثقوب داخلية أو توسيعها، إذ تكون زاوية رأس مثقاب المركز 60^{o} للمشغولات الصغيرة و 90^{o} للمشغولات الكبيرة، إذ تثبت البريمة في فكوك التثبيت الخاصة بها وتوضع في عمود الغراب المتحرك بدلا من ذنب الإسناد، الشكل (4-40).



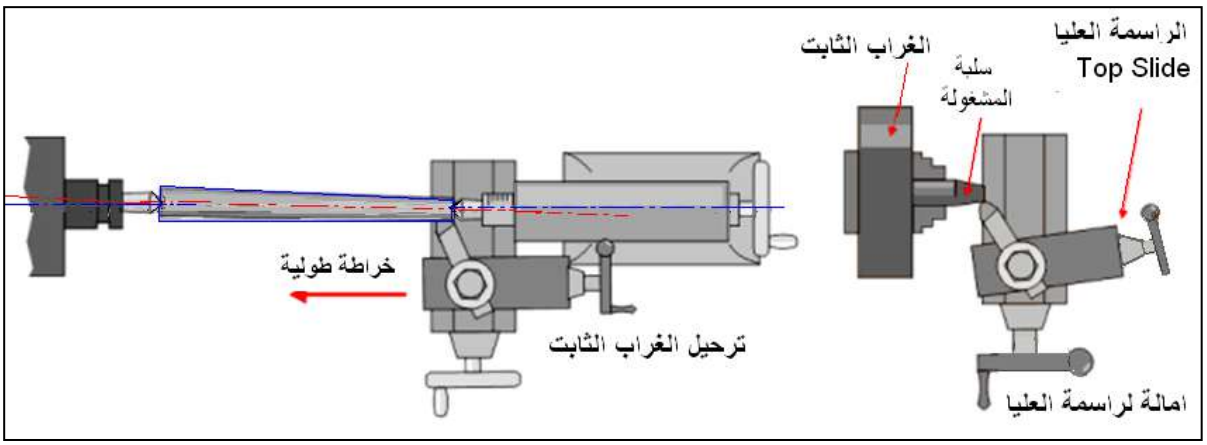
الشكل 4-40 : طريقة عمل مركز إسناد للمشغولات.

الخراطة الطولية (المستقيمة) Straight Turning: ابسط انواع الخراطة إذ تتم بخراطة مستقيمة على السطح الخارجي للمشغولة أو على السطح الداخلي للثقوب لغرض تنعيمها أو توسيعها، الشكل (4-41)، وتتحرك أداة القطع بفعل حركة العربة يدوياً، أو آلياً بواسطة عمود الجر بعد تحديد سرعة وعمق القطع.



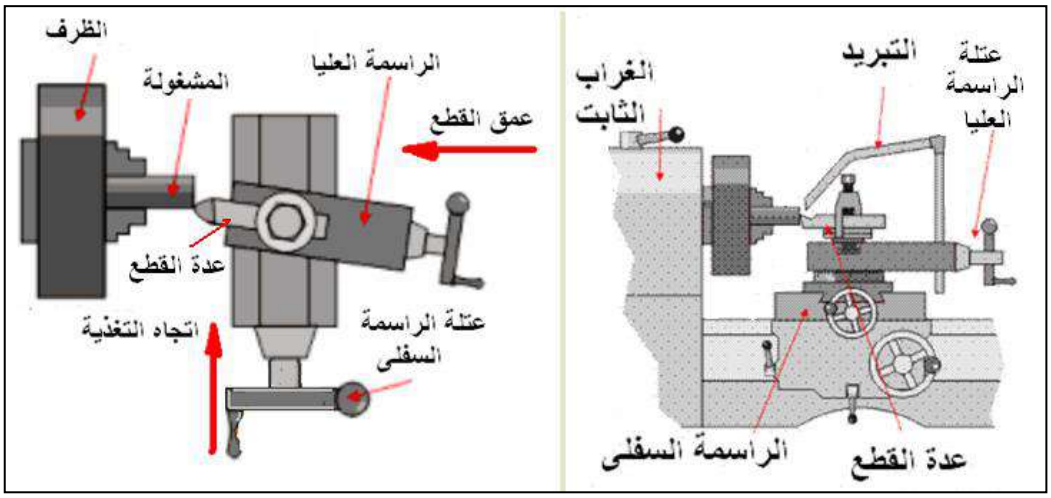
الشكل (4-41) : الخراطة الطولية.

الخراطة المخروطية (السلبات) Taper Turning: تنجز السطوح المخروطية الخارجية والداخلية بتحريك قلم الخراطة باتجاه مائل بزاوية على محور المشغولة ويحدد طريقة العمل طول الجزء المخروطي أو مقدار زاوية السلبة المطلوب انجازها، إذ تستخدم طريقة إمالة الراسمة العليا لانجاز السلبات القصيرة، وطريقة إمالة (ترحيل) الغراب الثابت للسلبات الطويلة، الشكل (4-42).



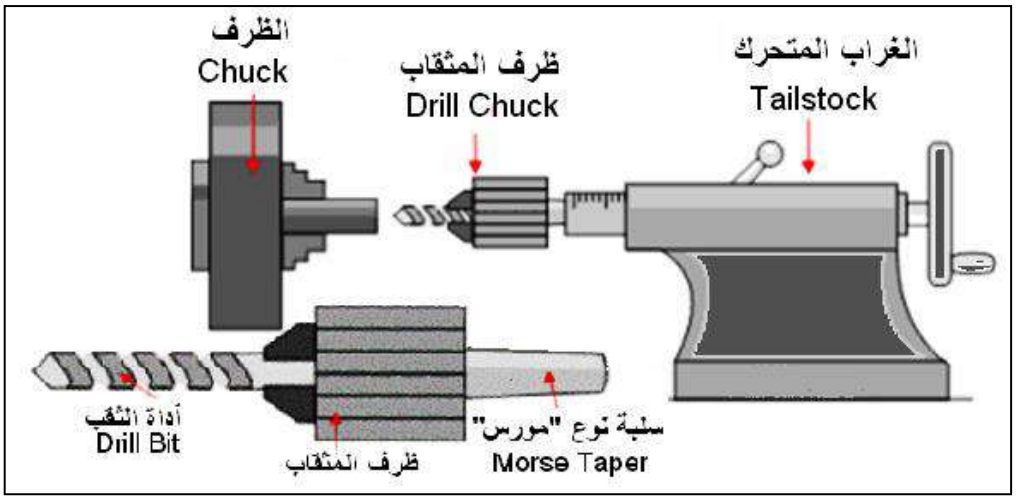
الشكل 4-42 : خراطة السلبات القصيرة والطويلة.

الخراطة الوجهية (العرضية) Facing Off : تستخدم لإنتاج سطح مستوٍ عند طرف المشغولة، الشكل (4-43)، إذ يضبط قلم الخراطة على عمق القطع بالاتجاه الطولي للمشغولة، وبالطريقة نفسها يمكن إجراء عملية قطع أو فصل لأجزاء من طول المشغولة.



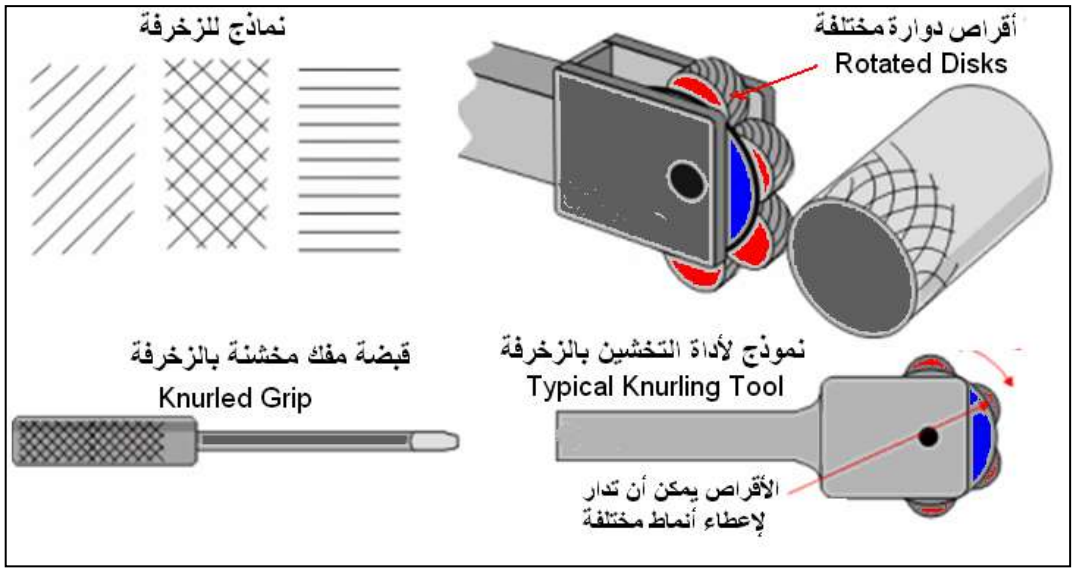
الشكل 4-43 : خراطة الوجه.

الثقب (التجويف) Boring : ينجز الثقب على المخرطة باستبدال ذنب الإسناد في الغراب الثابت بمثقاب (بريمة) إذ تتحرك المشغولة حركة دائرية بينما تكون البريمة ثابتة تتحرك خطياً بالاتجاه الطولي (باتجاه التغذية) بواسطة عجلة تدوير الغراب المتحرك لتحقيق عمق القطع المطلوب، الشكل (4-44)، ويجب أن تكون بداية الثقب بواسطة مثقاب المركز (كما مر سابقاً)، وعندما يكون قطر الثقب كبيراً يراعى انجازه على مراحل بتدرج أقطار المثقاب الحلزوني (البريمة).



الشكل 4-44 الثقب والتجويف بالخراطة.

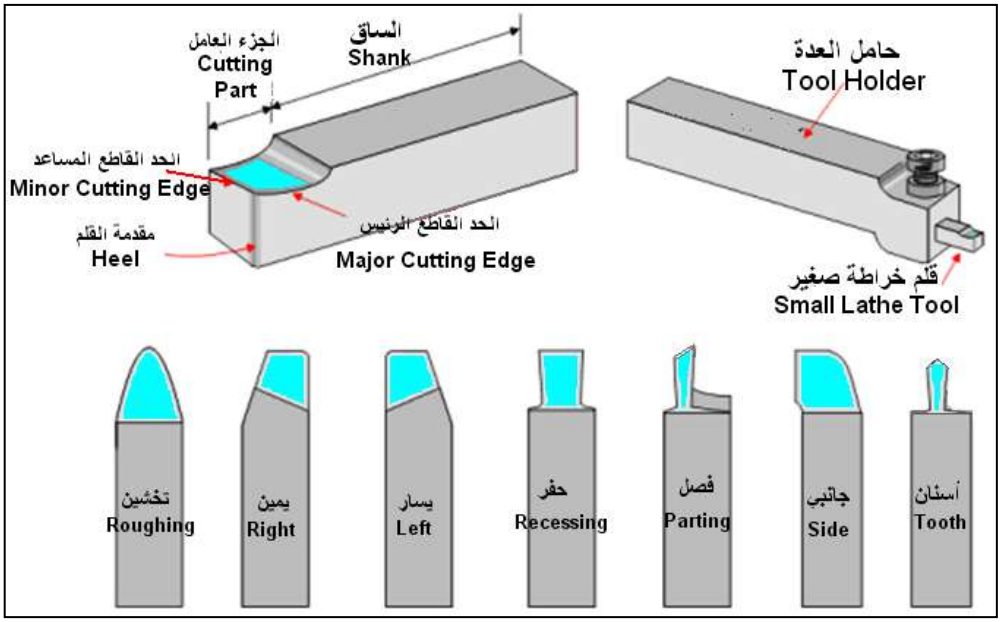
الزخرفة (Knurling): عملية تحزيز للسطوح الاسطوانية لغرض تسهيل مسكها وتحريكها يدوياً حركة دائرية، فضلاً عن إكسابها مظهراً جميلاً، الشكل (4-45)، باستخدام عدد وأدوات خاصة على هيئة أقراص مسننة تثبت بدلاً عن قلم الخراطة، وتكون على أنواع مختلفة تعطي حزوزاً بأشكال منتظمة عديدة.



الشكل 4-45 : عملية زخرفة السطح الخارجي للمشغولات الاسطوانية.

اللولبة (التسنين) Threading : تستخدم لإنتاج لوالب خارجية أو داخلية على سطح المشغولة وبأشكال لسن اللولب يحددها شكل قلم الخراطة، إذ تحدد الحركة الآلية بموجب قوانين رياضية (أو منحنيات مثبتة بلوحة على هيكل الماكينة) لاختيار سرعة القطع وسرعة التغذية بتحريك مجموعة عتلات اختيار السرعة، وتقاد حركة العربة بواسطة العمود المرشد.

قلم الخراطة : يستخدم في عمليات التشغيل على المخرطة أدوات قطع (أقلام خراطة) تصنع بأنواع وأشكال عديدة، اعتماداً على نوع معدن قطعة العمل وظروف التشغيل، كسرعة القطع والتغذية وعمق القطع، ويبين الشكل (4-46) قلم الخراطة والأنواع المناسبة لكل عملية تشكيل.



الشكل 4-46 : أقلام الخراطة.

توجد أنواع عديدة من ماكينات الخراطة بأحجام وأشكال مختلفة تشترك مع بعضها بمبدأ عمل المخرطة العامة كمثل المخارط البرجية (الرأسية) والمخارط التي تعمل بالحاسوب CNC (Computer Numerical Controlled)، فضلا عن الماكينات الجامعة بين مختلف عمليات التشغيل كالخراطة والتفريز والتثقيب، الشكل (4-47)، وسيتعرف الطالب في المراحل الدراسية القادمة بشكل تفصيلي عن عمل تلك الماكينات، وكل ما يتعلق بماكينة الخراطة لكونها من أساسيات تخصصه الدقيق.

الشكل 4-47 : بعض أنواع ماكينات الخراطة.

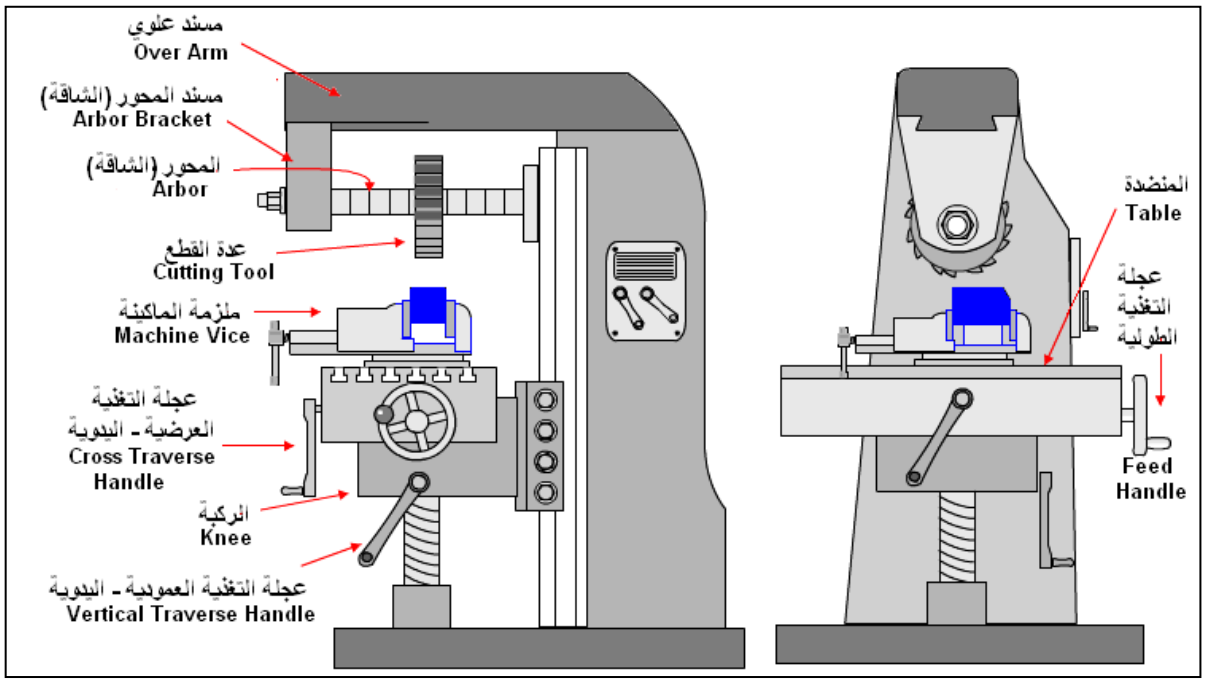
4-2-4 التفريز (Milling)

عمليات تشغيل السطوح المستوية وقطع المجارى والثقوب بأنواعها المختلفة بواسطة ماكينة التفريز (Milling Machine) والتي تعد من الماكينات المهمة في الصناعة للقيام بعمليات التشغيل المختلفة، إذ تنجز عملية القطع بحركة دائرية لأداة القطع (سكينة التفريز) حول محورها المركزي، وتحتوي على عدد من الحدود القاطعة التي تتوالى على معدن المشغولة لانجاز العملية، ويمثل دوران سكين التفريز (العدة) حركة القطع الرئيسة، في حين تكون حركة التغذية بتحريك المشغولة باتجاه مماس ومقابل لحركة آسنان عدة التفريز، لغرض تسوية الأسطح بدقة عالية أو لقطع أسنان التروس باستخدام معدات ملحقة بالماكينة (رأس التقسيم).

تقسم ماكينات التفريز إلى ثلاثة أنواع رئيسة وكما يأتي:-

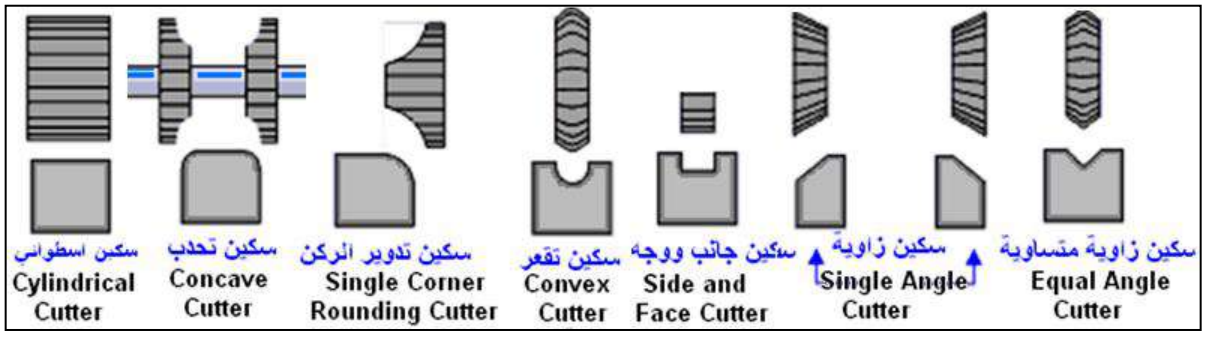
1. ماكينة التفريز الأفقية (Horizontal Milling Machine)

يعد هذا النوع من أكثر ماكينات التفريز استعمالاً، لمتانتها وثبوتها أثناء التشغيل، إذ تكون سكاكين القطع المستعملة ذات شكل اسطواني وجانبي، الشكل (4-48)، إذ يدور عمود الدوران المثبت في السكين حول محور أفقي، وتنتقل الحركة الدائرية له من المحرك الكهربائي عن طريق صندوق السرعات، بينما تتحرك المنضدة بثلاثة اتجاهات (يدوياً أو آلياً)؛ إلى الأمام والخلف، إلى الجانبين الأيمن والأيسر، وإلى الأعلى والأسفل، تستعمل تلك الماكينة عوضا عن الماكينة العمودية في حالة وجود طبقة سميكة من المعدن مطلوب إزالتها وبدقة تشغيل أقل نسبياً.



الشكل 4-48 : ماكينة التفريز الأفقي.

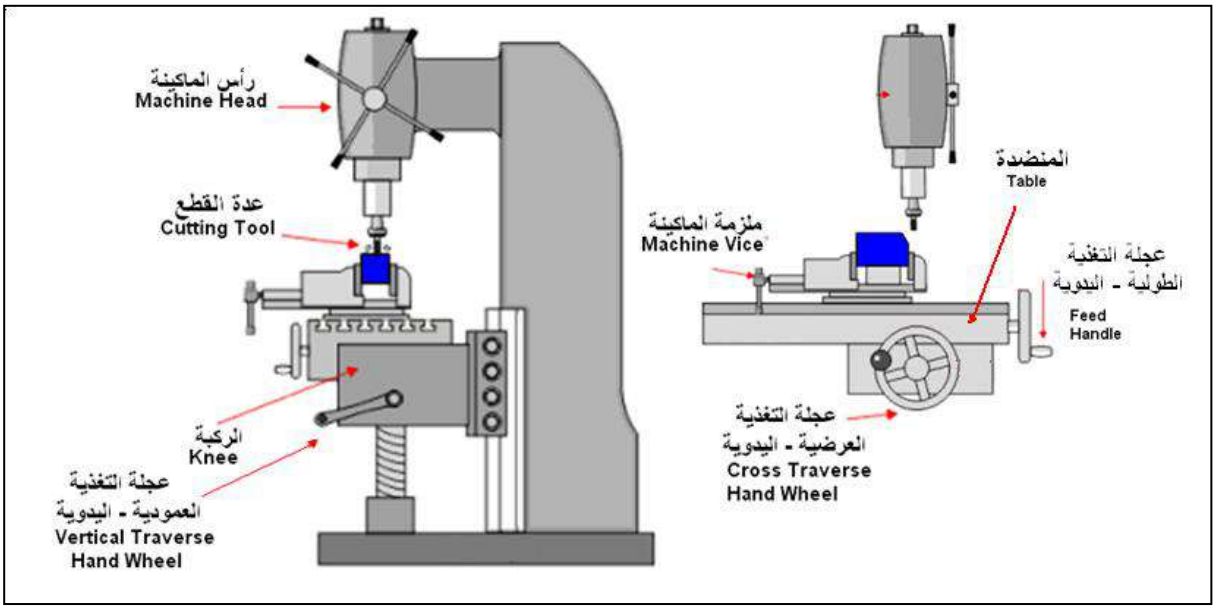
وتستعمل أشكال عديدة ومختلفة من عدد القطع (سكين التفريز) وكما مبين في الشكل (4-49).



الشكل 4-49 : سكاكين التفريز الأفقي.

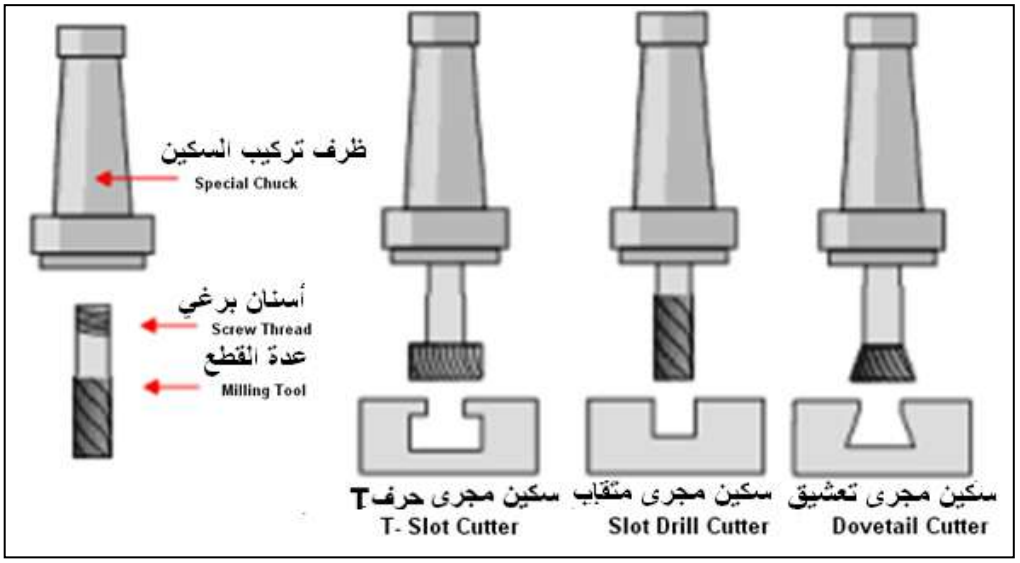
2. ماكينة التفريز العمودية (الرأسية) Vertical Milling Machine

لا تختلف هذه الماكينة عن ماكينة التفريز الأفقية الا بموضع عمود الدوران والذي يكون عمودياً وتنتقل اليه الحركة من المحرك الكهربائي بواسطة مجموعة نقل الحركة، الشكل (4-50)، وتدور سكين التفريز حول محورها العمودي.



الشكل 4-50 : ماكينة التفريز العمودي.

وتستعمل أشكال عديدة ومختلفة من عدد القطع (سكين التفريز) لتلائم تفريز المجاري والشقوق وكما مبين في الشكل (4-51).



الشكل 4-51 : سكاكين التفريز العمودي.

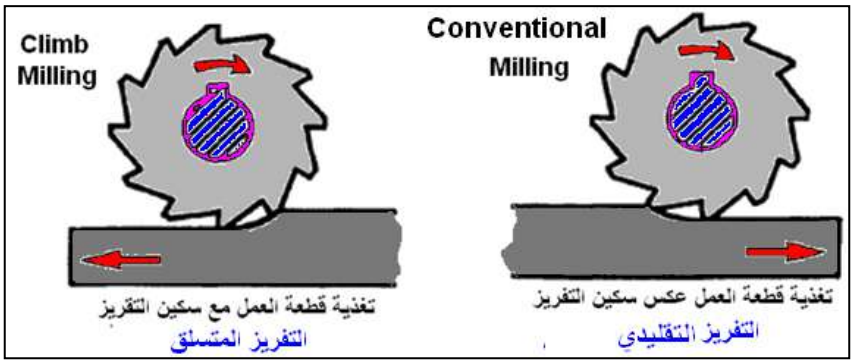
3. ماكينة التفريز العامة (Universal Milling Machine)

تمتلك تلك الماكينات خصائص مزدوجة تشمل التفريز الأفقي والتفريز الرأسي (العمودي)، مما يوفر الجهد والوقت في عمليات التشغيل، ويبين الشكل (4-52) أحد النماذج لتلك الماكينة والتي يمكن فيها الحصول على اتجاهين لحركة عدة القطع.

الشكل 4-52 : ماكينة التفريز العامة.

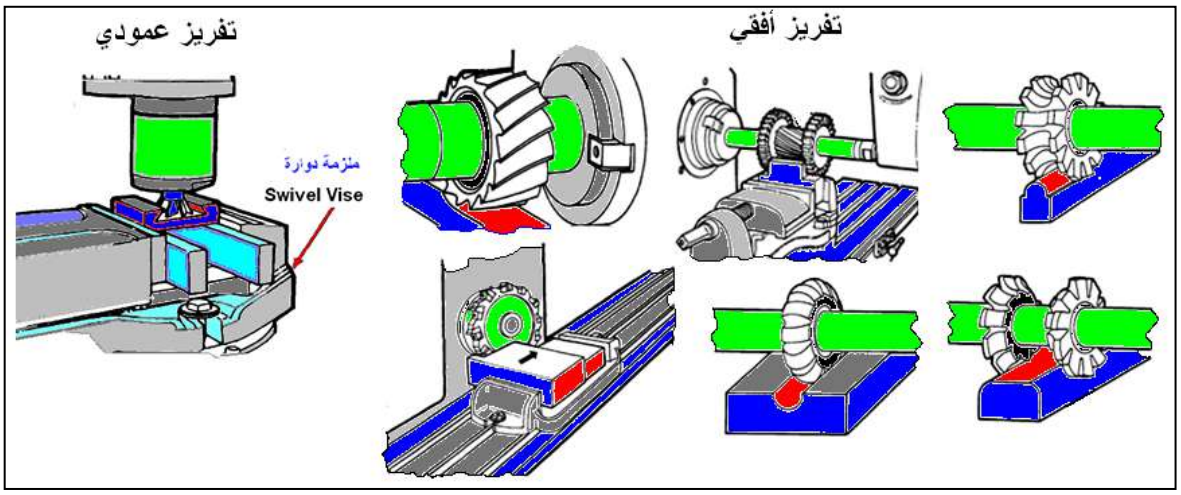
اتجاه التغذية (Direction of Feed)

في كل عمليات التفريز التي يكون فيها محور دوران عدة القطع موازياً لمستوي القطع يمكن أن يكون اتجاه التغذية معاكساً لاتجاه حركة السكين ويسمى بالتفريز المتسلق (Climb Milling) أو بالاتجاه نفسه ويسمى بالتفريز التقليدي (Conventional Milling) الشكل (4-53)، ولكل منهما ميزاته، فالتفريز المتسلق يسحب أجزاء المعدن المقطوع (الرايش) نحو سكين التفريز ويحول أي صدمة برد فعل نحو منضدة العمل، فضلاً عن كون الرايش يتجمع خلف أداة القطع وليس أمامها، لكن السطوح المنتجة لا تكون ناعمة نتيجة الاهتزازات التي تؤثر بدورها في جودة السطوح المشغولة، أما القطع التقليدي فيكون رد الفعل فيه مباشراً على محور سكين القطع لكنه يمتاز بقلة الاهتزازات أثناء عملية القطع، وإذا تجمع الرايش أمام السكين فيجب إزالته باستمرار أثناء التفريز والذي قد يسبب نتيجة لتراكمه أحياناً أمام أداة القطع إلى كسرها، لكن السطوح المشغولة تكون ذات نعومة عالية.



الشكل 4-53 التفريز التقليدي والتفريز المتسلق.

تتوافر أنواع كثيرة جداً لسكاكين التفريز لتناسب كافة عمليات ونماذج التفريز فضلاً عن السكاكين الخاصة بقطع أسنان التروس إذ يستخدم جهاز ملحق (رأس التقسيم) الذي تثبت فيه قطعة العمل، ويوضح الشكل (4-54) بعضاً من سكاكين التفريز خلال عمليات القطع في التفريز الأفقي والعمودي.



الشكل 4-54 : بعض عمليات التشغيل بالتفريز.

توجد أنواع عديدة من ماكينات التفريز بأحجام وأشكال مختلفة تشترك مع بعضها بمبدأ عمل التفريز كمثل الماكينات الرأسية والأفقية والعامة التي تعمل بالحاسوب CNC، والمبين بعض منها في الشكل (4-55)، فضلا عن الماكينات الجامعة (كما مر سابقاً)، وسيتعرف الطالب في المراحل الدراسية القادمة بشكل تفصيلي عن عمل تلك الماكينات، وكل ما يتعلق بماكينات التفريز لكونها من أساسيات تخصصه الدقيق.

الشكل 4-55 : بعض انواع ماكينات التفريز الحديثة.

4-3 أسئلة الفصل الرابع

1) ما هي المبررات التي توجب استعمال الأدوات اليدوية في عمليات التشغيل؟
2) بين أهمية توفر شروط السلامة والصحة المهنية في ورش الميكانيك.
3) عدد الشروط الواجب توفرها في منضدة العمل في ورش التشغيل اليدوي.
4) وضح عمل المِلزمة المنضدية، مبيناً مكوناتها.
5) تتطلب عملية التشغيل تخطيط قطعة العمل، وضح ذلك مبيناً الأدوات المستخدمة في عملية التخطيط.
6) عرف عملية النشر، وما هي أدوات إنجازه؟
7) يعد المنشار أداة قطع يدوية، بين أجزاءه الرئيسة وكيفية صناعته، وترتيب أسنانه، مع توضيح طريقة عمله.
8) عدد أنواع المناشير المستخدمة في قطع المعادن، مع توضيح عمل كل منها، ثم بين أنواع أنصال المناشير من حيث عدد الأسنان.
9) عرف عملية البرادة، والأداة التي تنجز بها، مع الرسم والتأشير على الأجزاء.
10) عدد أنواع المبارد بحسب النعومة ، وشكل المقطع، وطبيعة أسنان القطع.
11) وضح حركات القطع أثناء عملية البرادة، وبين طريقة برادة السطوح المستوية، والمقوسة.
12) عرف عملية التأجين، ثم عدد أنواع أدوات القطع المستخدمة.
13) كيف يتم تكملة وتوسيع الثقوب؟ وما هي قواعد العمل بأدوات التكملة؟

14) لماذا يستعمل القشط اليدوي؟ عدد أنواع المقاشط اليدوية، وبين طريقة تصنيعها.

15) عرف عملية اللولبة اليدوية، موضحاً بالرسم شكل السن المثلث مع التأشير على الأجزاء.

16) كيف يتم قطع اللوالب الخارجية واللوالب الداخلية؟ وما هي الأدوات المستخدمة فيها؟

17) ما هي العوامل التي تتحكم في عملية التثقيب الآلي؟ وما هي الحركات الرئيسة لأداة القطع؟ عرفها مع الرسم.

18) كيف تتم عملية الثقب بماكينة التثقيب؟ وما هي أنواع الماكينات المستخدمة؟

19) ما هي أداة القطع المستخدمة في عملية التجليخ؟ وكيف تتم تصنيعها؟ وما المكونات الداخلة فيها؟

20) عرف عملية الخراطة، ثم عدد الأجزاء الرئيسة المكونة لماكينة الخراطة، مع الرسم التخطيطي والتأشير على الأجزاء.

21) أذكر أنواع السرعات المستخدمة في عملية الخراطة، ثم عدد أهم العمليات الأساسية التي يمكن إنجازها على المخرطة.

22) عرف عملية التفريز، واذكر انواع ماكينات التفريز، موضحا الخصائص المميزة لكل منها.

23) وضح عملية التفريز بحسب اتجاه التغذية، مع الرسم التوضيحي.

الفصل الخامس

عمليات وصل وربط المعادن

Metal Connections

أهداف الفصل الخامس

بعد إنهاء دراسة الفصل يكون الطالب قادرا على أن :

1) يفرق بين الوصلات الدائمة والمؤقتة.
2) يصنف أنواع البراغي والصواميل.
3) يحدد مواقع استخدام عناصر التوصيل.
4) يميز بين الربط بالمسامير الإصبعية والبرشام.
5) يعرف طرائق اللحام المختلفة.
6) يرسم أنواع وصلات اللحام المستخدمة في عمليات اللحام.
7) يميز بين لحام السمكرة واللحام بالمونة.
8) يبين طريقة اللحام الغازي.
9) يعرف طريقة اللحام بالقوس الكهربائي .
10) يميز بين طرق اللحام بالقوس الكهربائي.
11) يحدد فوائد الغازات الواقية في عمليات اللحام.
12) يعرف بعضاً من طرق اللحام بالحرارة والضغط.
13) يميز أنواع لحام المقاومة الكهربائية.
14) يعرف الطرق الحديثة في اللحام.

تمهيد

تصنع بعض المنتجات من أجزاء منفردة عديدة، يتم تجميعها أو وصلها معاً، وتختلف وسائل الربط Fasteners بحسب طبيعة المشغولات ونوع التطبيق، فبعض المشغولات يتم ربط أجزائها بصورة دائمة لتشكل قطعة واحدة، والبعض الآخر يتم ربط أجزائها بصورة مؤقتة ليسهل تفكيكها فيما بعد لأغراض الصيانة أو استبدال قطع منها، ويسمى النوع الأول بالربط غير القابل للفصل ويشكل اللحام بأساليب متعددة أهم طريقة للوصلات الدائمة في جين يسمى النوع الثاني بالربط القابل للفصل (الربط الميكانيكي) وقد يكون مؤقتاً كالربط بالبراغي والصواميل والخوابير لإعطاء الأجزاء حرية حركة، وقد تكون الوصلة متحركة مثل نقل الحركة بين الأعمدة الدوارة، أو ثابتة عند تجميع أجزاء الماكينات، ويعد الربط بثني حافات الألواح كما في عمليات التشكيل بالسمكرة والبرشام من الوصلات الدائمة إذ لا يمكن إعادة تفكيكها (عند الحاجة) بدون كسر أو تلف لأماكن التوصيل، وسوف نستعرض بعض الأشكال الأكثر شيوعا لنوعي وسائل الربط.

1-5 الوصل باللوالب والصواميل

سبق وتعرفنا في الفصل الرابع عن كيفية تشغيل وقطع اللوالب والصواميل يدوياً وكذلك آليا باستخدام ماكينات الخراطة (في المرحلة الدراسية اللاحقة تكون أكثر تفصيلاً)، إذ تستخدم اللوالب (البراغي) في عمليات توصيل المشغولات بشكل واسع ثم فكها بدون إتلاف أي من أجزائها أو كسرها، فضلاً عن استخدامها في نقل القدرة والحركة (تحويل الحركة الخطية الى حركة دائرية وبالعكس) والمعايرة (في أجهزة القياس)، ويمكن استخدام اللولب والصامولة في تجميع ألأجزاء المثقوبة ثقباً نافذاً بأن يكون أحد الثقوب ملولباً (سن داخلي) ليعمل عمل الصامولة.

1-1-5 أنواع لوالب الربط

اللولب (أو البرغي أو المسمار) أداة ربط يتميز 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. غالبا ما يكون للبراغي رؤوس يصمم شكل مقطعها لكي يدار بواسطة مفتاح أو مفك، والرأس يكون بقطر أكبر من قطر الجسم يمنع 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 ذا السن اليسار يكون هو الاختيار الأفضل، وتستخدم اللوالب بصورة عامة لأغراض الربط كلوالب الماكينات ولوالب الخشب ويكون شكل السن لجميع براغي الربط مثلث الشكل لثباتها الجيد عند

التجميع وعدم انحلالها بفعل الاهتزازات، ويتميز هذا النوع من السن بوجود جزء مسطح في القمة وفي قاع السن مما يزيد في قوته، يمكن للمسمار أو البرغي أن يكون مسنناً بنسبة كبيرة من طوله بينما الأغلب أن يكون تسنينه لمدى أكبر من ارتفاع الصمولة، ويكون للصامولة نفس المواصفات القياسية والإنتاجية التي للبرغي، إذ تكون مسننة من الداخل، وهي على أشكال عدة وأنواع مختلفة، الشكل (5-1)، وتعد الصامولة السداسية والصامولة الرباعية الأكثر استخداماً وانتشاراً، أما رأس الصمولة السداسية فهو منشور سداسي قائم ومشطوف من الأعلى والأسفل بزاوية 30°.

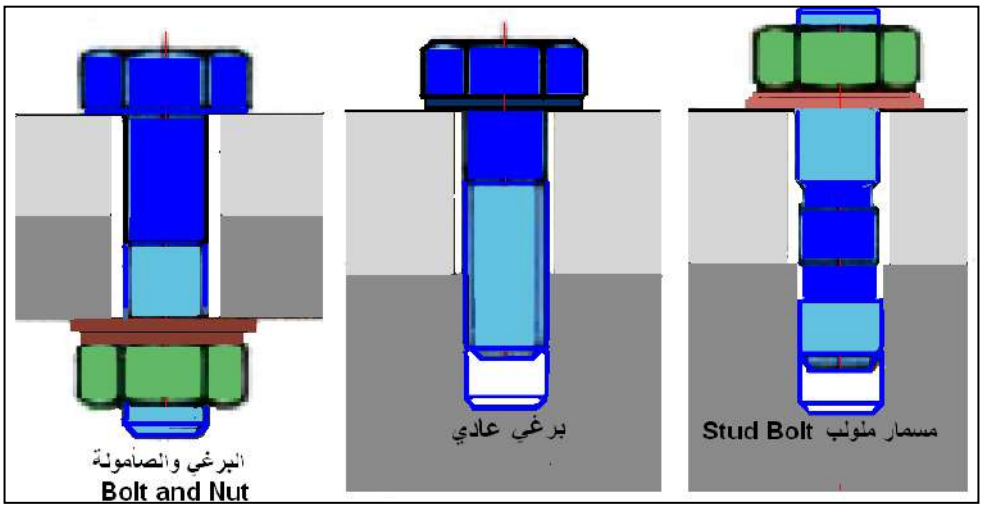
الشكل 5-1 : بعض أشكال اللوالب والصواميل.

ويمكن تقسيم مجموعة البراغي والصواميل بحسب حجم السن الى 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 الاهتزاز بل يستخدم السن الناعم.

تقسم طرائق الربط الى عدة أنواع بحسب شكل البرغي وكما يأتي:-

1) 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.
2) 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 نفاذه من خلال ثقب في القطعة الأخرى المطلوب تثبيتها.
3) 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، ويبين الشكل (5-2) طرائق الربط المذكورة.



الشكل 5-2 : طرائق الربط بالبراغي.

4) مسامير الضبط والضغط (الأصابع الملولبة) : تستعمل لمنع الحركة النسبية بين الأجزاء في الآلات لمنع دوران جزء نسبةً لجزء آخر (بكرة مثبتة على عمود محور)، فضلاً عن استخدامها لغلق فتحات الزيت، وتكون بدون رأس بل تكون مثقوبة يستخدم لضبطها مفتاح حرف L.

5) 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، ويبين الشكل (5- 3) بعض أنواع المسامير الملولبة ومسامير الضبط والضغط.

الشكل 5-3 : بعض أنواع المسامير الملولبة.

5-1-2 حلقات التامين (Washer)

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)، إلاّ أنها غالباً ما تتعرض لقوى واجهادات متكررة تسبب اهتزازات تؤدي لفتح تلك اللوالب وانحلالها، ولضمان استمرارية عملية الربط بإحكام تستخدم وسائل لتأمين الربط، الشكل (5-4)، توضع تحت اللولب أو بينه وبين الصامولة لتهيئة أسطح ملساء فضلاً عن أنها تكفل 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 نابضية، ويمكن اللجوء الى وضع صامولة أخرى بعد صامولة الضبط الرئيسة تعمل كقفل لمجموعة الربط.

الشكل 5-4 : طرائق تأمين الربط .

5-1-3 مفاتيح الربط اليدوية (Hand Tools)

أدوات تستخدم باليد لضبط أو فتح الصواميل أو البراغي في الوصلات الملولبة يناسب حجمها أبعاد رأس البرغي أو قطر الصامولة تماما 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 والصواميل، وتستعمل مفكات القبس (Socket Spanner) ذات اللقم المختلفة القياس على شكل اسطوانة 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 مجوف أحد طرفيه أو كلاهما 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 حادة ليكون الطرف الآخر ذراع عزم

تسمى Allen Key، وتتنوع المفاتيح لتناسب كثيراً من التطبيقات للحصول على قوة ضبط عالية، الشكل (5-5).

الشكل 5-5 : بعض أنواع مفاتيح الربط.

2-5 عناصر التوصيل (الخوابير) Shaft Keys

تستخدم عناصر التوصيل (الاسم الدارج لها؛ خوابير) في تطبيقات الحركة والسرعة الدائرية لمنع (قفل) حركة عمود المحور (Shaft)نسبة للأجزاء الميكانيكية المركبة عليه مثل البكرات (Pulleys) والتروس (Gears) والحدبات (Cams) من خلال ثقب المحور (Hub) للحد من انزلاقها، وتعد طريقة الربط بالخوابير وسيلة مؤقتة إذ يمكن تفكيك مجموعة الربط بسهولة.

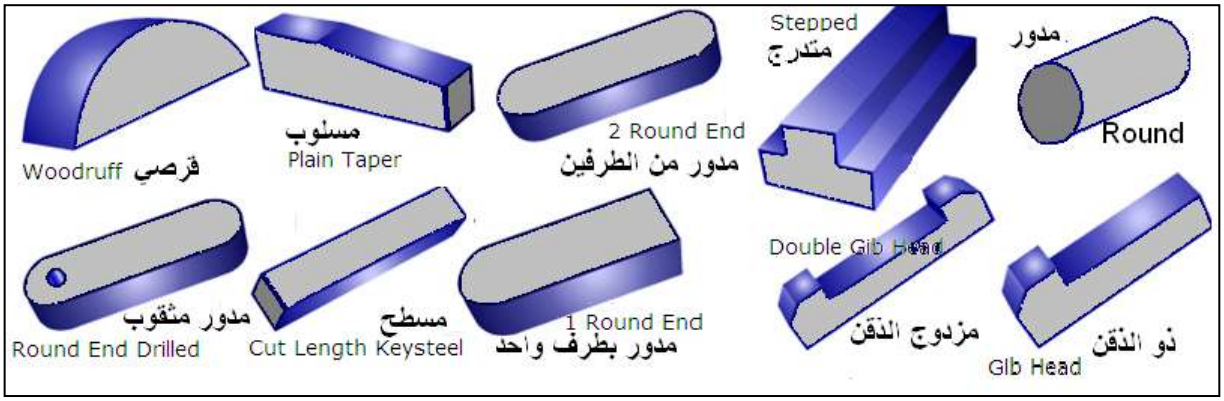
يصنع عنصر التوصيل من صلب الكربون المطروق والمقاوم للصدأ، أو من الصلب السبائكي (حديد مع برونز)، ووفقا للمواصفات العالمية BS4235 (Metric), BS46 (Imperial)، إذ يتعرض لإجهاد القص (Shear Stress) والى السحق (Crushing) نتيجة القوى المؤثرة عليه، لذلك تنوعت تصاميم الخوابير بالشكل والحجم وطرائق تثبيتها في العمود أو القطعة الميكانيكية تبعاً لمقدار العزم المنقول.

1-2-5 أنواع الخوابير

يبين الشكل (5-6) الأنواع الرئيسة من عناصر التوصيل الناقلة للحركة، وكما ياتي:-

1. المسطحة (Cut Length Key steel) : ويكون مقطعها أما مربعاً أو مستطيلاً ويكون نصفها غاطسا في مجرى العمود والآخر في المجرى الطولي للثقب، وهي أكثر الأنواع شيوعاً إذ تستعمل في كلّ التطبيقات، يستخدم النوع المستطيل عندما يكون سمك الجزء الذي فيه الثقب قليلاً ويكون عمق المجرى قليلاً أيضاً.

2. المسلوبة (المستدقة) Plain Taper : يكون ميل السلبة 1:100، تنقل هذه الوصلات قوى أكبر نتيجة زيادة التداخل كلما دفعت بداخل المجرى ويكون السطح المسلوب بجهة الثقب، ولا يصلح في نقل السرعات العالية.
3. وصلة ذات الذقن (Gib Head Keys): مشابه للوصلة المستدقة ما عدا وجود رأس في النهاية الكبيرة للخابور لتسهّل إزالته، ويوجد نوع مشابه له يسمح بالحركة المحورية المحدودة يسمى بخابور التعشيق (Feather key) يربط على أحد الجزأين المراد تجميعهما معاً، وهو نوع خاص من أنواع الخوابير يتميز بوجود رأس في كل طرف وهو أما يربط على العمود (أو في الثقب) بواسطة براغي.
4. وصلة قرصية (Woodruff): يكون سطحه العلوي نصف دائري يثبت على سطح العمود الذي يقطع فيها أخدود مماثل له، ويتميز بقلة مقاومته لإجهاد القص من المقطع المستطيل.
5. وصلة دائرية (Circular Keys): ويقطع في كلا العمود والثقب مجرى نصف اسطواني، ويتميز هذا التصميم بتمركز قليل للاجهادات في جسم الخابور.
6. وصلة التماس (Tangent keys): تثبت الوصلات المماسية بصورة مزدوجة بزاوية قائمة بحيث أن كل منها يتحمل عزم دوران بأتجاه واحد وهذا النوع يستعمل في الأحمال الثقيلة وعندما يراد نقل القوى المتوسطة القيمة، يستبعد تفريز المجارى في العمود.

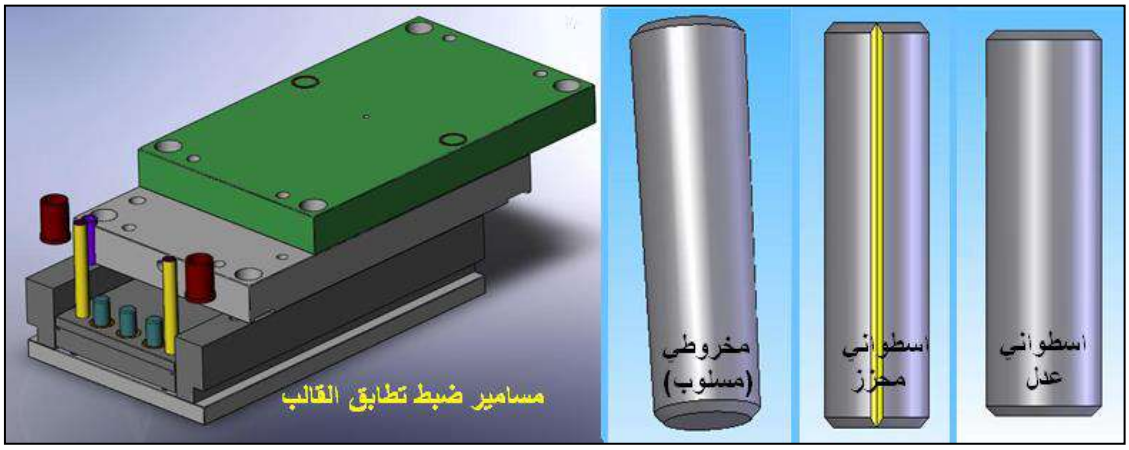


الشكل 5-6 : بعض أنواع أقفال الأعمدة (الخوابير).

توجد أنواع أخرى من التوصيلات الخاصة بالأعمدة مثل العمود المكون من أخاديد (شرائح) (Splines) من جسم العمود نفسه إذ يتم تفريز سطح العمود بشكل طولي، وبالمقابل تفريز السطح الداخلي لثقب القطعة الدوارة، لتعمل الأخاديد عمل مجموعة خوابير تستعمل لنقل عزم تصاحبه صدمات، أو استخدام تداخل بين أسنان بسمك معين تقطع في كلا الجزأين، وغيرها من التطبيقات.

3-5 المسامير الإصبعية Pins

تعد وصلات المسامير الإصبعية من الوصلات المؤقتة وتكون على شكل ساق أسطوانية تستخدم لتثبيت الأجزاء وتأمينها في مواضعها وأحكام تجميعها بدقة وتستخدم عادة في القوالب المختلفة لضبط تطابق أجزاء القالب فضلاً عن استخدامها في تثبيت بعض المشغولات عند نقل قوى قليلة أو لمنع زيادة الإجهادات إذ تنكسر عند زيادة الإجهاد الحاصل على الجزء المتحرك وتستبدل بعد إجراء الصيانة وزوال السبب، وتكون المسامير الإصبعية على أشكال عديدة منها الاسطواني العدل والاسطواني المحزّز طولياً والمخروطي أو المسلوب، الشكل (5-7).



الشكل 5-7 : أنواع المسامير الإصبعية.

4-5 البرشمة (Riveting)

تعد من عمليات التوصيل الدائمة لجزأين معا بوساطة وصلة معدنية تسمى مسمار البرشام، تهيء قطع العمل بالتثقيب وتجمع بإدخال مسامير البرشام خلال الثقوب ويكبس كل منها من طرفيه بقوة مناسبة لينتج الترابط اللازم بين الأجزاء، وتستخدم لهياكل الطائرات والجسور والسفن وتستخدم مع الأجزاء التي تتعرض الى اهتزازات، وتنجز عملية البرشمة يدويا أو آلياً.

1-4-5 أنواع مسامير البرشمة (Rivet Types)

تصنع مسامير البرشام بأنواع وأحجام عديدة لتلبي متطلبات القوة والكلفة وسهولة التصنيع، ويميزها شكل رأس المسمار، وتصنع من معادن مختلفة كالحديد، الألمنيوم، والنحاس، وغيرها، كل منها يناسب تطبيقاً محدداً، وتنتج بطريقة التشغيل بواسطة ماكينات الخراطة أو بعملية السباكة أو بواسطة قوالب الطرق الحار، فمنها الصلدة ومنها المجوفة، كمثل المسمار ذي الرأس المدور (Snap Head)

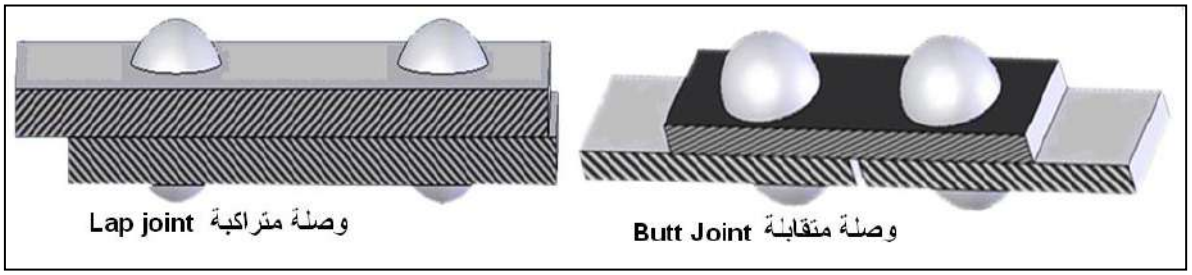
والمسطح (Flat) وشكل المقلاة (Pan Head) والمخروطي (Conical Head) والغاطس (Countersunk) وكل له استخداماته وتطبيقاته المناسبة، أما المسمار المجوف (Tubular) فكثيراً ما يستخدم لتجميع هياكل الطائرات، (لماذا؟)، ويبين الشكل (5-8) بعضاً من تلك الأنواع.

الشكل 5-8 : بعض أنواع مسامير البرشام.

5-4-2 وصلات البرشمة

تنجز عملية البرشمة بالتشغيل على البارد للأقطار دون 10mm ولبقية الأقطار يكون التشغيل على الساخن، كذلك يجب تحديد نوع الربط وعدد المسامير اللازمة وترتيبها وتوزيعها الهندسي على القطع المربوطة، فضلاً عن دقة قياس الثقوب في المشغولات وعدم تجاوزها للسماح الذي يتيح بمقدار دخول المسامير وبدون فراغات لكونها لن تسمح بتشكيل الرأس بالشكل المناسب وتجعل الوصلات قابلة للحركة، وتكون أنواع وصلات البرشمة الشكل (5-9)، كما يأتي:-

- وصلة متقابلة (تناكبية) Butt Joint :- وفيها يقرب الجزءان من بعضهما البعض وفي مستوى واحد ثم تستخدم قطعة ربط ثالثة توضع فوقهما لتُربط القطعتان بها، الشكل (5-9).
- وصلة متراكبة (Lap Joint):- وفيها يوضع الجزءان فوق بعضهما البعض ويوصلان بصف واحد أو صفين من البرشام وهي من الطرائق الشائعة الاستعمال.



الشكل 5-9 : أنواع الوصلات بالبرشام.

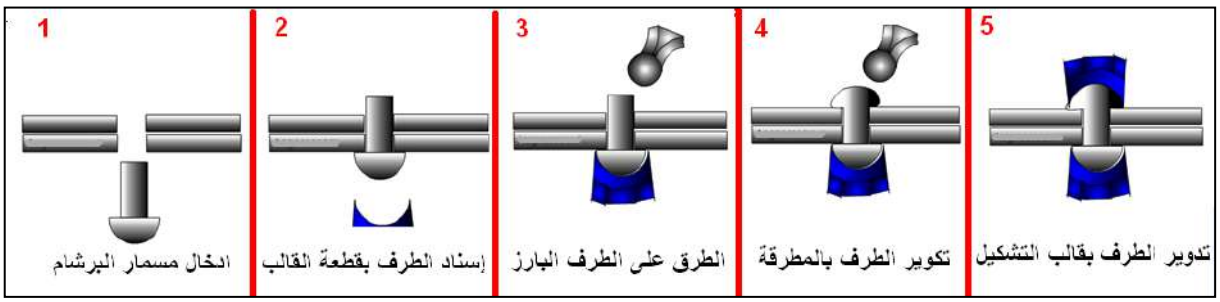
3-4-5 تثبيت مسمار البرشمة

يتم تثبيت مسامير البرشمة بعملية تشكيل (بدون قطع) لعمل الوصلات الدائمة بطريقتين :-

أ) التشكيل على الحار :- يتم تسخين مسمار البرشمة الى درجة حرارة عالية ثم يطرق أما يدوياً أو ميكانيكياً وخاصة للمسامير الحديدية، وتمتاز هذه الطريقة بكونها اقتصادية وسريعة وذات نوعية جيدة.

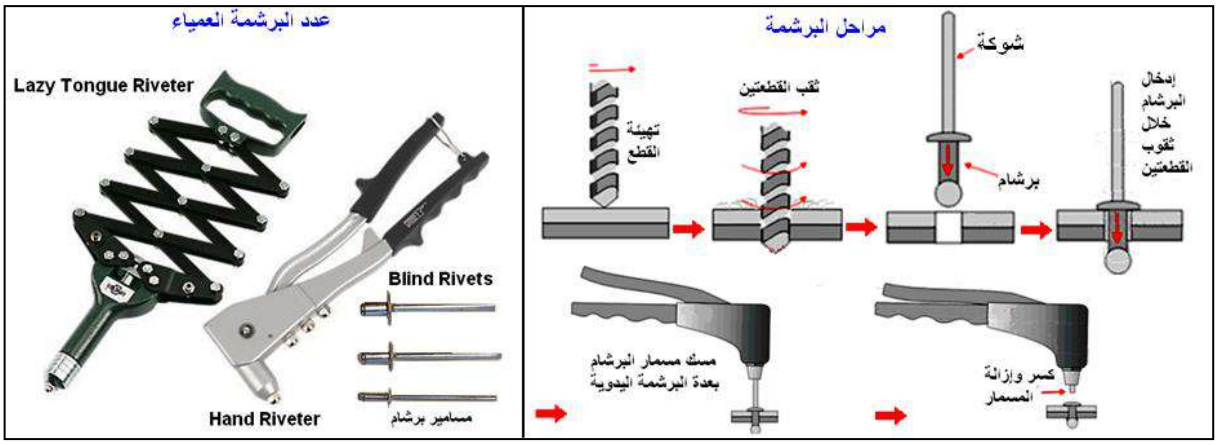
ب) التشكيل على البارد :- وفيها يتم تثبيت مسمار البرشمة بدون تسخينه بواسطة الطرق على نهايته المستقيمة لتشكيل الطرف الآخر أو الاستعانة بقالب تشكيل، وتستخدم للمسامير المصنوعة من المعادن اللينة وذات الأقطار الصغيرة.

تتم عملية طرق المسامير لتشكيل رأس المسمار بحسب الشكل المطلوب بإحدى طرائق الكبس اليدوية أو الميكانيكية، وقبل أجراء عملية البرشمة يجب تنظيف السطوح لقطع العمل من بقايا الرايش بعد عملية التثقيب، مع ملاحظة أن لا يكون قطر الثقب اكبر من قطر المسمار بأكثر من 1mm، ثم اختيار معدن المسمار بما يناسب طبيعة معدن قطعتي العمل، وعند تركيب المسمار يجب ملاحظة أن مسمار البرشمة قد ملأ الفراغ تماماً، الشكل (5-10)، فيما تكون الأجزاء المربوطة منطبقة تماماً وبدون فراغ فيما بينها، كما يجب التأكد من عدم تحرك مسمار البرشام أو الألواح عند الطرق، بعد إسناد رأس المسمار (من الأسفل) يطرق على الطرف البارز بواسطة مطرقة لغرض تدوير الطرف ومن ثم استعمال قالب لتشكيله بالشكل المطلوب.



الشكل 5-10 : خطوات عمل البرشمة.

عندما لا يتيسر الوصول الى موضع البرشمة إلاّ من ناحية واحدة، مثل الأجزاء المجوفة والمغلقة، ويصعب إسناد رأس مسمار البرشام صمم لهذا الغرض مسمار برشام ذو شوكة (Blind Rivet) إذ يتكون كمثيلاته من مسمار برشام مجوف ومن شوكة ذات رأس مخروطي أو كروي، يتم الإمساك به وسحبه بواسطة عدة خاصة (ماسكة) ليقوم الرأس المدور بتشكيل الطرف الثاني من المسمار وتوسيعها لغرض الأطباق من الجهة الأخرى (صعبة الوصول) ويوجد حز على تلك الشوكة تسهّل كسرها، ويبين الشكل (5-11) العُدد وطريقة البرشمة.

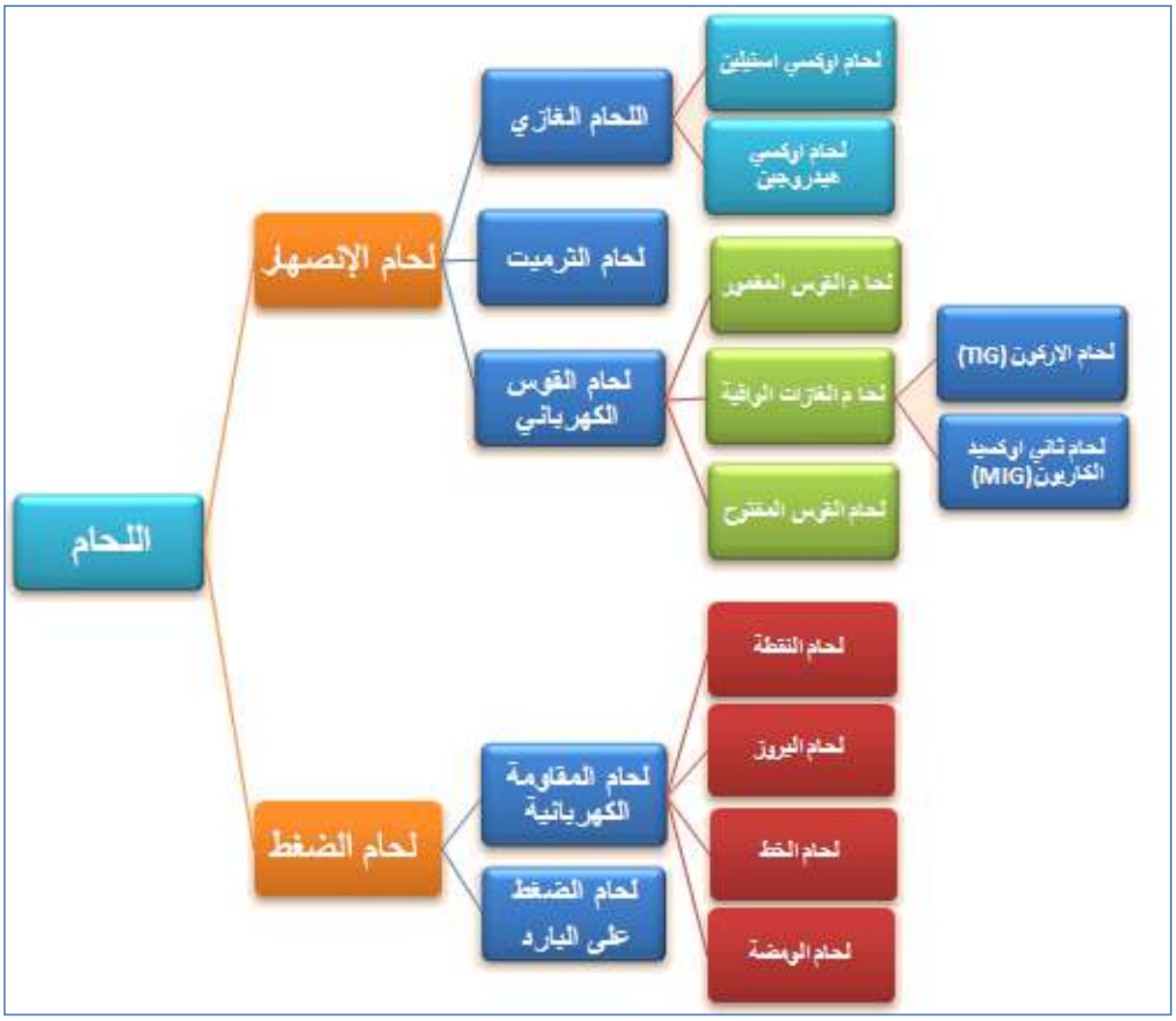


الشكل 5-11 : طريقة عمل البرشمة العمياء.

5-5 اللحام (Welding)

وصل دائم للأجزاء المعدنية باستخدام الحرارة، أو باستخدام الضغط والحرارة معاً، وتعد من أفضل أنواع الوصلات الدائمة والقوية غير القابلة للفتح، ويتم لحام الانصهار برفع درجة حرارة الأجزاء المطلوب لحامها الى درجة حرارة الانصهار عن طريق استخدام معدن إضافي أو بدونه فتختلط جزيئات القطع المراد وصلها معا عند منطقة التأثير، ثم تترك لتتجمد فيشكل الجزء منطقة ربط قوية، بينما ينجز اللحام بالضغط برفع درجة الحرارة الى أن تصبح الأجزاء بحالة لينة ثم يسلط الضغط على منطقة اللحام أثناء تجمدها، وغالباً ما تستخدم مواد مساعدة في عمليات اللحام تسمى مساعدات الصهر (Fluxes) تختلف باختلاف المعادن الملحومة وطرائق اللحام.

عند مقارنة اللحام مع طرق توصيل المعدان نجد أنه يحقق وفرة في المعدن وخفة في وزن المشغولات وسهولة في إنشاء وتصميم وتجميع المشغولات فضلاً عن توفير الوقت اللازم للتشغيل، وتصنف طرائق اللحام الى صنفين رئيسين هما؛ لحام الانصهار (Fusion Welding) ولحام الضغط(Pressure Welding) ويبين الشكل (5-12) مخططاً لأغلب طرائق وعمليات اللحام التقليدية، والتي سنذكرها مفصلاً.

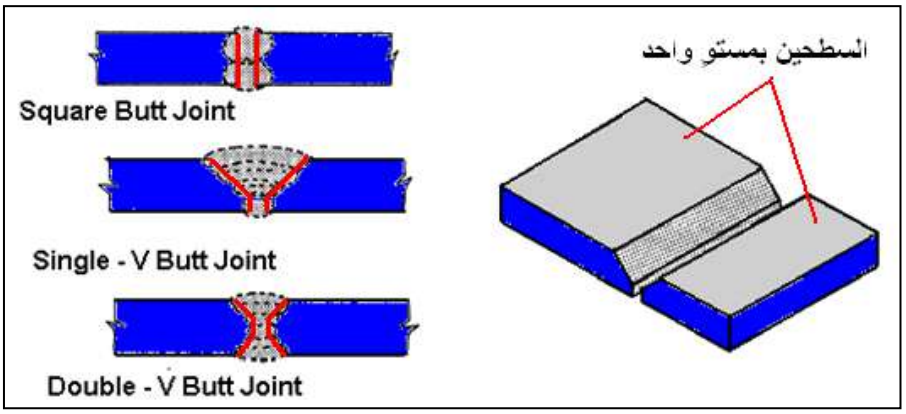


الشكل 5-12 : طرائق وعمليات اللحام.

5-5-1 أنواع وصلات اللحام

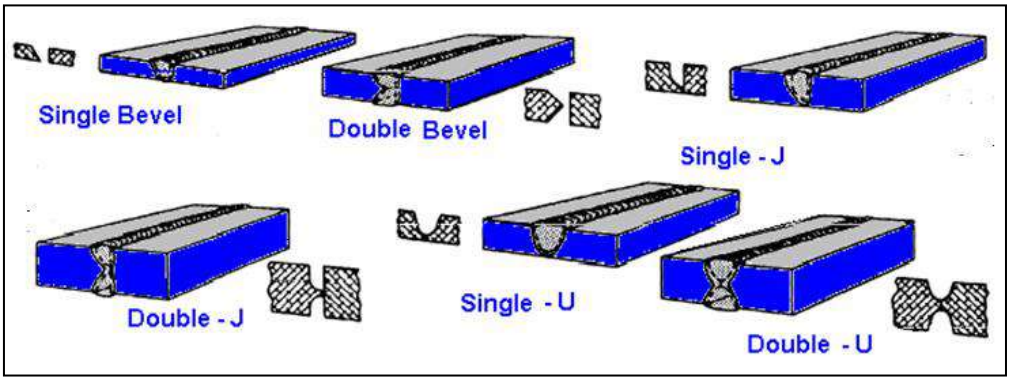
إن اختيار الوصلة المناسبة يتضمن الأبعاد والشكل الهندسي الذي يناسب التصميم، ومقدار تحملها للإجهاد المتوقع ونوعه كأن يكون إجهاد إنحاء، إجهاد شد، أو إجهاد سحب، وكذلك اتجاه القوى المؤثرة، فضلاً عن الأمان وإمكانية تحقيق الجودة بحسب أسلوب وطريقة اللحام، لذلك، وقبل الشروع في أي عملية لحام يتم تهيئة قطعتي العمل بشكل يناسب الغرض المطلوب، إذ تكون أشكال التراكب بين القطع على عدة أنواع وكما يأتي:-

1) التوصيل المتقابل (التناكبي) Butt Joint : تعد هذة الوصلات من الأشكال الرئيسة لتوصيلات اللحام وفيها يوضع طرفي الجزأين الملحومين بشكل متقابل بحيث يكون سطحي القطعتين بمستوٍ واحد ويوضح الشكل (5-14) بعضاً من تلك الحالات.



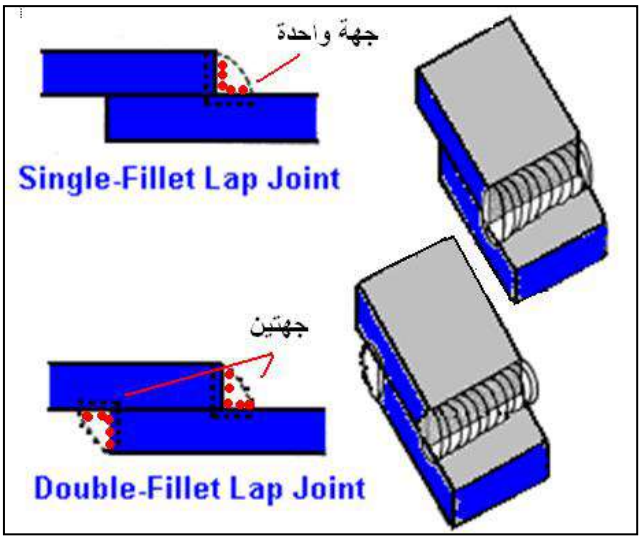
الشكل 5-14 : وصلات متقابلة.

ويبين الشكل (5-15) أنواعاً أخرى لوصلات الأخاديد (Grooved Joints) فمنها على شكل مائل بزاوية (Bevel) أو على شكل الأحرف J, U من جانب أو من جانبين، لقطعة واحدة أو لقطعتي العمل.



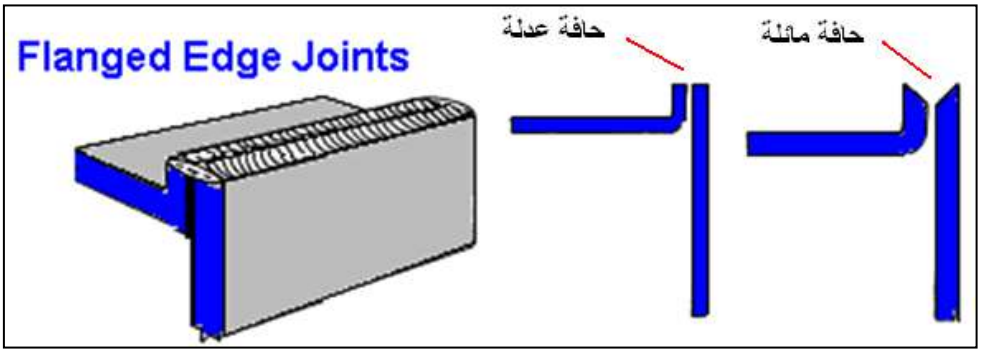
الشكل 5-15 : وصلات الأخاديد المتقابلة.

2) التوصيل التراكبي (Lap Joint): يتم التوصيل في هذا النوع بحيث يغطي جزء من أحد السطحين السطح الآخر ولمسافة بحدود أربعة أضعاف سمك الصفائح المطلوب لحامها ويصلح لحد سمك 13mm وتوفر تلك الوصلة سهولة في اللحام ولا تحتاج الى تجهيز مسبق، الشكل (5-16)، ويتم لحام طرف واحد (Single Fillet Lap Joint) وفي حالة اللحام من طرفين تقارب قوة الوصلة متانة المعدن الأصلي.



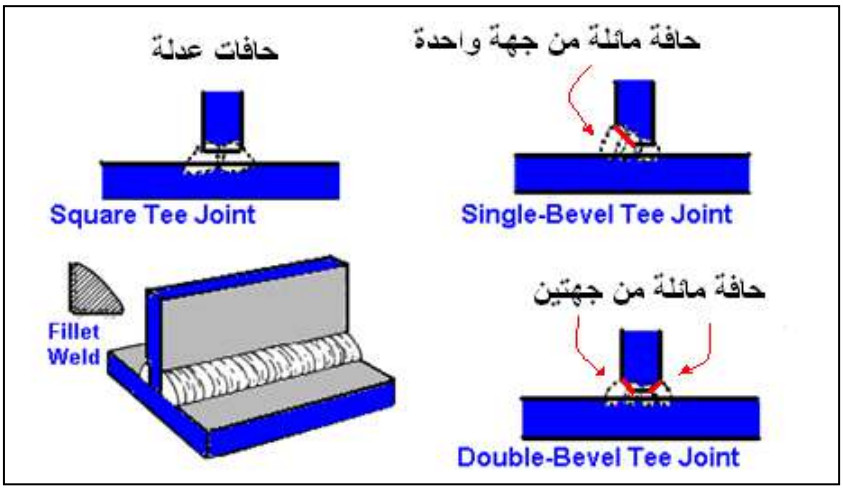
الشكل 5-16 : وصلات تراكبية.

3) التوصيل بثني الحافات (Flanged Edge Joints): تُهيأ القطعتان بأن تثنى الأطراف المراد لحامها بشكل قائم من جهة (أو جهتين) وتكون الحافات مستوية أو مائلة، الشكل (5-17)، وتستخدم للألواح التي يكون سمكها أقل من 7mm وتقاوم الأحمال القليلة.



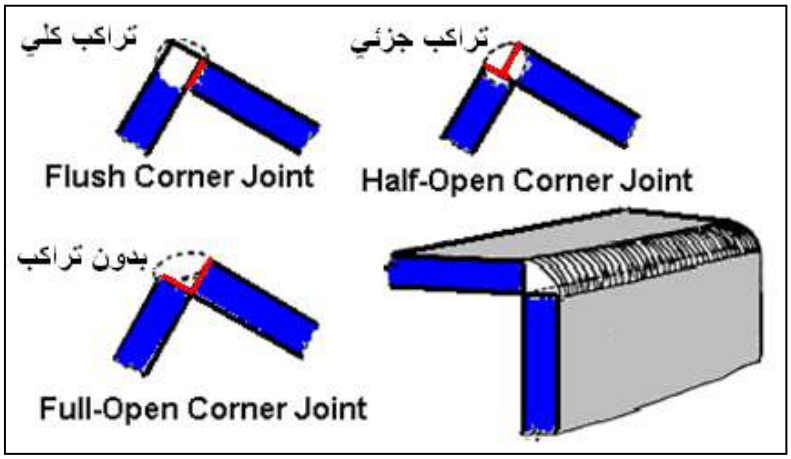
الشكل 5-17 : وصلات مثنية الحافة.

4) التوصيل على شكل حرف (T) (Tee Joint) : توضع أحدى قطعتي اللحام بصورة عمودية على القطعة الأخرى لتشكل حرف T ، الشكل (5-18)، 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.



الشكل 5-18 : وصلات الحرف T.

5) التوصيل الزاوي (Corner Joint) : يوصل الجزءان عند الأطراف بحيث يشكلان زاوية معينة بينهما وقد يتم تجهيز حافة قطعة العمل أو يكون تراكب كلي أو جزئي، أو بدون تراكب (Full Open Corner Joint) وبحسب سمك المشغولات ونوع الحمل المسلط.



الشكل 5-19 : وصلات زاويّة.

5-5-2 وصل السمكرة (Soldering)

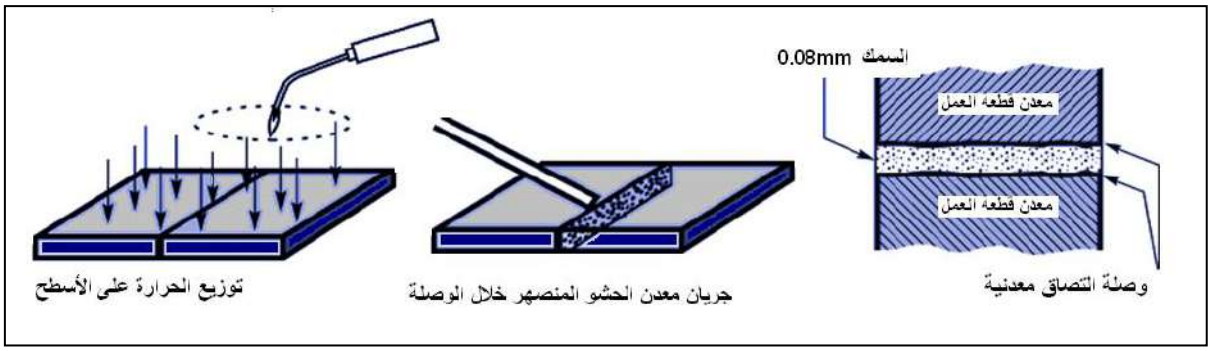
لحام السمكرة يستعمل لربط قطعتين أو أكثر من مواد معدنية بفعل معدن حشو (Filler) في مكان الربط والذي تكون درجة انصهاره أقل من درجة انصهار قطعة العمل، وهناك ثلاثة من أشكال اللحام، بحسب مقدار درجة حرارة اللحام ومتانة الوصلات: اللحام الرخو (Soft Soldering) الذي يستعمل سبيكة (قصدير – رصاص) كمعدن حشو، لحام الفضّة (Silver Soldering) الذي يستعمل سبيكة تحتوي على فضة، ولحام المونة (Brazing) الذي يستعمل سبيكة نحاسية كمعدن حشو، وكل الطرائق تنتج سطحا بين قطعتي العمل يعمل على وصلها ببعض.

يستعمل اللحام الرخو على نطاق واسع في أعمال الحلي وفي توصيلات الدوائر الكهربائية وطباعة اللوحات الالكترونية، الشكل (5-20)، وفي غلق علب المعلبات الغذائية وتوصيلات الأنابيب المصنوعة من الرصاص أو النحاس، يتميز بدرجة حرارة انصهار قليلة لمعدن الحشو تكون أقل من 215 C^o يمكن أن توفرها كاوية لحام كهربائية، (نسب السبيكة الملائمة؛ قصدير 63% - رصاص 37%)، بينما تزداد تلك الدرجة لبقية نوعي اللحام، والتي تحتاج الى كاويات تسخن باللهب أو باستخدام مشاعل لهب لإنجازها، وتتوقف درجة متانة اللحام على مدى نظافة السطوح الملحومة لذا يجب أن تعالج قبل بداية اللحام وخلاله باستعمال مساعدات الصهر (Flux) والذي يتكون في اللحام الرخو من الراتينج الصنوبري (Rosin-Based) كمانع أكسده ومنظف في الوقت نفسه.

الشكل 5-20 : توصيل السمكرة.

3-5-5 التوصيل بالمونة (Brazing)

توصيل للمعادن يعتمد على تسخين وصهر معدن الحشو (Filler) وتوزيعه بين طبقتين (أو أكثر) من قطع العمل ليشكل طبقة ذات سمك قليل توصل بين الأجزاء، ويسخن معدن الحشو لدرجة حرارة أعلى من درجة الذوبان (450 C^o) وبمعزل عن جو المحيط بمادة الفلكس (مساعد صهر) Flux ليسيل وينتشر على أسطح قطعة العمل (بفعل التجاذب الشعري Capillary Action) ومن ثم يبرد ليشكل وصلة لحام، ولتحقيق نوعية عالية في اللحام يجب أن تكون الأسطح نظيفة وخالية من الأكسيدات (تنظف كيميائياً أو ميكانيكياً) وأن يكون سمك الفجوة بين قطعتي العمل بحدود 0.03 – 0.08 mm لأفضل أداء وأن لا يتجاوز الخلوص بين القطع 0.6mm، ويراعى الإسراع بعملية اللحام (عند تسخين منطقة اللحام بواسطة مشعل اللهب) لتجنب الأكسدة، وتستعمل هذه الطريقة لتوصيل الأنابيب والصفائح قليلة السمك، وتتكون مادة الحشو من معدنين أو أكثر لتشكل سبيكة بالمواصفات المطلوبة، تتوافر على شكل قضبان، أسلاك، مسحوق، أو عجينة، مثل سبائك النحاس والنيكل والبراص والفضة الذهبية وأحيانا سبائك الألمنيوم.



الشكل 5-21 : لحام المونة.

6-5 لحام الانصهار (Fusion Welding)

في عمليات اللحام بالصهر تستخدم مادة إضافية للحشو لملء الفراغ المجهز بين الجزأين المراد وصلهما، بحيث تكون مادة الحشو غالباً من مادة مماثلة لنوع معدن الأجزاء المراد لحامها ولها نفس الخواص، ولإجراء عمليات اللحام بالصهر تسخن منطقة اللحام، وكذلك مادة الحشو حتى تصل درجة الحرارة إلى درجة الانصهار، عندئذ تنصهر مادة الحشو وتتساقط لتملأ الفراغ المجهز بالجزأين المراد لحامهما، مختلطة مع المعدن المنصهر في منطقة التسخين لتتم عملية الوصل باللحام عند تجمد المادة المنصهرة بمنطقة التسخين، ويشمل على لحام الغاز، لحام القوس الكهربائي، ولحام الثرميت.

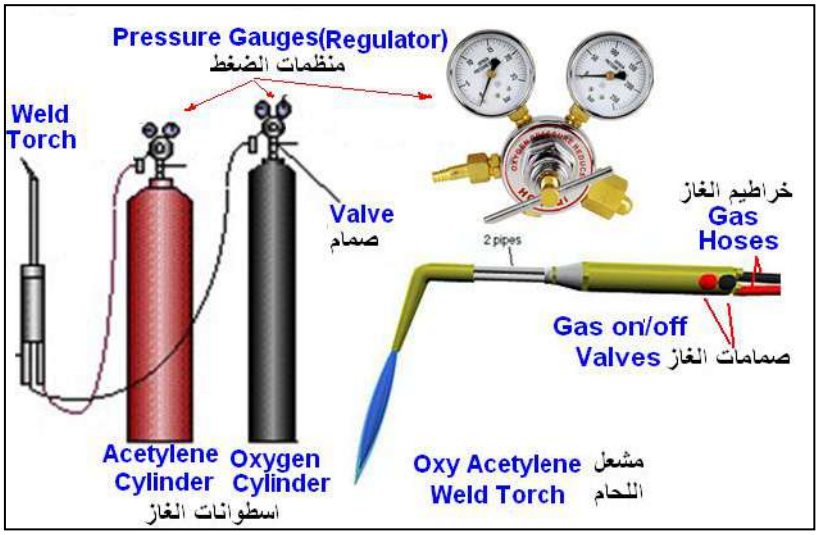
1-6-5 اللحام الغازي (Gas Welding)

تستخدم الغازات بصفة خاصة في وصل المعادن المتشابهة التي يتراوح سمكها ما بين 2 إلى 50 ملليمتر ، وأيضا للحالات التي يتعذر فيها الوصول بسهولة إلى مواضع الوصلات المراد لحمها، في هذا الأسلوب تصهر الأطراف عند المواضع المراد وصلها بواسطة لهب غازي ناتج عن احتراق غاز مختلط مع أوكسجين نقي، إذ تصل حرارة اللهب إلى عدة آلاف من الدرجات السيلزية، وقد يستخدم الهواء بدلا من الأوكسجين في حالة لحام الرصاص، ويفضل في أسلوب اللحام بالغاز استخدام الاستيلين أو الهيدروجين وقودا غازياً ، كما قد يستخدم أحد غازات الاحتراق الأخرى مثل غاز الميثان، البروبان أو بخار البنزين .

1) **لحام الأوكسي – هيدروجين (Oxy Hydrogen Welding):** يستخدم في لحام الألواح الرقيقة من السبائك التي تكون درجة انصهارها منخفضة (يستخدم أحيانا في لحام المونة).

2) **لحام الأوكسي – أستيلين (Oxy Acetylene Welding):** تصل درجة الحرارة المتولدة من هذا الخليط إلى حوالي $3300C^{o}$.

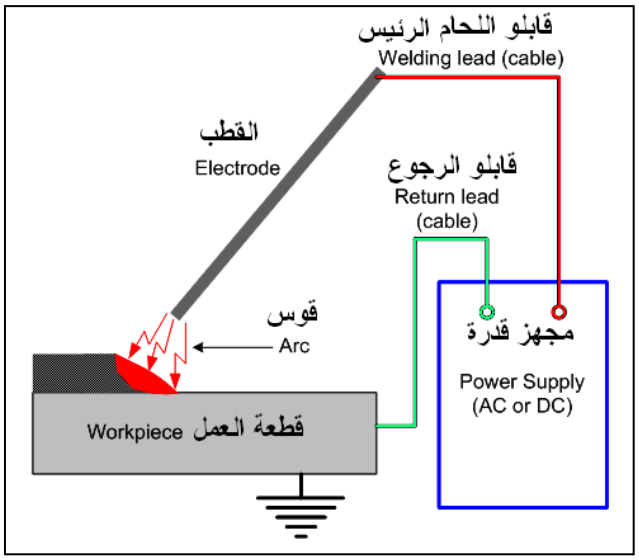
تجري عملية اللحام بإعداد أطراف الأجزاء المراد وصلها بالشكل المطلوب، وتنظيفها جيدا، ثم يسخن موضع اللحام باستعمال مشعل اللحام الغازي حتى ينصهر المعدن المعرض له، وحينئذ يضاف سلك حشو من مادة تشبه المعدن الأصلي على هيئة سلك لحام ينصهر طرفه نتيجة تعرضه للهب الغاز ويختلط مع المعدن المنصهر حتى يمتلئ الفراغ المجهز في منطقة اللحام، يبعد اللهب وتترك وصلة اللحام حتى تتجمد، ويوضح الشكل (5-22) معدات اللحام المتضمنة اسطوانة غاز الأوكسجين واسطوانة (أو جهاز تحضير) غاز الأستيلين مع منظماتها فضلاً عن توصيلات مرنة ومشعل اللحام، الذي يحتوي على صمامات منظمة لنسبة خليط الغازات، ويمكن إجراء عمليات اللحام بعدة أوضاع كاللحام الأفقي واللحام العمودي بحسب موضع قطعة العمل.



الشكل 5-22 : معدات لحام الأوكسي أستيلين.

5-6-2 لحام القوس الكهربائي (Electric Arc Welding)

أحد أهم أنواع اللحام، الذي يستخدم الحرارة الناتجة عن نشوء قوس كهربائي (تفريغ أيوني) بين القطب والجزء الملحوم، وتصل درجة الحرارة إلى $4000\ C^{o}$ 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 المشغولة لإيصال الدائرة الكهربائية، الشكل (5-23)، ثم يبعد القطب بمسافة لا تتجاوز قطر القطب الكهربائي لكي ينشأ القوس الكهربائي، وتجهز الطلقة الكهربائية عن طريق مولد يستطيع إنتاج تيار متردد AC وتيار مستمرDC، (50-500Amps)، بفرق جهد (فولت) ثابت أو متغير، (20- 50 Volts)، ويستخدم اللحام بالتيار المتردد بكثرة نظراً لرخص المعدات اللازمة لعمليات اللحام فضلاً عن قلة الطاقة اللازمة في عمليات اللحام.



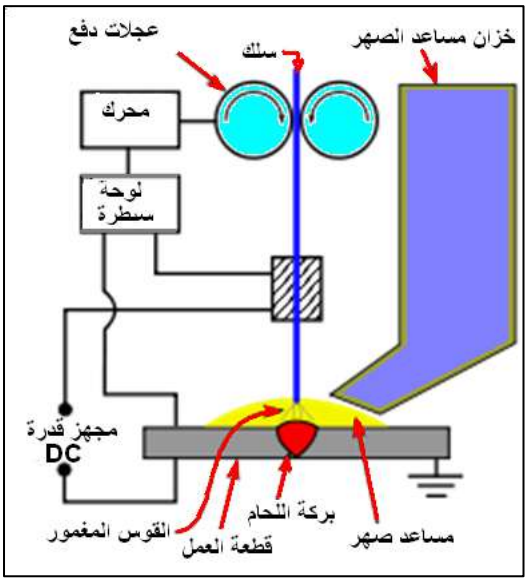
الشكل 5-23 : لحام القوس الكهربائي.

تستعمل أقطاب معدنية من الصلب (سلك اللحام) كمونة (أي مادة ملء) يتراوح قطرها 1-12mm ويصل طولها إلى 500mm، من معدن يتوافق مع المعادن الملحومة ويغطى بطبقة من مساعد صهر 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 الانجاز، أما اللحام اليدوي بأقطاب الكربون فيتم بأقطاب كربونية أو من الكرافيت، وهذه الأقطاب تصنع بأقطار 8-30mm ويبلغ طولها 200-300mm، وعادة تتم عملية اللحام في هذا النوع باستخدام التيار المستمر، ولا يدخل القطب الكربوني كعنصر في تكوين منصهر وصلة اللحام، إذ تتكون وصلة اللحام من انصهار طرفي قطع العمل، ويمكن إضافة معدن حشو عند الحاجة.

من التطبيقات على اللحام بالقوس الكهربائي استعمال طرائق عديدة لعزل منطقة اللحام المنصهرة وتجنب أكسدتها مما يؤثر على متانة وقوة وصلة اللحام، ومن تلك التطبيقات ما يأتي:-

1. لحام القوس المغمور (Submerged Arc Welding)

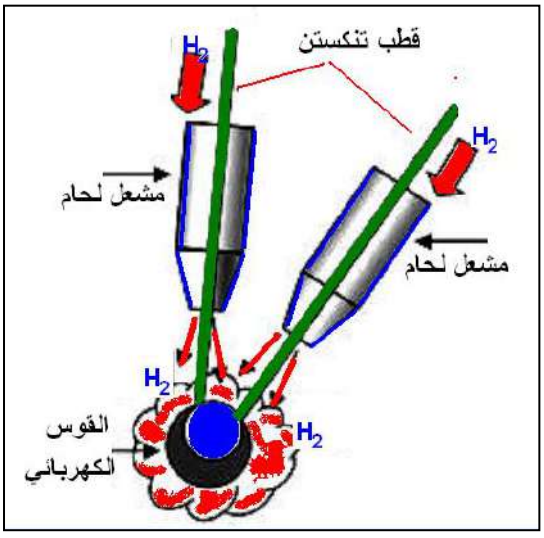
أحدى طرائق لحام القوس الكهربائي التي تستخدم قطبا معدنياً ويحدث فيها القوس الكهربائي وهو مغمور بشكل كامل بمساعدات الصهر، ويكون اللحام المنتج بهذه الطريقة ذا سطح جيد وقليل التأكسد والسطح المجاور لوصلة اللحام نظيفاً من تطاير قطرات المعدن، تستعمل هذة الطريقة في لحام الصلب الكربوني والصلب السبائكي وفي لحام النحاس والألمنيوم ويكون قطب اللحام على شكل سلك معدني بقطر 1.6-6mm يغذى آلياً عن طريق ماكينة خاصة (بسرعة تغذية تناسب سمك خط اللحام)، الشكل (5-24).



الشكل 5-24 : لحام القوس المغمور.

2. لحام الهيدروجين الذري (Atomic Hydrogen Welding)

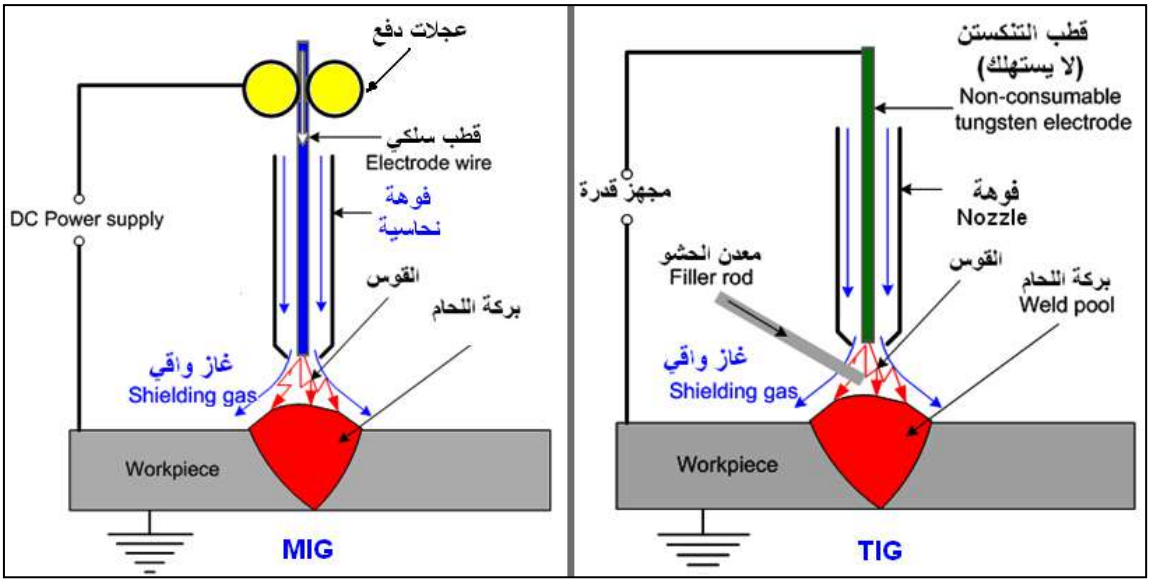
أحدى طرائق لحام القوس الكهربائي يتولد فيها القوس بين قطبي التنكستن (أو الكربون) المحفوظين داخل مشعلين يدخل الى كل منهما تيار من غاز الهيدروجين، وتتم عملية اللحام بتأين بعض جزيئات غاز الهيدروجين عند مروره في منطقة القوس الكهربائي عند طرفي القطبين وتحويلها الى أيونات الهيدروجين الموجبة وتعود هذة الأيونات لتتحد ثانية عند اقترابها من سطح المشغولة لتبعث حرارة عالية في منطقة وصلة اللحام تصل درجات الحرارة إلى°C 4000، الشكل (5-25)، وتقوم هذة الجزيئات بحماية السطح من التأكسد بتكوينها غلافاً حوله أثناء عملية اللحام، وتحتاج هذة الطريقة الى جهد كهربائي عال يكفي لتأين جزيئات الهيدروجين ويضاف معدن حشو لمنطقة اللحام على شكل سلك خارجي، وتستخدم هذة الطريقة في لحام المواد الحديدية او لحام سبائك الألمنيوم.



الشكل 5-25 : لحام الهيدروجين الذري.

3. لحام الغازات الواقية (Gas shield Arc-welding)

أحد أنواع لحام القوس الكهربائي الذي تتم فيه حماية منطقة اللحام من تأثيرات الأوكسجين وعملية اللحام بأستخدام غازات خاملة أو غازات لا تتفاعل مع الأجزاء الجاري لحامها أثناء عملية اللحام، وتكوّن هذة الغازات عند استخدامها ستاراً واقياً لمنطقة اللحام، والغازات الأكثر استخداماً بهذا النوع من اللحام هو غاز الآركون وغاز الهليوم وكذلك يستخدم ثاني أكسيد الكربون لرخص ثمنه، ويتولد القوس الكهربائي في هذا اللحام بين المشغولة والقطب الذي يكون أما من التنكستن أو من الكربون، الشكل (5-26)، ومن تلك الطرائق لحام التنكستن تحت غاز خامل Tungsten Inert Gas Welding(TIG) وفيه يكون قطب اللحام المستخدم من التنكستن الذي لا ينصهر أثناء اللحام ويستخدم معه سلك اللحام الذي ينصهر كمادة حشو (مالئة) ويحاط قطب التنكستن بفوهة لتوصيل غاز الأركون المستخدم غازاً واقياً، وكذلك لحام القوس مع الغاز Gas Metal Arc Welding (MIG) ويغذّي فيها سلك اللحام بشكل مستمر من بكرة بعملية لحام نصف آلية.

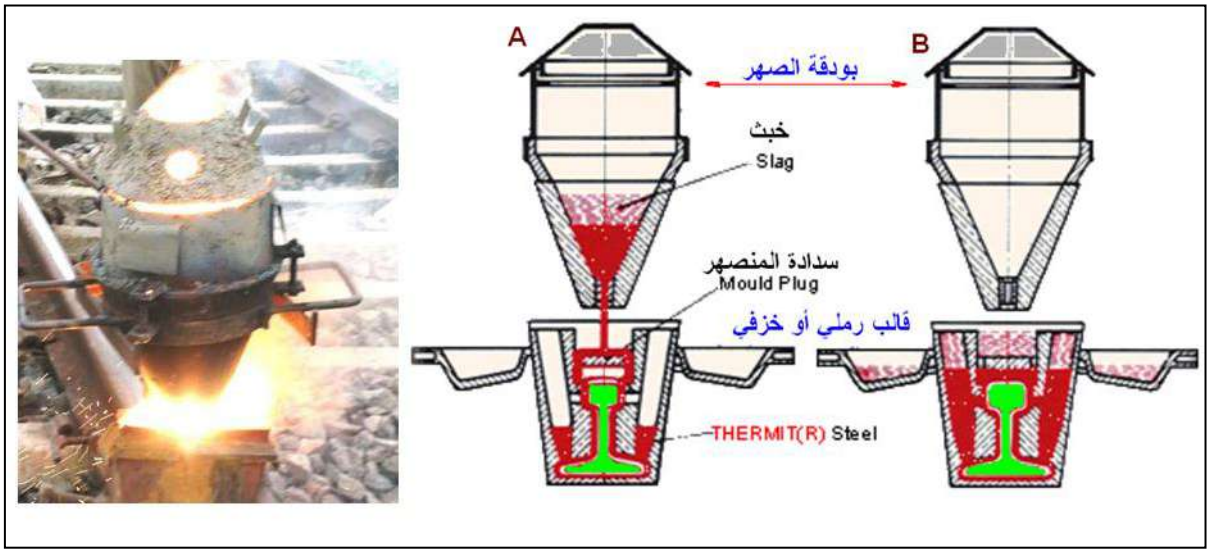


الشكل 5-26 : لحام القوس الكهربائي تحت الغازات الواقية.

5-6-3 لحام الثرميت (Thermit welding)

إحدى طرائق اللحام القديمة والاقتصادية إذا ما قورنت بالأنواع الأخرى، وفيها يتم الحصول على الحرارة اللازمة للصهر من التفاعل الكيماوي بين مساحيق الألمنيوم وأكسيد الحديد (بنسبة وزنية 22% ألمنيوم والباقي حديد) إذ يخلطان في بودقة مبطنة بمادة حرارية ويسخن جزء من هذا الخليط حتى درجة حرارة $1150\ C^o$، ليبدأ التفاعل ويستمر ذاتياً وتكون الحرارة الناتجة من التفاعل بحدود $2500\ C^o$، هذة الحرارة تكفي لصهر الصلب ونزوله من أسفل البودقة الى القالب الرملي (أو الخزفي) الذي يتم تجهيزه مسبقاً، ويعمل ذلك المنصهر كمعدن حشو يصل بين قطع العمل، ويصبح أكسيد الألمنيوم خبثاً

يزال من سطح اللحام، ويستعمل هذا اللحام في توصيل المقاطع السميكة كأطراف قضبان السكك الحديدية وأبدان القاطرات والهياكل البحرية، لميزاته كونه لا يحتاج لمصدر كهربائي كمصدر حراري بل يعتمد على حرارة التفاعل الكيميائي، وقد تسبّب درجة الحرارة العالية تشوهات وتتغيّر في التركيب الداخلي لمنطقة اللحام.



الشكل 5- 27 : لحام الثرميت.

7-5 اللحام بالضغط والحرارة (Heat Pressure Welding)

تعتمد هذه الطريقة على تسخين الأجزاء المراد وصلها باللحام حتى تصل إلى حالة التعجن، ثم تتعرض منطقة التسخين إلى الضغط لربط الأطراف بوصلة لحام، تتميز هذه الطريقة بعدم استخدام مواد حشو، وبالتالي ضمان عدم تغيير التركيب الكيميائي لأطراف وصلة اللحام، وتشمل طرائق اللحام بالضغط والحرارة لحام الحدادة، لحام المقاومة الكهربائية، اللحام بالغاز والضغط ، واللحام بالاحتكاك.

1-7-5 لحام الحدادة (Forge Welding)

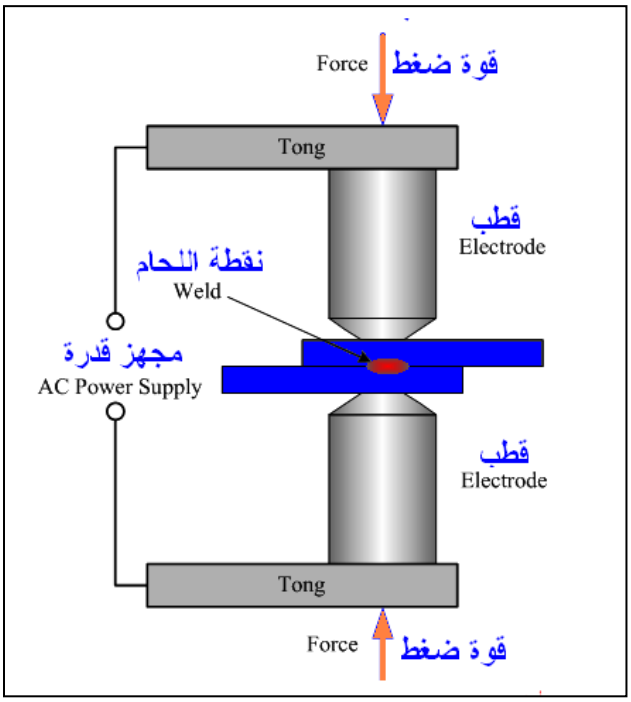
لحام الطرق هو نوع من أنواع اللحام بالضغط والحرارة ويتم عن طريق تسخين المعدنين حتى درجة حرارة معينة ثم طرقهما معا حتى يتم الحصول على لحام متين، وتعد من أقدم عمليات اللحام التي عرفها الإنسان على مدى تاريخه الصناعي وتعد عمليات اللحام الحديثة تطويراً لهذه العملية وتتم باستعمال نفس الوصلات المذكورة (اللحام التراكبي ، اللحام التداخلي، واللحام التناكبي)، ويستخدم كور الحدادة المشتغل بفحم الكوك (أو بأفران غازية أو كهربائية) كمصدر لتوليد الحرارة اللازمة لتسخين الأجزاء المطلوب لحامها، الشكل (5-28)، للوصول بها إلى درجة حرارة التلين (درجة إعادة التبلور) ثم تستخدم المطرقة في طرقات عديدة مختلفة الحدة والثقل طبقا لسمك الجزء المراد لحامه.

الشكل 5-28 : لحام الحدادة.

5-7-2 لحام المقاومة الكهربائية (Resistance Welding)

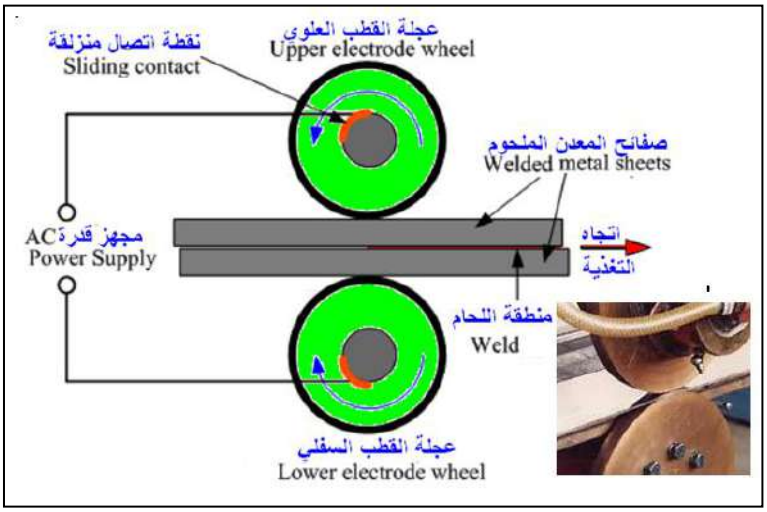
إحدى طرائق اللحام التي يستخدم الضغط فيها الحرارة الناتجة من مرور تيار كهربائي متردد AC عالٍ وشدة جهد منخفضة (فولت) ولفترة زمنية قصيرة تتمركز في الموضع المراد لحامه من الجزء، وتتم عملية اللحام في النقطة الذي ارتفعت حرارتها لدرجة تسمح بضغطها لفترة زمنية محددة بواسطة أقطاب لحام نحاسية يعتمد شكلها وحجمها على طبيعة المشغولات وسمكها والضغط المطلوب، وتعد هذه الطريقة من الطرائق السهلة ولها قدرة إنتاجية عالية وتمتاز أيضا بإمكانية لحام المعادن غير المتشابهة، وفي لحام الألواح الصغيرة السمك للمعادن المختلفة سواء كانت حديدية أو غير حديدية، ومن تطبيقات لحام المقاومة الكهربائية ما يأتي:-

1) **لحام النقطة Resistance Spot Welding (RSW) :** يسري التيار الكهربائي بين قطبين أسطوانيين خلال سطحي قطعتي العمل مع تسليط ضغط عليهما بواسطة نظام ميكانيكي لتوليد الضغط اللازم على الأقطاب، الشكل (5-29)، ويوجد نظام توقيت للتحكم بزمن مرور التيار، وأقطاب اللحام يجب أن تكون مادتها ذات خواص ميكانيكية عالية وتوصيل كهربائي عال بحيث لا تسخن للحد الذي تلتصق بقطعة العمل، ونتيجة لمرور التيار الكهربائي بين قطبي اللحام خلال قطعتي العمل وبسبب كون المقاومة للتيار في سطحي تلامس القطعتين هي أكبر ما تكون لذلك تتولد حرارة عالية في تلك المنطقة تؤدي مباشرة الى تكوين نقطة اللحام التي تسبب ربط القطعتين، ويتم تبريد الأقطاب بإمرار تيار مائي مستمر داخلها.



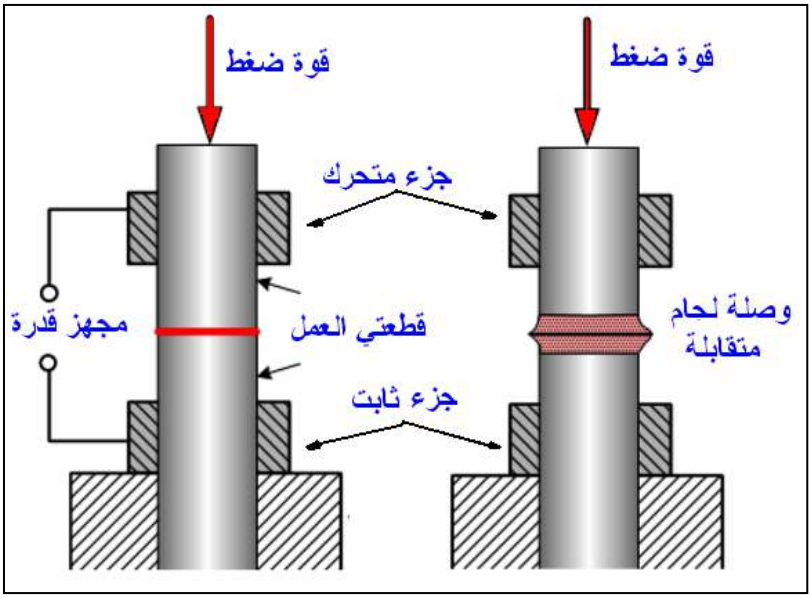
الشكل 5-29 : لحام النقطة.

2) لحام الخط (الدرز) Resistance Seam Welding (RSEW) : مشابه من حيث المبدأ مع لحام النقطة، إلاّ أن أقطاب اللحام تكون على شكل عجلات أو أقراص دائرية، تولد الضغط اللازم لعملية اللحام، ويمرر التيار الكهربائي بينها وهي تدور ببطء أثناء حركة قطع العمل لتكوين خط لحام مستمر ومتصل، وتنظم سرعة الحركة ومقدار التيار عبر مؤقت لفترات زمنية متساوية، إذ تقل كمية الحرارة المتولدة بين الأقطاب كلما زادت سرعة دوران العجلات، الشكل (5-30)، ويستعمل في هذا اللحام ماء للتبريد للتقليل من انحناء الأجزاء الملحومة، إذ تستعمل عند لحام خزانات الزيت والبنزين والماء والأنابيب وعدد من الأجزاء المصنوعة من الصلب والمعادن غير الحديدية.



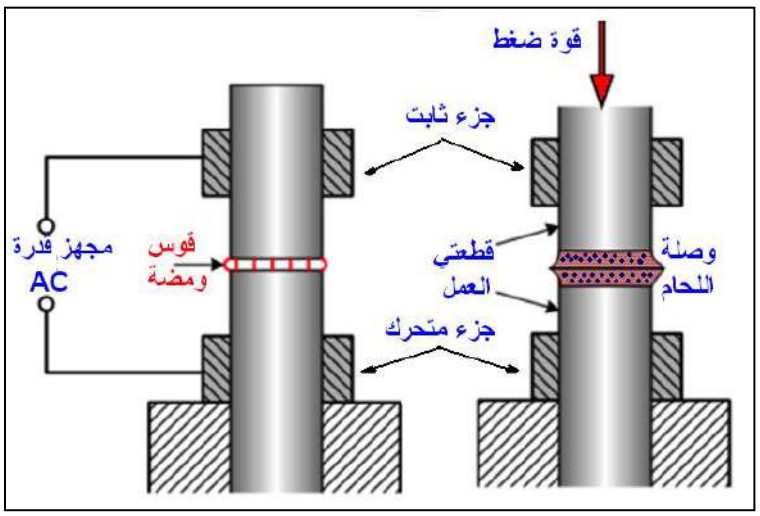
الشكل 5-30 : لحام الخط.

3) لحام التقابل (النتوء) Resistance Butt Welding (UW) : يستخدم في لحام نهايات الأسلاك أو القضبان بضغطها وهي ساخنة بفعل مرور تيار كهربائي عبر منطقة الاتصال المتقابلة (المتناكبة) لتنتج وصلة لحام، الشكل (5-31)، ويمكن تصميم بروزات على أحدى القطع المراد لحامها لتشكل معدن الحشو، وبعد تمرير تيار كهربائي يؤدي الى ذوبان النتوء، ثم تضغط القطعتان لتكوين وصلة اللحام.



الشكل 5-31 : لحام البروز.

4) لحام الومضة Flash Welding (FW) : تقرب أطراف القطع المراد لحامها لفجوة مناسبة ينتج عنها تأين للهواء ومرور تيار عالي الشدة في الفراغ بين القطعتين فيتولد قوس كهربائي أو وميض، الشكل (5-32)، يعمل على رفع درجة حرارة أطراف قطعتي العمل، ثم تضغط القطع بقوة لإتمام عملية اللحام.



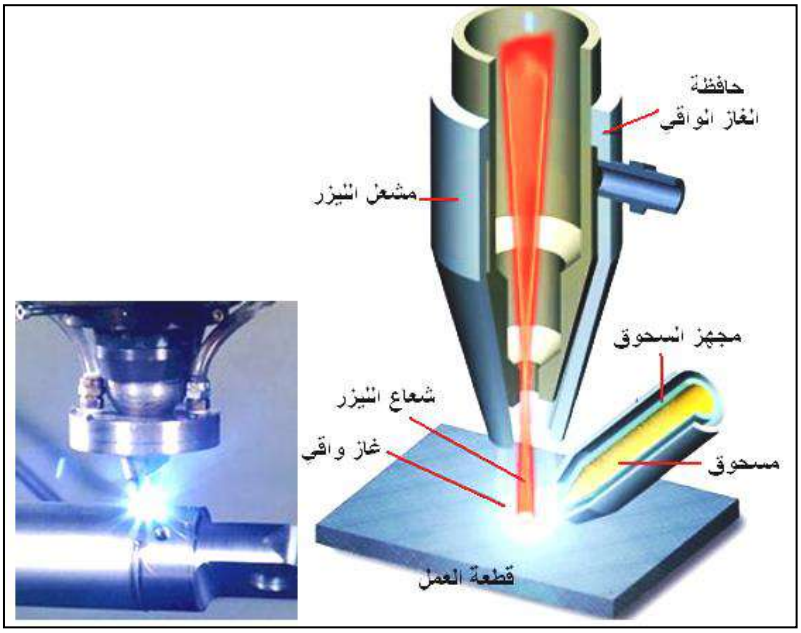
الشكل 5-32 : لحام الومضة.

3-7-5 لحام الضغط بدون استخدام طاقة حرارية (Cold Welding)

من الممكن نظرياً وصل قطعتين من المعدن باللحام على البارد من دون أي تسخين، طالما توجد فترة كافية لإرغام الذرات السطحية على قطع العمل من التقارب بحيث يكون البعد بينها مساوياً للبعد الذري لجزئيات وبلورات المعدن داخل القطعة، ولا توجد حدود لاستخدام هذه الطريقة، إلا أنه يجب أن يتميز المعدن المطلوب وصله بلدونة عالية، ليقاوم الانخفاض في سمكه بسبب الانفعال الذي يحدث أثناء الضغط، وإن تكون القوى اللازمة لإنجاز عمليات اللحام بهذه الطريقة كافية، وكنتيجة للتشويه، فإن طبقة الأكسيد التي تغطّي الأجزاء الملحومة تتكسر لتظهر سطوح نظيفة تسهّل عملية الالتصاق وتقوية الأواصر بين الجزيئات.

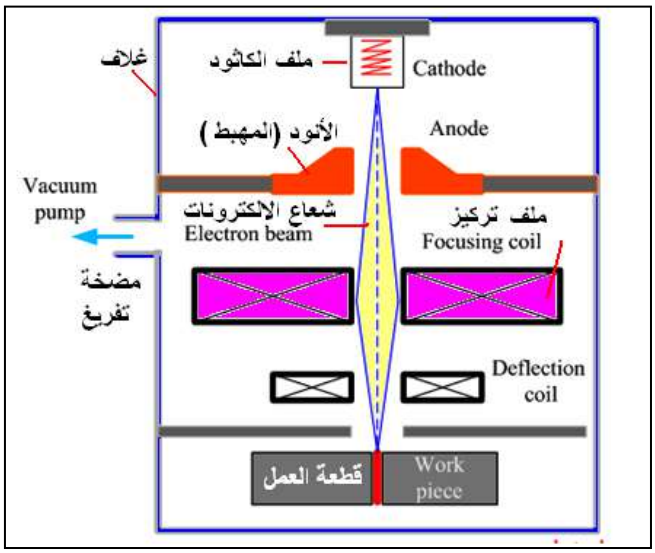
8-5 أنواع اللحام الحديثة

1. **اللحام بأشعة الليزر (Laser Welding) :** يتم الحصول على الطاقة اللازمة لإتمام اللحام بهذه الطريقة من خلال أشعة الليزر إذ يتم تركيز الضوء تركيزاً قويا لمدة لا تزيد عن 10 sec في منطقة معينة، باستعمال مسحوق لمنع انتشار الحرارة، فينتج عن ذلك تولد حرارة عالية جداً ($10000\ C^o$) بتلك المنطقة وبالعمق المطلوب تسبب انصهار المعدن فيتم اللحام، يتبعه انجماد وتبريد سريع لمحدودية منطقة اللحام، الشكل (5-33)، والليزر المستخدم تطلق فيه الطاقة على شكل نبضات متقطعة وليس على شكل شعاع مستمر، ويفضل (أحياناً) استخدام غاز خامل لوقاية منطقة اللحام من التأكسد، ويستخدم هذا النوع من اللحام في مجال الصناعات الإلكترونية وفي لحام القطع الدقيقة.



الشكل 5-33 : اللحام بأشعة الليزر.

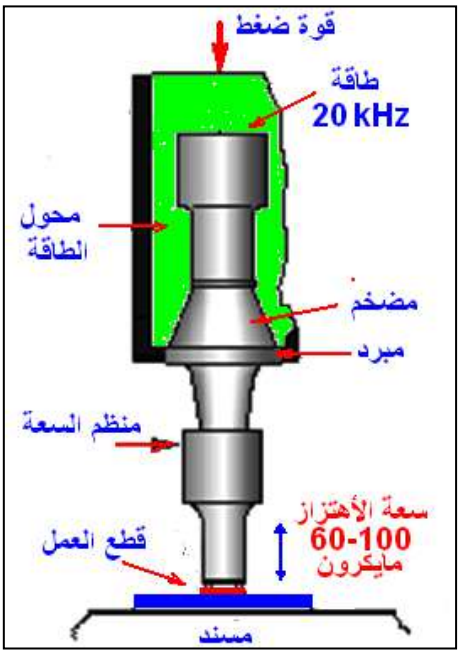
2. **اللحام بحزمة الإلكترونات (Electron Beam Welding):** إن الميزة الأساسية لعملية اللحام بالأشعة الإلكترونية تكمن في استخدام طاقة الإلكترونات التي تتحرك بسرعة هائلة جداً في وسط من الفراغ، وعند اصطدامها بسطح المعدن يتحول الجزء الأكبر من طاقتها الحركية إلى حرارة تستخدم لصهر المعدن، ويتم الحصول على إلكترونات حرة بوساطة مهابط معدنية تصدر هذه الإلكترونات ومن ثم جمعها في حزمة وتسريعها في حقل كهربائي ذي توتر عال بين المهبط والمصعد (Anode, Cathode) بحدود (150kV) ويستخدم الحقل المغنطيسي لتجميع هذه الإلكترونات في حزمة وتركيز اتجاهها نحو منطقة اللحام، الشكل (5-34)، ويحدث التوقف المفاجئ لتيار الإلكترونات أوتوماتيكياً داخل المعدن، ومن الممكن لحام قطع ذات سمك (0.01mm -150mm) من الفولاذ ليصل الى (500mm) من معدن الألمنيوم.



الشكل 5-34 : اللحام بحزمة الالكترونات.

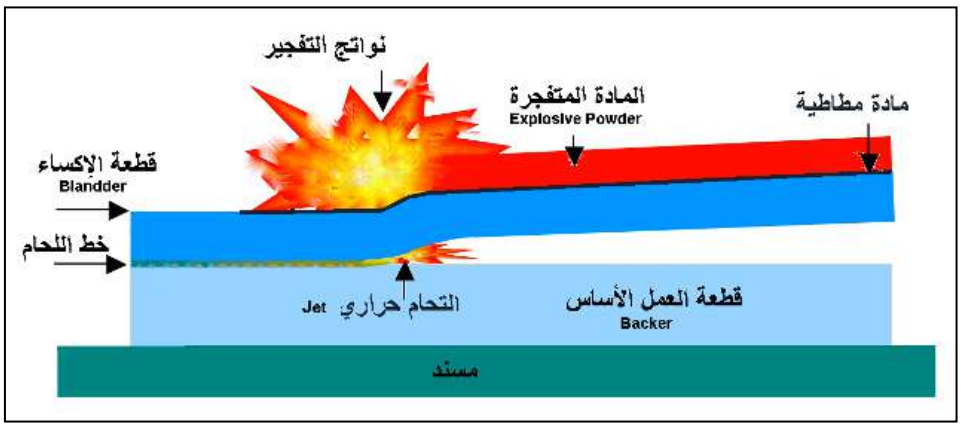
3. **اللحام بالأمواج فوق الصوتية (Ultrasonic Welding):** تتم عملية اللحام تحت تأثير ثلاثة عوامل هي؛ الاهتزازات فوق الصوتية ذات التردد العالي 20 – 40 kHz، الضغط، والتأثير الحراري الذي يرافق عملية اللحام، إذ تكون الأمواج فوق الصوتية مصدراً للطاقة وذلك بهدف إجراء وصلات لحام نقطية أو على شكل درزات، فضلاً عن تحسين الخواص الميكانيكية لوصلة اللحام، لكونها تكسر القشور الطبيعية لسطح المعدن مما يسمح باستخدامها في لحام المعادن التي تعلو سطوحها أكاسد أو طبقات دهان، وتستخدم هذه الطريقة في مجال الصناعات الإلكترونية على نطاق واسع، وفي مجال صناعة اللدائن، إذ يمكن عن طريقها الحصول على وصلات بلاستيكية عالية الجودة، وتتألف آلة اللحام من منبع تغذية بالتيار الكهربائي وجهاز تحكم ونظام اهتزاز ميكانيكي وموصل للضغط. الشكل (5-35)، إذ يقوم نظام الاهتزاز الميكانيكي بتحويل الطاقة الكهربائية إلى ميكانيكية وتوصيل هذه الأخيرة إلى منطقة اللحام

وتركيز هذه الطاقة، ومن ثم الحصول على القيمة اللازمة لسرعة اهتزازات مشع الأمواج، ولا تقل متانة وصلة اللحام بالأمواج فوق الصوتية عن متانة معدن الأساس للوصلة، ولا تتغير متانة وصلة اللحام بازدياد زمن تأثير الأمواج فوق الصوتية.



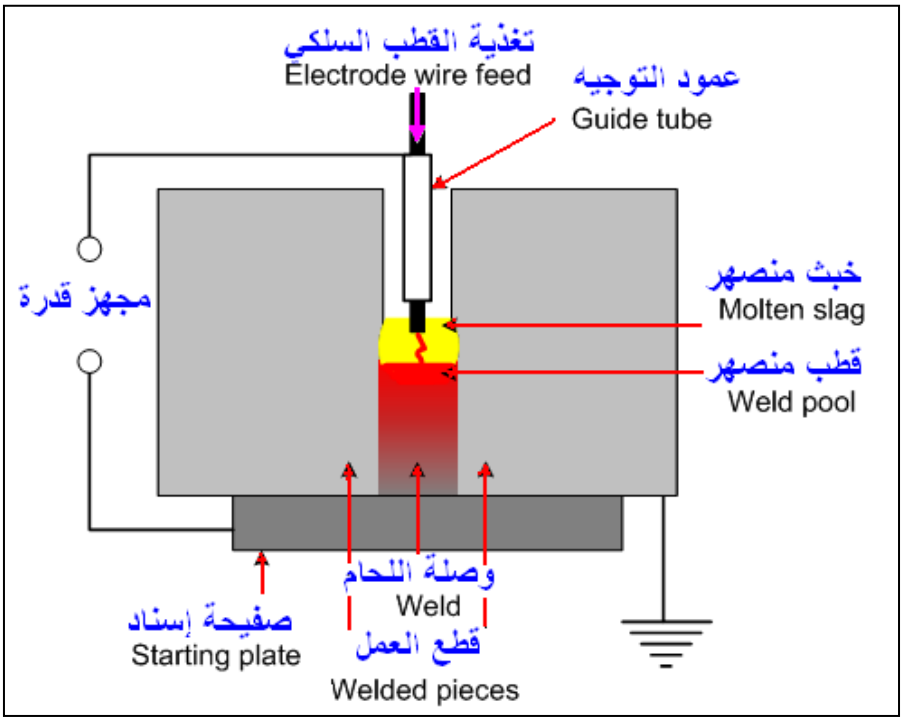
الشكل 5-35 : اللحام بالموجات فوق الصوتية

4. **لحام الانفجار (Explosive Welding):** يحدث اللحام بين سطحي القطعتين المراد لحامها بوساطة اصطدام أحدى القطعتين بالأخرى بسرعة عالية جداً ناتجة عن دفع مواد متفجرة لها، إذ توضع القطعة الأولى على سندان والقطعة الثانية فوقها مائلة بزاوية صغيرة وتغلف القطعة العليا بمواد من المطاط أو البلاستيك لحمايتها من تأثيرات المواد المتفجرة، ويبدأ التفجير بإشعال الفتيل فتندفع القطعة العليا وتصطدم بالأولى بسرعة عالية تصل الى (30-150m/sec) مما يجعل جزء المادة المحصورة في منطقة التصادم يتصرف وكأنه مادة مائعة ذات لزوجة منخفضة مسببا تشابكاً ميكانيكياً إضافة الى اتصال (جزيئي) بين سطحي المعدن.



الشكل 5-36 : لحام الانفجار.

5. لحام الخبث الكهربائي (Electroslag Welding): تتولد الحرارة اللازمة بواسطة مرور تيار كهربائي بين القطب الكهربائي (معدن حشو) ومادة خبث اللحام، إذ يتم ملء الفجوة بين قطعتي العمل بمادة الخبث، ونتيجة درجة حرارة القوس الكهربائي ينصهر مسحوق الخبث ليسخن أسطح قطعتي العمل مكونا بركة لحام لمعدن القطعتين، الشكل (5-37)، وتصل درجة حرارة الخبث المنصهر بحدود $1900C^{o}$، وهذه الدرجة كافية لإذابة القطب الكهربائي وحافات قطعتي العمل، إذ تسقط القطرات المعدنية لمعدن الحشو إلى بركة اللحام وتنضمّ إلى وصلة اللحام، ويطفو الخبث الى السطح عند بداية انجماد المنصهر مكوناً طبقة مانعة للتأكسد.



الشكل 5-37 : لحام الخبث الكهربائي.

9-5 أسئلة الفصل الخامس

1) بين الفرق بين الوصلات الدائمة والوصلات المؤقتة.
2) عرف لوالب الربط، وبين كيفية عمل أنواعها الخمسة، معززاً إجابتك بالرسم التوضيحي.
3) ما هي حلقات التأمين؟ وما هي أنواعها؟
4) ما هي مفاتيح الربط اليدوية؟ وكيف تتلاءم مع متطلبات عمليات الربط المؤقت؟ أعطِ مثالاً لبعض منها.
5) مم تصنع عناصر التوصيل (الخوابير)؟ عدد خمساً من أنواعها مع الرسم التوضيحي.
6) لماذا تعتبر المسامير الإصبعية من الوصلات الدائمة؟
7) البرشمة من عمليات التوصيل الدائمة، ما هي الأدوات اللازمة لانجازها؟ وضح أنواع الوصلات المستعملة، مع الرسم التوضيحي.
8) وضح طريقة ومراحل ربط مسامير البرشمة مع الرسم التوضيحي، ثم بين الأسلوب المتبع لبرشمة القطع صعبة الوصول لأحد جوانبها.
9) عرف اللحام، وبين نظرية إجراءه على المعادن، ثم ارسم مخططا يبين طرائق وعمليات اللحام.
10) وضح مع الرسم التخطيطي أربعة أنواع من الوصلات المستخدمة في عمليات اللحام.
11) ما هو لحام السمكرة؟ وما هي مجالات استخدامه؟
12) اشرح طريقة اللحام بالمونة، مع الرسم التخطيطي لمراحلها.
13) ما هي أنواع اللحام الغازي؟ وما هي العدد والأدوات المستخدمة لانجازه؟
14) ارسم مخططاً يبين المعدات المستخدمة في لحام القوس الكهربائي، ثم بين كيفية عمل وصلة اللحام بواسطة ماكينات اللحام التقليدية.
15) ما الذي يتميز به لحام القوس المغمور، وضح إجابتك بمخطط لمكونات عملية اللحام.
16) ما هي فائدة استخدام الغازات الواقية في اللحام؟ بين ذلك في نوعي اللحام بالتنكستن وقوس الغاز (TIG, MIG)، مع الرسم التخطيطي لمعدات كل منهما.
17) كيف ينجز لحام الثرميت؟ وما هي مجالات استخدامه؟
18) اشرح طريقة لحام الحدادة، مبيناً المعدات اللازمة لإنجازه.
19) عدد أنواع اللحام بالمقاومة الكهربائية، موضحا طريقة عمل كل نوع.
20) اذكر أربعة طرق حديثة في اللحام، مع توضيح نظرية العمل لكل منها.

تم بحمد الله