سلطنة عُمان
وزارة التربية والتعليم

رؤية عُمان 2040 OmanVision

اللحام وتشكيل المعادن

Welding and Fabrication

الصف الحادي عشر · كتاب الطالب · الفصل الدراسي الثاني

الجمعية العمانية للطاقة
Oman Energy Association

الطبعة التجريبية
١٤٤٦ هـ – ٢٠٢٤ م

سلطنة عُمان
وزارة التربية والتعليم

اللحام وتشكيل المعادن

Welding and Fabrication

الصف الحادي عشر · كتاب الطالب · الفصل الدراسي الثاني

الجمعية العمانية للطاقة
Oman Energy Association

الطبعة التجريبية
١٤٤٦ هـ – ٢٠٢٤ م

المغفور لـه
السلطان قابوس بن سعيد
–طيّب اللّه ثراه–

حضرة صاحب الجلالـة
السلطان هيثم بن طارق المعظم
–حفظه اللّه ورعاه–

سلطنة عُمان

الجمهورية الإسلامية الإيرانية
مضيق هرمز
الخليج العربي
بحر عُمان
بحر العرب
الإمارات العربية المتحدة
المملكة العربية السعودية
الجمهورية اليمنية
خصب
بخاء
محافظة مسندم
دبا
مدحاء (سلطنة عمان)
شناص
لوى
ميناء صحار
صحار
مطار صحار
صحم
محضة
البريمي
الخابورة
محافظة شمال الباطنة
محافظة البريمي
السويق
جزر الديمانيات
المصنعة
مطار مسقط الدولي
ميناء السلطان قابوس
السيب
بركاء
مطرح
مسقط
وادي المعاول
بوشر
العامرات
السنينة
ينقل
ضنك
محافظة جنوب الباطنة
نخل
بدبد
سماتل
قريات
محافظة مسقط
الرستاق
عبري
العوابي
محافظة الظاهرة
الحمراء
بهلاء
ازكي
نزوى
دماء والطائيين
محافظة شمال الشرقية
منح
محافظة الداخلية
إبراء
وادي بني خالد
صور
القابل
المضيبي
بدية
أدم
محافظة جنوب الشرقية
الكامل والوافي
جعلان بني بو حسن
جعلان بني بو علي
محوت
مصيرة
محافظة الوسطى
هيماء
ميناء الدقم
الدقم
مطار الدقم
مقشن
الجازر
محافظة ظفار
شليم وجزر الحلانيات
المزيونة
ثمريت
جزر الحلانيات
حيراوت
سلالة
مطار صلالة
طاقة
مرباط
سدح
ميناء صلالة
رخيوت
ضلكوت
52° شرقا
54° شرقا
56° شرقا
58° شرقا
60° شرقا
26° شمالا
24° شمالا
22° شمالا
20° شمالا
18° شمالا
أنتجت بالهيئة الوطنية للمساحة ، وزارة الدفاع، سلطنة عُمان 2018 م .
حقوق الطبع © محفوظة للهيئة الوطنية للمساحة، وزارة الدفاع، سلطنة عُمان 2018 م .
لا يعتد بهذه الخريطة من ناحية الحدود الدولية .
عاصمة
ميناء
مطار
طريق مرصوف
طريق ممهد
الحدود الدولية
0 50 100 150 200 Km

النَّشيدُ الْوَطَنِيُّ

يا رَبَّنا احْفَظْ لنا جَلالَةَ السُّلْطان
وَالشَّعْبَ في الأَوْطان بِالْعِزِّ والأَمان
وَلْيَدُمْ مُؤَيَّدًا عاهِلاً مُمَجَّدًا
بِالنُّفوسِ يُفْتَدى

يا عُمانُ نَحْنُ مِنْ عَهْدِ النَّبي أَوْفِياءُ مِنْ كِرامِ الْعَرَبِ
فارْتَقي هامَ السَّماء وَامْلَئي الْكَوْنَ ضياء
وَاسْعَدي وَانْعَمي بِالرَّخاء

ترتكز مناهج التخصصات الهندسية والصناعية في التعليم المهني والتقني على التطبيق العملي في ورش التدريب المجهزة باشتراطات الأمن والسلامة؛ وذلك وفق إرشادات وخطوات وأسس تقويم مضمنة في الإطار العام للمناهج، والأنشطة العملية، والخطط التدريسية للوحدات الدراسية، ووثيقة تقويم تعلم الطلبة. وتحوي الوحدات المضمنة في هذا الكتاب على المحتوى المعرفي النظري فقط من المنهج.

ألف هذا الكتاب فريق من المتخصصين تحت إشراف الجمعية العمانية للطاقة (أوبال) الشريك الاستراتيجي في تطبيق التخصصات الهندسية والصناعية، وروجع من عدد من المختصين التربويين من وزارة التربية والتعليم، والمديرية العامة للكليات المهنية والكلية المهنية بالسيب (وزارة العمل).

محفوظة جميع الحقوق

جميع حقوق التأليف والطبع والنشر محفوظة لوزارة التربية والتعليم، ولا يجوز الطبع أو التصوير أو إعادة نسخ الكتاب كاملاً أو مجزأً أو ترجمته أو تخزينه في نطاق استعادة المعلومات بهدف تجاري بأي شكل من الأشكال إلا بإذن كتابي مسبق من الوزارة، وفي حالة الاقتباس القصير يجب ذكر المصدر.

الجمعية العمانية للطاقة
Oman Energy Association

جمعية مهنية مرخصة من وزارة التنمية الاجتماعية منذ عام ٢٠٠١م، تضم في عضويتها أكثر من ٥٠٠ مؤسسة تعمل في قطاع الطاقة – والذي يعد أهم قطاع اقتصادي في سلطنة عمان – وتشمل هذه المؤسسات المنتجين والمشغلين والمقاولين والموردين. وتقوم الجمعية بالشراكة مع وزارة العمل ووزارة الطاقة والمعادن وبالتعاون مع المؤسسات والشركات العاملة بالقطاع برصد هيكلة سوق العمل، وتحليل احتياجاته من الكوادر، وبناء القدرات، وتطوير كفاءة الموارد البشرية، وتعزيز الجودة، وبناء المعايير المهنية، وتطوير البرامج التدريبية والتعليمية واعتمادها من وزارة التعليم العالي والبحث العلمي والابتكار.

تقديم

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على خير المرسلين، سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين، وبعد:

يأتي تطبيق التعليم المهني والتقني في مرحلة التعليم ما بعد الأساسي (١١-١٢) استجابة للتوجيهات السامية لحضرة صاحب الجلالة السلطان هيثم بن طارق المعظم -حفظه الله ورعاه- الداعية إلى تطوير التعليم بمستوياته وأنواعه المختلفة، والاهتمام بالمخرجات التعليمية للالتحاق بسوق العمل ومؤسسات التعليم العالي، وتطبيقا لرؤية عُمان ٢٠٤٠ التي أكدت على أهمية إيجاد مناهج تعليمية مواكبة لمتطلبات التنمية المستدامة ومهارات المستقبل، ومعززة للقيم، ومراعية لمبادئ الدين الإسلامي، والهوية العمانية، ومستلهمة من تاريخ عمان وتراثها الثري.

ويهدف التعليم المهني والتقني إلى دعم التنوع في المسارات التعليمية، وإكساب الطلبة المعارف والمهارات المهنية التي تهيؤهم لسوق العمل وتؤهلهم للالتحاق بمؤسسات التعليم العالي، وتنمية اتجاهاتهم وقيمهم المهنية الإيجابية، وتحفيزهم للالتحاق بالمهن المختلفة، وتوفير بيئة جاذبة للتعلم تساعد الطلبة على اكتساب المعارف وتنمية مهاراتهم المختلفة.

وتحرص وزارة التربية والتعليم على تطبيق التعليم المهني والتقني من خلال تحقيق الشراكات مع القطاعات الاقتصادية في كافة مراحل التخطيط والتنفيذ، ويشمل ذلك تحديد التوجهات والمجالات والتخصصات وتحليل الاحتياجات. ويأتي تدريس التخصصات الهندسية والصناعية لطلبة الصفين الحادي عشر والثاني عشر بالتعاون مع قطاع الطاقة ممثلا بالجمعية العمانية للطاقة (أوبال) بصفتها شريكا استراتيجيا في تدريس المواد التخصصية، من خلال عدد من المؤسسات التدريبية الخاصة المعتمدة من وزارة التعليم العالي والبحث العلمي والابتكار.

وقد بُنيت المناهج الدراسية للتعليم المهني والتقني (التخصصات الهندسية والصناعية) استنادا إلى المعايير المهنية الوطنية التي تم تطويرها في ضوء الإطار الوطني للمؤهلات، وإلى قانون التعليم المدرسي في تنظيم مجالات العمل التربوي، ومبادئ فلسفة التعليم المؤكدة على تهيئة الفرص المناسبة لبناء الشخصية المتكاملة للمتعلمين، وتعزيز قيم العمل والإنتاج لدى الطلبة، وصقل مهاراتهم، وتعزيز قدراتهم وميولهم المهنية، وتمكينهم من مهارات ريادة الأعمال والابتكار.

إن هذا الكتاب بما يحويه من معارف ومهارات وقيم واتجاهات يأتي متوافقا مع خصوصية البيئة العمانية والهوية الثقافية للمجتمع العماني، إذ يعدّ مصدرا معرفيا ومهاريا خصبا متضمنا تطبيقات مهنية داعمة لتعلم الطلبة.

سائلة الله العلي القدير لأبنائنا الطلبة التوفيق والنجاح، وتحقيق ما يصبون إليه من تطلعات وآمال؛ لخدمة هذا الوطن العزيز تحت ظل القيادة الحكيمة لمولانا حضرة صاحب الجلالة السلطان هيثم بن طارق المعظم حفظه الله ورعاه.

د. مديحة بنت أحمد الشيبانية
وزيرة التربية والتعليم

المحتويات

تقديم 1

الوحدة الأولى

الأدوات الهندسية

(Engineering Tools) 5

الوحدة الثانية

عمليات القياس

(Measurement Processes) 41

الوحدة الثالثة

مقدمة في المواد الهندسية

(Introduction to Engineering Materials) 69

الوحدة الرابعة

تصنيع المعادن

(Metal Fabrication) 101

الوحدة الأولى

الأدوات الهندسية

Engineering Tools

محتويات الوحدة الأولى

الدرس الأول

أدوات القياس اليدوية (Measuring Hand Tools) 8

الدرس الثاني

الأدوات اليدوية لقطع المعادن (Metal Cutting Hand Tools) 14

الدرس الثالث

الأدوات اليدوية لتشكيل المعادن (Metal Forming Hand Tools) 18

الدرس الرابع

الأدوات اليدوية لربط المعادن وتثبيتها (Metal Fastening Hand Tools) 26

الدرس الخامس

الأدوات الهندسية الكهربائية (Electrical Tools) 33

أسئلة الوحدة 40

أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد دراسة هذه الوحدة أن:

- يتبع قواعد الصحة والسلامة المهنية في الورش التدريبية.
- يُصنف الأدوات الهندسية تبعًا لأنواعها.
- يتدرب على استخدام بعض الأدوات الهندسية اليدوية.
- يُصنف أدوات القطع تبعًا لوظيفتها.
- يُصنف المطارق وفقًا لوصفها.
- يقارن بين مفاتيح الربط حسب شكلها.
- يقارن بين الأدوات اليدوية والأدوات الكهربائية.
- يفهم آلية عمل المثاقيب، والمقصات، والمناشير الكهربائية.
- يلتزم بتدابير السلامة عند استخدام الأدوات الهندسية اليدوية والكهربائية.

ملخص الوحدة

تهدف هذه الوحدة إلى إكساب الطلبة المفاهيم والمعارف المتعلقة بالأدوات المستخدمة في المجالات الهندسية والصناعية، وتمكينهم من فهم الفروقات بينها، وتصنيفها، والمقارنة بينها حسب وصفها ووظيفتها، وتدريبهم على استخدامها باتباع تدابير السلامة المرتبطة بها.

أدوات القياس اليدوية

(Measuring Hand Tools)

تُعرف الأداة اليدوية بأنها الأداة التي تُمسَك باليد، بحيث يطبق المستخدم قوة بدنية دون الحاجة للطاقة الكهربائية، وتستخدم الكثير من الأدوات الهندسية اليدوية (Engineering Hand Tools) **في العمليات الهندسية والصناعية كأدوات القياس، وأدوات تصنيع المعادن** (Metal Fabrication) **(تشمل أدوات القطع، وأدوات التشكيل، وأدوات الربط والتثبيت)، ولكل نوع منها أنواع متعددة، ووظيفة محددة، ويعتمد اختيار هذه الأدوات على نوع العملية، ومتطلباتها، ومهمة العمل المراد تنفيذها.**

الأدوات الهندسية اليدوية

وتستخدم أدوات القياس لجمع البيانات الكمية (Quantitative Data) كالوزن، أو الطول، أو الوقت، أو درجة الحرارة، ومن أنواعها الشائعة الآتي:

أدوات قياس الأبعاد والزوايا
(Linear Dimensions and Angular Measuring Tools)

يُعد قياس الأبعاد والزوايا أحد أهم أساسيات العمل الهندسي والصناعي؛ لأهميته في الحصول على قياسات دقيقة وموثوقة، وفيما يأتي أكثر الأنواع شُيوعًا[1]:

- **المسطرة (Ruler):**

أداة قياس تُستخدم لقياس الأطوال، ورسم الخطوط المستقيمة، وتتوفر بأطوال، وأنواع متعددة لقياس طول الصفيحة المعدنية، ومن أنواعها الآتي:

- **المساطر القابلة للطي (Folding Rule):**

تُستخدم في العديد من التطبيقات الهندسية والميكانيكية لقياس الأطوال والمسافات، وتتكون من عدة أقسام متصلة بمفاصل تسمح بطيها، وتخزينها بسهولة، وتستخدم بشكل شائع في أعمال النجارة، والبناء بسبب مرونتها وقابلية حملها.

- **المربع الفولاذي (Steel Square):**

أداة قياس متعددة الاستخدامات على شكل حرف L، تُستخدم بشكل رئيسي لقياس الزوايا المستقيمة (90°)، والتأكد من استقامة الحواف، والتحقق من التوازي والتعامد بين الأسطح، ويتكون المربع الفولاذي من ذراعين متعامدتين، ومدرجتين بوحدات القياس، إحداهما طويلة وسميكة (Body)، والأخرى قصيرة وأقل سُمكًا (Tongue).

- **مقياس الاستواء (Straight Edge):**

عبارة عن قضيب مسطح من الفولاذ بحواف حادة (Beveled Edge)، ويأتي بمجموعة مختلفة من الأطوال تتراوح بين 1-3 m، ويُستخدم للتحقق من استقامة السطح المعدني، ورسم خطوط مستقيمة طويلة.

[1] ستفصل الوحدة الثانية من هذا الكتاب «عمليات القياس» وبعض أهم الأدوات المستخدمة في ذلك.

■ الفرجار (Divider):

هو أداة يدوية تتكون من ساقين معدنيتين مدببتين (Tapered/Needle Point Legs) يمكن التحكم في المسافة بينهما بدقة وقفلهما بعد ذلك لتثبيت المسافة المرغوبة، ويُستخدم الفرجار لرسم الدوائر أو الأقواس (Circles or Arcs)، ومن أنواعه الآتي[2]:

■ الفرجار الزنبركي/النابض (Spring Divider):

يحتوي على زنبرك بين الساقين، وصامولة محززة (Knurled Nut) لضبط المسافة، ويوجد عدة أنواع منه، مثل: الفرجار الداخلي (Inside Divider) الذي يقيس الأقطار الداخلية، والفرجار الخارجي (Outside Divider) الذي يقيس السمك والأقطار الخارجية.

■ الفرجار المجنح (Wing Divider):

أداة قياس تُستخدم لتحديد المسافات الكبيرة بدقة أو رسم الدوائر الواسعة، ويتميز بتصميمه المزود بجناح معدني (Wing)، ومسمار لضبط المسافة بين ساقيه بسهولة.

■ الفرجار ذو النطاق الكبير (Trammel):

أداة قياس ورسم تتكون من نقطتين قابلتين للإزالة، تُثبت على قضيب مستقيم (Steel Bar or Beam)، وتُستخدم لقياس المسافات بين نقطتين في سطح الصفيحة، أو لرسم الدوائر الكبيرة، أو الأقواس بدقة عالية.

[2] تستخدم بعض أنواع الفراجير كأدوات أساسية في عملية العلام مثلما سيتضح في الوحدة الثانية من هذا الكتاب.

مقياس سمك الصفائح المعدنية (Sheet Metal Gauge)

■ مقياس سمك الصفائح المعدنية (Sheet Metal Gauge):

هو أداة ميكانيكية لقياس سمك الصفائح المعدنية، مثل: الفولاذ، والألمنيوم، والنحاس، ويُعبر عنه عادةً برقم قياس (Gauge Number)، وعند قراءة المقياس يجب الانتباه إلى العلاقة العكسية بين رقم المقياس وسمك الصفيحة؛ أي أنه كلما زاد رقم المقياس زادت رقة الصفيحة فمثلًا: رقم المقياس (20) يُشير إلى صفيحة أرق مقارنة برقم المقياس (10)، إضافة إلى أن سُمك المقياس يختلف حسب نوع المعدن، فمثلًا مقياس (16) من الفولاذ الكربوني يكون أكثر سُمكًا من مقياس (16) من الألمنيوم.

ويوضح الجدول الآتي مقياس سُمك الصفائح المعدنية القياسي بالمليمتر، ورقم المقياس المقابل (Sheet Metal Gauge Chart):

رقم المقياس	السماكة التقريبية بالمليمتر	رقم المقياس	السماكة التقريبية بالمليمتر	رقم المقياس	السماكة التقريبية بالمليمتر
00	8.729	12	2.517	25	0.560
0	7.937	13	2.240	26	0.498
1	7.142	14	1.994	27	0.443
2	6.846	15	1.775	28	0.396
3	6.073	16	1.587	29	0.353
4	5.895	17	1.412	30	0.315
5	5.312	18	1.257	31	0.276
6	4.935	19	1.118	32	0.256
7	4.770	20	0.996	33	0.251
8	3.998	21	0.886	34	0.236
9	3.551	22	0.794	35	0.185
10	3.175	23	0.707	36	0.177
11	2.827	24	0.629		

أدوات القياس الدقيقة (Precision Measuring Tools)

تُستخدم مجموعة من أدوات القياس الدقيقة للغاية لقياس الأعماق والأبعاد والأقطار الداخلية والخارجية لقطع العمل، مثل: الميكروميتر (Micrometer)، والمقياس التلسكوبي (Telescopic Gauge)، والقدمة ذات الورنية (Vernier Caliper)، ومقاييس الخلوص/ الفجوة (Feeler Gauge).

المقياس التلسكوبي
(Telescopic Gauge):
أداة تُستخدم لقياس القطر الداخلي
(Internal Diameter) **للثقوب أو التجاويف.**

- **مقاييس الخلوص/ الفجوة** (Feeler Gauges):

مقاييس الخلوص (Feeler Gauges) هي أدوات قياس يدوية تُستخدم لقياس حجم الفجوات الصغيرة أو المسافات الدقيقة بين جسمين قريبين من بعضهما، التي يطلق عليها «الخُلوص» (Clearance)، وتحتوي على مجموعة من الشرائط المعدنية الرفيعة المُعايرة بدقة (Accurately Calibrated Metal Strips or Blades)، والقابلة للطي (المعروفة أيضًا باسم الشفرات أو الأوراق)، وتكون مدَّرجة بقياسات سُمك محددة، وعادة ما تكون مصنوعة من الفولاذ المرن، أو الفولاذ منخفض الكربون، أو الفولاذ المقاوم للصدأ لضمان الدقة والمتانة، وتستخدم بشكل واسع في التطبيقات الهندسية والميكانيكية، وتوجد بشكل خاص ضمن أدوات إصلاح السيارات وصيانتها، وتأتي بأشكال متنوعة منها الآتي :

- متعددة السماكة التي تحتوي على شرائط بأبعاد مختلفة لتناسب خلوصات متنوعة.
- الفردية المصممة لقياس خلوص معين.
- المدمجة أو المغلفة التي تتميز بسهولة الحمل والاستخدام.

ومن أنواعها الشائعة الآتي :

النوع	الوصف	شكل توضيحي
مقياس الخلوص ذو الأسلاك (Wire Feeler Gauge)	يتكون من سلسلة من الأسلاك المعدنية الدقيقة والصلبة بدلًا من الأوراق أو الشفرات المعدنية المتدرجة، ويُستخدم بشكل شائع في ضبط المحركات، وصيانة الآلات الدقيقة، ويُسمى أيضًا مقياس فجوات شمعات الاحتراق (Spark Plug Gap Gauges).	
مقياس الخلوص ذو الشفرات (Blade Feeler Gauge)	يُعد النوع الأكثر شُيوعًا، ويُستخدم لتحديد الخلوصات الصغيرة بدقة، ويتميز عادة بشرائط معدنية مسطحة، ويستخدم في التطبيقات الميكانيكية والهندسية، مثل: ضبط المحركات، وصيانة المعدات.	
مقياس الخلوص الدقيق (Thin Feeler Gauge)	مقياس دقيق يستخدم لتحديد الخلوصات الصغيرة جدًا، ويتميز بشرائط معدنية فائقة الرقة، ويمكنه قياس الفجوات الرقيقة التي يبلغ سمكها 0.02mm أو أقل، وتُستخدم هذه المقاييس في التطبيقات الحساسة، مثل: صيانة المعدات الدقيقة، وضبط المحركات.	
مقياس الخلوص ذو الزاوية (Angled Feeler Gauge)	يتميز بشفرات معدنية معايرة بدقة، ومصممة بزوايا مائلة لتسهيل الوصول إلى الفجوات في الزوايا أو المناطق الصعبة، لذا يُسمى أيضًا «مقياس الخلوص المائل (Offset Feeler Gauge)»، ويُستخدم بشكل شائع في صيانة المحركات، والمعدات الميكانيكية.	

الدرس الثاني

الأدوات اليدوية لقطع المعادن

(Metal Cutting Hand Tools)

تستخدم مجموعة متنوعة من الأدوات الهندسية اليدوية في عمليات تصنيع المعادن (Metal Fabrication)**، وهي:**

- **أدوات القطع اليدوية.**
- **أدوات التشكيل اليدوية.**
- **أدوات التثبيت والربط اليدوية.**

أدوات القطع اليدوية (Hand Cutting Tools)

تستخدم هذه الأدوات لقطع المعادن والصفائح المعدنية، وإزالة المواد الزائدة منها، وتوجد بأنواع وأشكال متعددة، وتُصنف حسب وظيفتها إلى الآتي:

- **المناشير اليدوية** (Hand Saws):

هي أدوات يدوية تستخدم لقطع المواد المختلفة، مثل: المعادن، والأخشاب، والبلاستيك من خلال تحريك شفرة مسننة (Threaded Blade) ذهابًا وإيابًا على سطح المادة لإجراء عملية القطع، وهناك أنواع متعددة من المناشير اليدوية، أهمها: منشار المعادن (Hacksaw) الذي يُستخدم لقطع القضبان، والأنابيب المعدنية.

- **المبارد (Files):**

هي أدوات قطع يدوية تُستخدم لتشكيل، وتنعيم أسطح المعادن بإزالة كميات صغيرة منها، وتعتمد في عملها على سطحها المسنن للكشط عند احتكاكه بالسطح، ويعد المبرد النصف دائري (Half-Round File)، والمبرد المسطح (Flat File) من الأنواع الشائعة للمبارد.

- **قوالب اللولبة الداخلية والخارجية (Taps and Dies):**

هي أدوات قطع وتشكيل تُستخدم لإنشاء الحواف والثقوب المسننة (Screw Threads)؛ حيث تُستخدم قوالب اللولبة الداخلية (Taps) لإنشاء الأسنان الداخلية (Internal Threads/Female Portion) كالصواميل، وتُستخدم قوالب اللولبة الخارجية (Dies) لإنشاء الأسنان الخارجية (External Threads/Male Portion) كالبراغي.

- **الأزاميل (Chisels):**

هي أدوات يدوية مصنوعة من الفولاذ عالي الكربون، أو سبائك الفولاذ، وتتكون من شفرة حادة متصلة بمقبض، وتُستخدم لنحت الصفائح المعدنية أو البراغي وحفرها، وقطعها عند ضربها بمطرقة، أو الضغط عليها.

■ مقصات المعادن (Metal Snips or Shears):

هي أدوات يدوية تشبه المقصات العادية (Scissors) تُستخدم لقص الصفائح المعدنية، ومن أنواعها الآتي:

النوع	الوصف	شكل توضيحي
المقصات المستقيمة (Straight Snips)	مقصات ذات شفرات مستقيمة، ومقابض قوية تسمح بالتحكم الجيد أثناء قص الصفائح المعدنية بشكل مستقيم، وتأتي بأحجام متعددة لتتناسب مع نوع المعدن وسُمكه.	
المقصات المنحنية (Curve Snips)	مقصات ذات شفرات منحنية تُستخدم للقص المنحني أو الدائري، ويتناسب بعضها مع القطع باليد اليمنى، والبعض الأخرى يتناسب مع القطع باليد اليسرى (Right Hand/Left-Hand Cuts).	
مقصات القصدير (Tin Snips)	مقصات يدوية صغيرة مصممة لقص الصفائح المعدنية الرقيقة بشكل مستقيم أو منحني، مثل: القصدير، أو الألمنيوم.	
المقصات متعددة الاستخدامات (Compound Snips)	أداة تستخدم لقص الصفائح المعدنية بأشكال أو أنماط معقدة، وتُعرف أيضًا بمقصات الطيران (Aviation Snips) لاستخدامها في صناعة الطائرات، وتتميز بتصميمها الذي يوفر دقة وسهولة في الاستخدام خاصة في التطبيقات المعقدة.	
مقصات الزوايا المشقوقة (Slotted Angle Shears)	هي أدوات مصممة خصيصًا لقص الزوايا المعدنية المشقوقة (Slotted Angle)، وتتميز هذه المقصات بشفرات حادة وقوية قادرة على قطع الزوايا المعدنية ذات الشقوق بدقة وسهولة.	

النوع	الوصف	شكل توضيحي
مقصات الزوايا (Angle Shears)	مقصات متخصصة في قطع الزوايا المعدنية وتشكيلها، مثل: الزوايا الحديدية، أو تلك المصنوعة من الألمنيوم، أو الفولاذ، وتُستخدم في تصنيع الهياكل المعدنية، مثل: الأرفف، والدعامات، والإطارات المعدنية.	
مقصات الدائرة (Circle Shears)	مقصات متخصصة في قطع الأشكال الدائرية، أو المنحنية من الصفائح المعدنية بدقة، وتُستخدم بشكل شائع في الصناعات المعدنية والهندسية، مثل: تصنيع الأقراص المعدنية.	
مقصات التحزيز (Notchers)	مقصات يدوية تُستخدم لإنشاء مسافات أو شقوق بشكل طولي على حافة الصفيحة المعدنية.	
آلة المقصلة اليدوية (Manual Guillotine Machine)	آلة تُستخدم للقص المستقيم للصفائح المعدنية الرقيقة التي يبلغ سمكها 3mm وذات الأطوال الكبيرة، وتتكون هذه الآلة من شفرتين حادتين إحداهما في الأسفل والأخرى في الأعلى توضع بينهما الصفيحة المعدنية المُراد قصها عن طريق التحكم بذراع الرفع (Telescopic Hand Lever) التي تحتوي على ثقل موازن في طرفها (Counterweight).	
مقص الذراع (Hand Lever Shear)	تُستخدم هذه الأداة للقص المستقيم أو المنحني للصفائح المعدنية القصيرة ومتوسطة السمك، وتحتوي على شفرتين إحداهما علوية والأخرى سفلية توضع الصفيحة المعدنية بينهما لقصها بالذراع المتحركة التي تحتوي على جهاز قفل (Hand-Lever Locking Device) لمنع الإصابات.	

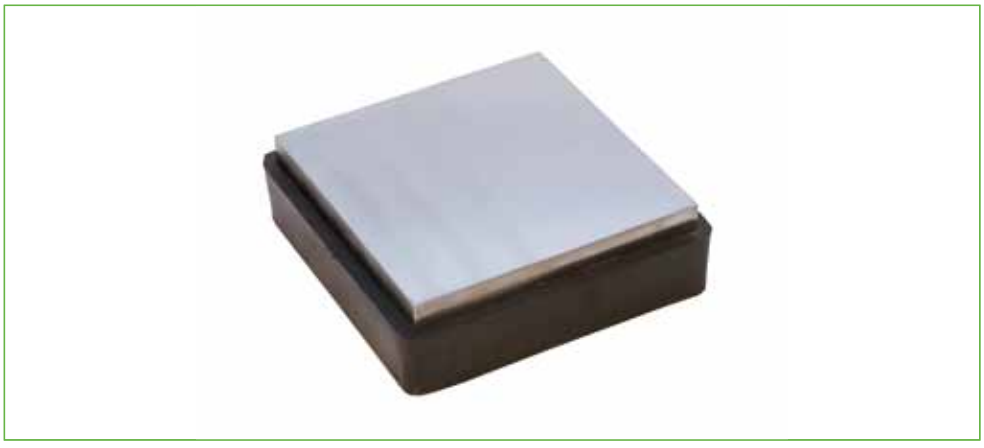
الأدوات اليدوية لتشكيل المعادن

(Metal Forming Hand Tools)

تُستخدم في العمليات الصناعية والهندسية بعض الأدوات اليدوية لتشكيل المعادن، ومن أهمها الآتي:

- **مناضد العمل** (Bench Blocks):

أدوات تُستخدم في ورش العمل لتوفير سطح صلب ومستوٍ يدعم عمليات الطرق، أو تشكيل المعادن الصغيرة.



نماذج من مناضد العمل

- **الماندريل** (Mandrels):

هو عنصر أساسي يُستخدم في عمليات التصنيع والصيانة الهندسية، وتحديدًا في تشكيل المواد المعدنية أو الأنابيب، ويختلف تصميم الأداة واستخدامها حسب المجال، لكنها غالبًا تُشير إلى قضيب أو محور يدخل داخل قطعة العمل لتوفير الدعم أو لتشكيلها بطريقة معينة.

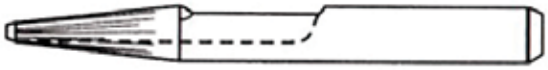
- **ركائز على شكل حرف T (T-Dollies):**

أداة يدوية على هيئة قضيب معدني طويل متصل بقاعدة أفقية على شكل حرف «T»، تُستخدم لتشكيل الحواف، وإنشاء منحنيات دقيقة في الصفائح المعدنية باستخدام المطرقة، أو الضغط اليدوي.

- **المثاقيب (Punches):**

أدوات ميكانيكية تُستخدم لتشكيل المعادن أو ثقبها عند تطبيق قوة ميكانيكية لدفع الطرف الحاد أو المدبب للأداة في المادة المراد معالجتها، ومن أنواعها الآتي:

النوع	الوصف	شكل توضيحي
مثقاب الوخز (Prick Punch)	أداة مدببة من أحد طرفيها بزاوية 30° تقريبا، وتُستخدم لتحديد نقاط العمل الأولية على سطح العمل لاستخدام الفرجار بعدها، وهو مشابه للمثقاب النقطي (Dot Punch) الذي تكون فيه زاوية الطرف المدبب 60°.	
مثقاب المركز (Center Punch)	أداة ذات طرف مدبب بزاوية أكبر من زاوية مثقاب الوخز، عادةً ما تكون 90°، وتُستخدم لتحديد مركز الثقب (Drilling)، وخطوط الثني (Bend Lines) في المعادن الصلبة.	
المثقاب الصلب (Solid Punch)	مثقاب مصنوع من قطعة معدنية واحدة صلبة لإحداث ثقوب صغيرة في الصفائح المعدنية الرقيقة.	

النوع	الوصف	شكل توضيحي
المثقاب المجوف (Hollow Punch)	مثقاب يحتوي على تجويف مركزي لقطع الثقوب الدائرية التي يصل قطرها إلى 10mm أو أكثر، بحيث تكون الزاوية بين الوجهين الداخلي والخارجي للثقب 40 درجة.	
مثقاب الدبابيس (Pin Punch)	أداة تُستخدم لطرق المسامير أو الدبابيس الصغيرة، وإزالتها من الثقوب والمواضع الضيقة.	
مثقاب الإزاحة (Knockout Punches)	مثقاب يستخدم لقطع أو تفريغ الثقوب الكبيرة في المعادن السميكة أو الصلبة.	
مثقاب دواسة القدم (Foot Lever Punches)	مثقاب مثبت على قاعدة تعمل باستخدام دواسة القدم الموجودة في أسفلها لتوفير القوة اللازمة لإحداث ثقوب في المواد الرقيقة ومتوسطة السُمك.	
مثقاب الطرق (Snap Punch)	مثقاب صغير برأس حاد يستخدم لإحداث ثقوب بعد طرقه بمطرقة، أو أداة ثقيلة أخرى.	
مثقاب اليد (Hand Punch)	أداة يدوية صغيرة تُستخدم لإحداث ثقوب في الصفائح المعدنية الرقيقة، وتعتمد على القوة اليدوية عبر الضغط المباشر.	

■ الوتد (Stake):

أداة معدنية ثقيلة على هيئة كتلة صلبة جدًا من الفولاذ، أو الحديد الصلب، بسطح علوي مستوٍ لإجراء عمليات تشكيل المعدن أو ثنيه أو طرقه، ويتميز الوتد بصلابته، وكتلته الكبيرة التي توفر المقاومة الكافية لامتصاص قوى الطرق دون تشوه الوتد نفسه.

وتُعد أوتاد المنضدة (Bench Stakes) من أهم الأنواع المستخدمة في عمليات التشكيل، وتحتوي على قاعدة مصممة للتثبيت على سطح العمل باستخدام مشابك أو براغي، وتأتي بأشكال وتصاميم متنوعة، ومن أهمها الآتي:

النوع	الوصف	شكل توضيحي
وتد القرن الطويل (Blow Horn Stake)	يحتوي على طرفين مدببين مخروطيين أحدهما طويل والآخر قصير، ويُستخدم لتشكيل الصفائح المعدنية إلى أشكال مخروطية، أو مستديرة بعد تثبيته على الملزمة (Vise) أو منضدة عمل (Bench Block).	
وتد المنقار (Beak Horn Stake)	يحتوي على طرف مخروطي مستدير يشبه المنقار، وطرف آخر مخروطي مربع، ويستخدم في تشكيل المنحنيات الصغيرة، والزوايا الدقيقة في الصفائح المعدنية، وثنيها على شكل أسطواني أو مخروطي.	
وتد الفأس (Hatchet Stake)	يتكون من سطح عريض مسطح بأطراف حادة تشبه الفأس، ويستخدم في تشكيل الزوايا والثنيات الحادة في الصفائح المعدنية.	
وتد الهلال (Half Moon Stake)	يتميز بحافة حادة مقعرة تشبه شكل الهلال أو القوس لتشكيل الأشكال المنحنية أو المقعرة في الصفائح المعدنية، وصناعة الأوعية أو المزهريات المعدنية.	
وتد القمع (Funnel Stake)	يحتوي على طرف مخروطي الشكل لتشكيل الصفائح المعدنية إلى أشكال مخروطية أو قمعية، وصناعة الأنابيب المعدنية أو الأقماع.	

النوع	الوصف	شكل توضيحي
وتد التجعيد (Creasing Stake)	يحتوي على طرفين مستطيلي الشكل، أحدهما مسطح، والآخر يحتوي على سلسلة من الأخاديد (Grooved Slots) بأحجام مختلفة، ويُستخدم لإنشاء الطيات، أو التجاعيد الدقيقة في الصفائح المعدنية، وصناعة الحواف المعقدة، والأنابيب ذات الأقطار الصغيرة.	
وتد التنعيم (Planishing Stake)	يتكون من سطح مستوٍ ومستدير لتنعيم الصفائح المعدنية بعد عملية التشكيل الأولية للحصول على أسطح ناعمة وخالية من التجاعيد.	
وتد رأس الحصان (Horse Head Stake)	يتكون من طرفين أحدهما مسطح والآخر منحني إلى الأسفل يشبه رأس الحصان، ويُستخدم لتشكيل المنحنيات الدقيقة، والزوايا المعقدة في قطع العمل الأسطوانية.	
وتد القاعدة (Bottom Stake)	يتكون من قطعة رأسية واحدة ذات نهاية واسعة، ويُستخدم لعملية الثني، أو تشكيل الحواف الدائرية.	
الوتد المجوف (Hollow Mandrel Stake)	هو قطعة معدنية أفقية واحدة، أحد طرفيها مسطح، بينما الطرف الآخر دائري يحتوي على فتحة تسمح للوتد بالانزلاق على البرغي للسماح بتثبيت الوتد على منضدة العمل، ويُستخدم لتثبيت المسامير (Riveting) والتشكيل.	
وتد القالب الصلب (Solid Mandrel Stake)	يتميز بساق مزدوج بحيث يُستخدم الجانب الدائري أو المسطح لإجراء عمليات مشابهة لتلك الخاصة بالوتد المجوف.	

النوع	الوصف	شكل توضيحي
وتد الحواف المزدوج (Double Seaming Stake)	يحتوي وتد الحواف المزدوج على أربعة رؤوس قابلة للاستبدال لتناسب أشكال وأحجام مختلفة من الحواف، وقضيب أفقي به فتحة في أحد طرفيه لإدخال الرؤوس القابلة للتبديل فيه، ويحتوي القضيب على ساق مزدوجة تتيح تثبيت الوتد بطريقة أفقية أو رأسية لتتناسب مع متطلبات العمل لتشكيل الحواف المزدوجة في الصفائح المعدنية الرقيقة.	

- **المطارق** (Hammers):

أداة يدوية تُستخدم لتشكيل المعادن وتنعيمها من خلال تطبيق قوة على الصفيحة المعدنية بالطرق، ومن أنواعها الشائعة الآتي:

النوع	الوصف	شكل توضيحي
مطرقة برأس كروي (Ball Peen Hammer)	مطرقة برأس مزدوج: أحدهما مسطح (Flat Face) لعمليات الطرق، والآخر كروي (Ball Peen) لتشكيل وتنعيم المعادن.	
مطرقة التثبيت (Riveting Hammer)	يُستخدم هذا النوع لتثبيت المسامير المعدنية (Rivets) أو الدبابيس في مكانها عن طريق طرقها بقوة، وتتميز برأس مزدوج، أحدهما مسطح ومربع الشكل بحواف حادة (Beveled Edges) للطرق المباشر على المسمار أو المعدن، والآخر مدبب مزدوج ذو نهايات كروية (Tapered with Rounded End) لتثبيت المسامير.	

النوع	الوصف	شكل توضيحي
مطرقة التسطيح (Setting Hammer)	تستخدم في تثبيت وضبط الأجـزاء الصغيرة أو الحادة، وتتميز برأس مزدوج أحد طرفيه على شكل مربع مسطح (Square Flat Face) لتطبيق قوة ضغط متساوية أثناء التثبيت، والآخر مدبب ذو نهاية حادة (Tapered Peen with Beveled End) لتوجيه قوة الطرق المطلوبة في المناطق الضيقة، وتستخدم في الصناعات الدقيقة، مثل: صناعة المجوهرات، والساعات.	
مطرقة التفريغ والتشكيل (Hollowing or Blocking Hammer)	مطرقة برأسين مستديرين (Domed Faces) دون وجود حواف حادة، وبأحجام مختلفة، وتستخدم لتشكيل الأشكال المجوفة أو المنحنية عند استخدامها مع الأوتاد (Stakes) أو القوالب الخاصة.	
مطرقة الرفع (Raising Hammer)	مطرقة برأسين أحدهما مسطح مستطيل (Oblong Flat Face) ومنحني قليلًا لعمليات الطرق، والآخر منحني أو مائل لتشكيل الصفائح المعدنية على هيئة أشكال منحنية أو ثلاثية الأبعاد حول القوالب، أو الأوتاد عن طريق الطرق التدريجي.	
مطرقة التنعيم (Planishing Hammer)	مطرقة تستخدم لتنعيم الصفائح المعدنية بعد عمليات التشكيل الأولية للحصول على أسطح معدنية ناعمة، وخالية من النتوءات والخدوش.	

النوع	الوصف	شكل توضيحي
مطرقة الطوق (Collet Hammer)	مطرقة خفيفة الوزن، وذات أسطح أسطوانية قليلًا، تُستخدم في تسوية وتنعيم الأشكال الأسطوانية والحلقية المصنوعة من المعادن غير الحديدية دون التسبب في تلفها.	
مطرقة ذات رأس متقاطع (Cross Peen Hammer)	مطرقة برأس مزدوج أحدهما مسطح للطرق، والآخر عرضي أو مدبب لتوجيه المعادن، وتشكيلها بدقة.	
مطرقة ذات رأس ناعم (Soft-faced Hammer)	مطرقة ناعمة الرأس تستخدم لتثبيت الأسطح، أو طرقها أو تشكيلها دون إتلافها، وتشمل المواد المستخدمة للمطارق ذات الرأس الناعم: النحاس الأصفر، والنحاس، والألمنيوم، والرصاص، والخشب، والبلاستيك، والمطاط، وجلد البقر.	

الدرس الرابع

الأدوات اليدوية لربط المعادن وتثبيتها

(Metal Fastening Hand Tools)

تُستخدم أدوات الربط والتثبيت اليدوية لتثبيت جسمين أو أكثر وربطهما معًا بطريقة ميكانيكية، ولها أنواع متعددة، مثل: مفاتيح الربط (Spanners)، **والمفكات** (Screw Drivers)، **والكماشات** (Pliers).

مفاتيح الربط (Spanners)

تُعَد مفاتيح الربط من الأدوات المصممة لشد المثبتات الملولبة كالبراغي والصواميل (Bolts and Nuts) أو إزالتها، وتأتي بأشكال وأحجام متنوعة أهمها الآتي:

نواع مفتاح الربط	الوصف	شكل توضيحي
مفتاح الربط بطرف مفتوح (Open-end Spanner)	أداة ميكانيكية تحتوي على فكَّين مفتوحين بزوايا محددة (غالبًا 15 درجة) بالنسبة لمقبض الأداة، وهو مصمم ليتناسب مع رؤوس الصواميل، أو المسامير ذات الشكل السداسي أو المربع.	
مفتاح الربط الحلقي (Ring-End Spanner)	أداة ميكانيكية تحتوي على نهايتين حلقيتين مغلقتين مع أسنان داخلية لتوفير قبضة قوية وثابتة على البرغي أو الصامولة ذات الشكل السداسي أو المربع.	

نواع مفتاح الربط	الوصف	شكل توضيحي
مفتاح الربط المركب (Combination Spanner)	هو أداة ميكانيكية متعددة الاستخدامات تحتوي على نهايتين مختلفتين: ■ **نهاية مفتوحة** (Open-End): لتثبيت أو فك الصواميل، والمسامير بسرعة. ■ **نهاية حلقية** (Ring-End): توفر قبضة قوية وثابتة على رؤوس الصواميل أو المسامير.	
مفتاح الربط المرن أو القابل للتعديل (Adjustable Wrench/Spanner)	أداة ميكانيكية تحتوي على فك متحرك، يُضبط بسهولة ليتناسب مع الأحجام المختلفة من رؤوس الصواميل والبراغي.	
مفتاح الربط ذو الحركة الترددية (Ratchet Spanner)	أداة شد تُستخدم لفك الصواميل والبراغي أو تثبيتها بتطبيق عزم الدوران في اتجاه واحد فقط، مما يوفر الوقت والجهد مقارنة بمفاتيح الربط التقليدية.	
مفتاح عزم الدوران (Torque Wrench)	أداة ميكانيكية تُستخدم لشد الصواميل أو البراغي بدقة إلى مقدار معين من القوة (العزم) يحدده المستخدم مسبقًا في مقياس العزم المثبت في الجهاز (Torque Wrench)، ويستخدم هذا النوع من المفاتيح في التطبيقات التي تتطلب تحكمًا دقيقًا في مقدار العزم المطبق لضمان إحكام الربط دون إفراط، وتجنب تلف الأجزاء.	
المفتاح السداسي (Allen Key)	أداة ميكانيكية صغيرة على شكل حرف L، تُستخدم لتثبيت أو فك البراغي والصواميل ذات الرأس الداخلي سداسي الشكل (Hexagonal Socket).	

مفكات البراغي اليدوية (Screwdrivers)

مفك البراغي هو أداة ميكانيكية يدوية تحتوي على مقبض (Handle)، وشفره معدنية (Blade) تنتهي برأس مصمم خصيصًا ليتناسب مع شكل فتحة البرغي، وتستخدم لتثبيت البراغي والمسامير والمثبتات الأخرى، أو إزالتها، وتوجد أنواع متعددة منها كالآتي:

نواع مفكات البراغي اليدوية	الوصف	شكل توضيحي
المفك القياسي (Standard Screwdriver)	مفك يدوي ذو شفرة معدنية مسطحة تنتهي برأس مستقيم يتناسب مع فتحة البراغي ذات الرأس المستقيم (Slotted Screws)، وهو النوع الأكثر شيوعًا.	
مفك فيليبس (Phillips Screwdriver)	مفك يدوي برأس متقاطع (على شكل حرف X) مصمم خصيصًا للبراغي ذات الرأس المتقاطع (Phillips Screws)، ويستخدم هذا النوع لتثبيت أو فك البراغي التي تحتاج إلى قوة دوران عالية مع تقليل خطر الانزلاق.	
مفك مزدوج الطرف مع زاوية انحراف (Double-ended Offset Screwdriver)	نوع خاص من مفكات البراغي يتميز بوجود رؤوس على كلا الطرفين مع تصميم منحني أو مائل للرؤوس بالنسبة للمقبض، ويُستخدم للوصول إلى البراغي التي تكون في أماكن ضيقة، أو تلك التي يصعب الوصول إليها باستخدام المفكات التقليدية.	

الكماشات (Pliers)

الكماشة هي أداة ذات فكين (Jaws)، ومقبضين (Handles)، وتستخدم لأغراض الربط والقطع، والثني، ومن أنواعها الشائعة الآتي:

أنواع الكماشات	الوصف	شكل توضيحي
الكماشة المسطحة (Flat Nose Plier)	تتميز هذه الكماشة بفكين مسطحين بهما عدد من الأخاديد الصغيرة (Flat Jaws with Small Grooves)، وتُستخدم بشكل شائع في التطبيقات الدقيقة لتثبيت قطع العمل وثنيها أو إنشاء الزوايا.	
الكماشة المستديرة (Round Nose Plier)	كماشة يدوية تتميز بفكين طويلين مدورين ومدببين، وتُستخدم في تشكيل الأسلاك، والمواد الدقيقة إلى حلقات أو منحنيات.	
كماشة الإبرة (Needle Nose Plier)	هي أداة يدوية دقيقة تُعرف أيضًا بالكماشة ذات الأنف الطويل لأنها تتميز بفكين طويلين ورفيعين جدًّا، وتصنع عادةً من الفولاذ المقوى، وتُستخدم للآتي: ■ الإمساك بالأشياء الصغيرة. ■ الوصول إلى الأماكن الضيقة التي يصعب الوصول إليها بأدوات أخرى. ■ تكوين ثنيات دقيقة في الأسلاك. ■ تحديد نقاط محددة على الأسلاك التي تتطلب تشكيل دقيق. وتُستخدم كماشة الإبرة بشكل شائع في الأعمال الكهربائية، والإلكترونيات، والحرف اليدوية.	

أنواع الكماشات	الوصف	شكل توضيحي
كماشة القفل (Locking Plier)	تُعرف أيضًا باسم كماشة القبضة (Vise-Grip Plier)، وسُميت بهذا الاسم لقدرتها على قفل الفكين في أي وضع بقبضة قوية وثابتة (Work-Holding Clamps)، وتتميز بفكها المنحني ذو الأسنان الصلبة للإمساك بمختلف الأشكال الصغيرة والكبيرة من أي زاوية، إضافة إلى احتوائها على آلية قفل تسمح لها بتثبيت قطع العمل بإحكام دون الحاجة إلى ضغط مستمر باليد.	
الكماشة المفصلية الانزلاقية (Slip Joint Plier)	تتحرك هذه الكماشة بنطاق محدود لإمساك وتثبيت قطع العمل ذات الأحجام الصغيرة.	
الكماشة القابلة للتعديل (Adjustable Plier)	هي أداة متعددة الاستخدامات، تتميز بوجود نابض/زنبرك (Spring) يمكنها من ضبط فكيها وتثبيتهما لتناسب مجموعة واسعة من الأحجام والأشكال، وتُستخدم في الأعمال الميكانيكية والسباكة، والإصلاحات العامة.	

أنواع الكماشات	الوصف	شكل توضيحي
كماشة حلقة الإطباق (Snap Ring Plier)	هي أداة يدوية معروفة أيضًا باسم كماشة الإحكام (Circlip Pliers)، ومصممة لتركيب حلقات التثبيت أو إزالتها (عبارة عن حلقات معدنية صغيرة تُستخدم لتثبيت الأجزاء في مكانها على الأعمدة، أو داخل التجاويف)، وتتكون هذه الكماشة من ذراعين، وفكين (مصممين بدقة لتوسيع أو ضغط الحلقات حسب الحاجة)، ومقبض ضبط، ونهاية فكي الكماشة مصقولة لتسهيل الوصول إلى المساحات الضيقة، وعادة ما تصنع من الفولاذ المقاوم للصدأ، وتتوفر هذه الكماشة بنوعين أساسيين هما: ■ **كماشة تثبيت الحلقات الداخلية (Internal Snap Ring Plier):** تتميز بفكين منحنيين إلى الداخل لتتناسب مع شكل الحلقة الداخلية، وتستخدم عن طريق إدخال أطراف الفك داخل الحلقة، وسحبها إلى الخارج، أو دفعها إلى الداخل. ■ **كماشة تثبيت الحلقات الخارجية (External Snap Ring Plier):** تتميز بفكين منحنيين إلى الخارج لتتناسب مع شكل الحلقة الخارجية، وتستخدم عن طريق وضع أطراف الفك حول الحلقة، وسحبها إلى الداخل، أو دفعها إلى الخارج. وتُستخدم كماشة حلقة الإطباق بشكل شائع في صيانة المحركات والمعدات الميكانيكية.	

تدابير السلامة عند استخدام الأدوات اليدوية

لضمان الاستخدام الفعّال والآمن للأدوات اليدوية يجب اتباع الآتي:

- ارتداء معدات الوقاية الشخصية المناسبة، مثل: نظارات السلامة، والقفازات.
- استخدام الأدوات المناسبة للمهمة.
- اتباع تعليمات استخدام كل أداة.
- الحفاظ على الأدوات الحادة في حالة جيدة.
- تجنب العمل بيدين ملوثتين بالزيت، أو المواد الكيميائية.
- التعامل بحذر مع الأدوات ذات الحواف الحادة والمُدبّبة، وحملها بتوجيه الأجزاء الحادة للأسفل.
- تثبيت قطع العمل باستخدام الملزمة (Vise)، أو المشبك (Clamp).
- تجنب حمل الأدوات في الجيوب.
- تجنب استخدام الأدوات التالفة أو المكسورة.
- تجنب استخدام المبرد من دون مقبض.
- تجنب استخدام مفكات البراغي كأزاميل أو أداة رفع.
- إبلاغ المشرف فورًا في حالة تعطّل أي شيء، أو تعرّضه لخلل، أو كسر.
- تجنب وضع الأدوات والمواد بحيث تتدلى على حافة المنضدة.
- وضع مسافة عند استخدام الأزاميل، والأدوات الحادة الأخرى.
- تجنب الضغط على البراغي بقوة مفرطة، والتأكد من استخدام البرغي المناسب.
- تنظيف الأداة، وإعادتها إلى مكان تخزينها المناسب بعد استخدامها.
- تخزين الأدوات والمواد عموديًّا مع توجيه الأطراف والأجزاء الحادة إلى الأسفل.

الأدوات الهندسية الكهربائية

(Electrical Engineering Tools)

مع التطور في التقنيات الحديثة أصبحت الأدوات الكهربائية جزءًا لا غنى عنه في العديد من المجالات الهندسية والصناعية، وحلت محل الكثير من الأدوات اليدوية؛ حيث تسهل هذه الأدوات إنجاز الأعمال المختلفة بدقة وسرعة، وكفاءة عالية، وتقلل الحاجة إلى الجهد البشري، وتكمن أهم الاختلافات بين الأدوات الهندسية اليدوية والأدوات الهندسية الكهربائية في الآتي:

جوانب المقارنة	الأدوات الهندسية اليدوية	الأدوات الهندسية الكهربائية
مصدر الطاقة	لا تحتاج إلى مصدر طاقة خارجي.	تعتمد على مصادر الطاقة الخارجية، مثل: الكهرباء، والبطاريات، والهواء المضغوط.
الحجم	خفيفة الوزن، وصغيرة الحجم بشكل عام.	تختلف في الحجم والوزن؛ لذلك يكون بعضها ثابتًا، وبعضها الآخر يسهل التنقل بها.
تعدد الاستخدامات	متعددة الاستخدامات لمختلف المهام.	مصممة لمهام محددة، وأقل تنوعًا.
مستوى المهارة	غالبًا ما تتطلب مهارات أساسية لاستخدامها بفاعلية.	تتطلب مهارات وتدريبات محددة للعمل بأمان وكفاءة.
التكلفة	تكلفتها معقولة.	تكلفتها عالية لاستخدامها في المحركات والتقنيات الحديثة.

أنواع الأدوات الكهربائية

تتعدد أنواع الأدوات الكهربائية المستخدمة في المجالات الهندسية والصناعية بناء على طبيعة العمل المطلوب، ومن أهم هذه الأدوات الآتي:

- **المثاقيب الكهربائية** (Electric Drills)

تستخدم المثاقيب الكهربائية لإنشاء ثقوب في قطع العمل المختلفة، وتعمل عن طريق دوران ريش الثقب (Drill Bits) المثبتة في ظرف المثقاب (Jacobs Chuck) بسرعة عالية مع تلامس مباشر بسطح قطعة العمل، وهناك نوعان من المثاقيب الكهربائية هما:

نوع المثقاب	الوصف	شكل توضيحي
المثاقيب الكهربائية السلكية (Corded Electric Drills)	يعمل هذا المثقاب عند توصيله مباشرة بالقابس (Plug) عن طريق سلك، مما يوفر كميات ثابتة ومستمرة من الطاقة الكهربائية التي تُسهل عمل المثقاب لفترات طويلة وبذات الكفاءة.	
المثاقيب الكهربائية اللاسلكية (Cordless Electric Drills)	يتمثل مبدأ عمل هذا النوع من المثاقيب في تخزين الطاقة الكهربائية في بطارية مدمجة بالمثقاب، ويُعاد شحنها عند الحاجة بدلًا من الاعتماد على سلك كهربائي مباشر، مما يجعلها مناسبة للاستخدام في العمليات التي تتطلب نطاقًا واسعًا من الحركة.	

■ مقصات المعادن الكهربائية (Electric Snips and Shears)

هي أدوات كهربائية تُستخدم لقص المعادن وتشكيلها بكفاءة ودقة خاصة الصفائح المعدنية الرقيقة ومتوسطة السُمك، وتعتمد على محرك كهربائي لتشغيل الشفرات أو الأقراص القاطعة، مما يجعلها أسرع وأسهل استخدامًا مقارنة بالمقصات اليدوية التقليدية، ومن أنواعها الآتي:

نوع المقص المعدني الكهربائي	الوصف	شكل توضيحي
آلة المقصلة الكهربائية (Electric Guillotine Machine)	آلة تُستخدم لقطع الألواح المعدنية الرفيعة (حوالي 3 mm) وذات الأطوال الكبيرة؛ حيث تتحرك شفرة القص العلوية عكس اتجاه الشفرة السفلية خلال عملية القطع.	
المقص الكهربائي للصفائح الرقيقة (Electric Tinner's Snip)	تستخدم قص الصفائح الرقيقة بأشكال دائرية أو منحنية؛ حيث تتحرك الشفرة العلوية الصغيرة بسرعة إلى الأعلى والأسفل عن طريق قوة المحرك (Motor Force)، فيُجرى القص عبر الصفيحة من خلال الحركة المستمرة للمقص والتي تُجرى يدويًا.	
آلة القص الهيدروليكية (Hydraulic Shearing Machine)	آلة تُستخدم لقص الصفائح المعدنية الطويلة جدًا، والتي يزيد سمكها عن 10 mm، وتعمل باستخدام محرك كهربائي أو هيدروليكي لتطبيق القوة اللازمة للقص، وتعتمد على شفرة حادة تتحرك عموديًا أو بزوايا محددة لقص المعادن وفق الأبعاد المطلوبة، وتُستخدم في التطبيقات الهندسية وتصنيع المعادن وتشكيلها، وفي الأعمال الصناعية الكبيرة التي تتطلب قطعًا متكررًا ودقيقًا.	

نوع المقص المعدني الكهربائي	الوصف	شكل توضيحي
آلة القص الآلية (Power-Driven Shear Machine)	آلة صناعية تعمل بالطاقة الميكانيكية أو الطاقة الكهربائية، وتستخدم لقص القضبان والصفائح المعدنية ذات الأطوال الكبيرة جدًا والتي يزيد سُمكها عن 10mm، وتتكون هذه الآلة من محرك قوي قابل للتعديل (Adjustable Drive)، وشريط تثبيت هيدروليكي (Hydraulic Hold-Down Bar)، وكذلك جهاز ميكانيكي لضبط فجوة القطع (Cutting Gap Adjusting Device)، وهي سريعة ودقيقة، لذلك تُسهل قطع الكثير من المعادن في المصانع، ولا تتطلب قدرًا كبيرًا من الصيانة؛ لذا فهي فعالة من حيث التكلفة.	
المقصات الهوائية (Air/Pneumatic Shears)	هي أدوات كهربائية تستخدم الهواء المضغوط لتوليد القوة اللازمة لقطع المواد المعدنية، وتعمل المقصات الهوائية من خلال تحويل الطاقة الهوائية إلى طاقة ميكانيكية، فعند الضغط على الزناد، يدخل الهواء المضغوط إلى المقص، مما يدفع المكبس الذي يحرك الشفرات لقص المادة المعدنية. وتستخدم المقصات الهوائية بشكل شائع في الصناعات الهندسية، وتشكيل المعادن نظرًا لكفاءتها وسهولة استخدامها.	

■ المناشير الكهربائية (Electric Saws)

هي أدوات قطع كهربائية تُستخدم لقطع مختلف المواد، مثل: الخشب، والمعادن، والبلاستيك، ومن أنواعها ما يأتي:

نوع المنشار الكهربائي	الوصف	شكل توضيحي
المنشار الدائري (Circular Saw)	منشار مكون من شفرة دائرية مسننة سريعة الدوران، ويُعد مثاليًّا للقطع المستقيم للخشب، أو المعدن، أو البلاستيك.	
منشار المنحنيات والأركت (Jigsaw)	منشار محمول باليد يُستخدم للقطع بشكل مستقيم، أو على هيئة منحنيات، ويتكون من شفرة تتحرك إلى الأعلى والأسفل مع إمكانية تبديلها لتناسب نوع المادة المقطوعة.	
المنشار الترددي (Reciprocating Saw)	منشار كهربائي مزود بشفرة تتحرك حركة ترددية ذهابًا وإيابًا، ويُستخدم في أعمال القطع في المساحات الضيقة.	
المنشار الميتري (Miter Saw)	منشار كهربائي متخصص في القطع الزاوي، وتحوي قاعدة المنشار على ذراع متحركة إلى اليمين أو اليسار؛ بحيث تسمح بتعديل مقاس زاوية القطع بدقة عالية.	

■ آلات الصنفرة (Sanders/Sanding Machines)

هي معدات كهربائية تُستخدم لتنعيم أسطح المعادن والخشب والبلاستيك، وإزالة الطلاء أو الصدأ لتنظيفها من الشوائب، ومن أنواعها الآتي:

نوع الصنفرة	الوصف	شكل توضيحي
الصنفرة بالحزام (Belt Sanders)	تَستخدِمُ حزام صنفرة متحرك لتنعيم الأسطح، وإزالة المواد منها بسرعة.	
الصنفرة المدارية (Orbital Sanders)	آلة تتحرك بصورة اهتزازية دورانية، وتُستخدم للتنعيم النهائي لسطح قطعة العمل.	

■ آلات الصقل/التجليخ (Grinders)

آلة الصقل هي أداة كهربائية تُستخدم لصقل قطع العمل الصلبة، وتنعيمها، وجعلها مستوية عن طريق الكشط (Abrasion)، مثل: المعادن، والخشب، والبلاستيك، والحجر، وتُستخدم بشكل واسع في مختلف الصناعات، مثل: البناء، والتصنيع، والنجارة، والصناعات اليدوية، ومن أنواعها الآتي:

نوع الآلة	الوصف	شكل توضيحي
آلة الصقل ذات الزاوية (Angle Grinder)	هي أداة كهربائية محمولة ذات زاوية قائمة مزودة بقرص صقل، وتستخدم لقطع المعادن وتنعيمها، وإزالة الزوائد، وتلميع الأسطح.	
آلة الصقل النضدية (Bench Grinder)	هي أداة كهربائية شائعة الاستخدام في عمليات التصنيع، تتكون من عجلتي صقل تُثبت على منضدة عمل، وتُستخدم لصقل الأدوات الهندسية.	

تدابير السلامة المتبعة عند استخدام الأدوات الكهربائية

لضمان الاستخدام الفعال والآمن للأدوات الكهربائية يجب اتباع الآتي:

- قراءة دليل إرشادات الشركة المصنعة للأداة الكهربائية المستخدمة؛ إذ يوفر الدليل المعلومات الأساسية حول التشغيل السليم والآمن للأداة، وصيانتها، وتدابير السلامة المرتبطة بها.
- استخدام معدات الوقاية الشخصية المناسبة كأدوات حماية العينين، وواقيات الأذن، وأقنعة الوقاية من الغبار.
- ارتداء الملابس المناسبة، وتجنب الملابس الفضفاضة التي يمكن أن تعلق في الأداة.
- فحص الأداة الكهربائية قبل استخدامها للتحقق من عدم وجود تلف، أو أجزاء مفككة، أو أسلاك متهالكة.
- استخدام الأداة المناسبة للمهمة.
- الحفاظ على مساحة عمل نظيفة ومنظمة لمنع التعثر.
- التأكد من أن الإضاءة مناسبة في موقع العمل.
- تثبيت قطعة العمل بإحكام باستخدام أدوات التثبيت المناسبة.
- فصل الأداة عن مصدر الطاقة عند تغيير الملحقات، أو ضبط الإعدادات.
- إغلاق مصدر الطاقة بعد الانتهاء من المهمة المطلوبة.
- إبعاد الأسلاك في الأجهزة الكهربائية عن الحواف الحادة، ومصادر الحرارة.

أسئلة الوحدة

- ما الفرق بين المساطر القابلة للطي ومقاييس الاستواء؟
- وضح الفرق بين الفرجار المجنح، والفرجار ذو النطاق الكبير.
- سمِّ بعض أدوات القياس الدقيقة.
- ما الفرق بين المقصات المستقيمة والمقصات المنحنية؟
- وضح الفرق بين مقصات الزاوية المشقوقة ومقصات الزاوية.
- وضح المقصود بالماندريل.
- ممَّ تتكون ركائز T؟
- قارن بين مثقاب الدبابيس، والمثقاب الصلب.
- عدّد بعض أنواع المطارق.
- اذكر بعض أنواع الأوتاد المستخدمة في المجالات الهندسية والصناعية.
- وضح الفرق بين مفتاح الربط المرن أو القابل للتعديل ومفتاح الربط ذو الحركة الترددية.
- حدّد بعض تدابير السلامة عند استخدام الأدوات اليدوية.
- قارن بين الأدوات الميكانيكية اليدوية والأدوات الميكانيكية الكهربائية من حيث مصدر الطاقة، والحجم.
- اذكر أنواع المثاقيب الكهربائية.
- ما الفرق بين آلة المقصلة الكهربائية وآلة القص الهيدروليكية؟

الوحدة الثانية

عمليات القياس

Measurement Processes

محتويات الوحدة الثانية

الدرس الأول

علم القياس (Metrology) 44

الدرس الثاني

عدم اليقين (Uncertainty) 48

الدرس الثالث

قياس الزوايا (Angle Measurement) 53

الدرس الرابع

قياس القطع غير المنتظمة والمسافات الطويلة
(Measurement Out Irregular Shapes and Long Distance) 60

الدرس الخامس

وضع العلامات على الصفائح المعدنية (Marking Out Sheet Metals) 62

أسئلة الوحدة 67

أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد دراسة هذه الوحدة أن:

- يفرق بين الوحدات الأساسية في القياس والوحدات المشتقة.
- يفهم الفرق بين القياس المباشر وغير المباشر.
- يقارن بين أنواع الخطأ في مواضع عدم اليقين في القياس.
- يطبق استخدام أدوات قياس الزوايا والمناقل والفرجار في عملية القياس.
- يستنتج قيم عدم اليقين عند تطبيق أدوات القياس.
- يطبق وضع العلامات على الصفائح المعدنية.

ملخص الوحدة

تهدف هذه الوحدة إلى تمكين الطلبة من استخدام أدوات القياس الواردة، واتباع إرشادات استخدامها، وتحديد الفروقات بينها، إضافة إلى إكسابهم المعارف والمهارات المتعلقة بعملية القياس، ومصطلحاتها، وطرقها، وكيفية حساب عدم اليقين، والأخطاء الناتجة عن ذلك، وتدريبهم على كيفية استخدام مقاييس القطع غير المنتظمة والمسافات الطويلة، ووضع العلامات على الصفائح المعدنية.

الدرس الأول

علم القياس

(Metrology)

يُعرف علم القياس/المترولوجيا (Metrology) بأنه علم تطوير أنظمة القياس وتطبيقها وفق معايير عالمية لضمان دقة القياسات والأبعاد، وله ثلاثة عناصر رئيسية، هي:

- **نظام وحدات القياس (Measurement Units System).**
- **مرجعية عملية القياس (Traceability).**
- **عملية القياس (Measurement Process).**

نظام وحدات القياس (Measurement Units System)

توجد وحدات قياس لجميع الكميات الفيزيائية، وتُصنف إلى نوعين حسب النظام الدَولي للوحدات (International System of Units (SI))، وهما:

- **الوحدات الأساسية (Base Units):**

هي الوحدات السبع الأساسية التي تُشتق منها جميع الوحدات الأخرى في علم القياس.

الكمية	الوحدة الأساسية	رمز الوحدة
الطول	متر	*m*
الكتلة	كيلوجرام	*kg*
الزمن	ثانية	*s*
درجة الحرارة	كلفن	*K*
التيار الكهربائي	أمبير	*A*
كمية المادة	مول	*mol*
شدة الإضاءة	قانديلا	*cd*

- **الوحدات المشتقة** (Derived Units):

هي الوحدات المشتقة من الوحدات الأساسية، ومن أمثلتها:

الكمية	الوحدة المشتقة	رمز الوحدة
السرعة (v)	متر/ثانية	m/s
التسارع (a)	متر/ثانية ^{2}	m/s^2
القوة (F)	نيوتن	N
الشغل (W)	جول	J
الضغط (P)	باسكال	Pa

مرجعية عملية القياس (Traceability)

يرتبط مفهوم مرجعية عملية القياس بالمعايرة (Calibration)؛ حيث إن مرجعية القياس لا تتم إلا بعد معايرة أجهزة القياس، وتُعرف المعايرة بأنها تحديد دقة أجهزة القياس بمقارنتها بالمعايير المرجعية المعروفة؛ لتصحيح أي انحرافات عن المعيار، وتقليل أخطاء القياس التي تؤدي إلى زيادة وقت الإنتاج، وارتفاع تكلفته، أما مرجعية القياس (Traceability) فتتبع نتائج معايرة الأجهزة، وربطها بسلسلة متواصلة من القياسات تنتهي بمعيار معترف به دوليًّا، مع مراعاة الآتي:

- تحديد المعدات والأدوات والآلات التي تتطلب معايرة بشكل دوري.
- تأهيل الموظفين وتدريبهم للقيام بعملية المعايرة بكفاءة.
- وضع خطة دورية لمواعيد المعايرة بناء على متطلبات العمل، مثل: البدء في مشروع جديد، أو حدوث أضرار في بعض من الآلات.
- تسجيل النتائج، وتحليلها بعد الانتهاء من عملية المعايرة لضمان الدقة.

عملية القياس (Measurement Process)

يُعرف القياس على أنه تعبير رقمي عن كمية فيزيائية، مثل: الكتلة، والطول، والكثافة، وتتم عملية القياس بطريقتين أساسيتين، هما:

- **القياس المباشر (Direct Measurement):**

هو القياس عن طريق استخدام الأجهزة المتاحة لقياس الأبعاد (Dimensions) والزوايا (Angles)، مثل: القدمة ذات الورنية (Vernier Caliper)، والمسطرة (Ruler)، والميكروميتر (Micrometer)، والمناقل (Protractors)، ومن أمثلة ذلك قياس الطول بالمسطرة.

- **القياس غير المباشر (Indirect Measurement):**

هو قياس الأبعاد والزوايا والخواص الفيزيائية (Physical Properties) الأخرى بالاستعانة بأجهزة قياس مساعدة، مثل: استخدام الفرجار الداخلي لقياس قطر الأنابيب من الداخل، ثم مقارنة نتيجة الفرجار بالمسطرة للحصول على قيمة عددية واضحة.

نتيجة القياس (Measurement Result)

بعد إتمام عملية القياس يجب مراعاة ذكر المعلومات الأساسية المتعلقة بنتيجة القياس كالآتي:

- **القيمة العددية (Numerical Value):**

هي النتيجة الرقمية المتوصل إليها باستخدام أجهزة القياس، التي تعد وصفا دقيقًا للبعد المُقاس، وتصنف النتيجة الرقمية إلى صنفين رئيسين، هما:

  - **أرقام حقيقية عشرية (Decimal Real Numbers):** تمثل كميات متصلة/مستمرة كقياس الطول والسرعة.
  - **أرقام صحيحة (Integer Numbers):** تمثل كميات صحيحة ومنفصلة، مثل: أعداد الأشخاص والعينات.

- **وحدة القياس المناسبة (Measurement Unit):**

هي الوحدات الأساسية والمشتقة المتفق عليها في النظام الدولي لوحدات القياس، التي تستخدم لوصف القيم العددية المحددة.

- **نسبة عدم اليقين (Uncertainty):**

لا تتم عملية القياس بمثالية على الإطلاق؛ فقد يكون هناك اختلاف بين القيمة المُقاسة والقيمة الحقيقية، وهو ما يطلق عليه بعدم اليقين.

العوامل المؤثرة في عملية القياس

تتأثر عملية القياس ونتائجها بخمسة عوامل أساسية تجمع اختصارًا في (S-W-I-P-E)، وتشمل الآتي:

S

- **المعيار** (Standard):

يشمل الأسس، والوحدات، والمبادئ التي يُرجع إليها لضمان دقة القياسات وثباتها.

W

- **قطعة العمل** (Workpiece):

تضم خصائص قطعة العمل، مثل: نظافتها، ودرجة خشونتها، والعيوب المحتملة فيها التي قد تؤثر في دقة القياس.

I

- **الجهاز المستخدم** (Instrument):

تحليل خصائص الجهاز المستخدم للقياس، بما في ذلك دقته، وحساسيته للتأكد من ملاءمته للعملية.

P

- **مُستخدم الجهاز** (Person):

مدى كفاءة مستخدم الجهاز، ومعرفته بأساسيات علم القياس وأدواته المستخدمة.

E

- **الظروف البيئية** (Environment):

دراسة الظروف البيئية المؤثرة في عملية القياس، مثل: درجة الحرارة، والضغط، والرطوبة، وغيرها.

عدم اليقين

(Uncertainty)

يجب أن يكون هناك مقدار من عدم اليقين في عملية القياس؛ فالاختلاف بين القيمة المُقاسة والقيمة الحقيقية أمر متوقع للغاية؛ فقد تكون الأدوات المستخدمة غير سليمة أو طريقة القياس خاطئة؛ لذا ينبغي قبل البدء في القياس معرفة المفاهيم الآتية:

- **الدقة** (Precision):

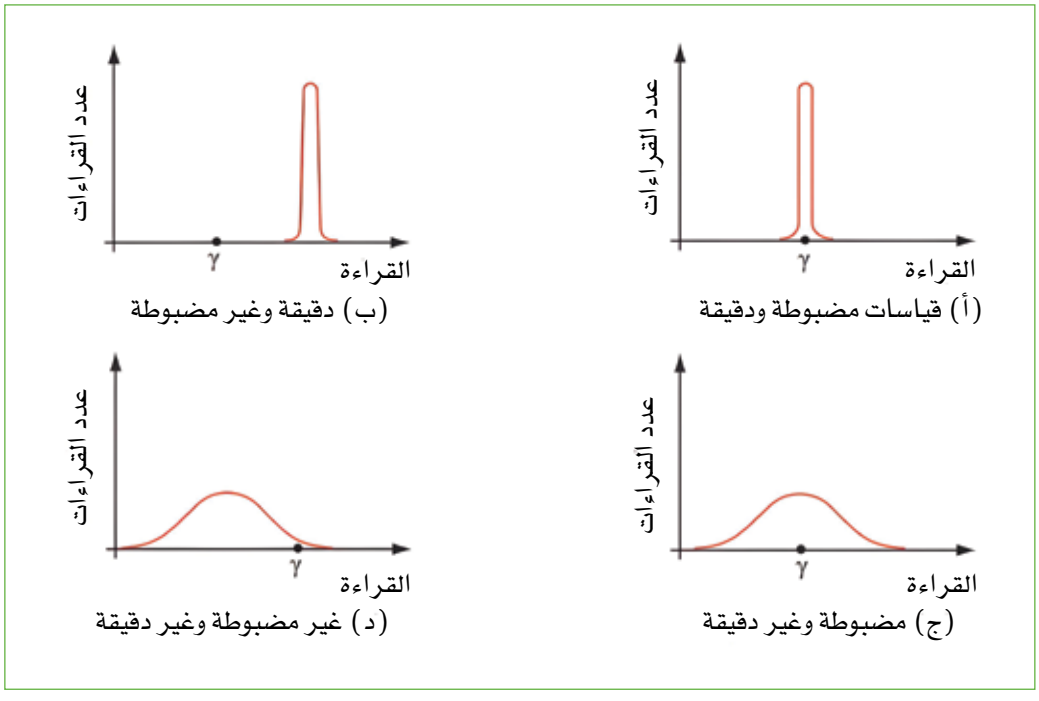
هي مدى اقتراب نتائج القراءات عند تكرار قياس الكمية ذاتها عدة مرات، فتكون دقة القياس عالية إذا كانت القراءات قريبة جدًّا من بعضها.

- **الضبط** (Accuracy):

هو مدى قرب القيمة المُقاسة من القيمة الحقيقية شريطة أن تتم عملية القياس باستخدام أداة واحدة في الظروف ذاتها في كل مرة، دون أي تغيير للموقع أو طريقة القياس.

- **المصداقية** (Trueness):

هي اقتراب القيمة المتوسطة لمجموعة القراءات المأخوذة لكمية ما من القيمة الحقيقية.



الدقة والضبط في القياس

- **المدى (Span):**

هو الفرق بين القيمة القصوى والقيمة الصغرى لنطاق القراءات في أداة القياس، ويُحسب بالمعادلة الآتية:

المدى = القيمة القصوى – القيمة الصغرى

- **حساسية أداة القياس (Sensitivity):**

هي قدرة أداة القياس التقنية على قراءة الإشارة أو الطاقة التي تمر من خلالها، فعلى سبيل المثال عند قياس مقدار الجهد الكهربائي، إذا كانت أدنى قراءة للجهاز هي 3 فولت، فإن حساسية الجهاز تبلغ 3 فولت، أي إن الجهاز لا يستطيع قراءة أي جهد أقل من هذه القيمة.

- **الدقة التفصيلية/الاستشعار (Resolution):**

تشير إلى أقل تغيير يمكن للجهاز استشعاره أو أدنى قيمة يمكنه قراءتها، ويُعرف ذلك أيضًا باسم التدرُّج المحسوب (Least Count)، أما النطاق الميت (Dead Band) فهو المجال الذي لا يتمكن الجهاز من قياس الإشارات ضمنه.

وينبغي اختيار الأجهزة بعناية في أي عملية قياس، بحيث تتناسب دقة استشعارها مع الدقة المطلوبة، فلا يفضل استخدام جهاز عالي الاستشعار في القياسات التي لا تتطلب دقة عالية، والعكس صحيح.

- **قابلية النسخ (Reproducibility):**

تشير إلى إمكانية أداة القياس من إعطاء النتائج ذاتها عند إجراء عملية القياس عدة مرات بطريقة القياس ذاتها وبنفس الأداة في ظروف مختلفة، مثل استخدام أداة لقياس طول جسم ما في ظروف بيئية مختلفة (كدرجة الحرارة أو الرطوبة) وكانت النتائج متسقة، فيعني ذلك أن أداة القياس تتمتع بقابلية نسخ عالية.

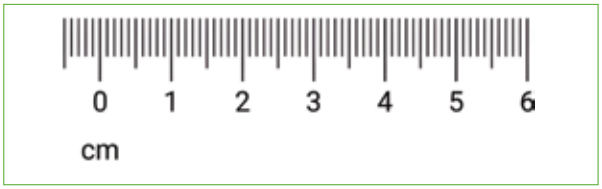
مواضع عدم اليقين

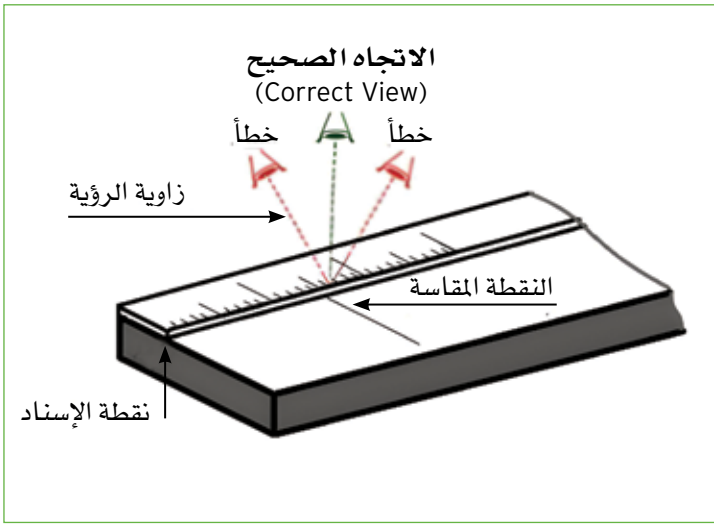
يمكن أن يظهر عدم اليقين في المواضع الآتية:

- **الخطأ النظامي (Systematic Error):**

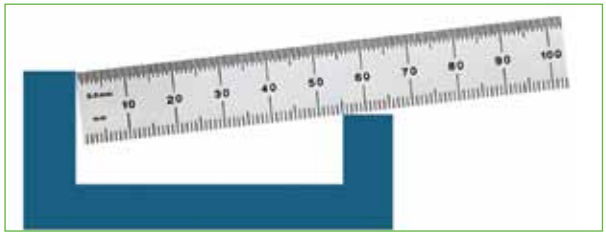
يُعرف الخطأ النظامي بأنه الخطأ الثابت أو المتكرر الذي يؤثر في القياسات المقروءة بالمقدار والاتجاه ذاته، شريطة أن تكون القياسات المقروءة أكبر أو أصغر من القيمة الحقيقية، ومن أهم مصادر الأخطاء النظامية الآتي:

- وجود عيوب بأداة القياس، مثل: شريط قياس متمدد، أو ميزان غير مضبوط القياسات.
- الظروف البيئية المختلفة خاصة التغير في درجة الحرارة.
- عدم معايرة أدوات القياس الرقمية على الصفر قبل استخدامها، وهو ما يطلق عليه بالخطأ الصفري (Zero Error)، ويبين شكل المسطرة أدناه عدم وجود الصفر في بداية أداة القياس؛ فصفر المسطرة هنا هو (+0.1 cm).

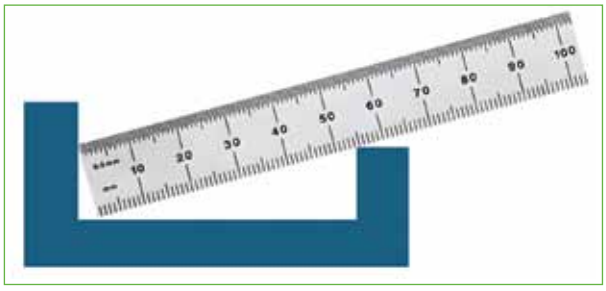




خطأ زاوية الرؤية



خطأ المحاذاة



خطأ الموضع

■ الخطأ العشوائي (Random Error):

هو الخطأ الذي لا يكون ضمن نمط معين عند تكرار القياس في الظروف ذاتها؛ حيث تكون القياسات تارة أعلى من القيمة الحقيقة، وتارة أخرى أقل منها؛ بمعنى آخر: لا يتكرر مقدار الخطأ في القياس ذاته عند تكرار عملية القياس، ويعالج ذلك بأخذ المتوسط الحسابي لعدد من القياسات، ومن أهم مصادر الأخطاء العشوائية الآتي:

1- **خطأ زاوية الرؤية (Parallax Error):**
هو أخذ القياسات لجسم من جهتين متناظرتين.

2- **خطأ المحاذاة (Misalignment Error):**
هو أخذ قياسات غير صحيحة بسبب تغيير موضع أداة القياس بالخطأ.

3- **خطأ الموضع (Position Error):**
هو أخذ قياسات غير صحيحة بسبب استخدام أداة القياس بطريقة خاطئة.

هناك اختلاف بين معنى الخطأ (Error)، وعدم اليقين (Uncertainty) فالخطأ هو المشكلة التي تؤدي إلى اختلاف القيمة الحقيقية للقياس، أما عدم اليقين فهو مدى من القياسات التي يتوقع أن تكون من ضمنها القيمة الحقيقة.

حساب عدم اليقين

إن أبسط طريقة لحساب قيمة عدم اليقين هي عن طريق إيجاد الفرق بين القيمة المُقاسة والقيمة الحقيقية، وكلما قل الفرق بين القيمة المقاسة والقيمة الحقيقية زادت دقة القياس.

مثال (1)

قيسَ طول كتاب باستخدام مسطرة، وكانت القراءة المقاسة له (22.3 cm)، والقيمة الحقيقية لطوله حسب المواصفات الموضوعة هي (23 cm)، فإن قيمة عدم اليقين هي:

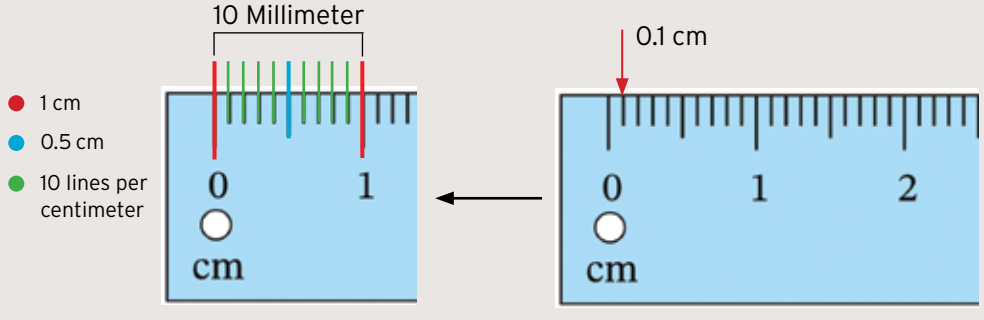
القيمة المقاسة	القيمة الحقيقة	قيمة عدم اليقين
22.3 cm	23 cm	القيمة الحقيقة − القيمة المقاسة = 23 − 22.3 = 0.7

أما في حالات عدم معرفة القيمة الحقيقية للقياس، فتحسب قيمة عدم اليقين بطريقتين، هما:

1. **إيجاد قيمة عدم اليقين بمعلومية أصغر تدريج رقمي في أداة القياس.**

مثال (2)

أوجد قيمة عدم اليقين في المسطرة المترية الموضحة أدناه:



إن أصغر تدرج رقمي موجود في المسطرة بعد الصفر هو 0.1 cm، وعليه يكون هو قيمة عدم اليقين للقياس.

2 **إيجاد قيمة عدم اليقين بتكرار عملية القياس، وحساب نصف مدى القيم التي حُصل عليها باستخدام المعادلة الآتية:**

$$\text{قيمة عدم اليقين} = \frac{\text{القيمة الدنيا} - \text{القيمة القصوى}}{2}$$

مثال (3)

قيسَ طول كتاب مدرسي 6 مرات على التوالي باستخدام مسطرة، وحُصل على القراءات الآتية بوحدة (cm) 22.1، 22.1، 22.2، 23.6، 22، 23.5 فأوجد طول الساق، ومقدار عدم اليقين.

1. **حساب المتوسط الحسابي للقيم:**

$$\frac{23.5 + 22 + 23.6 + 22.2 + 22.1 + 22.1}{6} = 22.58 \text{ cm}$$

2. **حساب قيمة عدم اليقين (نصف مدى القيم):**

$$\text{قيمة عدم اليقين} = \frac{23.6 - 22}{2}$$

$$\text{قيمة عدم اليقين} = 0.8 \text{ cm}$$

3. **التأكد من أن قيمة عدم اليقين الظاهرة في الخطوة السابقة أكبر من قيمة أصغر تدرج في المسطرة وهو** (0.1 cm)

4. **يستنتج أن طول الكتاب يعبر عنه بالصيغة الآتية:** (22.58 ± 0.8)

■ النسبة المئوية لعدم اليقين

يُعبَّر عن مقدار عدم اليقين في القياسات باستخدام النسبة المئوية، وذلك باستخدام المعادلة الآتية:

$$\text{النسبة المئوية لعدم اليقين} = \frac{\text{قيمة عدم اليقين}}{\text{القيمة المقاسة}} \times 100\ \%$$

مثال (4)

قيسَ طول سُلَّم خشبي باستخدام الشريط المتري، فكان طوله (4 m)، وتقدر قيمة عدم اليقين بـ (0.3 m). فإن نسبة عدم اليقين:

$$= \frac{0.3}{4} \times 100$$

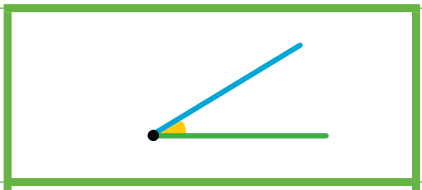
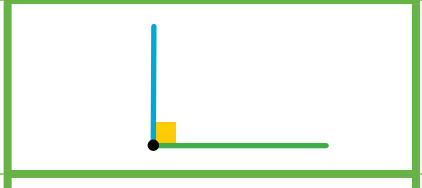
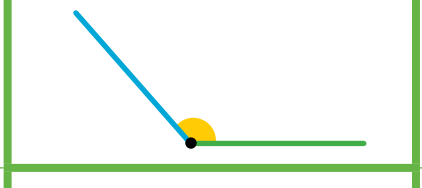
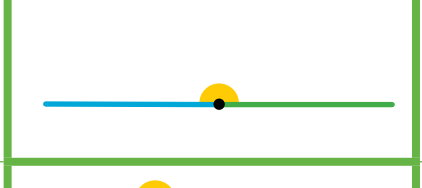
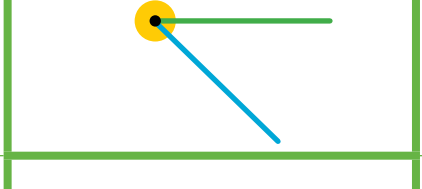
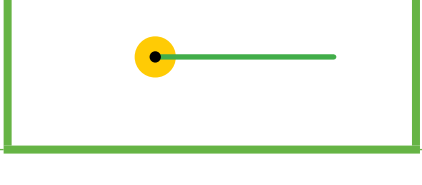
$$= 7.5\ \%$$

ويعبَّر عنها كالآتي: $(4 \text{ m} \pm 7.5\ \%)$

قياس الزوايا

(Angle Measurement)

تعد عملية قياس الزوايا من العمليات الأساسية في الهندسة الميكانيكية (Mechanical Engineering)؛ حيث تُسهم في ضمان الدقة والاتساق في تشكيل المعادن، وتصنيع الأجزاء والآلات، وتُعرّف الزاوية (Angle) على أنها شكلٌ هندسيٌ (Geometrical Shape) يتكون من التقاء خطين مستقيمين في نقطة مشتركة تسمى رأس الزاوية (Vertex)، ويطلق على هذين الخطين اسم شعاعين أو ضلعين (Rays/Arms)، وتسمى الزوايا باستخدام ثلاثة أحرف؛ حيث يُكتب حرف عند نهاية كل ضلع أو شعاع، ويُكتب الحرف الثالث عند رأس الزاوية، مما يسهل قراءة الزوايا والتعبير عنها، ومن أهم أنواع الزوايا الآتي:

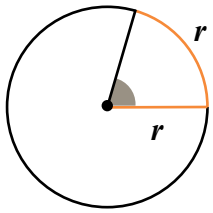
الزاوية الحادة (Acute Angle)		هي الزاوية التي يكون قياسها $90° > x > 0°$
الزاوية القائمة (Right Angle)		هي الزاوية التي يكون قياسها $90°$
الزاوية المنفرجة (Obtuse Angle)		هي الزاوية التي يكون قياسها $180° > x > 90°$
الزاوية المستقيمة (Straight Angle)		هي الزاوية التي يكون قياسها $180°$
الزاوية المنعكسة (Reflex Angle)		هي الزاوية التي يكون قياسها $360° > x > 180°$
الدورة الكاملة (Revolution)		قياس الدورة الكاملة $360°$

وحدات قياس الزوايا

- **في النظام البريطاني تستخدم وحدة الدرجة (degree (°))** للتعبير عن قياس الزاوية، وهي الوحدة الأكثر شيوعًا لقياس الزوايا؛ حيث تُقسم الدورة الكاملة حول رأس الزاوية إلى 360 درجة، وتعرف أجزاء الدرجة بالدقائق (Minutes)، وأجزاء الدقائق (′) بالثواني (″) (Seconds).

$1^\circ = 60'$
$1' = 60''$
$1^\circ = 60' = 3600''$

- **في النظام المتري تستخدم وحدة الراديان (Radians)** للتعبير عن قياس الزاوية، إذ إن راديان واحد هو قياس الزاوية التي تقع عند مركز الدائرة (رأس الزاوية)، والمقابلة لقوس طوله يساوي نصف قطر الدائرة (Radius (r)).



التحويل بين وحدات قياس الزوايا

- لتحويل قياس الزاوية من وحدة القياس الدرجة إلى وحدة الراديان تُستخدم المعادلة الآتية:

$$\text{radians} = \text{degree} \times \frac{180}{\pi}$$

- لتحويل قياس الزاوية من وحدة الراديان إلى وحدة وحدة الدرجة تُستخدم المعادلة الآتية:

$$\text{degree} = \text{radians} \times \frac{\pi}{180}$$

أدوات قياس الزوايا

هناك عدد من أدوات قياس الزوايا تتمثل في الآتي:

- **المساطر المربعة/القائمة (Square Rulers)**

هي عبارة عن مساطر فولاذية دقيقة مصنوعة من جزأين، هما: القاعدة (Base)، والنصل (Stock)، وتأتي بأحجام مختلفة مع أطوال نصال تتراوح من (50mm – 900mm)، والمسطرة دقيقة على كُلٍّ من الحواف الداخلية والخارجية، وتستخدم عادة للتأكد من مقاس الزاوية القائمة (90°)، ولكن بعض أنواعها وخاصة الزوايا المركبة (Try Squares) تتضمن قياس زاوية إضافية قياسها 45 درجة.

قياس الزاوية القائمة بالمسطرة القائمة

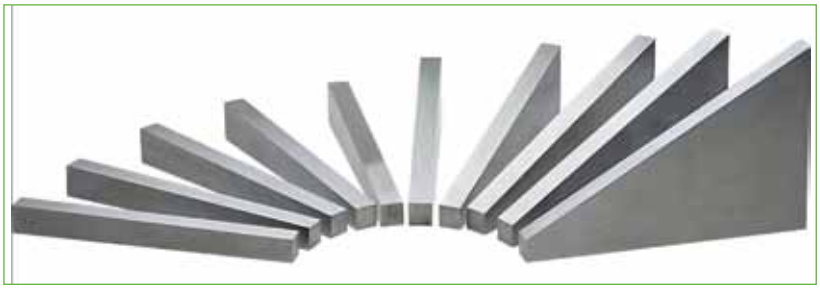
- **ميزان الماء/ ميزان التسوية** (Water Level or Spirit Level)

أداة تتكون من أنبوب زجاجي أو بلاستيكي مملوء بسائل غالبًا ما يكون كحولاً أو زيتاً أو فقاعة هواء، تستخدم للتأكد من أن الأسطح الأفقية مستوية ورأسية تماما.

ميزان الماء

- **كتلة الزاوية** (Angle Block)

أداة دقيقة معروفة أيضا باسم كتلة الزوايا الدقيقة أو كتلة قياس الزاوية، تتكون من كتلة معدنية صلبة بزوايا ثابتة ودقيقة، وتستخدم لضبط الزوايا، وقياسها بدقة عالية.



كتل الزوايا

- **ميزان الجيب** (Sine Bar)

هو أداة تتكون من عمود صلب يرتكز على أسطوانتين متوازيتين عند الأطراف ومتساويتي الأقطار، وتستخدم في الهندسة الدقيقة لقياس وتحديد الزوايا بدقة عالية في ورش العمل والمختبرات الهندسية لضبط الآلات أو التحقق من زوايا الأجسام، وزاوية ميل الأعمدة، وميل الزوايا المخروطية.

الدالة الجيبية للزاوية هي نسبة طول الضلع المقابل للزاوية في المثلث القائم الزاوية إلى الوتر:

$$\sin(\theta) = \frac{\text{الضلع المقابل}}{\text{الوتر}}$$

ميزان الجيب

مناقل قياس الزوايا (Angle Protractor)

من أهم أنواع المناقل المستخدمة في قياس الزوايا بأنواعها الآتي:

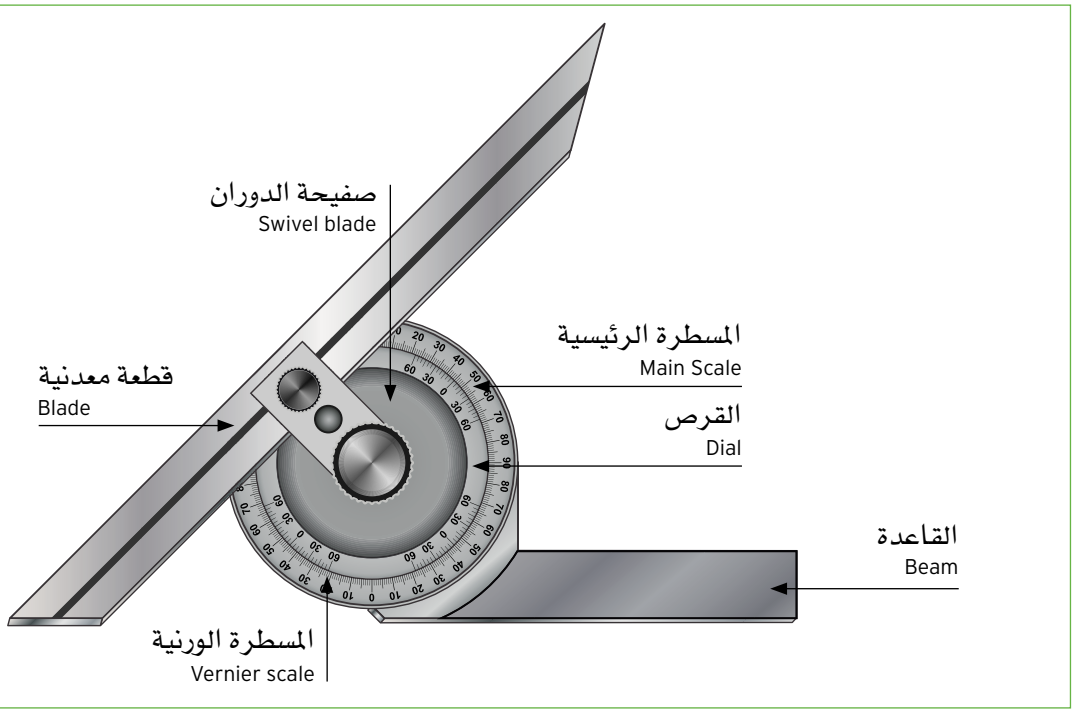
- **المنقلة المعدنية البسيطة**
  (Regular Protractor)

هي أداة هندسية مزودة بذراع قياس يتحرك حول محور المنقلة، وينتهي بمؤشر لتحديد مقدار الزاوية في المنقلة، وتكون عادة مدرجة من (0-180) درجة، وتُستخدم لقياس الزوايا أو رسمها.

المنقلة المعدنية البسيطة

- **المنقلة المحورية ذات الورنية**
  (Bevel Protractor with Vernier Scale)

هي نوع متقدم من المناقل البسيطة، وتتكون من الساق الثابتة والمتحركة، والمسطرة الرئيسية، والمسطرة الورنية المدرجة لقياس أجزاء الدرجة في الزوايا، وتُستخدم لقياس الزوايا بدقة عالية جدًّا بسبب احتوائها على مقياس ورني (Vernier Scale) يسمح بقراءة الزوايا إلى أجزاء صغيرة جدًّا، وتقسم المنقلة إلى قسمين يفصل بينهما الصفر، ويضم كل جزء على جانب الصفر (12) قسمًا، ويساوي (2°)، وتأخذ القياسات على النحو الآتي:



المنقلة المحورية ذات الورنية

1- قراءة قياس الزاوية من المسطرة الرئيسية بالنظر إلى الرقم الظاهر أعلى صفر الورنية، ويتضح من الصورة أدناه أن قياس الزاوية بالدرجات = 32°

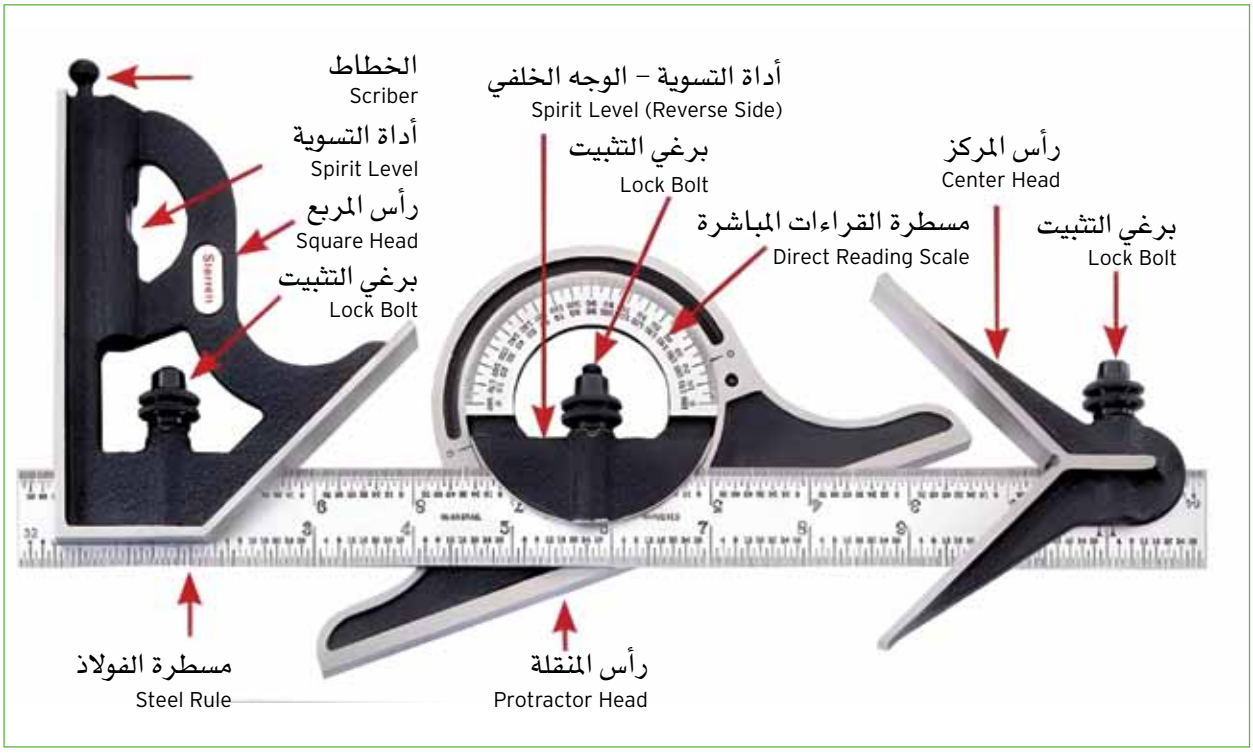
2- قراءة قياس الدقائق في المسطرة الورنية، وذلك بالبحث عن أول تطابق بين أجزاء المسطرة الرئيسية والمسطرة الورنية = 30'

وبذلك يكون قياس الزاوية = 32° 30'

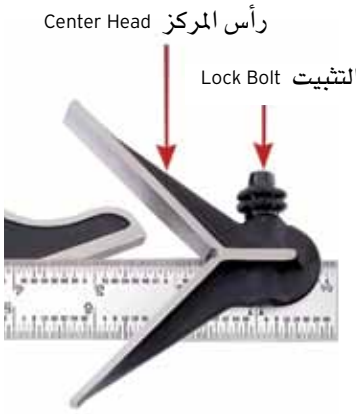
قياس الزاوية باستخدام المنقلة المحورية ذات الورنية

■ المنقلة الشاملة (Combination Squares)

هي أحد أهم أنواع المناقل المستخدمة في الورش لقياس الزوايا، والتعرف على الزوايا القائمة والمسطحة، وتعامد الأسطح، وتتكون من الآتي:



مكونات المنقلة الشاملة

القاعدة المربعة (Square Head)		تستخدم القاعدة المربعة لقياس الزاوية القائمة 90°، وزاوية 45°، والأعماق.
رأس المركز (Center Head)		يستخدم رأس حرف **v** لقياس: ■ نصف القطر، ومركز الدائرة (**r**). ■ الزاوية بدرجة (45) عندما تكون متصلة بالمسطرة الفولاذية. ■ الزاوية بدرجة (90°) عند فصلها عن المسطرة الفولاذية.
المنقلة (Protractor Head)		تستخدم مع المسطرة الفولاذية لقياس الزوايا.
المسطرة الفولاذية (Steel Ruler)		هي الأداة الجامعة لكل من القاعدة المربعة والمنقلة والرأس **v**.

قياس الزاوية القائمة

قياس الزاوية 45^{o}

قياس العمق

قياس نصف القطر وتحديد المركز

قياس الزوايا المختلفة

قياس القطع غير المنتظمة والمسافات الطويلة

(Measurement of Irregular Shapes and Long Distances)

تُستخدم مجموعة من الأدوات والتقنيات المتخصصة في قياس القطع غير المنتظمة والمسافات الطويلة، ومن أهم هذه الأدوات الآتي:

- **مقياس الكنتور** (Contour Gauge):

هو أداة تُستخدم لنسخ الأشكال، أو الأنماط المعقدة بشكل دقيق، مما يسهل نقل قياسات هذه الأشكال إلى مواد أخرى للتشكيل أو التصنيع؛ إذ يحتوي الكنتور على عدد من الدبابيس المعدنية أو البلاستيكية المتوازية المثبتة في الإطار، والتي تتحرك بشكل مستقل لتنسجم مع شكل السطح المراد نسخه، ويحتوي أيضًا على مقبض أو قفل لتثبيت الدبابيس في موضعها بعد ضبطها على الشكل، مما يسهل نقل القياسات بدقة عالية.

مقياس الكنتور

- **شريط القياس الرقمي بالليزر** (Laser Tape):

هو جهاز رقمي يتيح للمستخدم قياس المسافات الطويلة بدقة عالية في وقت قصير مقارنة بشريط القياس التقليدي؛ إذ يطلق الجهاز شعاعًا من الليزر إلى السطح المستهدف، ثم يقيس الوقت الذي يستغرقه الليزر للانعكاس مرة أخرى، وتُحسب المسافة بناءً على سرعة الضوء، وللاستخدام الفعّال لشريط القياس الرقمي بالليزر يجب اتباع الخطوات الآتية:

- المحافظة على ثبات الشريط عند إجراء القياسات؛ فقد يؤثر اهتزاز الجهاز أو تحريكه أثناء القياس على دقة النتائج.
- الحذر عند قياس الأسطح العاكسة للإشعاعات؛ فقد ينعكس شعاع الليزر في اتجاهات غير متوقعة.
- التحقّق من البطاريات، واستبدالها بانتظام لضمان إجراء قياسات دقيقة.
- تجنب توجيه الليزر إلى العين مباشرة.

شريط القياس الرقمي بالليزر

- **خيط العلّام (Chalk Line Reel):**

أداة تستخدم في البناء والنجارة لرسم خطوط مستقيمة ومستوية على مسافات طويلة نسبيًّا، ويستخدم لوضع العلامات على الجدران، والأرضيات، والأسطح.

خيط العلّام

الدرس الخامس

وضع العلامات على الصفائح المعدنية

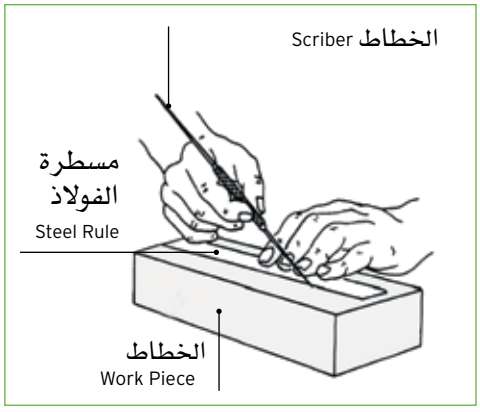
(Marking on Sheet Metals)

تتبع عمليات القياس في الهندسة الميكانيكية عملية نقل الأبعاد، مثل: الأطوال، ومواضع الثقوب، والزوايا من لوح التصميم إلى سطح المادة، وتُعرف بعملية العلّام أو الشنكرة، وتُسهم هذه العملية في تحسين دقة التصنيع، وتقليل الهدر في المواد الخام، وضمان جودة الإنتاج، وتتم عملية العلام باستخدام مجموعة من الأدوات، أهمها:

شوكة العلّام (Scriber)

هي أداة يتراوح طولها بين (250 – 300 mm)، وتصنع عادة من الفولاذ المقوى (Hardened Steel)، وتُستخدم لوضع علامات على أسطح المواد بطرفها المدبب والمسنون بزاوية (10º–20º)، ومن أهم أنواعها:

- شوكة العلّام أحادية الرأس.
- شوكة العلّام ثنائية الرأس بزاوية مستقيمة.
- شوكة العلّام ثنائية الرأس، إحدى زواياها مستقيمة والأخرى منحنية.



استخدام شوكة العلّام لوضع العلامات

إرشادات استخدام شوكة العلّام

يجب إجراء عمليات وضع العلامات بشوكة العلام بدقة وعناية فائقة، وذلك باتباع الإرشادات الآتية:

1. يجب أن يكون الرأس المدبب في الشوكة ملاصقًا لحافة المسطرة المستخدمة.
2. يكون السحب في اتجاه واحد لتفادي ظهور خطوط مزدوجة أثناء التحديد.
3. الحفاظ على حدة الرؤوس باستخدام حجر زيت، أو حجر شحذ ناعم.

الفرجار (Caliper)

هو أحد أهم أدوات عملية العلام؛ إذ يستخدم لقياس المسافات أو الأقطار، ورسم الدوائر والأقواس بدقة، ومن أهم أنواعه الآتي:

1 الفرجار ذو الشوكتين (Divided Caliper):

يستخدم لرسم الدوائر والأقواس، وتحديد المسافات المتساوية على الأسطح، وهو مثالي لعملية التحديد على المعادن أو الأسطح الصلبة من دون استخدام القلم.

2 الفرجار الداخلي (Inside Caliper):

يستخدم لقياس الأقطار الداخلية للمجسمات أو الثقوب، مثل قُطر الأنبوب الداخلي، وذلك عن طريق ضبط ساقي الفرجار بحيث يلامسان الجدران الداخلية للقطعة المراد قياسها.

الفرجار ذو الشوكتين

الفرجار الداخلي

3 الفرجار الخارجي (Outside Caliper):

يُستخدم لقياس الأقطار الخارجية للأجزاء أو المسافات بين الحواف الخارجية، وذلك بضبط الساقين ليحيطا بالسطح الخارجي للقطعة.

الفرجار الخارجي

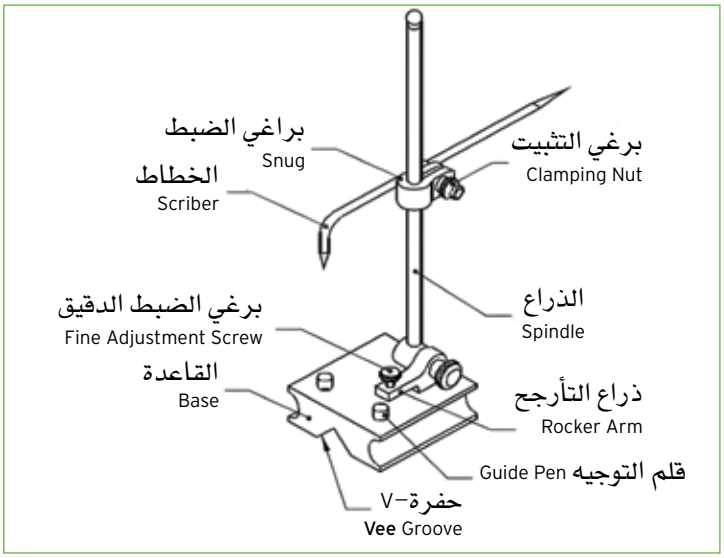
إرشادات استخدام الفرجار

عند استخدام الفرجار تُتَّبع الإرشادات الآتية:

1. تحديد مركز للدائرة المراد العمل عليها.
3. التأكد من أن مسننات الفرجار المستخدم حادة.
3. الإمساك بالفرجار بشكل جيد، والضغط على الساق الواقعة في مركز الدائرة لتثبيته وتحريك الآخر.
4. السحب في اتجاه واحد لتفادي ظهور خطوط مزدوجة أثناء التحديد.
5. الحفاظ على حدة الرؤوس باستخدام حجر زيت، أو حجر شحذ ناعم.

جهاز الشنكرة/كتلة التحديد الهندسي (Scribing Block)

هو أداة قياس تُستخدم بشكل شائع في أعمال المعادن، والتشغيل الآلي لقياس مركز جسم مستدير، أو استواء سطح، أو خدش خطوط على ارتفاع محدد، وتتكون من عمود رأسي، أو ساق مثبت على قاعدة، وشوكة علّام مثبتة في ذراع متغيرة الارتفاع.



جهاز الشنكرة

مثقاب المركز (Center Punch)

هو أداة يدوية مصنوعة من الفولاذ برأس مقدار زاويته (90º)، وتستخدم في توضيح الخطوط، وتحديد مراكز الثقوب، وذلك بوضع علامة صغيرة في قطعة العمل لتوضيح نقطة البداية لعمليات التشكيل لضمان تمركز العملية، وتجنب الانحراف، ومن أهم أنواعها:

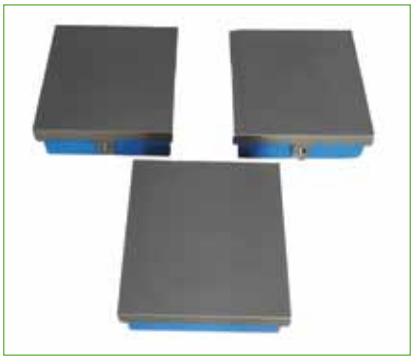
- المثقاب النقطي (Dot Punch)، وتكون زاوية الرأس (60º).
- مثقاب الوخز (Prick Punch) وتكون زاوية الرأس (30º).

مثقاب المركز

أدوات التثبيت في عمليات الشنكرة

- **لوحة السطح/لوحة المعايرة (Surface Plate):**

هي أداة هندسية تستخدم في القياس والاختبار لضمان دقة الأسطح، وسطحها المستوي مصنوع من حديد الزهر الرمادي (Grey Cast Iron)، أو الجرافيت المسطح والمصقول بدقة عالية، وتستخدم للقياس وعمليات الشنكرة للأسطح المستوية.



لوحة السطح

■ قوالب V (V-Blocks):

هي أداة مصممة لتثبيت القطع الأسطوانية أو المستديرة بشكل آمن خلال عمليات الشنكرة، وتكون على شكل كتلة مستطيلة على شكل حرف V مصنوعة من الحديد الزهر، أو الحديد المسبك (Cast Iron)، أو الفولاذ المقوى (Hardened Steel)، ومن أنواعها الآتي:

- قالب V مغناطيسي: يحتوي على مغناطيس لتثبيت قطعة العمل في مكانها.
- قالب V غير مغناطيسي: يحتوي على مشبك U مع برغي لتثبيت قطعة العمل في مكانها.

قوالب V

■ لوحة الزاوية (Angle Plate):

تُستخدم لوحة الزاوية عند وضع علامات على الأسطح بزاوية قائمة، وتُستخدم أيضًا لتثبيت قطع العمل، ووضعها بزاوية معينة، وهي عبارة عن لوحة مستطيلة من حديد الزهر ذات سطحين رئيسين متعامدين على بعضهما البعض.

لوحة الزاوية

أسئلة الوحدة

- ما نوع أدوات القياس المستخدمة في القياس المباشر؟
- عَدِّد العوامل المؤثرة في عملية القياس.
- حَدِّد الفروقات بين المنقلة المحورية ذات الورنية والمنقلة الشاملة.
- ما الإرشادات الواجب مراعاتها عند استخدام شوكة العلّام؟
- عدد أدوات التثبيت في عمليات الشنكرة.
- حدد الاختلافات بين الفرجار الداخلي والخارجي.

الوحدة الثالثة

مقدمة في المواد الهندسية

Introduction to Engineering Materials

محتويات الوحدة الثالثة

الدرس الأول

المواد الهندسية (Engineering Materials)

ا. المواد المعدنية (Metals) 72

الدرس الثاني

المواد الهندسية (Engineering Materials)

٢. المواد غير المعدنية (Non-Metals) 81

الدرس الثالث

خواص المواد (Materials Properties) 88

الدرس الرابع

الصفائح المعدنية (Metal Sheets) 97

أسئلة الوحدة 100

أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد دراسة هذه الوحدة أن:

- يتبع قواعد الصحة والسلامة المهنية في الورش التدريبية.
- يصنف المواد الهندسية تبعا لمصادرها.
- يقارن بين أنواع المواد المعدنية.
- يقارن بين المعادن الحديدية والمعادن غير الحديدية.
- يحدد أنواع المواد غير المعدنية وخواصها.
- يقارن بين أنواع السيراميك.
- يتعرف على البوليمرات وتصنيفها.
- يصنف المواد المركبة حسب مكوناتها.
- يتعرف على خواص المواد ومفاهيمها.
- يشرح الخواص الشائعة للمواد المستخدمة في عمليات التصنيع والإنتاج.
- يُعدد أنواع الصفائح المعدنية الشائعة وتطبيقاتها.

ملخص الوحدة

تهدف هذه الوحدة إلى إكساب الطلبة المفاهيم والمعارف المتعلقة بتصنيفات المواد الهندسية المختلفة، والتعرف على أنواعها، وخواصها، ومميزاتها، وتطبيقاتها، وأكثرها شيوعًا في عمليات التصنيع والإنتاج. إضافة إلى ذلك، تسعى الوحدة إلى تمكين الطلبة من فهم الاختلافات بين خواص المواد الشائعة، وفهم الفروقات بين أنواع الصفائح المعدنية، واستخداماتها المختلفة.

المواد الهندسية (Engineering Materials)

١. المواد المعدنية (Metals)

تُستخدم مجموعة متنوعة من المواد الهندسية في العمليات الصناعية، وتختلف هذه المواد في خواصها الكيميائية، والفيزيائية، والميكانيكية (Chemical, Physical and Mechanical Properties)، وتؤثر بصورة مباشرة في عمليات التصنيع والتشكيل، وتأتي هذه المواد من المصادر الآتية:

- **المواد الخام الأولية** (Primary Raw Materials/Feedstock)

وتُصنَّف إلى نوعين هما:

- **مواد خام أولية غير معالجة** (Unprocessed Raw Materials)

هي المواد الطبيعية المستخرجة من الأرض بحالتها وشكلها الطبيعيين دون تحويلها أو معالجتها، وتُستخدم في عمليات الإنتاج الأولي للمنتجات (Primary Production)، ومن الأمثلة عليها: النفط الخام، والقطن، والفحم، وخام الحديد.

- **مواد خام أولية معالجة**

(Processed Raw Materials)

هي المواد الطبيعية التي تُعالج معالجة بسيطة بشتى الطرق والوسائل لتصبح في حالة مناسبة للاستخدام الصناعي والإنتاجي، مثل: اللاتكس الخام (Latex).

اللاتكس (Latex)

مادة طبيعية تُستخرج على شكل سائل حليبي اللون من شجرة المطاط، تُصنع منها المنتجات المطاطية الطبيعية.

- **المواد الخام الثانوية** (Secondary Raw Materials)

هي المواد أو النفايات (Waste) الناتجة عن معالجة المواد الخام الأولية أثناء التصنيع، والتي يُعاد تدويرها (Recycling) لاستخدامها كمواد إنتاجية مرة أخرى.

تصنيف المواد الهندسية (Classification of Engineering Materials)

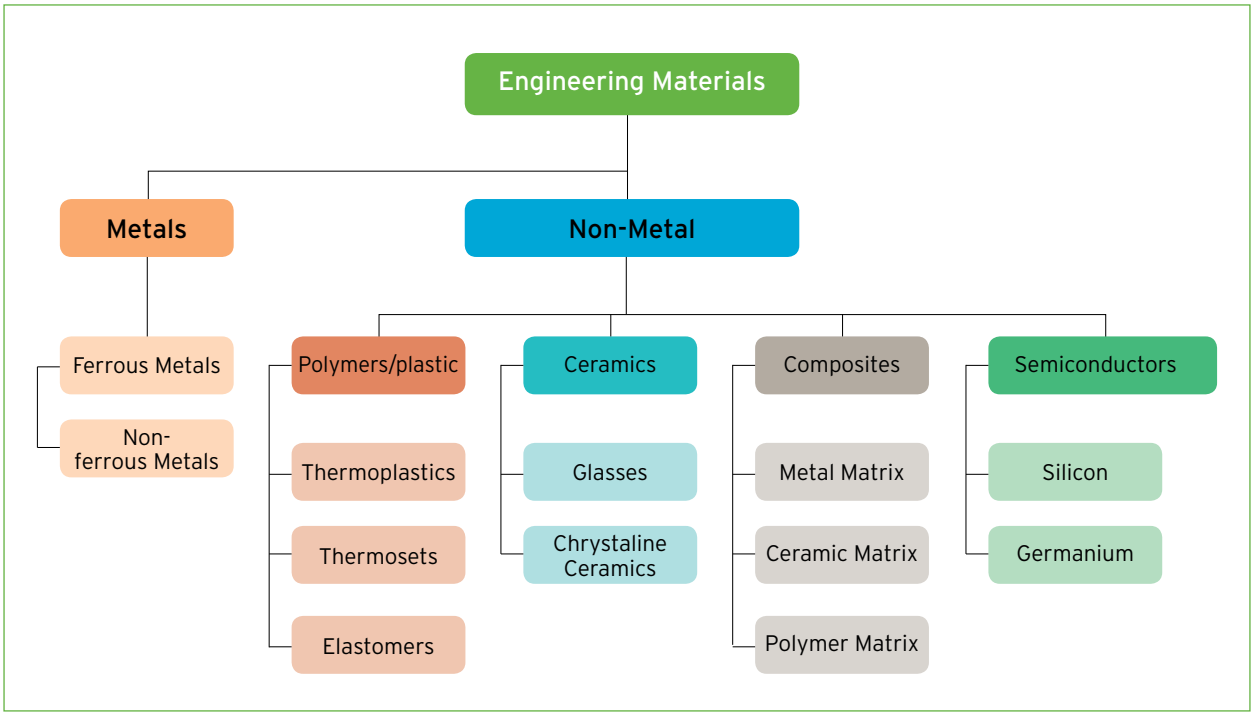
تُصَنَّف المواد الهندسية المستخدمة في مختلف عمليات التصنيع والإنتاج إلى نوعين أساسيين هما:

المواد المعدنية (Metals)

- المعادن الحديدية (Ferrous Metals).
- المعادن غير الحديدية (Nonferrous Metals).

المواد غير المعدنية (Non-Metals)

- السيراميك (Ceramics).
- البوليمرات (Polymers).
- المواد المركبة (Composites Materials).
- أشباه الموصلات (Semi-conductors).



المواد المعدنية (Metals)

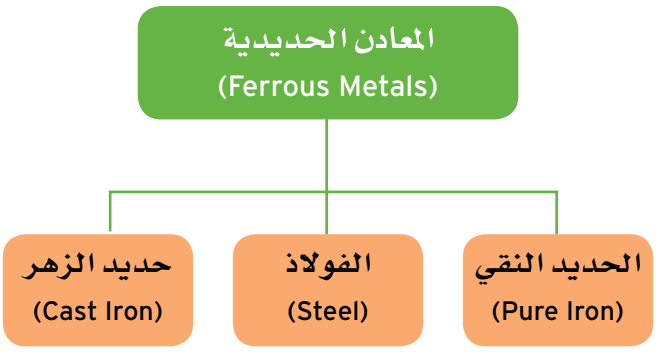
المواد المعدنية النقية (Pure Metals) هي مواد صلبة تشكلت بفعل العوامل الجيولوجية، وتتكون بشكل أساسي من المعادن، وعناصر كيميائية محددة، وعادة ما توجد في الطبيعة في شكلها الخام كأحجار معدنية (Metallic Ores)، وتُستخدم في العمليات الصناعية المختلفة بعد معالجتها بعمليات متعددة، هي: التكسير (Crushing)، والتحميص (Roasting)، والفصل المغناطيسي (Magnetic Separation)، والتعويم (Flotation)، والاستخلاص أو التعدين (Leaching)، وتُعالَج بعد ذلك في مصانع الصب (Foundries) التي تقوم بصهرها لتصبح معادن أو سبائك قابلة للاستخدام، وتُخلط مع مواد أخرى؛ لتحسين خواص معينة فيها.

وعادة ما تُصنع السبائك المعدنية (Alloys) من عنصرين أو أكثر، بحيث يكون أحدهما على الأقل عنصرًا معدنيًا (Metallic Element)، وتُقسم المعادن وسبائكها إلى مجموعتين أساسيتين، هما المعادن الحديدية، والمعادن غير الحديدية، ويندرج تحت كل مجموعة تصنيفات أخرى كالآتي:

- **التكسير (Crushing)**
  عملية تقليل حجم الأحجار المعدنية الكبيرة إلى أحجام أصغر.
- **التحميص (Roasting)**
  عملية تسخين المادة الخام (غالبًا في أفران خاصة) إلى درجة حرارة عالية بوجود الهواء لإزالة الشوائب، أو تحسين قابلية المادة الخام للاستخلاص والمعالجة.
- **الفصل المغناطيسي (Magnetic Separation)**
  عملية فصل المواد المغناطيسية أو المعادن الحديدية عن المواد غير المغناطيسية.
- **التعويم (Flotation)**
  عملية فصل المعدن عن الشوائب المحيطة باستخدام الخواص الفيزيائية، والكيميائية المختلفة لسطح المعدن.

- **المعادن الحديدية (Ferrous Metals)**

يُعد عنصر الحديد (Iron) المكون الأساسي للمعادن الحديدية، وهو أكثر أنواع المعادن أهمية من الناحية التجارية؛ حيث يُشكل أكثر من ثلاثة أرباع الحمولة المعدنية (Metal Tonnage) في جميع أنحاء العالم، وتُصَنَّف المعادن الحديدية إلى ثلاثة أنواع رئيسية هي:



- **المعادن النقية (Pure Metals)**
  هي المعادن في حالتها الخاصة، أو غير المخلوطة بأي مواد أخرى.
- **السبيكة المعدنية (Alloy):**
  عبارة عن مادة معدنية تتكون من اتحاد معدنين أو أكثر، وقد تكون مزيجًا من المعادن وعناصر غير معدنية أخرى.

تأكسد المعدن (Metal Oxidation): هو تفاعل كيميائي يحدث عندما يتفاعل المعدن مع الأكسجين الموجود في الهواء أو الماء، مما يؤدي إلى تكوين أكسيد المعدن، وهو شكل من أشكال التآكل (Corrosion) الذي يسبب ضعف المعدن، أو تغيير في خواصه.

الحديد النقي (Pure Iron)

يتميز هذا النوع من المعادن الحديدية بلونه الأبيض الفضي اللامع، وسرعة تأكسده (Oxidation) في الهواء الرطب، ومرونته، وليونته وخاصيته المغناطيسية العالية (High Magnetism)، وبمحدودية استخدامه التجاري، لكن عند سبكه بالكربون تتعدد استخداماته، وتصبح قيمته التجارية أكبر من أي معدن آخر.

الفولاذ (Steel)

هو سبيكة معدنية مكونة من الحديد مع الكربون (Iron-Carbon Alloy)، وتتراوح نسبة الكربون فيه بين (0.2 - 2.11%)، ويُعد الأكثر أهمية من مجموعة المعادن الحديدية، وغالبًا ما تتضمن تركيبته عناصر أخرى مُضافة لتعزيز خواصه، ومنها: المنغنيز، والكروم، والنيكل، والموليبدينوم. ويُستخدم الفولاذ في العديد من الأعمال والصناعات كَبِناء الجسور، وصناعة الشاحنات الثقيلة، والسكك الحديدية، والسيارات، والأجهزة، ويُصنف إلى نوعين هما:

الفولاذ الكربوني (Carbon Steel) الذي يُصنف إلى خمسة أنواع كالآتي:

- **الفولاذ منخفض الكربون** (Low Carbon Steel):
  تتراوح نسبة الكربون في هذا النوع من الفولاذ بين 0.05% و 0.15%، ويُستخدم في صناعة هياكل السيارات، والشاحنات، والأثاث المنزلي مثل الخزائن، ويتميز بقوة عالية، وليونة، وقابلية للطرق والسحب والتشكيل، وسهولة اللحام.

- **الفولاذ الطري** (Mild Steels):
  تتراوح نسبة الكربون في هذا النوع من الفولاذ بين 0.16% و 0.29%، ويُستخدم في صناعة القضبان الهيكلية للجسور، وبوابات المنازل وغيرها، ويتميز بقوة عالية، وليونة، وقابلية للطرق والسحب والتشكيل، وسهولة اللحام.

- **الفولاذ متوسط الكربون** (Medium Carbon Steels):
تتراوح نسبة الكربون في هذا النوع من الفولاذ بين 0.30% و 0.59%، ويُستخدم في صناعة أعمدة الآلات، والمسامير، والصواميل؛ لأنه أقوى من الفولاذ منخفض الكربون والفولاذ الطري.

- **الفولاذ عالي الكربون** (High Carbon Steels):
تتراوح نسبة الكربون في هذا النوع من الفولاذ بين 0.60% و0.99%. ويُستخدم في صناعة النوابض المستخدمة في الآلات، والحبال عالية القوة لرفع الأحمال الثقيلة؛ بسبب قوته العالية مقارنة بالفولاذ منخفض الكربون، والفولاذ الطري، والفولاذ متوسط الكربون.

- **الفولاذ فائق الكربون** (Ultra High Carbon Steels):
تتراوح نسبة الكربون في هذا النوع من الفولاذ بين 1% و 2%، ويُستخدم في صناعة محاور السيارات، والمثاقب، وبعض أدوات الورش مثل: أدوات التحديد والتقسيم، ويتميز بقوة وصلابة عاليتين مقارنة بجميع أنواع الفولاذ الأخرى.

السبيكة الكربونية (Steel Alloy) وتصنف إلى نوعين هما:

- **الفولاذ المقاوم للصدأ** (Stainless Steel):

يُصنع من خلال خلط الحديد والكربون، والكروم، والمغنيسيوم، ويتميز بمقاومته للصدأ والتآكل؛ بسبب تكوين طبقة رقيقة متماسكة وغير مرئية من أكسيد الكروم؛ حيث تلتصق بسطح المعدن، وتقيه من التآكل، ويستخدم هذا النوع في التطبيقات الهندسية، مثل: صناعة الأدوات كالقدمة ذات الورنية (Vernier Caliper)، والمحامل (Bearings)، إضافة إلى استخدامه في التطبيقات المنزلية، مثل: الملاعق، والسكاكين، والأطباق، والأكواب.

المحامل (Bearings)

- **فولاذ الأدوات** (Tool Steel):

هو نوع من الفولاذ يتميز بصلابته، ومقاومته العالية للتآكل، وقدرته على الاحتفاظ بالشكل والحدة تحت درجات الحرارة العالية، ويُستخدم بشكل خاص في صناعة أدوات القطع، والقوالب، وغيرها. ومن أنواعه الأساسية الفولاذ عالي السرعة (High Speed Steel (HSS)) الذي يُستخدم لصنع أدوات القطع في الآلات، مثل: أداة القطع للمخرطة (Lathe Cutting Tool)، وريش الثقب (Drill Bit).

المخرطة:
هي أداة تعمل على تدوير قطعة العمل حول محور لإجراء بعض العمليات كالقطع، والتشكيل، والثقب، وغيرها.

أدوات القطع للمخرطة

ريش الثقب

حديد الزهر (Cast Iron)

هو خليط معدني من الحديد والكربون، ويختلف عن الفولاذ في أن نسبة الكربون المُضافة إليه تتراوح بين (2 – 4%)، ويُضاف له السيليكون أحيانًا بمقدار (1 – 3%)، وبعض العناصر الأخرى للحصول على خواص محددة، ويوجد حديد الزهر بأشكال مختلفة، من بينها الآتي:

- **حديد الزهر الرمادي (Gray Cast Iron):**

هو الأكثر شيوعًا واستخدامًا، ويتميز بنسيجه البلوري؛ نظرًا لوجود الجرافيت في بنيته الداخلية على شكل رقائق أو صفائح، والتي تكسبه لونه الرمادي، وصلابته، ومقاومته العالية للتآكل، وغالبًا ما يحتوي على نسبة (2.5 – 4%) من الكربون، و (1 – 3%) من السيليكون، وبعض الإضافات من المنجنيز التي تتراوح بين (0.1 – 1.2%). ويستخدم حديد الزهر الرمادي في الصناعات التي تحتاج إلى صلابة عالية وموصلية حرارية، وصناعة أجسام الأسطوانات ورؤوسها (Cylinder Blocks and Heads)، وعمود الحدبات (Camshaft) في مُحركات الاحتراق الداخلي (Internal Combustion Engines).

- **حديد الزهر الأبيض (White Cast Iron):**

يتميز هذا النوع بسطحه اللامع، ومظهره الأبيض بسبب احتواءه على السمنتيت/كربيد الحديد (Cementite/Iron Carbide)، وغياب رقائق الجرافيت في بنيته، ويتميز هذا النوع بصلابته، ومقاومته العالية للاحتكاك، ومع ذلك يعتبر معدنًا هَشًّا (Brittle)، مما يجعله غير مقاوم للصدمات أو الانحناء، ولذلك يُتجنب استخدامه في بعض التطبيقات، ويستعان به في صناعة معدات التعدين (Mining Equipment)، وصناعة الجزء الخارجي من عجلات السيارات.

عمود الحدبات (Camshaft)

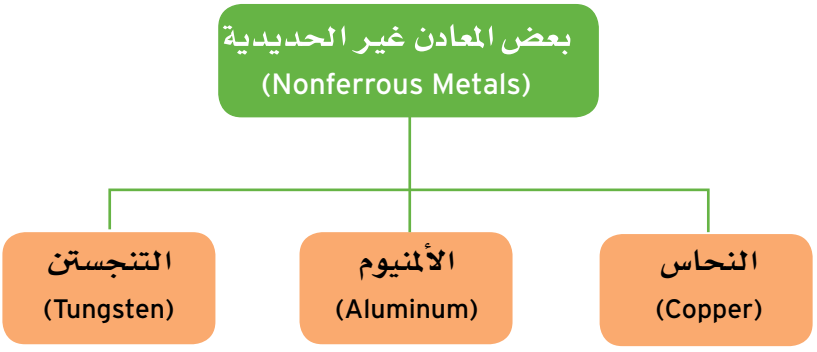
يستخدم عمود الحدبات في تحويل الحركة الدورانية إلى حركة خطية، ويُعد جزءًا أساسيًا في محركات الاحتراق الداخلي (محرك السيارة مثلًا)، وظيفته الرئيسية هي التحكم في توقيت فتح وغلق صمامات المحرك وغلقها، مما يُسهم في تنظيم دخول الهواء والوقود إلى غرف الاحتراق، وخروج الغازات الناتجة عن الاحتراق.

عمود الحدبات بحديد الزهر الرمادي

حديد الزهر الأبيض

■ المعادن غير الحديدية (Nonferrous Metals)

المعادن غير الحديدية هي المعادن التي لا تحتوي على الحديد، وتتميز بأنها غير مغناطيسية (Non-magnetic)، ومقاومة للتآكل (Corrosion-resistant)، وخفيفة الوزن (Light)، وموصلة للكهرباء (Electric Conductors)، وقابلة للطرق والسحب (Malleable and Ductile)، ومن أمثلتها: النحاس (Copper)، والنحاس الأصفر (Brass)، والزنك (Zinc)، والرصاص (Lead)، والقصدير (Tin)، وغالبًا ما تكون السبائك الناتجة عنها أكثر أهمية تجاريًا من المعادن النقية.



أمثلة على المعادن غير الحديدية

النحاس (Copper)

عنصر كيميائي يوجد في الطبيعة بشكله الحر دون أن يكون مرتبطًا بعناصر أخرى، ويتميز بلونه البني المحمر، وموصليته للحرارة والكهرباء (Good Conductor of Heat and Electricity)، وقابليته للطرق والسحب، ويستخدم في العديد من التطبيقات الهندسية، مثل: صنع مشعات السيارات، والأسلاك الكهربائية، وأجهزة القياس، ومواد البناء.

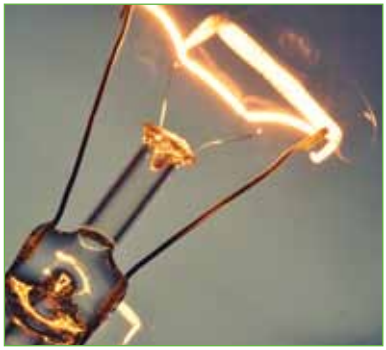
الأسلاك الكهربائية

الألمنيوم (Aluminum)

عنصر كيميائي يتميز بلونه الأبيض الفضي، وخفة وزنه، وانخفاض كثافته، وموصليته للكهرباء، ومقاومته للتآكل (Corrosion Resistant)، وقابليته للطرق والسحب (Malleable and Ductile) مما يُسهل تحويله إلى صفائح، كما يتميز بأنه غير سام (Nontoxic) مما يجعله مناسبًا للتطبيقات الغذائية، مثل: صنع علب المشروبات الغازية، وعلب تخزين الطعام، كما يُستخدم أيضًا لصناعة إطارات النوافذ.

التنجستن (Tungsten)

عنصر كيميائي ذو لون فضي مبيض، يتميز بنقطة انصهاره العالية (High Melting Point)، ومقاومته للصدأ، ويُستخدم في صناعة فتائل المصابيح الكهربائية (Filaments of Bulbs)، وأقطاب اللحام (Welding Electrodes).



نقطة الانصهار
(Melting Point)

هي درجة الحرارة التي تتحول عندها المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة عند ضغط معين (عادة الضغط الجوي القياسي).

المواد الهندسية (Engineering Materials)

٢. المواد غير المعدنية (Non-Metals)

المواد غير المعدنية هي التي لا تحتوي على المعادن كجزء أساسي من تركيبتها، وتفتقر لبعض خواص المعادن، فَهي مواد هَشَّة (Brittle)، وغير قابلة للطرق والسحب (Non-malleable and Non-ductile)، وعوازل جيدة للحرارة والكهرباء (Good Insulators of Heat and Electricity)، وتُصَنَّف إلى أربعة أنواع رئيسية هي: السراميك، والبوليمرات، والمواد المركبة، وأشباه الموصلات.

المواد غير المعدنية (Non-Metals)

- **السيراميك (Ceramics)**

مادة غير معدنية (Non-metallic)، وغير عضوية (Inorganic)، وعادة ما يكون صلبًا، ولا يتفاعل كيميائيًا (Chemically Non-reactive)، ويُشكل أو يُكثف بالحرارة، ويُستخدم في بعض الصناعات، مثل: الأواني الفخارية، وقرميد الأسقف، وينقسم السيراميك حسب تقنيات الإنتاج إلى نوعين، هما:

السيراميك التقليدي (Traditional Ceramic)

يُستخدم السيراميك التقليدي في صناعات مختلفة، مثل: صناعة أواني الطبخ، والصحون، والأكواب، والبلاط، والطوب، والألواح الزخرفية، ويتكون غالبًا من الآتي:

- **الطين (Clay):**
  الذي يتكون من جزيئات دقيقة من سيليكات الألمنيوم المائية (Fine Particles of Hydrous Aluminum Silicates).
- **مادة السيليكا (Silica):**
  هي الأساس لجميع المنتجات الزجاجية تقريبًا.
- **الألومينا وكربيد السيليكون (Alumina and Silicon Carbide):**
  تستخدم كمادة كاشطة (Abrasive Material).

قرميد الأسقف
(Roof Tiles)

هو نوع من مواد تغطية الأسقف، يُستخدم لحماية المباني من العوامل البيئية، مثل: المطر، والرياح، والشمس.

السيراميك الحديث (Advanced Ceramic)

يُصنع السيراميك الحديث باستخدام تقنيات متقدمة، ومكونات خاصة لتحقيق خواص فيزيائية، وكيميائية، وميكانيكية فائقة مقارنة بالسيراميك التقليدي، مما يجعله مثاليًا للاستخدام في التطبيقات الصناعية، والطبية، والإلكترونية. ويتكون من عدة مواد منها الآتي:

- **الألومينا (Alumina):**
  التي تُعَزَّز خواصها من خلال طرق المعالجة الحديثة.
- **الكربيدات المعدنية (Metal Carbides):**
  مثل: كربيد التنجستن (Tungsten Carbide)، وكربيد التيتانيوم (Titanium Carbide) الذي يُستخدم على نطاق واسع في صناعة أدوات القطع.
- **النيتريدات المعدنية وشبه المعدنية (Metal and Semimetal Nitrides):**
  مثل: نيتريد التيتانيوم (Titanium Nitride)، ونيتريد البورون (Boron Nitride) المستخدمة كأدوات قطع، ومواد كاشطة.

ويُصنَّف السيراميك حسب تركيبته إلى نوعين، كل منهما يتطلب تقنيات تصنيع مختلفة عن الآخر، هما:

- **السيراميك البلوري** (Crystalline Ceramics):
  هو النوع الأكثر شيوعًا، ذو بنية بلورية بسيطة، وتكون البلورات منظمة في نمط منتظم ومتكرر على المستوى الذري، ومن أمثلته: أكسيد الألمنيوم (Aluminum Oxide)، وأكسيد المغنيسيوم (Magnesium Oxide)، وكربيد السيليكون (Silicon Carbide)، ويشَكَّل السيراميك البلوري بطرق مختلفة؛ حيث يكون في البداية على شكل مسحوق (Powder)، ثم يُسخن إلى درجة حرارة أقل من نقطة الانصهار (Melting Point)؛ لتترابط جزيئاته مع بعضها.
- **السيراميك الزجاجي** (Glass-Ceramic):
  عبارة عن مادة صلبة متعددة البلورات (Polycrystalline) تجمع بين خواص كل من الزجاج والسيراميك، ومن العمليات الأساسية لتصنيع السراميك الزجاجي الآتي:
  - **عملية التبلور المتحكم فيه** (Controlled Crystallization): حيث يُتحكم في تحفيز إنتاج البلورات بداخل المادة الزجاجية بمعالجتها حراريا؛ لتحسين الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمادة النهائية.
  - **عملية النفخ الزجاج التقليدي** (Traditional Glass Blowing): هي تقنية تشكيل الزجاج عبر النفخ في أنبوب معدني بعد صهره؛ للحصول على أشكال مختلفة من الزجاج.

البوليمرات (Polymers)

تتكون البوليمرات من جزيئات ضخمة (Macromolecules) ذات سلاسل طويلة مؤلفة من وحدات هيكلية صغيرة ومتكررة تُسمى المونومرات (Monomers)، التي تترابط مع بعضها بواسطة تفاعل كيميائي يُعرف بالبلمرة (Polymerization)، وتتكرر الوحدات الصغيرة بأعداد مختلفة تتراوح بين مئة مرة وما يزيد عن المليون مرة.

وتتكون البوليمرات عادة من الكربون كعنصر كيميائي أساسي، إضافة إلى بعض العناصر الكيميائية الأخرى، مثل: الهيدروجين، والنيتروجين، والأكسجين، والكلور، وتتميز بخواص فريدة اعتمادًا على نوع الجزيئات المرتبطة، وتُستخدم في كثير من التطبيقات الصناعية، مثل: أنابيب كلوريد متعدد الفينيل (Polyvinyl Chloride (PVC))، وبعض الأجهزة الطبية، مثل: أجهزة غسيل الكلى، وأدوات التعبئة والتغليف، وبعض الألعاب، وتُصنف وفقًا لنوع، وشدة القوى بين سلاسلها الجزيئية إلى الفئات الآتية:

البوليمرات البلاستيكية الحرارية (Thermoplastic Polymers)

يُصهر هذا النوع من البوليمرات، ويُعاد تشكيله دون تغيير في بنيته الجزيئية (Molecular Structure) بشكل كبير، ومن الأمثلة عليها: متعدد الإيثيلين (Polyethylene)، والبوليستيرين (Polystyrene)، والتفلون (Teflon)، والنايلون (Nylon).

البوليمرات المتصلبة بالحرارة
(Thermosetting Polymers)

يتصلب (Harden) هذا النوع من البوليمرات بعد تعرضه للحرارة، ولا يمكن إعادة تشكيله (صهره) مرة أخرى بالتسخين؛ أي أنه مقاوم للحرارة (Heat-resistant)، ومن أنواعه: الفينولكس (Phenolics)، والراتنجات الأمينية (Amino Resins)، والإيبوكسي (Epoxies).

البوليمرات المرنة/المطاطية (Elastomers)

هي نوع من البوليمرات التي تتميز بمرونتها (Elasticity) العالية، وتشمل المطاط الطبيعي (Natural Rubber)، والنيوبرين (Neoprene)، والسيليكون (Silicone)، والبولي يوريثان (Polyurethane).

التصلد/التصلب الحراري
(Thermosetting)

عملية كيميائية تتحول فيها المواد إلى شكل أصلب مما كانت عليه سابقًا بفعل التسخين إلى درجات الحرارة العالية، مما يجعلها غير قابلة للانصهار، أو إعادة التشكيل مرة أخرى.

■ المواد المركبة (Composites Materials)

تُعد المواد المركبة خليط من مادتين أو أكثر تُدمجان معًا لتتكون مادة ذات خواص كيميائية وفيزيائية وميكانيكية مختلفة تفوق خواص مكوناتها الأساسية، وقد تَجمع بعض المواد المركبة بين القوة العالية وخفة الوزن؛ لذا فهي مناسبة لبعض التطبيقات، مثل: صناعة مكونات الطائرات، وأجسام السيارات، وأسطح القوارب، ومضارب التنس، بينما تتميز أنواع أخرى بقوتها وصلابتها، وقدرتها على الحفاظ على خواصها في درجات الحرارة العالية، مثل: الكربيد الإسمنتي (Cemented Carbide).

وتتكون المواد المركبة من مكونين أساسيين هما:

المكون المبعثر (Dispersed Phase)

يتمثل في الألياف (Fibers)، مثل: ألياف الكربون والزجاج، أو الجسيمات (Particles)، مثل: السيراميك والمواد المعدنية، أو الرقائق (Flakes) مثل: رقائق الجرافيت، ورقائق الألمنيوم.

المكون الأساسي (Matrix Phase)

يمثل المادة التي تغلف وتُحيط بالمكون المبعثر (Dispersed Phase)؛ إذ يعمل كعامل ربط بين مكونات المادة المركبة، ويوزع الأحمال الميكانيكية على المكون المبعثر، ويوفر الحماية للمكونات الأخرى من العوامل البيئية، مثل: الرطوبة، أو التآكل.

وتُصَنَّف المواد المركبة إلى ثلاثة أنواع رئيسية بناء على نوع المكون الأساسي فيها حسب الآتي:

نوع المادة المركبة	المكون الأساسي (Matrix Phase)	المكون المبعثر (Dispersed Phase)	المزايا	الأمثلة
المركبات ذات الأساس المعدني (Metal Matrix Composite (MMC))	مواد معدنية، مثل: الألمنيوم، والمغنيسيوم.	■ ألياف السيراميك. ■ الجسيمات المعدنية.	■ مقاومة عالية للحرارة. ■ صلابة، وقوة ميكانيكية كبيرة.	مركبات الألمنيوم المعززة بألياف السيراميك.
المركبات ذات الأساس السيراميكي (Ceramic Matrix Composite (CMC))	مواد سيراميكية، مثل: أكسيد الألمنيوم، أو كربيد السيليكون.	■ ألياف، أو جسيمات سيراميكية.	■ مقاومة استثنائية للحرارة والتآكل. ■ قدرة على تحمل الضغوط العالية.	أكسيد الزركونيوم مع ألياف كربيد السيليكون.
المركبات ذات الأساس البوليمري (Polymer Matrix Composite (PCM))	المواد البوليميرية، مثل: ■ البوليمرات البلاستيكية الحرارية (Thermoplastic Polymers). ■ البوليمرات المتصلبة بالحرارة (Thermosetting Polymers).	■ ألياف، مثل: الزجاج، أو الكربون. ■ جسيمات، مثل: السيراميك، والمواد المعدنية.	■ خفيفة الوزن. ■ سهلة التصنيع. ■ مقاومة للتآكل.	■ ألياف الكربون المعززة بالبلاستيك (Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)). ■ ألياف الكربون المعززة بالإيبوكسي (CFRP).

■ أشباه الموصلات (Semi-conductors)

هي مواد تمتلك خواص تتوسط بين خواص الموصلات كالنحاس، والعوازل كالزجاج؛ إذ تعتمد قدرتها على التوصيل على عوامل، مثل: درجة الحرارة، والضوء، أو الشوائب المضافة إليها لتعزيز عملها، فعلى سبيل المثال، عادة ما تنخفض مقاومة أشباه الموصلات (Resistivity) مع ارتفاع درجة حرارتها، ومن أهم خواصها صغر حجمها، وخفة وزنها، ومقاومتها أقل من العازل وأكثر من الموصل، وموصليتها (Conductivity) أكثر من العازل وأقل من الموصل، ومن الأمثلة عليها: السيليكون (Si)، والجرمانيوم (Ge).

الجرمانيوم (Ge)

السيليكون (Si)

أشباه الموصلات

الدرس الثالث

خواص المواد
(Materials Properties)

تُعرَّف خواص المواد بأنها الصفات الفيزيائية، أو الكيميائية، أو الميكانيكية لمادة معينة، والتي تحدد وظائفها (Functionality)، وقابلية تصنيعها (Manufacturability)، وقد تتغير بعض هذه الخواص عند تعرض المواد لمختلف العمليات والعوامل والقوى المؤثرة، وتكمن أهمية معرفة خواص كل مادة ومكوناتها في ضمان استخدامها، وإنتاجيتها بشكل أفضل.

الخواص الفيزيائية (Physical Properties)

تشير هذه الخواص إلى الحالة الفيزيائية للمواد بغض النظر عن تركيبتها الكيميائية ومكوناتها الميكانيكية، وتكون جميع هذه الخواص قابلة للقياس والملاحظة، وهي ليست ثابتة؛ أي أنها تتغير عند تعرضها لمتغيرات معينة (Variables)، مثل: الحرارة، وتشمل هذه الخواص الآتي: حالة المادة (State of Matter)، والملمس أو النسيج السطحي (Texture)، والكثافة (Density)، والكتلة (Mass)، ودرجات الانصهار والغليان (Melting and Boiling Points)، والموصلية الكهربائية والحرارية (Electrical and Thermal Conductivity).

الخواص الكيميائية (Chemical Properties)

هي الخواص التي تحدد سُلوك المادة أثناء التفاعل الكيميائي (Chemical Reaction)، وتشمل: القابلية للاشتعال (Flammability)، والتفاعل (Reactivity)، والسُّمِّية (Toxicity)، والاستقرار الكيميائي (Chemical Stability)، والحُموضة (Acidity or Basicity)، وحرارة الاحتراق (Heat of Combustion).

السُّمِّيَّة (Toxicity)

هي قدرة المادة الكيميائية في التسبب بالضرر أو الأذى للكائنات الحية أو البيئة عند تعرضها لها.

الخواص الميكانيكية (Mechanical Properties)

تشير هذه الخواص إلى سلوك المادة أثناء تفاعلها وتعاملها مع الأحمال والقوى المؤثرة فيها، ويتمثل هذا السلوك في مقاومة هذه المواد للتشوه أو التغيير في شكلها (Deformation Resistance)، وبالتالي تحديد فاعليتها الوظيفية (Functionality)، وعمرها التشغيلي (Service Life)، ومن الأمثلة عليها: مقاومة التشوه (Stiffness) والمتانة (Toughness)، والقوة (Strength)، وقابلية السحب (Ductility)، والصلابة (Hardness)، ومقاومة الصدمات (Impact Resistance).

وتتميز الخواص الميكانيكية للمواد بأنها غير ثابتة، فهي تتغير باستمرار عند تعرضها لظروف مختلفة كالحرارة، أو تغيرات في معدل التحميل (Loading Rate)، وقد تُختبر خواصها باستخدام الطرق الآتية:

- **اختبار الصلابة (Hardness Testing)**

هو أحد الاختبارات الميكانيكية التي تُستخدم لتحديد قدرة المادة على مقاومة التشوه، أو الخدش، أو الضغط عندما تتعرض لقوة خارجية، ويقيس هذا الاختبار مدى مقاومة سطح المادة للاختراق بواسطة أداة اختبار محددة، ويُعد مؤشرًا مهمًا للصلابة الهيكلية، والخواص الميكانيكية للمواد، ويشمل مجموعة من الاختبارات، مثل:

- **اختبار فيكرز (Vickers Hardness Test):** يستخدم هذا الاختبار هرمًا رباعي الأوجه مصنوعًا من الماس لتطبيق قوة محددة على سطح المادة المراد اختبارها، وبعد إزالة القوة، يُقاس قطري الانبعاج الناتج باستخدام مجهر.

- **اختبار روكويل (Rockwell Hardness Test):** يستخدم هذا الاختبار مخروطًا أو كرة فولاذية بقطر (1.6mm) أو ماسية بشكل مخروط لتطبيق قوة على المادة، ويُقاس عمق الانبعاج الناتج مباشرةً لتحديد صلابة المادة.

- **اختبار برينل (Brinell Hardness Test):** يستخدم هذا الاختبار كرة فولاذية أو من كربيد التنجستن بقطر (10mm) لتطبيق قوة محددة (500, 1500، أو 300 كجم) على سطح المادة، وبعد إزالة القوة، يُقاس قطر الانبعاج الناتج لتحديد صلابة المادة.

- **اختبار الضغط والشد** (Compression and Fatigue Testing)

يُستخدم اختبار الضغط (Compression Testing) لفحص مقاومة المادة للانضغاط، بينما يُستخدم اختبار الشد (Fatigue Testing) لتحليل مقاومة المادة للتمدد والقوة اللازمة لكسرها، وتشمل الاختبارات بعض المواد، مثل: البلاستيك، والفولاذ، والألمنيوم.

- **اختبار الالتصاق** (Scratch Adhesion Testing)

تقنية تُستخدم لتقييم مدى قوة التصاق الطبقات الرقيقة، أو الطلاءات بالأسطح الأساسية، ويعتمد هذا الاختبار على قياس مقاومة الطبقة للخدش التدريجي، مما يساعد في تحديد قوة المادة اللاصقة ونقطة فشلها، ويُعتبر هذا الاختبار ضروريًا لضمان جودة الطلاء (Coating)، واستيفاء متطلباته.

الخواص الشائعة للمواد المستخدمة في التصنيع
(Common Properties of Materials)

تُعد الخواص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية والكهربائية الآتية أكثر الخواص شيوعًا للمواد، لذا يجب مراعتها أثناء التصنيع:

- **الموصلية** (Conductivity)
  - **حرارية** (Thermal)

تتمثل الموصلية الحرارية (Thermal Conductivity) في قياس كمية الحرارة التي تنتقل عبر المادة؛ أي قابيلتها إلى نقل الحرارة؛ حيث تُستخدم المعادن التي تتميز بتوصيل حراري عال في بعض التطبيقات الصناعية، مثل: المبادلات الحرارية (Heat Exchangers)، أو التبريد (Refrigeration)، بينما تُستخدم المواد ذات التوصيل الحراري المنخفض كعوازل (Insulators)، وقد تستخدم أيضًا في التطبيقات التي تتطلب درجات حرارة عالية.

  - **كهربائية** (Electrical)

تتمثل الموصلية الكهربائية (Electrical Conductivity) في قياس كمية الشحنات الكهربائية التي تنتقل بحُرِّية عبر المادة، ويُعد الحديد، والنحاس، والألمنيوم من أبرز المواد الموصلة للكهرباء.

■ مقاومة التآكل الكهروكيميائي (Corrosion Resistance)

تتمثل هذه الخاصية في قدرة المادة على منع التفاعل الكهروكيميائي (Electrochemical)، الذي ينطوي على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية أو العكس نتيجةً لبعض العوامل البيئية المحيطة كالرطوبة، ويُعبر عن مقاومة التآكل الكهروكيميائي بأنها الحد الأقصى للعمق بالمليمترات (Mils) (0.001 بوصة) الذي قد يخترقه التآكل في المادة خلال عام واحد، وتتميز بعض المواد بمقاومتها العالية للتآكل، بينما البعض الآخر يمكن حمايته من التآكل بالطلاء، وتنتمي العديد من المعادن إلى مجموعات مقاومة لهذا النوع من التآكل، ولكنها ليست آمنة تمامًا منه، إنما تخضع للظروف البيئية المحددة التي تعمل فيها، ويتخذ التآكل الكهروكيميائي أشكالًا عدة، منها:

■ **التآكل النقطي (Pitting):**

يحدث عندما تتشكل حفر صغيرة أو نقاط عميقة في سطح المعدن.

■ **التفاعل الجلفاني (Galvanic Reaction):**

هو تفاعل كهروكيميائي يتسبب في تآكل المعدن بسبب انغماسه في محلول موصل للكهرباء مع معدن آخر.

■ **التآكل الإجهادي (Stress Corrosion):**

يحدث عندما تتعرض المادة لإجهاد ميكانيكي، وبيئة كيميائية غير مناسبة في الوقت نفسه، وينتج عن ذلك شروخ صغيرة تتوسع مع مرور الوقت حتى تؤدي إلى كسر المادة.

- **التآكل الانفصالي (Parting):**
  يحدث عندما يُزال عنصر واحد من سبيكة معدنية بسبب الاختلاف في التفاعلية الكيميائية، مما ينتج عنه تغيير في تركيبة السبيكة، وزيادة هشاشتها.

- **التآكل بين الحبيبات (Inter-granular):**
  يحدث على طول الحبيبات البلورية في المادة؛ مما يؤدي إلى فقدان الترابط بين الحبيبات، وانهيار المادة.

مقاومة التآكل الاحتكاكي (Wear Resistance)

تُعرف مقاومة التآكل الاحتكاكي بأنها قدرة المادة على تحمل تأثير احتكاكها بمادة أخرى، ولها عدة أشكال، منها: الالتصاق (Adhesion)، والكشط (Abrasion)، والخدش (Scratching). فعندما تكون المواد المعدنية مختلفة الصلابة (Hardness)، قد يبدأ المعدن الأكثر ليونة بالتأثر أولًا، وقد تؤدي الدحرجة إلى هذا النوع من التآكل أيضًا.

قابلية السحب والطرق (Ductility and Malleability)

- **قابلية السحب (Ductility)**

هي قدرة المادة على التمدد، أو التشوه البلاستيكي (Plastic Deformation) دون أن تنكسر، مع الاحتفاظ بشكلها الجديد عند إزالة القوة المؤثرة فيها، مثل: القدرة على تمديد المعدن إلى سلك.

وغالبًا ما تُقاس قابلية السحب باستخدام اختبار الشد (Tensile Test) لتقدير النسبة المئوية للاستطالة (Elongation)، كما يُستخدم هذا الاختبار أيضًا لتحديد معامل يونج (معامل المرونة) (Young's Modulus/Modulus of Elasticity) الذي يُعد مقياسًا لقدرة المادة على تحمل الإجهاد (Stress) واستعادة شكلها الأصلي بعد إزالة القوة، وتؤثر بعض العوامل على قابلية السحب كالعمل في الأماكن الباردة.

التشوه البلاستيكي
(Plastic Deformation)

عند تعرض المادة إلى الإجهاد نتيجة تأثيرات القوى الضاغطة يحدث بها تشوه دائم؛ أي لا يمكنها العودة إلى شكلها الأصلي حتى بعد إزالة القوة المؤثرة فيها.

- **قابلية الطرق** (Malleability)

هي القدرة على تشكيل المعدن بالطرق، أو الضغط، أو اللف دون أن ينكسر، وتُعد المواد ذات المرونة العالية أكثر قدرة على تحمل الضغط العالي دون أن تنكسر، مما يجعلها مناسبة أكثر من غيرها لعمليات التصنيع والتشكيل.

المرونة ومقاومة التشوه (Elasticity and Stiffness)

- **المرونة** (Elasticity)

تتمثل المرونة (Elasticity) في قدرة المادة على استعادة حجمها وشكلها الأصلي عند إزالة القوة المؤثرة فيها.

- **مقاومة التشوه** (Stiffness)

يرتبط مفهوم مقاومة التشوه (Stiffness) بمرونة المادة؛ حيث يُقاس من خلال معامل يونج الذي يُعد مؤشرًا مباشرًا لمدى مقاومة المادة للتشوه (Strain)، ويدل ارتفاع المعامل على أن المادة مقاومة للتشوه بشكل أكبر؛ أي أن مقدار التشوه يكون أقل، ويُعد الزجاج من المواد الصلبة المقاومة للتشوه، بينما مقاومة المطاط للتشوه تكون أقل.

اللُّدونة (Plasticity)

تعرف اللُّدونة (Plasticity) بأنها قدرة المادة على الاحتفاظ بشكلها الجديد بعد إزالة قوة التشكيل المؤثرة فيها؛ لذا فهي معاكسة لخاصية المرونة (Elasticity)، وتنتقل المواد من خاصية المرونة إلى خاصية اللدونة عند نقطة الخضوع (Yield Point)؛ أي الحد الذي تبدأ عنده المادة في التشوه الدائم (التشوه اللدن)، الذي لا يمكن إعادته بمجرد إزالة القوة.

الصلابة والصلادة (Strength and Hardness)

- الصلابة (Strength): تعرف الصلابة بأنها قدرة المادة على تحمل الأحمال والقوى الخارجية دون أن تنكسر أو تتشوه بشكل دائم، ومن أنواعها الآتي:
  - صلابة الشد (Tensile Strength): قدرة المادة على مقاومة قوى الشد.
  - صلابة الضغط (Compressive Strength): قدرة المادة على مقاومة القوى الضاغطة.
  - صلابة القص (Shear Strength): مقاومة المادة للقوى التي تحاول قصها أو فصلها.
- الصلادة (Hardness): تُعرّف الصلادة بأنها قدرة المادة على مقاومة الخدش، أو الاختراق، أو التآكل السطحي عند تعرضها إلى قوى خارجية، وتُقاس باستخدام بعض الاختبارات، مثل: برينيل (Brinell)، وروكويل (Rockwell)، وفيكرز (Vickers).

- **قوة الخضوع (Yield Strength)**

تتمثل قوة الخضوع في كمية الضغط الذي تمتصه المادة أو المعدن قبل أن تتعرض للتشوه الدائم؛ أي إنه نقطة تحول المادة من التشوه المرن (Elastic Deformation) إلى التشوه الدائم (Plastic Deformation)، الذي لا تتمكن عنده المادة من استعادة موضعها أو شكلها الأصلي، وتُقاس بوحدة النيوتن لكل ملليمتر مربع (ميغا باسكال (Mega Pascals (MPa))، أو بالرطل لكل بوصة مربعة (Pound per square inch (psi)).

- **قوة الشد (Tensile Strength)**

تشير قوة الشد إلى مقدار الحِمل الذي يمكن أن يتحمله جزء من المعدن قبل أن ينكسر، ففي مرحلة التشوه المرن يستطيل المعدن، ولكنه يعود إلى شكله الأصلي بعد إزالة قوة الشد، وفي حالة استمرار الشد يصل المعدن إلى نقطة التشوه البلاستيكي، أو التشوه الدائم (Plastic Deformation)، والتي تُسمى نقطة الخضوع (Yield)، فيحتفظ المعدن بشكله الجديد حتى بعد إزالة الحِمل، وإذا وصل المعدن إلى نقطة الشد (Tensile Point) فإنه ينكسر، وتساعد هذه الخاصية في التمييز بين المواد الهَشَّة (Brittle) والمواد القابلة للسحب (Ductile)، وتُقاس قوة الشد بالنيوتن لكل ملليمتر مربع (ميغا باسكال (Mega Pascals (MPa))، أو رطل لكل بوصة مربعة (Pound per square inch (psi)).

- **الكثافة (Density)**

الكثافة من الخواص الفيزيائية التي تُعرف بأنها مقدار الكتلة لكل وحدة حجم من المادة، وتُقاس بوحدة رطل لكل بوصة مكعبة (pounds per cubic inch)، أو جرام لكل سنتيمتر مكعب (grams per cubic centimeter (g/cm^3)).

وتُعد الكثافة مهمة في التطبيقات التي يجب أن يُراعى فيها وزن المنتج، إضافة إلى مراعاة نسبة القوة إلى الوزن (Strength-to-weight Ratio)، فمثلًا تلعب الكثافة دورًا حاسمًا في الصناعات الفضائية نظرًا للحاجة إلى تقليل وزن المركبات لتحسين كفاءة استهلاك الوقود، وتحقيق أداء أعلى أثناء الإطلاق والرحلات المدارية؛ لذا تُختار مجموعة من المواد التي تجمع بين القوة العالية والكثافة المنخفضة، مثل: سبائك الألمنيوم والتيتانيوم، لتحقيق التوازن الأمثل بين خفة الوزن والمتانة. وبالمقابل، يمكن استخدام مواد عالية الكثافة مثل الفولاذ في التطبيقات التي تتطلب تحملًا عاليًّا، مثل هياكل المحركات.

مقاومة الكسر (Fracture Toughness)

مقاومة الكسر (Fracture Toughness) هي مقياس لقدرة المادة على مقاومة الصدمات (Impact Resistance)، ويكون تأثير الاصطدام (Collision) الذي يحدث في فترة زمنية قصيرة أكبر بكثير من تأثيره عندما يحدث خلال فترة زمنية أطول. وتعد هذه الخاصية مهمة جدًا في التطبيقات التي تتضمن مخاطر حدوث الصدمات؛ حيث تُظهر بعض المعادن مقاومة مقبولة عند تأثير الأحمال الثابتة (Static Loads)، بينما تنعدم مقاومتها تحت تأثير الأحمال الديناميكية (Dynamic Loads)، أو عند تعرضها للاصطدام، وعادة ما تُقاس مقاومة المادة للصدمات من خلال اختبار شاربي (Charpy Test)؛ حيث توضع عينة من المادة، ويكون بها شق على شكل حرف V (V-notch)، ويتحرك البندول (Pendulum) ليضرب العينة من الجانب المقابل للشق لتحديد مدى تحمل المادة للصدمات.

المتانة (Toughness)

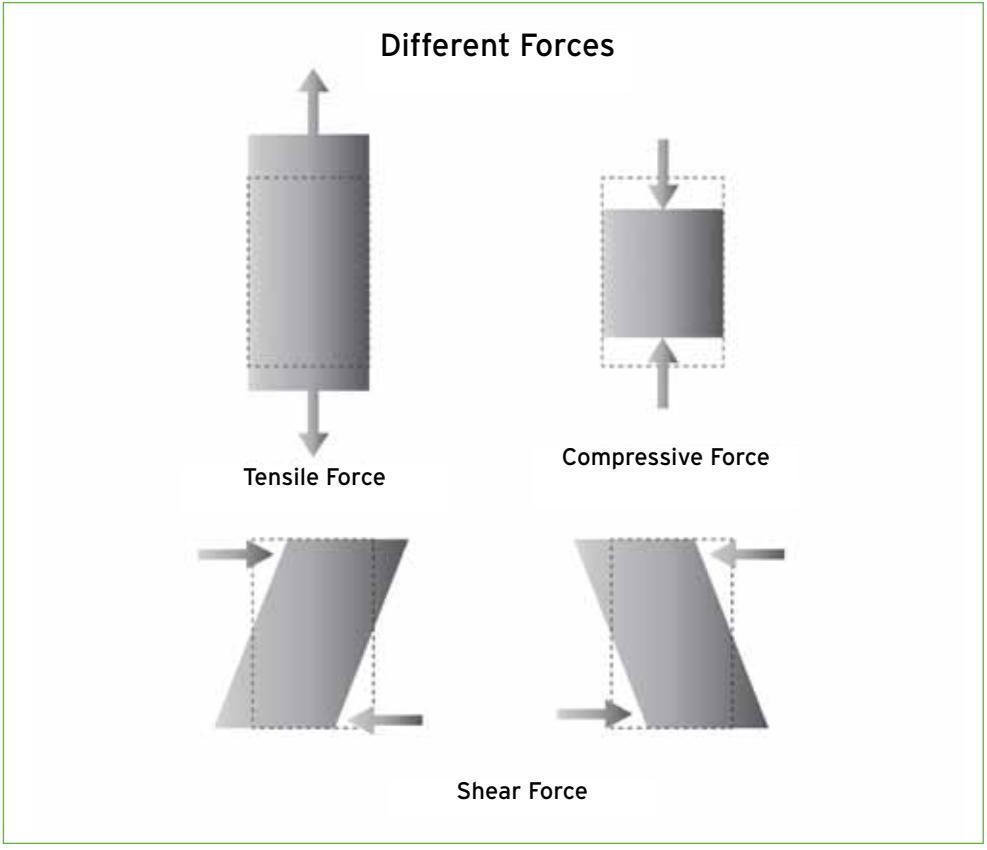
تتمثل المتانة في قدرة المادة على امتصاص الصدمات عند درجة حرارة معينة دون أن تنكسر، وتُقاس هذه الخاصية أيضًا باستخدام اختبار شاربي (Charpy Test) المماثل لاختبار مقاومة تأثير الصدمات (مقاومة التشوه)، وغالبًا ما تكون المواد أكثر هشاشة (Brittle) عند درجات الحرارة المنخفضة؛ لذا عادة ما تُحدد قيم اختبار شاربي في السبائك الحديدية (Ferrous Alloys) في التطبيقات ذات درجات الحرارة المنخفضة، مثل: منصات النفط البحرية، وخطوط أنابيب النفط.

قوة الإجهاد (Fatigue Strength)

يُعرف الإجهاد في علم المواد بأنه التشوه البنيوي المتدرج والمركز الذي يحدث عندما تتعرض المادة إلى حِمل دوري ومتكرر (Cyclic Stresses)، مما يعرضها للكسر (Fracture)، وتكون القيمة القصوى للإجهاد أقل من مقدار قوة الشد (Tensile Strength) للمادة، وتتأثر مقاومة المعادن للإجهاد بعدة عوامل، منها: نوع الإجهاد المتكرر على المعدن، وسرعته، والمدى الزمني، ودرجة الحرارة، وشكل المنتج وحجمه، ومدى تعرض المعدن للصدأ، وصلابته، ومعالجته الحرارية.

■ قوة القص (Shear Strength)

تشير قوة القص إلى مقاومة المادة للقوى المتوازية التي قد تؤدي إلى انزلاق بنيتها الداخلية، أو مستواها الحُبَيبي (Granular Level)؛ حيث يتحرك الجزء العلوي من المادة في اتجاه معاكس لاتجاه الجزء السفلي إذا أثرت في الجسم قوى ضغط كبيرة متعاكسة في الاتجاه، أما إذا كانت القوى في نفس الاتجاه فيؤدي ذلك إلى انضغاط المادة دون قصها أو تمزقها، وتُستخدم هذه الخاصية في التطبيقات التي تأخذ في الاعتبار مقدار القوة المطبقة واتجاهها، مثل: البراغي (Bolts)، والعوارض (Beams).



الصفائح المعدنية

(Metal Sheets)

الصفائح المعدنية هي قطع معدنية رقيقة ومسطحة من المعادن أو السبائك، مثل: الفولاذ، والألمنيوم، والنحاس، والتيتانيوم، وتُصنع بأبعاد وأشكال مختلفة، وبعدد لا يُحصى يوميًا باستخدام عمليات ميكانيكية متنوعة، ويختلف سمكها بشكل كبير، إذ تُعرف الصفائح المعدنية الرقيقة جدًا باسم «الرقائق» أو «الأوراق»، بينما تُعرف الصفائح التي يزيد حجمها عن ربع بوصة (6.35 mm/0.635 cm) باسم «الألواح»، وتُستخدم الصفائح المعدنية في العديد من التطبيقات الصناعية والهندسية، مثل: الأجهزة المنزلية، وتشييد المباني، وأنظمة التكييف، والنقل.

أنواع الصفائح المعدنية شائعة الاستخدام

تتعدد أنواع الصفائح المعدنية وفقًا للمادة المعدنية التي تُصنع منها، ومن أهمها الآتي:

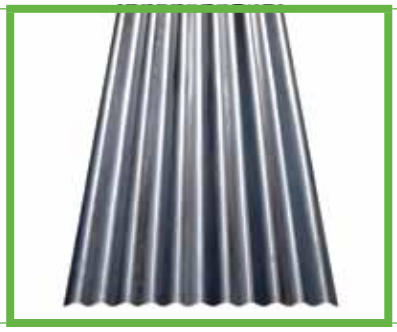
- **الصفيحة منخفضة الكربون** (Low Carbon Steel Sheet)

تُعرف أيضًا بالفولاذ الطري (Mild Steel)، وهو أحد أكثر الأنواع شيوعًا في صناعة الصفائح المعدنية، ويحتوي على نسبة منخفضة من الكربون (عادة أقل من 0.3%)، مما يجعله متينًا، وسهل اللحام والتشكيل.

يستخدم في التطبيقات التي تتطلب القوة، مثل: صناعة السيارات، والأنابيب، والمعدات الثقيلة.

■ صفائح الصلب المجلفن (Galvanized Steel Sheet)

تتكون من صفائح فولاذية ناعمة مغلفة بالزنك لمقاومة التآكل، وتتميز هذه الصفائح بمظهرها المتلألئ.



تستخدم في تطبيقات مختلفة، مثل: الأسقف، وكسوة الجدران، والأسوار، وقنوات المياه، وهياكل السيارات.

■ صفائح الألمنيوم (Aluminum Sheet)

تتميز بمظهرها الأبيض، وخفة وزنها، ومقاومتها للتآكل.

يستخدم الألمنيوم في نطاق واسع من الصناعات، مثل: أدوات المطبخ، وأجسام المقطورات، والعديد من الاستخدامات التجارية.

■ صفائح الفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless Steel Sheet)

يحتوي هذا النوع على نسبة عالية من الكروم (10.5 % أو أكثر)، مما يمنحه مقاومة استثنائية للتآكل، ويتميز بمظهره اللامع، وسهولة تنظيفه.

تُستخدم في مختلف التطبيقات، مثل: الديكور المعماري، وأثاث المطبخ، وتصنيع معدات معالجة الأغذية وتخزينها، وتصنيع المعدات الكيميائية.

■ النحاس (Copper)

يتميز النحاس بلونه البني المحمر ومرونته العالية، وعند مقارنته بالألمنيوم الذي يتمتع بتوصيل كهربائي وحراري جيد، فإن النحاس يُظهر أداءً أفضل إلا أنه عادةً أكثر تكلفة.

يُستخدم في الأسلاك الكهربائية، وأنظمة التبريد، والأجهزة المنزلية، والأبواب، والأسقف.

■ النحاس الأصفر (Brass)

النحاس الأصفر هو سبيكة معدنية تتكون من النحاس (Copper)، والزنك (Zinc)، وتُعدل نسبة النحاس إلى الزنك للحصول على خصائص محددة للسبيكة.

يستخدم في العديد من الصناعات، مثل: الموصلات الكهربائية، والتروس، والأسقف المعدنية.

أسئلة الوحدة

1. عدد مصادر المواد الهندسية.
2. ما الفرق بين المواد الخام الأولية والمواد الخام الثانوية؟
3. حدد الفرق بين التحميص والفصل المغناطيسي.
4. وضح الفرق بين الحديد النقي والفولاذ.
5. عدد أنواع الفولاذ.
6. ما الفرق بين حديد الزهر الرمادي وحديد الزهر الأبيض؟
7. بين المقصود بفولاذ الأدوات.
8. اذكر بعض المعادن غير الحديدية.
9. صنف أنواع السيراميك.
10. ما الفرق بين السيراميك البلوري والسيراميك الزجاجي؟
11. عرف البوليمرات.
12. حدد مكونات المواد المركبة.
13. وضح المقصود بأشباه الموصلات.
14. بين الفروقات بين الخواص الفيزيائية والميكانيكية والكيمائية.
15. حدد أشكال التآكل الكهروكيميائي.
16. ما الفرق بين قابلية السحب وقابلية الطرق في خواص المواد؟
17. قارن بين أنواع الصفائح المعدنية من حيث الوصف والاستخدام.

الوحدة الرابعة

تصنيع المعادن

Metal Fabrication

محتويات الوحدة الرابعة

الدرس الأول

الدرس الأول: مقدمة في تصنيع المعادن (Introducation to Metal Fabrication) 104

الدرس الثاني

عمليات قطع المعادن (Metal Cutting Processes) 108

الدرس الثالث

عمليات تشكيل المعادن (Metal Forming Processes)

١ – تشكيل الكتل المعدنية (Bulk Metal Forming) 113

الدرس الرابع

عمليات تشكيل المعادن (Metal Forming Processes)

٢– تشكيل الصفائح المعدنية (Sheet Metalworking) 120

الدرس الخامس

العمليات المتنوعة (Miscellaneous Processe) 124

الدرس السادس

عمليات صب المعادن (Metal Casting Process) 127

الدرس السابع

عمليات التجميع والتثبيت (Joining and Assembly Processes) 136

الدرس الثامن

تطبيقات على عمليات تصنيع المعادن (Metal Fabrication Applications) 141

أسئلة الوحدة 144

أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد دراسة هذه الوحدة أن:

- يتبع قواعد الصحة والسلامة المهنية في الورش التدريبية.
- يُصنف عمليات تصنيع المعادن.
- يُقارن بين القوى المؤثرة في قطع المعادن وتشكيلها.
- يُميز بين الأنواع الرئيسية في عمليات قطع المعادن.
- يُفرق بين تقنيات القطع اليدوي والميكانيكي والحراري.
- يُقارن بين تشكيل الكتل والصفائح المعدنية.
- يُصنف عمليات تشكيل الكتل المعدنية.
- يُقارن بين تقنيات تشكيل الصفائح المعدنية.
- يُحدد العمليات المتنوعة التي تتبع عمليات تشكيل الكتل والصفائح المعدنية.
- يَفهم أهمية عمليات التجميع والتثبيت في تصنيع المعادن.
- يطبق بعض عمليات تصنيع المعادن وتشكيلها.

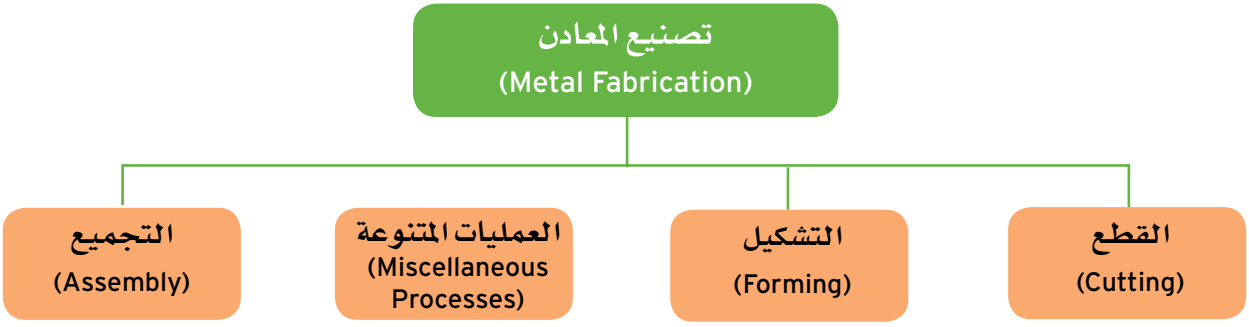
ملخص الوحدة

تهدف هذه الوحدة إلى إكساب الطلبة المعارف والمهارات المتعلقة بالعمليات الرئيسية لتصنيع المعادن، وتمكينهم من فهم الفروقات الواردة بينها، والاعتبارات التي يجب النظر فيها قبل البدء بها، وتزويدهم بالمعلومات الكافية عن القوى المؤثرة في قطع المعادن وتشكيلها، والأدوات والقوالب والآلات المستخدمة فيها، إضافة إلى إكسابهم مهارات المقارنة بين عمليات تشكيل الكتل والصفائح المعدنية، والعمليات المتنوعة التي تتبعهما، وصولًا إلى عمليات التجميع والتثبيت في تصنيع المعادن، وتدريبهم على بعض التطبيقات المتعلقة بهذه العمليات.

مقدمة في تصنيع المعادن

(Introducation to Metal Fabrication)

يُعرف تصنيع المعادن (Metal Fabrication) بأنه مجموعة من العمليات لتحويل المواد الخام أو السبائك أو الصفائح المعدنية إلى منتجات نهائية (Final Products) قابلة للاستخدام، تلبي متطلبات معينة من حيث الشكل، والحجم، والمتانة؛ حيث تُطبق عليها عدة أنواع من القوى تؤدي إلى تغيير شكلها الأصلي إلى شكل آخر دون أن يعود لحالته الأصلية من خلال مبدأ التشوه البلاستيكي (Plastic Deformation)، وتُصنف عمليات التصنيع حسب نوع المعدن، وخواصه، وطبيعة الاستخدام النهائي إلى أربع عمليات رئيسية تندرج تحتها العديد من التقنيات، ويوضح المخطط الآتي العمليات الرئيسية لتصنيع المعادن.



وقبل البدء بعمليات تصنيع المعادن لا بد من الأخذ ببعض الاعتبارات، أهمها الآتي:

- **الميزانية والجدول الزمني** (Budget and Timeline)

تحديد الميزانية والتكلفة اللازمة للتصنيع لتتوافق مع الجدول الزمني المحدد.

- **خواص المعادن المستخدمة** (Metal Properties)

تحديد الخواص الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية (مثل: اللدونة، والصلابة، والقوة، والمرونة) للمواد المعدنية المستخدمة؛ لمعرفة مدى ملاءمتها لعمليات التصنيع، وكيفية التعامل معها.

- **التحكم بدرجة حرارة المعادن** (Metal Temperature)

في بعض عمليات التصنيع يجب التحكم بدرجة حرارة المعادن قبل بدء العملية، و ذلك باتباع أحد الأسلوبين الآتيين:

التشكيل الساخن للمعادن
(Hot Metal Forming)

تغيير شكل المعدن وأبعاده عند درجات حرارة مرتفعة تفوق درجة حرارة المعدن لتصبح بنيته أكثر ليونة وقابلية للتشكيل، مما يُتيح إجراء تغييرات كبيرة في شكله وحجمه.

التشكيل البارد للمعادن
(Cold Metal Forming)

تغيير شكل المعدن إلى الشكل المطلوب دون تسخينه إلى درجات حرارة عالية؛ أي أن عملية التشكيل تتم عند درجة حرارة الغرفة، أو بالقرب منها.

■ الأدوات والآلات المستخدمة (Tools, and Machines Used)

تتنوع الأدوات والآلات المستخدمة في تصنيع المعادن حسب نوع العملية المختارة، ومن هذه الأدوات، الآتي:

الأداة/الآلة	الاستخدام
مكبس الختم (Stamping Press)	أداة تُستخدم لقطع الصفائح المعدنية أو تشكيلها إلى أشكال وأبعاد مختلفة بوضعها داخل قالب الآلة (Die)، ثم ضغطها بواسطة أداة الكبس (Ram).
مكبس الضغط (Press Brake)	أداة تُستخدم لثني الصفائح المعدنية عن طريق تثبيتها بين الأداة والقالب.
أداة ضغط أو شد المعادن (Metal Shrinker/ Stretcher)	أداة تُستخدم لتمديد المعدن، أو تقليصه لإزالة الانحناءات والعيوب الأخرى.
آلة التحكم الرقمي بالحاسوب (Computer Numerical Control Machine (CNC))	معدات آلية أو شبه آلية (Semi- or Fully-automated) مُبرمجة لأداء عمليات معينة وتكرارها تلقائيًّا، ومن العمليات الشائعة لآلات التحكم الرقمي بالحاسوب: الثقب (Drilling)، والخِراطة (Lathing/Turning)، والقطع بالليزر (Laser Cutting).
أدوات الصقل والتشطيب (Grinding and Finishing Tools)	أدوات تُستخدم لإزالة النتوءات من قطع العمل (Deburring)، وصقلها (Grinding)، وتشطيبها (Polishing)، وغالبًا ما تكون أدوات يدوية، ولكن قد تستخدم الأدوات الآلية للقيام بهذه العمليات على نطاق أوسع وأسرع وأدق.
الأدوات اليدوية (Manual Hand Tools)	تشمل هذه الأدوات المطارق (Mallets/Hammers)، وأدوات تشكيل الرؤوس (Forming Heads)، وأدوات القطع والقص (Snips)، وغيرها.

- **عمليات ما بعد التشكيل والتشطيب**
(Post-Forming and Finishing Processes)

يشمل ذلك تحديد العمليات النهائية اللازم إجراؤها على قطعة العمل بعد تشكيلها، والوقت اللازم للقيام بذلك، والتكاليف الأخرى التي تترتب عليها، ومدى إمكانية إعادة النظر في التصميم، مثل: إجراء القطع بالليزر بدلًا من القص (Shearing) إذا كان ذلك يتناسب مع التطبيق.

القوى المؤثرة في تصنيع المعادن
(Applied Forces in Metal Fabrication)

يتغير الشكل الأصلي للمادة إلى شكل آخر دون أن يعود إلى حالته الأصلية تحت تأثير بعض القوى الفيزيائية والميكانيكية، ويختلف مقدار تأثير القوى على المعادن حسب نوع المعدن المستخدم ونوع القوى المطبقة، فهناك عمليات تصنيع تتطلب نوعًا واحدًا فقط من القوى لتغيير شكل المعدن، وأخرى تُستخدم فيها مجموعة من القوى في آن واحد أو على مدار عمليات التصنيع، وتؤثر بشكل كبير في عملية تصنيع المعدن، ومن أهم أنواع القوى المطبقة على المعادن الآتي:

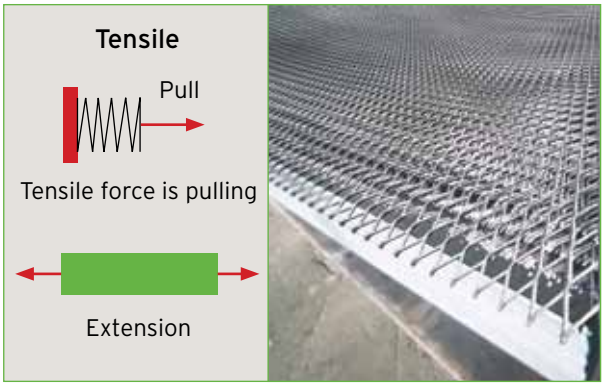
- **قوى الضغط** (Compressive Forces)

تشكيل المعادن بواسطة قوة ضغط ميكانيكية؛ لتقليص حجمها أو تغيير شكلها، وتكون هذه القوى إما أحادية أو متعددة المحاور (Uni- or Multiaxial)، وتُستخدم بصورة أساسية في مجموعة من عمليات التشكيل، من أهمها: الدرفلة (Rolling)، والطَّرق (Forging)، والبثق (Extrusion)، والتشكيل بالختم (Die Forming)، والتشكيل الهيدروليكي (Hydroforming).

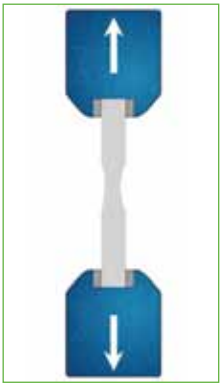
- **قوى الشّدّ** (Tensile Forces)

تشكيل المعادن بواسطة قوة شد أحادية أو متعددة المحاور، مما يؤدي إلى تمددها، ويستعان بهذه القوى بصورة أساسية في مجموعة من عمليات التصنيع للقيام بالآتي:

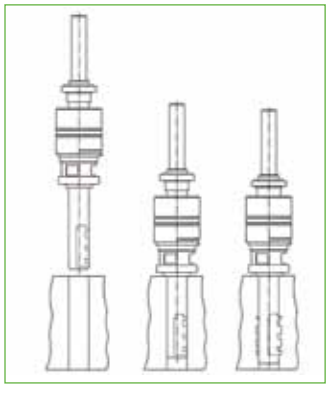
- **التوسيع (Expanding)**: إنشاء هياكل شبكية قابلة للتمدد (Expandable Mesh Structures) بمد الصفائح المعدنية عن طريق القوى المماسية (Tangential Loading)؛ أي أن قوى الشد المطبقة تكون موازية لسطح المعدن.
- **التمديد (Stretching)**: استطالة المعدن (Elongation) عن طريق شدّه ميكانيكيًّا على طول المحور الطولي (Longitudinal Axis) للحصول على الشكل المطلوب.
- **التجويف (Recessing)**: إنشاء تجاويف في القطعة المعدنية دون إزالة أي أجزاء منها.



عملية التوسيع



عملية التمديد



عملية التجويف

الجمع بين قُوى الشد والضغط
(Combination of Tension Forces and Compression Forces)

في بعض عمليات التصنيع قد يُجمع بين قوتي الشد والضغط لتشكيل المعدن وفق الشكل المطلوب، ومن الأمثلة على ذلك: السحب (Drawing)، والغزل (Spinning)، وثني الحواف البارزة (Flange Forming).

الدرس الثاني

عمليات قطع المعادن

(Metal Cutting Processes)

يُعد القطع إحدى العمليات الأساسية في تصنيع المعادن؛ حيث تُقطع المادة لتتلاءم مع التصميم المطلوب من حيث الشكل والأبعاد، مما يقلل من هدر المواد، وتتضمن هذه العملية ثلاثة أنواع رئيسية هي:

1. القطع اليدوي (Manual Cutting)

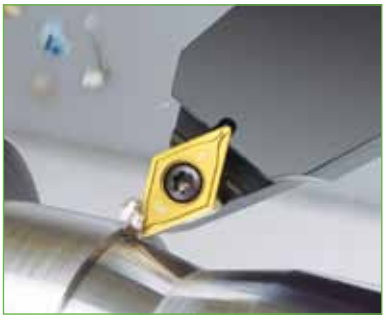
تتضمن عملية القطع اليدوي استخدام أدوات يدوية أو معدات قطع تُشغَّل يدويًّا لقطع الصفائح المعدنية إلى أشكال أو أحجام محددة، ومن أكثرها شُيوعًا الآتي:

القطع بالمنشار
(Sawing)

هي عملية قطع المواد باستخدام أداة ذات أسنان حادة أو قرص دائري تُسمى المنشار (Saw).

2. القطع الميكانيكي (Mechanical Cutting)

يُعد القطع الميكانيكي الطريقة الأكثر شيوعًا لتجهيز المعادن في المراحل الأولية من عمليات التصنيع؛ إذ تُستخدم أدوات وآلات ميكانيكية لفصل المواد إلى أجزاء أصغر بأشكال وأحجام محددة، ويعتمد القطع الميكانيكي على قُوى ميكانيكية أو حركية مباشرة على سطح المادة تؤدي إلى قطعها، وتتعدد عمليات القطع الميكانيكي، من أهمها الآتي:



الخراطة

- **الخراطة** (Turning/ Lathing)

  تدوير القطع المعدنية الدوارة أو الأسطوانية على آلة الخراطة (Lathe Machine) لقطع المواد الزائدة.

التفريز (Milling)

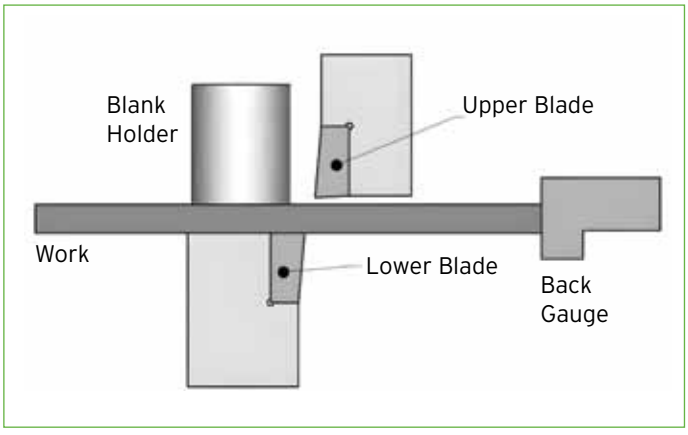
إزالة الأجزاء الزائدة من قطعة العمل الثابتة بواسطة أداة قطع دوارة متعددة الأسنان مثبتة على محيطها تسمى سكين التفريز، وكل سن من هذه الأسنان يمثل أداة قطع بسيطة ذات حدٍّ واحدٍّ.

التفريز

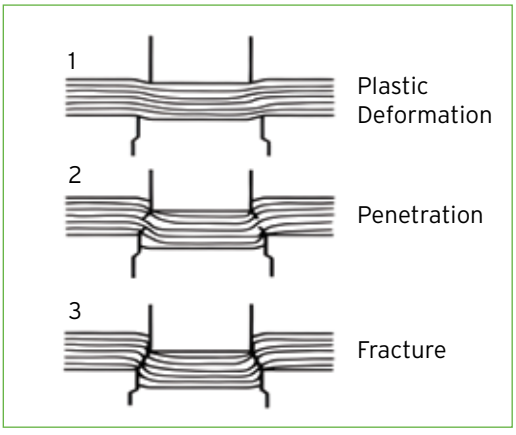
القصّ (Shearing Process)

تتمثل عملية القصّ في تطبيق قوة تؤدي إلى قطع المادة عند موضع الضغط باستخدام أداتين تكون إحداهما فوق الأخرى: إما قالب ومكبس (Punch and Die)، أو شفرتان (Blades) حادتان مصنوعتان من الفولاذ عالي الجودة؛ إذ تقوم الأداة الموجودة فوق الصفيحة بضربة سريعة إلى الأسفل لتستقر على الأداة السفلية، وتحقق القص المطلوب بسرعة عالية، وتؤثر المسافة بين الشفرتين العلوية والسفلية «الخُلوص» (Blade Clearance) أثناء عملية القص في جودة القطع ودقة العملية، ويُحدَّد الخلوص بناءً على سماكة المادة ونوعها، وعادة ما يكون 10٪ – 2 من سُمك المادة، وتتكون عملية القص من ثلاث مراحل أساسية هي:

- **التشوه (Deformation)**: يحدث التشوه على جانبي المادة عندما تبدأ حواف الشفرات بالضغط على المادة في الموضع المُراد قطعه.
- **الاختراق (Penetration)**: تَخترق حواف القطع المادة بنسبة 40٪ – 5 من سُمكها، مما يتسبب في إحداث خطوط الكسر (Fracture Lines).
- **الكسر (Fracture)**: يحدث الكسر عند نقطة التقاء خطوط الكسر العلوية بخطوط الكسر السفلية في الصفيحة المعدنية، فتنفصل إلى قطعتين أو أكثر.

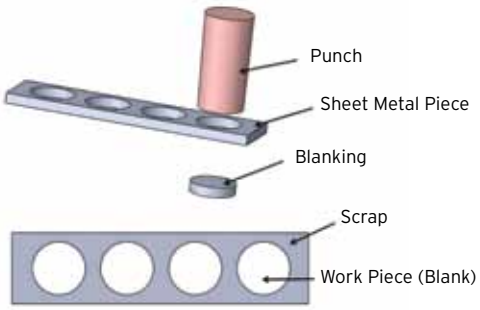
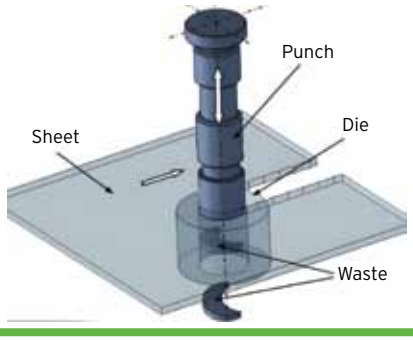


عملية القص



مراحل عملية القص

وتشمل عملية القص العديد من التقنيات، منها الآتي:

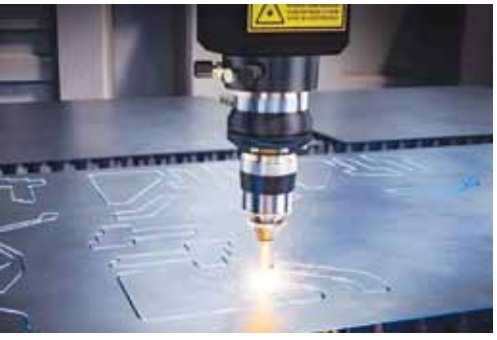
التفريغ (Blanking)		تقنية تُستخدم لقطع الأشكال الهندسية ثنائية الأبعاد من الصفائح المعدنية عن طريق تطبيق قوة قص كبيرة إلى حد ما باستخدام قالب (Die) ومكبس (Punch)، وينتج عن هذه العملية قطعة معدنية أصغر من حجم قطعة العمل (Blank)، بينما تُعدُّ المادة المتبقية من قطعة العمل خردة (Scrap).
القضم (Nibbling)		تُستخدم هذه التقنية لإنشاء أشكال معقدة على الصفائح المعدنية عن طريق إزالة الأجزاء من قطعة العمل بشكل تدريجي بإنشاء سلسلة من الثقوب أو الشقوق المتداخلة (Overlapping Slits or Notches) بدلاً من قطع المادة دفعة واحدة.
التحزيز (Notching)		تقنية تُستخدم لإنشاء مسافات أو شقوق بشكل طولي على حافة الصفيحة المعدنية، ويسميها البعض بعملية الإحراز.
الشق الجزئي (Lancing)		هو عملية إنشاء قطع جزئي أو شقوق في الصفيحة المعدنية، بحيث يُثنى الجزء المقطوع ولا يُزال، إنما يُترك لأغراض أخرى كالتهوية.

3. القطع الحراري (Thermal Cutting)

يُسمى أيضًا القطع من دون قص (Cutting without Shearing)، وهو عملية تسخين الأجزاء المراد إزالتها من المادة إلى درجة حرارة الانصهار (Melting Point)، والتخلص منها بعد انصهارها، وتوجد عدة تقنيات للقطع الحراري، منها الآتي:

- **القطع بشعاع الليزر (Laser Beam Cutting)**

تستخدم هذه التقنية شعاع الليزر لقطع الصفائح المعدنية؛ حيث تقوم سلسلة من المرايا والعدسات بتوجيه وتركيز شعاع عالي الطاقة بشكل دقيق على سطح الصفيحة، مما يؤدي إلى رفع درجة حرارتها إلى أن تنصهر وتتبخر (Melt and Evaporate)، ثم إجراء القطع وفق المسار المطلوب، ثم يُستخدم غاز مساعد كالأكسجين أو النيتروجين لإزالة بقايا المادة المنصهرة أو بخارها، ودفعها بعيدًا عن منطقة القطع.



القطع بشعاع الليزر

وتستخدم هذه التقنية مع الصفائح المعدنية الحديدية وغير الحديدية (Ferrous and Nonferrous)، وتكون فاعليتها أكبر عند استخدامها مع المواد التي تتصف بالانعكاسية والموصلية المنخفضة لشعاع الليزر (Low Reflectivity and Conductivity of Laser Beam) مثل: الصلب الكربوني، والفولاذ المقاوم للصدأ، والتيتانيوم، أما بالنسبة للمواد التي تتصف بقدرتها على توصيل الحرارة، وعكس الشعاع الضوئي فهي تتطلب ليزرًا عالي الطاقة، ومن أمثلتها: الألمنيوم، وسبائك النحاس، ويستخدم القطع بالليزر أيضًا للمواد الهندسية غير المعدنية، مثل: البلاستيك، والسيراميك، والحجر، والخشب.

- **القطع بالبلازما (Plasma Cutting)**

القطع بالبلازما هو تقنية تُستخدم لقطع المعادن الموصلة للكهرباء باستخدام قوس بلازما عالي الحرارة، إذ يُولَّد قوس كهربائي بين القطب الكهربائي

البلازما (Plasma)

البلازما هي غاز مكهرب (Electrified Gas)، تتكون عندما يُسخن الغاز أو يُطبق مجال كهربائي قوي عليه، مما يؤدي إلى تأين الذرات أو الجزيئات (Ionization of Atoms and Particles)؛ أي انفصال الإلكترونات عن نواة الذرة، ليتكون مزيج من الجسيمات المشحونة (إلكترونات وأيونات) والجسيمات غير المشحونة.

(Electrode) وسطح المعدن، مما يؤدي إلى تأين الغاز (مثل: الأكسجين، أو النيتروجين)، وتحويله إلى بلازما تصل درجة حرارتها إلى نحو 20000 درجة مئوية، مما يؤدي إلى انصهار المعدن عند موضع القطع بواسطة فوهة، ثم يزال المعدن المنصهر بعيدًا عن القطع بسبب تدفق الغاز المؤين من الفوهة، وعادة ما يكون القطع بالبلازما بمستوى أقل من الدقة والتشطيب مقارنة بالقطع بالليزر.

القطع بالبلازما

ويُتحَكم في موضع تيار البلازما للصفائح باستخدام مشعل البلازما الذي يُحمل باليد (Portable Plasma Cutter/Torch)، أو آلات قطع البلازما التي يُتحَكَّم بها رقميًّا بالحاسوب (Computer Numerical Control (CNC)) لإجراء عمليات القطع المعقدة والدقيقة.

■ القطع بالنفث المائي (Water Jet Cutting)

يستخدم القطع بالنفث المائي تيارًا مائيًّا عالي السرعة لقطع الصفائح المعدنية، وفي بعض الحالات يُخلط الماء بجزيئات كاشطة (Abrasive Particles) كالرمل لتحسين قدرته على قطع المواد الصلبة؛ إذ يُضغط الماء إلى مستويات عالية جدًّا نحو 60.000 رطل لكل بوصة مربعة باستخدام مضخات مخصصة، ثم يُوجه عبر فوهة صغيرة جدًّا (Nozzle) بسرعة عالية تصل قرابة 2000 Ft/s ليقوم بكشط المادة تدريجيًّا حتى تُقطع.

القطع بالنفث المائي

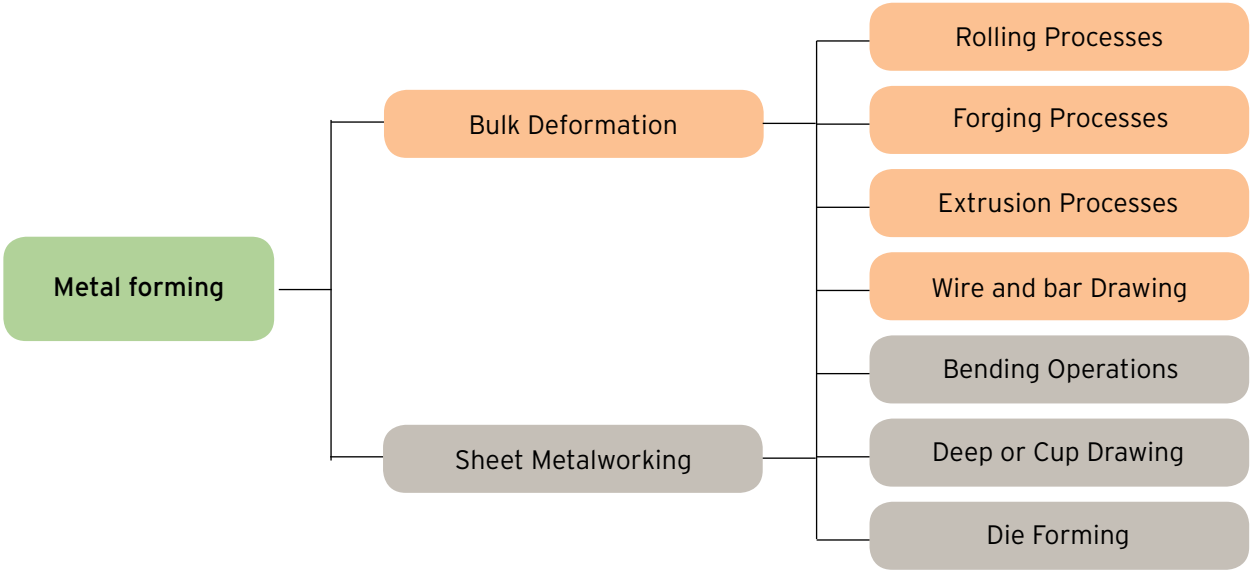
وعادة ما يُتحَكَّم في موضع نفث الماء لقطع الأشكال ثنائية الأبعاد من الصفائح المعدنية بالحاسب الآلي؛ لضمان دقة العمل؛ وعدم تشكل نتوءات أثناء القطع، وغالبًا ما يكون التشطيب الثانوي غير مطلوب بعد هذه العملية.

عمليات تشكيل المعادن

(Metal Forming Processes)

١- تشكيل الكتل المعدنية (Bulk Metal Forming)

تُصنف العمليات الرئيسية لتشكيل المعادن إلى عمليات تشكيل الكتل المعدنية (Bulk Forming)، وعمليات تشكيل الصفائح المعدنية (Sheet Metal Forming) كما هو موضح في الشكل الآتي:



تصنيف عمليات تشكيل المعادن

يؤدي تشكيل الكتل المعدنية إلى تغيير هائل في شكل المادة، وتكون فيها مساحة سطح العمل بالنسبة إلى حجمه صغيرة نسبيًّا، ويستخدم في هذا النوع من التشكيل مجموعة من العمليات أهمها الآتي:

■ الطرق (Forging)

الطرق هو أحد أقدم وأهم تقنيات تشكيل المعادن؛ حيث يُشكل المعدن عن طريق تسخينه (في بعض الحالات) وتطبيق قوة ضغط مؤثرة فيه (Localized Compressive Forces) باستخدام مطرقة أو مكبس لإعطائه الشكل المطلوب، ومن أهم أنواع عمليات الطرق:

حسب درجة الحرارة

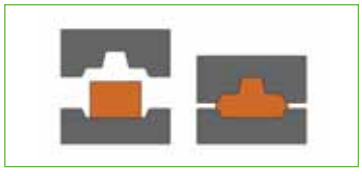
الطرق الساخن (Hot Forging)	الطرق البارد (Cold Forging)
يُسَخَّن المعدن إلى درجات حرارة عالية؛ لتقليل مقاومته وتشويه بنيته، مما يسهل تشكيله لاحقًا.	يشكل المعدن بالطرق في درجة حرارة الغرفة، مما يحقق دقة عالية في الأبعاد.

حسب نوع الطرق

■ الطرق بالقالب المفتوح (Open-Die Forging)

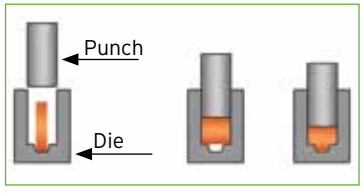
ضغط قطعة العمل بين صفيحتين مسطحتين (Flat Platens) أو قوالب من دون حواف، مما يسمح للمعدن بِحُرِّية التدفق دون وجود قيود جانبية تعيق تمدده.

■ الطرق بالقالب المغلق (Closed-Die Forging)



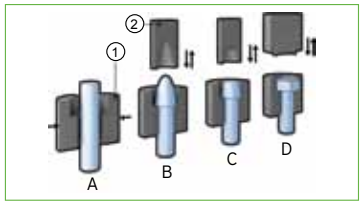
يُسمى أيضًا الطرق بالكبس (Impression Die Forging)، ويتم بوضع المعدن بين قالبين (Dies) يحتويان على تجاويف مصممة بدقة تعكس الشكل النهائي المطلوب لقطعة العمل، ويسمح هذا النوع من الطرق بتدفق كمية بسيطة من المعدن خارج القالب تُسمى الزوائد المعدنية (Flash)، التي تُزال لاحقا بعمليات تشذيب (Trimming)، ويُعدُّ هذا النوع من الطرق مناسبًا لإنتاج قطع معقدة بأبعاد دقيقة وكميات كبيرة.

■ الطرق المحكم من دون زوائد (Upset Forging)



في هذه العملية يُزاد المقطع العرضي لجزء معين من المعدن عن طريق تقصير طوله بضغط نهاية محوره الطولي، مما يؤدي إلى حدوث إزاحة للمعدن في الاتجاه العرضي له، وطُوِّرت هذه التقنية في البداية لتصنيع رؤوس البراغي إلا أنها أصبحت حاليًّا الأكثر استخدامًا بين جميع عمليات التشكيل خصوصًا في تشكيل القضبان والأعمدة.

■ التشكيل بالطرق العكسي (Flashless Forging)



يُشكل المعدن داخل قوالب مغلقة تمامًا ليملأ كل تجاويف القالب (Die Cavity) دون أن يتسرب؛ أي إنه لا يُنتج أي زوائد معدنية (Flash)، ويجب التحكم بكمية المادة التي يستوعبها تجويف القالب بدقة.

- **البثق** (Extrusion)

تُنتَج خلال هذه العملية قطع عمل ذات مقطع عرضي محدد (Fixed Cross-sectional)، وذلك بضغط المعدن ودفعه بواسطة مكبس ليتدفق عبر فوهة القالب (Die Orifice) بالشكل المطلوب، ويُصنف البثق إلى الأنواع الآتية:

البثق حسب درجة الحرارة

البثق الساخن (Hot Extrusion)	البثق البارد (Cold Extrusion)
يُسخن المعدن قبل البدء بعملية البثق؛ لتسهيل تدفقه.	تحدث عملية البثق في درجة حرارة الغرفة.

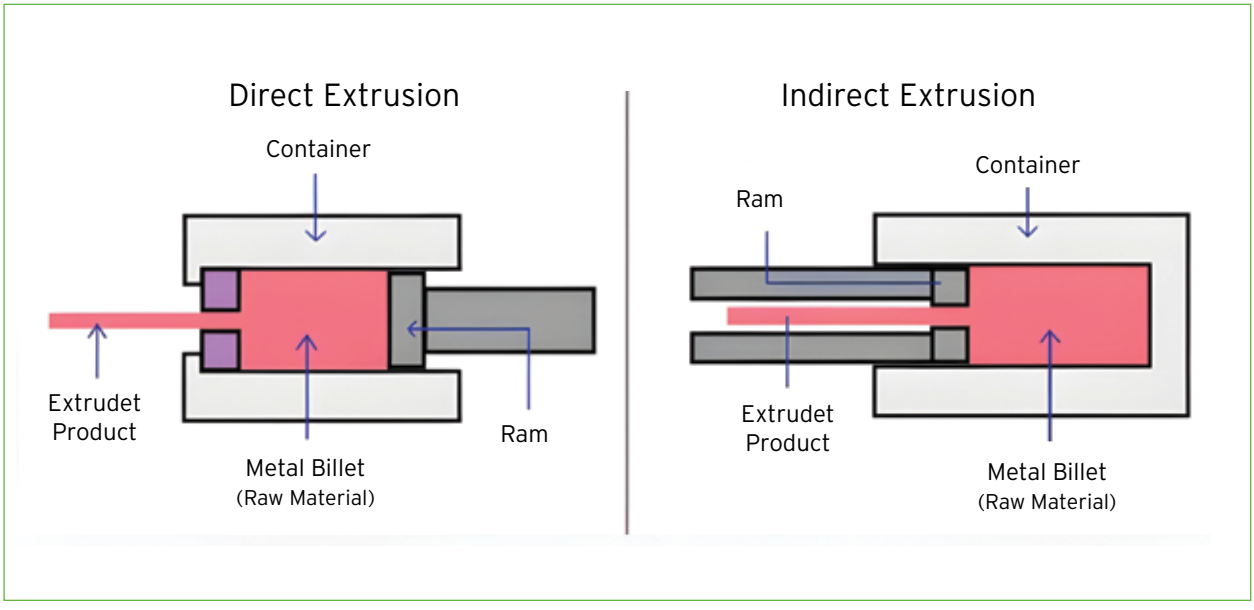
البثق حسب آلية العمل

- **البثق المباشر**
(Direct Extrusion)

في عملية البثق المباشر، تُدفع المادة مباشرة من خلال القالب بواسطة مكبس (Ram) يتحرك في نفس اتجاه تدفق المادة لتخرج من فوهة القالب بالشكل المطلوب.

- **البثق غير المباشر** (Indirect Extrusion)

في البثق غير المباشر يُثبت القالب على جوانب المكبس وليس على الحاوية التي يوجد فيها المعدن، وأثناء حركة المكبس يضغط على المادة لتتدفق في الاتجاه المعاكس عبر القالب؛ لذا تكون قوة الكبس في هذا النوع أقل من قوة الكبس في البثق المباشر.



الدرفلة (Rolling)

عملية تشكيل المعادن التي يُقلل فيها سُمك قطعة العمل، أو تُغير أبعادها لتشكيلها على هيئة ألواح أو قضبان، وذلك بتمريرها تحت ضغط عال عبر بكرات أو أسطوانات ثقيلة (Rollers) تتحرك عكس اتجاه حركة المعدن لينتج احتكاك بينها وبين والمعدن، ومن أهم أنواعها الآتي:

الدرفلة حسب درجة الحرارة

الدرفلة الساخنة (Hot Rolling)

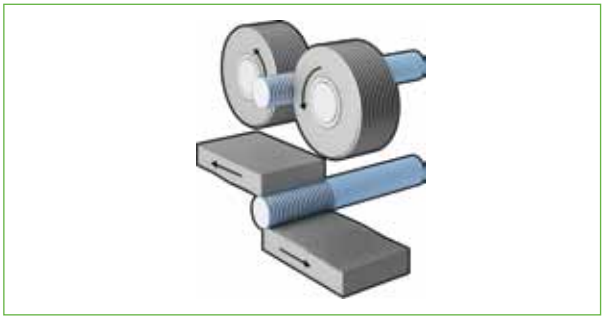
عملية تشكيل المعدن بالدرفلة بعد تسخينه إلى درجة حرارة إعادة التبلور (Recrystallization Temperature)؛ ليصبح أكثر ليونة وسهولة في التشكيل.

الدرفلة الباردة (Cold Rolling)

عملية تشكيل المعدن بالدرفلة عند درجة حرارة الغرفة أو قريبًا منها، مما يُحَسِّن دقة الأبعاد، ونعومة السطح.

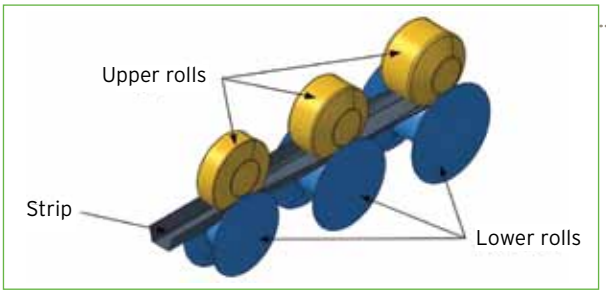
الدرفلة حسب نوع المنتج

تشكيل اللولب والتروس بالدرفلة (Thread/Gear Rolling)



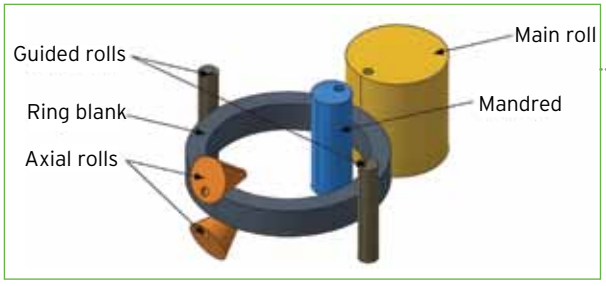
يُستخدم هذا النوع من الدرفلة لتشكيل أسنان (Threads) أو تروس (Gears) على قطعة العمل، وذلك بضغطها بين أسطوانتين مسننتين، وتختلف هذه العملية عن عمليات اللولبة بالقطع في عدم إزالة أي أجزاء أو قِطع من المعدن المراد تسنينه.

درفلة المقاطع الهيكلية (Shape Rolling)

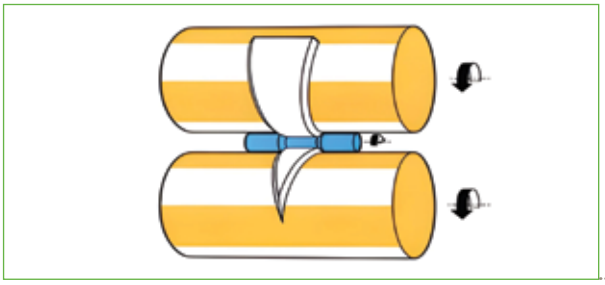


تشكيل المقاطع الهيكلية كالعوارض بأشكال محددة (I-Beams, H-Beams) أو الأشكال المعقدة الأخرى باستخدام بكرات أو أسطوانات تحتوي على تصميمات مخصصة، وتُعد السكك الحديدية (Railroads) من أبرز تطبيقاتها.

الدرفلة الحلقية (Ring Rolling)

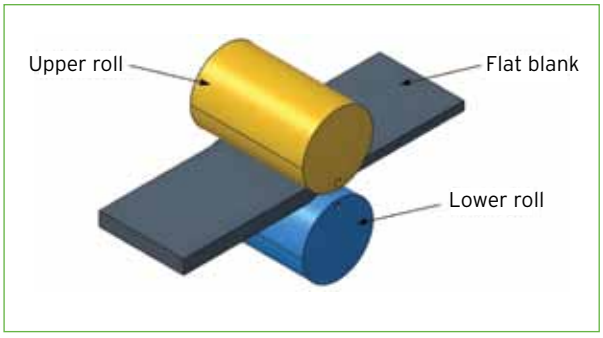


عملية توسيع الحلقات المعدنية غير الملحومة (Seamless) عن طريق ضغطها بين أسطوانات داخلية وخارجية.



- **الدرفلة العرضية** (Transverse/Cross Rolling)

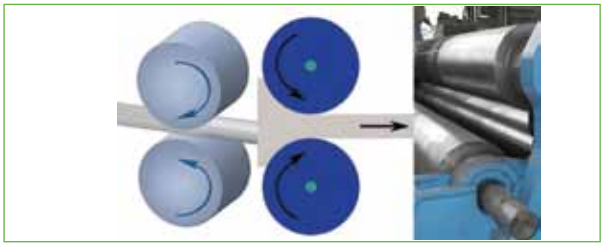
عملية تُستخدم لتشكيل الأجزاء المعدنية من خلال تقليل سُمكها، وزيادة طولها، أو تشكيلها بشكل خاص عن طريق الضغط العرضي.



- **الدرفلة المسطحة** (Flat Rolling)

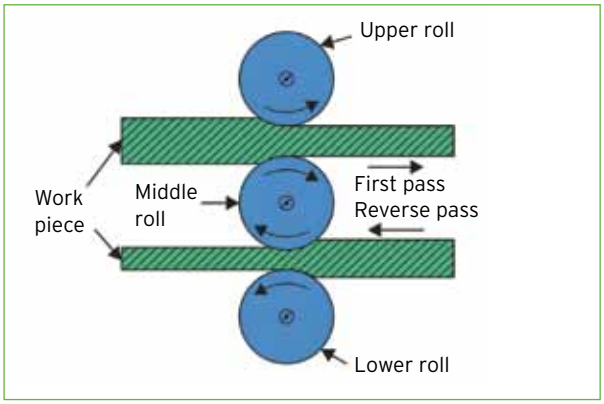
تتمثل في دحرجة الألواح بين أسطوانتين متوازيتين إحداهما في الأعلى والأخرى في الأسفل؛ حيث تدوران في اتجاه معاكس لحركة الألواح بهدف تقليل سمكها، وزيادة طولها؛ لإنتاج القضبان (Rods)، والصفائح العريضة (Slabs).

الدرفلة حسب عدد الأسطوانات



- **الدرفلة ثنائية البكرات** (Two-High Rolling)

يُمرر المعدن بين أسطوانتين تتحركان في الاتجاه ذاته، أو في اتجاهين متعاكسين.

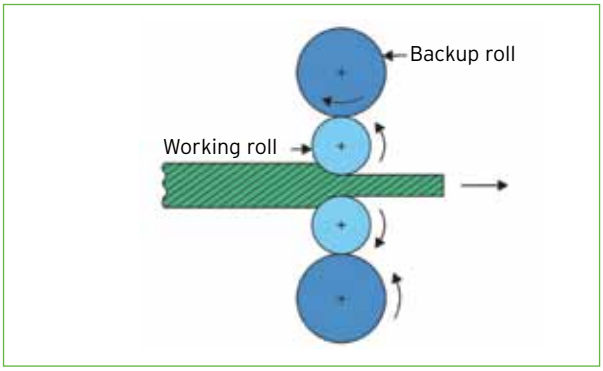


- **الدرفلة ثلاثية البكرات** (Three-High Rolling)

تستخدم ثلاث أسطوانات تتحرك ذهابًا وإيابًا لتقليل سُمك المعدن تدريجيًّا.

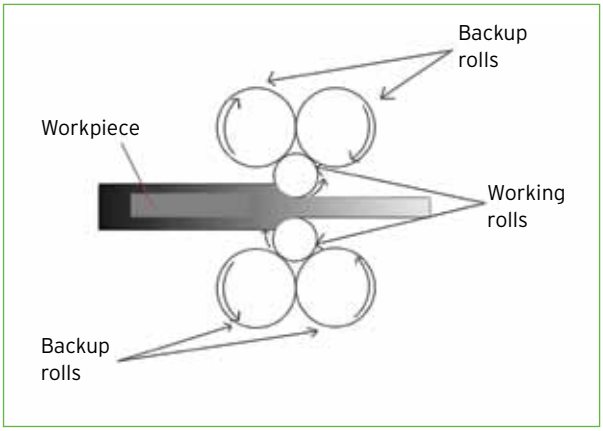
الدرفلة رباعية البكرات
(Four-High Rolling)

تستخدم أربع أسطوانات لتشكيل الصفائح الرقيقة.



الدرفلة متعددة البكرات
(Cluster Rolling)

تستخدم عدة أسطوانات لدعم تشكيل المعادن الرقيقة جدًّا.



السحب (Drawing)

تُستخدم عملية السحب مع الكتل أو الصفائح المعدنية لتقليل قطرها، وزيادة طولها في بعض الأنواع، وذلك بتطبيق قوتي شدّ وضغط (Tensile and Compression Forces) لسحب المعدن عبر قالب (Die)، مما يؤدي إلى تغيير شكله وحجمه، ومن أهم أنواع تشكيل الكتل المعدنية بالسحب الآتي:

السحب حسب درجة الحرارة

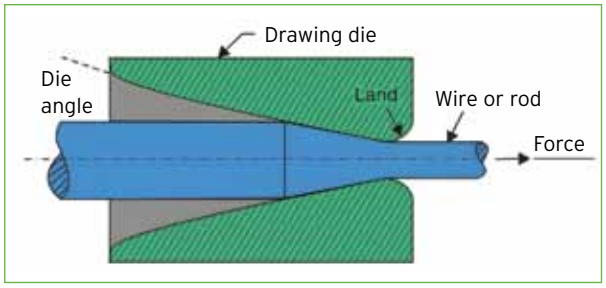
السحب الساخن (Hot Drawing)

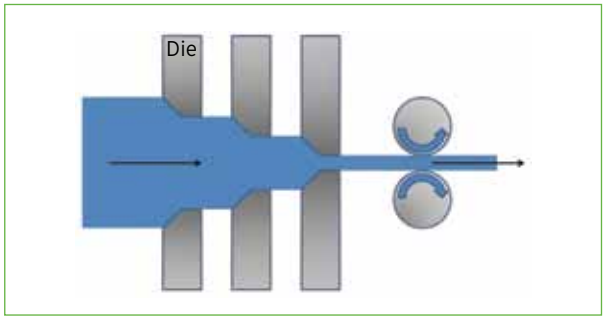
يُسخّن المعدن قبل سحبه إلى درجة حرارة مرتفعة؛ لتقليل مقاومته وزيادة ليونته.

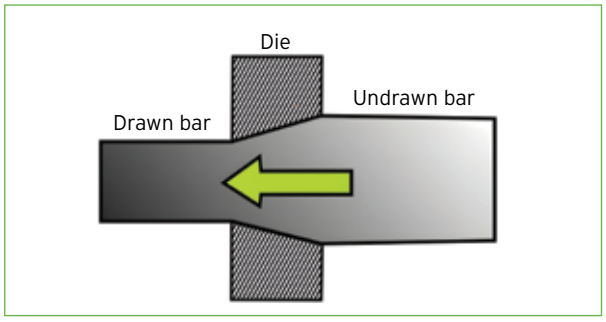
السحب البارد (Cold Drawing)

تُسحب الأسلاك أو القضبان المعدنية عند درجة حرارة الغرفة أو أقل؛ لتقليل مقطعها العرضي (Cross-Section)، وزيادة طولها.

السحب حسب نوع المنتج







- **سحب الأنابيب** (Tube Drawing)

عملية تصغير القطر الخارجي أو الداخلي (Outer or Inner Diameter) للأنابيب المعدنية عن طريق سحبها عبر قالب (Die) باستخدام قوة ميكانيكية، أو هيدروليكية.

- **سحب الأسلاك** (Wire Drawing)

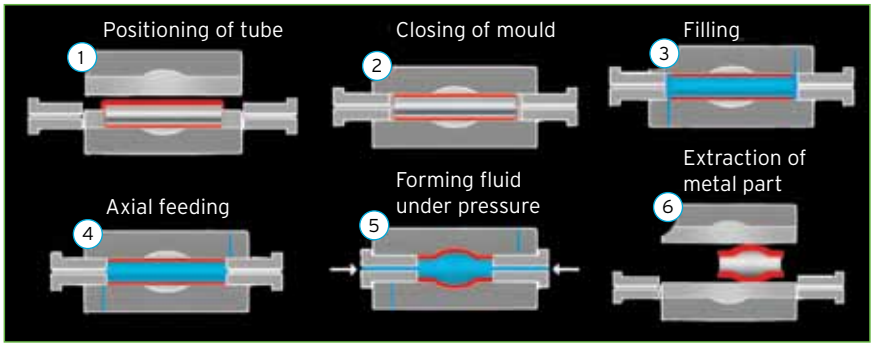
عملية تصغير قطر الأسلاك المعدنية إلى نحو 0.3 mm عن طريق سحبها عبر سلسلة من القوالب (Dies) يتراوح عددها بين (4–12)؛ حيث يُمرر السلك عبر فتحات أصغر تدريجيًّا للوصول إلى القطر المطلوب، ويُطلق عليه كذلك «السحب المستمر» (Continuous Drawing) بسبب تكرار مرور السلك عبر القوالب في عملية مستمرة.

- **سحب القضبان** (Bar Drawing)

عملية تصغير قطر القضبان المعدنية أو تغيير أبعادها من خلال سحبها عبر قالب باستخدام قوة ميكانيكية، ويختلف سحب القضبان عن سحب الأسلاك في حجم المقطع العرضي للقضيب الذي يكون أكبر من الأسلاك، ويتم خلال مرحلة واحدة عبر قالب واحد.

- **التشكيل الهيدروليكي** (Hydroforming)

تَستخدم هذه التقنية ضغط السوائل الهيدروليكية (Hydraulic Fluid Pressure) كالماء بدفع المعادن خفيفة الوزن عبر قالب لتشكيلها، مع إمكانية استخدامه مع المواد الأنبوبية (Tubular) أو المسطحة كالصفائح المعدنية.



التشكيل الهيدروليكي

الدرس الرابع

عمليات تشكيل المعادن

(Metal Forming Processes)

٢-تشكيل الصفائح المعدنية (Sheet Metalworking)

تشكيل الصفائح المعدنية (Sheet Metalworking) هو عملية تصنيع ميكانيكية تُستخدم لتحويل الصفائح المعدنية الرقيقة التي يبلغ سُمكها أقل من (6 mm) إلى منتجات ذات أشكال وأحجام مختلفة، وتشمل هذه العملية مجموعة من العمليات الأساسية أهمها:

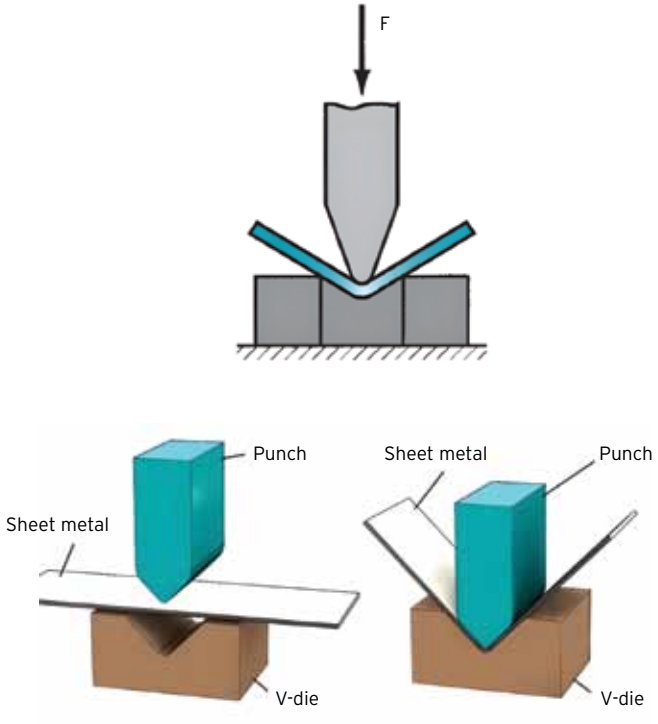
الثني (Bending)

تتمثل عملية الثني في تطبيق قوة على الصفائح المعدنية (Metal Sheets) لإنشاء انحناء (Curve) بزاوية معينة يؤدي إلى تغيير شكل الصفائح أو القضبان المعدنية دون إحداث كسر (Fracture) فيها أو تغيير في سُمكها (Thickness)، وتُعد عملية الثني إحدى العمليات الرئيسية في تصنيع المعادن، ومن أهم تقنياتها الآتي:

الثني على شكل حرف V (V-Bending)

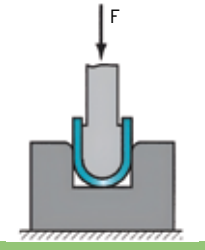
تُعد من التقنيات الشائعة في ثني المعادن، وتُستخدم فيها أداة ضغط وقالب على شكل حرف V (V-shaped Punch and Die) لثني الصفائح المعدنية، ويُستخدم لهذا الغرض مكبس الثني (Press Brake) أو مكبس الختم (Stamping Press).

وتُعد تقنية الطي (Folding) مشابهة للثني على شكل حرف V، فهي تتمثل في ثني الصفيحة المعدنية في خط مستقيم لتشكيل زوايا حادة (Sharp Angles).



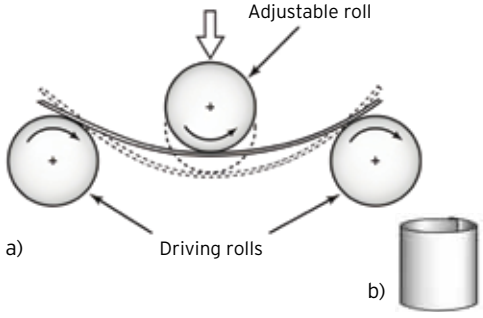
الثني على شكل حرف U (U-Bending)

هذه التقنية مشابهة لتقنية الثني على شكل حرف V، ولكن يُستخدم فيها قالب ومكبس ثلاثي الجوانب على شكل حرف U (U-shaped Punch and Die).



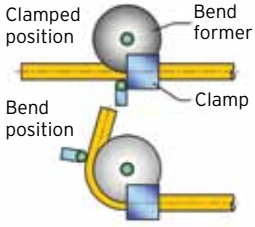
الثني الأسطواني (Roll/Cylindrical Bending)

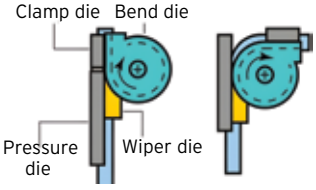
يُستخدم في هذا النوع من الثني ثلاث أسطوانات (Rollers) مرتبة على شكل مثلث، بحيث تكون أسطوانة واحدة في الأعلى واثنتان في الأسفل، وتتحرك الصفيحة المعدنية تحت الأسطوانة العلوية وفوق الأسطوانتين السفليتين، وينتج عن هذه العملية صفيحة على شكل قوس (Arc)، ومن تطبيقاتها: تشكيل الأنابيب، والأسطوانات، والخَزَّانات.



الثني الدوراني (Rotary Bending)

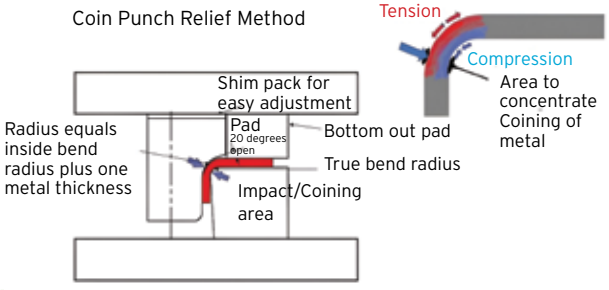
تُحَول الحركة الرأسية للمكبس إلى حركة دورانية دقيقة تسمح بالالتفاف أكثر من (90) درجة لمقاومة ارتداد المادة، وتُنتج انحناءات ثابتة متسقة، وقابلة للتكرار دون أي عيوب على السطح.





ثني الحافة (Wipe/Edge Bending)

تُثبت الصفيحة بين قالب (Die) وأداة تثبيت تسمى (Wiping Die)، ويُطبق ضغط على طرف المعدن المكشوف باستخدام أداة الثني (Punch)، مما يؤدي إلى ثني حافة القالب وُصولًا إلى الزاوية المطلوبة، وعادة ما تُثنى الحافة من أجل الحصول على زاوية 90 درجة.



تشكيل الحواف البارزة (Flange Forming)

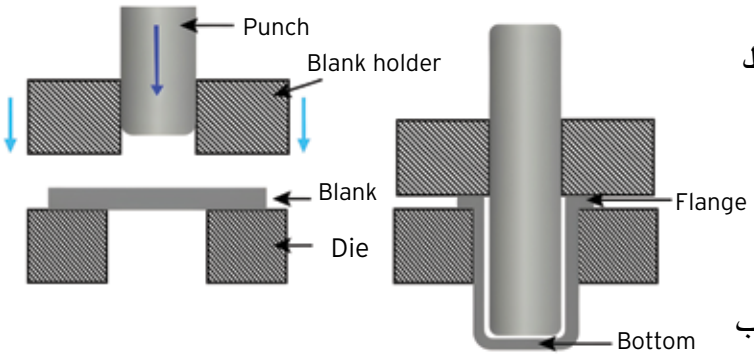
ثني المعدن أو شده عند الأطراف؛ لإنتاج حواف بارزة (Flanges)، وتكون هذه الحواف دائرية أو مستوية.

السحب (Drawing)

تُستخدم هذه العملية لصنع المنتجات العميقة أو المجوفة بتحويل الصفيحة المعدنية المسطحة إلى أشكال ثلاثية الأبعاد كالأسطوانات، والأكواب، والصناديق عن طريق سحبها داخل قالب باستخدام مكبس، ومن أنواع سحب الصفائح المعدنية الآتي:

السحب العميق (Deep Drawing)

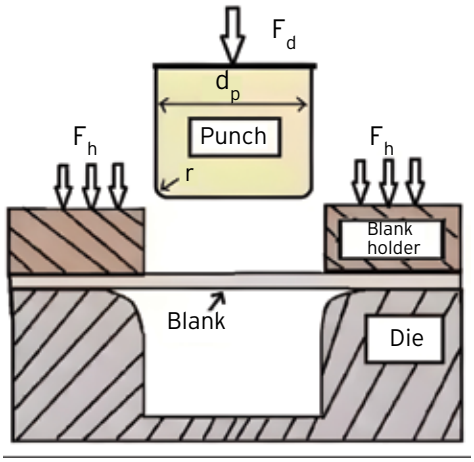
تحويل الصفائح المعدنية المسطحة إلى أشكال مجوفة ثلاثية الأبعاد بحيث يكون طولها أكبر من قُطرها، وذلك عن طريق وضع الصفيحة على فتحة القالب والضغط عليها باستخدام مكبس (Punch) له نفس شكل القالب، كما ينتج عن هذه العملية حواف بارزة على الزاوية الواقعة بين المكبس وفتحة القالب.



وغالبًا ما تُستخدم تقنية أخرى بعد السحب العميق تُسمى الكي (Ironing)؛ لتجنب تفاوت سُمك الجدار في قطعة العمل النهائية.

السحب السطحي (Shallow/Box Drawing)

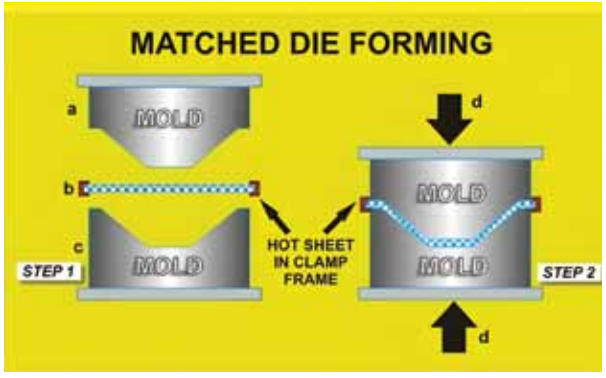
هذه التقنية مشابهة للسحب العميق، وتختلف عنها في كون قطر قطعة العمل النهائية أكبر من طولها؛ أي تكون منخفضة العمق.



التشكيل بالقوالب (Die Forming)

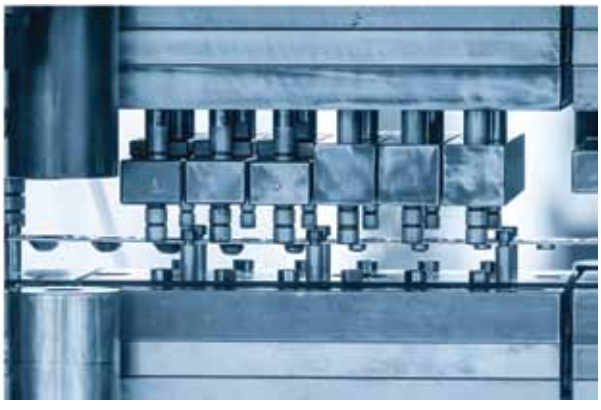
في عملية التشكيل بالقوالب أو الختم توضع الصفيحة المعدنية بين قالبين، وتُطبق عليها قوة ضغط عالية لتتشكل وفق تجويف القالب، ومن تقنياتها الآتي:

الختم بضربة واحدة (Single Station Stamping)



هي عملية تُوضَع خلالها الصفيحة أو الشريط المعدني في مجموعة من القوالب العلوية والسفلية التي تقوم بالتشكيل بضربة واحدة (Single Stroke) على قطعة العمل.

الختم التدريجي (Progressive Stamping)



هو نوع من الختم متعدد الضربات؛ فبعد كل ضربة من ضربات المكبس تُمَرَّر الصفيحة المعدنية عبر سلسلة من المحطات تؤدي كُلٌّ منها وظيفة أو تغييرًا محددًا في شكل الصفيحة المعدنية إلى أن تظهر بشكلها النهائي في المحطة الأخيرة من المكبس.

الدرس الخامس

العمليات المتنوعة

(Miscellaneous Processes)

تتبع عمليات تشكيل الكتل والصفائح المعدنية مجموعة من العمليات المتنوعة، أهمها الآتي:

الطلاء (Coating)

هي عملية تغطية سطح المادة المعدنية بطبقة رقيقة من مادة أخرى لتحسين مظهر المعدن، وحمايته من التآكل والصدأ (Corrosion and Rust)، وتقليل الاحتكاك (Friction)، وإكسابه خواص إضافية، مثل: زيادة قدرته على التحمل، ومقاومة الحرارة والرطوبة، وتسهيل عمليات التجميع والتفكيك. ويُصنف الطلاء بناء على الغرض منه إلى الآتي:

نوع الطلاء	الوصف	أمثلة
الطلاء الواقي (Protective Coating)	يُستخدم لحماية الصفائح المعدنية من التآكل أو الصدأ.	■ **الجلفنة** (Galvanizing): طلاء الصفائح المعدنية بطبقة من الزنك لمقاومة التآكل. ■ **الطلاء الكهربائي** (Electroplating): مثل: الطلاء بالكروم. ■ **طلاء الأكسيد الأسود** (Black Oxide Coating/ Blackening).
الطلاء الزخرفي (Decorative Coating)	يُستخدم لتحسين مظهر الصفائح المعدنية.	■ **الدهان** (Painting): تطبيق الطلاء السائل بألوان مختلفة. ■ **الطلاء بالمسحوق** (Powder Coating): تطبيق مسحوق جاف يُعالَج بالحرارة؛ لإضفاء مظهر متين وجميل.
الطلاء الوظيفي (Functional Coating)	يمنح الصفائح المعدنية خصائص إضافية، مثل: ■ مقاومة الحرارة. ■ مقاومة المواد الكيميائية. ■ تقليل الاحتكاك.	■ **الطلاءات العازلة كهربائيًّا** (Insulative Coatings). ■ **الطلاءات المقاومة للحرارة** (Heat-Resistant Coatings).

التنعيم (Smoothing)

يعرف التنعيم بأنه معالجة سطح الصفائح المعدنية لجعله أكثر استواءً ونعومة من خلال إزالة العيوب السطحية، مثل: الخدوش والخشونة الناتجة عن عمليات القطع أو التشكيل، وتشمل هذه العملية مجموعة من التقنيات أهمها الآتي:

- **الصقل (Grinding)**

هو عملية إزالة الطبقات السطحية أو المواد الزائدة من قطعة معدنية لجعل سطحها مستويًا، أو تحقيق دقة عالية في الأبعاد.

الصقل

- **التلميع (Polishing)**

هي عملية تحسين مظهر الصفائح المعدنية من خلال إزالة الخدوش الصغيرة والعيوب السطحية؛ للحصول على سطح لامع ونظيف، وتشمل:

- **التلميع الميكانيكي (Buffing):**
تلميع سطح الصفيحة المعدنية باستخدام عجلات ناعمة مغطاة بمواد تلميع، مثل: الشمع.

التلميع الميكانيكي

- **التلميع الكيميائي (Chemical Polishing):**
يُغمر المعدن في مواد كيميائية تُخفي العيوب السطحية.

التلميع الكيميائي

- **التلميع الكهربائي (Electro-Polishing):**
يعتمد على التيار الكهربائي لتنعيم السطح، وإزالة العيوب.

التلميع الكهربائي

التخشين (Texturing)

يُعرف التخشين بأنه إنشاء نمط معين على سطح الصفائح المعدنية؛ لتحسين مظهرها، وأدائها الوظيفي، وزيادة الاحتكاك، وتقليل الانعكاس، وتوفير سطح عازل، ومن أهم تقنياته الآتي:

- **السفع الرملي** (Sandblasting)

يسمى أيضًا الكشط الرملي، ويتمثل في قذف الرمل أو مواد كاشطة (Abrasives) أخرى على سطح الصفيحة المعدنية باستخدام ضغط عال؛ للحصول على نسيج خشن، أو إزالة الطبقات القديمة من السطح.

- **السفع بكريات الفولاذ** (Shot Peening)

قذف سطح الصفيحة المعدنية بجزيئات صغيرة (عادةً كرات معدنية أو زجاجية) بسرعة عالية.

إزالة الحواف الحادة (Deburring)

إزالة الحواف الحادة أو الزوائد المعدنية (Burrs) الناتجة عن عمليات التشكيل المختلفة، التي قد تؤثر في جودة المنتج النهائي، ومن أهم تقنياتها:

- **الإزالة اليدوية** (Manual Deburring)

تستخدم أدوات يدوية، مثل: الكاشطات (Scrapers)، والمبارد المعدنية (Metal Files)، وأوراق الصنفرة (Sandpaper).

- **التشطيب الاهتزازي** (Vibratory Finishing)

توضع الصفائح المعدنية المراد معالجتها داخل وعاء أو حاوية تهتزّ مع مواد كاشطة خاصة.

المعالجة الكيميائية (Chemical Treatment)

تستخدم المواد الكيميائية لتغيير خصائص سطح المعدن، أو تحسينه بإزالة الشوائب، وتحسين مقاومته للتآكل، وتعزيز التصاقه بالطلاء، ومن أنواع المعالجات الكيميائية الأساسية الآتي:

- **التنظيف الحمضي** (Pickling)

استخدام الأحماض لإزالة الشوائب، مثل: الصدأ، والزيوت، والقشور الناتجة عن التشكيل الحراري.

- **التخميل** (Passivation)

تكوين طبقة أكسيد رقيقة على سطح المعدن (مثل: الفولاذ المقاوم للصدأ)؛ لحمايته من التآكل.

الدرس السادس

عملية صب المعادن

(Metal Casting Process)

يندرج الصبّ المعدني ضمن عمليات تشكيل المعادن (Metal Shaping) في حالتها السائلة، لذا فهو يختلف عن عمليات التشكيل السابقة (Metal Forming) التي تعتمد على تشكيل المعدن في حالته الصلبة، ويُعرف الصبّ المعدني (Metal Casting) بأنه عملية صب المعادن المنصهرة (Pouring Molten Metals) في قوالب (Molds) بأشكال محددة، لتتصلب (Solidification) المعادن بعد ذلك؛ أي تتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة نتيجة لتحرير الحرارة الكامنة للانصهار (Latent Heat of Fusion)، وتستخدم لصنع المكونات أو الأجزاء المعدنية بالأشكال المرغوبة، مثل: صنع رؤوس وكتل المحركات، والكتل والألواح الفولاذية، وسبائك الألمنيوم، إضافة إلى ذلك تستخدم عملية الصب في عدد من العمليات الصناعية، مثل: اللحام (Welding)، وسبك أسطح المعادن (Surface Alloying)، وتنقية المواد وتكريرها (Materials Purification and Refining)، وصنع السبائك المعدنية (Alloys).

الحرارة الكامنة للانصهار

(Latent Heat of Fusion)

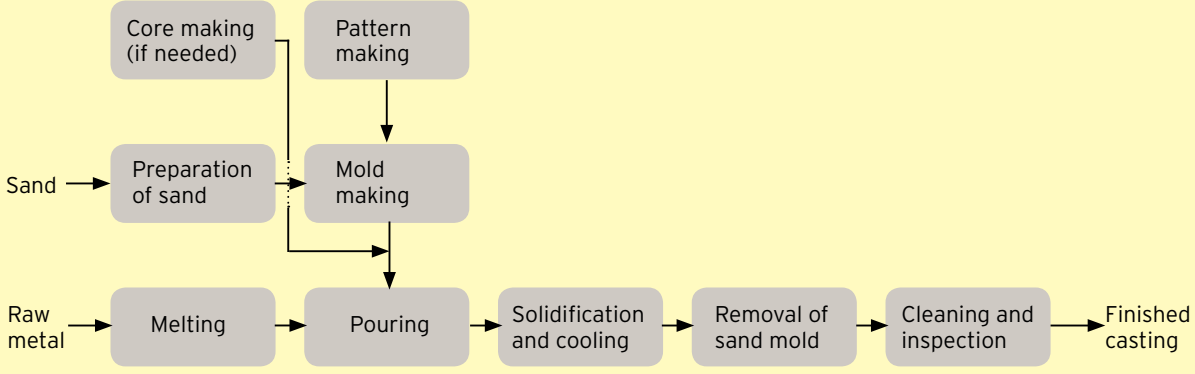
هي مقدار الطاقة الحرارية اللازمة لتحويل وحدة الكتلة من مادة معينة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة عند درجة حرارة الانصهار، دون حدوث أي تغيير في درجة حرارة المادة.

تطبيقات الصبّ المعدني

خطوات عملية صبّ المعادن (Metal Casting Steps)

تتمثل خطوات عملية صب المعادن في الآتي:

- صنع القالب (Creating the Mold)
- الانصهار (Melting)
- تحضير القالب (Preparing the Mold)
- إزالة الشحوم والغازات (Degassing and Modification)
- صب المعدن المنصهر في القالب (Pouring Molten Metal into Mold Cavity)
- تبريد المعدن المنصهر (Cooling/Freezing)
- التصلب (Solidification)
- إزالة الصب من القالب (Cast Removal)
- إزالة المعادن الزائدة من الصب (Trimming Excess Metal from the Cast)



خطوات عملية الصبّ المعدني

1 صنع القالب (Creating the Mold)

تتمثل الخطوة الأولى من عملية صبّ المعادن في تصميم القالب وصنعه وفقًا للنمط (Replica)، وتختلف أنواع القوالب بناءً على طريقة التصنيع، والمواد المستخدمة، وطبيعة المنتج المطلوب، وتُصنف القوالب بناء على شكلها، وآلية تدفق المعدن المنصهر بداخلها إلى نوعين، هما:

النمط (Replica)

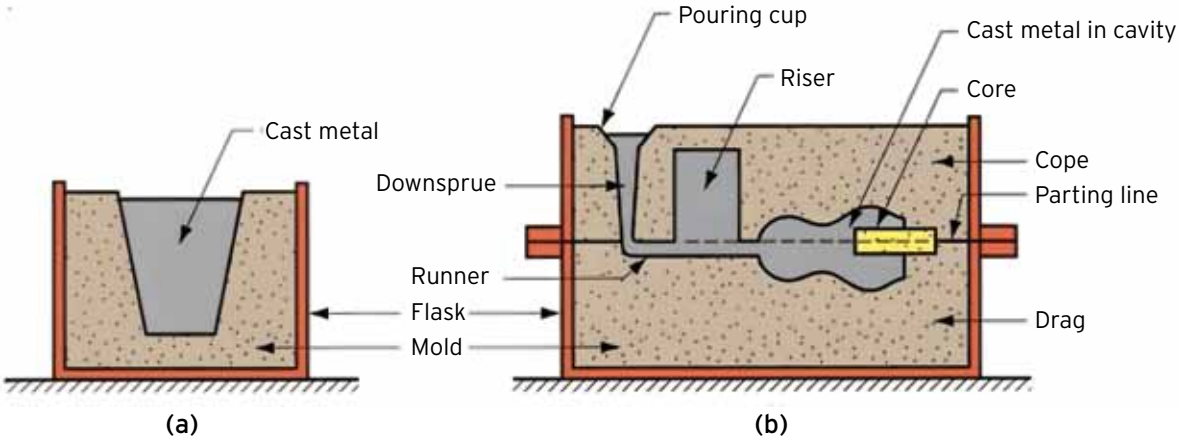
نموذج يُمثل الشكل النهائي للمنتج المراد صنعه، ويُستخدم هذا النمط في تشكيل تجويف القالب الذي سيُصَب المعدن المنصهر فيه.

- **قوالب مفتوحة (Open Mold)**

هي قوالب مفتوحة من الأعلى (Cope) ومغلقة من الأسفل (Drag)؛ حيث يُصب المعدن المنصهر مباشرة بها دون وجود غطاء أو نظام قنوات لتوجيه التدفق.

- **قوالب مغلقة (Closed Mold)**

هي قوالب مغلقة تمامًا من الأعلى (Cope) والأسفل (Drag) باستثناء فتحات صغيرة لصبّ المعدن المنصهر في مسار (Gating System) لتوجيهه إلى تجويف القالب.



(a) قالب مفتوح، (b) قالب مغلق

وتُصنف قوالب الصبّ وفقًا لمادة الصنع، وعدد مرات الاستخدام إلى نوعين أساسيين، هُما:

- **القوالب الدائمة (Permanent Mold)**

  هي قوالب مصنوعة من مواد معدنية صلبة، مثل: الحديد الزهر، والفولاذ، والبرونز، والجرافيت، وتُستخدم بشكل متكرر لصبّ المعادن المنصهرة دون الحاجة إلى إعادة تشكيل القالب بعد كل عملية صبّ.

- **القوالب القابلة للتوسيع (Expandable Mold)**

  هي قوالب تُستخدم لإنتاج أشكال معقدة يصعب إزالتها باستخدام القوالب الدائمة، وتُكَسَّر لإخراج المنتج النهائي بعد تصلبه؛ لذا تُصنع من مواد مؤقتة يسهل كسرها لإخراج المنتج النهائي بعد تصلبه، مثل: الرمل، أو الجبس، أو الشمع، ومن أهم أنواع القوالب القابلة للتوسيع: القالب الرملي (Sand Mold) الذي يُستعان به في عملية الصب الرملي (Sand Casting).

القالب الرملي (Sand Mold)

تُصنع القوالب الرملية بضغط الرمل المخلوط بمواد أخرى، مثل: الطين أو المواد الكيميائية؛ لتشكيل تجويف الصب (Cavity) الذي يتخذ شكل المنتج النهائي المطلوب، وعادة ما تُستخدم أنواع مختلفة من الرمل، أهمها الآتي:

- **الرمل الأخضر (Green Sand):**

  يُعرف هذا النوع أيضًا بالرمل الرطب أو الطين، فهو خليط من الماء والمركبات العضوية، ويُطلق عليه «أخضر» لأنه يحتوي على رطوبة (ماء) عند استخدامه في تشكيل القالب، وليس بسبب لونه، ويُعدُّ من أكثر المواد شيوعًا في صنع القوالب الرملية؛ نظرًا لتكلفته المنخفضة، ومرونته، وسهولة إعادة استخدامه، ولكنه غير مناسب لجميع أنواع قوالب الصبّ؛ لإنه قد ينهار أثناء عملية الصبّ.

- **سيليكات الصوديوم أو الزجاج المائي (Sodium Silicate/Water Glass):**

  تستخدم سيليكات الصوديوم لصنع القوالب الرملية؛ فهي تتصلب عند تعريضها لثاني أكسيد الكربون (CO_2) نتيجة لحدوث تفاعل كيميائي، مما يُسرّع عملية تجهيز القالب، ويتميز هذا النوع من الرمل بأنه عديم اللون والرائحة، وغير سام، ولا ينتج عنه أي تلوث حَمضي (Acid Pollution)، ولا تنبعث منه غازات مزعجة أو ضارة في عملية الصبّ، ويُعد القالب الذي يُصنع بواسطة هذا النوع من الرمل أقل مرونة في الاستخدام والتعامل، ولكنه مستقر الأبعاد، وذو تكلفة أقل، ويحتاج وقت معالجة أقصر.

- **رمل الراتنج (Resin Sand):**

هو عبارة عن خليط من حبيبات الكوارتز (Quartz) والراتنج (Resin)، حيث يتصلب هذا النوع من الرمل عند تعريضه للحرارة، مما يسهل من عملية تشكيله كقوالب للصب؛ لذا يُعد الأفضل من بين أنواع الرمل الأخرى من حيث جودة الصب، ولكن تكلفته أعلى ومعدل إنتاجه أبطأ؛ حيث تستغرق قوالب رمل الراتنج وقتًا أطول لصنعها.

2 الانصهار (Melting)

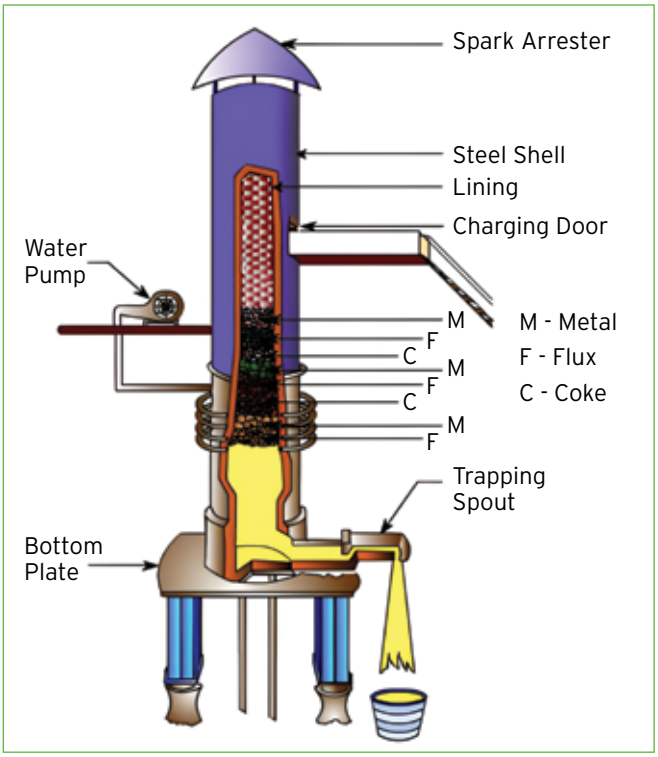
تتضمن هذه الخطوة تسخين المعدن في بوتقة (Crucible) داخل أفران خاصة (Melting Furnaces) حتى يصل إلى درجة انصهاره (Melting Point)، وينصهر عندها متحولًا من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة، ويجب الاستمرار في تسخين المعدن إلى درجة حرارة أعلى من نقطة الانصهار؛ لضمان صبه بسهولة في القالب قبل أن يبرد ويتصلب، وتعتمد درجة حرارة الانصهار على نوع المعدن أو السبيكة وتركيبها الكيميائي، فعلى سبيل المثال، تنصهر سبائك الزنك عند درجة حرارة تقارب 900° F، بينما تحتاج بعض سبائك البرونز إلى درجات حرارة تتجاوز 2000° F، أما بالنسبة للمعادن النقية (Pure Metals)، فإنها تنصهر عند درجات حرارة ثابتة ومحددة لكل معدن.

أنواع أفران الصهر (Melting Furnaces Types)

توجد عدة أنواع من أفران الصهر، منها الآتي:

- **أفران الدست (Cupola Furances):**

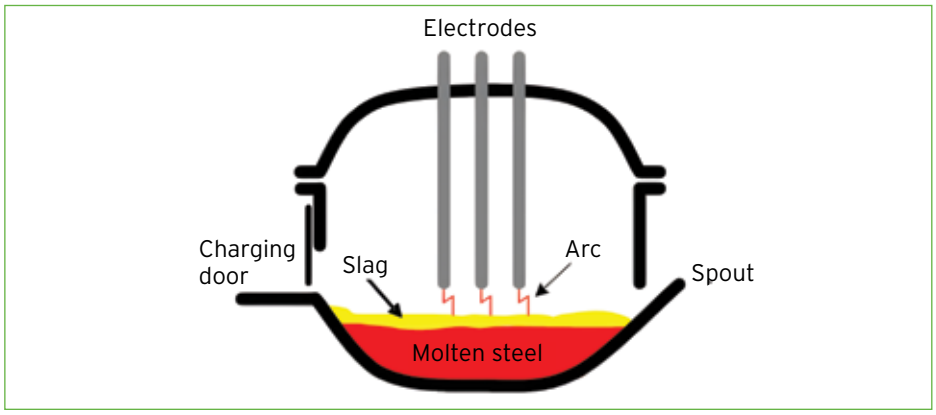
هي أفران تُستخدم لصهر الحديد الزهر (Cast Iron)، وتعتمد على الحطب، أو الفحم كمصدر للحرارة مع ضخ الهواء لتعزيز عملية الاحتراق. وتتميز أفران الدست بتكلفة تشغيل منخفضة، ولكنها تنتج انبعاثات عالية. وتُعد هذه الأفران الأقل شيوعًا واستخدامًا في الوقت الحالي بسبب تطور أفران الصهر الأخرى.



أفران الدست

- **أفران القوس الكهربائي (Electric Arc Furnaces):**

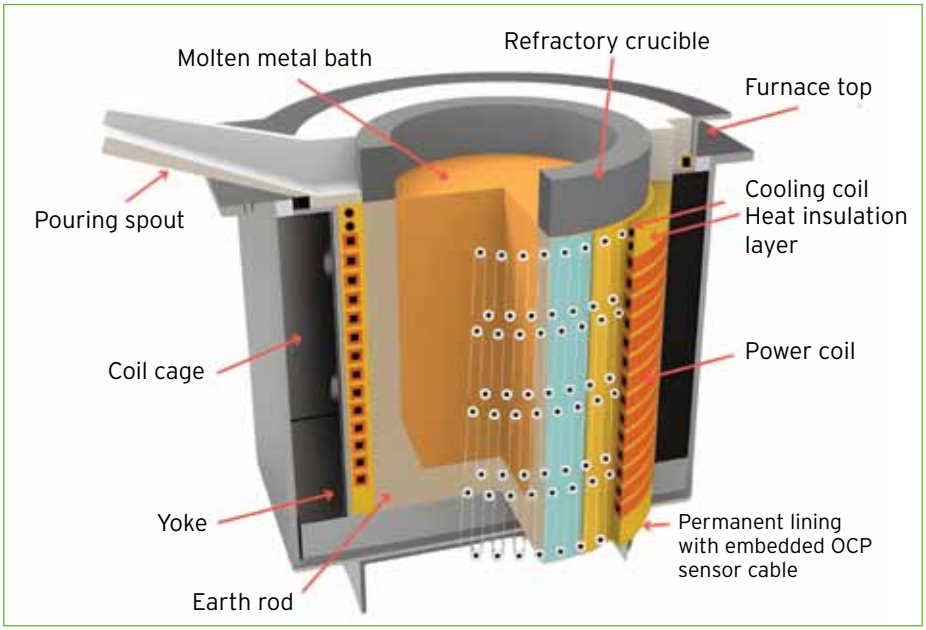
أفران ذات سعة متفاوتة، تعتمد على استخدام قوس كهربائي لصهر المعادن وتكريرها، كإعادة صهر الحديد الخردة بهدف إعادة تدويره، وإنتاج فولاذ منه. وتتميز أفران القوس الكهربائي بمرونة عالية في صهر أنواع مختلفة من الفولاذ، وإمكانية التحكم في درجة الحرارة والتركيب الكيميائي للمعدن المنصهر بدقة.



أفران القوس الكهربائي

- **أفران الحثّ الكهربائي (Electric Induction Furnaces):**

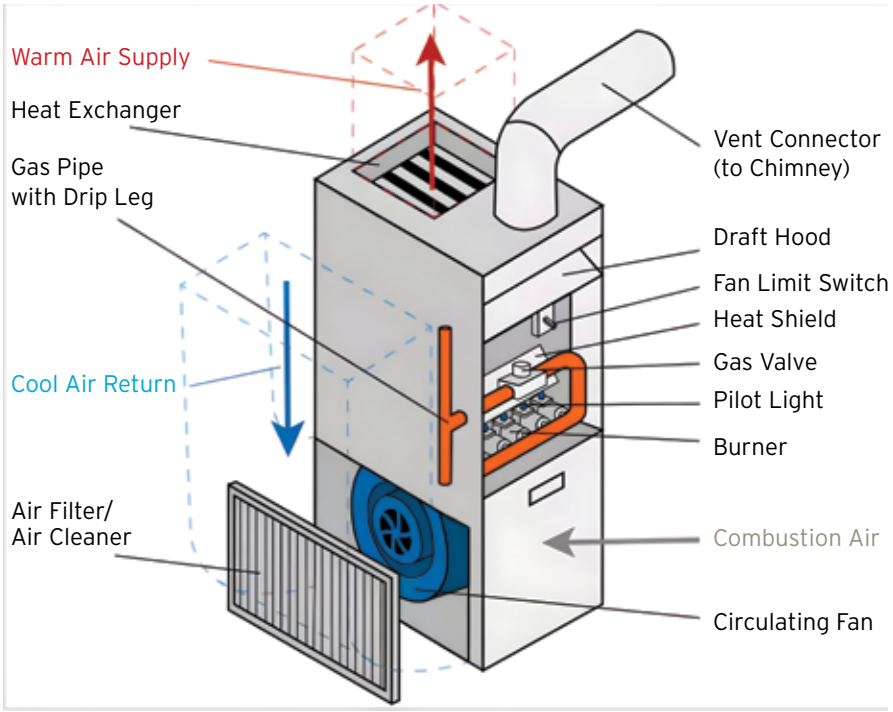
تُستخدم لصهر المواد الموصلة للحرارة، مثل: الحديد، والنحاس، والألمنيوم، والمعادن النفيسة من خلال تمرير تيار متردد (Alternating Current) كمصدر للطاقة في ملف كهربائي يحيط بحجرة الفرن، مما يُنتج مجالًا مغناطيسيًّا يؤدي إلى توليد حرارة داخل المعدن فينصهر.



أفران الحثّ الكهربائي

- **أفران تعمل بالغاز (Gas Fired Furnaces):**

تَستخدم الغاز الطبيعي أو الوقود السائل لصهر معظم أنواع المعادن كالألمنيوم، والنحاس. وتتميز هذه الأفران بسهولة التشغيل والصيانة، وإمكانية التحكم في درجة الحرارة بدقة.



أفران تعمل بالغاز

3 تحضير القالب (Preparing the Mold)

في هذه الخطوة يُحضَّر القالب لصبّ المعدن المصهور فيه، وذلك بتشحيم (Lubrication) سطح تجويفه أولًا؛ ليسهل بعد ذلك إزالة الصبّ، ثم يُغلق نصفا القالب بتثبيتهما معًا بشكل آمن ومحكم لمنع فقدان أي جزء من المعدن المنصهر.

يعتمد نوع مادة التشحيم (Lubricant) على نوع القالب والمعدن المستخدم.

4 إزالة الشحوم والغازات (Degassing and Modification)

قبل صبّ المعدن في القالب يجب إزالة الشحوم (Grease) والغازات المُذابة كغاز الهيدروجين من الخليط المعدني، وخاصة سبائك الزنك (Zinc Alloys)، وسبائك الألمنيوم (Aluminum Alloys)، وذلك بإدخال أنبوب من الجرافيت (Graphite Lance) يدور بسرعة عالية في المعدن المنصهر، ويُحقن عن طريقه غازا الأرجون والنيتروجين اللَّذَين يعملان على نقل الغازات المذابة والملوثات (Contaminants) إلى سطح المعدن المصهور، ثم إزالتها.

كما تتطلب العديد من المعادن والسبائك إجراء تعديلات (Modifications) بإضافة عناصر مثل: التيتانيوم، والبورون، والنحاس، والفوسفور، والسترونتيوم، والمنغنيز؛ لتزيد من قابلية تدفقها (Metal Flowability) بداخل القالب لملء التجاويف الدقيقة والمعقدة، وتُحسّن بنيتها الحُبَيبية (Grain Structure).

5 صبّ المعدن المنصهر في القالب (Pouring Molten Metal into Mold Cavity)

بعد إزالة الملوثات والغازات تُقاس درجة حرارة المعدن للتأكد من أنها أعلى من نقطة الانصهار الخاصة به بمقدار يتراوح (50°F—150°F) للسماح له بالتدفق بسرعة في جميع أنحاء تجويف القالب قبل أن يبرد، ومن الضروري إبقاء فوهة البوتقة (Crucible Lip) بالقرب من القالب قدر الإمكان لتقليل سرعة المعدن أثناء دخوله تجويف القالب.

صبّ الألمنيوم المنصهر في القالب

6 تبريد المعدن المنصهر (Cooling/Freezing)

يَبْرُد المعدن المنصهر فور سكبه في القالب في بضع دقائق فقط؛ حيث تبدأ درجة حرارته في الانخفاض تحت درجة انصهاره، وتبرد أجزاء المعدن التي تكون بالقرب من جدار القالب بشكل أسرع، ثم تبدأ عملية تصلّب المعدن.

تبريد المعدن المنصهر

7 التصلب (Solidification)

يفقد المعدن المنصهر مستويات الطاقة بداخله مع الاستمرار في انخفاض درجة الحرارة؛ أي إنه يتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة، وهو ما يُعرف بعملية التَّصَلُّب (Solidification)؛ حيث تستمر البلورات (Crystals) في التشكل والنمو حتى يتصلّب المعدن كاملًا، وتتحول هذه البلورات إلى حُبيبات في الهيكل النهائي للصُّلب، وتكون هذه الحُبيبات أطول إذا تصلب المعدن ببطء، وتكون أقصر إذا تصلّب بسرعة.

وخلال عملية التصلب ينكمش المعدن؛ لأن معظم المعادن تكون كثافتها أقل في حالتها السائلة، وقد تظهر أثناء الانكماش (Shrinkage) فراغات أو ثقوب صغيرة (Voids)، ولتجنب هذه العيوب يجب التحكم في درجة الحرارة والضغط، ومستوى الغازات الموجودة، وإزالة الملوثات.

8 إزالة الصبّ من القالب (Cast Removal)

بعد انقضاء الوقت المخصص لتصلّب المعدن كاملًا، يُفصل نصفا القالب العلوي (Cope) والسفلي (Drag) عن بعضهما لإزالة الصَّب أو المعدن المتصلب (Cast) باستخدام آلة هزَّازة (Vibrating Machine)، وفي حالة استخدام قالب رملي من المحتمل أن تلتصق بالمعدن المتصلب طبقات من الرمل والأكسيد؛ لذا تستخدم طريقة السفع الرملي (Sand Blasting) لإزالتها من سطح المعدن المتصلب بعد ذلك.

9 إزالة المعادن الزائدة من الصبّ (Trimming Excess Metal from the Cast)

بعد إخراج الصبّ من القالب تُزال المواد الزائدة (Excess Material) العالقة بسطحه إما يدويًّا أو باستخدام مكبس التشذيب (Trimming Press) لتنعيم السطح النهائي، ويعتمد الوقت المطلوب للتشذيب على حجم الصبّ، وغالبًا ما يُعاد استخدام المواد الناتجة عن التشذيب في حالة استخدام القالب الرملي.

مكبس التشذيب

الدرس السابع

عمليات التجميع والتثبيت

(Joining and Assembly Processes)

تُستخدم مجموعة من عمليات التجميع والتثبيت؛ لدمج وربط مكونين معدنيين أو أكثر بغرض تصنيع المنتج النهائي المطلوب، ومن أبرزها الآتي:

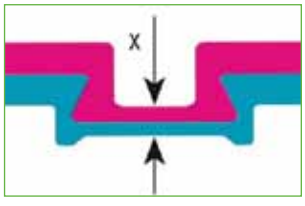
عملية التلاصق

- **التلاصق/الترابط اللاصق** (Adhesive Bonding)

هو عملية تُستخدم لربط أو تجميع مكونين أو أكثر من المعادن أو الصفائح باستخدام مادة لاصقة غالبًا ما تكون بوليمر (Polymer)، تُطبَّق بين الأسطح لتتصلب بعد ذلك بفعل القوى الكيميائية أو الفيزيائية للمادة اللاصقة.

- **التشبيك** (Clinching)

عملية ربط وتجميع الصفائح المعدنية معًا دون الحاجة إلى لحام، أو مسامير، أو مواد لاصقة، وتعتمد هذه العملية على الضغط الميكانيكي الذي يغير من شكل المعدن، مما يُنشيء رابطة دائمة وقوية بين القطع المعدنية.



التجميع بالتشبيك

- **اللحام** (Welding)

في عملية اللحام، يُربط مكونان أو أكثر من المعادن أو الصفائح باستخدام الحرارة أو الضغط أو كلاهما معًا؛ لإنشاء رابطة قوية ودائمة؛ إذ يُسَخَّن مكونان أو أكثر ويُصهَران ليندمجا مع بعضهما ويُكوِّنا قطعة واحدة، وتُضاف أحيانًا مادة حشو (Filler Material) لتسهيل عملية الدمج وتقويتها، ومن أشهر تقنيات اللحام الآتي:

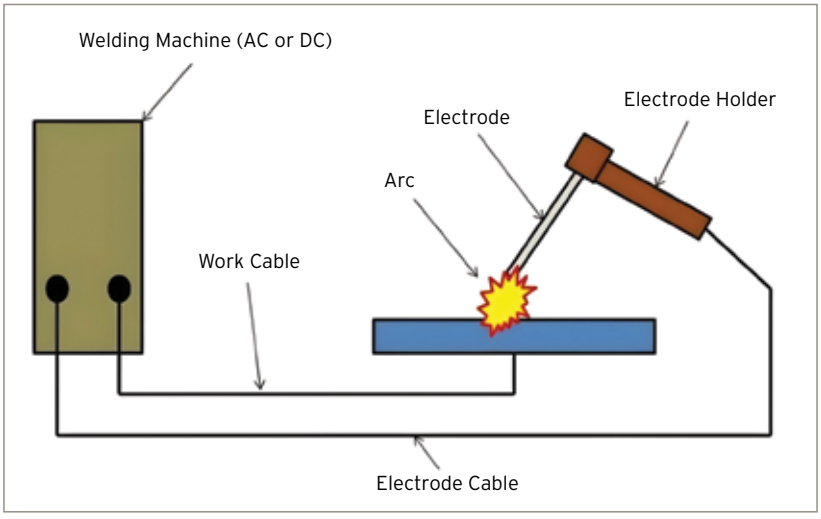
- **اللحام بالقوس المعدني**

(Shielded Metal Arc Welding (SMAW)):

هو تقنية تربط فيها المكونات بتوليد حرارة عالية باستخدام قوس كهربائي بين القطب الكهربائي (Electrode) والمعدن الأساسي (Base Metal)، مما يؤدي إلى انصهار المعدن وإنشاء رابطة دائمة.

القوس الكهربائي

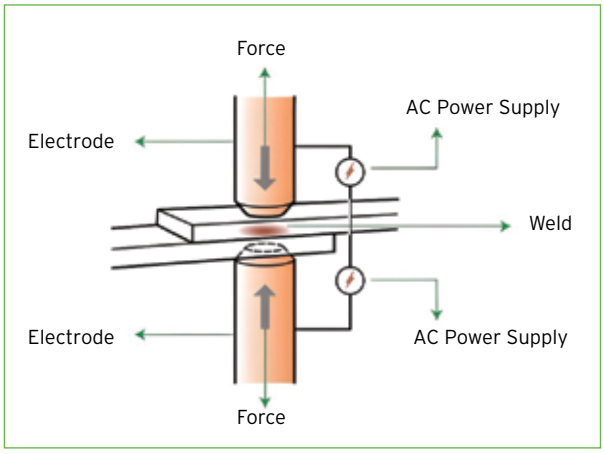
ظاهرة فيزيائية تُولد فيها حرارة وضوء إشعاعي نتيجة مرور تيار كهربائي بين قطبين كهربائيين (Electrode) عبر الهواء، أو الفراغ.



اللحام بالقوس المعدني

اللحام بالمقاومة الكهربائية (Resistance Welding):

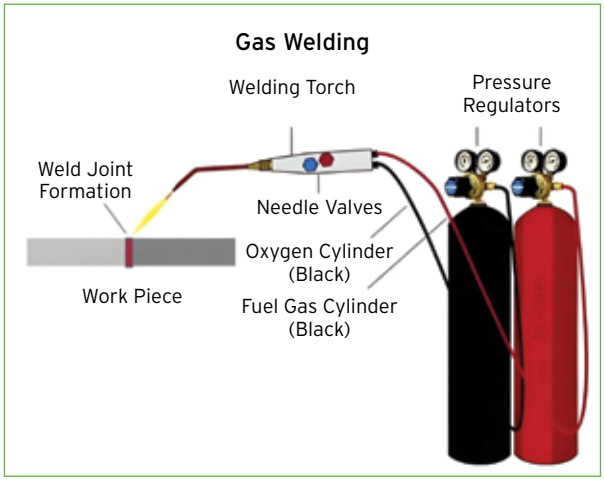
هو تقنية تعتمد على استخدام التيار الكهربائي وتطبيق الضغط الميكانيكي معًا لربط قطعتين أو أكثر من المعدن معًا، وذلك من خلال وضع القطع المعدنية بين أقطاب معدنية فوق بعضها، بحيث تتلامس المناطق التي ستُلحم بإحكام، ثم يُمرّر تيار كهربائي عالي الجهد خلال الأقطاب وعبر القطع المعدنية مما يؤدي إلى توليد حرارة كافية لصهر المعدن عند نقاط التلامس، وتكوين رابطة قوية ودائمة.



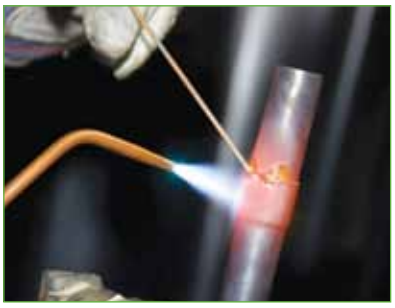
اللحام بالمقاومة الكهربائية

اللحام بالغاز (Oxyfuel Gas Welding):

يُصهر المعدن باستخدام اللهب الناتج من احتراق خليط من الأكسجين (Oxygen)، وغاز الوقود (Fuel gas) مثل: الأستيلين (Acetylene)، وتتيح هذه التقنية التحكم الدقيق في درجة الحرارة في عملية اللحام، مما يجعلها مناسبة للعديد من التطبيقات الصناعية والتكنولوجية.



اللحام بالغاز (غاز الوقود)

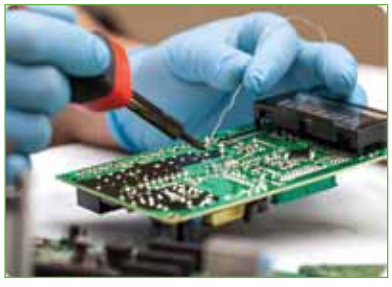


اللحام بالنحاس

- **اللحام بالنحاس (Brazing):**

هو تقنية تجميع أو ربط قطعتين معدنيتين باستخدام معدن حشو يُصنع غالبًا من النحاس أو سبائكه، ويُوَزَّع بين المكونات المعدنية الصلبة المراد ربطها معًا، ثم تُسخن القطع المعدنية لتصل إلى نقطة انصهار معدن الحشو أعلى من (840°F)، دون صهر المعادن الأساسية (Base Metals) المراد ربطها، ويجب أن تتمتع مادة الحشو بسيولة عالية (Fluidity)، وقابلية للبلل (Wettability).

- **السيولة (Fluidity):** قدرة المادة على التدفق والانتشار عبر الفجوات الصغيرة قبل أن تتصلب.
- **قابلية البلل (Wettability):** قدرة المادة على الانتشار وتشكيل طبقة رقيقة فوق السطح الصلب.



لحام المكونات الإلكترونية

- **لحام المكونات الإلكترونية (Soldering):**

يُستخدم هذا النوع من اللحام بشكل شائع في لحام المكونات الإلكترونية، وهو يشبه اللحام بالنحاس، إلا أن الفرق بينهما في أن نقطة انصهار معدن الحشو المستخدمة في لحام المكونات الإلكترونية تكون أقل من (840°F)؛ ليتحد مع المعادن الأساسية برابطة معدنية دائمة (Metallurgical Bond).

■ التثبيت الميكانيكي (Mechanical Fastening)

تُستخدم في التثبيت الميكانيكي مجموعة من الأدوات الميكانيكية لربط الأجزاء وتجميعها، أهمها الآتي:

المثبتات الملولبة (Threaded Fasteners)		
البراغي (Bolts)	تتكون البراغي من عمود معدني أسطواني يحتوي على أسنان لولبية (Threads) في جزئه السفلي، ورأس (Head) في الطرف الآخر، وتُستخدم البراغي مع الصواميل (Nuts) أو مباشرةً في الثقوب اللولبية لتوفير قوة تثبيت قوية.	
الصواميل (Nuts)	عبارة عن مثبتات ملولبة داخليًّا تُستخدم عادةً مع البراغي لتثبيت وربط قطعتين أو أكثر معًا، وتأتي بأنواع مختلفة، مثل: الصواميل السداسية، وصواميل القفل، والصواميل المجنحة، وكل منها يخدم أغراضًا محددة.	
المسامير (Screws)	تُعد المسامير من المثبتات اللولبية المؤقتة أو الدائمة التي تُستخدم لتوصيل جزأين أو أكثر معًا بإحكام عن طريق تحويل الحركة الدورانية إلى قوة ضغط، ويتميز المسمار بتصميمه الأسطواني الذي يحتوي على أسنان لولبية (Threads) ممتدة على طول البرغي أو على جزء منه، إضافة إلى رأس (Head)، وطرف مدبب في جزئه السفلي، ويُتحكم به باستخدام بعض الأدوات، مثل: مفكات البراغي (Screwdrivers).	

المثبتات غير الملولَبة (Non-Threaded Fastener)		
البراشيم (Rivets)	هي عنصر تثبيت ميكانيكي دائم يُستخدم لربط قطعتين أو أكثر من الصفائح المعدنية وغير المعدنية، ويُستخدم عادةً في التطبيقات التي تتطلب اتصالًا قويًّا، ومستدامًا، وخفة عالية.	
المسامير العادية (Nails)	أدوات تثبيت معدنية تُستخدم لتوصيل أو ربط المواد معًا عن طريق الطَّرق عليها باستخدام مطرقة أو أداة ميكانيكية، مثل: مسدس المسامير (Nail Gun)، ويتميز المسمار العادي بتصميم بسيط يتكون عادة من جسم أسطواني مدبب (Shank)، ورأس (Head).	
المشابك (Clips)	مثبتات مصممة لتثبيت المكونات معًا، وغالبًا ما تتميز بعمل يشبه النابض (الزنبرك)، وسهولة استخدامها، وقدرتها على توفير التثبيت السريع والفعال دون الحاجة إلى معدات معقدة، وتأتي بأشكال مختلفة، مثل: المشابك الزنبركية (Spring Clips)، والمشابك على شكل حرف U أو C (U/C-shaped Clips)، والمشابك البلاستيكية (Plastic Clips).	
المثبتات المتخصصة (Specialty Fasteners)		
الحلقات (Washers)	أقراص رقيقة مسطحة ذات فتحة مركزية، توضع بين الصامولة والبرغي أو بين رأس البرغي والسطح الذي يُثبت، وتعمل على توزيع الأحمال، ومنع تلف السطح والاحتكاك، وتثبيت البراغي.	
الفواصل (Spacers)	مكونات أسطوانية أو أنبوبية (Cylindrical or Tubular Components)، تُستخدم للحفاظ على مسافة محددة بين مكونين، مما يوفر تباعدًا دقيقًا بين المكونات، ومحاذاتها.	

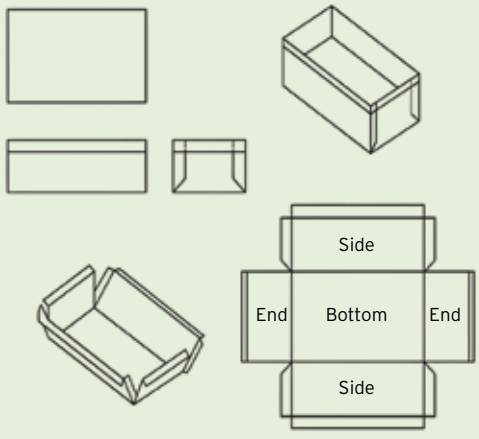
تطبيقات على عمليات تصنيع المعادن

(Metal Fabrication Applications)

تستخدم عمليات تصنيع المعادن وتقنياتها المتفرعة عنها في العديد من التطبيقات، منها الآتي:

التطبيق (1)

تشكيل الصفائح المعدنية المربعة/المستطيلة



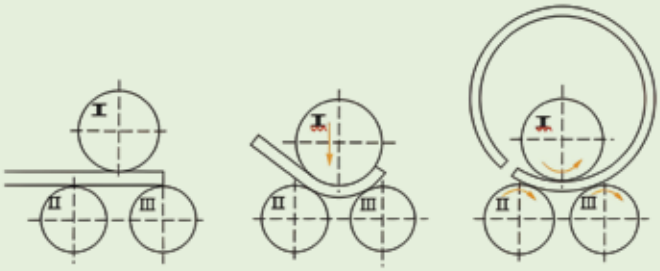
- **اعتبارات التصميم**
  - ضمان دقة القياسات والزوايا؛ للملائمة الدقيقة.
  - اختيار السُّمك المناسب للصفائح المعدنية بناءً على متطلبات الهيكل.
  - التخطيط لتقليل هدر المواد عن طريق تحسين تخطيط المكونات.
- **عمليات التصنيع**
  - القطع: استخدام المقصات أو الليزر للقطع الدقيق.
  - الثني: استخدام مكبس الضغط للثني الدقيق بزوايا محددة.
  - التجميع: استخدام اللحام أو المثبتات، مثل: المسامير، أو البراغي.
  - العمليات المتنوعة الأخرى: تنعيم الحواف والزوايا، وقد يوضع طلاء لمقاومة التآكل إذا لزم الأمر.
- **الخطوات**
  1. قصّ الصفائح المعدنية إلى الأبعاد المطلوبة.
  2. تنفيذ الانحناءات اللازمة باستخدام مكبس الضغط، أو أدوات ثني أخرى.
  3. تجميع المكونات.
  4. لحام أو تثبيت المكونات بشكل آمن.
  5. فحص دقة الأبعاد.

التطبيق (2)

الصفائح المعدنية - الأسطوانية/الإطار

اعتبارات التصميم

- حساب دقيق لنصف القُطر، وطول القوس للمقاطع الأسطوانية.
- النظر في استخدام أدوات ثني متخصصة للمكونات المنحنية.
- التخطيط لمحاذاة تجميعات الإطارات وتناظرها.



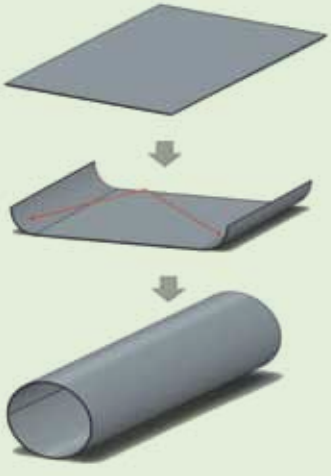
Straighten the Steel Plate

Downward move of Upper Roller to press Steel Plate

Roller Rotation for Plate rolling

عمليات التصنيع

- القطع: استخدام الأدوات المناسبة للقطع المنحني.
- الثني: استخدام آلات الدحرجة، أو أدوات ثني متخصصة للمقاطع الأسطوانية.
- التثبيت والتجميع: باستخدام طُرق اللحام أو التثبيت المناسبة للأسطح المنحنية.
- العمليات المتنوعة الأخرى: تنعيم وتلميع الأسطح المنحنية، وقد يوضع طلاء لأغراض جمالية ووقائية.



الخطوات

1. قص صفائح المعادن لمكونات الإطار.
2. تشكيل المقاطع الأسطوانية حسب الحاجة.
3. محاذاة وتجميع مكونات الإطار.
4. لحام أو تثبيت أقسام الإطار بشكل آمن.
5. فحص الثبات والمحاذاة.

تذكر

- من الضرورة دائمًا ارتداء معدات الوقاية الشخصية المناسبة (PPE) عند العمل في عمليات تشكيل صفائح المعادن، مثل: القفازات، والنظارات الواقية، وسدادات الأذن.
- اتباع إجراءات التشغيل وإرشادات الاستخدام الصحيح للأدوات، والحذر من الحواف الحادة، والأجزاء المتحركة للآلات.
- المحافظة على نظافة مكان العمل، وتهويته الجيدة؛ لضمان بيئة عمل آمنة، والتخلص من نفايات القطع فورًا في حاوية النفايات؛ لتجنب الإصابات الناتجة عن بقايا القطع.

أسئلة الوحدة

- حَدِّد الاعتبارات الواجب معرفتها قبل البدء بعمليات تصنيع المعادن.
- ما الفرق بين التشكيل الساخن للمعادن والتشكيل البارد للمعادن؟
- وضِح المراحل الأساسية لعملية القص.
- ما الفرق بين التفريز والخراطة؟
- حدّد الفروقات بين تقنيتي التحزيز والتفريغ في القطع الميكانيكي.
- عدّد تقنيات القطع الحراري.
- عرِّف عملية الطرق في تشكيل الكتل المعدنية.
- وضّح خطوات عملية صب المعادن.
- قارن بين عملية الطرق بالقالب المفتوح، والطرق بالقالب المغلق.
- فرِّق بين البثق حسب آلية العمل.
- ما المقصود بالدرفلة؟
- اذكر أنواع تشكيل الكتل المعدنية بالسحب.
- عدّد أنواع الثني في تشكيل الصفائح المعدنية.
- عرِّف التشكيل بالقوالب.
- حدّد أنواع الطلاء بناء على الغرض.
- عدِّد أنواع التلميع.
- ما فائدة السفع الرملي؟
- عدّد خطوات عملية صبّ المعادن.
- بيّن الفرق بين الرمل الأخضر ورمل الراتنج.
- اذكر أنواع أفران الصهر.
- عدّد بعض أنواع تقنيات اللحام.

رقم الإيداع
٢٠٢٥/٨٧٠٦م

www.moe.gov.om

ISBN 978-99992-56-35-3