

الفصل الأول

المادة

THE MATERIAL

1.1 تمهيد: Introduction

علم المواد الهندسية يلعب دورا مهما في حياتنا اليومية في الوقت الحاضر – عصر العلوم والتكنولوجيا، حيث يتواجد الكثير من المواد المتنوعة المستخدمة في الصناعة والزراعة والنقل وفي المنازل الخ.... للرفاهية ولتسهيل الحياة وتحقيق أهدافنا المنشودة.

في كثير من الأحيان يلاقي المهندسون بمختلف اختصاصاتهم: الميكانيك والكهرباء والمدني والكيمياء، مشاكل تتعلق بإختيار المادة المناسبة لإستخدام معين. فعلى سبيل المثال: إختيار مادة مناسبة لترس (مسنن) نقل الحركة أو شريحة الدوائر الكهربائية المدمجة أو ذاكرة التخزين للحواسيب أو تحسين الهيكل الإنشائي للمباني أو الحاجة إلى جزء إضافي في وحدات مصفى النفط الخ.... تتمحور المشكلة في مسألة إختيار المادة المناسبة لتتوافق مع العمل المطلوب من بين المئات من المواد المتوفرة. والقرار هنا يعتمد على عوامل عديدة. من النادر جدا أن تمتلك المادة الواحدة جميع المواصفات المطلوبة لتحقيق الغرض من استعمالها، فعلى سبيل المثال المادة التي تمتلك صفة متانة عالية هي في العادة ذات مطولية ضعيفة؛ مما يضطر المهندس إلى إستبدال صفة مكان أخرى والموازنة بين الصفتين لإختيار المادة الأنسب. العامل الآخر المؤثر في اختيار المادة هو ظروف العمل التي تتعرض لها المادة أثناء الاستعمال؛ كتأثير درجة الحرارة والرطوبة والتعرض للمواد الكيميائية (حامضية أو قاعدية).

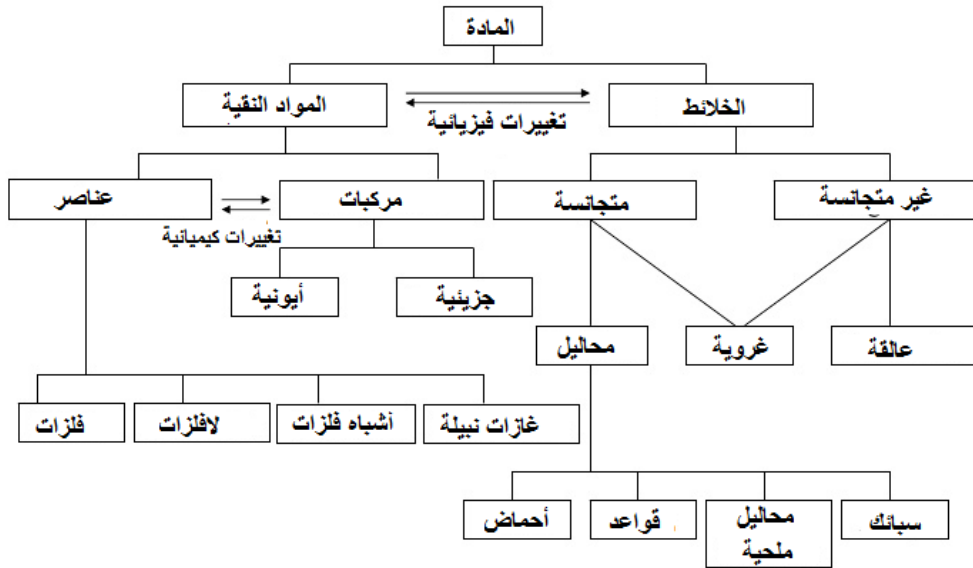
2.1 المادة: Mater

المادة هي أي شيء يشغل حيز في الفراغ وله كتلة، ومهما تنوعت المواد، يمكن تصنيفها إلى صنفين: مواد نقية وخلائط. المواد النقية تصنف إلى صنفين أيضا: عناصر (elements) ومركبات (compounds)، الخلائط هي إما متجانسة أو غير متجانسة، وكما موضح في الشكل (1-1).

خلال الإستعمال والتعامل مع المواد بمختلف أنواعها قد تخضع هذه المواد إلى عوامل تؤدي إلى إحداث تغيير في طبيعة وهيئة المادة كأن تخط المواد مع بعضها كخلطة الاسمنت والرمل والحصى، أو إذابة السكر في الماء أو قد يتم تقطيع المادة أو تهشيمها أو انجماد المادة (انجماد الماء إلى ثلج) أو تبخيرها... إلخ، كل هذه التغييرات لا تغير نوع المادة وطبيعتها (فالماء يبقى ماء H_2O في الحالة الغازية والسائلة والصلبة)، هذا النوع من التغيير يسمى تغييرا فيزيائيا.

هناك تغييرات تؤدي إلى تغيير في طبيعة وتكوين وصفات المادة مثل التخمر وحرق الخشب أو تحلل المواد العضوية ولذلك فهي تعرف بالتغييرات الكيميائية وهي كثيرة لا تحصى.

تصنيف المواد



شكل (1 - 1) تصنيف المواد

1.2.1 العناصر: Elements

العناصر هي مواد أيضا، ومن العناصر المستعملة في حياتنا اليومية؛ الذهب والفضة في الحلي والألمنيوم لعلب المشروبات والنحاس للأنايبب والكربون بشكل ماس أو الكرافيت المستعمل في أقلام

الرصاص والزئبق في المحارير والتتستن في المصابيح الكهربائية. معظم هذه المواد أو العناصر وجودها على الأرض قليل مقارنة بالعناصر الأخرى، والجدول (1-1) يعطي فكرة عن التواجد النسبي لعدد كبير من العناصر المتواجدة على سطح الكرة الأرضية. ويلاحظ أن الأوكسجين هو العنصر الأكثر تواجداً على سطح الكرة الأرضية، في الماء H_2O وفي الرمل (السليكا) SiO_2 وفي مواد أخرى، وهذا لا يقلل من أهمية بقية العناصر المستعملة في الحياة والتي غالباً ما يكون استعمالها بالحالة الصلبة.

الجدول (1-1) يوضح أيضاً مقدار التواجد النسبي لعناصر مختارة، ويلاحظ أيضاً أن أكثر من 99% من الكتلة الكلية لتواجد العناصر ممثلة بتواجد عشرة عناصر فقط هي: O، Si، Al، Fe، Ca، Na، K، Mg، H وTi مرتبة تنازلياً حسب تواجدها والأوكسجين لوحده يتواجد بنسبة 46.6% أي حوالي النصف، بينما هنالك عشرة من المعادن المتداولة بكثرة وهي الكروم، الكوبالت، النحاس، الذهب، الرصاص، الزئبق، النيكل، الفضة، القصدير، والزنك، لا يتجاوز تواجدها مجتمعة 0.1%. هذا يعني أن نسبة تواجد العنصر لا تمثل دليل على أهميته. تصنف العناصر إلى فلزية ولا فلزية، الفلزات جميعها لها خواص مشتركة، فهي لامعة وموصلة للكهرباء وقابلة للحنى، أما خواص اللافلزات فهي عكس خواص الفلزات فهي معتمة وغير موصلة للكهرباء وهشة. عادة يوضع خط في الجدول الدوري (الخط الغامق- شكل 1-2) يفصل الفلزات عن اللافلزات، جميع العناصر يسار هذا الخط هي فلزات عدا الهيدروجين فهو يصنف لا فلز.

جدول (1-1) يوضح نسبة تواجد عناصر مختارة في قشرة الكرة الأرضية

Element	Relative Abundance (ppm)	Element	Relative Abundance (ppm)
Oxygen (O)	466,000	Fluorine (F)	300
Silicon (Si)	277,200	Strontium (Sr)	300
Aluminum (Al)	81,300	Barium (Ba)	250
Iron (Fe)	50,000	Zirconium (Zr)	220
Calcium (Ca)	36,300	Chromium (Cr)	200
Sodium (Na)	28,300	Vanadium (V)	150
Potassium (K)	25,900	Zinc (Zn)	132
Magnesium (Mg)	20,900	Nickel (Ni)	80
Titanium (Ti)	4,400	Molybdenum (Mo)	15
Hydrogen (H)	1,400	Uranium (U)	4
Phosphorus (P)	1,180	Mercury (Hg)	0.5
Manganese (Mn)	1,000	Silver (Ag)	0.1
Sulfur (S)	520	Platinum (Pt)	0.005
Carbon (C)	320	Gold (Au)	0.005
Chlorine (Cl)	314	Helium (He)	0.003

المعلومات المدرجة في الجدول أعلاه مأخوذة من المصدر (16)

العناصر هي أبسط أشكال المواد وتمثل وحدات البناء الأساسية لجميع المواد الأخرى. عدد العناصر المعروفة لحد الآن بحدود 118 عنصر، 92 عنصر منها يتواجد طبيعياً، بعد عنصر اليورانيوم العناصر لا تتواجد بشكل طبيعي وإنما يجب تحضيرها مخبرياً. كما أن العناصر ذات الأعداد الذرية الكبيرة جداً تم تحضيرها بعدد محدود جداً من المرات ولفترات زمنية قصيرة. هنا تجدر الإشارة إلى وجود خلافات حول اكتشاف مثل هذه العناصر، ولهذا تم اعتماد 111 عنصر بشكل رسمي عالمياً وكل عنصر منها يحمل اسم خاص به، وتميز العناصر عن بعضها برمز يحتوي الحرف الأول من أسم العنصر الاتيني ويضاف إليه الحرف الثاني عند تكرار الحرف الأول. أن العناصر مرتبة ترتيباً خاصاً حسب خواصها في جدول يعرف بالجدول الدوري (Periodic table). نظرة عامة على هذا الجدول في الشكل (1-2) يتضح أن الكثير من هذه العناصر يتواجد بالحالة الصلبة (المربعات البيضاء) عند الظروف الجوية الاعتيادية، وهذه الحقيقة تبقى لمدى محدد من درجات الحرارة وعند الاستمرار بالتسخين لدرجات حرارة عالية سوف تتغير الصورة حيث أن قسماً من هذه العناصر سوف ينصهر وإذا

استمر التسخين سوف يتبخر قسماً منها كل حسب درجة انصهاره أو غليانه.

تستخرج العناصر من مصادرها الطبيعية المتمثلة بالهواء والمحيطات والمناجم بعمليات صناعية معقدة. العناصر المستخرجة أما تستخدم في الصناعة على حالتها، كالحديد مثلاً في صناعة السيارات والألمنيوم في صناعة الطائرات والنحاس في صناعة الأنابيب. أو تحول إلى مركبات كالكلور لإنتاج القاصر والنتروجين والهيدروجين لإنتاج الأمونيا NH_3 والكبريت لإنتاج حامض الكبريتيك H_2SO_4 إلخ....

2.2.1 المركبات: Compounds

المركبات هي أي مادة تحتوي وحداتها البنائية الأساسية على ذرتين أو أكثر غير متشابهة مرتبطة مع بعضها برابطة قوية وبتناسب ثابت، وبناءً على هذه الروابط توجد ثلاثة

Temperature: 290°K 16°C 62°F																					
1 H																	2 He				
3 Li	4 Be															5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg															13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr				
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe				
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn				
87 Fr	88 Ra	89 Ac																			
Legend																					
<input type="checkbox"/> Solid <input checked="" type="checkbox"/> Liquid <input checked="" type="checkbox"/> Gas <input type="checkbox"/> Not Available																					
58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu								
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr								

شكل (2-1) الجدول الدوري للعناصر

أنواع من المركبات؛ الأيونية (اتحاد فلز + لا فلز) والتساهمية (لافلز + لا فلز) والفلزية (فلز + فلز).

الخواص الكيميائية والفيزيائية للمركبات تختلف تماماً عن خواص العناصر الداخلة في تركيبها، فالماء مثلاً خواصه تختلف عن خواص كل من الهيدروجين والأكسجين الداخلين في تركيبه. تختلف المركبات عن المخلوطات بكونها لا يمكن فصل مكوناتها عن بعض إلا بطرق كيميائية، في حين المخلوطات يمكن فصل مكوناتها بطرق فيزيائية كالتصفية والتبخير أو بإستعمال المغناطيس وهي تحضر بطرق فيزيائية أيضاً. عدد المركبات المعروفة أكبر بكثير من عدد العناصر فهي بالملايين، فالعناصر يمكن أن تتحد مع بعضها بطرق كثيرة ومتنوعة، وهي إما تحضر في المختبرات أو تكتشف طبيعياً، يمكن أن يصل عدد المركبات الجديدة المحضرة أو المكتشفة سنوياً إلى الآلاف.

طريقة التعبير عن المركب هي بإستعمال ما يعرف بالصيغة الكيميائية ((Chemical Formula)) التي تبين مقدار ونوع الذرات المرتبطة مع بعضها. ترتب العناصر في المركب بترتيب خاص للحصول على الصيغة الكيميائية، حيث يذكر الكربون أولاً في المركبات الحاوية عليه ثم الهيدروجين ويليهما بقية العناصر حسب الترتيب الأبجدي. في المركبات التي لا تحتوي كربون في تركيبها؛ ترتب العناصر حسب ترتيب حروفها الأبجدية بضمنها الهيدروجين. يشذ عن هذه القاعدة المركبات الأيونية حيث يذكر الأيون الموجب أولاً وفي الأكاسيد يذكر الأوكسجين آخرًا.

3.2.1 الخلائط: Mixtures

تنتج الخلائط (أو المخلوطات) من مزج عنصرين أو أكثر (السبائك: الذهب، البرونز... إلخ) أو من مزج عناصر ومركبات (إضافة الرصاص إلى SiO_2 لإنتاج الكريستال) أو من مزج مركبين أو أكثر (ملح أو سكر مع الماء) ومكونات الخليط لا تتحد كيميائياً لذلك يحتفظ كل منها بخواصه المميزة له، كما أنها تختلط بأية نسبة، وكمثال على ذلك الهواء والسبائك المعدنية. الخلائط يمكن أن تكون متجانسة (Homogeneous)، مثل محلول السكر في الماء وغير متجانسة

(Heterogeneous) مثل خلطة الاسمنت. وعملية الخلط هي فيزيائية ولذلك يمكن فصل مكونات الخليط عن بعضها وبطرق فيزيائية أيضاً.

المحاليل: (Solutions) تعتبر نوعاً خاصاً من الخلائط حيث تمتزج فيه المكونات على المستوى الذري، وعادة ما تسود الخواص الفيزيائية لأحد المكونات، ألا وهي المادة المذيبة. ويمكن أن يكون المذيب (Solvent) أو المذاب (Solute) أو المحلول الناتج في الحالة الغازية أو السائلة أو الصلبة. وحيث أن المزج بين مكونات المحلول يكون على المستوى الذري، لذلك فإن المذيب له مقدرة على إذابة أو استيعاب كمية محدودة من المواد المذابة واحتوائها بين ذراته تتناسب مع حجم الفراغات البينية المتواجدة بين الذرات، وهذه الكمية المحدودة تسمى بحد التشبع (Saturation Limit). لذلك يوجد ثلاثة أنواع من المحاليل هي:

- 1- محلول غير مشبع (Unsaturated Solution) : وتكون فيه كمية المادة المذابة أقل من الكمية التي يستطيع المذيب احتوائها.
- 2- محلول مشبع (Saturated Solution): تكون فيه كمية المادة المذابة مساوية للكمية التي يستطيع المذيب احتوائها.
- 3- محلول فوق مشبع (Supersaturated Solution): تكون فيه كمية المادة المذابة أكبر من تلك الكمية المحددة التي يستطيع المذيب احتوائها.

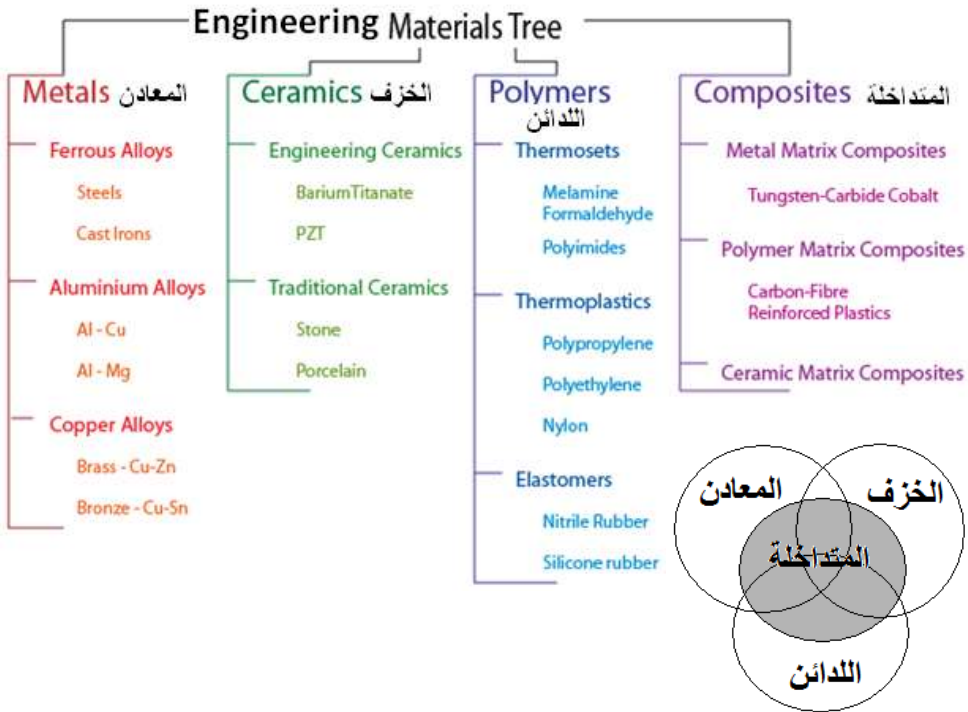
3.1 حالة المادة: Material State

كل مادة نقية (Pure Substance) تمتلك مجموعة من الخواص الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية والكهربائية والمغناطيسية تميزها عن بقية المواد ومن هذه الخواص. الكثافة، اللون، الرائحة، درجة الانصهار، درجة الغليان، قابلية الذوبان، والحرارة النوعية، مجموعة الخواص هذه مألوفة لنا وسبق دراستها والتعرف على كيفية قياسها. وسنتعرف لاحقاً على خواص أخرى للمادة.

المادة أما أن تكون في الحالة الغازية أو السائلة أو الصلبة. ففي الحالة الغازية لا تشغل الذرات أو الجزيئات مواضع محددة في الفراغ ولذلك فإنها تتحرك دائماً حركة عشوائية في أي اتجاه حيث أن القوى التي تربط بين مكوناتها الأساسية (ذرات أو جزيئات) ضعيفة جداً مما يجعلها تتحرك مبتعدة عن بعضها لتنتشر وتملأ الحيز الموجودة فيه. لذلك فليس للغاز حجماً أو شكلاً ثابتاً. أما الحالة السائلة للمادة فإن القوى التي تربط الذرات أو الجزيئات مع بعضها تكون أكبر مما هي عليه في الغازات إلا أنها ليست بالمقدار الكافي الذي يحافظ على إبقاء الذرات أو الجزيئات في أماكنها، لذلك فالسائل لا يمتلك شكلاً ثابتاً كالمادة الصلبة وإنما يتخذ شكل الوعاء الذي يحتويه. في الحالة الصلبة للمادة فإن قوى التجاذب بين الذرات أو الجزيئات كبيرة إلى الدرجة التي تبقىها في أماكنها ولا تستطيع الابتعاد عن بعضها.

4.1 المواد الهندسية: Engineering Material

جميع المواد المستخدمة في التطبيقات الصناعية (الهندسية) يمكن جمعها في ثلاث مجاميع أساسية: المعادن (Metals)، الخزف (Ceramic)، واللدائن (Polymers). هذا التصنيف يعتمد بالأساس على المكونات الكيميائية والبناء الذري للمواد. يضاف إلى هذه الأصناف صنف آخر هو المواد المركبة (Composites) والتي تتكون من مادتين أو أكثر، وكما موضح في الشكل (1-3) والجدول (1-2) يبين الخواص المميزة للأصناف الرئيسية الثلاث للمواد. ظهرت في الآونة الأخيرة أصناف جديدة للمواد منها المواد المتطورة (Advanced) وهي المواد الداخلة في الصناعات المتقدمة مثل أشباه الموصلات، وهناك صنف يعرف بإسم المواد الحيوية (Bio – Materials)، والمواد الذكية (Smart – Materials)، والمواد المتناهية في الصغر (Nano Materials).

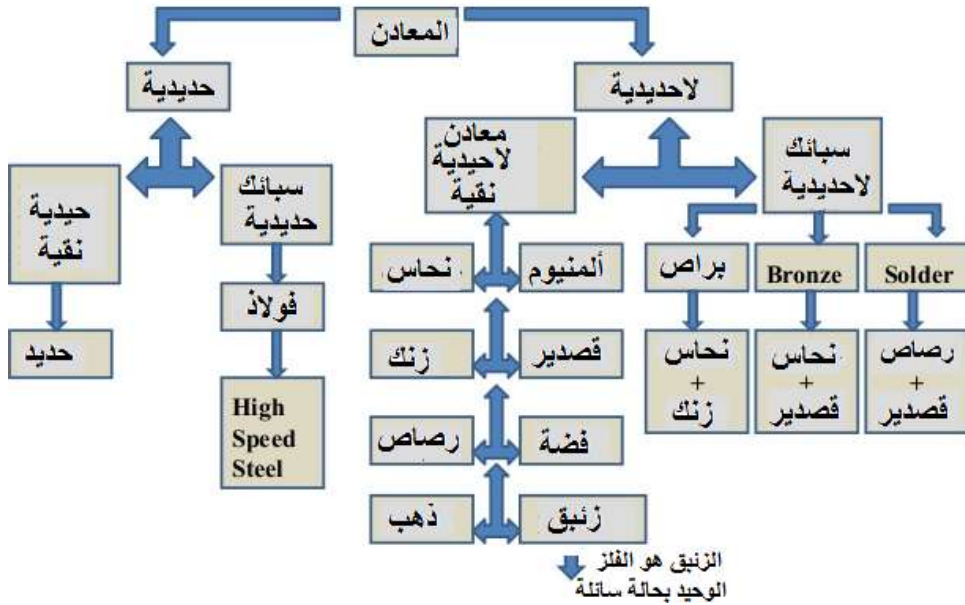


شكل (3-1) مخطط يوضح تصنيف المواد الهندسية

جدول (1 - 2) يبين الخواص المميزة للأصناف الرئيسية الثلاثة للمواد

الخزف (Ceramics)	اللدائن (Polymers)	المعادن (الفلزات)
صلدة لكنها هششة	قوية مطاوعة	صلبة لكنها مطولية
لامعة عند صقلها	معتمة	لامعة
متعددة الألوان	عديمة اللون	قليلة الألوان
درجة انصهارها عالية جدا	درجة انصهارها واطئة	درجة انصهارها متوسطة
غير موصلة للكهرباء والحرارة	غير موصلة للكهرباء والحرارة	موصلة للكهربائي والحرارة
كثافتها متوسطة	كثافتها واطئة	ذات كثافة عالية
لا يمكن حرقها	احتراقها سهل	احتراقها صعب

1.4.1 المعادن: Metals



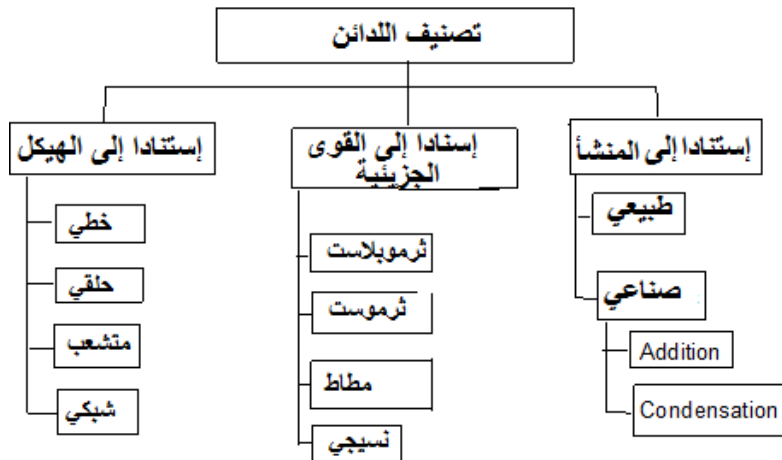
شكل (4-1) تصنيف المعادن

لعبت المعادن (الحديدية وغير الحديدية) دوراً رئيسياً في تقدم البشرية. وبالرغم من أننا قد لا نلتفت أو لا نفكر بالمعادن إلا أنها موجودة فعلاً حولنا في معظم الأدوات التي نستعملها في حياتنا اليومية. فالسيارات والقاطرات والسفن والطائرات والمكائن الإنتاجية المختلفة والآلات الزراعية والأدوات المنزلية والأسلاك الكهربائية ما هي إلا أمثلة على الدور الأساسي الذي تلعبه المعادن في حياتنا. المعادن المستعملة في الصناعة بصورة عامة هي سبائك، والسبيكة هي خليط من معدنين أو أكثر أو معادن ولا فلزات. المعادن النقية ضعيفة لا تتحمل القوى المسلطة عليها. فالكربون مثلاً يضاف إلى الحديد لرفع مقاومته للقوى المسلطة عليه وتسمى السبيكة الناتجة فولاذ مطوع، وعند إضافة الكروم للحديد المطوع تتحسن مقاومته للتآكل والصدأ وتسمى السبيكة الناتجة فولاذ مقاوم للصدأ. أي أن إضافة عناصر إلى الحديد تحسن خواصه.

خواص أي سبيكة معدنية تتأثر بطريقة معاملتها حرارياً ودرجة الحرارة المستعملة للمعاملة الحرارية، فعند تسخين الحديد مثلاً تزداد مطروقيته وعند تبريده نحصل على خواص مختلفة تعتمد على طريقة التبريد؛ فقد يكون التبريد سريع أو بطيء أو بطيء جداً. وبصورة عامة المعادن تمتلك قابلية توصيل عالية للكهرباء والحرارة ومقاومة شد ومطولية عالية.

1. 4. 2 اللدائن (البوليمرات والمطاط): Polymers and Elastomers

كلمة (Poly) تعني متعدد، واللدائن (Polymers) هي مواد كتلتها الجزيئية عالية جداً ناتجة من ارتباط نوع واحد أو أكثر من جزيئات مواد ذات أوزان جزيئية صغيرة، وعملية الإرتباط (التفاعل) هذه تعرف بإسم البلمرة (polymerization)، أما الجزيئات الصغيرة المرتبطة مع بعضها تعرف بإسم (monomers)، كما أن اللدائن الناتجة من إرتباط نوع واحد من الجزيئات مع بعضها تسمى (homopolymers) والناتجة من إرتباط أنواع مختلفة من الجزيئات مع بعضها تسمى (copolymers).
هناك عدة طرق يمكن اعتمادها لتصنيف اللدائن وهي كما موضحة في الشكل (1-5):



شكل (1-5) تصنيف اللدائن

من أهم التصنيفات المتبعة للدائن هو بإعتماد القوى الجزيئية التي تربط الجزيئات مع بعضها ومنها: الترموبلاستيك (thermoplastics) وهي مادة لدنة تلين عند التسخين وتتصلب مرة ثانية بعد زوال الحرارة. الترموست (thermosets) هي مادة لا تلين بالتسخين وإنما تتفحم وتتحلل. لذلك فالمواد الترموبلاستيكية تسخن وتشكل بالشكل المطلوب في حين الترموست لا يمكن إجراء ذلك معها. وبصورة عامة المواد الترموبلاستيكية لينة ومرنة.

أضف إلى ذلك فإن البوليئين هو أحد أنواع الترموبلاستيك ويستخدم بكثرة لصناعة الشرائح والصفائح التي تستعمل لصنع الأكياس والقناني وكعازل للأسلاك الكهربائية. أما الترموست فهي قوية وصلبة وتستخدم لصناعة المآخذ والفيش الكهربائية وفي صنع مقابض الأبواب وأواني الطبخ.

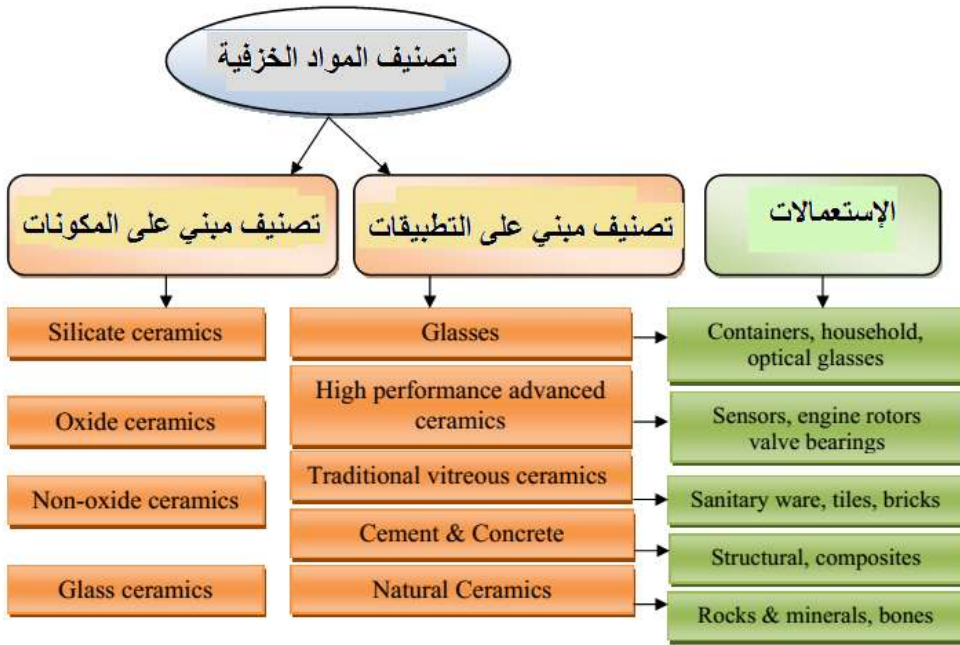
مصطلح Elastomers يطلق على البوليمرات التي تمتلك قابلية عالية للمط واستعادة شكلها بعد زوال التأثير وهي تستخدم لصناعة الخيوط المطاطية وما شابه ذلك.

الدائن هي مركبات عضوية تتكون من الكربون والهيدروجين بشكل رئيسي وبعض اللافلزات مثل Si, N, O. هذه المواد تتميز بكون جزيئاتها كبيرة جدا و معظمها طويل يتوسطها الكربون، ويمكن أن تكون حلقة أو متفرعة. ومن أنواعها المعروفة:

Polyethylene (PE), Polystyrene (PS), Poly – Vinyl Chloride (PVC), Nylon, Silicon Rubber, and Poly – Carbonate (PC).

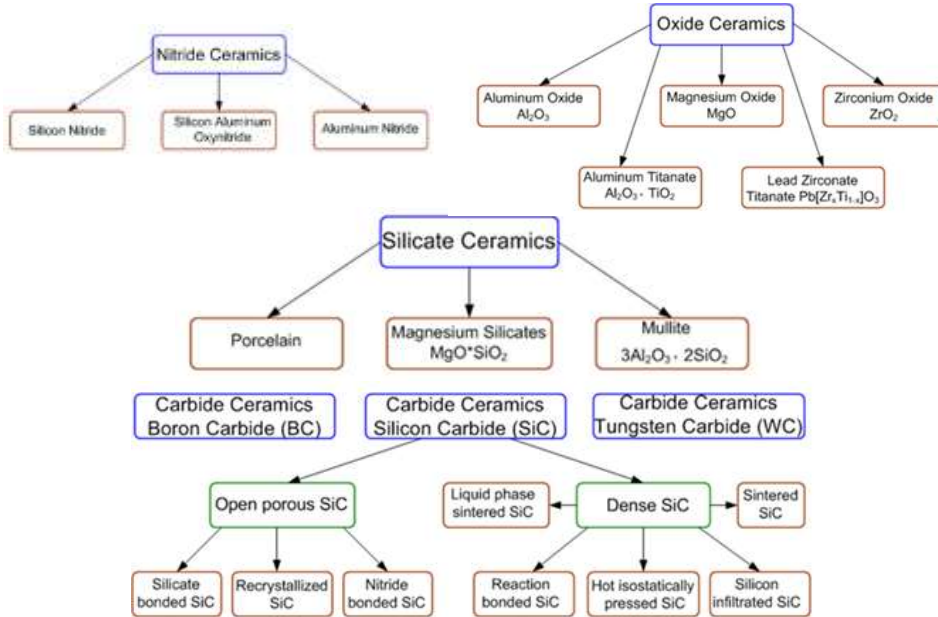
1. 4. 3 الخزف (السيراميك): Ceramic

الخزف ينتج من تسليط حرارة عالية على الصلصال (الطين) أو مواد طبيعة أخرى للحصول على منتج صلب قوي. كما أن المادة الخزفية (السيراميكية) هي مادة لا عضوية غير معدنية وهي إما أكاسيد متبلورة أو مركبات نيتروجينية (nitrides) أو كربونية (carbides) والشكل



شكل (1-6) التصنيف الأساسي للخزف

(1-6) يوضح التصنيف الأساسي للخزف، حيث تم تصنيفه إلى صنفين الأول حسب التركيب والثاني حسب الاستعمال. والشكل (1-7) يبين تصنيف المواد الخزفية حسب التركيب.



شكل (1-7) تصنيف للسيراميك حسب التركيب الكيميائي

هذه المواد هشة لكنها صلبة وهي تتحمل الانضغاط أكثر بكثير من تحملها للشد أو الحني وهي خاملة كيميائياً وتوصيلها للكهرباء والحرارة منخفض جداً، فالزجاج مثلاً هو أحد أنواع السيراميك. من الاستخدامات الصناعية المهمة للسيراميك هو في أدوات القطع وهناك الكثير من الاستخدامات الأخرى للزجاج والسيراميك في المنزل مثل الأبواب والشبابيك والأقذاح والصحون والصحيات والكاشي. وكذلك الاسمنت والخرسانة وكاربيد السليكون والألومينا أمثلة أخرى على المواد السيراميكية.

1. 4. 4 المواد المركبة (المتداخلة) Composite materials

تنشأ هذه المواد من دمج مادتين أو أكثر والهدف هو الحصول على خواص جديدة تمثل حالة الجمع بين خواص المواد الداخلة في تركيب المادة المركبة. يمكن الحصول على عدد كبير من المواد المركبة وبالمواصفات المرغوبة وذلك بخلط أنواع المواد المختلفة مع بعضها. المواد المركبة يتواجد قسماً منها طبيعياً مثل الخشب والعظام، أما التي من صنع الإنسان فعددها غير محدود وأعدادها تزداد بمرور الزمن وهي تعرف بإسم (Synthetic)، من الأمثلة على ذلك: الألياف الزجاجية مع مادة لدنة (Epoxy)، وألياف الكربون مع مادة لدنة لتكوين ما يعرف بإسم Carbon Fiber – Reinforced Polymer (CFRP).

خواص المواد المتداخلة تجمع بين الخصائص الجيدة للمواد الداخلة في تركيبها مع تجنب العيوب الموجودة في كل منها. فلذلك يمكن عمل مادة بكثافة قليلة ومقاومتها للشد عالية ومعامل تمدد عالي إلا إن صناعة هذه المواد مكلفة نوعاً ما.

1. 4. 5 المواد المتطورة: (Advanced Materials)

هذه مواد هندسية جديدة تتميز بالمتانة العالية والصلادة الفائقة، مع خواص حرارية متفوقة إضافة إلى امتلاكها خواص كهربائية وكيميائية وضوئية متميزة، وقد أحدثت هذه المواد تطوراً كبيراً في مجال

تكنولوجيا المعلومات والاتصالات ويتم إنتاج هذه المواد من معالجة مواد عادية بطرق خاصة تتلائم مع الظرف المطلوب من إنتاجها.

1. 4. 6 المواد العضوية: Biomaterials

تستعمل هذه المواد لزرع أجزاء داخل جسم الإنسان للتعويض عن الأجزاء التالفة بسبب المرض أو الحوادث. المواد الحيوية يجب أن لا تكون سامة أو تنتج مواد سامة خلال الإستعمال وأن تتناسب مع النسيج البشري وألا تسبب رفض الجسم لها.

1. 4. 7 مواد مستقبلية: Materials of the Future

أ – المواد الذكية: Smart Materials

هي مواد انتجت حديثا بحيث تتماشى مع التقنيات الحديثة. التعبير ذكية يستعمل للمواد التي تستطيع تحسس التغيرات في المحيط حولها ثم الإستجابة لهذه التغيرات بطريقة معينة سبق تحديدها ومن هذه المواد الشائعة:

a – Shape memory alloy

b – Piezoelectric Ceramics

c – Magnetostrictive material

إضافة لذلك فقد تم التوصل مؤخرا إلى استعمال مواد عضوية تمتلك خواص المواد الذكية.

ب – المواد النانوية: Nano-materials

المواد ذات التركيب النانوي (Nano-Structure) هي مواد صلبة بأحجام دقيقة أبعادها تقع ضمن المدى (100 nm – 1) و (nm = 10^{-9} m) حيث تمتلك هذه المواد صفات ميكانيكية وفيزيائية عالية المستوى بسبب حجم حبيباتها (grains) الصغير جدا وكثرة حدود هذه الحبيبات وأن الذرات المتواجدة داخل هذه الحبيبات أعدادها تتجاوز مئات الآلاف ولذلك يطلق عليها عدة تسميات منها؛ دقائق نانوية (Nano

(particle) أو بلورات نانوية (Nano crystals) أو نقط كمية (Quantum dot) أو (Quantum boxes).

من التطبيقات لهذه المواد هو خلطها مع اللدائن لتكوين مواد مركبة بمواصفات أفضل تستعمل في إطارات العجلات (خلط أسود الكربون وأوكسيد الزنك مع المطاط) وكذلك إضافة الميكا (mica) إلى النايلون (Nylon) لرفع مقاومته بحدود خمسة أضعاف.

5.1 اختيار المواد: Materials Selection

إن عملية إختيار المادة المناسبة للصناعة تعتبر من العمليات المعقدة جدا لوجود الكثير من هذه الاختيارات، كما أن سوء الإختيار قد يؤدي إلى عواقب وخيمة. فمثلا عند إختيار مادة لتصنيع أطباق المائدة؛ هل تكون من المعدن أو البلاستيك أو السيراميك فلكل منها مزايا وعيوب ولأجل تسهيل عملية الإختيار يجب مراعاة ما يلي:

- 1 - ظروف العمل.
- 2 - طرق التصنيع المختلفة للمنتج المطلوب.
- 3 - كلفة المواد الأولية وكلفة الإنتاج.
- 4 - المواصفات المطلوبة للمنتج.
- 5 - معرفة الخواص المختلفة للمواد؛ كالخواص الميكانيكية والكهربائية والكيميائية والحرارية والضوئية...إلخ.

بالتأكيد هناك الكثير من المتطلبات الخاصة لكل منتج، ولذلك علينا الموازنة بين الخواص المطلوب توفرها في المنتج وطبيعة واستعمال المنتج والظروف التي يعمل بها المنتج للتوصل إلى الاختيار الأنسب للمادة الملائمة والتي تحقق أكبر ما يمكن من المتطلبات اللازم توفرها في المنتج.

6.1 خواص المواد: Properties of Materials

في الآونة الأخيرة انتشر بشكل واسع استعمال المواد البلاستيكية في التطبيقات الهندسية بالرغم من ضعف صفاتها الميكانيكية مقارنة

بالمعادن إلا انها تتفوق على المعادن بمقاومتها لظروف العمل المسببة للتآكل (بسبب الصدأ والأحماض والإحتكاك). المواد المتنوعة تمتلك خواص مختلفة لتناسب الإستعمالات الهندسية المختلفة للمادة، كما أن الخواص المهمة التي تحدد إختيار المادة المناسبة هي:

أولاً – الخواص الفيزيائية: **Physical Properties**

الخواص الفيزيائية هي تلك الصفات التي يمكن قياسها بدون تغيير لمكونات المادة. وهي على نوعين من الصفات:

1 – صفات لا تعتمد على كمية المادة ويعبر عنها: Intensive

Property

ومن هذه الصفات؛ اللون، الكثافة، الرائحة إلخ

2 – صفات تعتمد على كمية المادة ويعبر عنها: Extensive

Property

ومن هذه الصفات؛ الكتلة والوزن والحجم،..... إلخ

Intensive physical property

اللون

الكثافة

الرائحة

درجة الإنصهار ودرجة الغليان

التوصيل الكهربائي والحراري

الضغط ودرجة الحرارة، إلخ.....

Extensive physical property

الكتلة والوزن

الحجم

الطول

السعة الحرارية

الشكل

الطاقة، إلخ.....

فيما يلي تعريف لبعض من الخصائص الفيزيائية من كلا

النوعين:

1-الكثافة (density): كتلة وحدة الحجم.

2-الحرارة النوعية (Specific heat): كمية الحرارة المطلوبة لرفع

درجة حرارة وحدة الكتل بمقدار درجة مئوية واحدة.

3-الميوعة (Fluidity): قابلية المعدن على السيولة والانسحاب عند

درجات الحرارة العالية.

- 4- الانصهار (fusibility): خاصية تحول المادة من الحالة الصلبة إلى السائلة بالتسخين.
- 5- نقطة الانصهار (Melting point) : درجة الحرارة التي يتم عندها انصهار المادة.
- 6- التطاير (Volatility) : ميل المادة الصلبة للتبخر عند أي درجة حرارة.
- 7- التمدد والتقلص: زيادة ونقصان أبعاد المادة بارتفاع وانخفاض درجة الحرارة.
- 8- التوصيل الحراري والكهربائي (Heat & Electrical Conductivity): قابلية المعدن على نقل الحرارة. وبصورة عامة فإن جميع الفلزات ناقلة للحرارة والكهرباء خلافاً للمواد اللافلزية التي هي على الأغلب عوازل.

ثانياً – الخواص الميكانيكية: Mechanical Properties

- هذه الخواص تتعلق بسلوك المادة عند تعرضها لقوى وتأثيرات خارجية وهي من أهم الخواص التي تتحكم بإختيار المادة وتشمل:
- 1- الكشط (Abrasion): وهو نقصان في الوزن والأبعاد من جراء احتكاك جسمين معاً.
 - 2- التقادم (Aging): هو المدة التي تزول في غضونهما أو تنقص إجهادات المادة المشغولة وقد تمتد هذه الفترة عدة أشهر. ويساعد التسخين في إنقاص هذه المدة.
 - 3- القسافة (Brittleness): وهي تقيس ضعف مقاومة المعدن للصدمات وهي عكس المتانة (Toughness).
 - 4- الجهد (Stress): وهو الحمل Load المسلط على وحدة المساحة. ولا تعاني المعادن الهشة أي تغيير في طولها أو شكلها عند تطبيق جهد شد عليها.
 - 5- التآكل (Corrosion): هو عملية تآكل المعدن بفعل كيميائي أو كهربائي – كيميائي.
 - 6- الانحراف (Deflection): يستدل بقيمته على صلادة المعدن.

- 7-المطولية (Ductility): وهي تقيس قابلية المعدن للتمدد باتجاه الشد قبل حصول الفشل وتقل قابلية السحب بازدياد درجة الحرارة للمعادن بينما تزداد قابلية السحب للزجاج بزيادة درجة الحرارة.
- 8-حد المرونة (Elastic Limit): هو أكبر جهد تتحمله المادة بدون تشكيل ثابت يبقى بعد إزالة الجهد (القوة).
- 9-المرونة (Elasticity): هي خاصية عودة المادة إلى شكلها الأصلي عقب إزالة الجهد المطبق عليه.
- 10-الاستطالة (Elongation): هي مقدار التمدد الذي يحصل في المعدن من جراء شده دون أن ينكسر. ويعبر عن الاستطالة بنسبة مئوية من طول قياس أساسي.
- 11-مقاومة الكلال (Fatigue Resistance): وهي قابلية المادة لمقاومة الإجهادات المتغيرة.
- 12-الصلادة (Hardness): وهي قابلية المعدن على مقاومة الخدش أو القطع أو التآكل بالاحتكاك أو عمل علامة لدنة بها.
- 13-المطروقية (Malleability): هي قدرة المعدن على التشكيل بواسطة الطرق أو الدلفنة بدون كسر وهي خاصية معاكسة للمطولية.
- 14-المتانة (Toughness): هي مقاومة المعدن للتشكيل تحت تأثير الاجتهادات.
- 15-الانفعال (Strain): هو ما تعانيه المواد من جراء تطبيق جهد عليها ويعبر عن الانفعال بنسبة التغير في الطول أو بنسبة التغير في المساحة الناتج عن تطبيق الحمل.
- 16-المقاومة (Strength): قدرة المادة على مقاومة الأحمال أو الإجهادات.
- 17-الزحف (Creep): هو التغير الذي يحصل في شكل المادة تحت تأثير ثابت ومستمر للحرارة والإجهاد كل لوحده أو كلاهما مع بعض.
- 18-الرجوعية (Resilience): هي كمية الطاقة الممتصة لإجهاد المادة إلى حد مقاومتها المرنة أو هي كمية الطاقة التي يمكن أن تسترجع بعد رفع الإجهاد عن المادة.

- 19- اللدونة (Plasticity): هي الخاصية التي تجعل الجسم محتفظاً بتشكيله بعد تأثير الأحمال ورفعها وهي عكس المرونة.
- 21- القساوة (Stiffness): هي مقدرة المادة على مقاومة الحني.

ثالثاً – الخواص الكهربائية: Electrical Properties

الخواص الكهربائية التي لها تأثير مباشر على إختيار المواد تتلخص بالآتي:

- 1 – المقاومة الكهربائية: (Electrical Resistance)
هذه الخاصية تمثل ممانعة المادة لمرور التيار الكهربائي خلالها.
قانون (أوم) يتمثل بالآتي:

$$\text{Ohm's Law: } V = IR$$

حيث (R) هي المقاومة الكهربائية وتقاس بوحدات الأوم (Ω Ohms)، و V هو فرق الجهد ويقاس بوحدات الفولت ($V \equiv J/s$)، و I هو التيار ويقاس بالأمبير ($A \equiv C/s$)، الرمز C يمثل الشحنة الكهربائية.
المقاومة الكهربائية (R) تتأثر بشكل المادة الموصلة للتيار الكهربائي وأبعادها ولا تتأثر بمقدار التيار المار خلال المادة.

- 2 – الممانعة الكهربائية: (Electrical Resistivity – ρ)

$$\rho = \frac{R A}{l}$$

(l) هي المسافة بين نقطتي قياس المقاومة وفرق الجهد، و (A) هي مساحة مقطع الموصل العمودية على إتجاه سريان التيار. وحدات (ρ) هي: أوم – متر ($\Omega \cdot m$).

- 3 – الناقلية (الموصلية) الكهربائية: (Electrical Conductivity (σ)
هي عكس الممانعة الكهربائية وتستعمل للتعبير عن مدى إمكانية المادة لتوصيل (لنقل) التيار الكهربائي.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (\Omega \cdot m)$$

4 – العازل الكهربائي: (Electrical Insulator)

العازل الكهربائي هو المادة التي ممانعتها لمرور التيار الكهربائي خلالها عالية جدا. من الأمثلة على المواد العازلة: اللدائن المستعملة لعزل الأسلاك الكهربائية والسيراميك لتثبيت المسخنات الكهربائية.... الخ.

5 – أشباه الموصلات: (Semiconductors)

المشهور عن المواد التي تصنف بأشباه الموصلات بأنها تسمح بمرور التيار الكهربائي باتجاه واحد وتمنعه بالاتجاه المعاكس وهناك مواد عازلة للكهرباء إلا أنها تصبح ناقلة للتيار بعد تحفيز إلكتروناتها المتواجدة في المدارات الخارجية لتصبح حرة الحركة وذلك بإضافة طاقة خارجية قليلة نوعا ما، كالتسخين أو تعريضها للضوء وهذه المواد تصنف أيضا على أنها أشباه موصلات. ومن الجدير بالذكر هنا أن جميع المواد تقريبا تصبح ناقلة للتيار الكهربائي بالتسخين وتفاوت هنا درجات حرارة التسخين فمنها البسيط (أشباه الموصلات) ومنها العالي قد يتجاوز في بعض الأحيان درجة الغليان.

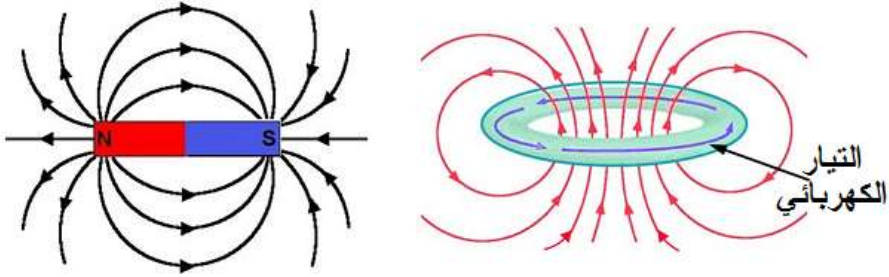
6 – المواد الناقلة للكهرباء: (Conductors)

هي المواد التي ممانعتها لمرور التيار الكهربائي منخفضة جدا. وجميع المعادن هي من هذا النوع.

رابعا – الخواص المغناطيسية: Magnetic Properties

المجال المغناطيسي هو قوة ناتجة عن تغير الطاقة داخل حيز محدد في الفضاء، والمجال المغناطيسي ينتج أيضا عن شحنة كهربائية متحركة: سريان تيار في موصل، الحركة المغزلية والأوربيبتالية للإلكترونات. تولد المجال المغناطيسي الذي يمكن تصوره بشكل خطوط افتراضية كما في الشكل (1-8):

خطوط القوى المغناطيسية



شكل (1 - 8) خطوط المجال المغناطيسي الافتراضية

عند وضع المادة في مجال مغناطيسي: تتأثر العزوم (القوى) المغناطيسية لألكترونات هذه المادة، وهذا التأثير يختلف من مادة إلى أخرى حسب البناء الذري و الجزيئي لتلك المادة، والمجال المغناطيسي والعزوم المغناطيسية الذي تمتلكه الذرات تنشأ من ثلاث مناشيء هي: إنسياب الالكترونات والتأثير في حركة الالكترونات (بفعل مجال مغناطيسي خارجي)، والدوران المغزلي للألكترونات، إن أفضل طريقة لتصنيف المواد على مختلف أنواعها هي بكيفية إستجابة تلك المواد للمجال المغناطيسي، ومن هنا نستطيع القول أن جميع المواد هي مواد تستجيب للمجال المغناطيسي لحد ما، إلا أن مغناطيسية بعض المواد أكبر بكثير من غيرها، وهذا السلوك المغناطيسي للمواد يمكن تصنيفه إلى المجاميع التالية:

1 - المواد النافرة من المجال المغناطيسي (Diamagnetic Materials)

هذه الخاصية متواجدة في جميع المواد، حيث تتأثر حركة ألكترونات المواد لمدى مختلف من مادة إلى أخرى بالمجال المغناطيسي الخارجي المؤثر عليها لذلك يتولد مجال مغناطيسي داخل المادة معاكس للمجال الخارجي، فإذا كانت المواد لا تمتلك خواص مغناطيسية ظاهرة تتغلب هذه الصفة فتتفر المادة من المجال الخارجي، وكما تنشأ هذه الخاصية بسبب عدم احتواء المادة الدايمغناطيسية على الكترونات منفردة في مداراتها الالكترونية، لذلك يتولد داخلها مجال مغناطيسي

معاكس ومن هذه المواد: معظم العناصر في الجدول الدوري تحمل هذه الصفة بضمنها؛ الذهب والفضة والنحاس.

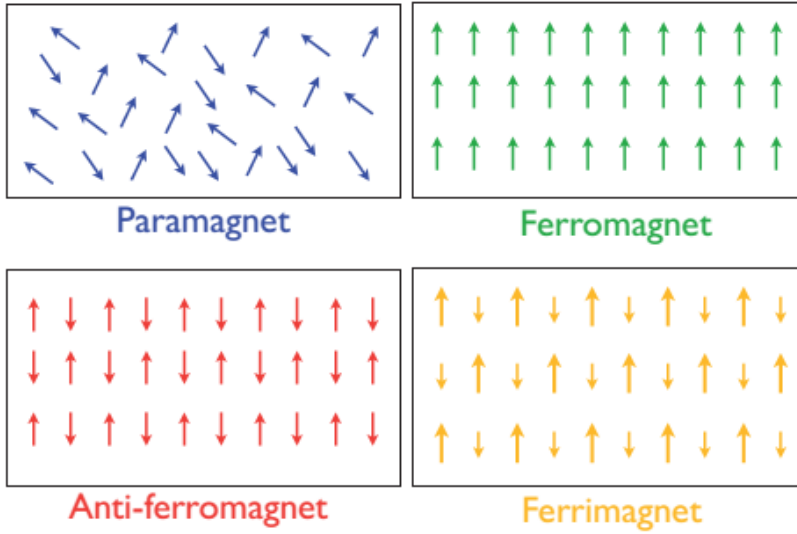
2 – المواد المنجذبة للمجال المغناطيسي (Paramagnetic Materials)

هذا النوع من المواد يمتلك ميل إيجابي للمجال المغناطيسي الخارجي، حيث تنجذب إلى المغناطيس المقرب منها، ولا تحتفظ هذه المواد بالمجال المغناطيسي المتولد بعد زوال المجال الخارجي. خاصية البارامغناطيسية تنشأ من وجود بعض الألكترونات المنفردة غير المزدوجة التي تتأثر بالمجال الخارجي فتغير اتجاه عزمها المغناطيسي ليتوحد مع اتجاه المجال الخارجي. من هذه المواد: المغنيسيوم، الموليبدنوم، الليثيوم، والتانتالوم.

3 – المواد التي تمتلك قابلية لتوليد المجال المغناطيسي: (Ferromagnetic)

مواد من هذا النوع تمتلك أزواج ألكتروناتها عزوم مغناطيسية دائمة حتى بغياب المجال المغناطيسي الخارجي، وأن العزوم المغناطيسية الدائمة في المواد الفيرومغناطيسية تنشأ من الدوران المغزلي للألكترونات المتواجدة بصورة منفردة وليست الثنائية التي تلغي تأثير بعضها البعض. المواد الفيرومغناطيسية تمتلك ميل إيجابي للمجال المغناطيسي الخارجي المؤثر عليها وتنجذب إليه بقوة، لهذه المواد القابلية على الإحتفاظ بالمجال المغناطيسي المتولد فيها بعد زوال المجال الخارجي ومن هذه المواد الحديد، الكوبالت، وسبائك هذه المواد.

4 – توجد أكاسيد لها خاصية توليد مجال مغناطيسي دائم قابل للتغيير تعرف بإسم (Ferromagnetic)، مثل أكاسيد السيراميك والفرايت.



شكل (1 - 9) يوضح تصنيف المواد حسب العزوم المغناطيسية لأزواج الإلكترونات وإتجاهاتها

خامسا - الخواص الكيميائية: Chemical Properties

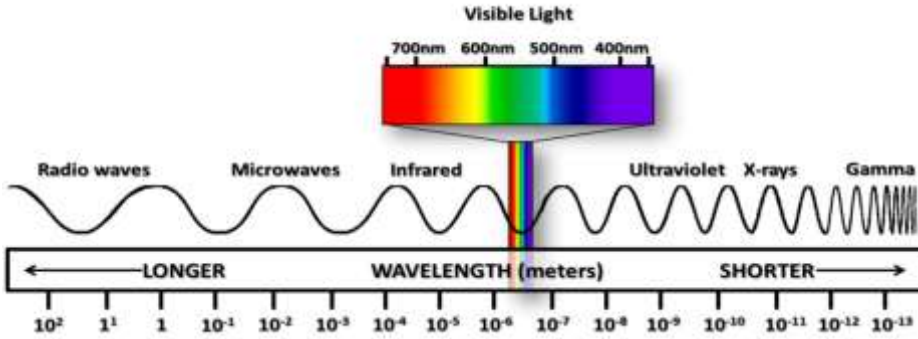
هذه الخواص تصف كيفية وقابلية المواد على التفاعل مع بعضها. التفاعل الكيميائي يتضمن تحول عينات من مواد مختلفة إلى مادة أخرى ومن الصعوبة ارجاع المواد الداخلة في التفاعل إلى حالتها الأصلية، المادة الممكن حرقها تسمى مادة مشتعلة، فلو احترق الخشب لا يمكن استعادته.

من هذه الخواص: الكتلة الذرية، الوزن الجزيئي، العدد الذري، نوع الأصرة الكيميائية، التركيب الكيميائي، الحموضة، القاعدية، إلخ.....

سادسا - الخواص الضوئية: (Optical Properties)

الخاصية الضوئية للمادة هو كيفية تصرفها عند تعرضها للأشعة الكهرومغناطيسية في المدى الضوئي المرئي. الطيف الكهرومغناطيسية الأشعاعي وكما موضح بالشكل (1-10) واسع ويتراوح من أشعة γ بطول موجي $10^{-12}m$ مرورا بالأشعة السينية ثم فوق البنفسجية بعدها المرئية وتحت الحمراء، وفي النهاية الموجات الراديوية بطول موجي

10^5m . الضوء المرئي هو نوع من الموجات الكهرومغناطيسية (Electromagnetic Waves) بأطوال موجية تتراوح بين 0.39 إلى 0.77 مايكرومتر. هذه الموجات الضوئية عبارة عن جسيمات متناهية في الصغر تعرف بإسم الفوتونات، والمواد تصنف حسب إستجابتها للضوء إلى ثلاثة أصناف هي:



شكل (1 - 10) الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic Spectrum

- 1 – المواد الشفافة: Transparent Materials
مواد ينفذ الضوء من خلالها مع امتصاص وانعكاس بسيط جدا
- 2 – المواد الضبابية: Translucent Materials
مواد نفاذ الضوء خلالها جزئي، حيث تمتلك القدرة على امتصاص جزء من الفوتونات وتشتيت جزء بسيط آخر.
- 3 – المواد المعتمة: Opaque Materials
هذه المواد تمتص جميع الفوتونات الضوئية الساقطة عليها.

سابعا – الخواص الحرارية: (Thermal Properties):

سلوك المادة المتعلق بتغير درجة الحرارة هو الذي يعبر عنه بالخواص الحرارية للمادة، وهي تلعب دورا مهما في اختيار المواد خاصة إذا كانت ظروف العمل تحت تأثير درجات الحرارة العالية والمتغيرة، ومن أهم الخواص الحرارية ما يلي:

- 1 – الحرارة النوعية: (Specific heat -c)

هي السعة الحرارية لوحدة الكتل من المادة، وهي تمثل مقدار الطاقة الحرارية الممتصة من قبل وحدة الكتل من المادة لرفع درجة حرارتها درجة مئوية واحدة.

السعة الحرارية للمادة (C) تمثل بالعلاقة:
 $C = mc$ هي كتلة المادة و c الحرارة النوعية.

2 – التناقلية (الموصلية) الحرارية: Thermal Conductivity
 تمثل هذه الخاصية مقدار الحرارة المنتقلة في وحدة الزمن خلال وحدة المساحة العمودية على إتجاه سريان الحرارة.

3 – التمدد الحراري: Thermal Expansion
 جميع المواد الصلبة (عدا الثلج) تتمدد عند التسخين وتقلص عند التبريد. التمدد يمكن أن يكون بإتجاه واحد خطي، أو بإتجاهين فيسمى محيطي أو بثلاثة إتجاهات ويسمى حجمي

أسئلة الفصل الأول:

- 1 – ميز بين التغير الفيزيائي والتغير الكيميائي
- 2 – ما هو الفرق بين المخلوط والمحلول؟ ثم اذكر أنواع المحاليل.
- 3 – ما هي العوامل المؤثرة في اختيار المادة الهندسية المناسبة لتصنيع منتج معين؟
- 4 – عرف الآتي:
 المطروقية، المطولية، الإجهاد، الإنفعال، الانصهار، الميوعة، الكثافة و Corrosion و Abrasion.
- 5 - ميز بين المركبات والخلائط.
- 6 – ماذا نعني بخواص المواد؟ أذكر تصنيف خواص المواد مع توضيح مبسط لكل صنف.
- 7 – كيف يمكنك تصنيف المواد في الطبيعة؟
- 8 – ما هو المقصود بالمواد الهندسية؟ ثم تكلم عن أنواعها الرئيسية.
- 9 – أذكر كل ما تعرفه حول العناصر.
- 10 – لماذا تكون المادة في الحالة الغازية أو السائلة أو الصلبة؟

- 11 – أذكر أهم الخواص الكهربائية المؤثرة في اختيار المادة الهندسية.
- 12 – صنف المواد الهندسية حسب إستجابتها للمغناطيس مع توضيح مختصر لكل منها.
- 13 – ماهي الخواص الضوئية؟ وضح الأختلاف بهذه الخواص للمواد المختلفة.