بسم الله الرحمن الرحيم

دراسة المواد المركبة من حيث أنواعها ، إستخداماتها ، مميزاتها ومحدداتها مقارنة بالمواد الكلاسيكية

إعداد الطلاب:

خالد حسن خالد علي

المنذر صالح عبد الماجد

هشام الفاضل محمد كرار

مشروع تخرج كمطلوب تكميلي لنيل درجة البكالريوس مرتبة الشرف في الهندسة الميكانيكية

أستاذ مساعد/ أسامة محمد الطرضي الطاهر

osama Mohammed Elmardi

قسم الهندسة الميكانيكية

كلية الهندسة والتقنية

جامعة وادي النيل

يوليو 2016م

بسم الله الرحمن الرحيم

دراسة المواد المركبة من حيث أنواعها ، إستخداماتها ، مميزاتها ومحدداتها مقارنة بالمواد الكلاسيكية

إعداد الطلاب:

خالد حسن خالد علي 102016

المنذر صالح عبد الماجد 122502

هشام الفاضل محمد كرار 102049

مشروع تخرج كمطلوب تكميلي لنيل درجة البكلاريوس مرتبة الشرف في الهندسة الميكانيكية

قسم الهندسة الميكانيكية

كلية الهندسة والتقنية

جامعة وادي النيل

يوليو 2016م

الآية

قال تعالي :

(وَلا تَقُولَنَّ لِشَيْءٍ إِنِّي فَاعِلٌ ذَلِكَ غَدًا (23) إِلاَّ أَن يَشَاء اللَّهُ وَاذْكُر رَّبَّكَ إِذَا نَسِيتَ وَقُلْ

عَسَى أَن يَهْدِيَنِ رَبِّي لأَقْرَبَ مِنْ هَذَا رَشَدًا (24))

سورة الكهف الآيات (23-24)

إهداء

إلى من ظلت في الحنايا خالدة ابد الدهر وعطرت صفحات الماضي
بأنغام الحياة فلا المساحات ولا الأقلام
مساحة شكرها توفيك النصاب

أمي .....

في فمي نعمٌ أرددها مدى الدهر وفي روحي مناجاة ورمز للوفاء الأبدي
إلى ذلك النيل الذي اجتاح كل السدود لكي يصب داخلي
إلى رمز الفداء والتضحية الذي علمني معنى الثبات في أصعب المواقف
ومعنى الصبر على الشدائد

أبي .....

إلى رفقاء الدرب والقلم في ساحات العلم والمعرفة

الزملاء والزميلات والأصدقاء .....

إلى كل من علمني حرفاً
أزرف إليكم جميعاً أسمى آيات التقدير والاحترام
لما ظللتم تقدموه وانتم تبحرون بسفينة التعليم
ودمتم سالمين زخراً لخدمة الوطن

أساتذتي الأجلاء....

الباحثون .....

شكر وعرفان

اولاً الشكر أجزله لله سبحانه وتعالي
ومن بعده نزجي أسمي آيات الشكر والأمنيات

للأستاذ الجليل : أسامة محمد المرضي

الذي أشرف علي هذا المشروع توجيهاً وارشاداً وتصحيحاً

وكان له القدح المعلي في أن يري هذا المشروع النور

كما نخص بالشكر

تلك الأنوار التي أضاءت لنا الطريق

... أساتذتنا الأجلاء بقسم الهندسة الميكانيكية ...

ونتقدم بوافر الشكر والتقدير والأمنيات

الباحثون .....

فهرس المحتويات

الترقيم	الموضوع	الصفحة
	الآية	I
	الإهداء	II
	الشكر والعرفان	III
	فهرس المحتويات	IV
	الملخص	VII
	الفصل الأول : المقدمة (Introduction)	
1.1	مقدمة عامة	1
1.2	نشأة تاريخية	2
1.3	أهمية البحث	3
	الفصل الثاني: المواد الهندسية (Engineering materials)	
2.1	أهمية المواد	4
2.2	المواد الكلاسيكية أو المعدنية	5
2.2.1	مفهوم المعادن	5
2.2.2	خواص المعادن	5
2.2.3	أنواع المعادن	13
	الفصل الثالث: المواد المركبة (Composite Materials)	
3.1	المقدمة	20
3.2	خواص المواد المركبة	22
3.3	مميزات المواد المركبة	24
3.4	مبادئ التقوية	24
3.5	أقسام المواد المركبة	29
3.5.1	المواد المركبة المقواة بالألياف	29
3.5.2	المواد المركبة الحيوية (Biocomposites)	43

3.5.3	المواد المركبة القابلة لإعادة الإستخدام	45
الفصل الرابع: دراسة حالات للمواد المركبة		
4.1	دراسة السلوك الحراري لمادة مركبة مكونة من راتنج البولي أستر غير المشبع المقوي بألياف النخيل وألياف الزجاج	47
4.2	دراسة لدراجات مصنوعة من مواد مختلفة	51
الفصل الخامس: المناقشة (Discussion)		
	المناقشة	57
الفصل السادس : الخاتمة والتوصيات		
6.1	الخاتمة	61
6.2	التوصيات	61
	المراجع	62

فهرس الأشكال والرسومات

2.1	الإجهادات المباشرة وإجهاد القص	9
2.2	منحني نموذجي للإجهاد ضد الإنفعال لمادة مطيلية	9
3.1	العلاقة بين مقاومة الشد و طول الليف	25
3.2	العلاقة بين مقاومة الشد و إتجاه الألياف بالنسبة للإجهاد المسلط	26
3.3	تسليط إجهاد شد علي مادة مركبة	27
3.4	آلية التقوية بالجسيمات	29
3.5	نسب المواد المركبة إلي المواد الأخري في بعض الطائرات الحربية	32
3.6	نسب المواد المركبة إلي المواد الأخري في طائرة بوينج 787	32
3.7	أسطوانات الغاز المصنوعة من المواد المركبة	33
3.8	إستخدام المواد المركبة في بناء المراكب	34
3.9	إستخدام المواد المركبة في بناء ريش توربينات الرياح	34
3.10	سيارة تستخدم فيها لدائن مقواة بألياف طبيعية	39

4.1	القالب المستخدم في تصنيع نماذج إختبار الموصلية الحرارية	47
4.2	جهاز قياس الموصلية الحرارية	49
4.3	حساب قيمة التدرج الحراري	50
5.1	الموصلية الحرارية لراتنج البولي إستر غير المشبع	58
5.2	الموصلية الحرارية لراتنج البولي إستر غير المشبع المقوي بألياف النخيل	58
5.3	الموصلية الحرارية لراتنج البولي إستر غير المشبع المقوي بألياف الزجاج	59
5.4	الموصلية الحرارية لراتنج البولي إستر غير المشبع المقوي بألياف النخيل و الزجاج	59

فهرس المخططات

4.1	مخطط الصلابة	52
4.2	مخطط القوة	52
4.3	مخطط الكثافة	53
4.4	مخطط نسبة الكثافة إلي الصلابة	54
4.5	مخطط نسبة الكثافة إلي القوة	55

فهرس الجداول

2.1	القيم المثالية لمعامل القص لبعض المعادن	12
2.2	الخصائص الميكانيكية لبعض المواد مع توضيح نسبة بواسون	13
2.3	الخصائص الميكانيكية لبعض المواد الهندسية	19
3.1	خواص الألياف المستخدمة في تقوية المواد	26
3.2	خصائص ألياف الكربون	30
3.3	النسبة المئوية لمكونات ألياف الزجاج الكيميائية	38
3.4	متوسط خواص الألياف الطبيعية مقارنة بألياف المواد المركبة المتقدمة	38
3.5	مقارنة بين خواص ألياف الزجاج وألياف الكتان	43

الملخص :

بدأ انتشار المواد المركبة في الستينات من القرن الماضي . وهي تتألف من إثنين من المواد المختلفة جنبا إلى جنب على المقياس العياني . المادة الأولى هي في شكل ألياف عالية القوة (مثل ألياف الكربون و الألياف الزجاجية) . و تتكون المادة الثانية من البلاستيك أو البوليمرات التي تعطي المنتج شكله النهائي ، إنتشرت المواد المركبة إنتشارا واسعا خلال فترة قصيرة من الزمن بسبب إرتفاع خواصها الميكانيكية و خفة وزنها مقارنة بالمواد الكلاسيكية أو المعدنية . وقد استخدمت في كثير من التطبيقات بالرغم من أن أول إستخدام لها كان في تطبيقات الفضاء حيث خفة الوزن تلعب دورا هاما في اختيار المواد المناسبة . من خلال البحث وجد أن الألياف المستخدمة في تقوية مادة الأساس تعمل علي زيادة الموصلية الحرارية للمادة المركبة وهذه تعتبر خاصية هامة جدا في سرعة إنتقال الحرارة من المادة المركبة وبالتالي لا يكون هنالك تخزين أو تركيز للحرارة . أيضا وجد أن المواد المركبة وبخواصها الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية يمكن تفضيلها علي المواد الكلاسيكية من وجهات نظر عديدة من بينها خفة وزنها ومتانتها وجساءتها وإمكانية حياكتها وترتيبها في شكل طبقات رقيقة مغمورة في مادة أساس حتي يمكن الحصول من خلالها علي خواص هامة جدا من بينها قدرتها علي تحمل أحمال عالية كما هو واضح في كثير من التطبيقات الهندسية مثل سيارات السباق والطائرات من غير طيار وغيرها .

الفصل الأول

المقدمة (Introduction)

الفصل الأول

المقدمة (Introduction)

1.1 مقدمة عامة :

تعد المعادن من أكثر العناصر أهمية ووفرة في الطبيعة إذ أن وجودها في حياة الإنسان له تأثير واضح في بناء حضارته علي مر العصور وتحقيق مطالبه الأولية ، إن إمكانياتها المتعددة أتاحت للإنسان تحقيق الكثير من الإنجازات وإستقلالها و هي حجر الأساس للتقدم العلمي والتكنولوجي والصناعي والفني .

وبتقدم الزمن توالت الإكتشافات وإختراعات الإنسان التي نتجت عن فهمه وإدراكه لخصائص المعادن المختلفة لتطويعها بما يتلائم مع كافة إحتياجاته لينقله من العصر الحجري إلي العصر الحجري الحديث الذي تم إكتشاف أول المعادن فيه وهو الذهب ثم إلي عصر النحاس والعصر البرونزي ثم إنتقل للعصر الحديدي وعصر الفحم والبترول ومن ثم اليورانيوم .

كل هذا الإهتمام أدي إلي إكتشاف ما يسمي بالمواد المركبة التي هي محور الدراسة في هذا البحث ، وقد عرفت تقنية تصنيع المواد المركبة بأبسط صورها منذ قرون عدة حيث إستخدمها البابليون في بناء بيوتهم عن طريق خلط نشارة الخشب بمادة الطين لتقويته . وتتكون المادة المركبة من دمج مادتين أو أكثر وتشمل الخلائط (blends) والبلاستيك المقوي (reinforced plastic) مختلفتي الخواص الميكانيكية والفيزيائية .

إن عملية الدمج هذه تؤدي للحصول على مادة جديدة ذات خواص هندسية وفيزيائية تختلف عن خواص المواد الداخلة في تركيبها . يعتمد الإستخدام العام للمادة المركبة بشكل كبير على الخواص الميكانيكية والفيزيائية لهذه المواد لذلك فإن دراسة هذه الخواص تحت تأثير القوى والأحمال في ظروف مختلفة يكتسب أهمية كبيرة لمعرفة مدى ملائمة هذه الخواص لمكان عمل هذه المواد ، ويمكن تعريف المواد المركبة بأنها المواد التي تتكون من خليط من مواد تشترك فيما بينها لإعطاء خواص مطلوبة في المادة علما بأنه لا يوجد تفاعل كيميائي بين هذا الخليط وكل مادة تحتفظ بخواصها الأساسية التي كانت تملكها منفردة .
يوجد في الطبيعة الكثير من الأمثلة على المواد المركبة منها ألياف السليلوز مع مادة الخشب . أما في الصناعة فقد إشتهرت في مجال هندسة الطيران والفضاء بسبب خفة وزنها حيث تلعب خفة الوزن أهمية قصوي في إنشاءات الطائرات والمركبات الفضائية وتتألف هذه المواد من ألياف (fibers) ذات مقاومة (strength) كبيرة وجساءة (stiffness) مرتفعة مثل ألياف الزجاج وألياف الكربون وألياف الكفلر مغمورة في مادة لدنة (plastic) أو بوليمر (polymer) أو راتنج (resin) خفيفة الوزن مثل البوليستر (polyester)

والأيبوكسي (epoxy) أو المادة الرابطة (matrix) بين الألياف ، وتقوم بنقل إجهادات القص (shear stress) بين الألياف وتأمين الحماية لها من أي مادة ضارة خارجية .

ومن أهم المزايا التي تتصف بها المواد المركبة مرونة التصميم إذ يستطيع المهندس أن يصممها بحيث يصنع الألياف في إتجاه الأحمال مما يؤدي إلي إستخدام أمثل للمادة ويؤدي بالتالي إلي إنخفاض أكبر في وزن الإنشاء النهائي . بقي أن يشار إلي أن العيب الأكبر للمواد المركبة من الناحية الهندسية هو ضعف قدرتها علي تحمل الأحمال الصدمية الديناميكية حيث يتسبب ذلك غالبا في الإنفصال الطبقي للمادة.

1.2 نشأة تاريخية :

تشكل عملية استخراج المعادن عصب التطور البشري منذ أقدم العصور ، فبنظرة إلى الحضارات الغابرة نلاحظ أن المعادن هي السجل الحافل لمعرفة تاريخ البشرية على سطح الأرض منذ أقدم العصور ، حيث أن المعادن هي أساس الموارد التي تتكون منها صخور القشرة الأرضية ، بصورة طبيعية أولية ، ونظراً لأهمية المعادن وما لها من دور فعال على تطور حياة الشعوب ، إرتبط تاريخ الإنسان بأسماء المعادن التي تم اكتشافها في تلك العصور.

ويرجع استغلال الثروات المعدنية إلى آلاف من السنين التي مضت ، ومنذ ذلك التاريخ والمعادن تسهم بنصيب وافر في بناء حضارة الإنسان ، فبحلول العصر الحجري إستخدم الإنسان موارد أولية غير فلزية في صنع ما إحتاج إليه من أسلحة وأدوات وأغراض أخرى ، وإستغلال الإنسان للطين بدرجة كبيرة في صناعة الفخار ، ثم في صناعة الطوب ، حيث تعتبر صناعة الطوب أول صناعة قام بها الإنسان ، فلقد استخدمت ألواح الطين والقار والطوب بكميات كبيرة عند البابليين وقدماء المصريين في بناء منشآتهم ومدنهم ، ومن ثم استخدموا الحجارة في البناء ، وأكبر دليل على ذلك بنائهم للأهرامات منذ سنة 2925 قبل الميلاد وهو أكبر شاهد على اثبات هذه الصناعة المعدنية والمدنية الضخمة التي أقيمت حين ذاك . ومن ثم استخدمت على نطاق واسع ، وما يزال إستخدامها حتى الآن .

وقد أجمع المؤرخون على أن الظروف في ذلك الوقت ساعدت على اكتشاف أول فلز منذ 3000 سنة قبل الميلاد في الحضارة المصرية القديمة ، حيث تم إكتشاف الذهب ، فكان ذلك بداية لانفتاح عصر المعادن ، عندما استخدم النحاس في استخلاص اللون الأخضر لاستخدامه في طلاء الذهب . إن قدماء المصريين تمكنوا من التعرف على النحاس عن طريق خاماته الأولية وهي الأزوريت (Azurite)، والكريزوكولا (Chrysocolla) ، والملاخيت (Malachite) وهي التي يطلق عليها معادن النحاس الأخضر والأزرق ، المستخدمة في أغراض الطلاء والزينة ، فمن النحاس صنعت الأسلحة والآلات وبعض الأدوات المتعددة الأغراض ، حيث يتميز النحاس عن غيره من المعادن الأخرى بخصائص ومميزات فريدة ، لذا عرف ذلك العصر الذي أكتشف فيه النحاس بالعصر النحاسي . وعند اكتشاف القصدير في الصين تمكن الصينيون

وقدماء المصريين من صهره مع النحاس لتحسين خواصه حيث نتج عنه سبائك البرونز ، لهذا يعتبر القصدير نقطة تحول عظيمة في تاريخ الأمم إذ أنه عرف ذلك العصر بالعصر البرونزي نسبة لسبائك البرونز ، ومن ثم تمكنوا من سبك عناصر معدنية أخرى مع النحاس كالفسفور أو النيكل أو الألومنيوم .... إلخ ، فسمي البرونز باسم المعدن المضاف إلى النحاس مهما كانت نسبة المعدن المضاف ضئيلة .

وقد أثبتت الأدوات البرونزية أنها أفضل من الأدوات النحاسية وأكثرها فعالية ، كما إن درجة انصهار البرونز أقل منها في النحاس ، وعندما إزدادت معرفة الإنسان بالمعادن والصخور وكيفية إستخراجها وإستغلالها ، إنتقل من العصر البرونزي إلى العصر الحديدي ، وكما أشارت الدراسات أنه في عام 1500 قبل الميلاد بدأ الإنسان يستخلص الحديد من الطبيعة مشيراً إلى بداية ظهور عصر جديد وهو العصر الحديدي .

فاكتشاف المعادن وخاصة الحديد كان له الفضل الأكبر في توسيع سلطة الإنسان على قوى الطبيعة ، فكانت المعادن وخاصةً النحاس والحديد يعملان على خدمة الإنسان ، فكلما توسع إنتاج النحاس إزداد انتاج الحديد والصلب . إضافةً إلى أن التطور في استخراج المعادن وكيفية إستعمالها عامل هام في رفع المستوى الاقتصادي والمعيشي ، إذ كلما تحسنت وسائل الإنتاج ارتفع مستوي الإنتاج نفسه ، وكلما إرتفع مستواه المعيشي إزداد إستهلاك الفرد والمجتمع لتلك المعادن ، وإزداد تنوع حاجاته للمعادن التي يستعملها.

وقد أصبحت المعادن اليوم من أكثر الموارد الأولية إستعمالا في شتى مجالات الحياة ، حيث أنها تدخل بطريقة أو بأخرى في خدمة الإنسان بإستخدامها في صناعة وبناء المنشأت ، ووسائل المواصلات ، أو صناعة العدد والأدوات المنزلية ، أو أغراض الزينة والتحف .

1.3 أهمية البحث:

يهدف هذا البحث إلي التوصل إلي نتائج نظرية لتحديد أفضل المواد الهندسية المستخدمة في عالمنا اليوم ، هذا بجانب مقارنة المواد الكلاسيكية أو التقليدية بالمواد المركبة ، بما أن المواد المركبة تم إستخدامها بصورة واسعة في كثير من التطبيقات الهندسية مثل سيارات السباق ، خزانات المياه ، الصناعات الفضائية من سفن فضائية ، طائرات و طائرات من دون طيار و غيرها . قد إستخدمت المواد المركبة في المباني و الإنشاءات الهندسية خلال هذة الألفية وسيزداد خلال الألفية القادمة نسبة لمميزاتها وما أثبتته في الحياة العملية من نجاح .

ستتم المقارنة بين المواد الكلاسيكية و المركبة من وجهة نظر خواصها الفيزيائية و الميكانيكية بالإضافة لعناصر أخري من بينها سهولة التصميم والتصنيع والصيانة و التكلفة الإقتصادية .

الفصل الثاني

المواد الهندسية (Engineering materials)

الفصل الثاني

المواد الهندسية (Engineering materials)

2.1 أهمية المواد : (Importance of materials):

كانت وما تزال تلعب المواد دورا مهما في الأنظمة الإجتماعية والأقتصادية منذ العصور الأولي لوجود الإنسان علي هذه الأرض ، حيث بدء الإنسان بإستخدام المواد بشكلها الأولي ثم طورها مع الوقت لتناسب حاجته وقد شهد هذا القرن خصوصا في العقدين الآخرين منه تتابع إكتشافات المواد وتطوراتها حتي غدا هذا العصر ليس حكراً علي مواد بعينها . ومن أهم العوامل التي جعلت عجلة التطور تتسارع في علوم المواد هو ظهور أجيال من المجاهر الإلكترونية فائقة القدرة علي التكبير والتبيين جعلت تمييز ودراسة ذرات المواد ممكنا ، وبذلك أصبح ممكنا للباحثين التدخل علي المستوي الذري والجزيئي للمادة لتغيير خواصها أو تصنيع مواد جديدة منها .

إن أحد خصائص المواد بشكل عام أنها لا تكون بذاتها منتجات نهائية ولكنها أساس لكل منتج نهائي ، وخصائص المواد عامل حاسم في إختيار المواد المناسبة وبذلك فهي تؤثر علي إقتصاديات المنتجات النهائية أو الخدمية مثل الطاقة والمنتجات البتروكيميائية وغيرها ، وبشكل عام فإن علوم وهندسة المواد تتمحور حول أربعة محاور أساسية هي :

1. الخواص (properties) : وهي التي تجعل المواد تتميز عن بعضها في التطبيقات المختلفة مثل الكثافة أو التوصيل الحراري أو درجة الإنصهار أو قوة الشد أو الشفافية أو التوصيل الكهربي وغيرها من الخواص الفيزيائية .
2. الأداء(performance) ، وهو تعبير عن سلوك المادة في الظروف الحقيقية للتطبيق مثل إرتفاع درجة الحرارة أو قوة الضغط أو النشاط الكيميائي .
3. البنية والتركيب (structure and composition) : وهو وصف كمي وكيفي للتركيب الذري أو الجزيئي للمادة مثل عدد الذرات وشكل بنائها وإرتباط الذرات المكونة للمادة وحساب الأبعاد للذرات والفراغات البينية .
4. التركيب والمعالجة (synthesis and processing) : وهي الطرق المستخدمة للإنتاج و التركيب حسب الوصفة المطلوبة لتحقيق الخواص المحددة .

2.2 المواد الكلاسيكية أو المعدنية : (Conventional materials) :

2.2.1 مفهوم المعادن :

المعادن هي عبارة عن عناصر أو مركبات كيميائية ثابتة تتكون في الطبيعة وهي مواد غير عضوية ، ولها شكل بلوري معين . وكذلك لها تركيب كيميائي وصفات فيزيائية ثابتة . فعرف المعدن بأنه " مادة صلبة متجانسة تكونت بفعل عوامل طبيعية غير عضوية ولها تركيب كيميائي محدود ونظام بلوري مميز) " وتعرف المعادن بأنها تلك العناصر والمركبات الكيميائية الموجودة أصلاً في الطبيعة (كالذهب والفضة والنحاس والقصدير والحديد....) والتي لكلٍ منها مواصفات خاصة بها (الفيزيائية والكيميائية والحرارية والميكانيكية ....) ويمكن تحسين خواصها بخلط مركبين أو أكثر مع بعضهما البعض في صورة سبائكية.

2.2.2 خواص المعادن :

للمعادن الكثير من الخصائص المختلفة والتى عن طريقها يمكننا التمييز بين معدن و آخر وهى:

I. خواص طبيعية :

و نعنى بالخواص الطبيعية التركيب البلوري. حيث أن كل معدن له تركيب بلوري معين من حيث شكل و حجم البلورات و كذلك ترتيب أو رص البلورات في الشبكة البلورية للمعدن.

II. خواص فيزيائية :

جميع الصفات التي تتصف بها المعادن شاملة الكثافة ، ودرجة الانصهار ، والميوعة ، والتوصيل الحراري والكهربائي ، والمغنطة ، والصدأ ، واللون ، والإنعكاس والملمس ، والرائحة... إلخ.

III. خواص ميكانيكية :

مثل صلابة المعدن، التشقق، قابلية السحب و الطرق...إلخ.

IV. خواص كيميائية :

مثل قابليته للتفاعل مع العناصر المختلفة، ثقله النوعي.

V. خواص خاصة :

حيث أن كل معدن له عدة خواص تميزه عن غيره من المعادن .

1. الخواص الفيزيائية :

للخواص الفيزيائية أهمية كبيرة في إختيار المواد للتطبيقات الصناعية المختلفة وخصوصا صناعة مكونات الماكينات والعدد وأجسام المركبات الطائرة والسيارات والمنشاءات الهندسية والمباني وغيرها ويمكن تلخيص أهم هذه الخواص فيما يلي :

i. الكثافة (Specific Gravity) :

تعد الكثافة من الصفات المهمة والمميزة للمعدن ، حيث أن كثافة المعدن تختلف من معدن إلى آخر ، ولا يتم تحديد الثقل النوعي للمعدن إلا إذا تم التأكد من نقاوة المعدن وخلوه من الشوائب ، ويتم حساب الكثافة لمعدن ما إلى كثافة الماء.

ii. درجة الإنصهار (Melting point) :

وهي من الصفات الهامة التي يتم عن طريقها التمييز بين المعادن (إن درجة الانصهار هي الدرجة التي يتم عندها تحويل المادة الصلبة إلى السائلة بسهولة تسمح بدمج معدنين أو أكثر لتكوين السبائك وتشكيلها وصبها.

iii. الميوعة (fluidity) :

هي قابلية المعدن للسيولة والانسياب عند درجة الحرارة العالية ، والتي تساعد بدورها على ملء قوالب السباكة تماماً بالمعدن السائل ، إذ أن ذلك يعمل على إظهار كل ما في القالب من تفاصيل عقب عملية التجمد.

iv. الملمس (Touch) :

يتم تحديد نوعية المعدن عن طريق ملمسه ، حيث ذكر إن ملمس المعدن يختلف من معدن إلى آخر تبعاً لتركيبة كل معدن ، فهناك معادن تتميز بأسطحها الناعمة المصقولة كالنحاس والبرونز ، والألومنيوم ، وهناك معادن أخرى لها ملمس خشن لكبر حجم ذراتها كالرصاص .

v. اللون (colour) :

اللون من الصفات الحسية الهامة والظاهرة التي يمكن ملاحظتها في المعادن سريعاً بمجرد النظر إليها وقد يشترك أكثر من معدن في اللون الواحد إلا إن درجة نصوع أو شدة لون المعدن تختلف منه إلى آخر ، إن اللون يساعد على التعرف على تأثير درجة الحرارة على المعادن – كذلك فإن الأحماض يمكنها أيضاً أن تكسب المعادن ألواناً متعددة تختلف درجة إنصهار كل معدن عن الآخر بحسب نوع المعدن.

vi. إنعكاس الضوء (Light reflection) :

إن ظاهرة انعكاس الضوء من الصفات الهامة التي عن طريقها يتم التفريق بين المعادن المختلفة والمتشابهة في اللون الواحد ، وإن ذلك الانعكاس يتوقف على نوع وطبيعة المعدن ونسبة الضوء الساقط عليه ، ودرجة امتصاص المعدن له ، كما تعتبر هذه الصفة من الصفات التي تلفت الإنتباه للمعادن .

vii. الصدأ (Rust) :

أجمع الباحثون على إن الصدأ يتكون عند تعرض المعادن للعوامل الجوية المختلفة ، وذلك نتيجة تحلل الطبقات الخارجية للمعدن حتى تبدو بلون مختلف بعض الشيء عن لونها الطبيعي ، تشترك جميع المعادن فيما عدا المعادن الثمينة كالذهب والفضة في خاصية واحدة وهي قابليتها للصدأ بدرجة أكبر من قابلية

النحاس كما أن بعض المعادن كالحد يد والصلب والزنك والألومنيوم والبرونز تتأكسد بسرعة وتغطي سطحها طبقة من الصدأ عند تعرضها للعوامل الجوية وأن طبقة الصدأ في البرونز تتكون نتيجة تكون طبقة من أكسيد النحاسوز على سطح المعدن وفيما يلي ذكر المعادن على حسب مقاومتها للصدأ والتآكل : البلاتين الذهب الفضة النحاس الرصاص الألومنيوم القصدير الزنك الحديد. **2. الخواص الميكانيكية :**

عرف معجم مصطلحات تشكيل المعادن الخواص الميكانيكية بأنها من الخواص الهندسية للمواد ، وهي الخواص التي تتعلق بسلوك المادة عند تعريضها للأحمال المؤثرة ، كذلك يمكن القول أن الخواص الميكانيكية هي تغيرات ناتجة عن الانفعالات والاجهادات المؤثرة على المعادن سواءً أثناء التشغيل أو التشكيل ، وتعتبر الخواص الميكانيكية من أهم الخواص الخاصة بالمعادن ، نظراً لان هذه الخواص تعطي صورة تكاد تكون شاملة عن المعدن ومدى إمكانية تشكيله في الظروف المختلفة أثناء التشكيل ، وتتمثل أهم الخواص الميكانيكية في الإجهاد والانفعال والمرونة واللدونة والمقاومة والصلادة والصلابة وقابلية السحب والطرق... إلخ.

وفيما يلي يتم التعرض لذكر أهم الصفات الميكانيكية والتي ما يهمنا منها في مجال البحث الحالي وهي:

i. **المرونة (Elasticity)** :- هي قابلية المادة علي مقاومة التشوه الحادث فيها ، أو هي قدرة المادة علي إستعادة وضعها الأصلي بعد زوال القوة المؤثرة.

ii. **معامل المرونة (Modulus of elasticity) :**

وهي العلاقة بين الإجهاد الذي يعبر عن القوة الواقعة علي مساحة مقطع العينة والإنفعال الذي يعبر عن الإستطالة الناتجة عن قوة الشد .

iii. **اللدونة(Plasticity)**:- هي قابلية المادة بالأحتفاظ علي التشوه الحادث فيها أو هي عدم قدرة المادة علي إسترجاع وضعها الأصلي بعد زوال القوة المؤثرة .

iv. **الإجهاد (Stress)**:-

يعرف الإجهاد بأنه القوة المؤثرة عموديا على وحدة المساحات من الجسم. فإذا أثرت قوة F على مساحة A من الجسم فإن الإجهاد يعطى من العلاقة:

$$\text{Stress} = F/A \qquad (N/m^2)$$

و يختلف نوع الإجهاد الحادث باختلاف نوع القوة المؤثرة. ، حيث أن القوى المؤثرة على الجسم يمكن تقسيمها إلى:

1- قوة إنضغاط

2- قوة شد

3- قوة قص

إذا فإن الإجهاد الناتج يكون له ثلاثة أنواع :

1) **إجهاد شد (Tensile stress) :**

و في هذه الحالة يحدث تغير في طول الجسم لأن القوة المؤثرة تعمل على طول الجسم.

2) **إجهاد إنضغاط (Compressive stress) :**

و في هذه الحالة يحدث انكماش للجسم، كوضع جسم تحت قوتين متضادتين.

3) **إجهاد قص (Shear stress) :**

هذا النوع من الإجهاد يؤدى إلى تغير شكل الجسم، مثل التأثير بقوة مماسية على جسم من المطاط على شكل مكعب مثبت من قاعدته.

v. **الانفعال (Strain):-**

طالما هناك قوة مؤثرة على الجسم فإن هناك إجهاد و طالما يوجد الإجهاد فان هناك تغير في أبعاد الجسم و هو ما يسمى بالإنفعال.

فعند تأثير إجهاد على الجسم فإن مقدار التغير في أبعاد الجسم إلى البعد الأصلي أو التغير في شكل الجسم إلى الشكل الأصلي هو الإنفعال.

و لذلك يكون للإنفعال ثلاثة أنواع :

1) **الإنفعال المباشر (إنفعال الشد) :**

و هو مقدار التغير في طول الجسم إلى الطول الأصلي.

2) **الانفعال الحجمي :**

و هو مقدار التغير في حجم الجسم إلى الحجم الأصلي.

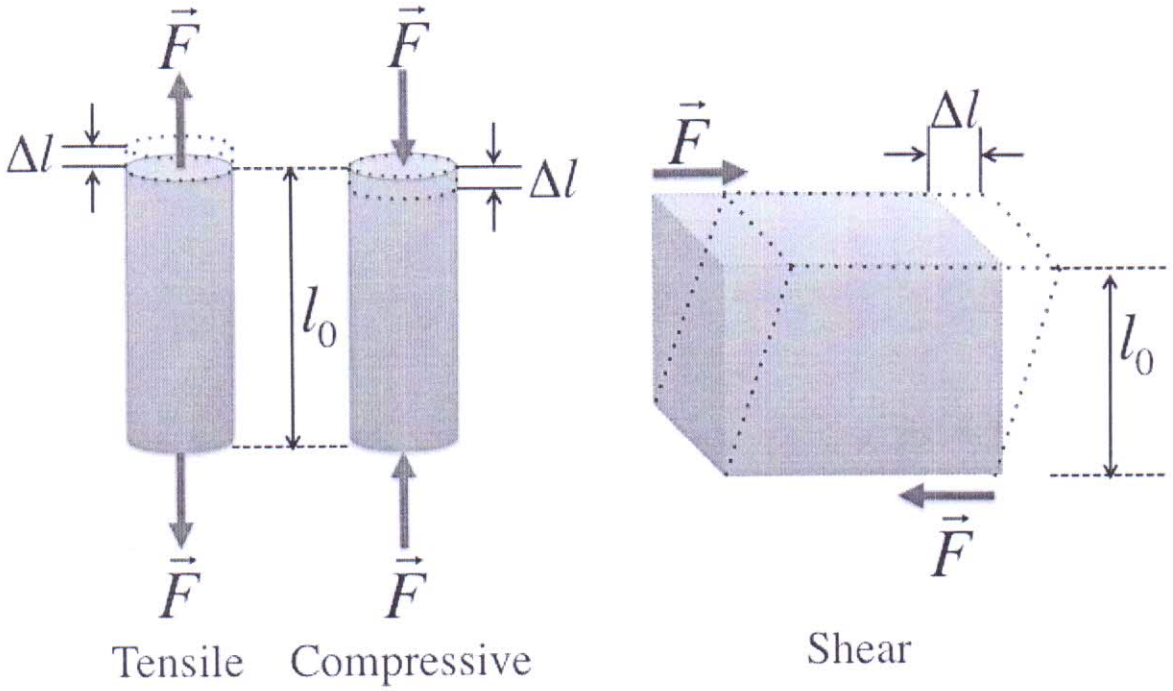
3) **الإنفعال القصي :**

و هو مقدار التغير في شكل الجسم إلى الشكل الأصلي (دائما عبارة عن زاوية) .

من الأنواع السابقة للانفعال نستنتج بأنه ليس له وحدة ، حيث أنه دائما نسبة بين كميتين من نفس النوع .

العلاقة بين الإجهاد الطولي و الإنفعال الطولي :

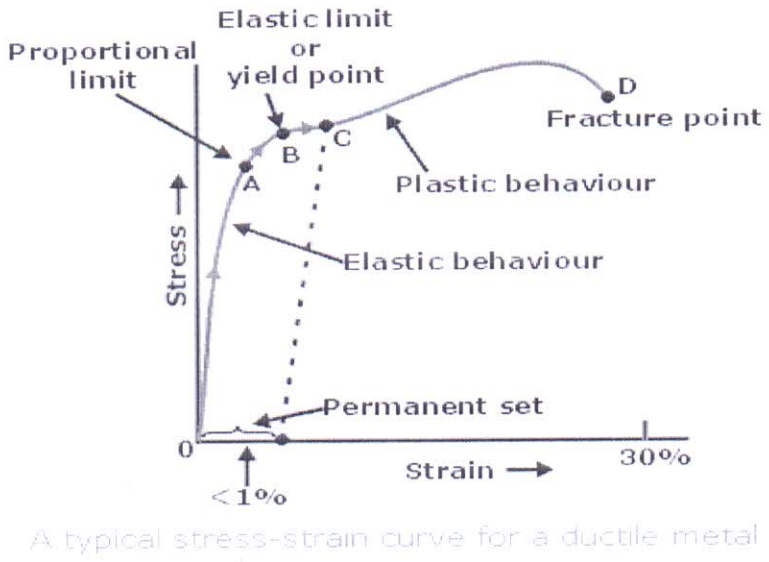
نفرض أن لدينا قضيب طوله L و مساحة مقطعه A مثبت راسيا من أحد طرفيه ومعلق في طرفه الأخر ثقل ذو قوة شد F كما هو موضح بالشكل (2.1) .



شكل (2.1) الإجهادات المباشرة وإجهاد القص

و نتيجة لتأثير هذه القوة سوف تحدث استطالة للقضيب و ليكن بالمقدار ΔL . و بذلك يكون الإجهاد المؤثر هو $(\frac{F}{A})$ و يكون الانفعال الناتج هو $(\frac{\Delta L}{L})$.

فإذا استبدلنا الثقل بأثقال أخرى تزداد تدريجيا و فى كل مرة نعين الانفعال الحادث، فإنه يمكننا دراسة العلاقة بين الإجهاد و الانفعال، و التى تشبه العلاقة الموضحة بالرسم في الشكل (2.2) .



شكل (2.2) منحني نموذجي للإجهاد ضد الإنفعال لمادة مطيلية

يسمى المنحنى الذي يربط بين الانفعال و الإجهاد بمنحنى المرونة . ويشتمل منحنى المرونة على المناطق التالية :

1. الخط المستقيم OA و الذي يوضح أن الإجهاد يتناسب تناسب طردي مع الانفعال و إذا أذيل الإجهاد المؤثر على هذا الجسم خلال تلك المنطقة، فان الجسم يستعيد وضعه الأصلي. و يكون الجسم في هذه المنطقة تام المرونة، كما تسمى النقطة A حد المرونة.

2. المنطقة AB و توضح هذه المنطقة أن الانفعال لم يعد يتناسب مع الإجهاد و يكون سلوك الجسم فى هذه المنطقة سلوك عشوائى أو فى حالة من عدم الاستقرار، كما تسمى النقطة B نقطة الخضوع .

3. إذا تخطت المادة النقطة B فإن أي زيادة صغيرة في قيمة الإجهاد تسبب زيادة كبيرة في قيمة الانفعال الحادث حتى تصل المادة إلى النقطة C و هي تمثل أقصى قيمة للإجهاد المطبق على الجسم.

4. بعد النقطة C نلاحظ استمرار انفعال الجسم دون حدوث أي زيادة في الإجهاد حتى تصل حالة الجسم إلى النقطة D التي يحدث عندها الاختناق و يؤدى ذلك إلى انفصال الجسم، وتسمي النقطة D نقطة الكسر .

قانون هوك (Hook's low) :

ينص قانون هوك على أن الإنفعال يتناسب تناسبا طرديا مع الإجهاد المسبب له حتي حدود حد التناسب .

الإجهاد α الإنفعال

الإجهاد = مقدار ثابت * الإنفعال

Stress = constant x Strain

$$\sigma = E * \in \qquad (2.1)$$

ويسمى ثابت التناسب بين الإجهاد و الانفعال بثابت المرونة أو معامل المرونة و له نفس وحدة الإجهاد. و لهذا الثابت ثلاث أنواع حسب كيفية الإجهاد المؤثر و هي :

1- معامل المرونة الطولي (معامل يونج) :

إذا أثرت قوة شد F على سلك مساحة مقطعه A و طوله L ، فإنها سوف تحدث إستطالة مقدارها ΔL ، و تأخذ العلاقة كما في الشكل (2.1) .

$$\sigma = E * \in$$

$$\frac{F}{A} = constant * \frac{\Delta L}{L} \qquad (2.2)$$

و يسمى الثابت في هذه الحالة معامل يونج (E) حيث أن:

$$E = \frac{\left(\frac{F}{A}\right)}{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)} \qquad (2.3)$$

2- معامل المرونة الحجمى :

إذا أثرت قوة ضغط P (إجهاد) على حجم V من جسم، فإن هذا الضغط سوف يعمل على تغير حجم الجسم (حدوث إنكماش) بالمقدار ΔV و يكون معامل المرونة الحجمى هو B .

$$B = - \frac{P}{(\Delta V / V)} \qquad (2.4)$$

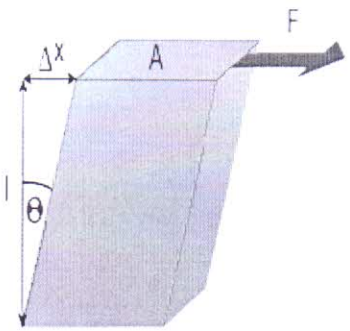
و الإشارة السالبة تعنى حدوث إنكماش في الجسم (نقص في الحجم). و يسمى مقلوب B بمعامل المرونة الحجمى و يرمز له بالرمز K . حيث أن:

$$K = \frac{1}{B} = - \frac{\Delta V / V}{P} \qquad (2.5)$$

3- معامل المرونة القصي (معامل المتانة) :

هو النسبة بين القوة المماسية F المؤثرة على وحدة المساحات A و زاوية القص θ. فإذا أثرت قوة مماسية على السطح العلوي لمكعب بحيث تسبب إزاحة صغيرة له دون أن تأثر على القاعدة (مثبت من القاعدة) .

و بذلك فان معامل المتانة يأخذ الشكل :



$$S = \frac{F / A}{\theta} \qquad (2.6)$$

حيث S هو معامل المرونة القصي .

القيم المثالية لمعامل القص لبعض المعادن :

جدول (2.1)

المادة	القيم المثالية لمعامل القص GPa (درجة حرارة الغرفة)
حديد	82
نحاس	47
تيتانيوم	41,4
زجاج	26,2
ألمونيوم	25,5
مغنيسيوم	17
مطاط	0,0003

vi.الصلادة (Hardness):

وهي قدرة المعدن على مقاومة الخدش والطرق والثني والتغلغل، وصلادة المعدن تختلف من معدن لآخر وفقاً لقوة الضغط المبذول عليه وقوة تماسك جزيئاته .

وفيما يلي عرض المعادن الأكثر صلادة إلى الأقل صلادة وهي : الحديد ، البلاتين ، النيكل ، النحاس ، الزنك ، الفضة ، الذهب ، الألومنيوم ، القصدير ، الرصاص.

vii.قابلية السحب (Ductility) :

هي قابلية المعدن للتمدد بإتجاه الشد أو التشكيل الثابت عند الطرق إذا ما زادت القوة المطبقة عن حد المرونة ودخلت في مجال اللدونة ، إن هذه الخاصية تسمح لبعض المعادن أن تسحب على أشكال خيوط رفيعة أو أسلاك دون أن تقطع ، وتتم عملية سحب المعادن على البارد ، أما قابلية المعادن على السحب في درجات الحرارة العالية فترتيبها كالتالي : الذهب ، البلاتين ، الفضة ، الحديد ، النحاس ، الألومنيوم ، النيكل ، الزنك القصدير ، الرصاص.

viii.قابلية الطرق (Malleability) :

تعتبر صفة الطروقية من أهم الصفات التي تميز المعادن . ويقصد بها قابلية المعدن للتشكيل والإنحناء والتمدد في جميع الإتجاهات عند طرقة دون أن ينكسر ، أو يثقب ، أو يتقصف ، وبعض المعادن لها قدرة عالية على التمدد ، وحين اكتشفت بعض المعادن أمثال الزنك والزرنيخ ... إلخ ، في العصور الوسطي لم

تصنف في بدايتها كمعادن لصعوبة طرقها " حيث كانت قابلية المعدن للتطريق هي الدليل الأساسي لاعتباره معدناً ، وفي عام (1763 م) أستبعدت كل المعادن على إعتبار أن هذه المعادن هي فقط التي ينطبق عليها التعريف المناسب للمعدن وهو جسم صلد لامع يمكن الطرق فوق سطحه ويمكن ترتيب المعادن على حسب قابليتها للطرق كالتالي : الذهب ، الفضة ، الرصاص ، النحاس ، الألومنيوم ، القصدير ، البلاتين ، الزنك ، الحديد ، النيكل .

ix.مقاومة الشد (Resistance to tenacity) :

وهي قدرة المادة علي تحمل الشد مع تزايد القوة الواقعة عليه ، ويتم إختبار المادة بعد قطعها بأطوال مناسبة ثم شدها من الطرفين بجهاز الشد الذي يطبق قوة متزايدة لتقدير قوة الشد التي عندها تنقطع المادة ألي جزئين وهي قوة الشد القصوي ، وفيما يلي ترتيب المعادن على حسب مقاومتها للشد كالتالي : الصلب ، الحديد النحاس ، البلاتين ، الفضة ، الذهب ، الزنك ، القصدير .

جدول (2.2) يوضح بعض الخصائص الميكانيكية لبعض المواد مع توضيح نسبة بواسون.

Material	Units	Steel	Aluminum	Cast Iron	Wood(Fir)
Modulus of Elasticity,E	Mpsi	30.0	10.0	14.5	1.6
	Gpa	207.0	69.0	100.0	11.0
Modulus of Rigidity,G	Mpsi	11.5	3.8	6.0	0.6
	Gpa	80.0	26.0	41.4	4.1
Poisson's Ratio,v		0.30	0.33	0.21	0.33

2.2.3 أنواع المعادن :

تزخر الطبيعة بمختلف أنواع المعادن ، وقليلاً ما نجد المعادن في صورها النقية ، بل إنها تستخلص من خاماتها الأولية الموجودة في الطبيعة ، فتوجد أحياناً مختلطة بالأحجار أو الأتربة أو الصخور والجبال مصدرا هام لاستخراج المعادن ، كذلك فإن الأنهار والبحار والمحيطات يستخرج منها الكثير من المعادن كالذهب والنحاس والمنجنيز والنيكل. وقد تبين في إحصائية بسيطة إن كل مائة طن من الصخور العادية كالجرانيت مثلاً تشمل على المعادن التالية : 8 طن ألومنيوم ، 5 طن حديد ، 540 كيلو جرام تيتانيوم ، 80 كيلوجرام منجنيز ، 80 كيلوجرام نيكل ، 18 كيلوجرام فانديوم ، 9 كيلوجرام نحاس ، 5.4 كيلوجرام تنجستين ، 8.1 كيلوجرام رصاص .

تنقسم المعادن إلى قسمين رئيسين :

- معادن حديدية .
- معادن غير حديدية .

- فالمعادن الحديدية هي التي يشكل الحديد العنصر الأساسي لها : كالحديد وسبائكه وتشمل حديد زهر ، حديد مطاوع ، حديد صلب فولاذ .
- أما المعادن غير الحديدية وهي التي لا دخل الحديد في تركيبها وتشمل : الذهب ، الفضة ، الزنك ، الرصاص ، القصدير ، النيكل ، المغنسيوم ، المنجنيز ، الفوسفور ، الألومنيوم ، النحاس .

وفيما يلي عرض لتلك المعادن الحديدية وغير الحديدية ، والتعرف على ما يخص منها هذا البحث .

أولاً : المعادن الحديدية :

الحديد (iron) :

إن الإنسان اكتشف الحديد بدايةً كمادة صلبه هابط من السماء (وهوالحديد النيزكي) ثم عرف الحديد الطبيعي الناتج عن البراكين حوالي سنة 2000 قبل الميلاد ، ويتواجد الحديد في الطبيعة في صورة صخرية ، وقد ظل الحديد الخام لفترة طويلة نادراً لدرجة أنه كان يعتبر أغلى من الذهب رغم سعة إنتشار مركباته في الصخور والتربة بنسب متفاوتة .

إن صناعة واستخلاص الحديد قد تطورت بشكل هائل في العصر الحديث إذ إنه يعد أساساً للتقدم الحضاري والتكنولوجي.

وصف الحديد بأنه معدن أبيض مائل للزرقة ، يلمع عند الصقل ، تبلغ كثافته ($7.8\ cm^2$) ، والحديد صلب يمكن ثنيه بأي شكل عند تسخينه حتى الاحمرار ، كما إنه ينصهر عند درجة حرارة($1528°c$) ، ويعد الحديد النقي فقير في خواصه الميكانيكية لذلك أضيفت إليه سبائك أخرى لتحسين خواصه ، فيشكل وجود الكربون مع الحديد أهم السبائك التي تكسب الحديد خواص متنوعة .

1. **الحديد الزهر** : وهو الحديد الذي يحتوى على نسبة من الكربون تزيد عن 2 %، كما يحتوي على بعض الشوائب مثل السليكون و المنجنيز و الفوسفور والكبريت ، والزهر معدن صلد وقصفي مما يجعل عملية تشكيله وتشغيلة صعبة ، وللحديد الزهر عدة أنواع هي:

- **الزهر الرمادي**: سمي بذلك نسبةً للون الرمادي الناتج عن كسر هذا النوع من الزهر ، ويوجد الكربون فيه بصورة حرة ، ويوجد السليكون والفسفور بنسبة عالية فية مما ساعد على سيولة الزهر الرمادي وسريانه بداخل تجويف القالب أثناء سباكته.
- **الزهر الأبيض** : سمي بذلك نسبةً للون الأبيض المميز لهذا النوع من الزهر عند كسره ،

ويوجد به الكربون في صورة المركب الكيميائي " السمنتيت "ويتميز هذا النوع من الزهر عن غيره بصلادة عالية.

- **الزهر المطروق** : ويقصد به قابلية هذا النوع من الزهر لعملية الأجهاد عن طريق معاملته حرارياً فيكون بذلك قابل للتشكيل والسحب والتطريق.
- **الزهر السبائكي** : وهي عبارة عن الزهر مضاف إليه معدن آخر بهدف تحسين خواص السبيكة.

2. **الحديد الصلب (الفولاذ)** : وهو الحديد الذي لا تزيد نسبة الكربون فيه عن 2 % .

وللحديد الصلب (الفولاذ) نوعين وهي كالتالي :

- **صلب كربوني** : سمي بذلك لأن الكربون هو العنصر الوحيد المضاف إلى الحديد وغالباً ما يستخدم في المسابك الصناعية.
- **صلب سبائكي** : ويقصد به الحديد المضاف إليه عناصر أخرى غير الكربون ، كإضافة بعض المعادن مثل المغنسيوم أو الكروم ، أو النيكل ، أو الألومنيوم هدفها تحسين نوعية الصلب ، كما يرتبط مسمى الصلب السبائكى باسم المعدن المضاف إليه كصلب المغنسيوم وصلب الكروم.. إلخ ، ويستخدم الصلب السبائكي كوسيط لسباكة الأعمال التشكيلية وخاصة الميدانية لما تميز به من مقاومته للصدأ والتآكل وصلادته ، إضافة إلى تميز الصلب الكرومي والنيكلي بلمعان ونعومة سطحه.

ثانياً : المعادن غير الحديدية:

إكتشف الإنسان المعادن منذ فجر التاريخ وهذا ما أكده المؤرخون بأن المعادن غير الحديدية هي الأولى في حياة الإنسان ، وأن أول فلز تم اكتشافه هو الذهب ، نظراً لوجوده منفرداً ونقياً في القشرة الأرضية ، فكان اكتشافه بدايةً للكشف عن باقي المعادن الموجودة في الطبيعة كالنحاس والقصدير والألومنيوم ... إلخ ، وقد استخدم الإنسان هذه المعادن على نطاق واسع في العديد من المجالات الفنية والصناعية ، نظراً لما تميزت به من خواص عديدة استهوت مستخدمها الفنان في تنفيذ مشروعاته وسباكة أعماله التشكيلية المنحوته ، حيث أخرج تلك الخامة (المعدن) بصورة إبداعية مبهرة .

وفيما يلي عرض أهم تلك المعادن غير الحديدية ، وأهم صفاتها وخصائصها المميزة :

1. **الذهب:**

يعد الذهب أول المعادن التي تم اكتشافها منذ القدم حيث كان ذلك حوالي سنة 5000 قبل الميلاد ، ويمكن بالتحديد القول إن الذهب اكتشف في القرن التاسع عشر قبل الميلاد ، وأستخدم على نطاق واسع في مصر القديمة في القرن الثالث عشر قبل الميلاد ويتواجد الذهب في القشرة الأرضية بصورة منفردة ونقية ، مصاحباً

للكوارتز والرمل ، وساعد التعرف عليه في ذلك الحين لونه الأصفر الذهبي اللامع الذي يلفت الانتباه ، و الذهب يعد من المعادن النبيلة ، كما أنة أثقل المعادن كثافةً ، فتقدر كثافتة ($19.2g/cm^3$) وتصل درجة انصهاره إلى($1063°c$) ، عند استمرار تسخينه تتصاعد منه أبخرة خضراء أو صفراء ، ويغلى عند درجة ($2970°c$) ويتمتع الذهب بقابليته للطرق والسحب على قطاعات رقيقة جداً كما يسهل صبه وتشكيله على البارد والساخن ، كذلك يتميز بمرونته ولدونتة العالية ، كما أن مقاومته عالية لمختلف الظروف الجوية من التآكل والصدأ . إضافةً إلى مقاومته العالية للتأكسد ، كما أنه لا يتأثر بالأحماض ، إلا أنه يمكن إذابته في الماء الملكي والزئبق فقط .

- الماء الملكي : هو مزيج من ثلاثة حجوم من حامض الهيدوكلوريك المركز وحجم واحد من حامض النيتريك المركز . وهذا المزيج يذيب المعادن النبيلة وهي الذهب والبلاتين .

ويستخدم الذهب في تشكيل وسباكة الأعمال الفنية ، وفي صناعة التحف والتماثيل والمجوهرات والأواني....إلخ .

غير أن استخدام الذهب في سباكة الأعمال الفنية قل في الوقت الحالي ، لارتفاع أسعار الذهب . حيث استبدل بذلك الترسيب الكهربائي للذهب على سطح المشغولة الفنية بواسطتها يتم تغطية سطح العمل بطبقة رقيقة من الذهب .

2. الفضة :

عرفت الفضة منذ أقدم العصور ، وهي معدن ناعم أبيض اللون ذو بريق معدني لامع ، وأن لمعانها يعكس 95 % من الضوء الساقط على سطحها مقارنةً بالمعادن الآخرى وإن كثافتها ($10.50g/cm^3$) ، ودرجة انصهارها ($960.5°c$) ، وتغلي عند درجة حرارة ($1955 °c$) .

وتعتبر الفضة من المعادن النفيسة ، وأكثرها وفرة وأقلها تكلفة ، كما إنها تتميز باحتلالها المرتبة الثانية بعد الذهب من حيث مرونتها وقابليتها للطرق والسحب ، إضافة إلى تميزها بتوصيلها العالي جداً للحرارة والكهرباء ، ومقاومتها للتآكل والصدأ ، وأن سطح الفضة يتأكسد ببطء نتيجة تعرضه لمركبات الكبريت في الهواء ، وفي حينها يفقد سطح الفضة صفته البراقة . أما من حيث تأثرها بالأحماض فلها قابلية الذوبان في حمض النيتريك المركز ، وفي حمض الكبريتيك المركز الساخن.

وللفضة النقية استخدامات كثيرة ، ولكنها غالباً ما تسبك مع عناصر معدنية آخرى لتزيد من صلادتها ومتانتها ، أن أشهر العناصر السبائكيه لها هي النحاس والالكتريوم وتستخدم سبائك الفضة في أغراض عديدة منها صناعة الحلي والتحف الفنية .

3. الزنك (الخارصين) :

تم اكتشاف الزنك تم عن طريق المصادفة في النصف الأول من القرن الثامن عشر حين كان يتم إستخلاص الرصاص من خاماته ، حيث أن الزنك لا يوجد منفرداً في الطبيعة بل يستخلص من خاماته الأساسية وهي كبريتيد الزنك ، وكربونات الزنك ، وسيليكات مائية للزنك ، كذلك الغالبية من خامات الزنك تحتوي على خام الرصاص .

والزنك معدن فلز لونه أبيض فضي مائل للزرقة مع تقدير الباحثين لكثافة الزنك التي تقدر ب(7.12 g/cm^3) ، ودرجة انصهاره (419 °c)، أما درجة غليانه فتصل إلى (907 °c) وأن الزنك يتميز بقابليته للطرق والسحب ، والتشكيل على البارد والساخن . كما أن له مقاومة وصلادة عالية تفوق كلاً من عنصر الرصاص والقصدير ، إضافةً إلى مقاومته العالية للتآكل والصدأ ، لذا يستخدم في تغطية وتغليف أسطح الحديد والفولاذ وغالباً ما يدخل في صناعة السبائك المختلفة التي تستخدم في مجال التشكيل الفني ، وسباكة أعمال النحت كالنحاس والألومنيوم ، لأن إضافة الألومنيوم إليه تزيد قابليته للسبك والصب ، كذلك يدخل في سبائك النحاس والبرونز ، كما يستخدم في كثير من الصناعات ، منها صناعة وإنتاج بوهيات الطلاء وصناعة قوالب الصب .

4. الرصاص:

يعد الرصاص من المعادن المعروفة منذ القدم كما أن اكتشافه تم عن طريق المصادفة ، حين أشعل الإنسان النار للتدفئة والطبخ ، ويعتبر الرصاص من العناصر شبه النادرة في الطبيعة ، فهو لا يوجد بصورة حرة وإنما يستخلص من خاماته الأولية التي أهمها كبريتيد الرصاص (الجالينا) ، وعادةً ما يحتوي كبريتيد الرصاص على كبريتيد الزنك ، والرصاص معدن ذو لون رمادي مائل للزرقة له بريق معدني داكن ، تبلغ كثافته (11.4 g/cm^3) ، وينصهر عند درجة حرارة (327 °c) كما أنه أثقل المعادن ، فرغم اعتباره أثقل من الحديد إلا أنه يتميز بطراوته ومرونته ولدونته وسهولة صبه وتشكيله ، كما أنه قابل للطرق والسحب ، ومقاوم لتأثير الأحماض ، وغالباً ما يسبك مع عناصر أخرى ، ليحسن من مقاومة سبائكها ، كإضافته للنحاس والفولاذ .

كما إن استخداماته كثيرة تخدم المجال الفني والصناعي ، حيث يصنع منه حروف الطباعة ويستخدم في البوهيات والطلاء .

5. القصدير:

يعتبر القصدير أحد أقدم المعادن التي استخلصها الإنسان واستخدمها منذ العصور الأولى ، فقد كان إكتشاف القصدير سبباً في تطور حياة الإنسان الأول . والقصدير لا يوجد بصورة نقية بل إنه يستخلص من خاماته الأولية ، التي أهمها " الكاستيريت " والقصدير معدن أبيض لامع ، مائل قليلاً إلى الزرقة . وتقدر كثافته ب

($7.28\ g/cm^3$) ، وينصهر عند درجة حرارة ($232\ °c$) ، أهم خواصه في مقاومته للاحتكاك والأحماض والتآكل والصدأ ، نظراً لتكون طبقة رقيقة من أكسيد القصدير تمنع أكسدته في الجو الجاف ، ويزداد سمك هذه الطبقة بازدياد رطوبة الجو . كما يعتبر القصدير معدناً طرياً قابلاً للطرق والسحب والتشكيل على البارد والساخن . ويتمتع القصدير بمنظر جذاب وجميل ، زاد من أهمية استخدامه في التشكيل الفني وغيره ، وكثيراً ما يضاف مع عناصر آخرى لتكوين السبائك ، كإضافته مع النحاس لتكوين سبائك البرونز ، حيث يستخدم في صب أعمال التشكيل النحتي لما له من مميزات خاصة .

6. الفوسفور:

الفوسفور من المعادن اللافلزية ، ومعنى تسميته بالفوسفور نسبةً إلى " حامل الضوء " وربما يكون قد جاء هذا المعنى من الضوء الذي يصدره في الظلام . والفوسفور لا يوجد في الطبيعة بحالة منفردة ، ولكنه يستخلص من مركباته والتي أهمها معدن "الفوسفوريت " و" الآباتيت " ، و خام الفوسفور يتميز بصلادته وصلابته العالية ومقاومته للتآكل والصدأ ، التي جعلت منه معدناً بالغ الأهمية ، وذلك بإضافته للعناصر الفلزية كسبائك النحاس والبرونز ، إذ أنه يساعد على إزالة الأكسجين منها ، إضافةً إلى إنتاجيه لسبائك بالغة الأهمية تمتاز بخواص جيدة ، وتختلف تلك الخواص بنسبة الفوسفور المضاف إليها.

7. الألومنيوم :

يعد الألومنيوم من معادن القرن العشرين ، فهو من أكثر المعادن انتشاراً في القشرة الأرضية بعد الأكسجين والسيلكون ، وقد ذكر بأنه لا يوجد حراً في الطبيعة وإنما يستخلص من أكاسيده المائية المعروفة ب " البوكسيت " ويتميز الألومنيوم النقي بلون فضي لامع مائلاً للبياض ، وهو عاكس للضوء والحرارة الساقطة عليه ، كما أنه يتميز بخفة وزنة وقوته ، حيث قوته تفوق الحديد بست مرات في حالة سبكه مع النحاس وقليل من المغنسيوم ، كما إنه موصل جيد للحرارة والكهرباء فلا يفوقه في ذلك سوى الذهب والفضة ، ويتمتع بلدونته ، وقابليته للطرق والسحب ، والصب والتشكيل ، إضافةً إلى مقاومته للتآكل والصدأ ، حيث أثبتت الدراسات تكون طبقة شفافة رقيقة من أكسيد الألومنيوم تعمل كعازل بين الأوساط التآكلية وسطح المعدن .

رغم مقاومة الألومنيوم وسبائكه للتآكل نتيجة تكون طبقة أكسيد الألومنيوم على سطحه فإنه يتعذر تكُون هذه الطبقة في بعض الأوسط الحامضية ، التي تمنع وصول الأكسجين إلى سطح الألومنيوم . وفي هذه الحالة يمكن الاستعاضة بالطريقة الصناعية المعروفة بأسم الأنود (المهبط) ، والغرض من هذه العملية تكوين طبقة سميكة من أكسيد الألومنيوم كنوع من حماية السطح بالطريقة الاصطناعية .

وقدر الباحثون كثافته ب($2.7\ g/cm^3$) ، وتصل درجة انصهاره إلى($660\ °c$) ، و تصل درجة غليان الألومنيوم إلى ($2467\ °c$) ، وغالباً ما يسبك مع عناصر تسابكية آخرى كالحديد والنحاس والمغنسيوم

والرصاص ... إلخ ، بهدف تحسين خواصها الكيميائية والميكانيكية ، وتسمى سبائك الألومنيوم نسبةً للعناصر المضافة إليها ، كسبائك الألومنيوم والمنجنيز ، وسبائك الألومنيوم والنحاس ... إلخ.

ويستخدم الألومنيوم بكثرة في كثير من الصناعات ، منها الصناعات الهندسية والصناعات الفنية ، كما يستخدم بشكل كبير في عمل المجسمات الميدانية الكبيرة لما له من مقاومة عالية للصدأ ، إضافةً لمظهره البراق ، وسهولة تلوينه بالترسيب الكهربائي.

8. النحاس:

يعتبر النحاس ثاني فلز إكتشفه الإنسان بعد الذهب كما أنه يعد من بين أول العناصر التي استخدمها الإنسان قديماً ، حتى أنه شكل أول فترة حضارية في تاريخ البشرية ، وهي الفترة التي سبقت العصر البرونزي وتلت العصر الحديدي ، فالنحاس وخاماته يحتل مكانه واسعة من القشرة الأرضية ، فهو موجود في الطبيعة بعدة أشكال فهو إما أن يكون في صورته الأولية المتكونة من رواسب الصخور الملامسة لكتل نارية ، أو في بعض أنواع الصخور البركانية ، وغالباً ما يكون على شكل قطع حمراء نقية مختلطة بعدة شوائب كالصخور والسيلكا والحديد .

جدول (2.3) يوضح بعض الخصائص الميكانيكية لبعض المواد الهندسية .

جدول (2.3)

Metals	Specific Gravity	Degree of Hardness	Linear Expansion per		Specific Heat per Degree Cent.	Conductivity for	
			Fahr.	Cent.		Heat.	Electricity.
Aluminium	2.56		0.0000123	0.0000222	0.2143		56.1
Bronze	7.7						
Cast	8.10		0.0000104	0.0000187			
Copper	8.94	2.5-3	0.0000102	0.0000183	0.0951	73.5	99.8
Iron,Wrought	7.84	4.5	0.0000066	0.0000119	0.1138	11.9	16.8
Lead	11.33	1.5	0.0000167	0.0000301	0.0314	8.5	8.3
Nickel	8.82	5	Cubical	Cubical	0.1086		13.1
Platinum	21.50	4-4.5	0.000005	0.000009	0.0324	8.4	18.0
Silver	10.57	2.5-3	0.0000111	0.0000190	0.0570	100.0	100.0
Steel	7.72	6-7(Hard)	0.0000057	0.0000103	0.1175		
Tin	7.30	2.5-3	0.0000152	0.0000273	0.0569		12.4
Zinc	7.13	22	0.0000122	0.0000220	0.0955		29.0

الفصل الثالث

المواد المركبة (Composite Materials)

الفصل الثالث

المواد المركبة (Composite Materials)

3.1 المقدمة :

تشمل المواد المركبة عدداً لا يكاد يحصي من المواد الطبيعية والمواد المصنعة . فطبقا للتعريف العام للمواد المركبة فإنها أي مادة مكونة تكويناً تركيبياً من مادتين أو أكثر متمايزتين تمايزاً طبيعياً ، إحداهما عبارة عن مادة حاضنة (Matrix Material) والأخري مادة مقوية تتمتع بقوة وجساءة (Stiffness) عاليتين بالنسبة للمادة الحاضنة . عادة ما تكون المواد المقوية مصنوعة من الألياف نظرا لما تظهره ألياف المواد من قوة وجساءة عاليتين مقارنة بخواص نفس المواد الأصلية المصنعة منها في شكلها المعتاد ، فيشكلان بذلك مادة جديدة ذات خواص ميكانيكية وفيزيائية مغايرة لخواص المواد الأصلية ، ومعتمدة في قيم خواصها الناتجة علي قيم المواد الأولية تعرف بإسم المواد المركبة . وكون المواد المركبة مكونة من مواد أولية متمايزة تمايز طبيعيا مهم جدا في القدرة علي التفريق بينها وبين السبائك المعدنية وخصوصا تجنبا للخلط في التصنيف بين المواد المركبة ذات المواد الحاضنة المعدنية أو الألياف المعدنية أو كليهما من جهة ، وبين السبائك المعدنية من جهة أخري . فالسبائك المعدنية تنتج عن خلط مقنن للمعدن الأساسي بعدد من المعادن الأخري المتجانسة بهدف تحسين الخواص الميكانيكية أو الطبيعية لإستخدامات معينة . ولا يطلق علي هذا الخليط المقنن إسم المواد المركبة نظرا لعدم إمكانية فصل المركبات عن بعضها إلا من خلال عمليات كيميائية معقدة ، بالمقابل فإن المواد المركبة يمكن بسهولة نسبية فصل بعض أجزائها عن بعضها البعض بطرق ميكانيكية . لعل من أشهر المواد المركبة المتوفرة في الأسواق والمعروفة لعامة الناس مادة الألياف الزجاجية (Glass Fibers) التي تجمع مع بعضها بمواد لاصقة وتصنع منها العديد من الأجزاء للإستخدامات المنزلية وغيرها .

يوجد في الطبيعة الكثير من الأمثلة على المواد المركبة ، منها ألياف السليلوز مع مادة الخشب . وفي الصناعة تقوية الراتنجات بالألياف الصناعية هي الأكثر إنتشاراً ، و لتصنيع مادة مركبة يجب توفر مادتين هما المادة الأساس (Matrix Material) ومادة التقوية (Reinforcement Material).

1. مواد الأساس (Matrix Materials) :

تكون مواد الأساس إما مواد معدنية (Metallic Materials) متكونة من المعادن وسبائكها وتتميز بثقل وزنها ومتانتها العالية ، أو مواد سيراميكية (Ceramic Materials) والتي تمتاز بخفة وزنها ومقاومتها

المرتفعة لدرجات الحرارة العالية ولكنها ضعيفة المقاومة لقوى الصدم . كذلك تكون المادة الأساس مواد راتنجية (Resin Materials) وهي الأكثر إستعمالاً وإنتشاراً لِما تتميز به من خواص ميكانيكية وحرارية جيدة ، ومن الأمثلة على المواد الراتنجية هو راتنج البولي أستر (Polyester Resin).

يمتلك راتنج البولي أستر خواص حرارية جيدة إذ يتحمل الحرارة العالية (بالنسبة للراتنجات) وحتي (260°C) ولكنه يعاني تفككاً تلقائياً (Spontaneous Decomposition) عند درجة حرارة تقارب (300°C) حتى بعدم وجود الأوكسجين ، وكذلك يمتاز بمقاومة كهربائية ممتازة ومقاومة كيميائية للمذيبات والأحماض والأملاح ومقاوم للبلى والتأثيرات البيئية ، بالإضافة لكونه قليل الكلفة ولكنه يتصف بالضعف والهشاشة . ويضاف البولي أستر إلى الألياف الزجاجية لصناعة هياكل القوالب ومكونات أجسام الطائرات والسيارات وغيرها من الصناعات .

2. مواد التقوية (Reinforcement Materials) :

يجب توفر ميزتين أساسيتين في هذه المواد وهي المقاومة العالية والليونة المنخفضة حتى تستطيع تقوية المواد الأساس . هناك عدة طرق للتقوية منها التقوية بالرقائق (Reinforcing by Particulate) والتي تكون بقطر أكبر من (1 µm) وبأشكال مختلفة منها الإبرية والكروية والقِشرية ، كذلك تتم التقوية بالتشتت (Reinforcing by Dispersed) ويكون قطر الرقائق أقل من (0.1µm) .

أما أكثر أساليب التقوية شيوعاً فهي التقوية بالألياف (Reinforcing by Fibers) نظراً لِما تتميز به من قوة كبيرة مقارنة بالمواد الراتنجية ، وتكون الألياف بأنواع وأشكال مختلفة فمنها ما يكون بشكل مستمر أو مقَطعْ أو بشكل ضفائر محاكة وكمثال على أنواع الألياف هي ألياف الزجاج وألياف الكربون وألياف الكفلار والألياف السليلوزية التي تستخدم بشكلها الخام أو تخضع لعمليات تصنيع لإستخراج نوع جديد من الألياف منها.

تمتلك الألياف الزجاجية الكثير من الخواص الفيزيائية والكيميائية الجيدة ، منها إمتلاكها لدرجة انصهار عالية ومقاومة كيميائية جيدة . هنالك أنواع عدة من الألياف الزجاجية حيث تكون بشكل ضفائر محاكة (Woven Roving) أو بشكل ألياف مقطعة (Chopped Strand) أو بشكل نسيج زجاجي (Glass Fabric) ، أو على شكل خيوط وأشرطة .

أما ألياف النخيل (Palms Fibers) فتنتمي إلى مجموعة الألياف السليلوزية (Cellulose Fibers) والسيليلوز عبارة عن سكر متعدد (Poly Saccaride) متكون من جزيئات الجلكوز المرتبطة مع بعضها بسلاسل خطية . يمكن أن تستخدم الألياف السليلوزية ومن ضمنها ألياف النخيل بشكلها الخام في الصناعة

لكلفتها المنخفضة وخواصها الميكانيكية والحرارية الجيدة ، أو يمكن أن يتم تحويلها إلى أنواع جديدة من الألياف ومنها الحرير الصناعي.

3.2 خواص المواد المركبة (Properties of Composite Materials):

تعتمد الإستخدامات العامة والهندسية للمواد المركبة إلى حد بعيد على خواصها الميكانيكية والفيزيائية مثل مقاومة الشد والمرونة وقابلية المادة للإستطالة ومقاومتها للحرارة والظروف البيئية مثل الرطوبة وأشعة الشمس وغيرها من الخواص التطبيقية الأُخرى . إن جميع هذه الخواص تعتمد كثيراً على التركيب الجزيئي للراتنج وعلى وزنه الجزيئي وعلى القوى الجزيئية ، كما تعتمد هذه الخواص إلى حد كبير على مواد التقوية وعلى المواد المضافة مثل الحشوات والملدنات . ومن هذه الخواص ما يأتي :

1. مقاومة الصدمة (Impact Strength) :

تُعبر مقاومة الصدمة عن قدرة المادة لمقاومة الكسر تحت تأثير حمل مفاجئ ، كما تعتبر مقياساً لمتانة المادة حيث أن المواد الأكثر متانة هي التي تُبدي أعلى مقاومة للصدمة . ويمكن تحسين مقاومة الصدمة للراتنجات بإضافة بعض المحسنات مثل مطاط البيوتادين أو إضافة الملدنات أو بترتيب وتراصف السلاسل البوليمرية ولكن أكثر الطرق فاعلية في تحسين مقاومة الصدمة هي التقوية بالألياف .

2. مقاومة الشد (Tensile Strength) :

تعتبر مقاومة الشد مقياساً لقابلية المادة على مقاومة القوى الساكنة التي تحاول سحب المادة وكسرها، تتكون المواد المركبة الليفية من ألياف قوية هشة مغمورة في المادة الأساس التي تتصف بكونها أكثر مطيلية . تبدأ المادة المركبة بالإستطالة بشكل خطي في البداية إستجابة للجهد المسلط ومع إستمرار التحميل يحصل إنحراف نتيجة لوصول المادة الأساس إلى نقطة الخضوع في حين تستمر الألياف بالإستطالة و المقاومة حتى تنهار مقاومتها، وعندما تتهشم المادة الأساس تفشل المادة المركبة كلياً .

$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad (3.1)$$

حيث :

σ = مقاومة الشد (N/m^2) .

F = القوة المسلطة (N) .

A = مساحة المقطع العرضي للنموذج (m^2) .

3. الصلادة (Hardness) :

تُعرف الصلادة على إنها مقاومة المادة للخدش أو الإختراق ، وهنالك عِدة مقاييس عالمية مختلفة لتعيين صلادة المواد اللدائنية وأكثرها شيوعاً صلادة برينل وصلادة روكويل . يحدث الإختراق بمعدل بطيء في

سطح النموذج أثناء تسليط القوة لأجل الإختبار مما يؤدي إلى حدوث زحف موضعي ، وبعد زوال القوة المؤثرة تحصل إستعادة بطيئة نسبياً في الإختبار مما يؤدي إلى تغيير أبعاد الأثر المعتمد في حساب صلادة المادة ولمنع حدوث ذلك يتوجب الإلتزام بالفترة الزمنية المحددة لتسليط القوة على سطح النموذج .تبرز أهمية إختبارات الصلادة في إعطاء كشف سريع لما يطرأ من تغيرات على الخواص الميكانيكية للمادة نتيجة لعمليات التصنيع والتغيرات الكيميائية والمعاملات الحرارية والتعتيق والتغيرات المصاحبة لعمليات التشكيل .

$$HB = \frac{P}{\left[\frac{\pi * D}{2}\right]\left[D - \sqrt{D^2 - d^2}\right]} \qquad (3.2)$$

حيث :

HB = رقم صلادة برينل (Kg/mm^2) .

P = الحمل المسلط (Kg) .

D = قُطر كرة الإختبار (mm).

d = قُطر الأثر الناتج على السطح (mm) .

4. مقاومة الإنحناء (Flexural Strength) :

تعتبر هذه الخاصية مقياساً لمقاومة الإنحناء ، ويمكن تعريفها على أنها أقصى حمل ساكن يمكن تسليطه على نموذج الإختبار قبل أن يخضع أو ينكسر وتقاس بوحدات (MPa) . عند تسليط حمل إنحناء على مادة مركبة طبقية فإن الجهود المناظرة تتناسب طردياً مع خواص المرونة للطبقات ومع ترتيبها داخل المادة المركبة الطبقية وإن الاختلافات في خواص الطبقات تؤدي إلى البدء في التشقق ضمن الطبقة أكثر منه في السطح الخارجي كما يحصل مع المواد الموحدة الخواص .

$$\sigma = \frac{3ps}{2bt^2} \qquad (3.3)$$

حيث :

p = أقصى حمل يتحمله النموذج (N) .

s = البعد بين نقطتي التحميل (mm) .

b = عرض النموذج (mm) .

t = سمك النموذج (mm) .

3.3 مميزات المواد المركبة :

1. زيادة الجساءة والمقاومة وإستقرار الأبعاد .
2. زيادة المتانة (مقاومة الصدم) .
3. زيادة درجة حرارة الإنحناء تحت التسخين .
4. زيادة التخميد الميكانيكي .
5. تقليل نفاذية الغازات والسوائل .
6. تغيير الخواص الكهربائية (زيادة المقاومة النوعية الكهربائية) .
7. تقليل التكاليف .
8. تقليل إمتصاص الماء .
9. تقليل عامل التمدد الطولي .
10. زيادة مقاومة الإهتراء والتآكل الكيميائيين .
11. تقليل الوزن .
12. المحافظة علي نسبة (المقاومة / الجساءة) في درجات الحرارة العالية تحت ظروف بيئة تحات .
13. زيادة الإستعمالات الثانوية والتدوير وتقليل الآثار السلبية علي البيئة .
14. تحسين المرونة في التصميم .

3.4 مبادئ التقوية (Principles of Reinforcement) :

من الخواص المهمة التي يبحث عنها مهندس المواد هي الخواص الميكانيكية للمادة بالإضافة إلى الخواص الأخرى ، حيث أن مبدأ التقوية يتمثل بالحصول على مادة مركبة ذات خواص ميكانيكية لا تتوفر في مادة الأساس بتقويتها إما بأسلوب التقوية بالألياف أوالجسيمات وفي كلا العمليتين فإن الخواص الميكانيكية للمواد المركبة تعتمد على عدة عوامل أهمها :

i. الخواص النوعية لطور الأساس (Matrix) .
والطور الذي يقوم بالتقوية (Phase reinforcing) .
ii. الكسور الحجمية (Fraction volume)
iii. شكل وحجم وكيفية توزيع وإتجاه الطور الذي يقوم بالتقوية .
iv. الربط بين الطور الذي يقوم بالتقوية وطور الأساس .

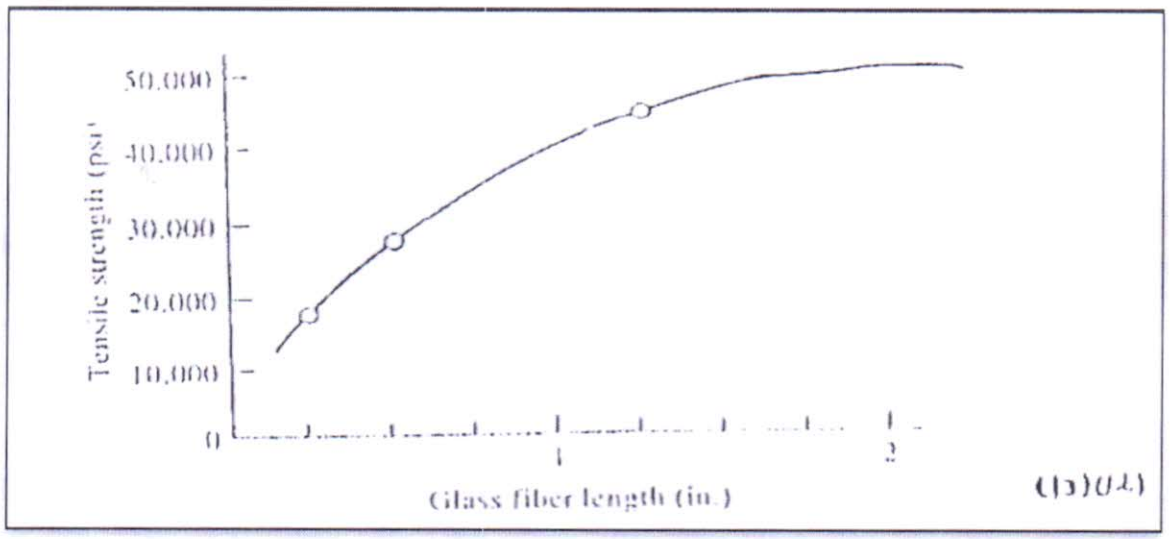
- **وهنالك مبدأين كما ذكرنا سابقاً :**

1. أسلوب التقوية بالألياف (Principles of fiber reinforcement) :

هنالك كثير من العوامل يجب أن تأخذ بنظر الاعتبار عند تصميم مادة مركبة مقواة بالألياف وأهم هذه العوامل هي :

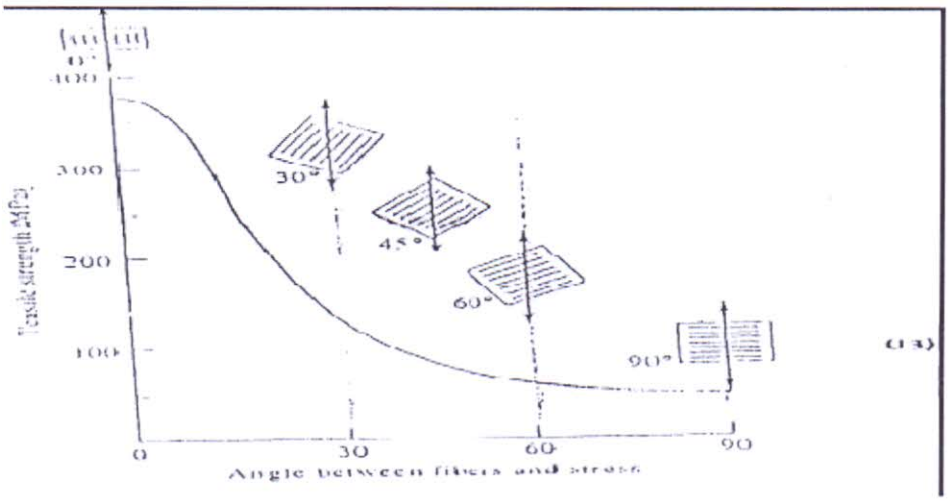
1. طول وقطر الليف (diameter and length of fiber)
2. كمية الليف (amount of fiber)
3. اتجاه الليف (orientation of fiber)
4. خواص الليف كما هو موضح بالجدول (3.1) .
5. خواص المادة الأساس المراد تقويتها .
6. الربط بين الليف والمادة الأساس .
8. كلفة الليف .

فمثلاً نلاحظ أن مقاومة الشد للمادة المركبة تزداد مع زيادة طول ليف الزجاج داخل المادة المركبة ذات الأساس من الايبوكسي (Epoxy) .



الشكل (3.1) يبين العلاقة بين مقاومة الشد وطول الليف

ونلاحظ أيضاً أن العلاقة بين مقاومة الشد واتجاه الألياف بالنسبة إلى الإجهاد المسلط لنفس الألياف في نفس المادة موضحة بالشكل (3.2) .



الشكل (3.2) يبين العلاقة بين مقاومة الشد واتجاه الألياف بالنسبة للإجهاد المسلط

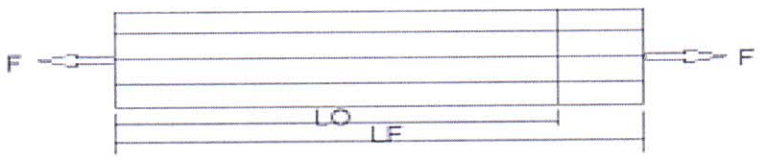
وهناك خواص مهمة للألياف المستخدمة في تقوية المواد يجب معرفتها موضحة بالجدول (3.1) .

جدول (3.1)

Material	Density (g/cm^3)	Tensile strength (psi)	Modulus strength (psi)	Melting temperature (c^o)
Polymers				
Kevlar	1.44	650	18.0	500
Nylon	1.14	120	0.4	249
Polyethylene	0.97	480	25.0	147
Glass				
E-glass	2.55	500	10.5	<1725
S-glass	2.50	650	12.6	<1725
Carbon				
IIS (high strength)	1.75	820	40.0	3700
IIM (high modulus)	1.90	270	77.0	3700

علاقة الإجهاد –الانفعال Relationship Strain–Stress :

عند تسليط إجهاد شد على مادة مركبة من طور أرضية يحتوي على ألياف اسطوانية بافتراض أنه لا يحصل إنزلاق بين الألياف والمادة الأساس (عند سطح التماس) فإن الاستطالة تكون نفسها في كل الطورين.



الشكل (3.3) يبين تسليط إجهاد شد على مادة مركبة .

$$\varepsilon = \frac{LF-LO}{LO} = \frac{\Delta l}{LO} \qquad (3.4)$$

$$\Delta L = LF - LO \qquad (3.5)$$

LF = الطول الأصلي

LO = الطول النهائي

بما أن الانفعال متساوي في الليف والمادة الأساس:

$$\varepsilon \text{ Composites } = \varepsilon_f = \varepsilon_m = \frac{\Delta L}{LO}$$

ε_m = إنفعال المادة الأساس

ε_f = إنفعال الليف

وإذا افترضنا أن الانفعالات مرنة (strain Elastic) إذا يمكن تطبيق قانون هوك :

$$\sigma = E * \varepsilon$$
$$\sigma_f = E_f * \varepsilon_f$$
$$\sigma_m = E_m * \varepsilon_m \qquad (3.6)$$

E_f = معامل مرونة الليف .

E_m = معامل مرونة المادة الأساس .

في معظم الحالات التصميمية يكون معامل مرونة الليف أكبر من معامل مرونة بلور الأساس ، لذا عند انفعال معين يكون الإجهاد في الألياف أكبر من إجهاد الأساس .

بالإمكان الآن تلخيص مراحل تشوه مادة مركبة مقواة بألياف مستمرة كما يأتي :

1. المرحلة الأولى : كلا الطورين يتشوهان بشكل مرن .
2. المرحلة الثانية : الليف يتشوه تشوه مرن وطور الأساس لدن .
3. المرحلة الثالثة : كلا الطورين يتشوها بشكل لدن .
4. المرحلة الرابعة : تمزق الألياف وفشل المادة المركبة .

- **الكسور الحجمية (Volume Fractions) :**

استناداً إلى افتراض أن خواص المادة المركبة تعتمد على خواص مكوناتها على انفراد وبناء على قاعدة المخاليط (Rule of Mixtures) ، إذا تعتمد هذه العلاقة الكسور الحجمية لكل من المواد المشتركة في تركيب المادة المركبة فإن :

$$E\,comp = E_f V_f + E_m V_m \qquad (3.7)$$

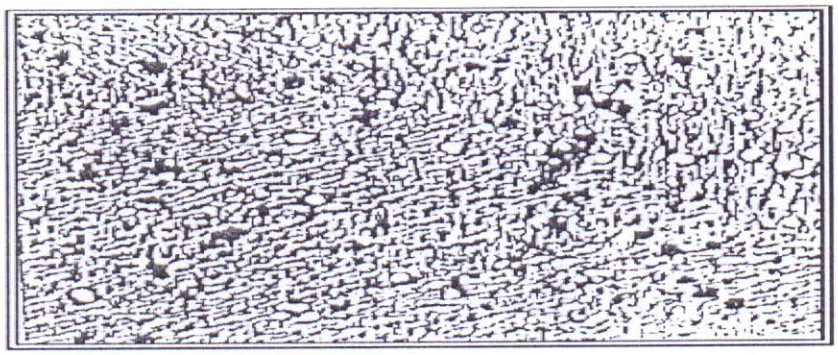
$$\sigma\,comp = \sigma_f V_f + \sigma_m v_m \qquad (3.8)$$

لذا فإن المواد المركبة المقواة بألياف بسيطة الشكل وذات المقطع العريض المنتظم يكون فيها الكسر الحجمي الكلي الذي تحتله الألياف معروف ويمكن حسابه ، ويكون الكسر الحجمي لطور الأساس كما يلي:

$$V_m = 1 - v_f$$

2. أسلوب التقوية بالجسيمات (Principles of Particle Reinforcement) :

هذه العملية مشابهة لعمليات التصليد بالترسيب (Hardening Precipitation) والتي تستعمل عادة لتصليد المعادن الحديدية واللاحديدية ، حيث يتم التصليد بترسيب طور على شكل جسيمات دقيقة مع طور آخر موجود أصلاً كما مبين بالشكل (3.4) .



الشكل (3.4) يبين آلية التقوية بالجسيمات

إذا تعتمد الخواص الميكانيكية (المتانة ،الصلابة ،الكلال) للمواد المركبة على كل من :

1. المادة الاساسية من ناحية نسبها و نوعها (معدن أو سيراميك أو بوليمير) .
2. المادة المدعمة من ناحية نسبها ونوعها (معدن أو سيراميك أو بوليمير) وحجمها (جزيئات صغيره أو كبيرة داخل المادة الاساسية) وشكلها (جزيئات أو ألياف داخل المادة الاساسية) .

3.5 يمكن تقسيم المواد المركبة الي ثلاثة انواع رئيسية:

3.5.1 المواد المركبة المقواة بالألياف.

3.5.2 المواد المركبة الحيوية.

3.5.3 المواد المركبة القابلة لإعادة الاستخدام.

3.5.1 المواد المركبة المقواة بالالياف: وتنقسم الي:

i. المواد المركبة المقواة بألياف صناعية .
ii. اللدائن المقواة بألياف طبيعية .

i. المواد المركبة المقواة بألياف صناعية :

وسنتحدث في هذا الجزء عن ألياف الكربون والالياف الزجاجية بإعتبارها الاكثر إستخداما .

1.ألياف الكربون :

هي مواد تتألف من ألياف دقيقة للغاية ذات قطر يتراوح بين 0.005 و 0.010 مم وتتكون في معظمها من ذرات الكربون . ترتبط ذرات الكربون ببعضها في بلورات مجهرية موازية بشكل أو بآخر لمحور الألياف ، هذا التوازي أو التوجه يجعل الألياف قوية جدا مقارنة بحجمها.

تغزل عدة آلاف من ألياف الكربون معا لتشكيل الخيط ليستخدم بذاته أو ينسج ليكون النسيج . ولألياف الكربون طرق مختلفة للنسج يمكن جمعها مع راتنج من اللدائن و تقولب لتشكيل المواد المركبة التي تتصف بنسبة عالية من القوة إلي الوزن ، وكثافة ألياف الكربون أيضا هي اقل بكثير من كثافة الفولاذ مما يجعلها مثالية للتطبيقات التي تتطلب وزنا منخفضا .

خصائص ألياف الكربون مثل قوة الشد العالية و الوزن و التمدد الحراري المنخفضان جعلها تستخدم بكثرة في تطبيقات الفضاء و الهندسة المدنية و العسكرية و السيارات الرياضية.

البنية و الخصائص :

إن كل خيط من ألياف الكربون هو عبارة عن حزمة من آلاف الالياف الكربونية . أما الليف الواحد منها فهو عبارة عن أنبوب رفيع يتراوح قطره من 5–8 ميكروميتر ويتكون غالبا من كربون فقط .

البنية الذرية لليف الكربون مشابهة للبنية الذرية للجرافيت المتكونة من صفائح من ألياف الكربون مرتبة في نموذج بنية سداسية منتظمة و الفرق يكمن بطريقة ترابط هذة الصفائح . أما الجرافيت فهو مادة بلورية تتكدس فيها الصفائح موازية لبعضها البعض بطريقة منتظمة .

وتبعا للطريقة المتبعة لصناعة هذة الالياف،فإن ألياف الكربون يمكن أن تكون ذات بنية جرافيتية أو بنية تربوستراتيك (Turbostratic) (وهي بنية بلورية خرجت فيها المستويات العمودية علي المحاور الاساسية عن التراصف أو التحاذي) ، أو أن تكون بنية هجينة من البنيتين السابقتين. ويتم إنتاجها عن طريق الانحلال الحراري وتتكون الالياف الكربونية من ثلاثة انواع وهي (الرايون ، البيتش ، البولي أكريلونيتريل) يوفر البولي أكريلونيتريل قوة الشد العالية لالياف الكربون ، والجدول (3.2) يبين بعض هذه الخصائص .

جدول (3.2)

مكونات ليف الكربون	الكثافة kg/dm^3	قوة الشد Mpa	المرونة Mpa	الاستطالة %
الرايون	1.6 -1.9	2000 - 2500	530000 - 340000	1.5 - 2.5
البولي أكريلونيتريل	1.75 - 19.96	1600 -4800	480000 - 230000	1.5 - 2.0
البيتش	2.0 - 2.2	1800 - 2200	700000 - 380000	0.4 - 1.4

وصف الألياف الكربونية حسب تقرير إحدي الشركات المصنعة :

إن الصفائح الكربونية عبارة عن رقائق ذات لون أسود تتكون من مادة الإيبوكسي المسلحة بألياف كربونية بنسبة تزيد عن 99% ولها معامل مرونة E أكبر من 231000 N/mm² وتتحمل الشد بقيمة دنيا أعلي من 3650 N/mm² وحد الإنقطاع يزيد علي 4100 N/mm² مع إستطاله عند الإنقطاع تصل إلي 1.5% ولهذه المادة كثافة تساوي 1.5 g/cm³ تمتاز هذه المواد بأنها :

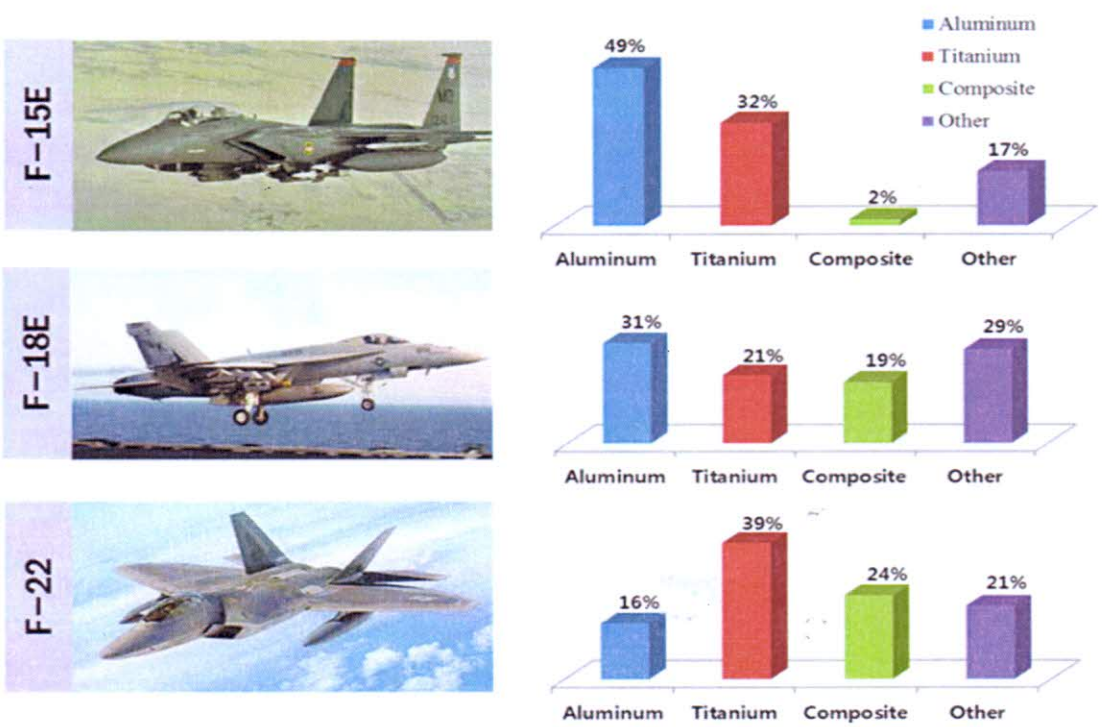
- منخفضة الوزن .
- متوافرة بأي طول ولا تحتاج لوصلات .
- سهلة النقل (لفات) .
- ألواح لا تحتاج إلي تحضير .
- تداخلات الصفائح وتقاطعاتها بسيطة .
- إقتصادية في التركيب فلا تحتاج إلي أجهزة في التركيب أو أيدي عاملة كثيرة .
- متوفرة بمعاملات مرونة مختلفة .
- مقاومتها ممتازة للإجهاد .
- يمكن الطلاء فوقها دون الحاجة للتحضير المسبق .
- مقاومة للقلويات .

أما المادة اللاصقة اللازمة من أجل اللصق غالبا تعطي الشركات المصنعة لها جميع التوصيات اللازمة لطريقة تنفيذها كنسب المواد وطريقة المزج واللصق والتركيب .

التطبيقات :

1. الطائرات الحربية:

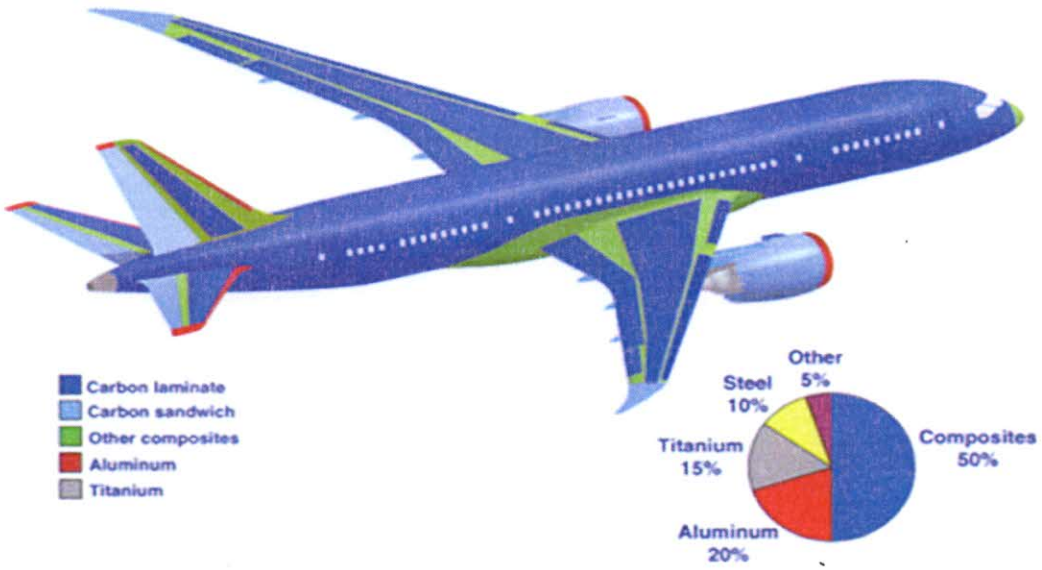
بدأ إستخدام المواد المركبة في مجال الطيران الحربي في المقاتلات الامريكية من طراز F-15E بنسبة لا تتجاوز ال2% ثم زادت نسبة إستخدام المواد المركبة في الموديلات اللاحقة حتي وصلت 24% في المقاتلة من طراز F-22 لما توفره من مميزات لتقليل الوزن وزيادة المتانة و الإعتمادية و قلة تكلفة الصيانة وكان التركيز بصورة أساسية علي ألياف الكربون المقوي بالإيبوكسي ، والشكل (3.5) يبين نسبة المواد المركبة إلي المواد الأخري حسب طراز الطائرة .



الشكل (3.5)

2. النقل الجوي :

جاء أول إستخدام للمواد المركبة في النقل الجوي بصورة واضحة في الطائرة من نوع بوينج 787 وذلك من خلال تسخير مزايا استخدام المواد المركبة لتوفير تجربة أفضل للمسافرين وشركات الطيران والبيئة .



الشكل (3.6)

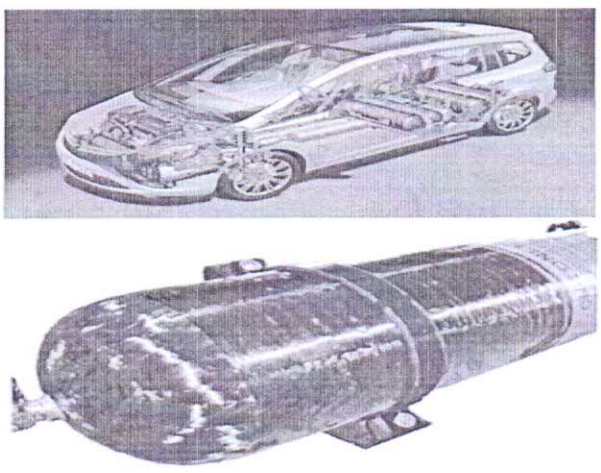
وكانت بوينج أول طائرة يتم بناؤها باستخدام أجزاء شبيهة بالبراميل مصنوعة من المواد المركبة ، دون استخدام الصفائح التقليدية المصنوعة من الألومنيوم وبالتالي الاستغناء عن آلاف المسامير اللازمة لتثبيتها . ويتم بناء 50% من الطائرة باستخدام المواد المركبة المتطورة، فيما تم صنع 15% من الطائرة باستخدام التيتانيوم. في الحقيقة، 20% فقط من هيكل الطائرة من الألومنيوم ، وهو أحد العوامل العديدة التي سمحت بتقليل التكلفة التشغيلية للطائرات بشكل كبير، وذلك بفضل تخفيض الحاجة لإجراء الصيانة وتحسين استخدام الوقود، فضلاً عن زيادة العوائد ، والشكل (3.6) يبين نسبة المواد المركبة إلي المواد الأخري في الطائرة بوينج 787 .

3. المنتجات الرياضية :

إن تطبيقات ألياف الكربون في المنتجات الرياضية تمتد من تقوية أحذية الجري إلى عصا الهوكي، بالإضافة الى مضارب التنس والغولف، قوارب سباق التجديف مصنوعة من ألياف الكربون، كما أن العديد من الأرواح أنقذت في سباقات الدرجات النارية بفضل ألبستهم المقواة بألياف الكربون. تستعمل أيضاً في خوذ الحماية لمتسلقي الجبال، راكبي الأحصنة، ومتسابقي الدراجات النارية.

4. صناعة السيارات :

إستخدمت المواد المركبة بكثرة في سيارات السباق التي تتطلب متانة عالية و خفة في الوزن في صناعة أجزاء السيارة الداخلية و هيكل السيارة .



الشكل (3.7)

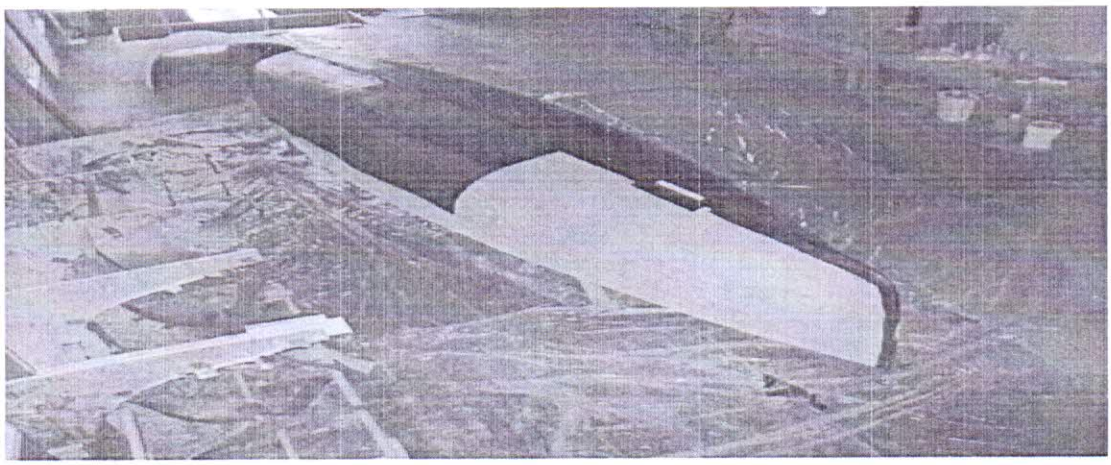
كذلك أستخدمت في صناعة أسطوانة الغاز المضغوط في السيارات التي تعمل بالغاز لتقليل وزن السيارة وبالتالي تقليل نسبة إستهلاك الوقود و تقليل إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون والشكل (3.7) يبين أسطوانات الغاز المصنوعة من المواد المركبة .

5. في الهندسة المدنية :

العديد من تطبيقات الهندسة الإنشائية تستخدم البولميرات المسلحة بألياف الكربون لفوائدها الجمة وتكلفتها المعقولة. وخصوصاً في تقوية المنشآت المصنوعة من الخرسانة، الحديد، الخشب، البلوك، وحديد الزهر. حيث يتم تقوية بعض المنشآت لزيادة قدرتها على التحمل، ولتحسين مقاومة القص والإنعطاف في المنشآت الخرسانية. كذلك تتضمن بعض التطبيقات الأخرى إستبدال حديد التسليح ، المواد مسبقة الاجهاد، وتقوية الحواجز المعدنية.

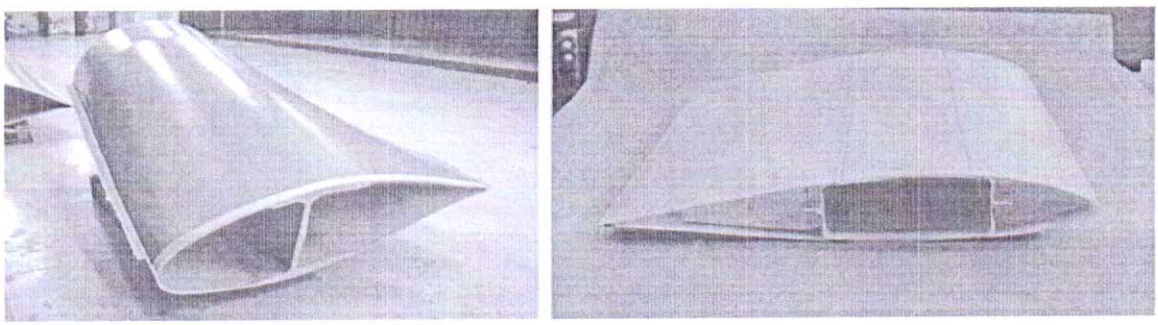
6. القطاع البحري :

أستخدمت المواد المركبة بصورة عامة و ألياف الكربون بصورة خاصة في قطاع البحرية لمقاومته العالية للظروف البيئية للبحر ، في بناء هياكل السفن ، شكل (3.8) .



الشكل (3.8)

* كذلك في بناء ريش توربينات الرياح لمقابلة متطلبات خفة الوزن و الصلابة ومقاومة التآكل خلال سنوات الخدمة ، شكل (3.9) .



الشكل (3.9)

خواص ألياف الكربون :

1. **صلابة عالية بالنسبة للوزن:** معدل صلابة مادة ، هي القوة في وحدة المساحة عند الانهيار مقسومة على الكثافة ، كلما كانت المادة صلبة وخفيفة كان معدل صلابتها الى وزنها أفضل .
2. **قساوة كبيرة جداً:** تقاس القساوة بواسطة معامل يونغ ، وتقيس مدى الترخيم في المادة تحت تأثير الاجهادات . يذكر أن قساوة ألياف الكربون أعلى مرتين ونصف من الألمنيوم.
3. **مقاومة للتآكل ومستقرة كيميائياً:** ولكن على الرغم من عدم تأثر ألياف الكربون نفسها، قد تحتاج المواد الأخرى الداخلة معها للحماية.
4. **ناقلة للكهرباء** : هذه الخاصية يمكن أن تكون مفيدة ومزعجة في آن واحد .
5. **مقاومة للإجهادات** : ولكن عندما تنهار ألياف الكربون فإن انهيارها يكون بدون سابق إنذار.
6. **مقاومتها للشد** .
7. **مقاومة للحرائق (غير قابلة للاشتعال)** .
8. **قابلية ألياف الكربون لتوصيل الحرارة** : وهي كمية الحرارة المارة عبر سمك المادة، بشكل عمودي على مساحتها، وبسبب تعدد أنواع ألياف الكربون فإنه من غير الممكن تحديد مدى قابليتها لنقل الحرارة ، ولكن يوجد بعض الأنواع التي تصمم خصيصاً لتكون ذات ناقلية عالية أو منخفضة .
9. **معامل تمددها الحراري منخفض** .

2.الألياف الزجاجية (Fiber glass):

هو زجاج على شكل ألياف دقيقة (خيوط). وهذه الألياف قد تكون أدق من الشعر البشري بمرات كثيرة، وهي في مظهرها وملمسها كالحرير. والألياف الزجاجية المرنة أقوى من الصلب ولا تحترق أو تتمدد أو تصدأ أو تبهت.

نبذة تاريخية :

استخدم المصريون في عصور ما قبل الميلاد الألياف الزجاجية الخشنة لأغراض الزخرفة وقد عرض صاحب مصانع الزجاج الأمريكي، إدوارد درموند ليبي ثوباً مصنوعاً من الزجاج والحرير، وذلك في المعرض الكولومبي في شيكاغو عام 1893 م وخلال الحرب العالمية الأولى صُنعت الألياف الزجاجية في ألمانيا كبديل لمادة الحرير الصخري.

وأخيراً، وعبر تجارب أجريت من عام1931 م إلى عام1939 م ، تمكنت شركتان أمريكيتان هما شركة زجاج إيلينوي أوينز، وشركة كورننج للأعمال الزجاجية من تطوير طرق عملية لصناعة الألياف الزجاجية بكميات تجارية .

صناعة الألياف الزجاجية :

تُصْنع هذه الألياف من الرمل، وبعض المواد الخام الأخرى المستعملة في صناعة الزجاج العادي. وخيوط الألياف الزجاجية قد تكون مصنوعة بطرق مختلفة. ففي إحدى طرق صناعة الألياف الزجاجية، تُسخن المواد الخام وتُشَكَّل في هيئة قِطَع زجاجية كروية صغيرة، ويُقوم العُمَال بفحصها للتأكد من نقائها. ثم تصهر الكُريات الزجاجية في فرن كهربائي خاص، وينساب الزجاج المصهور، عبر ثقوب صغيرة جداً في قاع الفرن، حيث يسقط على أسطوانة تدور منطوية على مكوكات، كما تُطوى الخيوط على البكرات. ولأن الأسطوانة تدور بسرعة أكبر من السرعة التي ينساب بها الزجاج فإن هناك شَدَّاد، يشد الألياف ويطيلها إلى أن تتخذ شكل حبال دقيقة ثابتة. وتستطيع الأسطوانة أن تسحب 3,2 كم من الألياف في الدقيقة الواحدة. ويمكن سحب أكثر من 150كم من الألياف من كرية زجاجية واحدة ذات قطر طوله 16مم. ويُمكن لف الألياف معاً في شكل خيوط وحبال، كما يمكن غزل الخيوط في نسيج وشرائط وأنواع أخرى من الأقمشة. وهناك طريقة أخرى تسمى عملية الصهر المباشر، وفيها تُحذف خطوات صناعة الكريات الزجاجية.

تصنع كُتل الألياف الزجاجية أو صوف الألياف الزجاجية بطريقة مختلفة نوعاً ما. ففيها يصهر الرمل والمواد الخام الأخرى في فرن، وينساب الزجاج المصهور عبر ثقوب صغيرة في الفرن. ويقابل الزجاج المصهور ضغط عالٍ منفوث من البخار، يسحبه إلى ألياف دقيقة يتراوح طولها بين 20 و 38 سم. وتُجمَع الألياف على حزام ناقل في شكل كتلة بيضاء شبيهة بالصوف.

مميزات الالياف الزجاجية :

a. ذات تكلفة منخفضة .
b. المتانة العالية .

محدداتها :

a. لها مقاومة ضعيفة للخدش .
b. لها قدرة إلتصاق ضعيفة مع بعض المواد المركبة البوليميرية .
c. تنخفض قدرة إلتصاقها في البيئة الرطوبية .

التطبيقات :

يَستعْمِل المصنعون الألياف الزجاجية في صناعة أنواع مختلفة من المنتجات . تغزل الألياف الزجاجية في شكل قماش، ليُصنَع منها مُنتجات مثل الستائر ومفارش المناضد .والقماش المصنوع منها لاتتغير ميزاته بعد صبغه، فلايتجعد ولايتسخ بسهولة، ولايحتاج إلى كي بعد الغسل. وكذلك تُستعْمَل الأنسجة المصنوعة من الألياف الزجاجية في عمليات العزل الكهربائي .

وتستخدم الألياف الزجاجية على شكل واسع في مرشحات الهواء، وفي العزل الحراري والصوتي، لأن الهواء المحجوز بين الألياف يجعل منها مادة عازلة جيدة .

ولدائن الألياف الزجاجية المقوّاة متينة جداً وخفيفة الوزن، ويمكن صياغتها في قوالب وتشكيلها وصَبِّها لاستعمالات مختلفة. ويَستعْمِل المُصنعون لدائن الألياف الزجاجية المقوّاة في صناعة هياكل السيارات والقوارب، وفي إطارات النوافذ وصنانير صيد السمك، وأجزاء من المَرْكبات الفضائية. والألياف المُستعملة لتقوية اللدائن من الممكن أن تكون مغزولة معها أو مخلوطة بها أو مجدولة في خيوط منفردة. وبناء على الشكل المستعمل منها، يتوقف نوع وسعر المنتجات النهائية.

ii. اللدائن المقواة بألياف طبيعية :-

المعروف أن اللدائن (plastics) أو البوليمرات (polymers) تنقسم إلى نوعين: لدائن التصلد الحراري (thermosets) ، وهذه تتصلد وتأخذ شكلها النهائي عند تشكيلها لأول مرة ولا يمكن إعادة تشكيلها بالتسخين، ولدائن حرارية (thermoplastics) وهذه يمكن إعادة تشكيلها بإعادة التسخين.

كانت نقطة البداية لإنتاج مواد مركبة هي استخدام اللدائن الحرارية مثل البولي بروبيلين (PP) (polypropylene), والبولي أولوفين (polyolefin)، والبولي إثيلين (polyethylene)، والبولي فينيل كلورايد (, PVC) (polyvinylchloride)، مع ألياف من أصل نباتي وقابلة للتحلل حيوياً .

في بداية التطور في مجال اللدائن المقواة بالألياف الطبيعية استخدمت نشارة الخشب أو الألياف الخشبية الناتجة من المنتجات الخشبية المستعملة مثل الأثاث القديمة أو صناديق التعبئة الخشبية أو بقايا الأخشاب المستخدم في الإنشاءات، وذلك كحشوة لمادة (PVC) وهذه المواد المركبة تسمى الخشب البلاستيكي، وتكون نسبة الخشب فيها بين ثلاثين وسبعين في المائة .ويمكن أن تستخدم في إطارات الأبواب والنوافذ وهياكل

السيارات، وقطع الأثاث، حيث لا تتعرض كل هذه المنتجات إلى إجهادات عالية أثناء الاستخدام،مما يسهل إستخدام مواد لدنة معاد تصنيعها، وهذا يعطي حلاً جزئياً لمشكلة النفايات للمواد اللدنة ذات الأصل البترولي.

وبسبب وجود التقنية والآلات لمزج وتشكيل وتصنيع هذه المواد فإن المواد المركبة ذات اللدائن الحرارية، كالخشب البلاستيكي، هي مواد سهلة التصنيع. وقد نما سوق هذه المواد المركبة بشدة في السنوات القليلة الماضية. وكذلك استخدمت ألياف الخشب ونشارة الخشب مع راتنجات من عدة أنواع لإنتاج ألواح من الألياف متوسطة الكثافة، كبديل عن الخشب، وهذه يدخل في تركيبها نفايات الخشب بشكل أساسي. وفي الهند يُستخدم بقايا قصب السكر لإنتاج ألواح مماثلة من الألياف.

والألياف الطبيعية من أصل نباتي معروفة من قديم في صناعة الحبال والخيوط وأشرعة السفن. ويُحصل عليها من ساق النباتات أو من أوراقها، وهي بالتالي متجددة سنوياً، بل إن الخيزران مثلاً متجدد كل بضعةأشهر، في حين أن خشب الأشجار لا يتجدد إلا كل حوالي عشرين سنة حتى يمكن قطعه والاستفادة منه وهذا يعني أن الألياف الطبيعية متوفرة باستمرار على مدار العام وهي بالإضافة لذلك رخيصة الثمن.

الجدول (3.4) : يوضح متوسط خواص الألياف الطبيعية مقارنة بألياف المواد المركبة المتقدمة .

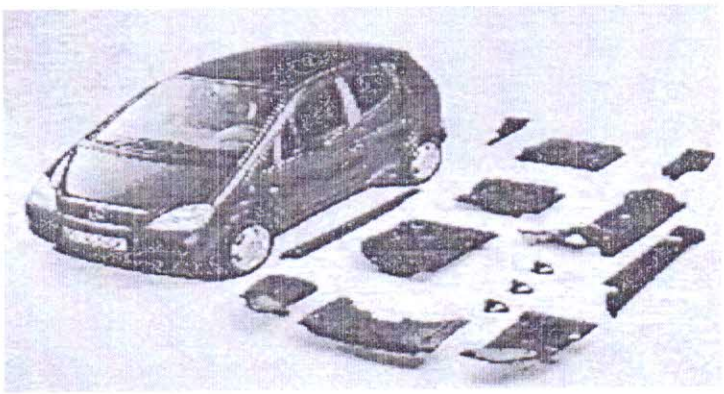
الألياف	الوزن النوعي w kN/m^3	الانفعال عند الانكسار %	مقاومة الانكسار σ_u MPa	المقاومة النوعية σ_u/w km	معامل المرونة E GPa	الجسوءة النوعية E/w Mm
القطن Cotton	14.7	7.5	442	30.1	8	0.54
الجوت Jute	12.7	1.6	583	45.7	26	2.04
الكتان Flax	14.7	2.9	690	46.9	40	2.72
القنب Hemp		1.6	690			
السيزال Sisal	14.7	2.2	573	38.9	15	1.02
ليف جوز الهند Coir	11.8	30	175	14.9	5	0.42
الخيزران Bamboo	7.8		695	88.6	68	8.66
الخشب المرن Soft wood	14.7		1000	67.9	40	2.72
الأناناس Pineapple		1.6	1020		58	
قنب سيام Ramie	14.7	3.7	669	45.5	95	6.46
لب شجر الصنوبر Spruce pulp	5.9		1350	229.4	45	7.65
ألياف الزجاج E-glass	25.5		3000	117.6	72	2.82
ألياف الكفلار Kevlar 49	14.1		3900	276.1	131	9.27
ألياف الكربون Carbon	17.2		3000	174.8	235	13.69
ألياف بولي بروبيلين Polypropylene, PP	9		650	72.2	18	2

ويبين الجدول (3.4) بعض الألياف النباتية مع خواصها مقارنة بالألياف المستخدمة في المواد المركبة المتقدمة (وهي المصنوعة من الألياف عالية الأداء كألياف الكربون والكفلار والبورون .. الخ) وواضح من الجدول أن الألياف الطبيعية ليست لها مقاومة كمقاومة ألياف الكربون أو ألياف الكفلار لكن

بعضها لها جساءة أكبر من جساءة ألياف الزجاج ، وبعضها لها مقاومة نوعية (مقاومة مقسومة على الكثافة) أكبر من المقاومة النوعية لألياف الزجاج . أما عندما نتحدث عن الكلفة فإن كلفة إنتاج ألياف الزجاج تصل إلى ثلاثة أضعاف كلفة إنتاج الألياف الطبيعية ، وكلفة إنتاج ألياف الكربون تصل إلى ثلاثين ضعفاً .

وبالمقارنة مع ألياف الزجاج فإن الألياف الطبيعية المجوفة وذات المسامات لها خواص عزل أفضل ضد الصوت والحرارة . وهذا مهم في تطبيقات بعينها كما في السيارات (الصفائح الداخلية للأبواب ، والصفائح الداخلية للسقف ، والصفائح الفاصلة بين المحرك ومقصورة الركاب ، ولوحة أجهزة القياس) . علماً بأن صفائح مصنوعة من الألياف الطبيعية ومادة (pvc) أو غيرها من اللدائن الحرارية دخلت الاستخدام في كثير من السيارات ومازالت الأبحاث جارية لاستخدامها في تطبيقات أخرى.

ومن المنافع البيئية للألياف الطبيعية أنها ينبعث منها كمية من ثاني أكسيد الكربون عندما تتحلل أقل من تلك الكمية التي يمتصها النبات خلال مرحلة الزراعة، في حين أن إنتاج ألياف الزجاج والكربون والأراميد يؤدي إلى توليد غاز ثاني أكسيد الكربون الذي ينفلت في الجو مع أكاسيد النتروجين والكبريت والغبار، وكلها مضرة بالصحة والألياف الطبيعية لا تسبب الحكة ولا تخدش أدوات الإنتاج وآلات التصنيع، وزراعة محاصيلها سهلة ولا تستهلك مساحة كبيرة من الأرض . إن منافع الألياف الطبيعية ليست بيئية فقط وإنما لها خواص فيزيائية وميكانيكية جيدة. وتُستخدم اللدائن المقواة بالألياف الطبيعية في صناعة الأجزاء غير الإنشائية في السيارات منذ فترة ، فالسيارة الموضحة استُخدمت فيها لدائن مقواة بألياف الجوت (الجوت أو القنب الهندي هو نبات ينمو في المناطق الإستوائية والموسمية ويتميز بألياف وهو من فئة الشجيرات) وذلك في الصفائح الداخلية للأبواب . والجوت له مواصفات جيدة لأن اللحاء فيه ذو ألياف مماثلة لألياف لحاء الأشجار . واستخدمت فيها أيضاً ألياف الكتان مع (PP) في بعض القطع السفلية في السيارة.



الشكل (3.10) : سيارة تُستخدم فيها لدائن مقواة بألياف طبيعية

والمادة المركبة من ألياف الكتان مع (PP) مادة قابلة للتدوير وإعادة التصنيع وإعادة الاستخدام . ويمكن استخدام المادة المعاد تدويرها في تصنيع الأجزاء بواسطة القولبة بالحقن(molding injection). أما الكلفة فهي منخفضة .

وهذه المادة تحقق متطلبات السلامة وهي مادة مقاومة للخدش ولا تتطلب عمليات تشطيب نهائي لأن منظرها جميل وتتوفر بألوان مختلفة ، ويتوقع لها أن تنتشر انتشارا واسعا في كل القطع الداخلية في السيارات التي تتطلب منظراً أنيقاً .

غير أن الألياف الطبيعية لا يمكن استخدامها بشكلها الطبيعي. فالألياف السيلولوزية يجب فصلها عن الراتنج البكتيني (resin pectin) الذي يربطها بقلب الساق الخشبي للنبات ، وكذلك لابد من فصل الألياف عن بعضها لزيادة مساحة السطح من أجل عملية الالتصاق بالمادة الرابطة في المادة المركبة . وهناك عدة طرق لعملية الفصل ، وقد يتم إخضاع الألياف لعمليات معالجة لتعزيز عملية الالتصاق باللدائن في المادة المركبة ، وهناك عدة طرق للمعالجة ، والألياف الطبيعية يمكن تصنيعها بشكل نسيج أو غير ذلك مما هو معروف في ألياف الزجاج بحيث تكون جاهزة للتصنيع .

الجبص :

هو مادة صلبة مكونة من ثنائي هيدرات كبريتات الكالسيوم ، من الخامات المتوفرة بكثرة في الأرض وهو أكثر معدن كبريتي منتشر في الطبيعة بأحد شكليه المعدني أو صخر رسوبي وهو يتداخل مع معدن الأنهدريت ، (كبريتات الكالسيوم اللامائية) . ويتواجد مع الطين والحجر الجيري وهو ذو لون رمادي أو أبيض ، وقد يكون وجوده على سطح الأرض أو على أعماق قد تصل إلى 350 متر .

أنواع الجبص :

للجبص نوعان حسب طريقة تكوينه :

- الجبص الطبيعي : يوجد الجبص الطبيعي مع الصخر الملحي على شكل أجسام مسطحة أو كتل ليفية تتطابق مع الحجر الجيري أو الحجر الرملي أو الطين أو على هيئة رواسب ذات طبقات سميكة واسعة الامتداد بشكل اجسام عدسية – بلورات أحادية طويلة ذات شكل منشوري .
- الجبص الصناعي : بعد إستخراج الجبص (الخام الطبيعي) إما باستعمال المتفجرات أو آلياً .

ومن أجل صناعة الجبص نقوم بـ : تكسير الخامات المستخرجة إلى قطع صغيرة على مرحلتين :

1. تكسير أولي لإنقاص الحجم إلى قطع صغيرة .
2. تكسير ثانوي ليصبح بحجم العدسات وتخزن بالمستودعات لإرساله إلى المحمصة فيما بعد .

ويستخرج الجبص بعد أن يغسل ويغربل ونفصل الشوائب عنه ومن بعدها يجفف .

بعد ذلك كله يرسل إلى التحميص ويوضع في الفرن عند درجة حرارة 130 درجة مئوية ويبقى في الفرن لفترة كافية ريثما يطرد (4/3) الماء الذي بداخله ، وعندها يظهر عندنا نوعان من الجبص :

1. جبص ألفا نصف مائي .
2. جبص بيتا نصف مائي .

حيث يتلاقى النوعان في التبلور ولكن جبص ألفا أقل قابلية للتفاعل والذوبان لذلك يتطلب كمية كبيرة من الماء وفترة زمنية أطول للتصلب وهو الأكثر رواجاً واستخداماً وإنتاجاً .

بعد التحميص يرسل الجبص إلى المطاحن ليتم طحنه حسب الطلب ويرسل إلى مستودعات خاصة لكي يتم تعبئته بأكياس خاصة ، وذلك بعد أن تؤخذ منه عينات وإجراء الاختبارات لمعرفة النقاوة وزمن التصلب وقوة الدق وأنواع الشوائب ونسبتها ليتم التصنيف .

أغاف سيزال (ألياف الكتان) :

الاسم العلمي (Agave sisalana) وهو نوع من النباتات يتبع جنس الأغاف من الفصيلة الهليونية . تستعمل كلمة السيزال للتعبير عن عدد من نباتات الفصيلة الصبارية التي تستخرج الألياف من أوراقها والموطن الأصلي هو دول الكاريبي ومنها إلى أنحاء العالم وينمو النبات في المناطق الرطبة الحارة وتستخدم مع الجبص كمادة أساسية لتعطي منتج مركب .

البنية النباتية :

نبات له جذع غليظ وقصير مع هالة كبيرة من الأوراق السميكة ، شكل المقطع العرضي للورقة مقعر وهي مكونة من عدة طبقات : البشرة الخارجية والقشرة والأنسجة النباتية . وتكون الألياف حول أوعية الورقة على شكل منجلي . فور قطع الأوراق تفصل الألياف والشعيرات من المواد اللاصقة ثم تجفف بعد غسيلها ومعالجتها بشكل جيد بالمواد الكيميائية ، طول الليف يتراوح بين 100–125 cm . حيث تستخدم هذه الألياف مع الجبص لتقويته وإعطائه متانه وقوة شد عاليتين .

إستخدامات الجبص :

يستخدم الجبص كجبيرة للاطراف المكسورة ، وفي الأسقف المستعارة و في أعمال الديكور والتزيين الداخلية . ويستخدم كذلك بدلاً من الطينة الإسمنتية .

المنتجات الجبصية :

1- ألواح جبصية كرتونية ، ألواح جبصية ليفية ، بلاطات تسوية .
2- أجزاء بنائية إنشائية ، بلوك جبصي ، قواطع جدارية ، بلاطات بيتونية جبصية ، قواطع للغرف الصحية .
3- منتجات خاصة ، ألواح عازلة للصوت و للحرارة، منتجات ذات بنية مسامية .

مميزاته :

i. العزل الصوتي و الحراري .
ii. المقاومة الجيدة للحريق .
iii. الوزن الحجمي الصغير .
iv. سهولة التعامل معه و سرعة في الإنجاز .
v. جودة عالية في التصنيع .
vi. كلفة إنتاجه أقل من كلفة إنتاج غيره من المواد الرابطة .

بعض محددات اللدائن المقواة بألياف طبيعية :-

1. مقاومة الصدم والحريق منخفضة .
2. يمكن ان تكون خواصها منخفضة اذا لم تلتصق الالياف بالراتنجات بشكل جيد .
3. لا تتحمل درجات الحرارة المرتفعة .
4. يمكن ان تتحلل خلال عملية التصنيع أو في فترة الاستخدام .

وفي الجدول (3.5) مقارنة بين خواص ألياف الزجاج وألياف الكتان بشكل مركب القولبة (SMC) (molding compound) والنتائج مشجعة لاسيما عند استخدام الألياف الطبيعية الطويلة ، لكن مقاومة الصدم مازالت نقطة حساسة في المواد المركبة ذات الألياف الطبيعية . كما تركز الأبحاث على خواص

الترابط بين الألياف والمادة الراتنجية أو الرابطة . وقد أدت معالجة الألياف ببعض المواد إلى تحسين الالتصاق بين الألياف والراتنج وتضاعفت مقاومة القص بين الطبقات .

الجدول (3.5) مقارنة بين خواص ألياف الزجاج وألياف الكتان بشكل مركب القولبة (SMC)

الخواص	ألياف زجاج بنسبة 20% وزنا (15% حجما)	ألياف كتان بطول 25 مم و نسبة 21% وزنا (22% حجما)
جساءة الشد (Gpa)	8.5	11
مقاومة الشد (Mpa)	95	80
جساءة الانحناء (Gpa)	10	13
مقاومة الانحناء (Mpa)	125	144
مقاومة الصدم $(\frac{KJ}{m^2})$	50	22

وهذا أدى إلى زيادة في مقاومة المادة المركبة بمقدار 250% وزيادة في معامل المرونة بمقدار 500% في الاتجاه العرضي للألياف (transverse direction) أما في الاتجاه الطولي (longitudinal) فالزيادة 40% و 60% على التوالي . وهذه النتائج تبين أن لهذه المواد مستقبلا ممتازا .

3.5.2 المواد المركبة الحيوية (Biocomposites) :

برزت المواد المركبة الحيوية من الحاجة لمواد قابلة للتحول بعد انتهاء عمرها الافتراضي لتكون صديقة للبيئة ، وتتألف هذه المواد من ألياف طبيعية مغمورة في مواد مبلمَرة حيوية . وكان طبيعيا أن يتم اختيار ألياف التقوية من مواد ذات أصل نباتي ، وهذه الألياف السيلولوزية تتوفر في معظم بلدان العالم .

بعض خواص المواد المركبة الحيوية :

1. قابلة للإحنراق بعد إنتهاء عمرها الإفتراضي المصممة له .
2. عازلة للحرارة والصوت .
3. خفيفة الوزن .
4. رخيصة الكلفة نسبيا .
5. لا تخدش أدوات الإنتاج .

صحيح أن هذه المواد ليست ذات خواص عالية كالمواد المركبة المتقدمة ، لكن كثيرا من التطبيقات التي تستخدم فيها المواد المركبة لا تتطلب خواصا ميكانيكية عالية . وإختيار الألياف المناسبة يعتمد على قيم المقاومة والجساءة المطلوبة من المادة المركبة .

هناك معايير أخرى تلعب دوراً في اختيار نوع الألياف مثل :

1. مقدار الانفعال (strain) عند الانكسار .
2. التوازن الحراري .
3. شدة التصاق الألياف بالمادة الرابطة .
4. سلوك المادة المركبة على المدى الطويل .
5. طرق التصنيع المناسبة وكلفة الإنتاج .

لكن تجدر الإشارة إلى أن الألياف الطبيعية يمكن أن تكون حيوانية المصدر، كالشعر والحرير والصوف والريش وهذه كلها تتألف من بروتينات . حيث يجب أن تكون المادة الرابطة حيوية أيضاً لتحقيق متطلبات البيئة بشكل كامل . وكما هو الحال في تصنيف البوليمرات ذات الأصل البتروكيميائي فإن البوليمرات الحيوية يمكن تقسيمها إلى لدائن حرارية ، ولدائن تصلد حراري .

* لدائن حرارية : يمكن إعادة تشكيلها بإعادة التسخين ، وقد تم تطويرها أساساً لصناعة التغليف ، وهي لا تملك المواصفات المناسبة لاستعمالها كمادة رابطة في المواد المركبة الحيوية .

* لدائن التصلد الحراري : فهي تتصلد ولا يمكن إعادة تشكيلها بإعادة التسخين فهي المناسبة ، لكن لا يتم تصنيعها كاملاً وإنما تكون مبلمَرة جزئياً ، وذلك لتتصلد بعد وضعها في المادة المركبة حيث يتم التصليد بالطرق المعروفة في صناعة المواد المركبة .

تُصنع لدائن التصلد الحراري الحيوية من الزيوت النباتية والدهون الحيوانية ، وتتم معالجتها بطرق مختلفة وإضافة مواد بتروكيميائية لتحسين خواصها .

المواد المركبة الخضراء عالية الكلفة، حيث أنه في الوقت الحاضر، تكلف الراتنجات القابلة للتحلل حيويا أكثر بكثير (3–5) مرات من الراتنجات المصنوعة من المواد اللدنة . لكن مع حصول المواد الخضراء على القبول وإزدياد إنتاجها فمن المتوقع أن تنخفض كلفة الإنتاج . ومن العوائق أيضا تغير مقاومة الألياف الطبيعية، فهي تتغير حسب قطر الألياف وعوامل أخرى مثل العوامل الزراعية. هذا إضافة إلى أن الألياف تكون في العادة ملتصقة وتحتاج لفصل قبل استخدامها. ومعظم الألياف الطبيعية تتشرب الرطوبة وبالتالي تنخفض

مقاومتها وخواصها الأخرى، ثم تنكمش عندما تجف . وإستمرار تشرب الرطوبة ثم الجفاف يخفض المقاومة ويؤثر على الإلتصاق بالراتنج ، وهذا بدوره يؤثر على المقاومة أيضاً. وهناك أبحاث حول معالجة الألياف لتقليل حساسيتها للرطوبة. وهناك عوائق تتعلق بدرجات الحرارة في أثناء التصنيع حيث لا تتحمل معظم الألياف الطبيعية درجات حرارة أكثر من 175 درجة مئوية لفترة طويلة ، وهذا يحد من إمكانية استخدامها مع اللدائن الحرارية. ومازال هناك الكثير مما يمكن عمله لتحسين خواص المواد المركبة المقواة بالألياف الطبيعية ولتصنيع منتجات تجارية ومن تطبيقات المواد المركبة الحيوية خوذة السلامة التي تشكل فيها المواد المركبة الحيوية أكثر من 85% ، وتحقق متطلبات السلامة حسب المقاييس الألمانية، وهي أخف بعشرة بالمائة من مثيلاتها المصنوعة من المواد اللدنة ومن التطبيقات أيضاً الصفائح الخاصة بمقاعد القطارات وهي أخف من مثيلاتها المصنوعة من اللدائن المقواة بألياف الزجاج بحوالي ثلاثين بالمائة .

3.5.3 المواد المركبة القابلة لإعادة الاستخدام (Recyclable Composites) :

وفي هذا المجال برزت مادة البولي بروبيلين (PP ,Polypropylene) التي يمكن إعادة تصنيعها وإعادة استخدامها. ومادة (PP) هي مادة مبلمَرة من نوع اللدائن الحرارية وغير قابلة للتحلل، ويمكن تقويتها بألياف من جنسها لتشكل مادة مركبة ولهذه المادة مزايا اقتصادية وبيئية أكثر من المواد المركبة المقواة بألياف الزجاج لأنها قابلة لإعادة الاستخدام. وعند إعادة تصنيعها فإن الناتج منها هو مادة (PP) نفسها والتي يمكن إعادة استخدامها كمادة مركبة أو كمادة رابطة. وقد أمكن تصنيع هذه المادة المركبة بصورة شريط تنتظم أليافه بشكل ممتاز مما يعني ارتفاع مقاومته وجساءته، ويغطي الألياف طبقة رقيقة من مادة (PP)، ويمكن استخدام الشريط لإنتاج المواد المركبة بعدة طرق منها الطرق الحرارية وطريقة لف الخيوط (filament winding) إن اللدائن الحرارية عامة يمكن صهرها بالتسخين وإعادة تشكيلها من جديد، لكن ذلك يبقى محدوداً بإمكانية فصل الألياف، وهو أمر صعب ، ولذا فقد بدأ الإتجاه نحو استخدام مواد مصنوعة من مادة واحدة ، ومن هنا برزت أهمية المادة المركبة كليا من (PP) وهذه المادة رخيصة ويمكن إعادة تصنيعها عدداً من المرات دون فقدان كبير لخواصها. إن إحدى القواعد المهمة في التصميم من أجل التدوير هو استخدام أقل عدد ممكن من العناصر المختلفة الداخلة في تركيب المواد .

وإضافة لخواص إعادة الاستخدام المهمة تمتاز ألياف (PP) عن ألياف الزجاج بأنها لا تسبب خدشاً في آلات التصنيع . وهي ذات كثافة منخفضة، مما يعني خفة وزن القطع المصنوعة منها . ومن حيث الخواص الميكانيكية فهي مادة مطيلية (ductile)، أي إذا انهارت فإن انهيارها مرن وليس متشظياً (splintered) ، مما يعني أنها أكثر أماناً من ألياف الزجاج في حالات الصدم. وهذا أمر مهم جداً في تصميم السيارات .

إن التحدي الأول الذي تواجهه هذه المادة هو الحصول على ألياف (PP) ذات أداء مرتفع من أجل الحصول على مادة مركبة كليا من (PP) تنافس اللدائن المقواة بألياف الزجاج . إن معامل المرونة لألياف (PP) المتوفرة تجارياً هو بحدود (3.5) جيجا باسكال، ولكن بحثاً مشتركاً بين بعض الجامعات والصناعة أدى إلى تحسين طرق الإنتاج بحيث وصل معامل المرونة إلى 18 جيجا باسكال .

أما التحدي الثاني فيكمن في تطوير طرق لإنتاج مادة مركبة كلياً من (PP) ، أي تطوير طريقة لدمج ألياف (PP) مع راتنج (PP) . وهو تحد لأن المادتين من تركيب كيميائي واحد ودرجة انصهار واحدة . ومن المهم أن تتم المحافظة على الألياف سليمة وفي الاتجاه المطلوب خلال عملية دمجها بالراتنج المنصهر . وإحدى الطرق المتبعة هي رفع درجة حرارة انصهار الألياف بإحدى الطرق المعروفة في تصنيع البوليمرات

والمسماة (fibers polymer oriented. constrained of behavior overheating) ، وهناك طريقة أخرى تقوم على إنتاج (PP) بشكل شريط بواسطة البثق مستخدمة نوعين من (PP) مختلفين في درجة حرارة الانصهار، ويتم سحب الشريط على البارد لتحسين الخواص الميكانيكية، ثم تتم عملية لصق الشرائط معاً. وهذه الشرائط تتألف من قلب من (PP) في اتجاه السحب ليعطي المقاومة والجساءة المطلوبين، ثم طبقة رقيقة غشائية من (PP) في اتجاه السحب ليعطي المقاومة والجساءة المطلوبين ، ثم طبقة رقيقة غشائية من (PP) ذات درجة انصهار أقل من القلب وتشكل المادة الرابطة . إن ميزة استخدام الشريط عوضا عن الألياف هي أن الشرائط مسطحة مما يسمح بزيادة نسبتها في المادة المركبة أكثر من الألياف ذات المقطع الدائري ، أي تسمح الشرائط بزيادة التقوية في المادة المركبة. وإضافة لذلك فإن الالتصاق بين القلب والطبقة الغشائية السطحية من المادة الرابطة أسرع بكثير من حالة الألياف، وبالتالي فإن نوعية المادة المركبة أفضل ، وتكون خالية من الفراغات. ورغم أن خواص شرائط (PP) أقل من خواص ألياف الزجاج إلا أن المادة المركبة كليا من (PP) تفوق في خواصها المادة المركبة من ألياف الزجاج مع اللدائن الحرارية ، وذلك بسبب أن الشرائط مستمرة ونسبة التقوية فيها أعلى. و يمكن تصنيع المادة المركبة كليا من (PP) بعدة طرق منها القولبة في قوالب أو التشكيل بالتفريغ (forming vacuum).

الفصل الرابع

دراسة حالات للمواد المركبة

الفصل الرابع

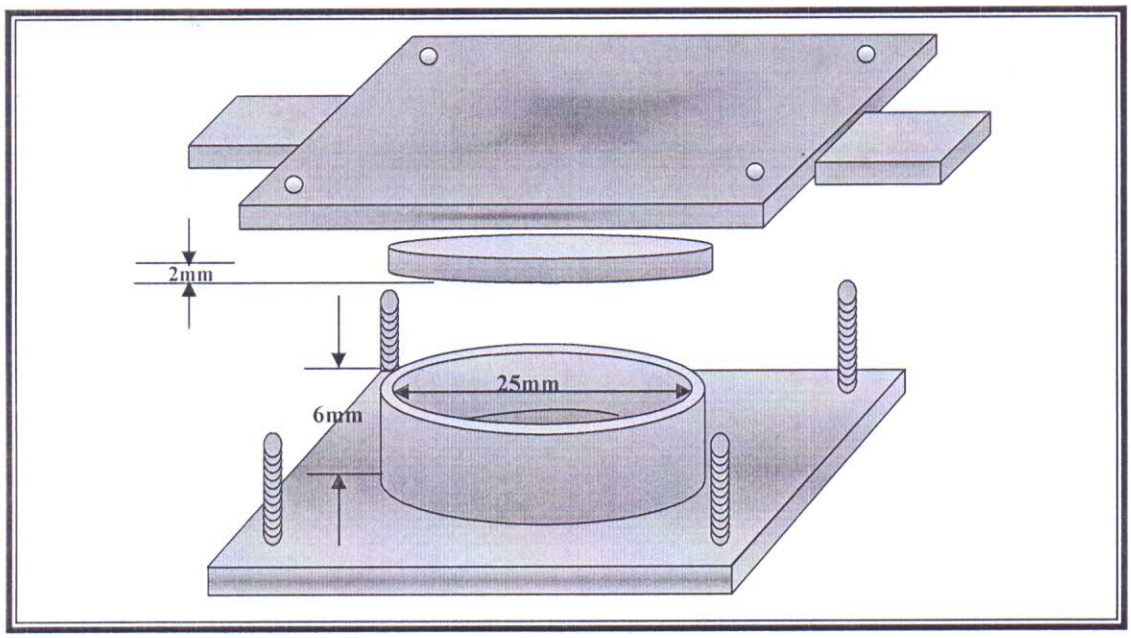
دراسة حالات للمواد المركبة

4.1 دراسة السلوك الحراري لمادة مركبة مكونة من راتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف النخيل وألياف الزجاج :

في هذا الفصل تم نسخ دراسة السلوك الحراري بتصرف لمادة مركبة مكونة من راتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف النخيل ومقارنتها مع مادة أُخرى مقواة بألياف الزجاج ثم جُمعَ بين هذين النوعين من الألياف لتكوين مادة مركبة هجينة وتم حساب مدى موصليتها الحرارية أيضاً، وقد تم إستخدام معادلة فورير لحساب معامل التوصيل الحراري للمادة المركبة الناتجة وكما موضح في المخططات التي تمثل علاقة معامل التوصيل الحراري مع درجة الحرارة.

4.1.1 الجزء العملي (Experimental Part) :

تم إستخدام القولبة اليدوية في تحضير نماذج الإختبار الثلاثة ، الأول مقوى بألياف النخيل ، والثاني بألياف الزجاج ، والنموذج الثالث مقوى بكلا النوعين من الألياف. تم تهيئة قطع دائرية من الألياف الزجاجية وألياف النخيل وبقطر (25mm) تلائم القالب المستخدم في تصنيع النماذج والمبين في الشكل رقم (4.1). يرش القالب بمادة بولي فنيل الكحول (polyvinyl Alcohol) الذي يسهل فصل النماذج من القالب .



الشكل (4.1)

القالب المستخدم في تصنيع نماذج إختبار الموصلية الحرارية

يتم إضافة المادة المعجلة إلى راتنج البولي أستر غير المشبع وتخلط جيداً معه تسمى هذه المادة (Cobalt Octoatel) والتي تحتوي على كوبالت فعال بنسبة (6%) بعدها تضاف إليه المادة المصلبة (MEKPO) وبنسبة (2%) .

توضع كمية من الراتنج على سطح القالب الداخلي وتنشر بفرشاة لضمان توزيعه بانتظام بعدها توضع الطبقة الأولى من الألياف ثم نضع كمية اخرى من الراتنج عليها وهكذا لبقية الطبقات لتتكون مادة مركبة بالسمك المطلوب وهو(4mm) ، ثم كبست هذه النماذج وتركت لتتصلب ، بعدها تم إخراجها من القالب ووضعت في فرن درجة حرارته (107°C) لإكمال التصلب .

4.1.2 إختبار الموصلية الحرارية (Thermal Conductivity Test):

تم إستخدام قانون فورير(Fourier Law) في حساب معامل المُوصِلية الحرارية (*k*) حيث ينص هذا القانون على:-

$$q = -k * A * \left(\frac{\Delta T}{\Delta X} \right)$$

.

حيث:-

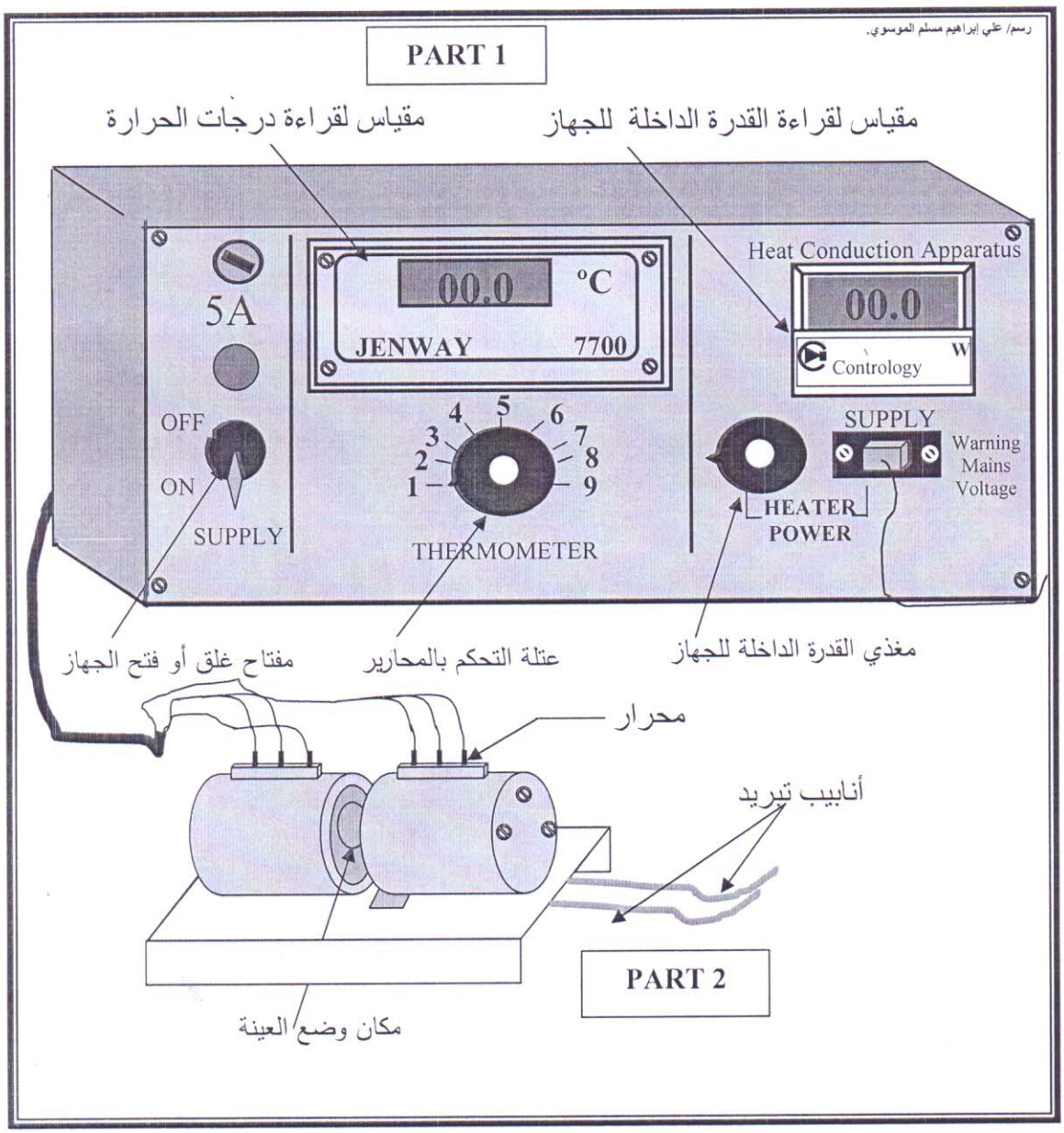
q= كمية الحرارة المارة بوحدة الزمن وتقاس بالواط (W).

k= معامل الموصلية الحرارية ويقاس بوحدات (W/m.°C).

A= مساحة مقطع انسياب الحرارة وتقاس بالمتر المربع (m^2).

$\left(\frac{\Delta T}{\Delta X} \right)$ = التدرج الحراري نسبة للمسافة ويقاس بوحدات (°C/m).

كذلك تم إستخدام جهاز قياس المُوصِلية الحرارية الموضح في الشكل رقم (4.2) لقياس الحرارة المنتقلة عبر العينة الموجودة داخل الجهاز حيث يتكون الجهاز من جزئين الأول(PART 1) هو خاص بتسليط القدرة الكهربائية وكذلك قياس درجات الحرارة أما الجزء الثاني (PART 2) فيحتوي على مكان وضع العينة وكذلك على المحارير الإليكترونية وأنابيب تبريد العينة .



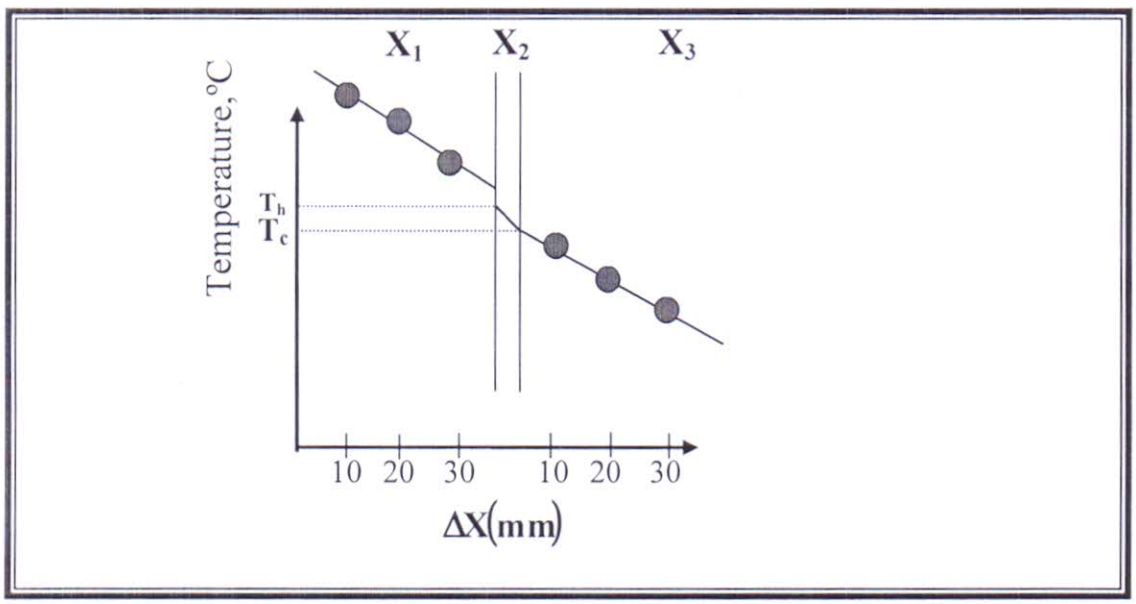
الشكل (4.2)

جهاز قياس الموصلية الحرارية

يعتمد الجهاز في مبدأ عمله على تسليط قدرة كهربائية تعمل على تسخين العينة الموجودة داخل الجهاز بعد ذلك تقوم المحارير الإلكترونية الموزعة على جانبي العينة وكل محرار يبعد عن الآخر بمسافة (10mm) تقوم بقياس التغير في درجات الحرارة على جانبي العينة ، ومن خلال درجات الحرارة التي يسجلها جهاز قياس الموصلية الحرارية يمكن رسم المنحني المبين في الشكل (4.3) والذي يبين كيفية حساب قيمة التدرج

الحراري($\Delta T/\Delta X$) الذي يطبق في معادلة فورير. تمثل (X3،X1) المسافة بين المحارير على جانبي العينة ، أما (X2) فتمثل سمك العينة .

العينات المستخدمة قرصية الشكل وبقطر (25mm) وبسمك (4mm) ، تم صبها في قالب له نفس الأبعاد حيث يخلط الراتنج مع المصلد جيداً ثم يصب الخليط في قالب ويترك ليتصلب بعدها توضع المادة المتصلبة في فرن درجة حرارته (107°C) لإكمال عملية التصلب .



الشكل (4.3)

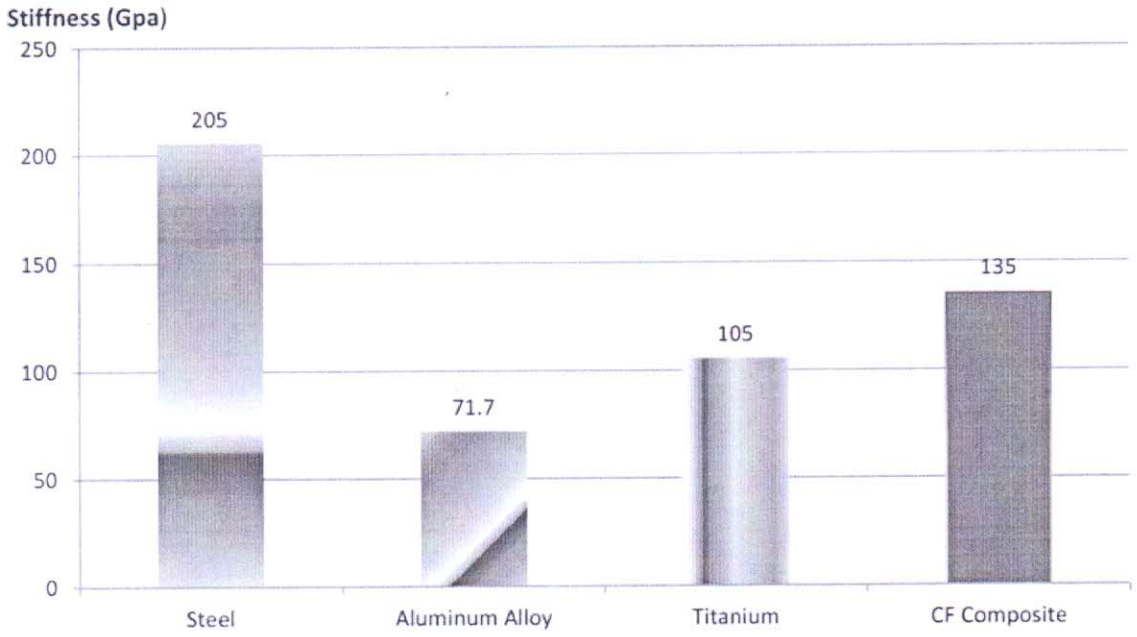
حساب قيمة التدرج الحرارى ($\Delta T/\Delta X$).

4.2 دراسة لدراجة مصنوعة من مواد مختلفة :

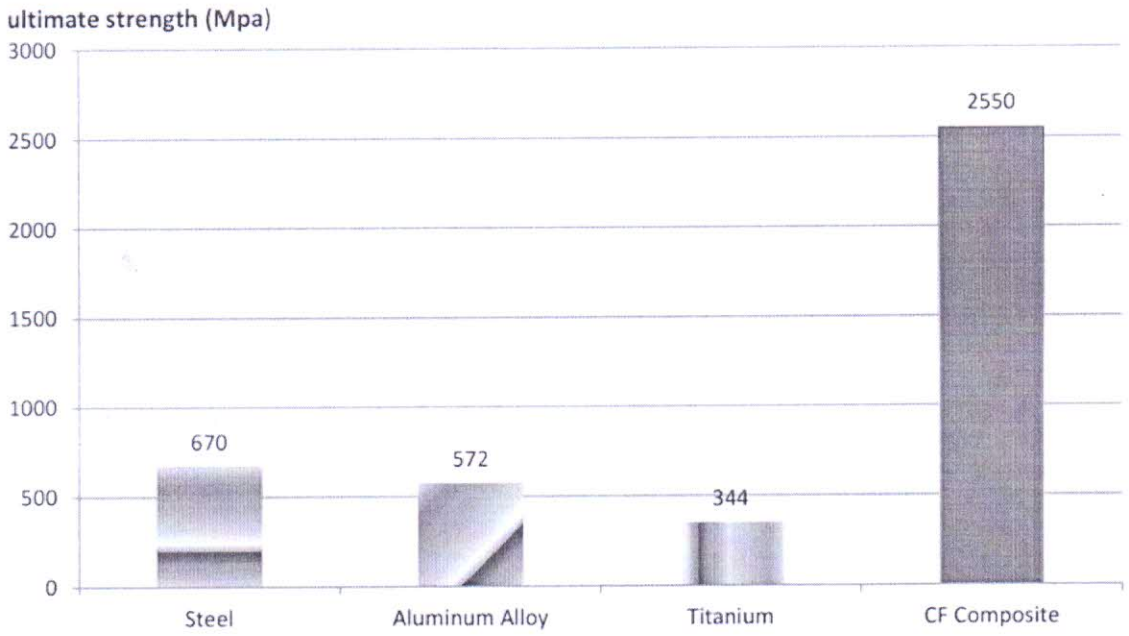
4.2.1 دراجة مصنوعة من الفولاذ :

يعتبر الفولاذ أكثر صلابة من المواد الثلاثة الأخري (سبيكة الألمونيوم ، التيتانيوم و ألياف الكربون) كما في المخطط (4.1) و أقوي من الألمونيوم والتيتانيوم و أقل قوة من ألياف الكربون كما يظهر في المخطط (4.2) . وستجد الكثير حول العالم من يؤمن باستخدام الفولاذ كهيكل مناسب للدراجات لعدة أسباب. ومن أهم الأسباب :

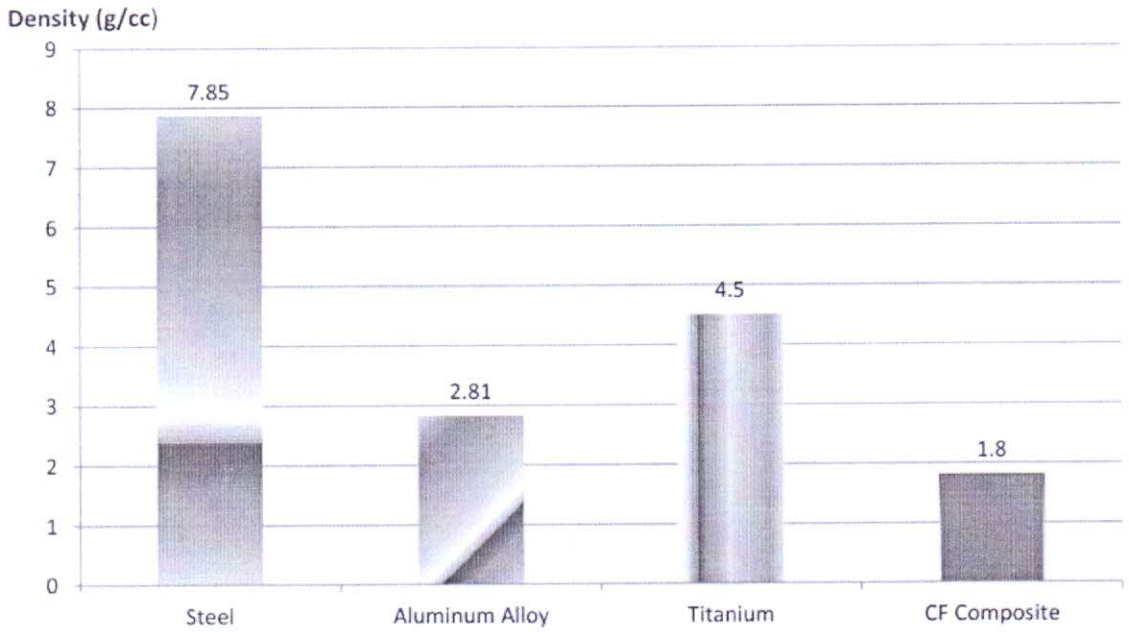
1. الفولاذ رخيص الثمن مقارنة بالمواد الأخرى ، قوي ويتحمل الأوزان ومرن ويتحمل اضطرابات الشارع ويمتصها.
2. و أيضا إحدى ميزاته أن عمره الافتراضي وقوة تحمله معروفة ومدروسة وليس عنصرا للمفاجأة .
3. وأضف إلى ذلك أن الهيكل الفولاذي من أفضل الهياكل إذا كنت ستستخدم الدراجة للرحلات . فأي حداد يستطيع إصلاح الهيكل الفولاذي في أي ورشة حدادة ، وهذه الورش منتشرة بكثرة . أما المواد الأخرى فسيكون إصلاحها إما باهظا أو صعبا .
4. كثافة الفولاذ عالية مما يجعله ثقيلا نوعا ما كما في المخطط (4.3) ، وقد يتعرض للتآكل أو التأكسد . فلا ينصح به في البيئة الممطرة ، لذلك يفضل في البلاد الجافة .
5. صلابة الفولاذ بالنسبة لوزنه أعلي من التيتانيوم و الالمونيوم و أقل من ألياف الكربون كما يظهر في المخطط (4.4) .
6. أما متانته بالنسبة لوزنه أعلي من التيتانيوم و أقل من الالمونيوم و ألياف الكربون كما في المخطط (4.5).



المخطط (4.1)



المخطط (4.2)

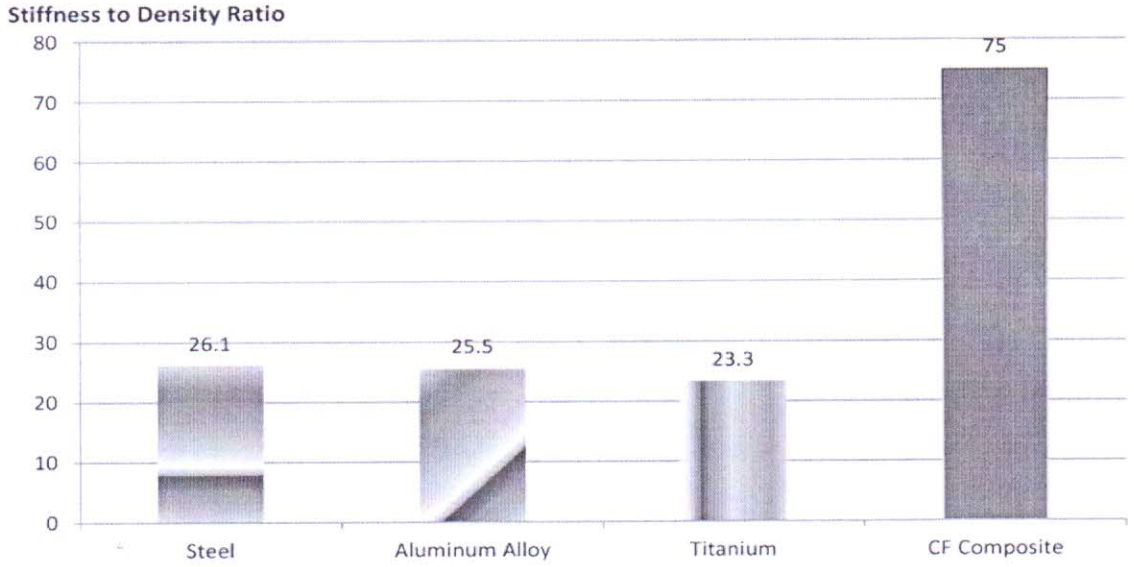


المخطط (4.3)

4.2.2 دراجة مصنوعة من الألمنيوم :

مادة أقل كثافة من الفولاذ و التيتانيوم كما يوضح المخطط (4.3) وأقل قوة أيضا ، و المخطط (4.2). لكن معدل القوة في مقابل الوزن يعد أفضل من الفولاذ و التيتانيوم ، [مخطط (4.5)]وسعره أغلى قليلا من الفولاذ وفي متناول الكثير . يمتاز بقساوته إذ أنه لايمتص صدمات الطريق ، وبمعنى آخر فإن طاقة الدراج بالضغط على الدواسة في حال صعود الجبل أو التسارع سينتقل مباشرة إلى العجلات والشارع .عيبه أنه لا توجد طريقة لقياس معدل التحمل ، فربما ينهار الهيكل فجأة دون معرفة دقيقة لعمر الألمنيوم ونقصد بالتحمل هو مدى قابلية الهيكلل تحمل ذبذبات التدرج والطريق والاصطدامات ، ونخص بالذكر هنا دراجات الجبل

وخاصة أنها عرضة للاصطدام بالصخور وغيرها. ومن عيوبه أيضا أن الهيكل لاتستطيع إصلاحه إذا أصابه الالتواء فإذا سقطت الدراجة بقوة قد يؤثر في الهيكل بشكل واضح ، ولا تستطيع إرجاعه كما كان ، فهو ليس كالفولاذ الذي تستطيع بقوة أن تجعله يرجع كما كان . أضف إلى ذلك أن دراجات الشارع المصنوعة من الألمنيوم ستكون قاسية على يدين الدراج ، إذ أن ذبذبات الطريق ستصل اليدين مباشرة ، وهذا سيؤلم اليدين بعد ساعة من التدرج أو أكثر. وهذا سبب للبس الواقي أوالقفاز اليدوي لدراجي الشارع. الكثير من هذه الهياكل اليوم تكون مزودة بشوكة أمامية من مادة الكربون لامتصاص ذبذبات الشارع .



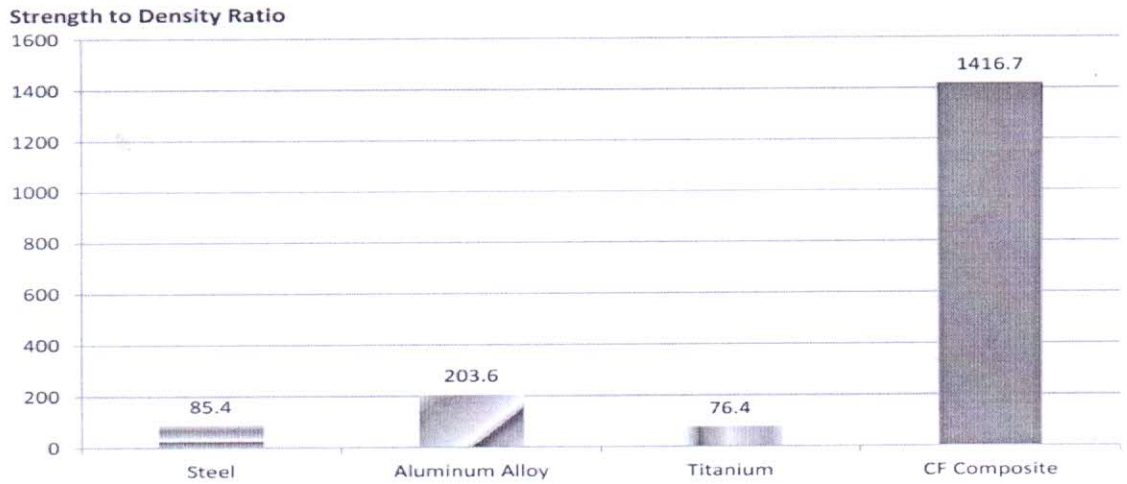
المخطط(4.4)

4.2.3 دراجة مصنوعة من الياف الكربون :

هي مادة مركبة غير معدنية ، لاتتآكل أو تتأكسد ، وتعتبر من أكثر المواد قوة ، [المخطط (4.2)]، و أكثر صلابة من الألمونيوم و التيتانيوم (4.1) ، وأقل كثافة من المواد الاخري ، المخطط (4.3) . ومعدل القوة والصلابة بالنسبة للوزن مرتفع جدا، المخطط (4.5 و4.4).وما يميز ألياف الكربون أن المصمم يستطيع

تشكيلها كيف شاء . ويستطيع المصمم جعل أجزاء من الهيكل قوية وأخرى أكثر مرونة كالفرق بين عمود السرج وشوكة العجلة الأمامية ، و ثمنها مرتفع جدا ويبدأ سعر دراجات الشارع الكربونية من 1600 إلى 5400 دولار تعد من أهم الوسائل لتخفيف وزن الدراجة وقديبلغ وزن الهيكل مع أجزائها الأخرى 7 كيلو أو أقل . وقيمة دراجات الشارع التي تزن 9 كيلو قد تصل إلى 3500 دولار تقل أو تزيد. بل إن من الصعب وضع سعر أدنى أو أعلى بسبب تعدد طرق تشكيل الهيكل بألياف الكربون و التطور المستمر لطرق التصنيع لأن كل مصمم يحاول جعل الهيكل أكثر انسيابية مع الهواء . تستخدم الياف الكربون كمادة أساسية في السباقات اليوم ليس بسبب الخفة فقط ، بل أساسا على قدرة تشكيل الهيكل بشكل انسيابي أكثر من المواد الأخرى .

من أكبر عيوب ألياف الكربون هو قابليتها للكسر والانهيار وبشكل مفاجئ إذا تعرض الهيكل لحادث. وسعر المستخدم منه ينزل بسرعة بسبب خوف المشتري من الدراجة التي يستخدم فيها ألياف الكربون . فلو سقطت الدراجة أو تعرضت لحادث واحد فإن قيمتها تهبط كثيرا حتى لو لم يظهر على الهيكل شيء ، لأن الكسر البسيط لايرى من قبل غير المختص . ومن هذا الشق البسيط قد يتطور إلى انهيار كامل . تستخدم هذه المادة غالبا في دراجات الشارع والمخصصة للسباقات.



المخطط (4.5)

4.2.4 التيتانيوم :

هي مادة غالية جدا ، وهي مادة أكثر صلابة من الألمونيوم ، المخطط (4.1) ، وكثافته أعلي من الألمونيوم و ألياف الكربون (4.3) ومضاد للتأكسد والتآكل ، أما المتانة و الصلابة بالنسبة للوزن فهي أقل من المواد الثلاثة الأخري، المخططين (4.4 و 4.5).

صناعة الهيكل من التيتانيوم تعد من أصعب المهن وتحتاج لأدوات خاصة لا تتوفر عادة في الورش العادية فيزيد ثمنها بسبب الأيدي العاملة والأجهزة المستخدمة بالإضافة إلي سعر المعدن (تحتاج إلى اللحام بطريقة Tig Welding). شكل الهيكل يعتمد على الأنابيب الدائرية كالفولاذ ، ولا يستخدم عادة في السباقات لسبب بسيط وهو أنه لا يتشكل بسهولة مثل الياف الكربون ، وبالنسبة للمتسابقين ، الهواء والانسيابية أهم من الوزن . وأقل دراجة يبدأ ثمنها من3200 دولار وبسبب الاعتمادية العالية للهيكل ، حتى لوتعرضت الدراجة إلى حادث ، فإنك لن تخشى على الهيكل أبدا .

الفصل الخامس

المناقشة (Discussion)

الفصل الخامس

المناقشة (Discussion)

في الحالة الأولي المرتبطة بدراسة السلوك الحراري لمادة مركبة مكونة من راتنج البولي إستر غير المشبع المقوي بألياف النخيل وألياف الزجاج ، وجد أن الألياف المستخدمة في تقوية مادة الأساس تعمل علي زيادة الموصلية الحرارية للمادة المركبة نظراً لقابلية الألياف على التوصيل الحراري كما ذُكرَ سابقاً ، وهذا واضح من خلال مخططات الموصلية الحرارية . تم إحتساب قيمة معامل الموصلية الحرارية عن طريق تطبيق قيمة التدرج الحراري ($\Delta T / \Delta X$) المستخرجة من الشكل (5.1) في معادلة فورير.

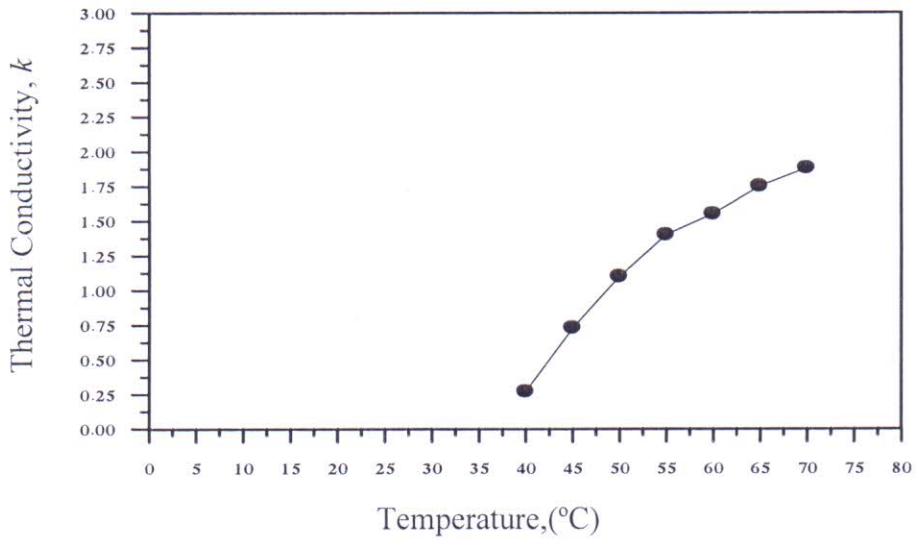
الشكل (5.1) يمثل الموصلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع وعلاقتها بدرجة الحرارة ، حيث تزداد هذه الموصلية بزيادة درجة الحرارة وهذا الإرتفاع في الموصلية الحرارية يعود إلى زيادة الإهتزازات في الهيكل الداخلي للراتنج نتيجة لإرتفاع درجة الحرارة التي يتعرض لها . تستخدم التقوية بالألياف للحصول على خواص حرارية وميكانيكية جديدة غير متوفرة في الراتنجات حيث تتم التقوية بأنواع مختلفة من الألياف الصناعية .الشكل (5.2) يبين تأثير التقوية بألياف النخيل على الموصلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع ، حيث تبدأ الموصلية الحرارية للمادة المركبة بالإرتفاع بزيادة درجة الحرارة ويعزى السبب في ذلك إلى إن ألياف النخيل تعمل على إمتصاص الطاقة الحرارية وبالتالي ترتفع درجة حرارتها ومن ثم إنتقال هذه الحرارة إلى الجهة الأُخرى من العينة(منطقة تدرج حراري)، ويكون الإنتقال الحراري عالي نسبياً بسبب قدرة هذه الألياف على نقل الحرارة . الشكل (5.3) يبين الموصلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الزجاج ،إذ تؤدي هذه الألياف إلى رفع الموصلية الحرارية للراتنج وهذه الزيادة في الموصلية متوقعة نظراً لقدرة الألياف على التوصيل الحراري مقارنة بالمادة الراتنجية. تكون الزيادة في الموصلية الحرارية في حالة التقوية بألياف الزجاج أقل مما هي حالة التقوية بألياف النخيل حيث إمتصاص الحرارة ومن ثم نقلها تكون أقل في الألياف الزجاجية لأنها تقاوم الحراة لمدى أعلى من ألياف النخيل. أما الشكل (5.4) فيوضح التأثير المزدوج للتقوية بألياف النخيل وألياف الزجاج على الموصلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع (مادة مركبة هجينة) ، وكما هو واضح من الشكل فإن الموصلية الحرارية تبدأ بالإرتفاع مع زيادة درجة الحرارة ولكن بنسبة أقل مما في ألياف النخيل وأعلى بقليل نسبياً في حالة ألياف الزجاج ، إذ تقوم ألياف الزجاج بالحد من الموصلية الحرارية لألياف النخيل بسبب الفرق في معامل الموصلية الحراري بينهما وبالتالي خفض الموصلية الحرارية للمادة المركبة ككل .

من خلال دراسة هذه الحالة تم التوصل إلي الإستنتاجات الأتية :

1- إرتفاع الموصلية الحرارية للراتنج بعد التقوية بالألياف ولحالات التقوية الثلاث (ألياف النخيل ، ألياف الزجاج ، الألياف الهجينة) .

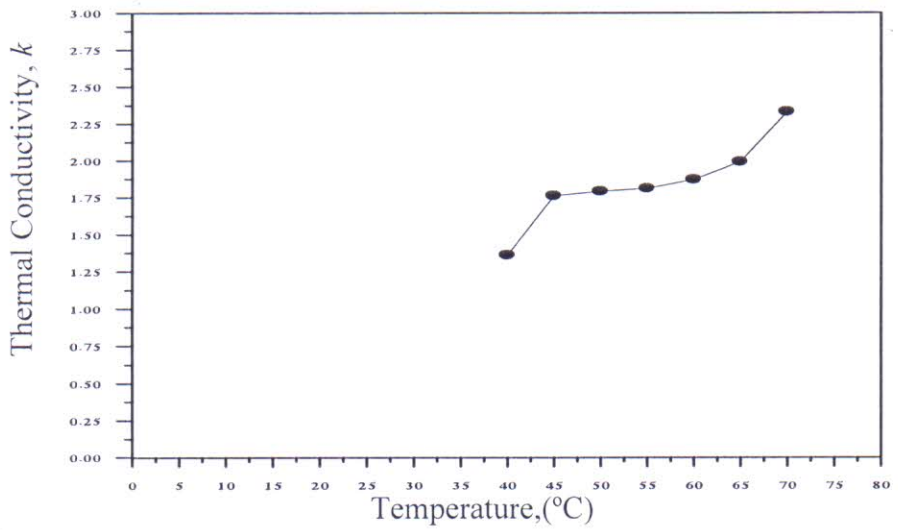
2- التوصيل الحراري لألياف النخيل هو أعلى منه في حالة التقوية بألياف الزجاج والألياف الهجينة .

3- إمكانية إستخدام التقوية بالألياف الهجينة من الناحية الإقتصادية وكذلك موصليتها الحرارية المعتدلة .



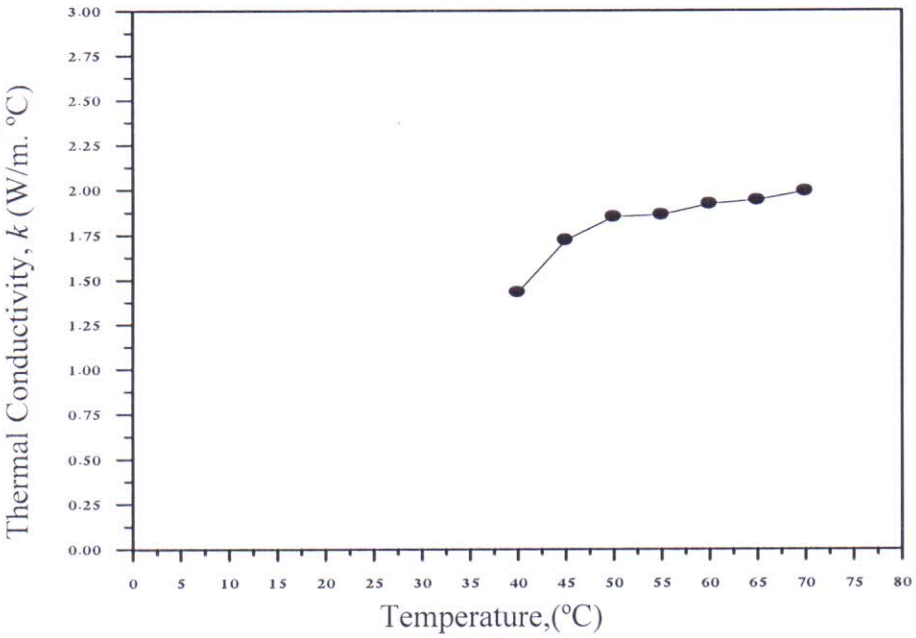
الشكل (5.1)

الموصلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع.



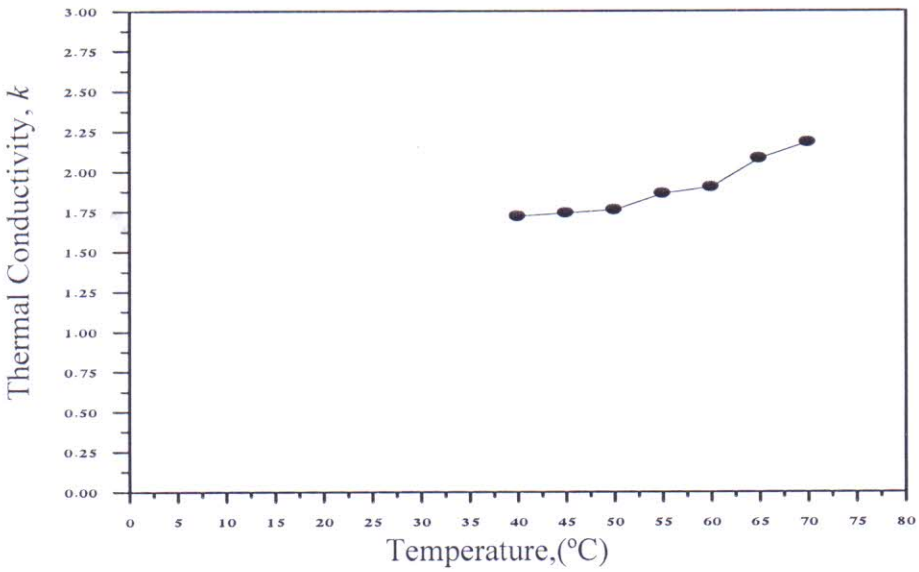
الشكل (5.2)

الموصلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف النخيل.



الشكل (5.3)

الموصلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الزجاج.



الشكل (5.4)

الموصلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف النخيل و الزجاج (المادة المركبة الهجينة)

في الحالة الثانية التي يتم فيها المفاضلة بين المواد المركبة وكل من الفولاذ والتيتانيوم وسبيكة الألمونيوم وجد أن المواد المركبة بخواصها الفيزيائية والميكانيكية يتم تفضيلها علي المواد الكلاسيكية نظرا للعديد من العوامل مثل خفة وزنها ومتانتها وإمكانية تصنيعها بصورة تجعلها تتحمل أحمال عالية جدا وهذا يجعلها من المواد الهامة جدا في مستقبل التعامل مع المواد الهندسية (أي أنها مواد المستقبل للصناعة والإنشاءات الهندسية وغيرها) .

الفصل السادس

الخاتمة والتوصيات

الفصل السادس

الخاتمة والتوصيات

6.1 الخاتمة (Conclusion):

من دراسة المواد المركبة و المواد الكلاسيكية نجد تفوق المواد المركبة من حيث الخواص الفيزيائية و الميكانيكية ، بالإضافة إلي أن المواد المركبة مواد متجددة ، حيث أن كل مادتين مختلفتين يتم جمعهما يتم الحصول علي مادة جديدة ذات خصائص مختلفة عن خصائص مكوناتها منفردة ، الأمر الذي يسمح بتصنيع مواد تلبي الإحتياجات التي صنعت من أجلها بكفاءة عالية .

ولعل أبرز عيب للمواد المركبة هو تكلفتها العالية و التي ترجع لصعوبة و بطء عمليات تصنيعها ولكن مع التطور المستمر في عمليات التصنيع ستصبح عملية صنع المادة المركبة أكثر سهولة و سرعة مما يقلل من تكاليف شراء أو إستخدام المواد المركبة ، مما يتيح إستخدامها بصورة أوسع مما هي عليه و إحلالها محل المواد الكلاسيكية ليبدأ عصر جديد من مواد التصنيع ذات كفاءة و إعتمادية عاليتين.

6.2 التوصيات (Recommendation):

من خلال هذه الدراسة ونظرا لأهمية المواد المركبة كمواد هندسية يعتمد عليها في الكثير من التطبيقات الهندسية فإننا نوصي مستقبلا بعمل دراسات تحليلية لهذه المواد لتحديد بعض الخواص وتحديد الإجهادات والإنفعالات والأحمال القصوي التي يمكن أن تتحملها هذه المواد .

المراجع :

المراجع الإنجليزية :

[1] M. N. NAHAS, 'New Development in Composite Materials – Recyclable and Environment Friendly Composite Materials ' , King Abdul Aziz University, 2005 .

[2] Ali I.Al-Mosawi Technical Institute , ' Study of Some Mechanical Properties for Polymeric Composite Material Reinforced by Fibers' .

[3] Dr. Abbas A .Al-jeebory , ' Effect of percentage of fibers reinforcement on thermal and mechanical properties for polymeric composite material ' , Al-qadissiya university .

[4] Eng./ mahmoud A.Abdul aziz , ' properties and strength of materials(1) ' , higher technological institute , six of October branch .

[5] Park, Soo-Jin , ' Carbon Fibers ' , Springer Series in Materials Science , 2015 .

المواقع علي الإنترنت :

[1] www.syr-res.com/article/6515.html

[2] https://www.esecarbon.com/technology.

[3] http://sheldonbrown.com/frame-materials.html.

المراجع العربية :

[1] جيمس أ. جاكوب و توماس ف. كيلدوف ، ' تقانة هندسة المواد '، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم و التقنية ، المنظمة العربية للترجمة .

[2] غادة غازي تاج جان ، ' تقنيات سباكة المعادن والإستفادة من معطياتها في تنفيذ المشغولة المعدنية ' ، رسالة ماجستير ، 2006 .

[3] روبرت م . جونز ، ' ميكانيك المواد ' ، ترجمة رفيع جبرة ، الطبعة الثانية .

[4] 'علم المواد التطبيقي والتآكل' ، المواد الهندسية ، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم التغنية .

[5] قحطان خلف الخزرجي ، ' دراسة السلوك الحراري لمادة مركبة مكونة من راتنج البولي أستر غير المشبع المقوي بألياف النخيل وألياف الزجاج ' ، مجلة جامعة بابل ، العدد 5 ، 2004 .