الباب الأول

1

المواد الهندسية

تمهيد

كلمة معدن أو فلز مترجمة عن كلمة Metal بالإنجليزية والمأخوذة من الأصل اللاتيني Metailum ومعناها حفره أو منجم حيثما كانت تستخرج الفلزات . وقد أتفق أخيرا على إختيار كلمة فلز بدلا من معدن في اللغة العربية.

توجد الفلزات (المعادن) المختلفة كالحديد والمعادن غير الحديدية بالطبقات السطحية والطبقات العميقة في القشرة الأرضية في صورة غير نقية ، تتفاوت الكميات الموجودة والمستخرجة من هذه الفلزات (المعادن) كما يتفاوت تركيزها ودرجة نقاوة كل منها من مكان إلى الآخر.

تجرى على أغفال المعادن المختلفة عمليات استخلاص باستخدام أنواع من الأفران التي تتميز عن بعضها البعض من حيث السعة (كمية المعدن الممكن صهرها) – نوع وكمية ودرجة نقاوة المعدن المنتج – نوع المصدر الحراري (الوقود) ... الخ.

يتناول هذا الباب استخلاص وإنتاج الفلزات (المعادن) الحديدية وسبائكها مثل حديد الزهر بأنواعه ، والأفران المستخدمة في عمليات الصهر وعمليات نقاوة وتكرير هذه المعادن ، واستخلاص وإنتاج الفلزات (المعادن) غير الحديدية وسبائكها مثل النحاس – الألومونيوم – الزنك – القصدير – الرصاص ..... وغيرها ، من خلال صهرها وتكريرها عن طريق الأفران المختلفة أو بالترسيب أو بالتحليل الكهربائي.

ويتعرض لأفران الصهر المختلفة مثل الفرن العالي – فرن الدست المعروف بالكيوبولا – فرن البوتقة – فرن التقليب – المحولات والأفران الكهربائية ..... وغيرها . وذلك من خلال الشرح التفصيلي لكل فرن من هذه الأفران على حدة ، مع عرض لطريقة التشغيل ومميزات وعيوب كل منهم.

الشبكات البلورية للمعادن

Space lattice of metals

من المعروف أن المادة توجد في ثلاث حالات هي (الحالة الصلبة ــ الحالة السائلة ــ الحالة الغازية) ، وترتبط جزيئات المادة مع بعضها البعض في الحالات الثلاثة بقوى جذب متفاوته ، حيث تكون قوى الجذب بين الجزيئات أكبر ما يمكن في الحالة الصلبة .. مما يعطي الجسم الصلب حالة الجمود والشكل المحدد ، وتكون قوى الجذب في الحالة السائلة ضعيفة مما يعطي حرية أكثر لحركة الجزيئات لتأخذ مثلا شكل الإناء الذي يحتويها ، أما في الحالة الغازية فتكون قوى الجذب بين الجزيئات منعدمة تقريباً ،لذا فإنها تتحرك في جميع الإتجاهات وتنتشر في أى حجم متاح عندها.

عندما تتجمد المعادن فإنها تتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة ، وقد وجد إنها تختلف من حيث مفردات تجمعها ، حيث تتجمع بنظام أو بغير نظام لتشكل بنيانها المختلفة ، وهي في ذلك أشبه بوحدات البناء المكونة من مفردات مختلفة مثل قوالب الطوب أو قطع الأحجار أو الخرسانة والإسمنت . ومن ثم فإن بنية المواد الجامدة تقسم إلى قسمين أساسيين هما :-

1. بنية ذات تركيب بلوري : Crystalline Structure

التركيب البلوري يعني ترتيب ذرات العنصر بالنسبة لبعضها البعض ترتيب هندسي خاص من خلال شبكة فراغية هندسية ، لتكون ما يسمى بوحدة الخلية Unit cell والتي تكرر نفسها مكونة في النهاية بلورة العنصر Crystal.

2. بنية ذات تركيب غير بلوري : Non-Crystalline

التركيب اللا بلوري يعني عدم ترتيب ذرات العنصر بالنسبة لبعضها البعض ولا تخضع في ترتيبها لأى نظام هندسي .. كما هو الحال في السوائل أو في المعادن (الفلزات) المنصهرة ، ويلاحظ أن الترتيب الهندسي للذرات في العناصر البلورية يخلق بناء منتظم ومزدحم بالذرات يصعب إنهيارها بتأثير القوى الخارجية وهي صفة الفلزات (المعادن).

الفلزات (المعادن) بصفة عامة تتبع الصور البلورية في تركيبها وتتصف بمقاومتها للإجهادات بخلاف اللا فلزات.

الفلزات (المعادن) لها تركيب بلوري يسمى بالشبكة الفراغية Space lattice .. وتسمى أيضاً بالترتيب النظامي للذرات في بلورة المادة . يأخذ هذا النظام أشكالا مختلفة تبعاً لخواص ذرات العنصر من حيث التجاذب أو التنافر ، كما إن خواص المادة نفسها تعتمد بالإضافة على خواص ذراتها على شكل الشبكة الفراغية ترتب ذرات العنصر على نمطها.

فيما يلي عرض ثلاثة أنواع من الشبكات الفراغية التي تتبلور على نمطها المعادن المعروفة.

(أ) شبكة ذرية مركزية الجسم Body Centered Cubic Structure:

تترتب الذرات في هذه الخلية لتحتل أركان مكعب علاوة على ذرة إضافية تأخذ مكانها في مركز المكعب كما هو موضح بشكل 1 – 1 (أ) ، ومن أمثلة المعادن التي تأخذ بلوراتها هذا الترتيب هي الحديد ــالصوديوم ــ الفاناديوم.

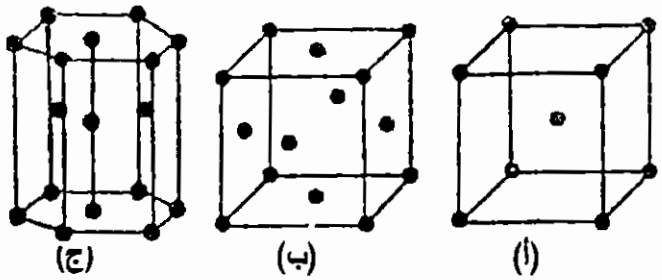
(ب) شبكة ذرية مركزية الوجه : Face Centered Cubic Structure

تترتب الذرات في هذه الخلية لتحتل أركان مكعب علاوة على ست ذرة إضافية تحتل كل واحدة منها مركز وجه من الأوجه الستة للمكعب كما تأخذ مكانها في مركز المكعب كمل هو موضح بشكل 1 – 1 (ب) ، ومن أمثلة المعادن التي تأخذ بلوراتها هذا الترتيب هي الألومونيوم ــ النحاس ــ النيكل.

(ج) شبكة ذرية سداسية مزدحمة Close Packed Hexagonal Structure:

تترتب الذرات في هذه الخلية لتحتل أركان منشور سداسي قائم ، وبمركز كل من القاعدتين ذرة إضافية علاوة على ثلاث ذرات لتجد لنفسها مكاناً في منتصف خط مركز ثقل ثلاث من المنشورات المتباعدة المكونة للمنشور السداسي كمل هو موضح بشكل 1 – 1 (ج) ، ومن أمثلة المعادن التي تأخذ بلوراتها هذا الترتيب هما الزنك

والمغنسيوم.



شكل 1 – 1

ترتيب الذرات بالشبكة الفراغية

خواص البنية البلورية :

تختلف خواص البنية البلورية تبعاً لاختلاف اتجاه قياسها ، فعلى سبيل المثال إذا أخذنا بلورة جرافيت وقسمنا مقدرتها على توصيل الكهرباء لوجدناها تبلغ مائة مرة ضعف مقدارها في الاتجاه المتعامد على اتجاه القياس الأول ، وبسبب هذا الاختلاف الاتجاهي فإن هذه البلورات يطلق عليها أنها غير متساوية الخواص ، وهذه الظاهرة تبدو منطقية لأن المسافة بين الذرات في التركيب البلوري تختلف بإختلاف الإتجاهات المختلفة أو المستويات المختلفة ، الأمر الذي يتوقف عليه الخواص الطبيعية للمعدن.

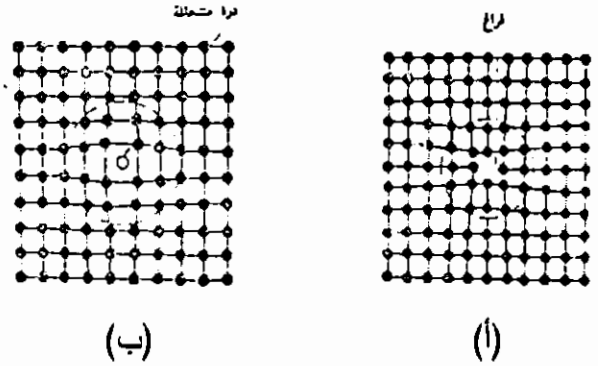
أما في العناصر الغير بلورية في الغازات والسوائل ، فإننا نجد أم الخواص العامة مثل التوصيل الحراري والكهربي والصلادة واللدونة والنفاذ المغناطيسي ومعدل الإنتشار وإنكسار الضوء تتساوى فيها الخواص في الاتجاهات المختلفة لجميع العناصر.

عيوب البنية البلورية :

تقسم عيوب البنية البلورية حسب أبعادها الهندسية إلى عيوب نقطية وعيوب سطحية .

العيوب النقطية تكون صغيرة في جميع الأبعاد الثلاثة ولا يتعدى نطاق تأثيرها في أى إتجاه بضعة أقطار ذرية ، ومن أمثلة العيوب النقطية الفراغية هي عبارة عن

عقد في النسق البلوري ، وتتكون الفراغات كنتيجة لإنتقال الذرات من أماكنها في عقد النسق البلوري إلى سطح البلورة أو لمغادرة الذرات لمن أماكنها إلى أماكن بينية بين العقد كما هو موضح بشكل 1 – 2.



شكل 1 – 2

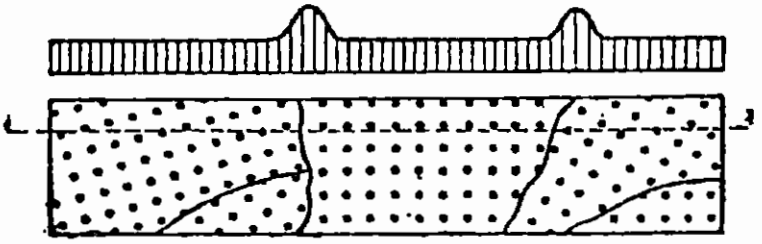
العيوب النقطية في الشق البلوري

الحبيبات وحدود الحبيبات :

لا تتكون معظم المعادن من بلورة واحـدة ، بل من عـدة بلورات دقيقة وهي ما تسمى بالحبيبات ، علماً بأن كل حبيبة تختلف في اتجاه تواجدها وحجمها وشكلها وبعدها عن جارتها ، وبالتالي لا بد أن يفصلها عن بعضها حدود فاصلة تسمى حدود الحبيبات كما هو موضح بشكل 1 – 3.

وحدود الحبيبات هي المناطق الفاصلة بين البلورات أو الحبيبات ، أو بمعنى آخر فإن حدود البلورة الواحدة هي تلك التي ينتهي عندها النظام الشبكي للذرات.

حدود الحبيبات تحتوي في حد ذاتها على ذرات من المعدن ، ولكن ترتيبها لا يخضع لأى نظام . يبدأ إنصهار المعدن عند هذه الحدود بدلا من وسط البلورات ، وكذلك يسهل إنتشار ذرات العناصر الأخرى في المعدن عن حدود الحبيبات ، ومن ناحية أخرى فإن حدود الحبيبات تعتبر مسئولة عن نسبة كبيرة من المقاومة التي يبديها المعدن لتوصيل الكهرباء ومقاومته الإجهادات.



شكل 1 – 3

الحبيبات وحدود الحبيبات

تبلور المعادن :

عملية التبلور تعني إنتقال المعدن من الحالة المنصـــهرة إلى الحالة الجامدة ، ويمكن تتبع وجود التحولات في المعدن على منحنيات تسخينه وتبريده كما هو موضح بشكل 1 – 4 ، فالمعدن الصلب عند تسخينه إلى درجة حرارة معينة يبدأ في الإنصهار ، ونظرلً لإمتصاص المعدن للحرارة الكامنة للإنصهار فإن درجة حرارته تبقى ثابتة ويظهر ذلك في الجزء الأفقي من منحنى التسخين (a) ولا تعود الحرارة إلى الإرتفاع في الجزء المائل من المنحنى إلا بعد الإنصهار الكامل للمعدن ، وبالمثل عند التبريد فإن المعدن المنصهر يبرد تدريجياً حتى درجة حرارة التبلور ، ولكنه يتجمد عند درجـــة حرارة ثابتة (الجزء الأفقي) ويشـــير ذلك إلى فقدان الحرارة بالتبريد .. تعوضه الحرارة الكامنة للتبلور . وعند إنتهاء التجمد تنخفض درجة الحرارة تدريجياً كما هو موضح بالمنحني (b) ، حيث كانت درجتي حرارة التبلور والإنصهار بمنحنيات التبريد والتسخين (a ، b) تنطبقان على هذه المنحنيات التي تصف عملية التحول المتوازن للمعدن .. وهذا ما يحدث نظرياً.

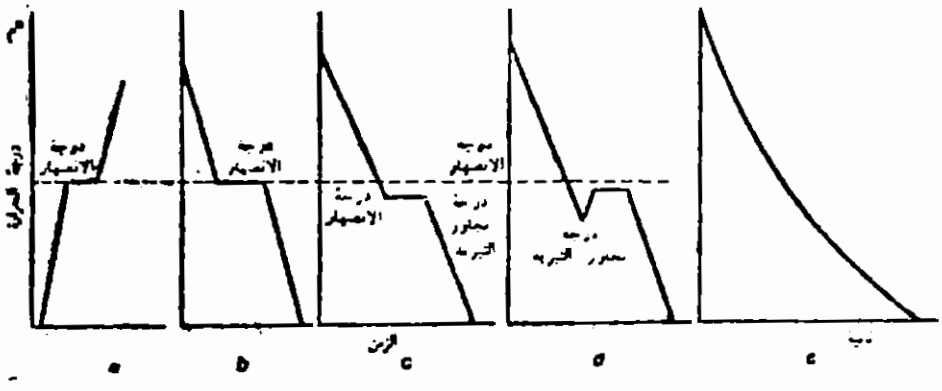
أما ما يحدث عملياً هو التبلور الذي يحدث عند درجة حرارة أقل قليلا من درجة حرارة الإنصهار ، أى أن الجزء الأفقي من منحنى التبريد الذي يحدث عنده التجمد يكون منخفضاً عند درجة حرارة الإنصهار المتوازية شكل (c) وتسمى هذه الظاهرة بالتبريد المتجاوز للمعدن السائل ، ويسمى الفرق بين درجتي الحرارة المتوازية (النظرية) والفعلية للتبلور بدرجة التبريد المتجاوز.

وعلى سبيل المثال فإن درجـــة تجمد الأنتيمون المتوازية النظرية = 631 °م ، وإذا كان الأنتيمون السائل يتجـــاوز عند تبريده هذه الدرجة إلى 595 °م ، حيث يبدأ التبلور عند هذه الدرجة فإن درجة التبريد المتجاور يمكن إيجادها من العلاقة التالية:-

درجة التبريد المتجاور = 631 ــ 595 = 36 م °

ونظراً للتجاوز الشديد للتبريد فإن منحنى التبريد يتكون عليه أنشوطة شكل (d) تشير إلى تجاوز التبريد الشديد ، مما ينتج عنه إرتفاع فجائي في درجة حرارة المعدن تقترب معه إلى درجة الإنصهار ، وتتوقف درجة تجاوز التبريد على سرعة التبريد ، فكلما كان التبريد أسرع .. كلما كان التجاوز أكبر.

أما الأجسام الغير متبلورة فإنها تتبلور بالتدريج ، ولا تنتقل إنتقالا مفاجئا من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة ، وبالتالي فإنه ليس لها درجة معينة فهي ذات طابع تدريجي للتبريد شكل (e).



شكل 1 – 4

منحنيات تسخين وتبريد المعدن النقي

(a) منحنى التسخين.

(b) منحنى التبريد دون تجاوز للتبريد.

(c) منحني بتجاوز التبريد.

(د) منحني لتجاوز التبريد.

(d) منحنى تبريد مادة غير متبلورة.

المواد الهندسية

لسهولة عرض المواد الهندسية التي نتعامل معها في الصناعة ، فقد قسمت المواد الهندسية كما هو موضح بشكل 1 – 5 إلى ثلاثة مجموعات أساسية ، وقسمت كل مجموعة إلى مجموعات فرعية على النحو التالي .

أولا : مواد فلزية (معدنية) Metallic Materials

ويمكن تقسم المواد الفلزية (المعدنية) إلى الآتي :-

1. معادن حديدية Ferrous Materials مثل الحديد المطاوع Wrought Iron وحديد الزهر Cast Iron . درجة إنصهار الحديد النقي 1539 ^{0}م ، كثافته 7.78 جم/سم^{3}.

يمكن إدراك أهمية سبائك الحديد في الصناعة من خلال الإنتاج العالمي للمعادن الحديدية الذي يبلغ حوالي 800 مليون طن في العام تقريباً ، علماً بأن المعدن الذي يليه في الانتشار هو الألومنيوم والذي يبلغ إنتاجه العالمي حوالي 12 مليون طن في العام .. هذا يعني أن إنتاج المعادن الحديدية يفوق إنتاج جميع المعادن الأخرى مشتركة بعدة أضعاف.

2. معادن غير حديدية Non-Ferrous Metals .. أي جميع المعادن الأخرى المستخدمة في الصناعة بخلاف الحديد ، تم تجميعها في مجموعات .. ويمكن تقسيمها إلى الأتي :-

معادن ثقيلة Heavy Metals مثل النحاس Copper والنيكل Nickel .

معادن خفيفة Light Metals مثل الألومنيوم Aluminum والمغنسيوم Magnesium .

معادن طرية Soft Metals مثل الرصاص Lead والقصدير Tin .

ثانيا : مواد غير معدنية Building materials

جميع المواد غير المعدنية المستخدمة في الصناعة بخلاف المواد الحديدية ، والمواد غير الحديدية ، تم تجميعها في مجموعات .. ويمكن تقسيمها إلى الأتي :-

1. مواد طبيعية Natural وتنقسم إلى الأتي :-

- الأحجار ــ الرمل ــ الزلط ــ الرخام ــ الخشــب ــ مطاط ــ جلد ــ ماس .

2. مواد إصطناعية Synthetic وتنقسم إلى الأتي :-

- الزجاج ــ اللدائن ــ الاسمنت ــ الجبس ــ الطوب ــ الخرسانة ــ السيراميك (الخزف) ــ اللدائن ــ الفلين.

ثالثا : المواد المركبة Composite Materials

تنقسم المواد المركبة إلى الآتي :-

مواد مقواه بالحبيبات Particle – Reinforced materials.

مواد مقواه بالألياف Fiber– Reinforced materials.

رابعا : المواد المساعدة للتصنيع Auxiliary materials

تنقسم المواد المساعدة إلى الآتي :-

مواد اللحام واللصق Soldering and Adhesion materials

مواد التنظيف Cleaning materials

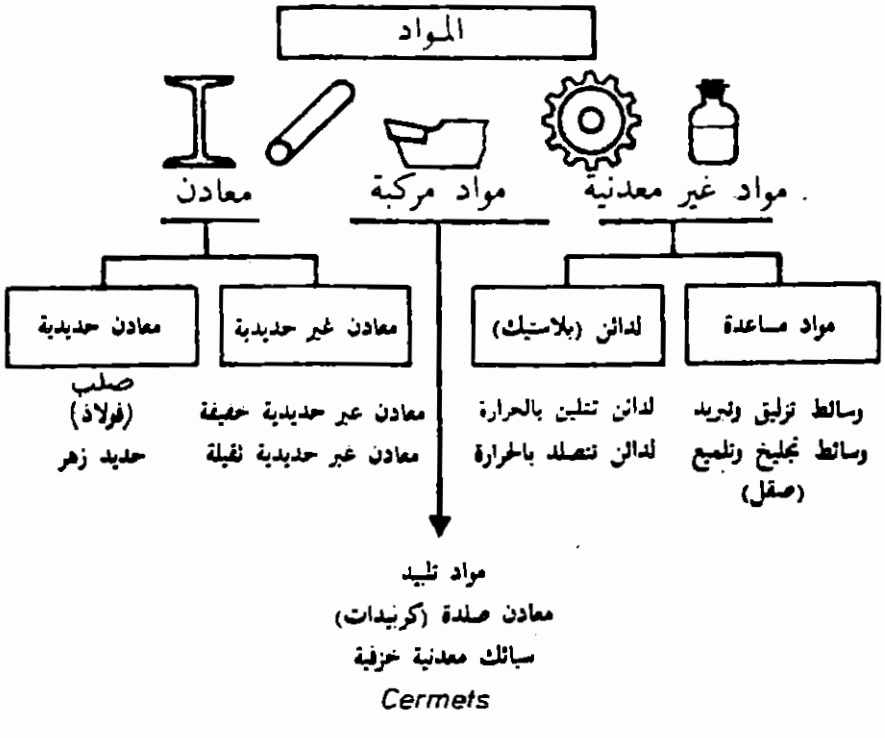
المواد الحاكة للتجليخ والتلميع Grinding and Polishing materials

الحراريات Refractories

المواد العازلة Insulators materials .

خامسا : مواد أخرى

مواد أخرى الغرض منها الطاقة مثل المياه والوقود والمفرقعات ومواد الطاقة النواوية.



شكل 1 – 5

تصنيف المواد الهندسية

إختيار المواد الهندسية :

عند إختيار مواد هندسية لإنتاج جزء معين على سبيل المثال ، فإنه يجب تحديد متطلبات وظيفة هذا الجزء بالإضافة إلى الإعتبارات الإقتصادية ، وبالتالي فإنه يجب الإلمام بالمعارف الأساسية التالية :-

1. أنواع المواد التي يمكن الحصول عليها وخواصها.
2. الإستعمال المطلوب.

3. طرق وأساليب التصنيع الممكنة لتلك المواد ، أى ملاءمة خصائص المواد لأساليب التصنيع المختلفة ومدى تأثرها بتلك الأساليب.
4. التوفير النسبي في المواد ، مع الأخذ في الإعتبار تكاليف المنتج .. من حيث قيمة المواد وأسلوب التصنيع وقدرة المنتج على المنافسة في الأسواق التجارية.

إرتباط العناصر السابق ذكرها بعضها ببعض .. يمثل المفهوم الأساسي لإختيار المواد الهندسية وأسلوب تصنيع المنتج المطلوب تصنيعه . علما بأنه لا يكفي إختيار المواد ذات الخصائص المذسبة الرخصة ، فقد تكون تكلفة تصنيعها باهظة ، كما أن كثير من خصائص المواد تتأثر بصورة مباشرة بأسلوب التصنيع المستخدم.

بذلك يمكن الوصول إلى قناعة بأن إختيار المواد الهندسية لتصنيع منتج معين ، هي عملية توافق بين خواص المواد المتاحة والمتطلبات والظيفية للمنتج والتي يمكن تشغيلها أو تشكيلها بالوسائل والمعدات بأقل تكلفة ممكنة.

جدول 1 – 1 يوضح أمثلة لبض المنتجات والخواص المطلوبة لكل منها.

جدول 1 – 1

أمثلة لبعض المنتجات والخواص المطلوبة

المنتج المطلوب	الخاصية
سلاسل	مقاومة للكسر
قضيب محور دوار	مقاوم لتآكل والبرى
نابض (باي)	قدرة على امتصاص الطاقة
قواعد إرتكاز	مقاومة للأحمال المتكررة
أجزاء طائرات	الصلادة والمتانة مع خفة الوزن
أعمدة خرسانية	مقاومة للضغط

خواص المواد الهندسية

خواص المواد الهندسية .. تعني جميع الصفات التي تتصف بها الفلزات (المعادن) من حيث الخواص الطبيعية ــ الميكانيكية ــ الحرارية ــ الكهربائية ــ الكيميائية ..... وغيرها.

تفيد هــذه الخواص عند مقارنة العينات والمنتجات المختلفة للمادة الواحدة ، هذا يعني أنه عند المعرفة الدقيقة لمادة أو لمجموعة مواد التي تؤدي إلى انخفاض في ثمن المنتج .. فإنه يجب معرفة خواص هذه المواد تحت ظروف متباينة للحصول على المعلومات التي تؤثر على القيمة الاقتصادية بغرض الوصول إلى منتج يؤدي نفس الغرض.

علماً بأنه قد تكون الخواص في بعض الاستعمالات مرغوبة بصورة واضحة ، في حين أنها في استعمالات أخرى تكون غير مرغوبة.

أنواع خواص المواد :

يمكن تقسيم خواص المواد الهندســية كما هو موضــح بجدول 1 – 2 إلى الآتي :-

جدول 1 – 2

خواص المواد الهندسية

النوع	الخاصـــية
طبيعية	الأبعاد ــ الشكل ــ الكثافة ــ الوزن النوعي ــ المسامية ــ نسبة الرطوبة ــ بنيان مرئي بالعين المجردة ــ بنيان دقيق.
كيميائية	التركيب الكيميائي (الحمضي ــ القلوي) ــ مقاومة الصدأ ــ عدم التأثر بالتغيرات الجوية ــ إمتصاص الماء ــ عدم إمتصص الماء ــ الإنكماش ــ التمدد ــ التأثر بالرطوبة.
حرارية	الحرارة النوعية ــ التمدد ــ التوصيل الحراري.
ميكانيكية	مقاومة الأحمال والإجهادات ــ سهولة التشكيل ــ الإنفعال ــ المرونة ــ اللدونة ــ الممطولية ــ القصافة ــ منحنى الإجهاد ــ المرونة ــ الصلادة ــ المتانة.
كهربائية	موصل جيد للتيار الكهربائي ــ موصل رديئ للتيار الكهربائي ــ غير موصل للتيار الكهربائي.
مغناطيسية	قابليته للمغنطة ــ عدم قابليته للمغنطة.
بصرية	اللون ــ نفاذ الضوء ــ إنعكاس الضوء.
سمعية	التوصل الصوتي ــ إنعكاس الصوت.

الخواص الميكانيكية للمواد

لكل مادة خصائص ومميزات تحدد شخصيتها ومجال إستخدامها ، كما إنها تلعب دوراً هاماً في إختيار أساليب التشغيل المناسبة لها ، ويمكن توصيف المادة بمدي مقاومتها ومطاوعتها "قوى الواقعة عليها وبالتغيرات في المقاومة والانفعالات والاجهادات المؤثرة عليها أثناء التشغيل أو التشكيل . ومن ثم فإن الخواص الميكانيكية لمواد التصنيع المختلفة تحدد من خلال سلوك هذه المواد ، وتبعا لذلك توجد مواد قابلة لعمليات التصنيع كالصب – الطرق – اللحام – التشغيل بالقطع .... وغيرها من

العمليات ، كما أن الخواص الميكانيكية تستخدم كأساس للمقارنة بين المواد الهندسية المختلفة.

المواد القابلة للصب يمكن صهرها عن طريق عمليات السباكة .. مثل حديدي الزهر – الرصاص – سبائك النحاس – سبائك الألومونيوم .

المواد القابلة للطرق يمكن تشكيلها عن طريق عمليات الحـدادة ، الدرفلة ، الثني ، مثل الصلب – النحاس – سبائك الألومونيوم .

المواد القابلة للحام يمكن وصل بعضها البعض بواسطة لحام الانصهار أو اللحام بالضغط مثل الصلب والمعادن الغير حديدية .

المواد القابلة للتشـغيل بالقطـع يمكن تشغيلها على آلات القطـع .. على سبيل المثال بواسـطة الثقب – القشـط – البرد – الخرط – التفريز – التخليق – التجليخ .....الخ ، وتصلح جميع مواد التصنيع المعدنية لهذا الغرض .

كما توجد خواص ميكانيكية ، تحدد أهم صفات الخواص الميكانيكية للمعادن وهي الآتي :-

المتانة : Toughness

عكس القصافة .. وهي قدرة المعدن على تحمل الصدمات ومقاومة الإجهادات الخارجية المفاجئة دون أن يتحطم ، وهي صفة تجمع ما بين المرونة والصلادة.

الصلادة : Hardness

هي الخاصية التي تمكنها من الإحتفاظ بشكل سطحها سليماً متماسكاً تحت تأثير الأحمال.

وتعرف بقدرة المادة لمقاومة التشوه ــ النقر ــ القطع ــ الخدش ــ البرى (التآكل) نتيجة للإحتكاك وأيضا لمقامة الخدش أو القطع . يوجد للصلادة عدة أنواع أهمها ما يلي :-

(أ) **صلادة الخدش** : Scratch Hardness

هي خاصية مقاومة سطح المادة للخدش.

(ب) **صلادة البرى** : Wear Hardness

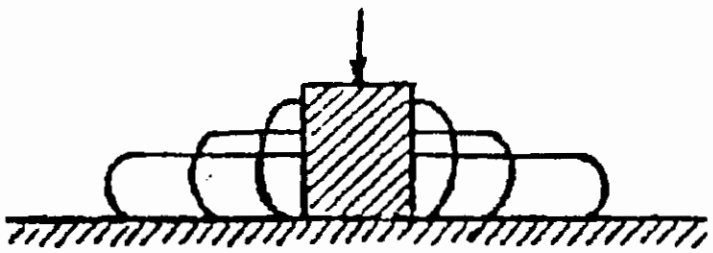
هي خاصية مقاومة سطح المادة للبرى نتيجة الإحتكاك.

(ج) **صلادة الإرتداد** : Rebound Hardness

هي خاصية قدرة المادة للرجوعية .. أى إمتصاص الطاقة وإعادتها مرة أخرى للأحمال المؤثرة مسببة إرتداد لها ، ترتفع قيمتها كلما زادت صلادة المادة.

(د) **صلادة التشكيل بالماكينات** : Malleability

هي قـــدرة المادة على التشكيل بواســطة الطرق Hammering أو الدرفلة Rolling بدون كسر كما هو موضح بشكل 1 – 6 ، وهي خاصية مشابهة للمطولية ولكن لا يوجد علاقة مباشرة بينهما.



شكل 1 – 6

مادة مشكلة بالطرق تحت تأثير حمل الضغط

المرونة : Elasticity

هي خاصية تغيير شكل المادة تحت تأثير قوى معينة ، ثم تعود إلى شكلها وأبعادها الأصلية بعد زوال الإجهادات المسلطة عليها .. هذا يعني أن المرونة عكس اللدونة.

معاير المرونة : Modulus of elasticity

هو قيمة الزيادة في الإجهاد مقسوماً على الزيادة المناظرة في الإنفعال لجزء الخط المستقيم الابتدائي لمنحنى الإجهاد والإنفعال . وحدة قياسه هي Kgf / cm^2

يساوي معاير المرونة في الشد والضغط لأكثر المعادن ، ويعبر عن معاير الليونة في الشد والضغط بالعلاقة التالية :-

$$E = \frac{\sigma}{e}$$

حيث E .... معاير المرونة في الشد والضغط.

اللدونة : Plasticity

هي قابلية المادة للتشكيل (تغيير شكلها) تحت تأثير إجهادات أو قوى خارجية ، دون عودته إلى شكله الأصلي بزوال تلك الإجهادات .. هذا يعني أن اللدونة عكس المرونة.

لا يوجد في الطبيعة مادة مرنة تماماً ، فالمطاط على سبيل المثال يأخذ شكل عندما يسلط عليه حمل .. ولكنه يعود بعد إلى حالته وأبعاده بعد زوال الحمل المسلط عليه.

هذا يعني أن هناك مواد لها خاصية المرونة العالية في حدود مدى معين من الإجهادات ، ثم تتحول إلى لدنة لدرجة معينة ومن أمثلة ذلك الصلب ، وهناك مواد أخرى لها لدونة عالية وقليل من المرونة مثل الرصاص.

الهشاشية : Crackly

هي عدم قدرة المعدن للصدمات أو للأحمال أو القوى الخارجية المؤثرة عليه ، الذي يؤدي إلى تحطيمه .

المطيلية : Ductility

هي قابلية المعدن للاستطالة ، ويكون ذلك تحت تأثير قوى الشد ، أى قابلية

للسحب .. كما هو الحال بعملية السحب إلى أسلاك.

وتقاس نسبة ممطولية المادة .. (نسبة الزيادة في طول المادة) من العلاقة التالية:-

$$\text{النسبة المئوية للإستطالة} = \frac{\text{الزيادة في طول المادة}}{\text{طول المادة}} \times 100$$

$$\text{النسبة المئوية للإخفاض مساحة المقطع} = \frac{\text{النقص في طول المادة}}{\text{مساحة المقطع الأصلية}} \times 100$$

الليونة : Cottony

عكس الصلادة ، وهي قابلية المعدن للثني والحني والالتواء.

القصافة : Brittleness

معناها الهشاشية ، وهي قابلية المادة للكسر قبل حدوث تغير ملحوظ في الشكل مثل حديد الزهر والزجاج والخرسانة .. فإنها تتكسر تحت تأثير حمل دون أن يحدث لها تغيير في الشكل . يعتبر التقصف عكس الممطولية.

الصلابة : Stiffness

هي خاصية تماسك المادة ومقاومتها لأى نوع للتغير في الشكل ، وهي عكس السيولة.

الرجوعية : Resilience

هي كفاءة المادة لإمتصاص طاقة الإجهادات المبذولة في حدود المرونة.

المتانة : Toughness

عكس القصافة ، وهي خاصية المواد التي تعبر عن قدرتها على تحمل ومقاومة الإجهادات ، هذه الخاصية تجمع ما بين المرونة والصلادة.

قابلية السحب :

هي استجابة المعدن للتمدد باتجاه الشد أو التشكيل بالطرق .

قابلية الطرق :

هي استجابة المعدن للتشكيل بالتمدد في جميع الجهات عند طرقه بدون تشقق أو ضغطه أو درفلته.

قابلية الشد :

هي مقاومة المعدن للكسر عند تأثير جهد شد .

قابلية اللحام :

هي استجابة قطعتين من المعدن للوصل باستعمال لحام بالضغط أو بالحرارة أو كلاهما معا .

مقاومة الصدم :

هي قدرة المعدن على مقاومة الضربات المفاجئة .

الخواص الميكانيكية للمواد عند تعرضها لقوى إستاتيكية أوديناميكية:

يمكن تحديد الخواص الميكانيكية لبعض المواد من خلال التعبير عن سلوكها عند تعرضها للقوى والإجهادات المؤثرة المختلفة ، سواء كانت هذه القوى إستاتيكية أو ديناميكية أو متكررة كالآتي :-

التحميل :

يمكن تقسيم الطرق التي تؤثر بها الأحمال على المادة على الآتي:-

1. **حمل إستاتيكي** : Static load

هو القوة أو الحمل الذي يكون تأثيره على المادة بطيئاً ويزداد تدريجياً حتى يصل إلى قيمته القصوى دون حدوث أى صدم أو إهتزاز.

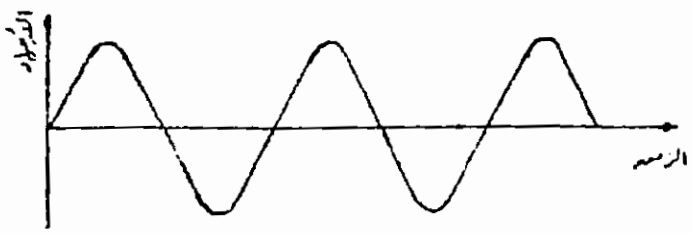
2. **حمل ديناميكي** : Dynamic load

هو القوة أو الحمل الذي يطلق على الفلز (المعدن) من خلال صدمة تؤدي إلى حدوث إهزاز . يختلف هذا النوع عن التحميل الإستاتيكي ، حيث تكون الإجهادات الناتجة في هذه الحالة أعلى من الإجهادات الناتجة تحت تأثير حمل بطيء له نفس القيمة.

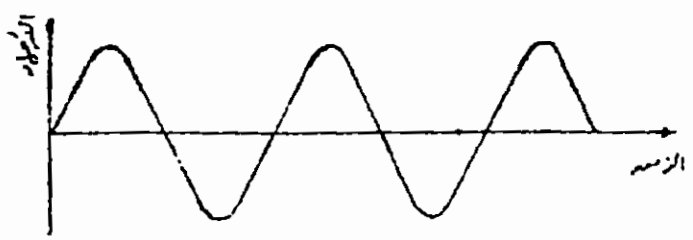
3. **تحميل متكرر** : Repeated loading

الذي يكون فيه تأثير الحمل على المادة عدة مرات ، حيث تتحمل المادة إجهادات معينة إذا كان الحمل مؤثراً لمرة واحدة ، بينما قد يكون هذا الحمل مؤثراً ويؤدي إلى إنهيار المادة تحت تأثير نفس الحمل أو أقل في حالة تكرره لعدة مرات.

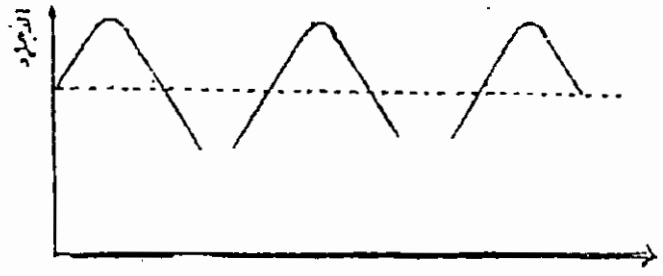
يؤدي التحميل المتكرر إلى إجهادات متغيرة في حدود معينة كما هو موضح بشكل 1 – 7 كالآتي :-



(أ)



(ب)



(ج)

شكل 1 – 7

تأثر الإجهادات على المادة عند التحميل المتكرر

(أ) إجهادات تتغير من قيمة قصوى في الشد إلى قيمة قصوى في الضغط.

(ب) إجهادات تتغير من قيمة قصوى في الشد إلى قيمة تساوي صفر.

(ج) إجهادات تتغير من قيمة قصوى في الشد إلى قيمة أقل تكن أعلى من صفر.

الإجهادات : Stress

عندما تتعرض المادة (جزء من منشأ أو جزء من ماكينة على سبيل المثال) لأحمال أو قوى خارجية ، تؤدي هذه القوى أو الأحمال إلى تولد قوى مقاومة في داخل المادة لتلك الأحمال.

تسمى كثافة القوى الداخلية في جـزء المنشأ بالإجهاد Stess ، يمكن أن تكون هـذه الإجهادات شد Tensile أو ضغط Compressive أو قص Shear .. ووحدتها هي Kg / cm^2 .

يعبر عن إجهاد الشـد أو الضـغط بالرمز σ ، ويعبر عـن إجهاد القص بالرمز q .

ويفترض في حالة الأحمال المركزية F في الشد أو الضغط تكون القوى الداخلية عند أى مقطع مستعرض موزعة توزيعاً منتظماً ، وعليه تكون كثافة القوى الداخليـة (الإجهادات) عند أى نقطـة هي كما هو موضحة بالعلاقة التالية :-

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

حيث σ .... الإجهاد عند أي نقطة.

P .... الحمل أو القوة المؤثرة.

A .... مساحة المقطع المستعرض.

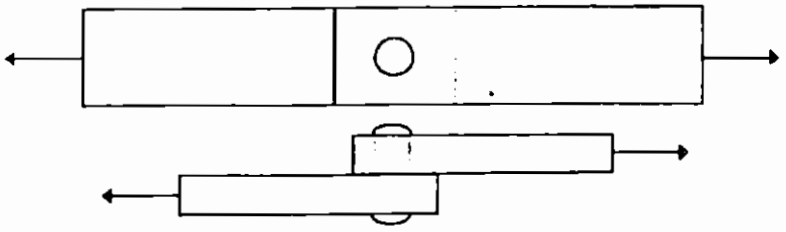
ويمكن إستخدام العلاقة السابقة في بعض حالات القص الذي لا يؤثر فيها الحمل F بطريقة مركزية حقيقية ، ولكنه يؤثر في المستوى المراد حساب الإجهادات عليه ، وعلى سبيل المثال مسمار البرشام الموضح بشكل 1 – 8 يكون إجهاد القص المؤثر عليه كما هو موضح بالعلاقة التالية :-

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

حيث q .... إجهاد القص.

F .... الحمل.

A .... مساحة المقطع المستعرض لمسمار البرشام.



شكل 1 – 8

إجهاد القص الواقع على مسمار البرشام

التشكيل والإنفعال : Deformation & Strain

عندما تؤثر قوى خارجية على المنشأ أو جزء من ماكينة يؤدي إلى تغير في نسبي في شكل وأبعاد هذا الجزء .. يسمى التغيير في أى بعد طولي للمنشأ تشكيلاً Deformation ، أما الأنفعال Strain فهو وحدة التشكيل أو التغيير لكل وحدة من الأبعاد الطولية للمنشأ.

فيما يلي جدول 1 – 3 الذي يوضح أهم الفلزات (المعادن) المستخدمة في الصناعة ورموزها وكثافتها ودرجة حرارة إنصهارها.

جدول 1 – 3

أهم الفلزات (المعادن) المستخدمة في الصناعة

(رموزها ـ كثافتها النسبية ـ درجة حرارة إنصهارها)

المعدن	رمز المعدن	الكثافة النسبية	درجة حرارة الانصهار ^{0}م
الألومنيوم	Al (Aluminum)	2.7×10^{3}	660
البزموث	BI (Bismuth)	9.8×10^{3}	271.3
الكادميوم	CD (Cadminium)	8.6×10^{3}	320.9
الكروم	Cr (cromiun)	7.1×10^{3}	1890
الكوبلت	Co (Cobalt)	8.9×10^{3}	1490
النحاس	Cu (Copper)	8.9×10^{3}	1083
الذهب	Au (Gold)	19.3×10^{3}	1063
الحديد	Fe (Iron)	7.9×10^{3}	1535
الرصاص	Pb (Lead)	11.3×10^{3}	326.4
الزئبق	Hg (Mercury)	13.6×10^{3}	388
النيكل	Ni (Nickel)	8.9×10^{3}	1458
البلاتين	Pt (Platinum)	21.4×10^{3}	1773
الفضة	Ag (Silver)	10.5×10^{3}	960
القصدير	Sn (Tin)	7.3×10^{3}	231.9
التيتانيوم	Ti (Titanium)	4.5×10^{3}	1725
التجستن	W (Tungsten)	4.5×10^{3}	3410
الخارصين	Zn (Zinc)	7.1×10^{3}	419.5
الماغنسيوم	Mg (Magnesium)	1.7×10^{3}	651