الباب الأول

1

المواد الهندسية

Engineering Materials

تمهيد

كلمة معدن أو فلز مترجمة عن كلمة Metal بالإنجليزية والمأخوذة من الأصل اللاتيني Metailum ومعناها حفره أو منجم حيثما كانت تستخرج الفلزات (المعادن) ، 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 ، وتجرى عليها عمليات استخلاص باستخدام أنواع من الأفران التي تتميز عن بعضها البعض من حيث السعة والكمية الممكن صهرها ، ونوع وكمية ودرجة نقاوة المعدن المنتج ، ونوع المصدر الحراري (الوقود) ... الخ.

يتناول هذا الباب معلومات عامة عن الفلزات (المعادن) الحديدية والغير حديدية سبائكهما ، ومواد التصنيع الملبدة.

ويتعرض إلى خواص المواد المعدنية من حيث الصلادة . المرونة . الهشاشية . المطيلية . القصافة . الرجوعية . قابلية السحب . قابلية اللحام . الإجهادات ..... إلخ.

المواد المعدنية
Material Materials

يمكن تقسم المواد المعدنية Metallic Materials (المواد الحديدية وغير الحديدية) التي نتعامل معها في الصناعة إلى الآتي :-

١. معادن حديدية Ferrous Materials مثل الحديد المطاوع Wrought Iron وحديد الزهر Cast Iron . درجة إنصهار الحديد النقي ١٥٣٩ ^{0}م ، كثافته ٧.٧٨ جم/سم^{٣}.

يمكن إدراك أهمية سبائك الحديد في الصناعة من خلال الإنتاج العالمي للمعادن الحديدية الذي يبلغ حوالي ٨٠٠ مليون طن في العام تقريباً ، علماً بأن المعدن الذي يليه في الانتشار هو الألومنيوم والذي يبلغ إنتاجه العالمي حوالي ١٢ مليون طن في العام .. هذا يعني أن إنتاج المعادن الحديدية يفوق إنتاج جميع المعادن الأخرى مشتركة بعدة أضعاف.

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

(أ) معادن ثقيلة Heavy Metals مثل النحاس Copper والنيكل Nickel .

(ب) معادن خفيفة Light Metals مثل الألومنيوم Aluminum والمغنسيوم Magnesium .

(ج) معادن طرية Soft Metals مثل الرصاص Lead والقصدير Tin .

٣. مواد تصنيع ملبدة Sintered Manufacturing Materials

هي عبارة عن مواد غير حديدية ، تتمثل في سبائك مسحوقية مثل مساحيق الصلب الكرومي النيكلي . البرونز . الحديد . الألومونيوم . النحاس . الفحم .. (يستخدم

مسحوق الفحم مع مسحوق النحاس كموصلات للتيار الكهربائي في الأجزاء المنزلقة بالآلات).

إختيار المواد المعدنية :

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

١. أنواع المواد التي يمكن الحصول عليها وخواصها.
٢. الإستعمال المطلوب.
٣. طرق وأساليب التصنيع الممكنة لتلك المواد ، أى ملاءمة خصائص المواد لأساليب التصنيع المختلفة ومدى تأثرها بتلك الأساليب.
٤. 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 المناسبة 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 المعدنية لتصنيع منتج معين ، هي عملية توافق بين خواص المواد المتاحة والمتطلبات والظيفية للمنتج ، والتي يمكن تشغيلها أو تشكيلها بالوسائل والمعدات بأقل تكلفة ممكنة.

جدول ١ – ١ يوضح أمثلة لبض المنتجات والخواص المطلوبة لكل منها.

جدول ١ – ١

أمثلة لبعض المنتجات والخواص المطلوبة

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

خواص المواد المعدنية

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

تفيد هذه 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 الهندسية كما هو موضح بجدول ١ – ٢ إلى الآتي –:

جدول ١ – ٢

خواص المواد الهندسية

النوع	الخاصية
طبيعية	الأبعاد . الشكل . الكثافة . الوزن النوعي . المسامية . نسبة الرطوبة . بنيان مرئي بالعين المجردة . بنيان دقيق.
كيميائية	التركيب الكيميائي (الحمضي . القلوي) . مقاومة الصدأ . عدم التأثر بالتغيرات الجوية . إمتصاص الماء . عدم إمتصاص الماء . الإنكماش . التمدد . التأثر بالرطوبة.
حرارية	الحرارة النوعية . التمدد . التوصيل الحراري.
ميكانيكية	مقاومة الأحمال والإجهادات . سهولة التشكيل . الإنفعال . المرونة . اللدونة . الممطولية . القصافة . منحنى الإجهاد . المرونة . الصلادة . المتانة.
كهربائية	موصل جيد للتيار الكهربائي . موصل رديئ للتيار الكهربائي . غير موصل للتيار الكهربائي.
مغناطيسية	قابليته للمغنطة . عدم قابليته للمغنطة.
بصرية	اللون . نفاذ الضوء . إنعكاس الضوء.
سمعية	التوصل الصوتي . 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 للقوى 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 الحدادة ، 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 للتشغيل بالقطع يمكن تشغيلها على آلات القطع .. على سبيل المثال بواسطة الثقب – القشط – 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 . النقر . القطع . الخدش . 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

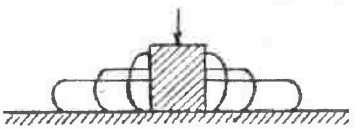
هي خاصية مقاومة سطح المادة للبرى نتيجة الإحتكاك.

(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 قدرة المادة على التشكيل بواسطة الطرق Hammering أو الدرفلة Rolling بدون كسر كما هو موضح بشكل ١ – 1 ، وهي خاصية مشابهة للمطولية ولكن لا يوجد علاقة مباشرة بينهما.



شكل ١ – ١

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:-

$$\text{النسبة المئوية للإستطالة} = \frac{\text{الزيادة في طول المادة}}{\text{طول المادة}} \times ١٠٠$$

$$\text{النسبة المئوية للإخفاض مساحة المقطع} = \frac{\text{النقص في طول المادة}}{\text{مساحة المقطع الأصلي}} \times ١٠٠$$

الليونة : cottony

هي سهولة وقابلية المعدن للثني والحني والالتواء ، وهي عكس الصلادة.

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.

المتانة : Toughness

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

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.

قابلية السحب : Revulsion Aptitude

هي استجابة المعدن للتمدد باتجاه الشد أو التشكيل بالطرق .

قابلية الطرق : Forge ability

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

قابلية الشد : Tension ability

هي مقاومة المعدن للكسر عند تأثير جهد شد .

قابلية اللحام : Welding Aptitude

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

مقاومة الصدم : Shock Resistance

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 : Loading

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

١. **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.

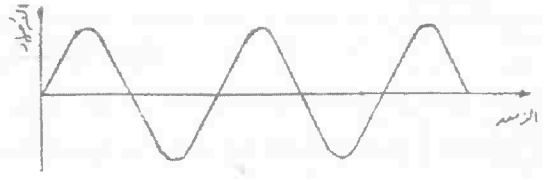
٢. **حمل ديناميكي** : Dynamic load

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.

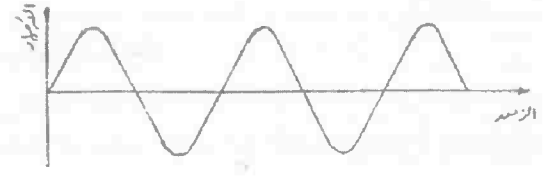
٣. **تحميل متكرر** : Repeated loading

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.

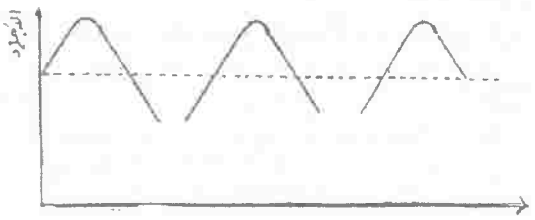
يؤدي التحميل المتكرر إلى إجهادات متغيرة في حدود معينة كما هو موضح بشكل ١ – 2 كالآتي :-



(أ)



(ب)



(ج)

شكل ١ – 2

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 جزء المنشأ بالإجهاد Stess ، يمكن أن تكون هذه الإجهادات شد Tensile أو ضغط Compressive أو قص Shear .. ووحدتها هي Kg / cm^2 .

يعبر عن إجهاد الشد أو الضغط بالرمز σ ، ويعبر عن 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 الداخلية (الإجهادات) عند أى نقطة هي كما هو موضحة بالعلاقة التالية :-

$$\frac{P}{A}$$

σ =

حيث σ .... الإجهاد عند أي نقطة.

P .... الحمل أو القوة المؤثرة.

A .... مساحة المقطع المستعرض.

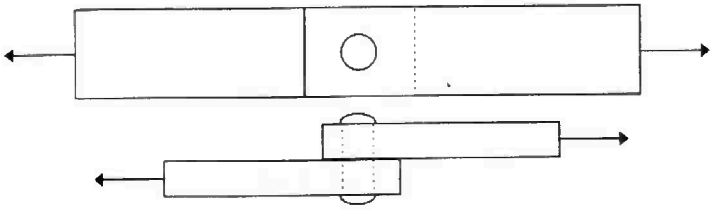
ويمكن إستخدام العلاقة السابقة في بعض حالات القص الذي لا يؤثر فيها الحمل F بطريقة مركزية حقيقية ، ولكنه يؤثر في المستوى المراد حساب الإجهادات عليه ، وعلى سبيل المثال مسمار البرشام الموضح بشكل ١ – 3 يكون إجهاد القص المؤثر عليه كما هو موضح بالعلاقة التالية :-

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

حيث q .... إجهاد القص.

F .... الحمل.

A .... مساحة المقطع المستعرض لمسمار البرشام.



شكل ١ – 3

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 ١ – ٣ الذي يوضح أهم الفلزات (المعادن) المستخدمة في الصناعة ورموزها وكثافتها ودرجة حرارة إنصهارها.

جدول ١ – ٣

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	Bl (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