البـــاب الأول

خـــواص المـــواد الهندسيـــة

(Properties of Engineering Materials)

1.1. مقدمـــــــة .

2.1. المـــادة الهندسيـــــة .

1.2.1. مفـــك اللوالـــب ذو المقبض البلاستيكـــي .

3.1. خـــواص المـــــواد .

4.1. الخـــواص الميكانيكيـــة للمـــــواد .

5.1. المعـــــادن والسبائـــك .

6.1. البنـــــاء البلـــــوري .

1.6.1. البلـــــورات والحبيبـــات .

2.6.1. تجمـــــد المعـــــادن .

3.6.1. حجم الحبيبـــات ومعـــدل التبريـــد .

7.1. اختيار المـــواد الهندسيـــة .

8.1. خصائـــص المـــواد .

9.1. أسئلة وتمارين .

obeikandi.com

1.1 مقدمـــــة

أن السبب الرئيسي لدراسة المواد الهندسية هو معرفـــة خواصـــها ومـــن ثـــم استغلال تلك الخواص في تصميم المنشآت وأجزاء الماكينات . حيـــث يجـــب أن يأخذ التصميم الهندسي بنظر الاعتبار الظروف التي تتعرض لها المـــادة والـــزمن الذي سوف تستغل فيه وكذلك عاملي الأمان والاقتصاد . وعليه فإن أي خاصـــية معينة لمادة ما ستؤثر بشكل أو بآخر على الخواص الأخرى.

ويمكن تقسيم المواد الهندسية إلى :

1- **مـــواد معدنيـــة** (Metallic Materials)

وهـــذه المـــواد بدورهـــا تقسم إلى :

a- معادن حديدية (Ferrous Metals)، مثل الحديد المطاوع ، والحديد الصـــلب وحديد الزهر(Fe).

b- معادن غير حديدية (Nonferrous Metals) وتقسم إلى :

- معادن ثقيلة مثل النحاس(Cu) والنيكل(Ni)
- معادن خفيفة مثل الألمنيوم (Al) والمغنيسيوم (Mg)
- معادن طرية مثل الرصاص (Pb) والقصدير (Sn) .

2- **مـــواد غيـــر معدنيـــة** (Nonmetallic Materials)

وهذه المواد أيضا بدورها تنقسم إلى :

a- مواد البناء والإنشاء مثل الحجارة والأسمنت والجير والأخشاب.

b- مواد متنوعة تستخدم في الصناعة مثل المطاط والفلين والبلاستيك.

c- مواد الغرض منها توليد الطاقة مثل الميـــاه والوقـــود والمفرقعـــات والمـــواد المستخدمة في الطاقة الذرية.

2.1 المادة الهندسية (Engineering Material)

عند تصميم تركيب معين أو جهاز ما ، فانه عادة ما يكون أمام المهندس المصمم مدى واسع من المواد الهندسية المختلفة التي سيقوم بالتعامل معها. ولكن تبقى المشكلة كيف سيتم التعامل مع اختيار هذه المادة أو تلك أو مع مجموعة من المواد ، والتي يجب أن تفي بالمواصفات المطلوبة ، وإن تلائم الغرض المطلوب لأجله التصميم .

ومن المعروف أن الكوارث الهندسية غالباً ما تحدث بسبب الاختيار الخاطئ والاستعمال غير المناسب للمواد ، فمثلاً خلال الحرب العالمية الثانية تعرض صنف واحد من السفن التجارية الملحومة لخسائر شديدة بسبب إنشطارها إلى نصفين في عرض البحر وليس بسبب الهجوم المعادي عليها . وقد حصل الانهيار بسبب الكسر الذي شمل طول خطوط اللحام تماماً حول السفينة لأن مادة اللحام كان لها متانة كسر (Fracture Toughness) ضعيفة وغير مناسبة مما أدى إلى حدوث تلك الكارثة ، كما أن سقوط طائرة على الأرض بسبب ظهور شقوق في ذيلها، والتواء معلقة الشاي البلاستيكية عند خلطه وغيرها من الأمثلة الكثيرة التي نسمع بها من الحين والأخر ، كل هذا بسبب الاختيار الخاطئ في اختيار المادة الهندسية عند التصميم ، والتي يجب أن تفي تماماً بمتطلبات ومواصفات التصميم إلى جانب متطلبات المتانة والصلادة المطلوبة ومحدودية التحمل والاستعمال .

أن الخواص الميكانيكية العامة للمادة مع بقية الأصناف العامة الأخرى للخواص التي يجب أن يأخذها المصمّم بنظر الاعتبار عند اختيار المادة مدرجة في الجدول(1-1) . ومن خلال أمثلة مختلفة في هذا الباب سيتم شرح كيفية اختيار المهندس المصمّم للمواد الهندسية المختلفة .

جـدول (1-1) - أصنـاف المـواد

	نـــوع الخاصيـــة	الفقـــــرات ذات العلاقـــــة
1	خواص اقتصاديـة	السعـر والوفـرة ، الكثافـة
2	خـواص ميكانيكية عامـــــة	المعاملات والخـفـــوت ،مقاومـة الشـد،مقاومة الخضوع الصـلادة ، مقـاومة الكسر، مقـاومة الكلال، مقاومة الكلال الحراري ، مقاومة الزحف.
3	خـواص عامة غير ميكانيكيـة	خواص حراريـة،خـواص ضوئيـة ،خـواص مغناطيسية، خواص كهربائية.
4	خـواص سطحيـة	التأكسد والتـآكل ، الاحتـكاك ، الحـك والبلي
5	خـواص إنتـاج	سهولة التصنيع،التجميع ، الربط ، الإنهاء
6	خـواص جماليـة	المظهر ، التركيب ، الإحساس

1.2.1 مفك اللوالب ذو المقبض البلاستيكي

(Plastic - Handled Screw Driver)

لنأخذ مفك اللوالب النموذجي المعروف كمثال لتوضيح مبدئي لكيفيـة اختيـار المادة الهندسية ، الذي له ساق وشفرة مصنوعة من الفولاذ عالي الكربون أي من معدن . فالفولاذ اختير هنا لأن معامل مرونته عالي . فمعامل المرونة هو قيـاس لمقاومة المادة لأي انحناء أو انحراف مرن . فـإذا صـنعت السـاق مـن أحـد البوليمرات (Polymers) مثل البولي أثيلين (Polyethylene) بدلا مـن معـدن فسيلتوي إلى درجة كبيرة .

وهذه الخاصية (معامل المرونة) هي أحد المعايير لاختيار المـــادة فـــي هـــذا المجال إلاّ أنها ليست الوحيدة . فالساق يجب أن تكون له مقاومة خضـــوع عاليـــة أيضا. فإن لم يكن كذلك ، فسيعاني انحناء لدن أو دائمي إذا تـــم لويـــه بقـــوة وعادة المفكات الرديئة تكون كذلك .

إن الشفـــرة يجب أن تمتلـك صلادة عالية ، حتـــى لا تتســـبب مـــادة رأس اللولب في بعجها ومن ثم تلفها وأخيرا فمادة الساق والشفرة يجـــب أن لا تقـــاوم الانحنـــاء والالتواء (اللّي) فحسب وإنما يجب أن تقاوم الكسر .

فالزجاج مثلا ذات معامل مرونة عال كذلك يمتلك مقاومة خضـــوع وصـــلادة عاليتين لكنه لا يصلح للاستخدام في صناعة المفك ، وذلك لأنه هش جدا وبصورة أدق أن متـــانة التكسر له قليلة جدا . بينما يمتلك الفولاذ متانة عالية مما يعني بأنه ينقاد وينحني قبل أن ينكسر .

3.1 خـــواص المـــواد (Properties of materials)

يمكن تعريف خـــواص المواد بأنها المقاييس المحددة المعبرة عن جودتهـــا أو نوعها. ويبين الجدول (1-2) مختلف التقسيمات لخواص المواد الهندســـية التـــي يمكن تعيينها عن طريق الاختبار .

جـدول (1 - 2)

التقسيمات المختلفة لخواص المواد الهندسية

النـــــوع	الخاصيـــــة
طبيعيـــة	الأبعاد ، الشكل ، الكثافة أو الكثافة النوعيـــة ، المســامية نسبة الرطوبة ، البنيان المرئي بالعين المجردة والدقيق
كيميائيـــة	التركيـــب الكيميائي ، الحـــموضة أو القاعديـــة، مقاومـــة الصدأ التغييرات و التقلبات الجوية
فيزيوكيميائيـــة	امتصاص الماء أو مانع امتصاص الماء ،الانكماش أو التمدد الحراري نتيجة اختلاف درجة الرطوبة
سمعيـــة	التحـــول الصوتـــي ، الانعـــكاس الضوئـــي
بصريـــة	الـــلون ، نفـــوذ الضوء ، انعـــكاس الضوء
ميكانيكيـــة	الأحمال والإجهاد ، التشوه والانفعال ، المرونـــة واللدونـــة المطيلية والهشاشة ، نحني الإجهاد والانفعال، لصلابة نســبة بوسن، المقاومة، التعب، الزحف، الرجوعية المرنة المتانة ، الصلادة ، قابلية الطرق(الطروقية)
حراريـــة	الحرارة النوعية ، التمدد ، التوصيل الحراري
كهربائية ومغناطيسية	التوصيـــل ، النفاذ المغناطيـــسي ، التـــأثير الجلفاني

4.1 الخـــواص الميكانيكيـــة للمـــواد

(Mechanical Properties of Materials)

إن الخواص الميكانيكية للمواد هي تلك الخواص التـــي لهـــا علاقـــة بتـــأثير الأحمـــال الخارجية أو القوى المؤثرة على المادة الهندسية . وقبل التعـــرف إلـــى تلك الخواص يلزم شرح تأثير القوى الخارجية على المواد الصلبة .

- **الحمـــولات والاجهـــادات** (Loads and Stresses)

عندما يتعرض جزء من مادة إنشائية أو جزء من ماكينة إلى حمولات أو إلـــى قـــوى خارجية ، فســـوف تتـــولد في داخلـــه قوى مقاومـــة لتلـــك الأحمـــال . ويطلق على شدة هـــذه القوى الداخلية في أي جزء من أجزاء المادة بالإجهاد . إن تلك الأجهادات أما أن تكـــون إجهـــادات شـــد (Tensile) أو اجهـــادات ضـــغط (Compressive) أو اجهادات قص (Shear) .

ويعبر عن إجهاد الشد والضغط بالرمز σ وعـــن إجهـــاد القـــص بـــالرمز τ ويفترض في حالة الأحمال المركزية P في الشد أو الضغط أن القوى الداخلية عند أي مقطع عرضي تكون موزعة توزيعا منتـــظما. وعليه تكـــون شـــدة القـــوى الداخلية (أي الإجهاد) عند أي نقطة هي :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{.....(1-1)}$$

حيث أن A هي مساحة المقطع العرضي .

ويمكن استخدام المعادلة السابقة في بعض حالات القص التي لا يؤثر فيها الحمل P بطريقة مركزية حقيقية ولكنه يؤثر في اتجـاه المسـتوى المطلـوب حساب الأجهادات عليه. فمثلا في مسمار البرشام (rivet screw) يكون إجهاد القص المؤثر عليه هو :

$$\tau = \frac{P}{A} \quad \cdots\cdots (2-1)$$

حيث إن A هي مساحة المقطع العرضي لمسمار البرشام .

ويمكن تقسيم القوى إلى قوى إستاتيكية (Static) أو متكررة (Repeated) أو قوى صدمة (Impact) . بالنسبة للقـوى الإستاتيكية فهي القوى التي تؤثر ببطء وتبقى ثـابتة ، أما القوى التي تؤثر بعدد كبير من المرات فهـي قـوى متكررة أو ما يدعى بقوى التعب (Fatigue Loads) . أما إذا أثرت الحمولة بمعدل كبير في سرعتها فتكون حمولة صدمة أو حمولة ديناميكية .

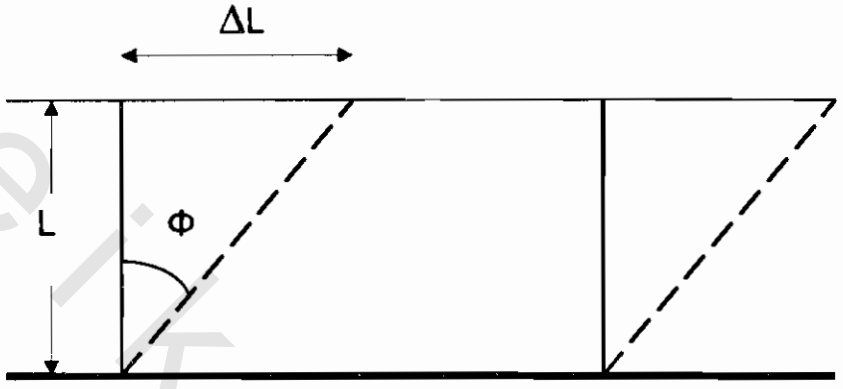
- **التشـوه و الانفعـال** (Deformation and Strain)

عندما تـؤثر قوة خارجية على مادة ما أو على جزء من ماكينـة يتسـبب عنها تغيـير في شكلها ويسمى التغير في أي بعد طولي للمـادة بالتشـوه أو التشكل (Deformation) . أما الانفعال (Strain) فهو وحدة التغير لكل وحدة من الأبعاد الطولية للمادة . وهذا الانفعال هو نسبة وهو قيمة لا بعديـة حيـث يمكن إيجاده بقسمة الاستطالة الكلية ΔL على الطول القياسي L ولكـن يعبـر عنه احيانـاً (cm/cm) ، ويرمـز للانفعـال الشـد أو الضـغط بـالرمز e حيث :

$$e = \frac{\Delta L}{L} \quad \cdots\cdots (3-1)$$

ويظهر انفعال القص في الشكل (1-1) ويعبر عنه بالرمز e_s حيث أن :

$$e_S = \frac{\Delta L}{L} = \tan \phi \quad \text{..... ....} (4-1)$$



الشكل (1-1) الانفعال في حالة القص

- **المرونة و اللدونـــة** (Elasticity and Plasticity)

إن المرونة هي خاصية الأجسام التي تعطى لها القدرة علـــى الرجـــوع إلـــى شكلها وأبعادها الأصليـــة بعد تشوهها أما اللدونة فهي تلك الخاصية التي تجعـــل الجسم محتفظا بتشكله الأصلي بعد تأثير الحمولات ورفعها .

وعليه فـــإن اللدونة في تعـــريفها عكس المرونة ، وليست هناك مادة مرنـــة تماما أو لدنة تماما وبعض المواد مثل المطاط يمكن أن تأخذ تشكلا كبيـــراً عنـــد تعرضها للحمل ولكنها تعـــود إلى شكلها الأصلي حال رفع الحمولة التـــي تـــؤثر عليها .

obeikandl.com

وهنالك مواد ذات مرونة عالية في حدود مدى معين من الأجهادات وبعده تصبح لدنة إلى درجة معينة ومثال على ذلك الحديد الصلب ، وهناك مواد أخرى لها لدونة عالية مثل الرصاص .

- **المطيلية والهشاشة** (Ductility and Brittleness)

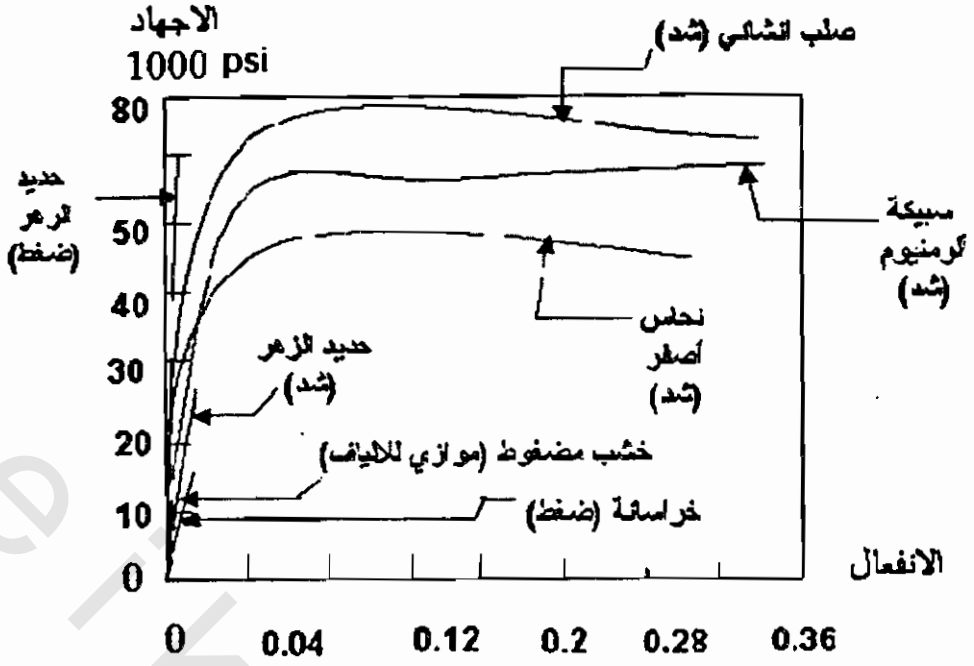
إن المواد المطيلة هي المواد التي لها القدرة على عمل تشكل لدن كبير عندما تتعرض إلى حمولة شد . والمطيلية خاصية من خواص المعادن وينذر وجودها في غير المعادن ، أما الهشاشة فهي عكس المطيلية فالمواد الهشة هي التي تعاني من تشكل لدن صغير عند تحميلها حتى الكسر . وأغلب المواد غير المعدنية لها خاصية الهشاشة .

- **منحني الإجهاد والانفعال** (Stress Strain Diagram)

يعطي منحني الإجهاد والانفعال العلاقة بين المتغيرين كما موضح في الشكل(1-2) ، والذي يمثل منحنيات الإجهاد والانفعال لمجموعة من المواد. حيث يمكن تمثيله بإسقاط نتائج الاختبار الذي يقاس فيه التشكل المناظر لأحمال معينة . تمثل الأجهادات في ألإحداثي الرأسي أما الانفعال فيمثل في الإحداثي الأفقي ، ويختلف هذا المنحني حسب نوع المادة وتحميلها .

فمثلاً فإذا عرضت أغلب المواد الإنشائية إلى حمولات في حدود التشغيل فإنها تتشكل بمعدل ثابت أو تقريبا كذلك . أي أن الإجهاد يتناسب مع الانفعال وهذا ما يعرف بقانون هوك (Hook's Law) للتناسب بين الإجهاد والانفعال . وهذا صحيح لمواد كثيرة منها الصلب الطري وسبائك الألمنيوم الإنشائي وغير صحيح لدرجة ما للمواد غير المعدنية مثل الطابوق ، الأخشاب ، والخرسانة .

obeikandl.com



الشكل(1-2)

منحنى الجهاد والانفعال لبعض المواد الهندسية

- معامـــل المرونـــة (Elasticity Modulus)

إن معامل المرونة(أو ما يسمى بمعامل يونج) هو قيمة الزيادة فـــي الإجهـــاد مقسوما على الزيادة المناظرة في الانفعال لجزء الخط المستقيم لمنحنـــي الإجهـــاد والانفعال . إن وحدات معامل المـــرونة لها نفس الوحدات مثل الإجهـــــاد مـــثلا (Kg/cm^2) وغالباً ما يتساوى معامل المرونة في حالة الشد وحالة الضغط تقريبا لأغلب المعادن . أما معامل المرونة في حالة القص فهو أقل فـــي القيمـــة مـــن معاملي المرونة في حالة الشد والضغط . ويعبر عن معامل المرونة بمعادلة هي نفسها قانون هوك حيث :

$$E=\frac{\sigma}{e} \quad \text{.....(4-1)}$$

حيث أن E هو معامل المرونة في حالة الشد والضغط ، أما معامل المرونة في حالة القص فيسمى معامل الصلابة " الجساءة " (Modulus of Rigidity) والجدول (1-2) يعطي القيم التقريبية لمعامل المرونة لبعض المواد .

جدول (1- 3)

القيم التقريبية لمعامل المرونة لبعض المواد

نوع المادة	معامل المرونة E		معامل الجساءة G	
	$\frac{kg}{cm^2} x10^6$	$\frac{Ib}{in^2} x10^6$	$\frac{kg}{cm^2} x10^6$	$\frac{Ib}{in^2} x10^6$
ألمنيوم مدلفن	0.710	10.1	0.242	3.44
نحاس أصفر	0.920	13.1	0.360	5.12
نحاس مدلفن	1.210	18.6-17.5	0.432	6.14
ديور ألومين	0.703	10	0.280	3.98
حديد الزهر	0.985-0.845	14-12	_____	_____
الزجاج	0.795-0.668	11.3-9.5	0.33-0.267	4.7-3.8
الرصاص	0.170-0.150	2.42-2.13	0.55	0.78
النيكل	2.108-2.04	31-29	0.77-0.721	10.95-10.24
البلاتين	1.7	24.18	0.655	9.32
الفضة	0.79	11.24	0.264	3.77
الصلب المخمر	2.04	29	0.827	11.76
القصدير	0.55-0.4	7.820-5.69	0.170	2.42

* للتحويل من (Kg/cm^2) إلى (Ib/in^2) نقوم بالضرب في الرقم 14.22

- الصلابـــة (Stiffness)

الصلابة هي الخاصية التي تعبر عن حدوث تشكل صغير جدا للمواد الجامـدة عند تعرضها للإجهاد ، ومن أمثلة المواد الصلبة الحديد الصلب ، وحديد الزهر . وهنا يجب علينا فهم الفـرق بين الصلابة والمقاومة فمثلا لأغلب أنواع الصـلب تـوجد صلابة واحدة في المنطقة المرنة يعبر عنها بمعامـل المرونـة ، ولكـن تتفاوت مقاومتها تفاوتا كبيرا بعد تلك المنطقة . وعادة تفيد خاصية الصلابة فـي حساب الانحرافات التي تعتمد على حجم المنشأ وشكله ونوع التحميـل وصـلابة مادته .

- نسبة بويسون (Poisson's Ratio)

عند تعرض جسم صلب إلى إجهاد فإنه لا يتشوه فقـط فـي اتجـاه الإجهـاد ولكنه يتشكل (يتشوه) أيـضا في اتجاه عمودي على ذلك الإجهاد ، فمثلا إذا كـان ذلك الإجهاد هو إجهاد شد ، فإن تلـك الأبعاد المستعرضة للجسم ستنقص أما إذا كان الإجهاد هو إجهاد ضغط فإن تلك الأبعاد تـزيد ، وتسمى النسبة بين الانفعال الجانبي إلى الانفعال الطولي بنسبة بويسون . إن نسبة بويسون للصلـب تسـاوي 0.26 تقـريبا ، وللخرسانة 0.15 ، وللمطاط الصلد 0.4 وتفيـد هـذه النسـبة والخـاصية في الحلول الرياضية للأشكال الهندسية المعرضة إلى إجهادات ثنائية أو ثلاثية المحور .

- المقاومـــة (Strength)

يمكن تعريف مقاومة جسم صلب بقدرته على مقاومة الحمولات أو الأجهادات يعبر عنها بدلالة الأجهادات . حيث يهتم المهندس المصمم دائمـا بمعرفـة قـدرة المواد على عدم فشلها في مقاومة الحمولات المعرضة لها ، ويكون هذا الفشـل

obeikandl.com

أما نتيجة تشوه مفرط أو تمزق متقدم أو مفاجئ . ويمكن للمهندس التعبير بوسائل كثيرة عن المقاومة مثل المقاومة المرنة أو المقاومة القصوى أو حد اللاطاقة أو حد الزحف كما سيأتي ذكره لاحقا .

- **التعـــب** (Fatigue)

وهو تكسر المواد المعرضة إلى أحمال متكررة تحت تأثير إجهادات أقل بكثير من المقاومة القصوى لها ، ويسمى هذا النوع بكسر التعب.

- **الزحـــف** (Creep)

يعبر عن تشوه المادة تحت تأثير الحرارة والزمن والإجهاد الثابت بتشكل الزحف . هذه خاصية يلزم معرفتها عند تعرض المواد إلى درجات حرارة عالية ولو أن بعض المواد تزحف في درجات الحرارة العادية مثل الرصاص والقصدير .

- **الرجوعيـــة** (Reailience)

إن الرجوعية المرنة للمادة هي كمية الطاقة الممتصة لإجهاد المادة إلى حد مقاومتها المرنة ورفع الإجهاد .

- **المتانـــة** (Toughness)

المتانة هي خاصية المواد التي تعبر عن قدرتها على امتصاص الطاقة خلال تحميلها حتى الكسر . وهذه الخاصية تعتمد على مقاومة المواد

ومطيلتها ، والمادة المتينة هي المادة المقاومة للتشوه الكبير تحت تأثير الإجهادات العالية وهي خاصية هامة في حالة تعرض المنشآت للصدمات .

- **الصلادة** (Hardness)

إن الصلادة تعني للمادة الصلبة مجموعة من الأشياء . فقد تعبّر الصلادة عن قدرة المادة على مقاومة الخدش أو القطع أو التآكل بالاحتكاك أو عمل علامة لدنة خاصة بها . وتقاس صلادة بعض المواد المعدنية كالأحجار والبلاط بحساب مقاومتها للتآكل بالاحتكاك . ولكن أغلب الطرق لتحديد صلادة المعادن تعتمد في قياس صلادتها على حساب علامة كرة من الصلب أو مخروط من الماس .

-**الطروقية** (Malleability)

الطروقية هي قابلية المادة على التشكل والتشوه بواسطة الطرق بدون كسر . وهي خاصية مشابهة للمطيلية ولكن لا توجد علاقة مباشرة بينهما .

5.1 المعادن والسبائك (Metals and Alloys)

تنظم العناصر التي تدعى بالمعادن بطريقة واضحة في الجدول الدوري وتمثل مجموعتها الجزء الأكبر من العناصر المعروفة ولكل منها بشكل عام الخواص التالية :

1- بريق معدني .
2- طروقية .
3- مطيلية .
4- درجة عالية للتوصيل الحراري .

5- درجة توصيل كهربائي عالية و اللاشفافية .
6- التأين الموجب في محاليل المركبات .

ولبعض المواد غير المعدنية خاصية أو أكثر من الخواص السابقة ، ولا توجد المعادن النقية الخالية من الشوائب بكثرة ، وليست لها أهمية هندسية كبيرة . ولبعض المعادن الشديدة النقاوة خواص ذرية أو كهربائية أو مشعة مما يجعل استخدامها ذو فائدة للأغراض الخاصة .

أما السبائك فهي عبارة عن اتحاد معدنين أو أكثر أو اتحاد معدن مع غير معدن(لافلز) . والعناصر التي تعتبر جزءا من السبائك هي تلك المضافة بقدر معلوم متحكم به ، أما غير المعادن والمعادن الأخرى الموجودة في السبيكة أصلا والتي لا يمكن فصلها فهي لا تعتبر شوائب .

وكقاعدة عامة تؤثر عناصر السبائك غير المعدنية بصورة كبيرة على السبيكة من العناصر المعدنية . وتوجد تلك العناصر بكميات قليلة على هيئة مذاب في المعدن المذيب .

فمثلا يؤثر الكربون والسليكون وهي مواد غير معدنية عند وجودها بكميات صغيرة في سبيكة الحديد أكثر بكثير مما لو تمت الاستعاضة عن كمياتها بمواد معدنية مضافة أخرى ، وتعمل السبائك لتحسين خواص المعادن الهندسية لأنها تكون مادة تختلف بشكل كبير عن المعدن الأصلي في الخواص مثل سبيكة الفولاذ المقاوم .

6.1 البنـــاء البلـــــوري (Crystalline Structure)

1.6.1 البلـورات والحبيبـــات (Crystals and Grains)

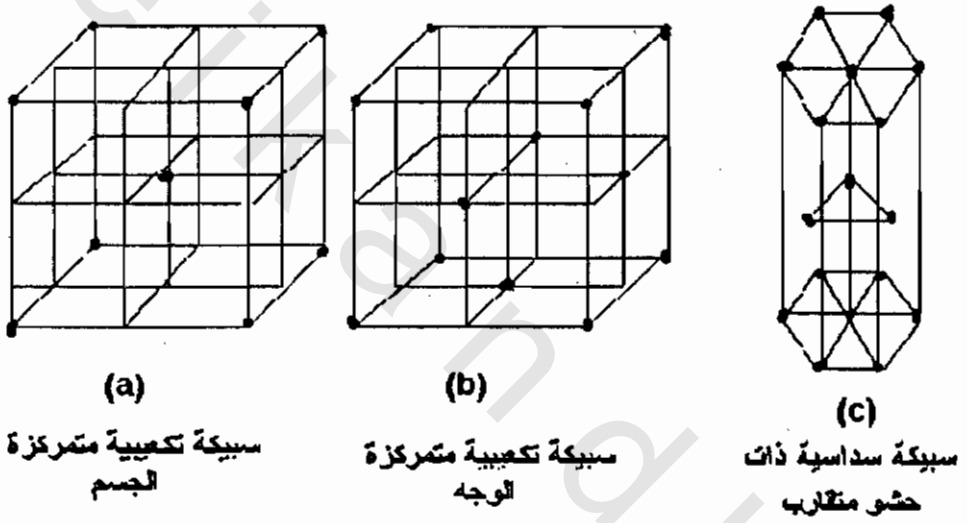
أظهرت التجارب والدراسات المتواصلة التي أجريت باستخدام الميكروسكوب أن المعادن بشكل عام تتكون من مجموعة من البلورات أو الحبيبات ، حيث تعرف البلورة على أنها عبارة عن كمية من المادة ذراتها منتظمة التوزيـع فراغيا ولهـا محور اتجـاه ذات وضع محدد .

2.6.1 تجمـــد المعـادن (Solidification of Metals)

إن النظام الموجود بين ذرات المعادن في الحالة السائلة هو غير النظام الـذي يربط الذرات في حالة المادة الجامدة المتبلورة ، لأن الطاقة الحراريـة وحركـة الذرات تكون من الكبر بمكان بحيث أن التجاذب المتبادل للذرات لن يـتمكن مـن وضع تلك الذرات في أماكن محددة منتظمة ، وعنـدما يبرد السائل تقـل الطاقـة المسببة لهـذه الحركة حتى تصبح مساوية للتجاذب المتبادل للذرات وعندها يبـدأ التجمد ، وفي حـالة المعادن النقية تبقى درجة الحرارة ثـابتة عند هـذه النقطـة بالرغم من خـروج الطاقة الحرارية من السائل .

إن كمية الحـرارة الخـارجة هـذه تدعـى" الحرارة الكامنـة للتجمـد " أو (Latent Heat of Solidification) ، حيث يتم التجمد وتتكون البلورات خلال خروج تلك الحرارة الكامنة .حيث تتم الخطوة الأولى من التبلور بتكوين النويـات وكل نواة مكوّنة من خـلايا والتي تعتبر الخلية الواحدة منها تنظـيم لأقـل عـدد ممكن من الذرات اللازم لتشكيل تنظيم ذري متميز واحد يدعى بالشبكة الفراغيـة (Space Lattice) .

تنتمي البلورات المعدنيـــة لأحد ثـــلاث تنظيمات بســـيطة للـــذرات أو البنيـــة الشبكية ، فالشبكة التكعيبية متمركزة الوجه تحتوي ذرة في كل ركن من أركانها ، وذرة في مركز كل وجه من أوجه المكعب . أما الشبكة التكعيبية متمركزة الجسم ففيـــها ذرة في كل ركن من أركانها وذرة في المركز الهندســـي للمكعـــب . أمـــا الشبكة سداسية الشكل ذات الحشو المتقارب ففيها ذرة في كل ركن من أركانهـــا ، وذرة في كل مركز من الوجهين السداسيين في المركز الهندسي لكل من أشـــكال الأوتاد الثلاثة غير المتجاورة وهذه الشبكات موضحة في الشكل (1 - 3) .



الشكل(1-3)

أنواع السبائك الفراغية

وعندما يستمر تبريد السائل تنمو النويات بالنسبة لحجمها وذلك بإضافة ذرات أخرى جديدة ، وذلك لتكوين بقية الشبكة الفراغية للبلورة ويستمر نمو البلـــورات على حساب السائل إلى أن يختفي تماما وبـــذلك نحصـــل علـــى مـــادة متعـــددة البلورات.

وتتوقف البنية البلورية على التجاذب المتبادل بين الذرات بينما يعتمد شكل الحبيبة الخارجي على تداخل البلورات المتجاورة عند نموها ، وتشكل الحبيبات المجاورة خلال التجمد حدود مشتركة بمشاركة الذرات التي تكون مادة تلك الحدود . ولأن الحبيبات المجاورة لها اتجاهات مختلفة نسبة لبعضها البعض فإن الذرات الموجودة على تلك الحدود لا يكون لها نظام محدد ولكن نظامها يكون مشوه ومجهد ، وكنتيجة طبيعية لهذا ستختلف الخواص الطبيعية والكيميائية عند تلك الحدود عن خواص الحبيبات نفسها ، إن تجمد بعض المواد قد يغير من بناؤها البلوري الداخلي .

فمثلا تصلب الحديد كسبيكة متمركزة الجسم ينقلب إلى سبيكة تكعيبية متمركزة الوجه في درجات الحرارة المنخفضة وتعود مرة أخرى إلى وضعها الأول ولكن بأبعاد مختلفة عن السابقة عند زيادة درجة التبريد .

6.1. 3 حجم الحبيبات ومعدل التبريد (Grain Size & Cooling Rate)

يعتمد حجم الحبيبات المكونة لمادة على معدل التبريد حيث أن معدل التبريد السريع يسبب في بنية صغيرة للحبيبات . وهذا بطبيعة الحال يؤدي إلى تكون عدد كبير من النويات ذوات النمو المحدود قبل حدوث التداخل . ويؤثر حجم الحبيبات بدرجة كبيرة على مجموعة خواصها ولهذا السبب يجب التحكم في معدل تبريدها.

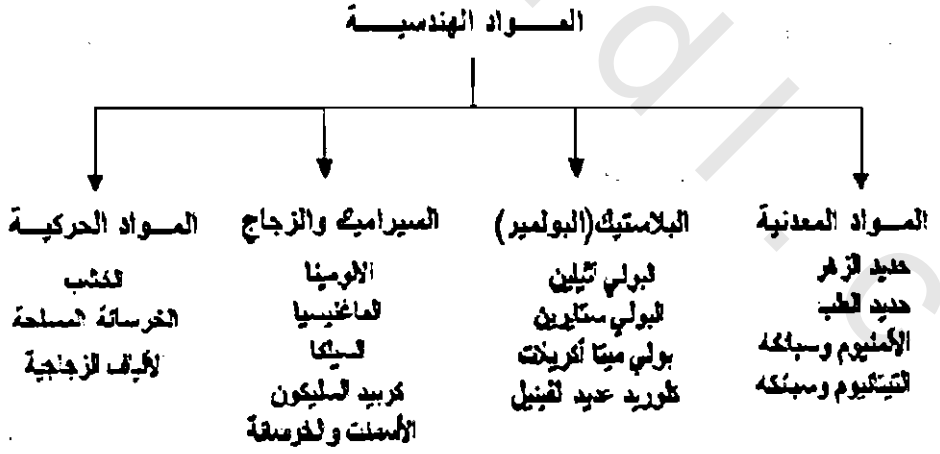
1 . 7 اختيار المواد الهندسية

هنالك العديد من المواد التي يمكن اختيارها لعمل منتج ما ولكن يبقى التساؤل هو أي من تلك المواد يلائم الغرض المطلوب ، حيث يؤدي سوء الاختيار إلى عواقب وخيمة كما اشرنا في بداية هذا الباب ، وعلى سبيل المثال ما حدث فعلا

عند انقسام سفينة حربية إلى شطرين نتيجة لاختيار مادة لحام غير مناسبة وذات متانة منخفضة.

وكمثال أخر على ذلك يمكن اختيار مادة صحن الطعام من المواد المعدنية أو السيراميك أو البلاستيك ولكل منها مزاياها وعيوبها ، فعند استعمال أواني من الألمنيوم أو المعادن الأخرى ، فقد تؤدي حرارة التوصيل العالية للمعادن إلى سرعة تسخين الصحن مما يصعب لمسه أو نقله مباشرة باليد ، كذلك فأن المعادن معرضة للصدأ والأكسدة مقارنة مع المواد الأخرى مثل البلاستيك وهو أقل كلفة لكنه لا يقاوم درجات الحرارة العالية ، مما يقلل من استخدامه في الأطعمة الساخنة ، وبشكل عام فقد قسمت المواد إلى ثلاثة مجموعات رئيسية هي المعدنية والبلاستيكية والسيراميك حيث تتشابه قوى الترابط بين الذرات في داخل كل مجموعة من هذة المجموعات .

وان الجدول (1-4) يبين أهم العناصر التابعة لكل مجموعة حيث :



الجدول (1-4)

مجموعات المواد المختلفة

8-1 خصائـص المـــواد (Material's Characteristics)

للمواد الهندسية العديد من الخصائص والتي يتم اختيار إحـداها بنـاءً علـى الظروف المطلوبة في العملية الإنتاجية المعينة ، والجدول (1-5) يبين التقسـيمات الجزئية لخصائص المواد الهندسية حيث يمكن اختيار أحدى هـذة الخصـائص أو كلها حسب ماهو مطلوب .

الجـدول (1 - 5)

تقسيم خصائص المواد الهندسية

نوع الاختبارات	الخاصيـــة	نوع الاختبارات	الخاصيـــة
ميكانيكيـــة	قيـاس مقاومة المادة لأحمال الضغط والشد والصدم..الخ	فيزيائيـة	الكثـافـة ، المساميـة الرطوبـة ، الأبعاد ، الشكل التركيب الدقـيق
كيميائيـــة	تركيب الأكاسـيـد ، والمركبات الحمضيـة والقاعدية ، مقاومـة المادة للصدأ وعوامل التعريـــة	حراريـة	الحرارة النوعية ،التمدد بأنواعه : الطولـي ، السطحـي ، الحجمي التوصيل الحراري
كهربيـــة ومغناطيسية	التوصيل الكهربائي السماح المغناطيسي الخاصية الجلفانيـة	صوتيـة	نقل وانعكاس الصوت
فيزيوكيميائية	امتصـاص أو طـرد الماء ، تقلص أو انتفاخ الـمادة بـالرطـوبة	ضوئيـة	اللـــون ، الشفافيـة انعكاس الضوء

وعلى أية حال يجب عند اختيار المادة لعمل معين مراعاة الشـــروط العامـــة التالية :

1- مقاومة المادة للإجهادات والظروف المحيطة بها .
2- سهولة عمليـــة تصنيع المـــادة ومدى تـــأثير عمليـــة التصـــنيع تلـــك علـــى خواصها .
3- رخص المادة وتوفرهـــا .
4- المظهـــر الجيد والجذاب للـــمادة .
5- أنواع المواد المتاحـــة .

وحتى يكون بالإمكان معـــرفة سلوك مادة ما بصورة تامـــة ، يجـــب إجـــراء الاختبارات المبينة في الجـــدول السابق عند ظروف مختلفة ، ومع ذلك فقد لا تحتاج المادة المطلوبة للاستخـــدام إلى جميع هذه الاختبارات حيث أن ذلك يتطلب مجهـــود كبير وقـــد تبدو العملية غير اقتصادية ويكفي قياس بعـــض الخـــــواص التي توفر الأمان التـــام عند استعـــمال المادة .

وتعتبـــر الاختبارات الميكانيكية مـــن أهـــم أنـــواع الاختبـــــارات المعمليـــة الضروريـــة للمواد ، حيث أنها تقيس مدى تحمّل المادة للقوى المعرّضة لها وهو عامل مهم في عمر وأداء المنشـــآت المختلفة ولذلـــك سوف نـــولي الاختبـــارات الميكانيكية أهمية خاصة في الأبواب اللاحقة.

9.1 أسئلـــة وتمارين

س1- كيف يتم اختيـــار المـــادة الهنـــدسية ، وإلى كـــم نـــوع تقســـم المـــواد الهندسية . أشرح ذلك باختصار .

س2- نـــاقـــش طـــرق الحفاظ على المواد الهندسيـــــة ، والمشاكـــــل التقنيـــة والاجتماعية المتعلقة بتحقيق ذلك .

س3- ما هي المجموعات الثلاثـــة الرئيسيـــة التـــي تصنـــــف إليهـــا المـــواد الهندسية ، أشرحها مع الرسم .

س4- تكلم باختصار عن أهم الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية .

س5- أملأ الفراغات في الجمل التالية بالكلمات المناسبة لتكون العبارة صحيحة :

a- عند تعرض جسم------ إلى إجهاد ، فإنه لا يتشكل فقـــط فـــي----- ذلـــك الإجهاد ولكنه يتشكل في اتجاه ----- على ذلك الإجهاد .

b- ---------- هي مقاومة جسم صلب بقدرته على مقاومة الأحمال .

c- النسبة بين الانفعال------إلى الانفعال-------- هي نسبة بوسن .

d- معامل المرونة هو ------- في الإجهاد مقسوما على ---------في الانفعال ووحداته هي ---------- .

e- في السبيكة السداسية ذات الحشو المتقارب,تكون الذرة في------- من أركانها وذرة في----------وذرة أخرى في ---------- .

f- السبائك هي عبارة عن --------- معدنين أو -------- مثل سبيكة الحديد --- -------- .

س6- ضع علامة صح أو خطأ أمام كل من العبارات التالية مع تصحيح الخطأ :

a- البلورة هي عبارة عن كمية من المادة ذراتها منتظمة التوزيـــع ( ) .

b- اللدونة هي قدرة المادة على التشكل بواسطة الطرق أو الدلفنـــة ( ) .

c- إن معامل المرونة في الشد والضغط يعرف بمعامل الجســـاءة ( ) .

d- المواد المطيلة هي المواد التي تشكل لدن عند تعرضها للحمـــل ( ) .

e- لا يعتمد حجم حبيبات مادة معينة على معدل التبريد السريـــــع ( ) .

س7- ما هي الشروط التي يجب مراعاتها عند اختيار مادة هندسية لعمـــل معـــين عددها واذكرها باختصار .

س8- علق ثقل قدره 2Kg في نهايـــة ســـلك طوله 4m ، فاستطـــال بمقـــدار 0.24mm، فإذا كان قطر السلك 2mm ، احسب الإجهاد والانفعال النـــاتج مـــن قوة الشّد وكذلك معامل يونج لمرونة هذا السلك .

س9- سلـــك من الصـــلب كثـــافته $7.8\ g/cm^3$ ، وكتلته 16 g وطـــولـــه 250cm علق فيه ثقل قدره 8Kg فاستطال السلك بمقدار 1.2mm . أحسب معامل المرونة(معامل يونج) للسلك .