جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بابل
كلية الهندسة

تحضير مواد بوليمرية مركبة لأغراض مقاومة البلى الاحتكاكي

رسالة مقدمة إلى كلية الهندسة بجامعة بابل كجزء من
متطلبات نيل درجة ماجستير في هندسة المواد

من قبل المهندس
أحمد نعمة هادي

بإشراف
ا.م.د.محمد حمزة المعموري
ا.م.د. نجم عبد الأمير سعيد

1430هـ
2009م

Republic of Iraq
Ministry of Higher Education

And Scientific Research
University of Babylon
College of Engineering

Preparation Polymeric Composite materials for frictional Wear resistance purposes

A Thesis

Submitted to the College of Engineering of Babylon University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Materials Engineering

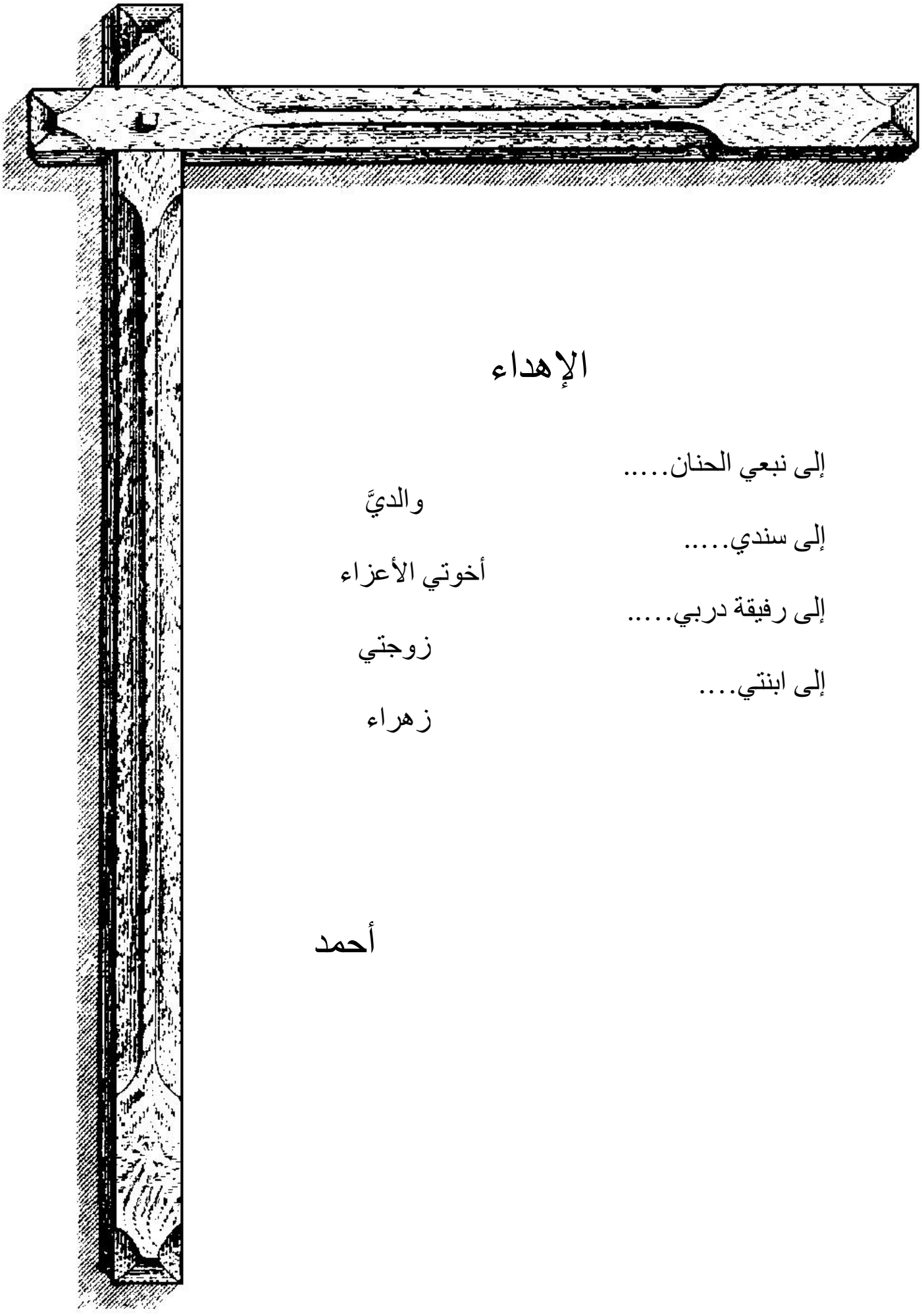
(Polymers Engineering)

by
The Engineer
Ahmed Nemha Hadi

Supervised by

Dr. Mohammed H. A1-Maamory **Dr. Najim.A.Saad**

2009 A.D. ***1430 A.H.***



الإهداء

إلى نبعي الحنان.....

والديَّ

إلى سندي.....

أخوتي الأعزاء

إلى رفيقة دربي.....

زوجتي

إلى ابنتي....

زهراء

أحمد

بسم الله الرحمن الرحيم
صدق الله العظيم

إقرار لجنة المناقشة

نحن أعضاء لجنة المناقشة الموقعين أدناه نشهد بأننا قد اطلعنا على الرسالة الموسومة ((**تحضير مواد بوليمرية مركبة لأغراض مقاومة البلى الاحتكاكي**)) والمقدمة من الطالب ((**أحمد نعمة هادي**)) وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في هندسة المواد وبعد أجراء المناقشة وجدت اللجنة أن الرسالة مستوفية لمتطلبات الشهادة المذكورة وعليه توصي اللجنة بقبول الرسالة بتقدير(**(جيد جدا")**).

رئيس اللجنة
التوقيع:
الاسم : د. بلقيس محمد ضياء
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد
التأريخ: / /2009

عضو اللجنة
التوقيع:
الاسم : د. عبد الرحيم كاظم
المرتبة العلمية: مدرس
التأريخ: / /2009

عضو اللجنة
التوقيع:
الاسم : د. علاء محمد حسين المرتبة العلمية: أستاذ مساعد
التأريخ: / /2009

عضو اللجنة(المشرف)
التوقيع:
الاسم : د. محمد حمزة المعموري المرتبة العلمية: أستاذ مساعد
التأريخ: / /2009

عضو اللجنة(المشرف)
التوقيع:
الاسم : د. نجم عبد الأمير سعيد
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد
التأريخ: / /2009

مصادقة قسم هندسة المواد – جامعة بابل
التوقيع:
رئيس القسم: د.احمد عودة جاسم
المرتبة العلمية: مدرس
التأريخ: / /2009

مصادقة عمادة كلية الهندسة – جامعة بابل
التوقيع:
عميد كلية الهندسة: د.صلاح توفيق البزاز
المرتبة العلمية: أستاذ
التأريخ: / /2009

Abstract

To make pads of restraining the vehicles, a polymer material that is composed of local material available in the market and that are used for this purpose is designed; both of novolak and the unsaturated polyester are used as the basic material for the prepared doughs. a cheap and available fillers have been used like the reiterated rubber and (reclaim) and the ebonite rubber (the hard rubber) in a form of powders with the SBR rubber and Montmorolonite Clay and the other filler that is cheap and available in the market to prepare the doughs.

In additions, the glass fibers, the nylon, Kevlar, and the steel are used as reinforcing materials for these doughs for reinforcement percent from (5-25)% to improvement of mechanical properties.

The materials were prepared from these doughs and testing the mechanical and physical feature of these dough; and the comparing the tests result with the local pads available in the market.

The hardness tests of Brinell and Shore D, resistance of Impact and compression, and resistance of Wear and Coefficition of friction and thermal conductivity are done.

After doing the above mentioned test on the prepared doughs, it is found that most of the feature of the prepared dough and that

which reinforced by fibers are better than the feature of commercial pads available in the local market. The doughs that are numbered (17,18,21,22,23,24) are the most suitable ones for making pads since the test results of mechanical features were much better than the features of the commercial restraining pads. For instance, the Impact resistance of dough (22) is 28.2 KJ/m2 while it is 6.26 KJ/m2.

شكر وتقدير

الحمد لله رب العالمين ، المتفضل علينا بالهداية والعناية والتمكين ، والمنعم على عباده بكل خير وسعادة ليكونوا صالحين ، من توكل عليه كفاه وحفظه من كيد الشياطين ، ومن تنكب عن صراطه فهو من المخذولين .

والصلاة والسلام على المبعوث رحمة للعالمين ، ناصر المستضعفين والمظلومين وحبيب المساكين الذين امنوا بالله رغبة فيما أعده سبحانه لعباده الصادقين ..

وعلى اله الطيبين الطاهرين ، الذين أعلى الله مقامهم على سائر المخلوقين ، ليكونوا قدوة العارفين ، ومنار الهدى وسفينة النجاة التي من تخلف عنها كان من الهالكين .

يسرني وقد أنهيت إعداد رسالتي أن أسجل فائق شكري وتقديري إلى الدكتور محمد حمزة المعموري و الدكتور نجم عبد الامير لما بذلاه من جهود علمية وأراء وتوجيهات سديدة كان لها الفضل في انجاز البحث .

كما أتقدم بالشكر إلى جميع العاملين في المختبرات المركزية وشعبة البحث والتطوير في الشركة العامة لصناعة الإطارات في النجف الشرف لتوفيرهم مستلزمات إكمال البحث كافة .

ويسرني أن أتقدم بالشكر إلى إدارة قسم العلوم التطبيقية/ الجامعة التكنولوجية والى العاملين في مختبرات القسم لإسهامهم في إكمال البحث.

ولا يفوتني أن أقدم شكري وتقديري إلى أبناء عمي مخلص و وعد رحيم وإلى المهندس أنور المعموري وجميع الأصدقاء لجهودهم في إظهار البحث بالشكل النهائي .

الباحث

خلاصة البحث

لتصنيع وسائد كبح المركبات تم تصميم مادة بوليمرية مركبة من المواد المحلية المتوفرة في السوق لغرض استخدامها لهذا الغرض , حيث تم استخدام كل من النوفولاك والبولي استر غير المشبع مواداً أساس للعجنات المحضرة وتم استخدام مالئات متوفرة ورخيصة الثمن منها المطاط المعاد (الركليم) و مطاط الايبونايت المعاد(المطاط الصلب) وبهيئة مساحيق مع مطاط SBR و Montmorolonite Clay وغيرها من المالئات المتوفرة في السوق ورخيصة الثمن لتحضير العجنات.

كذلك تم استخدام كل من الياف الزجاج والنايلون وكيفلار والفولاذ مواداً لتقوية هذه العجنات وبنسب تقوية من (5-25) % لتحسين الخواص الميكانيكية.

حيث تم تحضير هذه العجنات من المكونات السابقة واختبار المواصفات الميكانيكية والفيزيائية لهذه العجنات ومقارنة نتائج الفحوصات بمواصفات الوسائد المحلية المتوفرة في السوق.

حيث تم اختبار كل من صلادة برينل وشورD ومقاومة الصدمة والانضغاطية ومقاومة البلى ومعامل الاحتكاك والموصلية الحرارية.

بعد إجراء الفحوصات أعلاه على العجنات المحضرة وجد ان معظم مواصفات العجنات المحضرة والمقواة بالألياف هي أفضل من مواصفات الوسائد التجارية المتوفرة بالسوق المحلية وتم اختيار العجنات التي تحمل الارقام (17,18,21,22,23,24) التي كانت أكثر العجنات مناسبة لتصنيع الوسائد لان نتائج فحوصات الخواص الميكانيكية لها افضل بكثير من خواص وسائد الكبح التجارية فعلى سبيل المثال كانت مقاومة الصدمة للعجنة (22) 28.2 kJ/m^2 في حين بلغت للعينة التجارية 6.26 kJ/m^2.

إقرار المشرفين على الرسالة

نشهد أن إعداد هذه الرسالة جرى تحت إشرافنا في قسم هندسة المواد / كلية الهندسة / جامعة بابل وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في علم هندسة المواد.

التوقيع :
الاسم: د. محمد حمزة المعموري
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد
التاريخ: / / 2009

التوقيع :
الاسم: د. نجم عبدالامير سعيد
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد
التاريخ: / / 2009

توصية رئيس قسم هندسة المواد

بناء على التوصيات الوافرة ، أرشح هذه الرسالة للمناقشة

التوقيع :
الاسم: د. أحمد عودة جاسم
المرتبة العلمية: مدرس
التاريخ: / / 2009

المحتويات

الموضوع	الصفحة
خلاصة البحث	I
قائمة المصطلحات والمختصرات	II
قائمة الرموز	III
الفصل الأول : المقدمة Introduction	
1-1 مقدمة عن المواد المركبة	1
2-1 الدراسات السابقة	3
3-1 الهدف من البحث	6
الفصل الثاني : الجزء النظري Theoretical Part	
1-2 مقدمة	7
2-2 البوليمر	7
1-2-2 تصنيف البوليمرات	8
1-1-2-2 البوليمرات المطاوعة للحرارة	8
2-1-2-2 البوليمرات المتصلدة بالحرارة	9
3-2 المادة الراتنجية النوفولاك	10
1-3-2 تكوين الميثيلول	10
2-3-2 تحضير النوفولاك	11
3-3-2 صفات النوفولاك	11
4-3-2 استخدامات النوفولاك	11
5-3-2مصلد النوفولاك	12
3-1-2-2 البوليمرات المطاطية	12
4-2أنواع المطاط	13
1-4-2 المطاط الصناعي	13
2-4-2 المطاط المعاد حيويته(الركليم)	14
1-2-4-2 عملية إنتاج الركليم	15
2-2-4-2 أنواع الركليم	15
3-2-4-2 خواص مطاط الركليم	15
3-4-2 مطاط الايبونايت المعاد	16
5-2 المواد المركبة	16
6-2 مكونات المادة المركبة	16
1-6-2 المادة الأساس	16
1-1-6-2 راتنجات البولي استر غير المشبعة	17
2-1-6-2 تطبيقات البولي استر غير المشبع	18
2-6-2 مواد التقوية	18
1-2-6-2 الألياف	19
7-2 الألياف الصناعية	19
1-7-2 ألياف الزجاج	19
1-1-7-2 خواص الألياف الزجاجية	20

2-1-7-2 أنواع الألياف الزجاجية	20
2-7-2 ألياف النايلون	21
2-7-3 ألياف كيفلار	22
2-7-4 ألياف الفولاذ	23
2-8 تصنيف المواد المركبة	24
2-8-1 طبيعة المادة الأساس	24
2-8-1-1 المواد المركبة ذات الأساس المعدني	24
2-8-1-2 المواد المركبة ذات الأساس السيراميكي	25
2-8-1-3 المواد المركبة ذات الأساس البوليمري	25
2-8-2 طبيعة طور التدعيم	27
2-8-2-1 المواد المركبة المقواة بالتشتيت	27
2-8-2-2 المواد المركبة المقواة بالدقائق	28
2-8-2-3 المواد المركبة المقواة بالالياف	29
2-8-2-4 المواد المركبة الصفائحية	30
2-9 المواد المركبة الليفية الهجينة	30
2-9-1 أنواع المواد المركبة الليفية الهجينة	31
2-9-2 أهمية المواد المركبة الليفية الهجينة	31
2-10 العوامل المؤثرة على سلوك المتراكبات الليفية	31
2-10-1 اتجاه الليف	31
2-10-2 طول الليف	32
2-10-3 الشكل الهندسي ومساحة المقطع العرضي لليف	33
2-10-4 الكسر الحجمي	33
2-10-5 درجة الربط بين الليف والمادة الأساس	34
2-10-6 خواص مادة الأساس	34
2-11 وسائد الكبح	34
2-11-1 مقدمة	34
2-11-2 أنواع وسائد الكبح	35
2-11-2-1 وسائد الكبح العضوية	35
2-11-2-2 وسائد الكبح المعدنية	36
2-11-2-3 وسائد الكبح الكاربونية	37
2-11-3 مواد الاحتكاك المستخدمة في صناعة الوسائد	37
2-12 الخواص الميكانيكية	38
2-12-1 اختبار الصلادة	39
2-12-2 اختبار الصدمة	39
2-12-3 اختبار الانضغاطية	40
2-12-4 اختبار البلى	40
2-12-4-1 أنواع البلى	41
2-12-4-2 طرق قياس البلى	44
2-12-5 اختبار معامل الاحتكاك	45
2-12-6 اختبار الموصلية الحرارية	47
الفصل الثالث : الجزء العملي Experimental Part	

1-3 مقدمة	49
2-3 المواد المستخدمة	49
1-2-3 المادة الأساس	49
1-1-2-3 الفينول-فورمالدهايد (النوفولاك)	49
2-1-2-3 راتنج البولي استر	50
2-2-3 مواد التقوية	51
1-2-2-3 ألياف الزجاج	51
2-2-2-3 ألياف النايلون	51
3-2-2-3 ألياف كيفلار	51
4-2-2-3 ألياف الفولاذ	52
3-2-3 المالئات	52
4-2-3 مواد الاحتكاك	53
3-3 المواصفات القياسية لوسائد الكبح التجارية	53
4-3 تحضير العجنات البوليمرية المركبة	54
5-3 الاختبارات	60
1-5-3 تهيئة القوالب	60
1-1-5-3 قالب فحص الصلادة والموصلية	60
2-1-5-3 قالب فحص البلى والانضغاطية ومعامل الاحتكاك	61
3-1-5-3 قالب فحص الصدمة	61
2-5-3 تحضير العينات	62
3-5-3 اجهزة الاختبارات	65
1-3-5-3 جهاز فحص الانضغاطية	65
2-3-5-3 جهاز فحص الصلادة	66
3-3-5-3 جهاز فحص الصدمة	67
4-3-5-3 جهاز قياس البلى	69
5-3-5-3 جهاز قياس معامل الاحتكاك	70
6-3-5-3 جهاز قياس الموصلية الحرارية	72
7-3-5-3 جهاز الفحص ألمجهري	73
الفصل الرابع : النتائج و المناقشة Results & Discussion	
1-4 المقدمة	75
2-4 الخواص الميكانيكية	75
1-2-4 نتائج اختبار الصلادة	75
2-2-4 نتائج اختبار الصدمة	80
3-2-4 نتائج اختبار البلى	83
4-2-4 نتائج اختبار معامل الاحتكاك	85
5-2-4 نتائج اختبار الانضغاطية	87
6-2-4 نتائج اختبار الموصلية الحرارية	91
7-2-4 نتائج الفحص ألمجهري	94
8-2-4 مقانةالنتائج مع المواصفات القياسية لوسائد كبح المركبات	97
الفصل الخامس : الاستنتاجات والتوصيات و المصادر Conclusion & Recommendation & Reference	

1-5 الاستنتاجات	98
2-5 التوصيات	99
المصادر	100

References:

1- R. J. Crawfer, *"Plastic Engineering"*, 2nd ed., Pergamon press, V. K., (1987).

2- د. اكرم عزيز محمد، "كيمياء اللدائن"، دار الكتب للطباعة والنشر، 1993.

3- Theodore J. R., *"Engineering Materials Hand Book"*, Vol. 1, 1987.

4- د. كوركيس عبد ال ادم، د. حسين علي كاشف الغطاء، "تكنلوجيا وكيمياء البوليمرات"، كلية العلوم, جامعة البصره، 1983.

5- لميس علي خلف،"دراسة الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لمتراكبات البولي استر الغير مشبعة والمدعمة باليياف الزجاج واليياف النايلون"،رسالة ماجستير،قسم هندسة المواد،الجامعة التكنلوجية،2006

6-رولا عبد الخضر عباس,"دراسة الخصائص الحرارية والميكانيكية لمادة النوفولاك ومتراكباتها",رسالة ماجستير, قسم العلوم التطبيقية, الجامعة التكنلوجية,.2001

7-حازم فالح حسن," تحسين النوفولاك المنتج محليا ودراسة بعض خواصه الحرارية والميكانيكية وقابلية مقاومته للاحتراق",رسالة ماجستير, قسم المواد, جامعة التكنلوجية,2007.

8-D. Lukhassen and A. Meidell, "A advanced materials and structures and their fabrication process"Third Edition, Narvik university college, HIN (2003).

9- http ://www. owenscorning. com/owans/composites.

10- D. Hall, *"Introduction to Composite Materials"*, Cambridge University Press, 1981.

11- I. M. W. Gaylord, *"Reinforced Plastic Theory and Practice"*, Canners publishing Com, 1974.

12-H .Jang ," The effect of metal fiber on the friction performance of automotive brake friction materials",J.Wear.256(2004)406-414.

13- N.Chand,S A R .hashmi,"Development of Asbestos Free Brake Pad",85(2004).

14- J.Bigwe."Performance of friction materials based on variation in nature of organic fibers",2004.

15- Ho.Jang , "Effect of ingredients on tribological characteristics of a brake lining",J.Wear258(2005)1682-1687.

16-Z.Zhang," Effect of various on the sliding wear of polymer composites",J.Com.Sci and Trib.65(2005)2329-2343.

17-F.J.Lino,"Tribological behaviour of epoxy based composites for rapid tooling",J.Wear260(2006)30-39.

18-W.A.Rakowski,"Polyesterimide composite as a sensor material for sliding bearings", J.Composites :part B 37(2006)81-88.

19- J.Qiao," Application of nano powdered rubber in friction materials", J.Wear 261(2006)225-229.

20-F.Findik,"Tribological properties of some phenolic composites suggested for automotive brakes", J.Trib.Int.39(2006)317-325.

21- A.Shojaei," Thermally conductive rubber-based composite friction matrials for railroad brakes – Thermal conduction characteristics",J.Comp.Scie and Tech.67(2007)2665-2674.

22-A.Mimaroglu," Friction and wear performance of pure and glass fiber reinforced poly-ether-imide on polymer and steel counterface materials",J. Wear 262(2007)1407-1413.

23-H.Jang ,"The effect of phenolic resin potassium titanate and CNSL on the tribological properties of brake friction materials", J.Wear 264(2008)204-210.

24- مهند خشان ظليم ,"تصميم وتصنيع عجنات رولات سحب القماش من مادة مطاطية مركبة",رسالة ماجستير, قسم هندسة المواد,جامعة بابل ,.2007

25- Lawrence H. Van Vlack "Materials For Engineering Concepts And Aplplication" ,1982 .

26- J.M.Kelvey,"Polymer prosing "John Wiley and son, New York (1962).

27- A. Harper, "Plastic Handbook" Technology Seminars, Inc., Lutherville, Maryland, (2000).

28- M. Richardon "Polymer Engineering composite" Applied Science pub.London.(1987).

29- N. G. Mccrum, et al "principle of polymer Engineering" Edition John Wiley and son, New York (1992).

30- A. A. Berlin and , S. A. Volfson" Principle of Polymer Composite"

Springer verlag, New York (1986).

31- رفاه علوان نصيف," تحسين خواص مادة متراكبة من البولي استر الغير مشبع باضافة طور مطاطي", رسالة ماجستير, قسم العلوم التطبيقية, الجامعة التكنلوجية,2006.

32-. R-K Mattham “Rubber Engineering” Tata McGraw -Hill publishing company,Delhi 1998.

33- محمد حمزة المعموري ، رسالة دكتوراه ،الجامعة التكنولوجية ، 2005 بعنوان :

"Mechanical & Physical Properties of Rubber Composite For Engine Mounting "

34-AL Marshedy,“Alternative method to produce steal wires used for reinforcement of Babylon tyre ” M.Sc thesis, College of Engineering Babylon University, 2000.

35-James.E.Mark " The science and technology rubber",Third edition, New york ,2005.

36-P.A.Ciullo,"The Rubber Formulary", New York, 1999.

37- احمد نوري غني ,"تكنولوجيا المطاط ",1995.

38-B. de Caumia. A.I. Isayev,"Rubber Recycling", New York, 2005.

39-Martin Hollman , " Composite Aircraft Design " , (1993).

40- W. J. Work and K. Horie , " Pure Appl. Chem. " , Vol. 76 , No. 11, PP.(1985-2007), (2004).

41-سعد ميخائيل ايليا,"دراسة الخصائص الميكانيكيةوالتوصيلية الحرارية لمادة متراكبة ذات اساس بوليميري مقواة بدقائق الالمنيوم واوكسيد الالمنيوم",رسالة ماجستير,قسم هندسة المواد, الجامعة التكنلوجية,2007.

42- مالكوم ب. سيفنسن ترجمة د.كاظم غياض اللامي ، د.قيس عبد الكريم إبراهيم "كيمياء البلمرة" قسم الكيمياء، كلية العلوم، جامعة البصرة،البصرة، (1984).

43. M. S. Bhantnagar , " A Text Book of Polymers Chemistry and Technology Polymers , Condensation Polymers ", Vol. ll , (2004) .

44- Martin Grayson , " Encyclopedia of Composite Materials and Component" , (1983) .

45- د.قحطان خلف الخزرجي , "مباديء هندسة المواد اللامعدنية", جامعة بابل, كلية الهندسة, 1994.

46- امل علي رجب ,"دراسة الخواص الميكانيكية لمواد مركبة ومواد مركبة هجينة",رسالة ماجستير, الجامعة التكنلوجية, .1996

47- Kirk Othmar, "*Encyclopedia of Chemical Technology*", Tom Wiley & Sons Inc., Canada, 1982.

48- علي هوبي حليم,"تحسين خواص المواد اللدائنية المقساة",رسالة ماجستير,قسم هندسة المواد,جامعة بابل,1999.

49- زيد عاصم اسماعيل,"دراسة الخواص الفيزياوية لخلائط بوليميرية مدعمة", رسالة ماجستير, الجامعة المستنصرية , 2004.

50- F.W.Billmeyer ," Text book of polymer science ", Wiley , Inc.New York,1971.

51- James P.Schaffer , Ashok Saxena , " The science and Design of engneering materials ", Richard D.Irwin,Inc,1995.

52- P.A.Tornton , V.J.Colangelo , " Fundamental of engneerin materials ", Hall,Inc,1985.

53- D.R.Paul and S.Newman ,"Polymer Blends ", Vol.1,Acadimic press , Inc,New York , 1978.

54- Groover M.P. , “Fundamentals of Modern Manufacturing Material” , Processes , (1996) .

55- L. Holliday, "Composite Material", Elsevier Publishing, London, (1966).

56-.D.Callister,JR.,"Materials Science and Engineering An Introduction" 6th ed., John Wiely and Sons,Inc., New York, (2003).

57- J.G.Morley , “High Performance of Fiber Composites ” , University of Nottingham , U.K , (1987) .

58- G.Piatti , “ Advances in Composite Materials ” , Applied Science Publisher /TD , (1978) .

59. أسيل محمود عبد الله ," دراسة تأثير إجهاد القص على الخواص الميكانيكية لمادة متراكبة ذات أساس بوليميري مقواة بألياف الفولاذ", رسالة ماجستير, هندسة المواد, الجامعة التكنولوجية ,2006.

60. M.M.Schwarts," Composite Material Handbok", MC Graw –Hill, Inc.,1984.

61- E. Paul De Garmo, J. T. Black, Ronald A. Kohser and Barney E. Klamecki, "Materials and Processes in Manufacturing", 9th Edition, John Wiley and Sons, Inc., 2003.

62- J.Stepek and H.Daust," Additive for Plastic", New York , 1983.

63- Andrea Prota, Kah Yong Tan, Antonio Nanni, Marisa Pecee and Gaetano Manfreeli, "Performance of Shallow

RC Beams With Externally Bonded Steel Reinforced Polymer", 2004.

64- D .Chan and G.W.Stachowiak ," Review of automotive brake friction materials ", University of western Australia,2004.

65- Eriksson M., Bergman F. and Jacobson S, " Surface charac- terization of brake pads after running under silent and squealing conditions", J.*Wear*, 1999, 232, 163–167.

66- Arnold E. Anderson and Walter K. Arnold,"Friction and wear Technology", United States of America, Vol 18,1992.

67- Y.Lu , "Optimization of Ceramic Friction Materials ", J. Com.Sci.Tech., Vol 66, 2006.

68- S.Jacobson ,"On the Natural of Tribological Contact in automotive brakes ", J. Wear 252.26-36,2002.

69- M.D.Baijal , " Plastic Polymer Science and Technology ", Applied Science Publishers" , 1978.

70- رغد حامد طلال," دراسة مقاومة الزحف والانضغاطية والبلى الالتصاقي الجاف لمواد متراكبة لدائنية" رسالة ماجستير , قسم العلوم التطبيقية, الجامعة التكنلوجية,2001 .

71- R.B.Pipes," Friction and Wear of polymer Composite Material " , Elsevier 1986.

72- جون هولنك,ترجمة:د. محمد جواد كاظم التورنجي و د.مهدي سعيد حيدر,"مدخل في علم الترايبولوجيا", الجامعة التكنلوجية , مركز التعريب والنشر, بغداد .1985

73-J.Halling ,"Principle of Tribology",Published by the Macmillan Press Limited , London,1979.

74- نجم عبد الامير سعد,"البلى الانزلاقي لكراسي التحميل ذاتية التزييت", رسالة ماجستير,هندسة الميكانيك,.1995

75- A.M.Collieu and D.J. Powney , " The mechanical and thermal properties " , Butter and Tanner , London , (1973) .

76- W.Bolton , Engineering materials technology , 3ed , edition,1983.

77- E.Grim Shi , " Atext Book of Physics " , Vol.11 , Blackie and Sons , London , (1944) .

78- N.S.M.El-Tayeb and K.W.Liew," Effect of Water spray friction and wear behaviour of noncommercial and commercial brake pad materials",J. material processing technology,2008.

79- م.و. زيمانسكي و ر. هـ. رثيمان ، ترجمة د. محسن سالم رضوان و د. عبدالرزاق عبدالفتاح "الحرارة والديناميكا الحرارية " ، دار مكجروهيل للنشر ، مصر,1982

80 Askeland D.R. & Phule P.P., "*The Science & Engineering of Materials*", Fourth Edition, Thomsom Brook/Cole, 2003.

قائمة الرموز

وحدة القياس	Meaning	معنى الرمز	الرمز
K	Temperature	درجة الحرارة	T
mm	Fiber length	طول الليف	l
Kg	mass	كتلة	M
m^3	volume	حجم	ν
N	Loading	أقصى حمل مسلط	P
Kg/m^3	density	الكثافة	ρ
N/m^2	stress	الإجهاد الانضغاط	σ
N	force	القوة	F
GN/m^2	Modulus of Elasticity	معامل المرونة (معامل يونك)	E
m^2	Loading area	مساحة التحميل	A´
mm	Diameter of hit	قطر الاثر	do
mm	Diameter of ball	قطر الكرة	Do
Sec	Time	الزمن	t
Joule	Impact Energy	طاقة الصدمة	Uc
mm^2	Cross-Section Area	المساحة المقطع العرضي	A
KJ/m^2	Impact Strength	مقاومة الصدمة	I.S
Amper	Current	التيار	I
Volt	Voltage	الفولتية	V

وحدة القياس	Meaning	معنى الرمز	الرمز
(W/m. K)	Thermal Quantity	التوصيلة الحرارية	K
Joule	Energy Quantity	كمية الطاقة	Q

mm	**Disc Radius**	**نصف قطر القرص**	**r**
	Distance Radius of Wear test	**مسافة القطر لفحص البلى**	**r´**
Watt	**Thermal Energy Which Flow in the coil Per Unit Time**	**الطاقة الحرارية المارة عبر ملف التسخين لوحدة الزمن**	H
W/m^2. K	**Quantity of the The Thermal Energy Which Flow through Unit Area Per Second**	**كمية الطاقة الحرارية المارة عبر وحدة المساحة لكل ثانية**	**e**
K	**Temperature of disk A**	**درجة حرارة القرص A**	**T_A**
K	**Temperature of disk B**	**درجة حرارة الفرص B**	**T_B**
K	**Temperature of disk C**	**درجة حرارة القرص C**	**T_C**
mm	**Initial Length**	**طول العينة الابتدائية**	L_o
g	**Change in Weight**	**التغير بالوزن**	ΔW
r/min	**Number of revolution**	**عدد الدورات**	**n**
mm	**Thickness of disk**	**سمك القرص**	**dA**
mm	**Thickness of sample**	**سمك العينة**	**dS**

قائمة المصطلحات والمختصرات

PMCs	Polymer Matrix Composite	مادة مركبة ذات أساس من البوليمر
CMCs	Ceramic Matrix Composite	مادة مركبة ذات أساس من السيراميك
MMCs	Metal Matrix Composite	مادة مركبة ذات أساس من المعدن
GF	Glass Fiber	ألياف الزجاج
NF	Nylon Fiber	ألياف النايلون
AF	Aramid Fiber	ألياف كيفلار
SF	Steel Fiber	ألياف الفولاذ
PANF	Poly-acrylo-nitril-fiber	ألياف الاكريلونايتريل
CF	Carbon Fiber	ألياف الكاربون
SF	Cellulose Fiber	ألياف السيللوز
E	Epoxy resin	راتنج الايبوكسي
-	Reinfocment	التقوية
-	Binder	الروابط
SR	Synthetic Rubber	مطاط صناعي
-	Reclaim	الركليم (المطاط المعاد)
HMT	Hexamethelne tetramine	هكسامثلين تترامين
SBR	Styrene Butadiene Rubber	مطاط ستايرين بيوتادين
-	Waste Hard Rubber	مطاط الايبونايت المعاد
Tg	Glass Transition Temperature	درجة التحول الزجاجي
ASTM	American Society for Testing Material	الجمعية الامريكية لفحص المواد
G	Mechanical Properties	الخصائص الميكانيكية
HB	Brinell Hardness	صلادة برينل
I.S	Impact Strength	مقاومة الصدمة
μ	Coefficient of friction	معامل الاحتكاك
K	Thermal Condictivity	ثابت الموصلية الحرارية
Wr	Wear of rate	معدل البلى
v_f	Volume of fiber	حجم الألياف
v_c	Volume of composite	حجم المادة المركبة
K^o	Constant for any material	ثابت لمادة معينة
K´	Constant of Coefficient friction	ثابت المعيرة لمعامل الاحتكاك

محلق(1)

جدول يوضح خواص بعض الألياف الصناعية [80].

Material	Specific Gravity	Tensile Strength [GPa (10^6 psi)]	Specific Strength (GPa)	Modulus of Elasticity [GPa(10^6 psi)]	Specific Modulus (GPa)
Whiskers					
Graphite	2.2	20	9.1	700	318
		(3)		(100)	
Silicon nitride	3.2	5 – 7	1.56 – 2.2	350 – 380	109 – 118
		(0.75 – 1.0)		(50 – 55)	
Aluminum oxide	4.0	10 – 20	2.5 – 5.0	700 – 1500	175 – 375
		(1 – 3)		(100 – 220)	
Silicon carbide	3.2	20	6.25	480	150
		(3)		(70)	
Fibers					
Aluminum oxide	3.95	1.38	0.35	379	96
		(0.2)		(55)	
Aramid (Kevlar 49)	1.44	3.6 – 4.1	2.5 – 2.85	131	91
		(0.525 – 0.600)		(19)	
Carbon	1.78 – 2.15	1.5 – 4.8	0.70 – 2.70	228 – 724	106 – 407
		(0.22 – 0.70)		(32 – 100)	
E – Glass	2.58	3.45	1.34	72.5	28.1
		(0.5)		(10.5)	
Boron	2.57	3.6	1.40	400	156
		(0.52)		(60)	
Silicon carbide	3.0	3.9	1.30	400	133
		(0.57)		(60)	
UHMWPE (Spectra 900)	0.97	2.6	2.68	117	121
		(00.38)		(17)	
Metallic Wires					
High – strength steel	7.9	2.39	0.30	210	26.6
		(0.35)		(30)	
Molybdenum	10.2	2.2	0.22	324	31.8
		(0.32)		(47)	
Tungsten	19.3	2.89	0.15	407	21.1
		(0.42)		(59)	

محلق(2)

خواص ألياف الفولاذ حسب مواصفات الشركة العامة لصناعة الإطارات –بابل

Breaking force (N)	Elongation at breaking (%)	Weight per unit length (g/m)
1320	5	5.4

محلق(3)

جدول يوضح الخواص الميكانيكية لألياف النايلون66 [5]

Spesific Grafity	Tensile Modulus psi×105(MPa×10^2)	Tensile strength Psi×10^3 MPa	Elongation at Beak %	Impact strength (ft-lb\in)
1.13-1.15	2.3-5.5 (16-38)	11.0-13.7(76-94)	15-300	0.55-2.1

محلق(4)

جدول يوضح خواص راتنج البولي استر الغير مشبع [31]

الصلادة (روكويل) ***(MPa)***	*مقاومة الأنحناء* ***(MPa)***	*مقاومة الشد* ***(MPa)***	*مقاومة الأنضغاط* ***(MPa)***	*الكثافة* ***(Kg/m3)***
70	*130*	*45*	***102***	*1200*

محلق(5)

جدول يبين تصنيف الاستومرات [24]

R Group ("Rubber")	Rubbers with double bonds in the main chain, e.g. NR, NBR, SBR
M Group ("Methylene")	Rubbers with a saturated main chain of the methylene type, e.g. EPM, EPDM, CSM, EVM.

N Group	Rubbers with nitrogen in the main chain, e.g. "Pebax"
O Group	Rubbers with oxygen in the main chain, e.g. ECO
Q Group	Rubbers with siloxane groups in the main chain, e.g. MQ (often simply designated Q
U Group	Rubbers with oxygen, nitrogen and carbon in the main chain, e.g. AU, EU.
T Group	Rubbers with sulfur in the main chain, e.g. ET ("Thiokol")

محلق(6)

جدول يوضح أنواع اختبار الصلادة [48]

ت	نوع الصلادة	نوع أداة التغلغل
-1	صلادة برينيل ***(Brinell Hardness)***	كرة كاربيدية أو فولاذية
-2	صلادة فيكرز ***(Vickers Hardness)***	هرم ماسي
-3	صلادة روكويل ***(Rockwell Hardness)***	مخروط ماسي
-4	صلادة شور ***(D,A)*** ***(Shore (A,D) Hardness)***	إبرة
-5	صلادة شور سكليرسكوب ***(Shore Scleroscope Hardness)***	سقوط كرة لحظي

1-1 المقدمة

إن التنمية الصناعية والتكنولوجيا السريعة التي حدثت في العالم ، حفزت الباحثين على إيجاد مواد متعددة الاستخدام ذات مواصفات هندسية وتركيبية عالية وفق متطلبات الاستخدام وذلك بسب النزعة الإنسانية المتجددة نحو حياة مرفهة، فقد اهتم الإنسان منذ ظهوره على الأرض بتشكيل وتحوير المواد بهدف الحصول على مبتكرات مفيدة، ومن خلال دراسة خواص المواد الهندسية (المعادن، السيراميك، البوليمرات) المتمثلة بالصلادة والمتانة وتحمل القوى والتوصيلية الحرارية والكهربائية ومقاومة التآكل واللدونة، لاحظ الباحثون وجود تباين في خواص تلك المواد [2,1] ، فمثلاً البوليمرات (Polymers) تتصف بخفة الوزن ومقاومتها للتأكسد والشفافية وقابلية تصنيع الأشكال المعقدة وعدم تحملها الدرجات الحرارة العالية والقوى العالية(أعلى من400^oC) في حين تتصف المواد السيراميكية (Ceramics) بتحملها درجات حرارة عالية وقابلية عزل حراري وكهربائي وصلادة عالية وتحملها لقوى الانضغاط ولكنها تتصف كذلك بالهشاشية (Brittleness) والتشظي (Spalling) والتصدع (Fractuer) وعدم تحملها لقوى الصدم والشد [3] ، أما الفلزات (Metals) فأنها تتصف بقدرتها العالية على تحمل الأحمال والمقاومة والمتانة وعدم مقاومتها للظروف الجوية كونها تتعرض للتأكسد [4].

وبناءاً على ذلك فان هذه المواد قد تكون ملائمة للاستخدام في مجال معين وغير ملائمة للاستخدام في مجال أخر، حيث ان كثير من التكنولوجيا والصناعات الحديثة تحتاج الى مواد لها مزيج من الخواص غير الاعتيادية (صدمة عالية، خفة الوزن ومقاومة الظروف البيئية المختلفة) بحيث تكون اقتصادية وملائمة للأغراض الصناعية وتطبيقاتها الهندسية وكان ذلك دافعاً لإيجاد ما يسمى بالمواد المتراكبة [5]

ويظهر من المعلومات التاريخية ان سكان وادي الرافدين هم أول من عرف المواد المتراكبة فقاموا بتسليح طبقات البناء بألياف القصب لبناء الزقورات وصناعة الأقواس ، واستخدم البابليون مادة الزفت والقش في تعبيد الطرق ومادة القير في بناء الزوارق .

أما السومريون فقد استعملوا القصب والبردي مع القار في بناء الزوارق وكان المصريون القدماء يخيطون المومياء بألياف القطن كما استعملوا القش في صناعة الطابوق فضلا عن استعمالهم الراتنجات النباتية الصمغية في الأغراض المختلفة[7,6].

ومنذ سنة 1960 بدأ التزايد في الاحتياج إلى مادة تمتلك مواصفات المقاومة العالية وكذلك الجساءة وخفة الوزن في نفس الوقت كما في مجال الفضاء والنقل للحصول على مثل هذه المواد حيث يتطلب ذلك إلى بذل جهد في البحث بصورة واسعة في مجال المواد المركبة عن طريق دراسة خواص المواد ومعرفة مدى ترابطها مع بعضها ونسب إضافتها وهذا بدوره أدى إلى ظهور أنواع من المواد المركبة [9,8].

وتعد المواد البوليمرية المركبة أفضل الأنواع لما تتمع به من صفات ميكانيكية عالية نسبة الى الكثافة بالإضافة إلى سهولة تصنيعها [5] .

ويعزى التوسع في استخدام المتراكبات ذات الأساس البوليمري الى عدة أسباب وأهمها [11,10] .

1- إمكانية تشكيلها بإشكال وأحجام مختلفة.
2- لاتصدأ ولا تتآكل.
3- مقاومتها الجيدة للمواد الكيميائية والرطوبة.
4- خفيفة الوزن وذات متانة عالية.
5- عازلة جيدة للكهربائية.

وفيما يخص مواد التقوية فتتخذ أشكالا مختلفة منها الدقائق (Particles) أو الحشوات (Fillers) أو القشور (Flakes) أو الألياف (Fibers). وغالباً ما تدعم المادة الأساس بالألياف لما تتمتع به الألياف من خصائص ومميزات أفضل من الأنواع الأخر [5] .

2-1 الدراسات السابقة:

*في عام 2004 قام الباحث Jang بدراسة تأثير الألياف المعدنية على أداء الاحتكاك للمواد المركبة المستخدمة في صناعة وسائد الكبح حيث استخدم ثلاثة انواع من الألياف المعدنية (Cu fiber , Steel fiber, AL fiber) ووجد إن مقاومة البلى أفضل في المادة المركبة المحتوية على Al fiber تتبعها المادة المركبة المحتوية على Cu fiber ثم المادة المركبة المحتوية على St-Fiber) [12] .

*في عام 2004 قام الباحثان Chand , Hashmi بتطوير وسائد كبح خالية من الاسبستوس حيث استنتجا انه من الممكن تطوير مواد احتكاك خالية من الاسبستوس وذالك بتبديل ألياف الاسبستوس مع دعم مناسب , وكذلك هناك تأثير واضح لمعدل البلى بكمية مواد الحشو المعدنية المضافة والألياف الزجاجية المضافة كمواد تقوية , إذ أصبح من الممكن استخدام مادة لصناعة الوسائد خالية من الاسبستوس وكذالك في مجالات الاحتكاك الأخرى [13].

*في عام 2004 قام الباحث Bigwe بدراسة تأثير ألياف عضوية متنوعة على مواصفات الاحتكاك حيث أستخدم اربعة أنواع مختلفة من الألياف العضوية وهي :-

Aramid fiber (AF)
ploy- acrylo-nitrile (PAN)
Carbon fiber (CF)
Cellulose fiber (SF)

حيث أستنتج إن المادة المركبة المحتوية على Aramid fibar تمتلك مقاومة بلى أعلى من البقية وإن ألياف (PAN) و Carbon fiber أيضا تساعد في تحسين مقاومة البلى بينما (SF) لم تؤد إلى تحسن في مقاومة البلى [14].

*في عام 2005 قام الباحث Jang بدراسة تأثير مكونات وسائد الكبح على مواصفات الاحتكاك واستنتج الآتي:

معامل الاحتكاك عند درجات الحرارة المعتدلة تعتمد على صلادة مكونات الوسادة إذ إن معامل الاحتكاك يزداد بزيادة راتنج الفينول و Mgo وينقص ينقصان تيتانات البوتاسيوم ، النحاس ، الزر كونيا والمطاط.
مقاومة الاضمحلال تعتمد وبقوة على الاستقرارية الحرارية لمكونات الوسادة.
مقاومة البلى تتحسن عندما تزداد نسب كل من الزركونيا والفينول .
بشكل عام فالخواص الفيزيائية لمواد الاحتكاك تؤثر على مواصفات الاحتكاك وهيئة واستقرارية الحرارية لمكونات الوسادة تؤثر وبقوة على أداء الاحتكاك [15].

* في عام 2005 قام الباحث Zhang بدراسة وجود مالئات (Filler) متنوعة مثل اوكسيد السليكا على البلى ألانزلاقي للمواد المركبة واستنتج أن تقليل الحجم الحبيبي لدقائق filler يؤدي إلى تحسين مقاومة البلى وتم ملاحظة هذا في المادة المركبة المحتوية على دقائق من filler بحجم (1-3 vol%) وان هذا التأثير يتيح استخدام تلك المواد المركبة في ظروف بلى أعلى تحت ضغوط أعلى وسرع انزلاق أعلى وكذلك توزيع هذه الحبيبات المالئة يؤثر على خواص البلى [16].

* في عام 2006 قام الباحث Lino بدراسة السلوك الترايبولوجي للمواد البوليمرية حيث استخدم راتنج الايبوكسي Epoxy resin(E) كمادة أساس واستخدم أيضا دقائق الألمنيوم Al(A) كمادة مالئة واستخدم كل من Carbon fiber(CF) و glass fiber (GF) كمواد تقوية وتم إجراء الاختبار على اربعة خلطات .

1. E= Epoxy resin only .
2. EA = Epoxy resin + Al filler .
3. EAC= Epoxy resin + Al filler + carbon fiber .
4. EAG= Epoxy resin + Al filler + glass fiber.

وبعد أجراء الاختبار استنتج أن المادة البوليمرية المركبة المحتوية على راتنج الايبوكسي كمادة أساس ودقائق Al كمادة مالئة وألياف الزجاج كمادة تقوية تمتلك أعلى مقاومة بلى وأفضل سلوك ترايبولوجي من المواد الباقية [17].

* في عام 2006 قام الباحث Rakowski بدراسة خواص الاحتكاك لمادة بوليميرية مركبة حيث استخدم ثرموسيت بوليمير كمادة أساس واستخدم مواد حشو معدنية حيث وجد ان زيادة نسبة المواد المالئة المعدنية يؤدي إلى زيادة الموصلية الكهربائية للمادة مما يؤدي الى زيادة مقاومة البلى وكذلك اعتماد خواص الاحتكاك للمادة على الحجم الحبيبي للمواد المالئة حيث ان إضافة مواد مالئة معدنية يؤدي الى تقليل معامل الاحتكاك في حين إضافة PTFE يؤدي الى زيادة معدل البلى [18].

*في عام 2006 قام الباحث Qiao باستخدام دقائق المطاط (powder rubber) في تصنيع وسائد الكبح واختبار تأثير استخدام (powder rubber) على خواص الاحتكاك , حيث استخدم مطاط SBR على هيئة Powder في

تصنيع الوسائد وبأحجام متنوعة حيث وجد ان استخدام Powder rubber يؤدي الى تحسين خواص الاحتكاك للوسائد [19].

* في عام 2006 قام الباحث Findik بدراسة الخواص الاحتكاكية لبعض المواد المركبة من الفينول المقترحة لكوابح السيارات , حيث استخدم الباحث مساحيق لمختلف المواد منها البرلايت, والنحاس و اوكسيد الألمنيوم, إضافة الى الفينول ومقارنة النتائج مع العينات السابقة المقواة بالألياف , حيث استنتج ان البلى يزداد عندما تكون جسيمات المسحوق اكبر بالمقارنة مع العينات المحتوية على الجسيمات الصغيرة , وكذلك يسمع أزير في الوسائد غير المقواة بالألياف وذلك لوجود البرايت غير المتجانس أما بالمقارنة مع العينات المقواة بالألياف فان العينات السابقة المقواة بألياف الكفلر لها مقاومة بلى أفضل مقارنة مع العينات الحالية في هذه الدراسة على الرغم من ان بعض العينات لها مقاومة بلى مقاربة الى العينات المقواة بالألياف وقيم الصلادة للعينات الحالية اقل بالمقارنة مع العينات المقواة بالألياف [20].

* في عام 2007 قام الباحث Shojae بدراسة خاصية الموصلية الحرارية للمواد المركبة الاحتكاكية والمستخدمة في صناعة وسائد الكبح للمركبات ، حيث أستخدم عدة أنواع من filler من بينهما (Al-chips , Al_2o_3) واستنتج الى ان الموصلية الحرارية يزداد بزيادة كمية المالئات (filler) وتصل الى أعلى قيمة لها عند استخدام Al-chips كمادة مالئة في المواد المركبة الاحتكاكية [21].

*في عام 2007 قام الباحث Mimaroglu بدراسة أداء الاحتكاك والبلى للمواد البوليمر النقية والمواد البوليمرية المقواة بألياف الزجاج حيث استخدم راتنج (Polyamide) و (polyetherimide PEI) كمواد أساس وألياف الزجاج (GFR) كمادة تقوية وتم اختبار ثلاثة خلطات وهي .

PEI

PEI + 20 % GFR.

PA+ 30 % GFR

حيث وجد أن المادة الناتجة من (PEI+ 20%GFR) تمتلك معامل احتكاك (0.13-0.74) ومعدل بلى 10^{-5} – 10^{-5} وأن PEI+20% GFR تمتلك مقاومة بلى عالية عند الاحتكاك مع قرص مصنوع من Steel وعند الاحتكاك مع قرص مصنوع من PA + 30 % CFR [22].

- في عام 2008 قام الباحث Jang بدراسة تأثير الفينول على الخواص الترايبولوجية لمواد احتكاك الفرامل حيث وجد ان الصلادة والانضغاطية والمسامية تتغير مع تغير كمية الفينول المضافة وان الصلادة تتناقص خطيا مع الانضغاطية والمسامية, وكذلك إن معامل الاحتكاك عند درجات الحرارة المعتدلة (عند 100 °C) يزداد مع زيادة الفينول بينما مقاومة البلي تزداد مع زيادة كمية الفينول المضافة أما بالنسبة الى الضوضاء التي تصدر أثناء عملية الكبح فتقل مع زيادة كمية الفينول [23] .

3-1 هدف البحث

يهدف البحث إلى تصميم مادة مركبة بوليميرية من مخلفات المطاط والمواد المحلية الأخر المتوفرة ورخيصة الثمن وذات مواصفات ميكانيكية جيدة لغرض استخدامها وتطبيقها في مكابح السيارات ومقارنة نتائج الخواص الميكانيكية للمادة المصممة مع مادة الكبح المستوردة.

1-2 المقدمة Introduction

ظهرت المواد المتراكبة نتيجة للتطور الصناعي والتقني ولتلبية الحاجة المتزايدة إلى مواد جديدة ذات مواصفات خاصة تدخل بديلا للمواد الهندسية الأخرى، وبذلك احتلت المواد المتراكبة على اختلاف أنواعها مكانة متقدمة في التطبيقات الصناعية منذ أول ظهور لها، وكعضو رئيس ضمن مجموعة المواد المتراكبة، تمتلك المواد المركبة ذات الأساس البوليمري أهمية خاصة في العديد من التطبيقات اعتماداً على خواص البوليمر الأساس علاوة على خواص مادة التقوية[24] .

والمواد المركبة ذات الأساس البوليميري استخدمت بشكل واسع في صناعة أنظمة الكبح الاحتكاكية لعديد من المركبات لما تتمتع به هذه المواد من خواص جيدة مثل أداء احتكاك جيد و عمر طويل وضوضاء كبح قليلة و خفة الوزن[21].

2-2 البوليمر Polymer

ويسمى في بعض الأحيان بالجزيء العملاق macromolecule وهو جزيء لمركب كيميائي يمثل بوزن جزيئي عالي (10 مليون) والجزيء على شكل سلسلة حلقاتها عبارة عن جزيئات لمركب بسيط ترتبط مع بعضها بأواصر تساهميه (Covalent) . واسم بوليمر polymer يتكون من مقطعين (عديد = poly) ، (وحدة = mer) بمعنى عديد الوحدات . أما مصطلح المونومير فيقصد به مركب كيميائي بسيط ذو وزن جزيئي صغير ، ويتميز جزء هذا المركب بتركيب خاص يمكنه التفاعل مع جزء آخر من نفس النوع أو مع جزء آ خر لمركب آخر وتحت الظروف المناسبة لتكوين سلسلة البوليمر [25,26].

أما الوحدة التركيبية المتكررة فهي التي يتكرر وجودها على طول سلسلة جزء البوليمر وتوضع صيغتها بين قوسين لاحظ المعادلة الآتية .

n (CH2 = CH2)	[-CH2-CH2-]n
بولي اقلين	الاثلين
(البوليمر)	(المونومير)

أما درجة البلمرة فهي تمثل عدد الوحدات التركيبية المكررة في سلسلة جزئ البلمر ويعبر عنها بالعدد (n) والذي يوضع أسفل القوس الذي يحتوي على الوحدة التركيبية المتكررة . وكلما زادت درجة البلمرة لأي بوليمر كلما دل ذلك على أن وزنه الجزيئي كبير [4،27].

1-2-2 تصنيف البوليمرات Classification of Polymers

تصنف البوليمرات بالاعتماد على خواصها التكنولوجية واستخداماتها العلمية الى الأصناف الاتية :

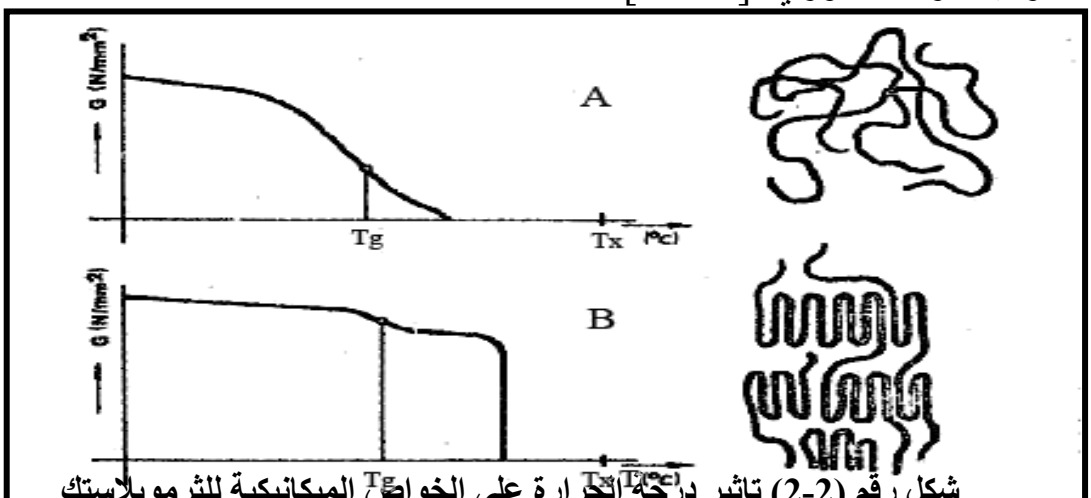
1-1-2-2 البوليمرات المطاوعة للحرارة Thermoplastic

تتكون هذه البوليمرات نتيجة تفاعل المونيمرات التي تحمل مجموعتين فعالتين على طرفي جزيئاتها مثل الاثيلين . البوليمرات التي تنتمي إلى هذا الصنف يكون نموها طوليا (في بعد واحد فقط) وفي بعض الأحيان تحدث بعض التفرعات الجانبية من السلسلة وتظل هذه البوليمرات ممتدة رئيسيا في بعدين وليس في بعد ثالث نظرا لعدم تشابك التفرعات من سلسلة مع تفرعات من سلسلة أخرى مجاورة بوصلات تساهميه.

في بعد واحد **في بعدين**

شكل رقم (2-1) يبين نمو السلاسل البوليمرية[24]

ونظرا لامتداد البوليمر طوليا فقط ، فان السلاسل المجاورة ترتبط مع بعضها بقوى الجذب الثانوية الطبيعية (ليست تساهمية) ولذلك فعند تسخين هذه البوليمرات تتغلب الطاقة الحرارية على قوى الجذب الطبيعية الضعيفة عند درجة حرارة منخفضة لا تسبب إتلاف البوليمر أي لا يحصل كسر في الأواصر التساهميه ، ولكن يحدث نتيجة لفقدان قوة الجذب أن تنزلق سلاسل البوليمر على بعضها وبذلك يتم صهر و إسالة هذه البوليمرات الطولية (linear) لذلك فان هذه البوليمرات الطولية تصنف بأنها بوليمرات تلين بالحرارة أو الثرموبلاستك وهي أساس كل البوليمرات التي تستخدم في صناعات البلاستك و الألياف الصناعية مثل بوليمرات النايلون و البولي استر والبولي أثيلين , السلاسل البوليمرية للثرموبلاستك قد تكون عشوائية الترتيب أو تكون شبة بلورية والشكل (2-2) يبين تأثير درجة الحرارة على الخواص الميكانيكية بصورة عامة للثرموبلاستك الذي يكون ترتيب سلاسله عشوائيا" أو شبه بلوري [27-30] .

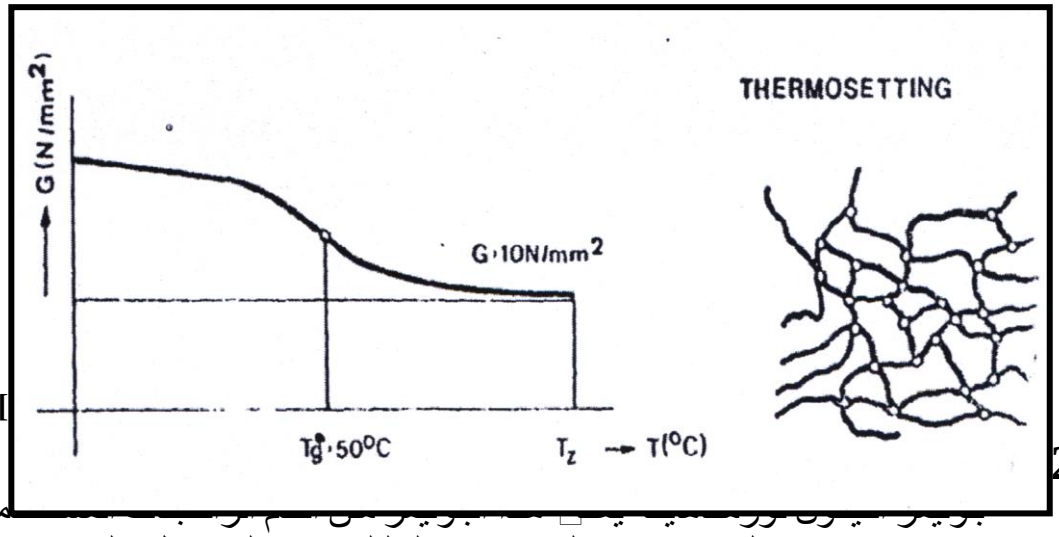


شكل رقم (2-2) تاثير درجة الحرارة على الخواص الميكانيكية للثرموبلاستك
A – عشوائي B – شبه بلوري ، حيث ان G تمثل الخواص الميكانيكيه [27]

2-1-2-2 البوليمرات المتصلدة حراريا Thermosets

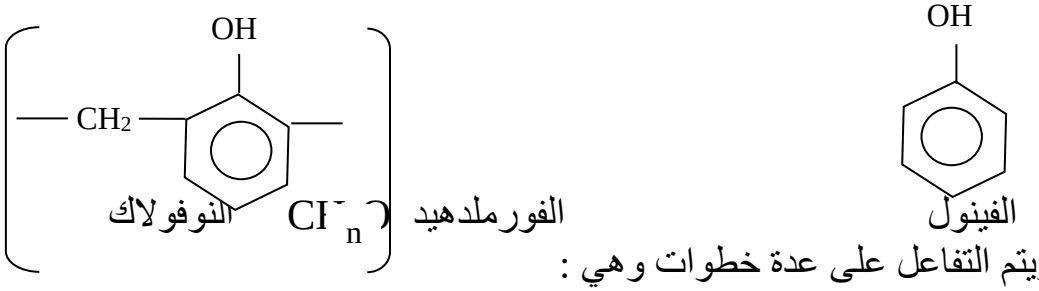
تعاني هذه البوليمرات تغييرات كيميائية عند تسخينها فتتشابك فيها السلاسل البوليمرية وتصبح هذه البوليمرات بعد معاملتها الحرارية غير ذائبة وغير قابلة للانصهار ورديئة التوصيل للحرارة والكهربائية [4]. ترتبط السلاسل مع بعضها باواصر كيميائية قوية لا يمكن كسرها بسهولة لذلك فان هذه المواد لا يمكن اعادة تشكيلها مرة اخرى عند تعرضها لدرجة حرارة معينة وبزيادة درجة الحرارة فانها سوف تتفحم ويحدث لها تحلل , اي انها لاتكون سريعة التاثر بدرجة الحرارة التي

تكون تحت درجة حرارة التحلل. وتتميز بانها ذات كثافة واطئة وخصائص عزل كهربائية عالية وعزل حراري عالٍ وذات جساءة عالية(Stiffness) وقوة (Stronger) ومن الامثلة على هذا النوع : الفينول فورملديهايد والايبوكسي والبولي استر غير المشبع [31] .



[2

تاريخيا ولا يسبقه في هذا المضمار إلا بوليمر نترات السليلوز . تم الحصول عليه بـ(30) سنة قبل بداية القرن العشرين أما طريقة تحضيره فيتفاعل الفينول مع الفورملدهيد ليعطي مركبات تكثيفية والعامل الحافز المستخدم هو إما حامض أو قاعدة . وطبيعة الراتنج المنتج تعتمد على نوع العامل الحافز وعلى النسب الجزيئية بين المتفاعلين (الفينول والفورملدهايد) [32,33] أما التركيب الكيميائي للفينول والفورملدهيد و النوفولاك فهو :



ويتم التفاعل على عدة خطوات وهي :

2-3-1– تكوين الميثيلول:

وهي مركبات إضافية ويتم هذا في مكان الاورثو والبارا من حلقة البنزين في مركب الفينول . وهذه المنتجات تتكون تحت ظروف حامضيه أو قلوية تعتبر المتممات لعملية البلمرة التالية.

2-3-2 – تحضير النوفولاك Novolack

عند أضافة عامل مساعد كالحوامض مع نسبة جزيئية من الفورملدهيد إلى الفينول فان الميثيلول يتكثف مع الفينول أولاً لتكوين داي هيدروكس فينيل ميثان ، عند استمرار التكثيف تتكون روابط الميثيلين بين حلقات البنزين وتعطي البلمرات المعروفة باسم النوفولاك . وتحدث الوصلات عند أماكن اورثو اوباردا بطريقة عشوائية غير منتظمة. ويصل الوزن الجزيئي إلى أكثر من 10000 ويعبر عن حوالي 10

مجموعات ميثيل وهذه البوليمرات لا تتفاعل بعد ذلك بمفردها لتكوين الشبكة في ثلاثة اتجاهات ولكي نحصل على ذلك يتم إضافة المزيد من الفورملدهيد[24] .

2-3-3-صفات النوفولاك

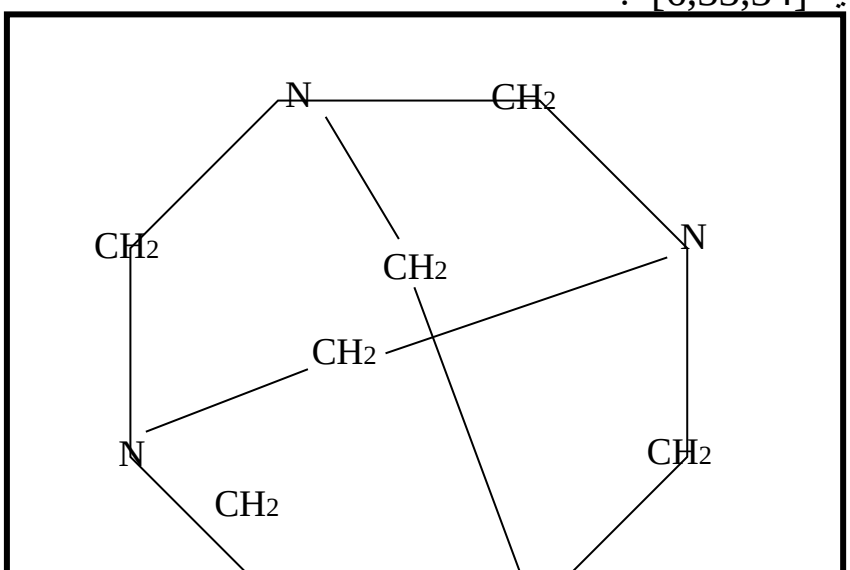
ان النوفولاك مادة ثرموست تمتلك وزنا" جزيئيا" 500- 3000 وهي مادة صلبة في درجة حرارة الغرفة . محتوى النوفولاك من النايتروجين بحدود 3.6% - 4.2% .كثافة النوفولاك هي 1.3 g/cm^3 و له قابلية للذوبان في الاسيتون والايثانول واثيل اسيتايت .[23]

2-3-4-استخدامات النوفولاك

1. يستخدم في عمليات الصب بالضغط إلى أشكال نهائية وكثيرا" ما يستخدم الراتنج في إنتاج أوعية الراديو و التلفزيونات وهذا الراتنج له صفات ممتازة لمقاومة الحرارة والعزل الكهربائي .
2. كثيرا" ما تستخدم المواد المالئة مثل نشارة الخشب ألياف القطن القصيرة وألياف الزجاج لتحسين خواص البوليمر وتستخدم هذه البوليمرات المحسنة في المقدمات المخروطية للصواريخ حيث انه درجة الحرارة العالية الناتجة من الاحتكاك تؤدي الى أن تتحول راتنجات الفينول فورملدهيد إلى بوليمر من الكاربون وبذلك يكون هذا البوليمر المتفحم طبقة عازلة حامية لمقدمة الصاروخ .
3. يستخدم كمواد مبطنة أو مواد تغطية على أساس من الورقة أو من الخشب . حيث أن هذه المواد تصب على الخشب بعمل ألواح الفورميكا .
4. مادة لاصقة في كثير من الأغراض الصناعية [33] .

2-3-5-مصلد النوفلاك HMT

إن تأثير الراتنج (النوفولاك) في الخواص الميكانيكية يكون من خلال أحداث ترابط تشابكي Cross Linking وان التشابك يمكن أحداثه بإضافة الهيكساميثيلين تترامين Hexamethylene tetramine (HMT) هي مادة صلبة ذات درجة انصهار عالية (300^0C) تمتلك تركيبا قصيفاً تتكون من تفاعل الفورمالدهايد و الأمونيا ، ان ال HMT يتحلل بالحرارة إلى فورملدهيد وآمونيا حيث ان الامونيا تتطاير ويمكن إدراك ذلك من خلال الرائحه الكريهة أما الفورملدهيد فيتفاعل مع النوفولاك مما يعطي زيادة في الصلادة والكثافة و اللزوجة ومقاومة الشد والزيادة في ثبات الابعاد وزيادة في مقاومة المواد الكيمياوية والحرارة وتقليل امتصاص الرطوبة وتقليل القابلية على الاحتراق ، الشكل (4-2) تبين تركيب HMT . يحصل التشابك بين الراتنج و HMT عن طريق تكوين جسور مثيلينية [6,33,34] .



شكل رقم (2-4) تبين تركيب HMT

3-1-2-2 البوليمرات المطاطية Elastomer

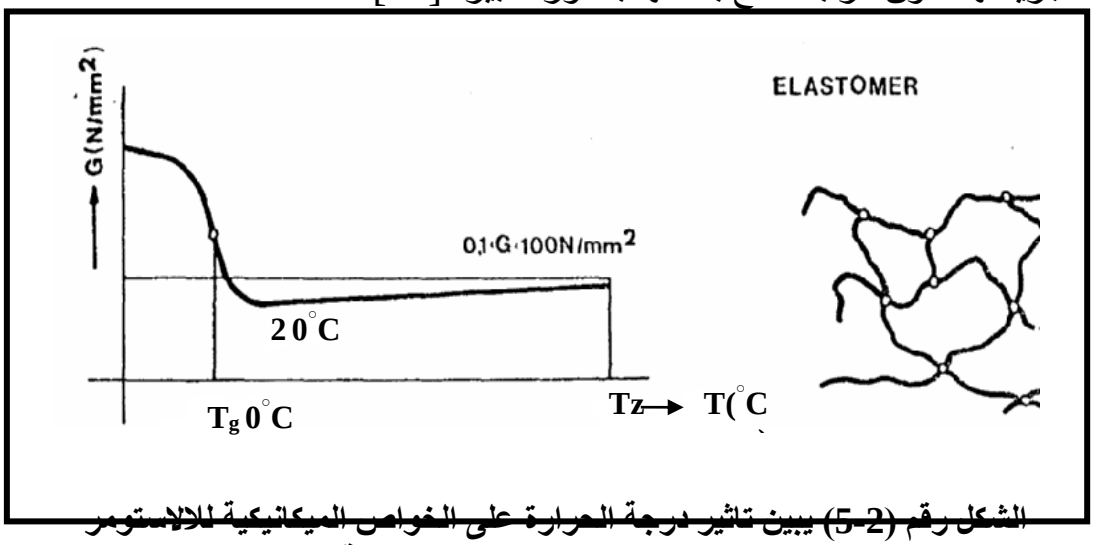
تكون مستمرة لكنها قليلة التفرع وسلاسلها تكون قابلة للحركة حتى في درجات الحرارة المنخفضة (انسياب محدد يحدث في درجة الحرارة المنخفضة) . لذلك فمن الواضح أن هذه المواد تمتلك معامل مرونة قليلا" (Modulus of Elasticity) و درجة التحول الزجاجية (Tg) لها اقل من صفر . والفرق بين البلاستك والالاستومر يكون كبيرا" في قابلية التمدد . [33,35] .

عرَّ فت الجمعية الأمريكية للفحص والمواد(ASTM) الاستوميرات بأنها مواد بوليمرية تستطيع وهي بدرجة حرارة الغرفة أن تتمدد على الأقل ضعف طولها الأصلي (ضمن حد المرونة) وبرفع الجهد المسلط تعود إلى طولها الأصلي[25,29] .

الاستوميرات تمتلك صفتين :

1- درجة التحول الزجاجية (Tg) لها اقل من درجة حرارة استخدامها .

2- جزيئاتها تكون مرتبطة مع بعضها بصورة كبيرة [24].



الشكل رقم (2-5) يبين تاثير درجة الحرارة على الخواص الميكانيكية للالاستومر حيث ان G تمثل الخواص الميكانيكية [27] .

4-2 أنواع المطاط Types of rubber

هناك أنواع عدة من المطاط ولكننا سنذكر منها أهم ما استخدمناه في بحثنا هذا

1-4-2 المطاط الصناعي SBR

ينتج مطاط SBR بشكل واسع بواسطة بلمرة كل من المحاليل والمستحلبات حيث ان بلمرة المستحلب تتم على الحار عند درجة حرارة C °50 أو على البارد عند درجة حرارةC ° 5 اعتمادا" على نظام الصنع.

ان كلا المطاطين اعتبرا من مركبات النفط حيث إنهما يحتويان على 50% من مادة البترول ان تركيب النفط في هذا المطاط يحسن بعض الخواص له منها سهولة الخلط مع مواد أخر دون فقدان الخصائص الفيزيائية للمطاط.

ان المطاط الصناعي والمنتج أصلا بواسطة بلمرة المستحلبات بالطريقة الحرارية يكون من الصعب قولبته أو عجنه مثل المطاط الطبيعي ومن الصعب مزجه بالمواد الأخر وغير محافظ على جميع خواصه الفيزيائية لذا فان المعالجة الحرارية للمطاط وكذلك وجود النفط يؤدي الى تحسين هذه الخواص ودعم المعالجات الحرارية.

أما المطاط الصناعي المنتج بواسطة بلمرة المستحلبات وعلى الطريقة الباردة فلديه خواص عدة منها معدل الوزن الجزيئي العالي وذو التوزيع الضيق للوزن الجزيئي حيث ان معالجته مما يجعله مقاوما" عاليا" للاحتكاك والبلى ومقاومة شد عالية مقارنة بالمطاط الحار ،لكن الوزن الجزيئي العالي في المطاط البارد يجعل من الصعب معالجته بالمركبات النفطية.

المطاط المصنوع بواسطة بلمرة المحاليل باستطاعتنا تصنيعه حسب مواصفات تركيب البوليمر الموجودة وخواصه تكون أفضل من المطاط المنتج بواسطة بلمرة المستحلبات ، حيث ان الكوبوليمرات العشوائية تؤدي الى ضيق في توزيع الوزن الجزيئي وتفرعات السلاسل تكون اقل ذات لون ناصع عما هو عليه في المطاط المستحلب ، حيث ان كلا المطاطين متساويين في مقاومة الشد والاستطالة.

يمتاز هذا النوع من المطاط بمقاومة احتكاك عالية ومقاومة لتكوين الشقوق وكذلك مقاومة حرارية عالية مقارنة بالمطاط الطبيعي بالإضافة الى ذلك فانه يمتاز بسهولة قولبته وتشكيله مقارنة بالمطاط الطبيعي,يعتبر من أكثر أنواع المطاط شيوعا في الاستخدام حيث يستخدم في صناعة إطارات السيارات وخصوصا الأجزاء الملامسة للأرض،صناعة المنتجات الرغوية،تغليف الأسلاك الكهربائية و صناعة الأحزمة[32,36,37] .

2-4-2 المطاط المعاد حيويته(الركليم) Reclaim

إمكانية استخدام المطاط كانت تشغل اهتمام العلماء منذ السنوات الاولى للصناعة المطاطية لذلك استنبط Good year(1853) طريقة خاصة لتصنيع Crumbوهو مصطلح يطلق على المطاط المفلكن المسحوق الى قطع صغيرة جدا وجافة. حيث يبرد السكراب ويطحن الى حبيبات ذات أحجام متشابهة ، إن استخدام مطحون المطاط يساعد على تقليل الكلفة إضافة إلى انه يساعد في التشكيل وحتى لو تمت إضافة كمية كبيرة منه فمن الممكن عدم حدوث تغيير في الخواص الفيزياوية ويحسن ظروف الفلكنة ايضا[37].

2-4-2-1 عملية أنتاج الركليم

استخدمت في الماضي طرائق عدة لإنتاج الركليم منها acid process (Mitchell 1881) واستخدمت في الولايات المتحدة الأمريكية واستخدمت كذلك طريقة Alkali process باستخدام الصودا الكاوية (Marks 1899) حيث استخدمت لزيادة أنتاج SBR سنة 1955 طريقة Heulral process التي استخدمت كلوريد الزنك (Cutter 1913) حيث يتوجب إزالة الخيوط والألياف في العمليات الحديثة أو على الأقل إتلافها ، كان Crumb في الطرائق القديمة يعامل ببخار ذو ضغط عال بوجود عامل كيميائي مناسب [37,38].

2-4-2-2 أنواع الركليم

1- Whole Tire Reclaim

هو احد الانواع التي تنتج بكميات كبيرة و النوعية الأولى منه تصنع من whole tyre حوالي 40% مطاط هايدروكاربوني و 60% المتبقية تحتوي على كمية من اسود الكاربون وكمية قليلة من المالئات المعدنية والمنعمات تتغير.

2-Tire Tread Reclaim

وينتج من سكراب الطبقة الخارجية والملامسة للارض في الاطارات وهو لايتطلب إزالة الألياف ومن الممكن تصنيعه الى ركليم السيارات وركليم الجرارات.

Butyl Reclaim-3

المنتجات المصنعة من NBR،CR،BR،IR،MQ،EPDM لها ركليم ايضا ولكن بنوع واحد مهم اقتصاديا وهو Butyl reclaim طريقة المرجل تستخدم البيوتايل المستخلص من الانابيب الداخلية, ان ركليم البيوتايل له خواص فيزياوية جيدة ومن الممكن فلكنته بواسطة نظام الفلكنة الكبريتي[37].

2-4-2-3 خواص مطاط الركليم

بسبب كون مطاط الركليم يحتوي على كمية كبيرة من الشغل الميكانيكي أثناء التصنيع ويحتوي على كل المالئات التي تشترك في المنتج الأصلي فعملية المزج باحتوائها على كل مطاط الركليم تكون أسرع بصورة عامة واقل ثرموبلاستيكية وتتأثر بالتعامل المستمر والخواص الثرموبلاستيكية الأقل حيث إن الشكل العام يتغير خلال التعامل وعملية الفلكنة بالبخار الخاصية المرغوبة في منتجات مثل الخراطيم والمنتجات المقاومة للتعرية الجوية هي تقليل الانتفاخ في عملية البثق والتقلص أثناء الاكساء الى اقل حد ممكن باستخدام مطاط الركليم الركليم له خواص عمر ممتازة عندما يستخدم في الظروف المفلكنة أو غير المفلكنة ومن جهة أخرى فقوة الشد والمرونة ومقاومة الحك والتشقق تقل عندما تزداد نسبة الركليم في الإطارات ومن الممكن تقوية المطاط الركليم بإضافة اسود الكاربون بطريقة مشابهة للتي تحدث في البوليمرات[37].

2-4-3 مطاط الايبونايت المعاد

وهو المطاط الصلب المعاد الذي يدعى ب Waste Hard Rubber والذي يحوي على نسب عالية من الكبريت ويستخدم في صناعات عديدة منها صناعة أغطية البطاريات للسيارات ويمتاز بأنه صلب جدا وذو خواص ميكانيكية عالية.

2-5 المواد المتراكبة Composite Materials

المواد المتراكبة هي خليط يتألف من مادتين أو أكثر ذات مواصفات مختلفة ، تتحد هذه المواد لتنتج تركيبا" ذا مواصفات مرغوبة . ويمكن ان تكون المكونات أما مواد عضوية أو غير عضوية ، معدنية (طبيعية أو صناعية) [31].

وخلاصة المركبات هو ان الطور الظاهري يتقبل الحمل على مساحة سطح كبيرة ويحوله الى مواد التقوية التي تكون أصلد حيث تزيد قوة المركب ، والخصائص التي تتميز بها المواد المتراكبة تعتمد بصورة كلية على خصائص المادة الأساس ومواد التقوية فيها وكذلك على طبيعة السطح البيني الفاصل بينهما[10,31].

2-6 مكونات المواد المتراكبة

2-6-1 المادة الأساس Matrix

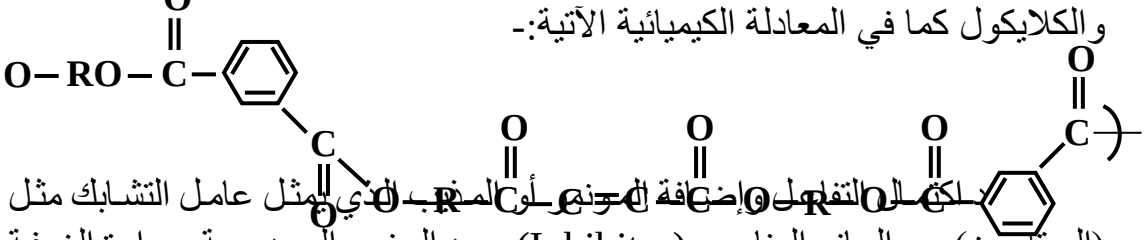
وتدعى أيضا الطور الظاهري ، و تكون أما بوليمرات أو معادن أو سيراميك . وتعد عادة العنصر الأكثر أهمية في المركبات لان العديد من الخصائص لهذه المركبات هي السائدة لهذه المادة الأساس[10]. تمتلك المواد الأساس اللدائنية أعلى شد نوعي وخصائص معايرة أكثر تقدما في حالة الصناعة الفنية والأقل في المادة الأولية (Raw Material) وتكاليف التصنيع وتسمح لتصمم بمرونة أكثر وكفاءة أكثر كعوازل حرارية . وبذلك يمكن عدها المادة الرابطة التي تعمل على ربط وتماسك مواد التدعيم أو الطور الابتدائي الذي يقوم بتقوية الطور الثانوي المتمثل بمواد التدعيم [39,40].

2-1-6-1 راتنجات البولي استر غير المشبعة Unsaturated Polyester Resin

وهي تلك المواد التي تجرى لها عملية تشابك بتفاعل بلمرة أضافية مستقلة خلال الأواصر المزدوجة الفعالة الموجودة في الهيكل الرئيس للبولي استر ويعرف هذا النوع بالبولي أسترات غير المشبعة [42].

تتكون راتنجات البولي استر غير المشبعة من سلاسل بوليمرية، تذوب هذه السلاسل في المذيبات العضوية الفعالة ويتم إضافة معجلات ومواد مساعدة مناسبة إلى الراتنج (البولي استر) عندما يكون في الحالة السائلة وذلك لكي يحدث تفاعل كيميائي في الحالة الباردة بدون ضغط ثم يتكون تركيب صلب في الأبعاد الثلاثة. فضلاً عما سبق يمكن تعريف راتنجات البولي استر على أنها بوليمرات صناعية تكون فيها الوحدات التكرارية المكونة للسلسلة الجزيئية من نوع الاستر وصيغتها الكيميائية [41] هي:

ويحضر راتنج البولي استر من تفاعل مواده الأولية (حامض ثنائي القاعدة مشبع وغير مشبع) مع كحول ثنائي الهيدروكسيل (كلايكول) وبإزاحة الماء الموجود ما بين الحامض والكلايكول، فالأستر سوف يرتبط بصورة حلقية والنتيجة سوف تتكون سلسلة طويلة من الجزيئات الحاوية على وحدات متناوبة من الحامض والكلايكول كما في المعادلة الكيميائية الآتية:-



ولكن التفاعل وإضافة الـ ... أو المذيب الذي يمثل عامل التشابك مثل (الستايرين) مع المانع المناسب (Inhibitor) يبرد المزيج إلى درجة حرارة الغرفة ويتراوح محتوى الستايرين (Styrene) المضاف بحدود (30-40%) [4,42].

2-1-6-2 التطبيقات العامة لراتنجات البولي استر غير المشبع

تستعمل البولي أسترات غير المشبعة في العديد من المجالات العامة مثل التشييد والبناء، والصناعات البحرية، والكهربائية، والصناعية، والنقل، وكذلك الشؤون الصحية. ففي مجال البناء تستعمل للحصول على شرائح الأسقف، وممرات تكييف الهواء، والقواطع وإطارات الشبابيك والأبواب، وحمامات السباحة، وألواح الرخام الصناعي، وكذلك الاكساء المقاوم للماء.

أما في الأثاث فهي تستعمل لصناعة ألواح الديكور والزخرفة وأجزاء الأثاث والإطارات ومناضد المدارس والسبورات والأجزاء الداخلية للناقلات والشبابيك نصف الشفافة والتماثيل,وتستعمل في صناعة قوارب النزهة، وصناديق حفظ الأسماك، وقوارب الصيد، والحاويات، وأجسام السيارات، والبطانة الداخلية لعربات المترو، والكرافانات، وريش المراوح، وشاشات الرادار، وخوذ سائقي سيارات السباق، وأجزاء من أجسام الطائرات والهليوكوبتر، والعوازل الكهربائية، والخزانات الصناعية، وسنارات صيد السمك وأدواته المختلفة [31,41,44].

2-6-2 مواد التقوية Reinforcements

تضاف هذه المواد الى المادة الأساس لتحسين معظم الخصائص والمحافظة على الصفات المرغوب فيها [5] . فإذا كانت مادة التقوية تحسن قوة المادة الاساس فانها يجب ان تكون أقوى واصلد من المادة الأساس ويجب أن تعدل (modify) ميكانيكية الفشل بشكل كافٍ وبطريقة محسنة . يتضمن متطلب القوة العالية والجساءة العالية مطيلية (Ductility) قليلة أو عدم وجودها ، أي سلوك هش نسبي (Relative Brittle) [31,44].

قد تكون مواد التدعيم سيراميكية أو معدنية أو لدائنية وتتميز بالجساءة والمقاومة العالية وتتنوع بأشكال مختلفة فقد تكون أليافا أو دقائق أو قشوراً أو صفائح أو حشوات [29].

2-6-2 -1 الألياف Fibers

الألياف عبارة عن تراكيب خيطية **Filament** منتظمة الشكل ذات خواص متميزة تعمل على تقوية مادة الأساس في المادة المتراكبة إذ تتحمل الألياف الجزء الأعظم من الحمل المسلط على المادة المتراكبة. وخواص المادة المتراكبة المدعمة بالألياف مرتبطة بصورة وثيقة بخواص الليف (قطر الليف، الكسر الحجمي، طول الليف، تركيب الليف) والألياف يمكن ان تكون فلزية أو سيراميكية او لدائنية منها الطبيعي او الصناعي [**5,29**].

2-7 الألياف الصناعية Artificial Fibers

تعد الألياف التصنيعية أكثر أنواع الألياف استخداماً لمواصفاتها الجيدة والمرغوبة ويعود اصل الألياف التصنيعية الى المواد الطبيعية، إذ تجرى لها معاملة وعمليات تصنيع لتحسين خواصها وتشكيلها حسب الطلب وتشمل :

2-7-1 الألياف الزجاجية Glass Fiber

تعد الألياف الزجاجية من أكثر المواد المستخدمة في تدعيم الراتنجات بشكل عام، لكون هذه الألياف سهلة التصنيع والتشكيل نسبياً وتمتلك خواصا" جيدة وذات كلفة اقتصادية واطئة نسبياً.

تصنع ألياف الزجاج بخلط المكونات الاساسية للزجاج وبشكل جاف وهي أملاح السليكا، حجر الكلس (الجير)، حامض البوريك Boric Acid وبعض المواد المقومة Ingredients مثل (الطين، الفحم وأحجار الفلدسبار) ، ومن ثم يتم صهرها في خزانات خاصة في فرن تعتمد درجة حرارته على نوع الخليط وعادة يكون بمعدل (1260°C) ثم يتم إمرار الزجاج المصهور في حاوية مصنعة من البلاتين دائرية الشكل ذات نهاية مثقبة لكي يسمح للمنصهر المرور ثم يسحب بعد ذلك ويعالج وعليه يتم الحصول على ألياف زجاجية طويلة ورفيعة تلف على بكرة سريعة الدوران، وكلما زادت سرعة دوران البكرة كلما قل قطر الليف الزجاجي المنتج، بحيث انه يمكن انتاج ليف بقطر حوالي (2) مايكرون باستعمال سرعة دوران m/s (300 – 500) [45] ، ثم تبرد وتغزل للحصول على الاشكال النهائية لألياف الزجاج، وعادة تجري معالجة كيميائية لسطوح هذه الألياف لكي تكون قابلة

للالتصاق بالمواد الراتنجية الرابطة حيث يتم معاملتها بمواد كيميائية تدعى بمعاملات الربط (Coupling agents)[5].

2-1-7-1 خواص الألياف الزجاجية Glass Fiber Properties

1 - تتمتع الألياف الزجاجية بمتانة عالية نسبياً وعندما تدفن في وسط لدائني سوف تنتج مادة متراكبة ذات مقاومة نوعية عالية جدا.
2 - لا تحترق ولا تساعد على الاحتراق نتيجة لطبيعتها الكيميائية وتتميز بدرجة انصهار عالية.
3 – لا تمتص الرطوبة ولذلك لا تتعرض للانتفاخ أو التمدد.
4 – تتميز ألياف الزجاج بمعامل تمدد خطي واطئ ومعامل توصيل حراري, واطئ نسبة الى المادة الأساس.
5 – تعتبر ألياف الزجاج غير موصلة كهربائياً ولذلك فأنها تعد عوازل مثالية (Ideal Insulators) [46].

2-1-7-2 أنواع الألياف الزجاجية Glass Fiber Types

تنتج الألياف الزجاجية بأنواع مختلفة وكل منها لها خواص مميزة، ويتم ذلك بالاعتماد على طبيعة الاكاسيد الداخلة في صناعتها على ان يكون الاوكسيد الأساسي لكافة الأنواع هو السليكا SiO_2، أما الأكاسيد الأخرى فتضاف حسب المواصفات المطلوبة للألياف الزجاجية ومن أنواع الألياف الزجاجية ما يأتي[51]:-

1/ ألياف الزجاج نوع E

وهي رمز للخواص الكهربائية Electrical وهو الشكل الأكثر شيوعاً بسبب سهولة وسلاسة سحبه أثناء التصنيع، متانته العالية وجساءته Stiffness وخواصه في العزل الكهربائي ومقاومة الظروف الجوية.

2/ ألياف الزجاج نوع C

تعد رمزا" لمقاومة التأكل Corrosion، فلها مقاومة كيميائية أكثر من نوع E ولكنها اقل متانة وأغلى ثمناً.

3/ ألياف الزجاج نوع S

وهي رمز للخواص المقاومة (Strength) وهي الأغلى ثمناً بين الأنواع الاخرى، ولكن ما يميزها امتلاكها لمعامل مرونة عال، ومقاومة كبيرة لدرجات الحرارة العالية. لهذا النوع استعمالات محدودة وخاصة كاستخدامه في صناعة الطائرات حيث ان أداءه العالي يبرر كلفته الإضافية[47].

بالإضافة لما سبق فأن الألياف الزجاجية تمتاز بنفاذيتها للضوء المرئي وتبلغ درجة تليينها حوالي °C (850) فضلاً عن امتلاكها خاصية التناظر (أي ذات خواص متكافئة في كافة الاتجاهات)، فمثلاً معامل التمدد الحراري في الاتجاه المحوري يماثل قيمته في الاتجاه القطري[10].

جدول (2-1) يبين أهم أنواع ألياف الزجاج وتركيبها الكيميائي[47].

	E glass	C glass	S glass

SiO_2	52.4	64.4	64.4
$Al_2O_3.Fe_2O_3$	14.4	4.1	25.0
CaO	17.2	13	-
MgO	4.6	3.3	10.3
$Na_2O.K_2O$	0.8	9.6	0.3
Ba_2O_3	10.6	4.7	-
BaO	-	0.9	-

2-7-2 ألياف النايلون Nylon Fibers

تصنع الياف النايلون من البولي اميدات (Polyamides) وهي بوليمرات مطاوعة للحرارة تحضر من الحوامض الأمينية او مركباتها الحلقية (اللأكتامات – Lactams) او من تكثيف الحوامض الثنائية مع الأمينات الثنائية وقد أنتجت أول مرة من قبل شركة (Dupont) عام 1930 ومن قبل العالم كاروثرز[2].

اشتهرت هذه البوليمرات تجارياً باسم النايلون Nylon الذي أطلقته عليها شركة دوبون كما استحدثت لاحقاً الأرقام المميزة لأنواع النايلون المختلفة مثل نايلون 6 ونايلون 66، ولهذه الأرقام دلالات خاصة فإذا كان الرقم منفرداً مثل 4 او8 فهذا يدل على تحضير النايلون من مادة أولية واحدة هي الحامض الاميني المحتوي على أربع او ثمان ذرات كاربون كما موضح في التفاعل الأتي[2]:-

$$H_2N-(CH_2)_3-COOH \longrightarrow \left(NH-(CH_2)_3-CO\right) + H_2O$$

نايلون 4

$$H_2N-(CH_2)_7-COOH \longrightarrow \left(NH-(CH_2)_7-CO\right) + H_2O$$

نايلون 8

أما إذا كان الرقم منفرداً ومثل 88 او ثلاثياً مثل 106 فهذا يدل على تحضير النايلون من مادتين حيث يدل الرقم الأيسر على عدد ذرات الكاربون في الحامض الثنائي والأيمن على عدد ذرات الكاربون في الامين الثنائي وكما موضح في التفاعلات الاتية [2]:-

$H_2N-(CH_2)_8-NH_2$ (الامين الثنائي)

$$+ \longrightarrow \left(CO-(CH_2)_6-CONH-(CH_2)_8-NH\right) + H_2O$$

نايلون 88

$HOOC-(CH_2)_6-COOH$ (الحامض الثنائي)

$H_2N-(CH_2)_6-NH_2$ (الامين الثنائي)

$$+ \longrightarrow \left(CO-(CH_2)_8-CONH-(CH_2)_6-NH\right) + H_2O$$

نايلون 106

$HOOC-(CH_2)_8-COOH$ (الحامض الثنائي)

تمتاز ألياف البولي أميدات بقابليتها على تكوين أواصر هيدروجينية من خلال المجاميع الاميدية مما يساعد على انتظام الجزيئات وتراصها مما يعطيها القابلية على التبلور العالي وبالتالي الحصول على صفات جيدة لألياف البوليمر.
تمتلك ألياف النايلون صفات ميكانيكية جيدة ومقاومتها الحرارية جيدة أيضا" تتراوح °C (200 – 250) كما أنها تمتلك درجات انتقال زجاجي مناسبة تتراوح بين °C (40 – 70)وتحتوي البولي اميدات على نسبة رطوبة تتراوح بين (2 – 4)% عند رطوبة نسبية خارجية بحدود (65%)[2].

3-7-2 ألياف كيفلار Kevlar Fiber

وهي عبارة عن بوليمر poly(p-phenyleneterephthalamide) والذي يحضر بالبرمرة التكثيفية (Condensation Polymerization) لمركبي:-
- Terephthaloyl Chloride
- p-phenylene diamine

هذه الالياف تكون بهيئة سلسلة بوليمرية خطية غير متقطعة نتيجة الترابط الموجه لحلقات البنزين [48] وهذا ما يوضحه الشكل (2-6)

شكل رقم (2- 6) يوضح التركيب الكيميائي لألياف كيفلار[10]

وفي هذا البحث تم استخدام ألياف كيفلار الآتية لدى تحضير نماذج المواد المركبة ألياف كيفلار محاكاة ثنائية الاتجاه (°90-°0) ذات كثافة سطحية(g/m^3 485) علما ان هذه الألياف مجهزة من .Trylon Ltd،(UK)[48].

4-7-2 ألياف الفولاذ Steel Fiber

إن الكثير من المعادن تستخدم بشكل أسلاك وبمستويات مقاومة عالية وتشمل أسلاك البريليوم ، أسلاك التنكستن وأسلاك الحديد التي تتميز بأنها ذات قوة عالية وكثافة واطئة.

أسلاك الحديد تمثل مواد تقوية وهي الأكثر استخداما بالنسبة للكونكريت أكثر من البوليمرات والمعادن كما إنها تستخدم للتقوية في حالة الإطارات وتعد أسلاك الحديد الدقيقة جدا بقطر(μ 0.1m) ذات مقاومة عالية 5Gpa [49] ,أما مكوناتها فتتألف من :-

الجدول (2-2) يوضح مكونات ألألياف الحديد[49]

C%	*Mn%*	*Si%*	*S%*	*(S+P)%*	*P%*	*Ni%*	*Cr%*
0.72	**0.6**	**0.2**	**0.05**	**0.08 Combined**	**0.05**	**0.1**	**0.05**

ولان هذه الألياف تستخدم للإطارات حيث انه لاتلتصق بالإطار حتى يتم طلاؤها بالبراص ويتركب من نحاس نسبته (61%-67%)وزنك نسبته (33%-39%)
وذلك لأن قوة تلاصق Cu مع المطاط عالية جداً وكذلك البراص في حين قوة التلاصق ألياف الحديد مع المطاط ضعيفة جداً علماً ان قوة تلاصق Cuمع ألياف الحديد عالية جداً ولذلك سوف يكون البراص ذا قوة التصاق عالية جداً مع ألياف الحديد [33].

8-2 تصنيف المواد المركبة Classification of Composite Material

إن معظم المواد المركبة التي تم تطويرها لحد ألان صنعت خصيصا لغرض تحسين الخصائص الميكانيكية ، مثل القوة (Strength) أو الصلابة (Stiffness) أو المتانة (Toughness) والأداء بدرجات الحرارة المرتفعة، وان امتلاك المواد المركبة لخاصية معينة يرجع الى طبيعة المادة الأساس أو نوع التدعيم المستخدم ، ولذا يمكن تصنيف المواد المركبة حسب طبيعة المادة الأساس أو نوع التدعيم المستخدم [50]

1-8-2 طبيعة المادة الأساس

وفقا للمادة الأساس يمكن تصنيف المواد المركبة الى ثلاثة أنواع:

1-1-8-2 المواد المتراكبة ذات الأساس المعدني Metal (MMCs) Matrix Composite

تصنع المواد المركبة ذات الأساس المعدني بعدة طرائق منها رش البلازما للمادة الأساس على طبقات الألياف المناسبة[51] وبواسطة صهر المادة الأساس ومزجها بطور التدعيم واستخدام الأساس المعدني بشكل مسحوق ومزجه مع طور التدعيم ومن ثم كبسهما وتلبيدهما معا، والطلاء الكهربائي لطور التدعيم بواسطة المادة الأساس وطرائق أخرى[52].

وتمتاز بكونها ذات كفاءة جيدة عند درجات الحرارة العالية ولها مقاومة قص وانضغاطية عالية ينتج من قوة ومتانة المادة الأساس وارتباط السطح البيني الجيد، ومن الأمثلة على هذه المتراكبات استخدام ألياف البورون في اساس من الالمنيوم والياف الكاربون في اساس من المغنسيوم ، النحاس،والألمنيوم[51].

وبالرغم من ان تطبيقات المادة المركبة ذات الأساس المعدني غير واسعة الانتشار مقارنة باللدائن المدعمة فان هناك حالات تكون فيها هذه المتراكبات أكثر ملائمة من غيرها[52].

ومن تطبيقاتها استخدامها في رؤس المكابس في المحركات الاوتماتيكية.وريش مراوح توربينات الغاز،وقبب الرادارات[49].

2-1-8-2 المواد المتراكبة ذات الاساس السيراميكي (CMCs) Ceramic Matrix Composite

وقد كانت هذه المتراكبات تستخدم لزمن طويل بشكل الكونكريت المدعم وبفعل مقاومة الشد الواطئة لهذه المتراكبات فان استخداماتها تكون محدودة على التراكيب الخاضعة لحمل الانضغاط ولكون السيراميك جيدا بمقاومته للتأكسد عند درجات الحرارة العالية وبمقاومته للزحف ولذلك تم السيطرة على تصرفها الهش.

فان هذه المواد ستكون مناسبة بصورة ممتازة للاستخدام في الأجزاء المعرضة للحرارة في توربينات الطائرات.ومن أمثلة هذا النوع من المتراكبات هي متراكبات نتريد السلكون (Si3Ni4) المدعم بكاربيد السلكون (SiC) ، ومتراكبات الزجاج المدعم بألياف الكاربون[49,51].

3-1-8-2 المواد المركبة التي أساسها من البوليمر (PMCs) Polymer Matrix Composite

هي واحدة من المواد المركبة الشائعة حيث إن البوليمر يعد مادة أساس يحتوي على الألياف (المادة المقوية) التي ممكن أن تكون من الزجاج أو الكاربون.

إما المادة الأساس ممكن أن تكون ثرموست، ثرموبلاستك، إلاستومر.

وتعد هذه المواد أفضل الأنواع وذلك لما تتمتع به من صفات ميكانيكية عالية نسبة الى الكثافة بالإضافة إلى سهولة تصنيعها [5,44,50]

حيث تعد المواد المركبة ذات الأساس البوليمري واحدة من أكثر أنواع المواد شيوعا ، فقد زاد الاهتمام بهذه المواد بشكل كبير في الاونه الأخيرة ، إذ استخدمت في تطبيقات كثيرة ابتداء من تصنيع القوالب ، وأجزاء الطائرات وذلك لما تمتاز به من خفة الوزن والمتانة العالية التي قادت الى الحصول على مواد مثالية كلفتها قليلة واستهلاكها للطاقة قليل ، ونتيجة لذلك فقد اكتسبت الراتنجات المسلحة شهرة واسعة كمادة حديثة تدخل في الصناعة ، وعدة بدائل للمواد التقليدية وسبائكها في العديد من الاستخدامات [49,53]

والمتراكبات ذات الأساس البوليمري تمتلك خواصا" ممتازة عند درجة حرارة الغرفة وبكلفة واطئة ، والمادة الأساس تتضمن مختلف البوليمرات المتصلدة حراريا ، ولاحقا البوليمرات المطاوعة حراريا والمدعمة بألياف الزجاج ، الكاربون ، البورون والألياف العضوية والمادة الأساس البوليمرية غالبا ماتدعم بواسطة الألياف نظرا لما تتمتع به من خصائص وميزات تختلف بها عن مواد التقوية الأخرى [4,51] .

ولكون البوليمرات تمتاز بأنها منخفضة الكثافة ولكنها تفتقر الى القوة والمتانة ولذا يتم إضافة بعض المكونات الأخرى الى البوليمر المتجانس وتكوين البوليمرات المتراكبة بغية تغيير بعض خواصه وإدخال صفات جديدة عليه ومنها [50]

1-زيادة صلابة (Stiffness) البوليمر وقوته (Strength) وثبات أبعاده (Dimension Stability)

2- زيادة مقاومة الصدمة للبوليمر (Impact Strength)

3-تحسين خاصية الشد والمرونة.

4- رفع درجة حرارة التشوه (Distortion Temperature)

5-تقليل نفاذية البوليمر للغازات والسوائل.

6- تقليل كلفة البوليمر.

وأخيرا يعزى التوسع في استخدام المتراكبات ذات الأساس البوليمري إلى عدة أسباب أهمها[5,10]:

1- إمكانية تشكيلها بإشكال وإحجام مختلفة.
2- لاتصدأ ولا تتآكل.
3- مقاومتها الجيدة للمواد الكيميائية والرطوبة.
4- خفيفة الوزن وذات متانة عالية.
5- عازلة جيدة للكهربائية.

ان صفات المتراكبات ذات الأساس البوليمري تحددها صفات المكونات المضافة للبوليمر وطبيعة دقائقها وطبيعة التداخل بين البوليمر والمواد المضافة

والنسبة المؤوية الوزنية للمواد المضافة التي تلعب دورا كبيرا في تحديد الخواص الميكانيكية للمواد المركبة البوليميرية [4] .

جدول (2-3) يوضح أنواع المادة المركبة وحسب نوع المادة الأساس[49]

Matrix Type	Common Designation	Matrix Properties			Most Effective Reinforcement
		Stiffness	Strength	Ductility	
polymer	PMC	Low (0.2 to 0.5)msi	Low (0.2to 5) Ksi	low(<2%)	Continuous Fiber
Metal	MMC	Moderate (6to16) Msi	High (10to150) Ksi	High (20%)	Continuous and Discontinuous fiber
Ceramic	CMC	High (20to80) Ksi	High (20to80) Ksi	Low (<1%)	Discontinuous fiber Or Whisker and particulate

2-8-2 طبيعة طور التدعيم

أما التصنيف على أساس طور التدعيم، فهو يعتمد بالدرجة الأساس على الشكل الهندسي للتدعيم (Geometry of Reinforcement) ويقسم إلى أربع مجاميع هي:

2-8-2-1 المواد المركبة المدعمة بالتشتيت

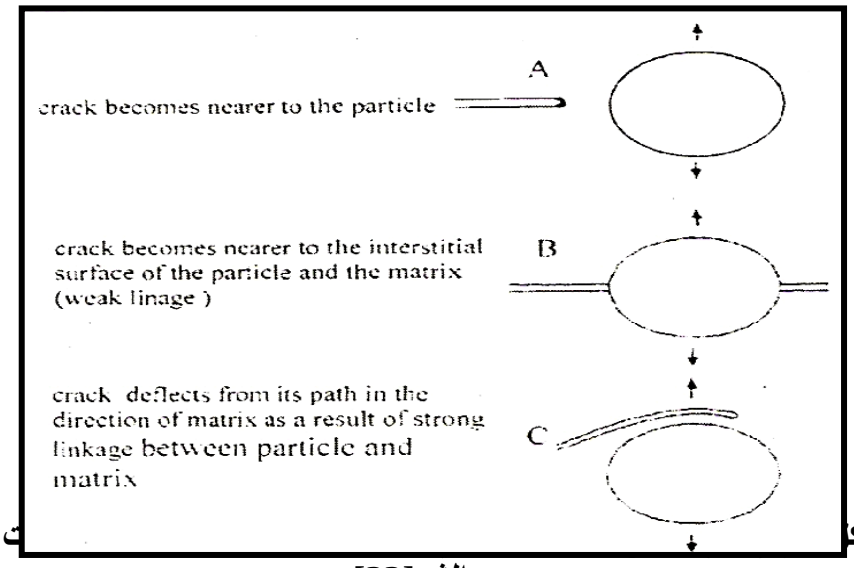
ينتج هذا النوع من المواد المتراكبة عن طريق توزيع دقائق صغيرة جدا" من مواد قد تكون معدنية أو غير معدنية أو اكاسيد مواد مثل دقائق اوكسيد الألمنيوم Al_2o_3 في المادة الأساس . ان توزيع هذه الدقائق يكون بشكل عشوائي لذلك تكون مقاومة المادة وخواصها الأخرى متماثلة في جميع الاتجاهات يتراوح حجم الدقائق بين (0.01 μm - 0.1) حيث تعمل هذه الدقائق على إعاقة أو مقاومة حركة الانخلاعات عند درجات الحرارة العالية ، حيث تتوزع هذه الدقائق في المادة الأساس وتعمل على زيادة حدة المرونة لأنها تقلل من الاجهادات المسلطة على المادة الأساس[4] . ان التقوية بهذه الطريقة تكون فيها المادة الأساس هي التي تعطي القوة للمادة المتراكبة[10,54] .

2-8-2-2 المواد المتراكبة المدعمة بالدقائق

وهي مواد متراكبة دقائقية ولكنها تختلف عن المواد المتراكبة المدعمة بالتشتيت من حيث حجم الدقائق الذي يكون اكبر من (1 μm) دائماً ونسبة الكسور الوزنيه فيها قد تصل إلى (90 %) في المواد المتراكبة عالية الإضافة. [41,55].

وتحدث التقوية عندما تعمل الحبيبات كعوائق لتشويه المادة الأساس بسبب صلادتها العالية وعدم تشويهها إثناء التحميل وتكون على عدة أنواع وأشكال منها الكروية والقشرية والأبرية والخيطية حيث تعمل الدقائق على زيادة الجساءة وزيادة مقاومة الصدمة وتحسين معامل التمدد الحراري للمادة الأساس [56]

أن الخواص النهائية للمادة المتراكبة المدعمة بالدقائق تتأثر بجملة من العوامل يتعلق بعضها بخواص المادة الأساس وأخرى بخواص مادة التقوية مثل نوع وحجم وشكل الدقائق وتوزيعها ضمن المادة الأساس، كما أن لقوة الترابط بين المادة الأساس والدقائق اثراً بالغاً في تحديد خواص المادة المتراكبة النهائية [53,55]. ومن استعمالات هذا النوع من التقوية هي في صناعة رؤوس أقلام القطع [56] الدقائق تمنع التشوهات في المادة الأساس إضافة إلى تحملها الاجهادات المسلطة على المادة المركبة نتيجة حجمها الكبير وكما يظهر في الشكل الأتي[33].



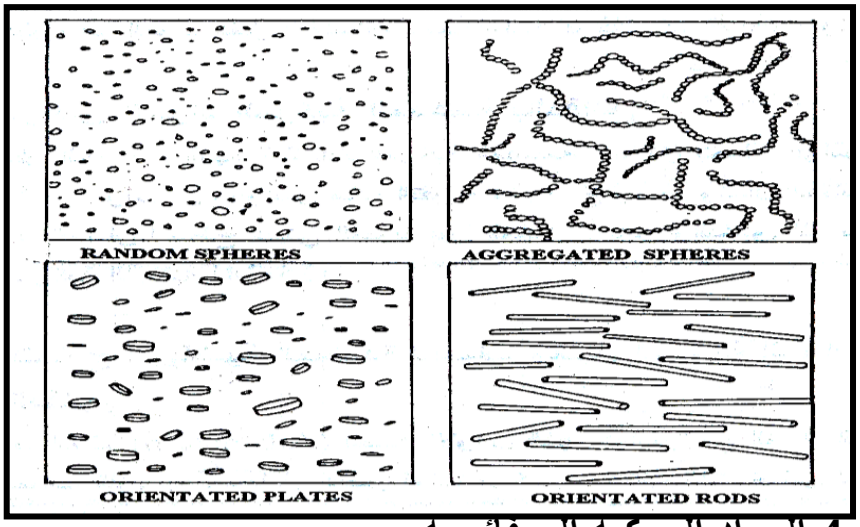
الشكل ت مقاومة الشد[33].

3-2-8-2 المواد المركبة المقواة بالألياف

يتم في هذا النوع من المواد المتراكبة تقوية المادة الأساس بألياف تكون على شكل ألياف طويلة أو وبشكل ألياف قصيرة ، وتكون الألياف بنفس الاتجاه أو بشكل عشوائي في المادة الأساس[7,57] تمتلك الألياف مقاومة ميكانيكية ومعامل مرونة عاليا" بينما تكون المادة الأساس مطيلية لا تؤثر في الألياف وتكمن أهمية التقوية بالألياف بأنها تزيد من مقاومة الصدمة وتحسين من الخواص الميكانيكية بشكل عام هناك أنواع كثيرة من الألياف فمنها ألياف بوليمرية مثل ألياف الكفلر والنايلون أو ألياف معدنية مثل اسلاك النحاس او ألياف سيراميكية مثل ألياف الزجاج[10,58].

وفي هذا النوع من المواد المتراكبة تغمر الألياف في الأرضية التي تكون أما مستمرة أو غير مستمرة و لا يزيد كسرها الحجمي عن (% 70) [59] ، وتدعى بالمادة المركبة المقواة بالألياف(Fiber Reinforced Materials)، (FRM [56]. ويجب أن تمتلك الألياف مقاومة ومعامل مرونة عاليين لإنتاج مواد ذات مقاومة عالية نسبةً إلى الوزن. والفرق المهم بين المواد المركبة المقواة بالألياف وتلك المقواة بالتشتيت هو أن الألياف ذات معامل المرونة العالي تتحمل كل الحمل تقريباً. إن المادة الأساس لأغلب المواد المركبة التي يتم تقويتها بالألياف ممكن أن

تكون مادة سيراميكية أو بوليمرية أو سبائك والتي يمكن أن تمثل مادة الألياف في نفس الوقت.والألياف مسؤولة بشكل كبير عن إحداث ثورة في المواد المتراكبة لتحسين خواصها وفق الاستخدام [59].



4-2-8-2 المواد المركبة الصفائحية

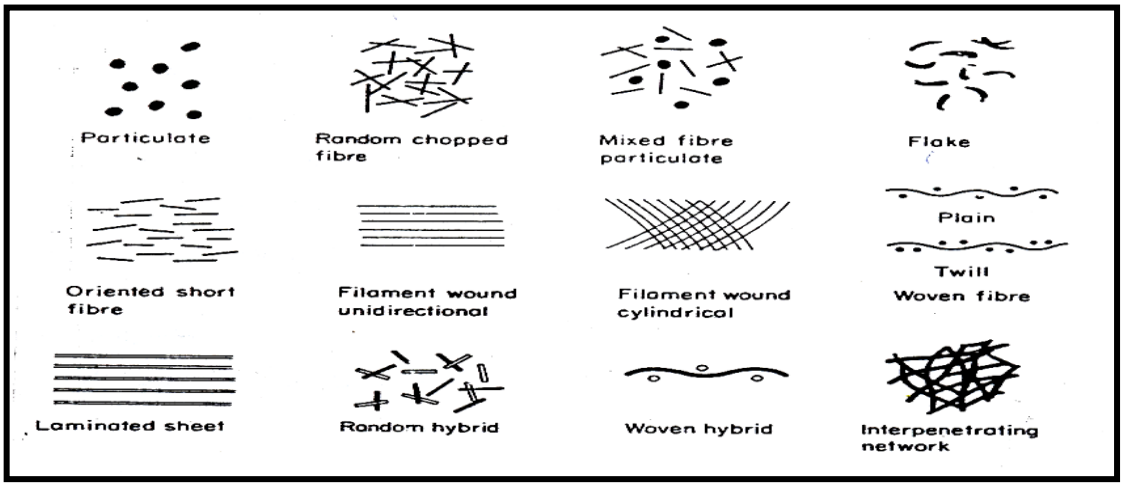
في هذا النوع تستخدم مادة تقوية بشكل طبقات من مواد مختلفة وتتألف من طبقتين أو أكثر موضوعة إحداهما فوق الأخرى وتتكون المتراكبات الصفائحية أما من عدة طبقات للمادة نفسها، كالصفائح اللدائنية المدعمة بالألياف، ولكن بتوجيه مختلف للألياف في الطبقات المتناوبة، أو تتألف من طبقات من مواد مختلفة مرتبطة سويا كالبوليمر والمعدن[49,52,51].

إن استخدام هذا النوع من المواد المتراكبة يسمح للمصممين استعمال أفضل الخواص لكل طبقة وذلك للحصول على مواد متراكبة ذات صفات جيدة منها مقاومة التآكل ومقاومة البلى والمتانة والوزن الخفيف والجساءة والعديد من الصفات التي يمكن التحكم بها عن طريق التدعيم من مواد متنوعة [7,30].

9-2 المواد المركبة الليفية الهجينة

وهي تمثل أنظمة جديدة من المتراكبات تربط نوعين مختلفين أو أكثر من الألياف في مادة الوسط نفسها، أو نوعا" واحدا" من الألياف ضمن أساسين مختلفين مرتبطين في نظام واحد، ويتسع التعريف ليشمل مواد تقوية متعددة.

الهدف من جمع أنواع مختلفة من المواد الأساس أو مواد التقوية أو كليهما معا للحصول على موازنة جيدة للخواص بصورة عامة و إمكانية توحيدها في مادة واحدة [10], وبناء مادة جديدة تحتفظ بفوائد موادها الأساس، وجعلها مناسبة للاحتياجات المطلوبة التي صممت من اجلها ومن هذه العوامل الكلفة والوزن والسلوك بعد الفشل وتجنب إنتاج مواد مركبة هجينة اضعف من موادها الأساس [58, 4],



شكل (2-9) الأشكال المختلفة لمواد التقوية الأحادية والهجينة[41].

2-9-1 أنواع المواد المركبة الليفية الهجينة

هناك أنواع عديدة من المتراكبات الليفية الهجينة توصف وفقا لطريقة مزج مكوناتها الى:

1. الهجائن الشطيرية Sandwich Hybrids : وتمثل مادة واحدة توضع بين طبقتين من مادة أخرى.
2. الهجائن الصفائحية Laminate Hybrids : وتتكون من طبقات من نوعين مختلفين أو أكثر من المتراكبات ذات الاتجاه الواحد Composites Unidirectional مرصوصة بترتيب معين وفيها تبادل للطبقات لمادتين أو أكثر وترص فيها بشكل منتظم.
3. الهجائن الممزوجة مزجا جوهريا Intimately Mixed Hybrids : وفيها تمزج الألياف مزجا عشوائيا بضمان عدم تواجد تركيز معين لأي نوع من المواد، وهي التي استخدمت في بحثنا هذا.
4. الهجائن ضمن الطبقية Interply Hybrids :وتتضمن حبلا أو ضفيرة لنوعين أو أكثر من الألياف تمزج بشكل منتظم أو عشوائي[10].

2-9-2 اهمية المواد المتراكبة الليفية الهجينة

تكمن أهميتها في أمكانية الحصول على مدى واسع من الخصائص الفيزيائية والميكانيكية بالاختيار الأمثل للألياف المستخدمة والكسر الحجمي المناسب[10]

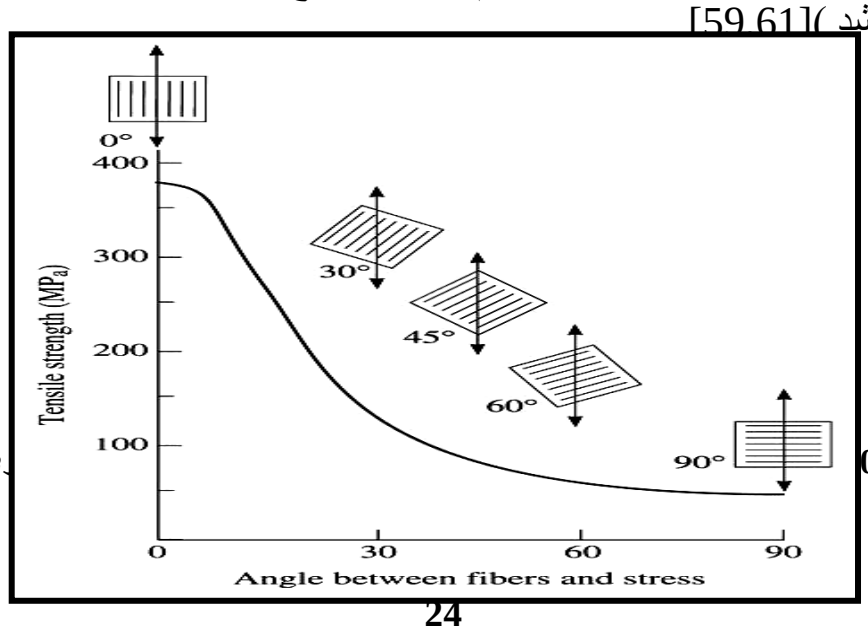
سهولة تصنيع بعض المواد المتراكبة الهجينة من استخدام نوعين من المادة الاساس كاستخدام الحشوات مع الألياف لتحقيق الخواص المطلوبة[53]

تعد جيدة للسيطرة على كلفة أنواع المواد المركبة ، إذ إن الكلفة تعد عاملا" مهما" في الصناعات الثقيلة والكبيرة، ولذا فالمواد المتراكبة الهجينة تعطي فرصة اكبر للمصمم للحصول على مواد خفيفة الوزن وذات كلفة اقل وخواص ميكانيكية جيدة[60].

2-10 العوامل المؤثرة على سلوك المتراكبات الليفية

2-10-1 اتجاه الألياف

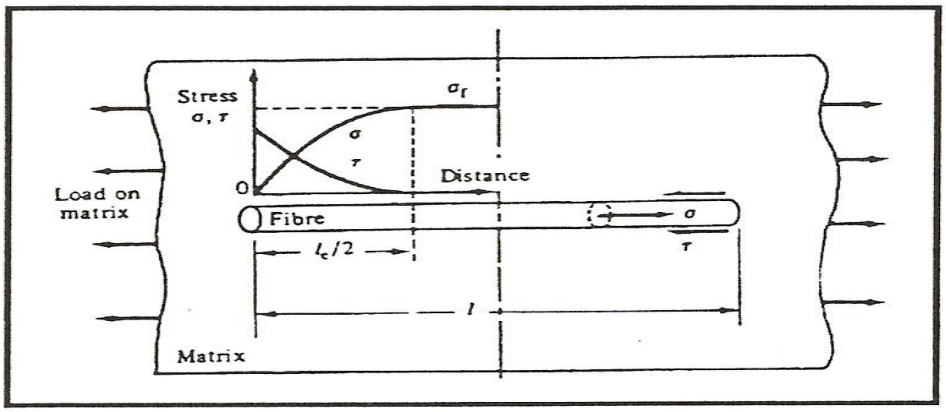
تظهر أهمية هذا التأثير بالنسبة لتناظر المواد المركبة ويؤثر على خواصها الميكانيكية والفيزيائية [59]. والشكل الأتي يوضح تأثير اتجاه الألياف على مقاومة الشد ، حيث يلاحظ اختلاف قيم متانة الشد مع اختلاف الزاوية بين الألياف (اتجاه الشد)[59,61]



شكل (2-0 ي مقواة

2-10-2 طول الليف

إن الخواص الميكانيكية للمواد المقواة بالألياف تعتمد أيضا على الدرجة التي ينتقل بها الحمل المسلط من المادة الأساس إلى الألياف [62] فعند تعرض المادة المركبة المقواة بألياف غير مستمرة إلى إجهاد شد نلاحظ إن الألياف القصيرة في المادة الأساس سوف تعاني توترا نتيجة لإجهاد القص عند السطح البيني التي تعمل على سطوح الألياف واجهادات القص هذه تكون ذات قيمة عظمى عند نهايات الألياف التي تعاني توترا اكبر وتبدأ قيمة اجهادات القص بالهبوط كلما اقتربنا من وسط الليف وتكون اجهادات الشد في الليف صفرا عند النهايات وتبدأ بالزيادة مع تناقص إجهاد القص وكما يظهر في الشكل الأتي[49].

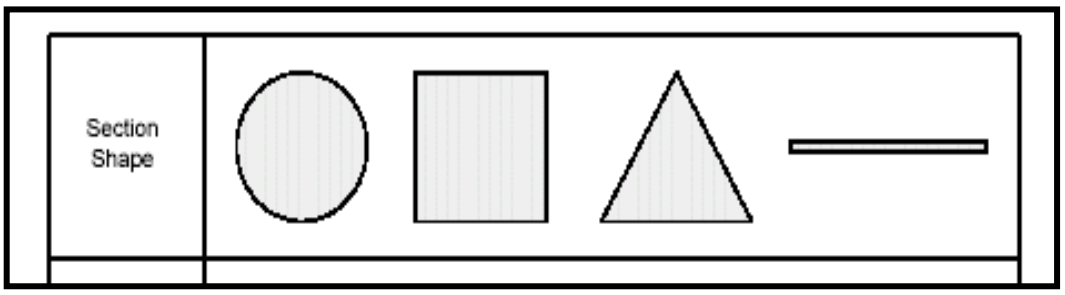


ح

2

تتعلق خواص الشكل الهندسي لليف بشكل ومساحة المقطع العرضي له ، حيث يمكن أن تكون دائرية أو هرمية أو مسطحة أو مربعة أي متعددة الشكل الهندسي ، كما في الشكل (2-12). الذي يوضح أشكالا" مختلفة لمساحة المقطع العرضي للألياف ، حيث يمكن أن تكون دائرية أو مربعة أو مثلثة.

والليف ذو المقطع الدائري أو الاسطواني الذي يطلق عليه (Dumbbell)هو شكل مساحة المقطع العرضي المفضل. إذ لا تتركز الاجهادات على نهاية الليف وبذلك يساعد على توزيع الاجهادات [63].



2-10-4 الكسر الحجمي

الكسر الحجمي يؤثر على الخواص الميكانيكية للمواد المركبة [35]. فعند زيادة الكسر الحجمي للألياف تزداد متانة الشد وتستمر بالزيادة إلى أن تصل إلى قيمة معينة Peak ثم تبدأ بالنقصان نتيجة انخفاض كفاءة الراتنج لاستيعاب الألياف [34]. إن كمية الألياف في المادة المركبة تعرف بدلالة الكسر الحجمي (Volume Fraction، V_f) حيث تمثل النسبة بين حجم الألياف (v_f) إلى حجم المادة المركبة (v_c) [61] :

$$V_F = \frac{V_f}{V}$$

(1-2) .....

حيث إن : (V_F) الكسر الحجمي للألياف و (v_f) حجم الألياف (v_c) حجم المادة المتراكبة.

2-10-5 درجة الربط بين الليف والمادة الأساس

إن الظروف المثالية لتطبيقات المواد المركبة المدعمة بألياف مستمرة هو أن يكون الترابط قوياً بين الليف و المادة الأساس. وهذا ضروري لانتقال الحمل من المادة الأساس إلى الألياف. وبدون هذا الترابط لا يعمل نظام المادة المركبة [59].

2-10-6 خواص مادة الأساس

مادة الأساس يجب أن تكون قوية Strong ، متينة Tough ومطيلية Ductile، لكي تنقل الحمل إلى الألياف وتمنع نمو الشق خلال المادة المركبة [61].

2-11 وسائد الكبح Brake Pads

2-11-1 مقدمة Introduction

منذ 1970م، اكتسبت ألياف الاسبستوز معرفة كافية في صناعة وسائد الكبح، وعلى الرغم من إدراك منع ألياف الاسبستوز في الولايات المتحدة حتى عام 1989م تم العمل بهذا الحظر حتى عام 1991 وقد كانت هناك مطالبة جدية من قبل الشركات بصعوبة إيجاد بدائل للاسبستوز والتطبيقات المتوفرة لهمسموح بها بينما التطبيقات الحديثة لألياف الاسبستوز كانت ممنوعة , طبقاً للصحة المهنية الدولية ولجنة الأمان لدول الكومونولث لاستراليا، فان استخدام ألياف الاسبستوز تم الحظر عليه منذ 31 كانون الثاني 2002 في استراليا.

وطبقاً لجمعية الهواء والماء النقي للولايات المتحدة فان ألياف الاسبستوز تم حظره في سنة 1985 في دول أوربا. مع ذلك فان ألياف الاسبستوز تم الحظر عليه فقط منذ 1 كانون ثاني 2005م [64].

ان طلب المستهلكين وتحذير المنظمات الصحية دفع الى وضع بحوث كثيفة وتطورات مستمرة لوسائد الكابح في مرحلة مبكرة من سنة 1990م لإيجاد بدائل مناسبة لألياف الاسبستوز . في العقد الماضي من التطور، غّير مصنعو المواد الاحتكاكية رأيهم في الاسبستوز . لذلك فان السوق كان قد فوجئ بوسائد احتكاك مختلفة كل منها له تركيبة لا مثيل لها.

عندما يدوس السائق على عتلة الكابح، فان مائع الكبح سيدفع المكابس الموجودة في منظومة الكابح بصورة فعالة والتي بدورها ستضغط على وسائد الكابح مقابل الجزء الدوار.

يعمل فعل الكبح هذا على تباطؤ الحركة الدورانية لقرص الدوران وبالتالي يتباطأ المحور الخلفي للسيارة الموضوع عليه. وبذلك فان الطاقة الحركية للمركبة تتحول تقريباً الى طاقة حرارية والتي تتولد أساساً بين الوسائد والقرص الدوار.

ان المواصفات التي يتم تصنيع وسائد الكابح عليها يجب ان تنطبق على الأتي [65]

1. الحفاظ على معامل احتكاك عال وكاف مع قرص الكابح.

2. عدم وجود فتات نتيجة التكسر والتفكك باختيار معامل احتكاك مناسب مع قرص الكابح في درجات الحرارة العالية.
3. اختيار معامل احتكاك مستقر ومتوافق مع قرص الكابح.

2-11-2 أنواع وسائد الكبح الاحتكاكية Types of brake pads

هناك ثلاثة أنواع من وسائد الكبح طبقا للمواد المستخدمة في صناعتها وهي:

2-11-2-1 وسائد الكبح العضوية Organic brake pads

هي مواد مركبة تتكون من واحدة أو أكثر من الراتنجات الرابطة، ألياف الحرير الصخري ومزيج من مضافات لتحسين الاحتكاك وتحسين مقاومة البلى وتقليل الكلفة وتسهيل معالجة المادة وتغيير اللون وما الى ذلك. حالياً هناك ثلاثة أصناف فرعية لمواد الاحتكاك المربوطة راتنجياً:

*الاسبستوز، وتسمى كذلك بمبطنات الكابح العضوية.

*مواد عضوية لا صخرية (NAO) ، باستخدام جملة متنوعة من الألياف.

*مواد شبه معدنية، أي مواد معدنية مربوطة راتنجياً.

إن البطانة شبه المعدنية تتكون من حوالي 65% حديد و 10-25% صوف صخري والباقي يتمثل بمسحوق حديدي نفوذ (مسامي) كنسب وزنية. الكرافيت وعادة " الصناعي يُشكّل حوالي 15% . أما الرابط المقاوم للحرارة فيشكل حوالي 10%.

يجب ملاحظة أن المواد العضوية اللاأزبستية تطورت باطراد وتوسعت على عدة مجاميع. حالياً هذه التراكيب تشير الى ما تحويه من مود لا معدنية لا صخرية. فوق 1200نوع من الألياف المختلفة ومواد التقوية تم اختيارها لحد هذه اللحظة. بسبب أمكانية مزج ألياف مختلفة ومواد تقوية أخرى ضمن المركب الواحد فانُه يمكن إنتاج تراكيب ذات خواص باهرة. إن الألياف الاكثر استخداماً هي الألياف الزجاجية (المتضمنة الألياف الزجاجية المتقطعة والصوف المعدني والعديد من الأنواع المصاحبة لذلك)، معدنية، سيراميكية ، سليلوزية، والإشكال العضوية الأخرى مواد التقوية .

ان الراتنجات الرابطة المستخدمة في مواد الاحتكاك العضوية اعتيادياً تتكون من البوليمرات وغالباً ما تكون من النوع الفينولي وعلى شكليه السائل والمسحوق يتم استخدامهما .

ان الراتنجات وبقية مكونات بطانة الكابح العضوية التي تتفحم وتكون نواتج انهيار مزيتة، اعتماداً على ظروف الاستعمال قد تعطينا سلوكاً غير متوافق للاحتكاك والبلى.

يمكن تعزيز خواص البلى لمادة الاحتكاك وذلك بالاختيار الموفق لمكوناته اللاعضوية. بصورة عامة يمكن ان تكون المواد المضافة للبطانة سبباً في تحسين مقاومتها وتمددها الحراري وامتصاصها للحرارة والاحتكاك والخواص الأخرى. لا يمكن التنبؤ بدقة بتأثير المواد المضافة لمادة الاحتكاك على أدائها بسبب الإدراك المحدود لأساسيات هذه العلاقة حيث ان التركيبة الناجحة لبطانة الكابح يتم الحصول عليها بالمحاولة والخطأ (التجربة) بالتعاون مع الخبرة المسبقة وذكاء المصمم. حيث ان التركيبة تتكون من مواد لا حصر لها[66].

2-11-2-2 وسائد الكابح المعدنية Metallic brake pads

يمكن ان تكون أساساً من النحاس أو الحديد. الذي يتم معاملته ميكانيكاً بحالتها الصلبة (تشكيل ومعاملة حرارية وغيرها) بمضافات لا عضوية لتحسين الأداء. كمثال البرونز المقوى بحالته الصلبة والمبطنات المستخدمة في سيارات السباق وكوابح القطارات ذات السرع العالية. يتم استخدام الحديد المقوى بالكرافيت في بعض كوابح الخدمة الثقيلة لكلا النوعين الاسطوانية والقرصية وكذلك في الكوابح الاسطوانية الموجودة في سيارات النقل[66].

3-2-11-2 وسائد الكبح الكاربونية Carbonic brake pads

مثل وسادة كاربون-كاربون المستخدمة في الكوابح القرصية للطائرات التجارية والحربية، وتستخدم بعضها منها في سيارت السباق الحديثة حيث الوزن الحرج ، الأداء الجيد ومتطلب الكلفة يكون ثانويا .

ان وسادة كاربون-كاربون المكونة من ألياف كاربونية (ألياف الكرافيت) والمربوطة جيدا بالأساس الكاربوني ، الراتنجات العضوية التي تكون مصممة إما بدرجات الحرارة العالية أو التي يتم ترسيب البخار فيها حراريا تستخدم لتكوين الربط الجيد لهذه المركبات .

بعد عمليات معالجة طويلة فمن الضروري الحصول على مادة كاربونية صرفة كمادة احتكاك مع نفاذية رديئة جدا ، ويمكن استبدال مركبات كاربون-كاربون بحديد الصلب لتطبيقات مناسبة عند درجات حرارة 2000C° مع حرارة نوعية عالية للحصول على اختصار بالوزن قدره 85%[66].

3-11-2 مواد الاحتكاك المستخدمة في صناعة وسائد الكبح

مادة الاحتكاك المستخدمة في صناعة كابح المركبات تلعب دورا" مهما" في التأثير على أداء الكابح .

مواد الاحتكاك تطورت منذ أكثر من 100 سنة الجيل الأول من مواد الاحتكاك تضمن مواد الاحتكاك الاسبستوزية التي تحتوي على نسب كبيرة من الاسبستوز أما الجيل الثاني من مواد الاحتكاك هي مواد الاحتكاك الخالية من الاسبستوز التي تحوي على مواد عضوية حيث استبدل الاسبستوز بمواد عضوية أما الجيل الأخير من مواد الاحتكاك تضمن ادخال مواد الاحتكاك السيراميكية مع المواد العضوية في صناعة وسائد الكبح والذي يحتوي على عدة مواد سيراميكية والتي يجب أن تحقق عدة مطاليب منها استقرارية في معامل الاحتكاك وانخفاض معدل البلى ومقاومة حرارية[67] ووسادة الكابح عادة ما تتكون من عدة مكونات تطورت بين المدة والأخرى بغية الحصول على أفضل أداء احتكاك لهذه المواد و بشكل عام فهناك أكثر من عشرة مكونات تكونت منها وسائد الكبح تضمنت:-

1-الروابط (binder) والذي يتضمن راتنجات الفينوليك غالبا ما يضاف لها المطاط في اغلب الأحيان وتمتاز بكونها تمتلك استقرارية حرارية ويعد راتنج الفينول من البوليميرات المتصلدة حراريا

2- مواد التقوية (reinforcement materials) والتي تتضمن ألياف معدنية، الزجاج، الكاربون ، كفلر وألياف سيراميكية الغرض مها تحقيق مقاومة ميكانيكية جيدة

3- المالئات (filler) تضاف لتقليل الكلفة وتسهيل عملية التشكيل وتتضمن عدة مواد منها مايكا وكذلك باريوم سلفايد يستخدم كمالئ .

4- مضافات الاحتكاك (friction additives) تضاف للسيطرة على خواص الاحتكاك ومعدل البلى تتضمن (lubricants) مزيتات صلبة مثل الكرافيت ، كبريتات المعادن الأخرى والتي تعطي استقرارية في معامل الاحتكاك حيث يعتبر الكرافيت من المزيتات الجيدة إلا انه لا يستخدم مع الفينول لأنه قوة ارتباط الفينول والكرافيت ضعيفة جدا مما يؤدي إلى انخفاض الخواص الميكانيكية وكذلك تتضمن (abrasive) وتشمل اكاسيد المعادن والتي تزيد من معامل الاحتكاك وتقلل معدل البلى[68,15].

12-2 الخواص الميكانيكية Mechanical properties

تعتمد الاستخدامات العامة والهندسية للبوليمرات الى حد كبير على صفاتها الميكانيكية الجيدة وبخاصة قوتها العالية وقابليتها للتشويه بتأثير القوى المختلفة . وتنشأ هذه الازدواجية في صفات البوليمر من طبيعة تركيبه، ان وجود نوعين من القوى و هي الأواصر الكيميائية القوية و الروابط الثانوية بين الجزيئات هي التي تؤثر بصورة أو بأخرى على صفاتها الميكانيكية[49]

والخواص الميكانيكية بصورة عامة تصف سلوك المواد البوليمرية و متراكباتها الواقعة تحت تأثير قوى مؤثرة ،إذ ان هناك الكثير من الطرائق التي يتم بوساطتها فحص هذه الخواص التي يمكن تصنيفها على ثلاث مجاميع وكما يأتي:[69]

1- طرائق فحص الخواص الميكانيكة التي تصف سلوك المواد الواقعة تحت تأثير قوى ساكنة كقوة الشد(Tension) والأنحناء(Bending) والانضغاط(Compression)والقص(Shear)
2- طرائق فحص الخواص الميكانيكة التي تصف سلوك المواد الواقعة تحت تأثير قوى(اجهادات) متحركة، كقوة التصادم (Impact) واللي (Torsion) والكلال (Fatigue).
3- طرائق فحص الخواص الميكانيكية التي تصف سلوك المواد الواقعة تحت تأثير قوى ثابتة بمرور الزمن كالزحف (Greep).

1-12-2 أختبار الصلادة Hardness Test

تعد خاصية الصلادة (Hardness) من الخواص الميكانيكية السطحية المهمة التي يمكن تعريفها بأنها مقاومة المادة للغرز أو التشوه اللدن ، ويمكن قياس الصلادة السطحية بقياس مقاومة الاحتكاك للمادة ، ولكن القياس الأكثر شيوعا للصلادة يتمثل بقياس قطر الأثر الحاصل عند سطح المادة بسبب تغلغل كرة فولاذية او جسم هرمي الشكل تحت تأثير حمل معين [69] .

حيث إن درجة أو عمق الغرز داخل المادة تعد مقياسا لقابلية المادة على مقاومة التشوه اللدن ، ويتميز اختبار الصلادة بكونه لا يحتاج إلى عينات بأبعاد قياسية وبذلك فهو اختبار قليل الكلفة نسبيا ، وكذلك فان بعض الخواص المهمة كأقصى مقاومة للشد ومقاومة البلى الناشيء من الاحتكاك وغيرها من الخواص التي يمكن التنبؤ بها من خلال نتائج اختبار الصلادة [51].

والصلادة تتناسب طرديا" مع مقاومة الشد لمادة محددة ،إذ أن المواد ذات الصلادة العالية لها مقاومة شد عالية ،و تربطهما العلاقة الآتية[32]:

$$\text{Tensile Strength}=K^{o}*\text{Hardness}$$

حيث ان K^{o} ثابت لمادة معينة (Particular Material).

وهناك عدة طرائق لقياس الصلادة ، أهمها طريقة برينل (Brinell's test)، وطريقة روكويل(Rockwell's test) وطريقة فيكرز(Vicker's test).

2-12-2 اختبار الصدمة Impact Test

عند تعرض المادة لحمل مفاجئ (حمل حركي) أي بمعدل انفعال عالٍ فأنها ستسلك سلوكها يختلف عن سلوكها عند تعريضها لحمل ساكن، فقد تسلك المادة سلوكاً مطيلياً عند تعريضها لحمل ساكن (اختبار الشد، اختبار الانحناء) ولكن عند تعريضها لحمل حركي (اختبار الصدمة) قد تسلك سلوكاً هشاً. ويمكن الحصول على مقاومة الصدمة من العلاقة الآتية:-[1,41]:-

$$I.S = \frac{Uc}{A}$$

حيث أن:-

I.S : مقاومة الصدمة للمادة (J/m2).

Uc : طاقة الصدمة (J).

A : مساحة المقطع العرضي للعينة (m2).

3-12-2 اختبار الانضغاطية Compression test

تعرف الانضغاطية على إنها أقصى إجهاد تتحمله المادة الجاسئة تحت الضغط العمودي [54] . وتعد متانة الانضغاط عاملا تصميميا مهما عند صناعة المواد المتراكبة , نظرا لان هذه المواد تتعرض مرارا لاجهادات انحناء وعندها يمكن ان يحدث الفشل فيها كنتيجة للضغط في متانة الانضغاط [31] .

تعتمد مقاومة الانضغاط بشكل كبير على خصائص المادة الأساس والكسور الحجمية للمركبات وطريقة الاختبار و تسيطر خصائص المادة الأساس عادة على نمط الفشل بينما تؤدي طريقة الاختبار الى تناقضات أو تضاربات وتشتت في المعلومات المسجلة . واوضحت اغلب البحوث ان الفشل في مقاومة الانضغاط يعتمد على الطريقة التي يسلط فيها الحمل [59] ويمكن حساب مقاومة الانضغاط باستخدام المعادلـــة الآتية :

$$\sigma_c = \frac{P}{\grave{A}}$$

حيث أن : (σ) مقاومة الانضغاط (MPa) ، (P) أقصى حمل مسلط (N) و (À) مساحة التحميل (mm2).

4-12-2 اختبار البلى Wear Test

ابسط تعريف للبلى هو الفقدان أو الخسارة في مادة أحد سطحين متماسين أو من كليهما عندما يكونان تحت حركة نسبية، وطبقا لهذة الميكانيكيات يتم تقسيمه بصورة عامة إلى : بلى القشط وبلى التلاصق وبلى كلال السطح و عمليات tribochemical (الاحتكاك الكيميائي) مثل البلى الصدى Corrosive wear وبلى التقرح Fretting wear . [70]

1-4-12-2 أنواع البلى Types of wear

1- بلى كلال السطح Surface fatigue wear

كما هو معروف من التصرف الميكانيكي للمواد التي تقع تحت تأثير اجهادات ميكانيكية متكررة، ربما تحدث تغييرات في التركيب المايكرووي للمواد بسبب حدوث فشل ميكانيكي جسيم ، و الشيء نفسه يحدث الأحمال الاحتكاكية المتكررة، فظاهرة كلال السطوح التي تحصل لتقود نهائياً الى توليد جسيمات البلى وان هذه التأثيرات هي قاعدة أساسية لحركة الاجهادات في أو أسفل السطوح بدون الحاجة الى تماس صلب فيزيائي مباشر للسطوح. أن تأثيرات بلى الكلال مصاحبة للإجهاد الدوراني المتكرر في التدحرج المتماس.[70,71] .

أما بالنسبة للبلى الحاصل من الكلال مقارنة بأنواع البلى الأخرى فهو ما يحتاجه الانهيار بسبب الكلال وهو تحميل معدن السطح بينما تحتاج التأكلات الأخرى التماس الفيزياوي ، إضافة الى الحمل ولو كانت السطوح منفصلة بواسطة غشاء الزيت ، لكان التآكل الاحتكاكي الالتصاقي معدوما"، ولكن الحمل المسلط ينقل إلى الاسطح المعدنية خلال غشاء الزيت ويولد اجهادات في الأسطح وعليه فان الانهيارات الكلية باقية ، وهذا مايحصل في ظروف الكلال المثالية عند التدحرج، ولقد وجد إن سرعة الانهيار الكلي تقل بزيادة سمك غشاء الزيت ، لان زيادة سمك الغشاء تؤدي الى معادلة الاجهادات السطحية الموضعية.[72]

2- البلى الحكي أو القشطي Abrasive Wear

أن تأثير القشط يحدث في موقع التماس في اتجاه التماس الفيزيائي بين سطحين حيث إن احد هذه السطوح يعد صلد والآخر أصلد. وان السطح الاصلد هو الذي يسبب الخشونة في السطح الأنعم مع حدوث تشوه لدن للسطح الناعم يحدث حول مواقع الخشونة المتولدة بسبب السطح الاصلد . عندما تكون الحركة المماسة مرتبة أو منتظمة فان السطح الاصلد سوف ينقل أو يزيل المواد الناعمة بواسطة اتحاد العيوب أو الشقوق الدقيقة (micro cranking) ان حجم البلى متصل بخشونة الجزئيات المقشوطة أو حدتها وصلادة المواد الحاكة أو القاشطة. وفيما يأتي الظواهر الملاحظة والمؤثرة على خواص المواد في حالة البلى القشطي[71]:

1. ان الفلزات النقية في الحالة غير الملدنة والفولاذ غير الملدن تبين علاقة مباشرة بين مقاومة البلى النسبية وصلادة الهرم الماسي (فيكرز).
2. للمواد غير المعدنية والخامات توجد علاقة خطية متشابهة بين مقاومة البلى والصلادة
3. للمواد المعدنية المشكلة والخامات على البارد – Hardened بواسطة التشوه اللدن ، وجد ان مقاومة البلى النسبية لا تعتمد على الصلادة الناتجة في التشكيل على البارد. وإنما تعتمد على مقدار التصليد الانفعالي.
4. المعاملة الحرارية لتركيب الفولاذ الطبيعي والمقسى تبرهن مقاومته للبلى القشطي.

ومثال على ظهور هذا النوع من البلى هو عندما تنحصر جسيمات سائبة بين السطوح المنزلقة وجسيمات مثل هذا النوع يمكن ان تكون خارجية كحبيبات الرمل أو جسيمات التآكل المتولدة في عملية التآكل الأولية ويمكن تقليل هذا النوع من البلى باستعمال جودة عالية للسطوح المتماسة وخاصة للسطح الصلد.[72].

3- البلى التلاصقي Adhesive wear

ان التماس بين سطحين يحدث بين قيم النتوءات التي تتشوه بتأثير الحمل . وتتغير طبيعة الالتصاق بين النتوءات بوجود أغشية السطح، ولكن بعد ابتداء الحركة تتمزق هذه الأغشية نسبياً ويظهر الالتصاق على جزء من سطح التماس. ان حجم البلى هذا يتناسب مع الحمل المسلط كذلك فهو يتناسب طردياً مع مسافة الانزلاق وعكسياً مع صلادة الفلز وخاصة الفلزات النقية.

ان الالتصاق وحده لا يؤدي الى انفصال جسيمات التآكل وذلك لأن القص نتيجة للانزلاق يظهر عادة في منطقة التماس ، وان جسيمات البلى تتولد إذا كانت منطقة التماس أقوى من طبقات المادة التي تحتها بحيث ينفصل جزء في مادة السطح عند استمرار الانزلاق[54,70,71].

4- بلى الاحتكاك الكيميائي Tribo chemical wear

ويعتمد هذا النوع على تأثير البيئة أو الظروف المحيطة وهو يتضمن الأنواع الآتية:

1. البلى الصدئي Corrosive wear

أي سطح معدني نظيف يتفاعل مع البيئة ، يكون أغشية ملوثة وان معدل تشكيل مثل هذه الأغشية يكون سريعاً في البداية ويبطؤ عندما يزداد سمك أغشية الصدأ ، في كثير□ من الأحوال كما في الفولاذ ، ويكون التصاق هذه الأغشية على السطوح ضعيف ، فالحك يزيل هذه الأغشية تاركا معدناً نظيفاً و الذي حالما يعرض للبيئة يكون مرة أخرى أغشية سطح جديد تزال ثانية خلال الحك ، لذلك فأن مادة تزال باستمرار أي تبلى. [66]

2-بلى الأكسدة Oxidative wear

يظهر عند انزلاق جسمان ويكون الانزلاق عرضه لحركة الهواء في الغلاف الجوي او الاوكسجين المتضمن في التبريد ، حيث ان الاوكسيد يتكون على السطح وهو الذي يقاسي او يتحمل عملية البلى. وتم دراسة هذه الحالة لأول مرة عام 1942 من قبل (German scientist Dies) على الفولاذ [44]

ان الاوكسيد في اغلب المعادن يكون اصلد من المعادن نفسها لذا فعند تأكسد نفايات البلى تزداد صلادتها وتزداد نسبة البلى مثل فلز الألمنيوم اللين نسبياً بينما اوكسيده يكون صلدا جداً ، حيث يستعمل في صنع احجار التجليخ[71]

ان الإنهاء السطحي للمعدن يكون مؤثر جداً في تغير الحواجز الفعالة التي تؤثر على نسبة الأكسدة وكذلك على المركب الكيميائية للأكسدة ، إضافة إلى ذلك فأن زمن تمزق غشاء الاوكسيد يعتمد على متانة التلاصق والاجهادات المؤثر [70].

3- بلى التعرية Errosive Wear

وهو أكثر أنواع البلى توزيعا ، وأن النظريات الحديثة لبلى التعرية تقوم على أساس قطع الحركة للجسيمات المصدومة لسطح البلى.

إن خواص المواد ذات تأثير مهم على العلاقة بين نسبة البلى وزاوية الاصطدام أو الهجوم ، ففي المواد اللدنة (Plastic) تكون مركبات التشوه للبلى قليلة وأعلى نسبة بلى يمكن مشاهدتها في المنطقة التي تكون زاوية الاصطدام فيها قليلة بينما للمواد الهشة فالزاوية مستقرة في العلاقة هذه تصل أعلى قيمة لها عند الزاوية 90^{o} أن هذا

النوع من البلى يمكن حدوثه أذا كانت الصدمة بين الأجسام والمواد تتضمن تفاعلا" مرنا" ، وللمعادن فان هذه المناطق غير مالوفه [73]. وهو أيضا يحدث بسبب جريان المائع والمسبب خسارة في الجسيمات المقشوطة عند السطح [70].

4- بلى التقرح Fretting wear

يظهر تأثير التقرح عند تماس السطوح التي تكون حركتها الانزلاقية متذبذبة وذات سعة صغيرة نسبيا ويظهر التقرح في بيئة مساعدة على التصدؤ مثل الهواء حيث تتعجل عملية البلى بسبب تفتت أغشية الصدأ الضعيفة الالتصاق بالسطح وبذلك يزداد فعل البلى الحكي بواسطة جسيمات النفايات المتأكسدة والصلدة . تسمى هذه الحالات بالتقرح ألصدئي وفي حالة الفولاذ في الهواء يظهر مسحوق بنى يميل إلى الاحمرار.

كذلك تظهر حالة التقرح بكثرة عند شحن ونقل المكائن بسبب الصدمات الاهتزازية التي تتعرض لها السبب يعطي اهتماما" كبيرا" لرفع الحمل عند نقاط الاتصال الحساسة في المكائن قبل البدء بشحنها، أن الضرب المتكرر الذي تعاني منه الركائز الكروية للمكائن أثناء الرحلات الطويلة يؤدي الى نوع من التقرح يمسى (false brinelling) وينتج عنه عمل غير مرض للماكنة عند تشغيلها[54,72].

2-12-4-2 طرائق قياس البلى Methods of Wear Measurement

1- الطريقة الوزنية Weighting Method

وهي من ابسط الطرائق لقياس البلى وملخص هذه الطريقة هو ان يتم حساب معدل البلى [73].

2-الطريقة الميكانيكية Mechanical gauging Method

وفيها يتم استخدم مايكرومتر نموذجي ذي حد تصميمي يصل إلى (10^{-3}) ومساحة سطحية مقدارها (10^{-2}) وتستخدم هذه الطريقة لقياس البلى في الأجراء الكبيرة الحجم مثل اسطوانات ماكينات السيارات[66] .

3- طريقة الفحص الشعاعي Measurement of wear using Radiotracers

وهي طريقة متطورة لقياس حجم البلى وتمتلك دقة أكثر من الطرائق السابقة وتستخدم لنوعين من الدراسات ، الأولى عندما يكون قياس البلى المطلوب صغيرا" جداً وذا مقدار اقل من المسموح بقياسه في الطرائق السابقة. الثانية تستخدم عندما يكون هناك حاجة لمعرفة خصائص الأثر وصفاته [66] وتتضمن:-

أ- طريقة قياس المشعات النووية الملتقطة

وفيها يتم وضع المادة المشعة نووياً على سطح المادة غير المشعة وبعدها تم عملية الانزلاق بينهما وعندها سوف تنتقل كمية من المادة المشعة الى المادة غير المشعة حيث تمثل السطح الثابت ، ثم تقاس كمية المادة المنتقلة بوساطة عداد ويستعمل هذا العداد عندما تكون أدنى قيمة للكمية المنتقلة بحدود 10^{-9} غرام. [66]

ب – طريقة قياس حطام البلى غير الملتصق

وفيها يتم تحديد نسبة البلى من خلال المزيت ، حيث نجعل احد الأجزاء المنزلقة مشعا" نووياً ومن ثم مراقبة تلك الاشعاعات باستخدام عداد ، وإذا مااستخدم

المزيت مرة أخرى ان تقاس كمية البلى المتزايدة في المزيت ومن ثم يتم الحصول على الكمية المتكاملة الحقيقية للبلى.[66].

2-12-5 اختبار معامل الاحتكاك Coefficient of friction

يمكن تعريف معامل الاحتكاك بوساطة القانون الأول للاحتكاك

$$F=\mu N$$

حيث ان μ هو معامل الاحتكاك وهو ثابت تناسب بين معدنين مختلفين منزلقين بحركة نسبية الى بعضهما تحت الظروف الجوية ، فعلى سبيل المثال تكون قيمة معامل الاحتكاك لسطحين متشابهين من الصلب الصلد (Hard Steel) ينزلقان على بعضهما 0.5 , كذلك إذا حمل سطحان من الكرافيت بقوة عمودية تحت ظروف قياسية تكون قيمة معامل الاحتكاك 0.1 وترتفع هذه القيمة الى 0.5 إذا كانت الظروف الجوية جافة جدا [74].

يتم حساب معامل الاحتكاك من العلاقة النظرية الآتية:$\mu=F/N$

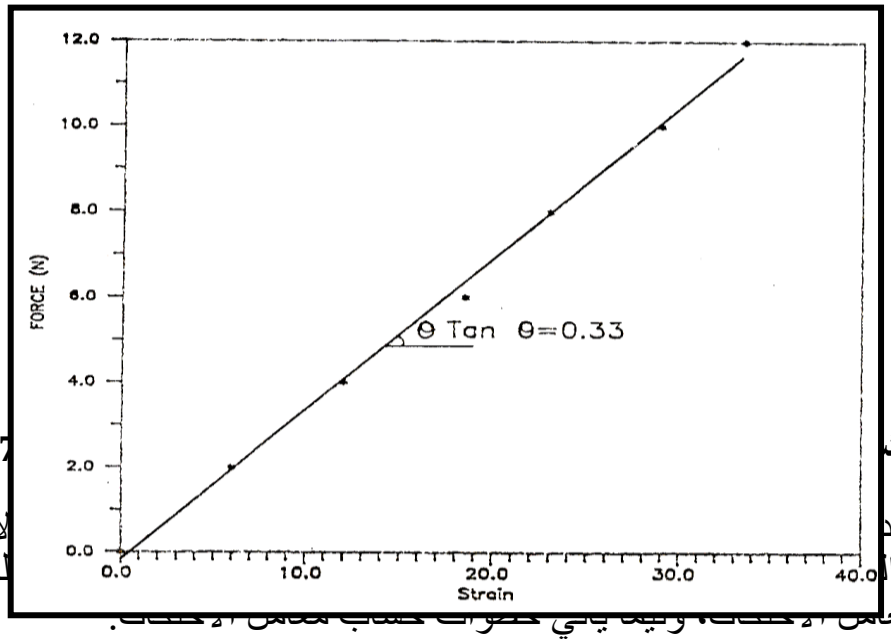
حيث تحسب قوة الاحتكاك من خلال تثبيت منظومة التحميل Loading (System) مع ماسك العينة على ذراع مسند من الطرف الأخر Cantliver في نهايتها الحرة ، حيث تكون هذه الذراع ذات مقطع مربع أبعاده ($20\times20mm^2$) مصنوعة من سبيكة CuZn مثبت قرب نهايتها الثابتة مقياس انفعال Strain (gage) تربط القنطرة الى جهاز مقياس الانفعال Strain mater نوع Strain Gauge Bridge

تثبت المنظومة والماسك بطريقة تؤثر على الذراع بأقصى انحراف عند نهايته الحرة(منطقة التماس بين العينة والقرص) تؤدي الى حصول أقصى انحناء عند المنطقة المثبت عليها مقياس الانفعال حيث تحسب قوة الاحتكاك بدلالة الانفعال على الذراع مضروبا بثابت يدعى ثابت المعايرة للذراع وكما في الشكل الأتي

$$F=k\times\zeta$$

حيث F قوة الاحتكاك

K´ ثابت المعايرة ويساوي0.33 وكما في الشكل الأتي ، ζ الانفعال على الذراع



الش .[7

بعد الأوزان المسلطة ال لك يتم حساب معامل الاحتكاك وفيما يأتي خطوات حساب معامل الاحتكاك.

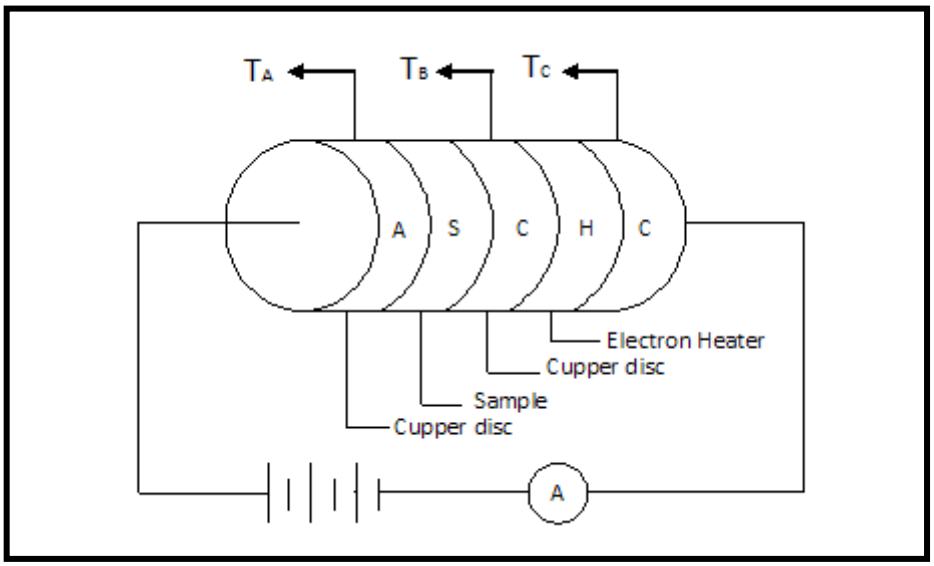
1-يشغل جهاز قياس الانفعال ويترك لفترة نصف ساعة بعد التشغيل للوصول الى حالة الاستقرار.
2-يصفر مقياس الانفعال عند لحظة البداية.
3-توضع العينة داخل ماسك العينة.
4-عند لحظة بدء الاختبار يسجل الانفعال السكوني.
5-يتم تسجيل الانفعال على فترات مختلفة.
6-تحسب بعد ذلك قوة الاحتكاك بضرب الانفعال المحسوب بثابت المعايرة[74].

6-12-2 التوصيلية الحرارية Thermal Conductivity

يتم انتقال الطاقة الحرارية عبر المادة باليات مختلفة اعتمادا" على الحالة التي نتعامل معها ففي المواد الصلبة يتم الانتقال بالتوصيل حيث تنتقل الطاقة بسبب تهيج الجزيئات من موقع الى أخر مصحوبا" بتغير درجة الحرارة ،وتختلف الآلية تبعا" لكون المادة الصلبة موصلة أو عازلة ، ففي المواد الموصلة تنتقل الحرارة عبر المادة بالالكترونات الحرة الموجودة في البنية ، أما في حالة المواد العازلة فلا وجود للالكترونات الحرة ، لذلك تنتقل الحرارة بالية مختلفة تتم بموجات مرنة (Elastic waves) ناتجة عن تذبذب الجزيئات التي تنقل هذه الذبذبة الى الجزيئات التي تجاورها نتيجة ارتباطها معا" بالاواصر وبذلك تنتقل الذبذبة من الطرف الساخن الى الطرف البارد بهيئة موجات مرنة تسمى الفونونات [7,75] .

تعد المواد البوليمرية من المواد رديئة التوصيل للحرارة[7] ولها موصلية مقدارها $\left(0.3.w.m^{-1}.k\right)^{-1}$ او أقل في حين ان الموصلية الحرارية للنحاس مثلا" $\left(400.w.m^{-1}.k\right)^{-1}$ ان الموصلية الحرارية (k) هي مقياس لقدرة المادة على التوصيل الحراري تعرف بأنها كمية الحرارة المنتقلة خلال ثانية مقسومة على انحدار درجة الحرارة[76] . وبصورة عامة تختلف طرائق قياس الموصلية الحرارية (k) تبعا" لنوع المادة وكما يأتي :

1- تقاس الموصلية الحرارية للمواد الجيدة التوصيل الحراري مثل النحاس باستخدام طريقة سيرل(Searls Method) .
2- تقاس الموصلية الحرارية للمواد رديئة التوصيل على شكل قرص مثل المواد اللدائنية باستخدام قرص لي (Lees Method) وفيها يوضح النموذج (S) بين قرصين من النحاس (B،A) ويمس القرص (B) المسخن الكهربائي (H) ثم قبله القرص (C) وكما موضح في الشكل الآتي[75,77] .



وبالاعتماد على حساب كمية الحرارة المارة خلال عينة من المادة المتمثلة بالقرص (S) إذ يتم حساب قيمة (k) من المعادلة الآتية :

$$k\left\{\frac{T_B - T_A}{ds}\right\} = e\left[T_A + \frac{2}{r}\left\{d_A + \frac{1}{4}ds\right\}T_A + \frac{1}{2r}dsT_B\right]$$

حيث إن :

(e) يمثل كمية الطاقة للحرارة المارة عبر وحدة مساحة مادة القرص لكل ثانية ($w/m^2.k$) وتحسب من العلاقة الآتية :

$$IV = \pi r^2 e(T_A + T_B) + 2\pi re\left[d_A T_A + ds\frac{1}{2}(T_A + T_B) + d_B T_B + d_C T_C\right]$$

حيث ان :

(T_A، T_B، T_C) تمثل درجة الحرارة للقرص (^oC)(A،B،C) على التوالي .

dA : سمك القرص A mm .

dB : سمك القرص B mm .

dC : سمك القرص C mm .

ds: سمك العينة mm .

r : نصف قطر القرص mm .

I : التيار المار Ampere.

V : الفولتية المجهزة Volt .

1-3 المقدمة Introduction

يتضمن هذا الفصل التغطية العملية للبحث ، ويتضمن الآتي :
تعريف المواد الأولية المستخدمة في تحضير المادة البوليمرية المركبة واهم خواصها وصفاتها العامة وكيفية تحضير العينات فضلا عن عرض المخططات والصور لأشكال هذه العينات وأبعادها ، مع توضيح شامل للأجهزة المستخدمة في إجراء الاختبارات التي تم إجراؤها على العينات والمتمثلة باختبار الصلادة و اختبار الصدمة و اختبار الانضغاطية و اختبار البلى و اختبار معامل الاحتكاك و اختبار الموصلية الحرارية واختبار الفحص الفوتوغرافي والأساليب التقنية المتبعة لأجراء تلك الاختبارات.

2-3 المواد المستخدمة

تقسم المواد المستخدمة في البحث الى:

1-2-3 المادة الاساس Matrix Material

1-1-2-3 الفينول– فورمالدهايد (النوفولاك)

يتم استخدام راتنج الفينول – فورمالدهايد (النوفولاك) المحلي المنشأ (شركة ذات الصواري) كمادة أساسية في تحضير المادة المتراكبة البوليمرية ، وهو على هيئة كتل مطاوعة للحرارة (Thermoplastic) وردية اللون وذات رائحة مميزة وقوية يمكن تحويلها الى بوليمر متشابك بإضافة مادة مصلدة (Hardener) من الهيكسامثلين تترامين (HMTA) وهي على شكل مسحوق ذي لون أبيض ، ليكون خليطا من النوفولاك والهيكسا مثيلين تترامين (Novolack-HMTA) مناسبة لعملية التشكيل بالحرارة والضغط .

تحضير خليط النوفولاك مع (HMTA) الطريقة الجافة يتم في هذه المرحلة تحضير المادة بحيث تكون جاهزة للقولبة حيث تبدأ العملية بتكسر كتل النوفولاك باستخدام هاون خزفي (Mortar) للحصول على حبيبات صغيرة ، ومن ثم يتم طحن هذه الحبيبات الصغيرة بطاحونة كهربائية يتبعها عملية التحليل المنخلي للمسحوق الناتج حيث تم استخدام منخل بحجم (75 Mesh).

2-1-2-3 راتنج البولي استر غير المشبع

تم استخدام راتنج البولي استر غير المشبع (UP) (Unsaturated Polyester resin) كمادة أساس من شركة (SIR) السعودية إذ يكون على شكل سائل لزج شفاف عند درجة حرارة الغرفة وهو أحد أنواع البوليمرات الصلدة حرارياً (Thermosets) كثافته ($1200Kg/m^3$) يتحول الى الحالة الصلبة عند إضافة المصلد (Hardener) المصنع من أنتاج شركة (SIR) السعودية وهو (MEKP) (Methyl- Ethyl Keton Peroxide) على شكل سائل شفاف

ويضاف الى راتنج البولي استر غير المشبع بنسبة 2gm من المصلد لكل (100gm) من راتنج البولي استر غير المشبع عند درجة حرارة الغرفة.

يستخدم راتنج البولي استر غير المشبع بصورة واسعة في الصناعة لامتلاكه الكثير من الخواص الفيزيائية والميكانيكية الجيدة حيث يمتاز باستقرارية أبعاده،وقابلية الترابط الجيدة مع المواد الأخرى بالإضافة الى سهولة تشكيله وقلة الكلفة .

إن مدة التصلب للراتنج المستخدم هي 3 ساعات عند درجة حرارة الغرفة، ولكن هذه المدة متغيرة طبقا لكمية المصلب المضاف والظروف المختبرية التي تحيط التجربة .

3-2-2 مواد التقوية Reinforcement material

تم استخدام اربعة أنواع مختلفة من مواد التقوية وعلى هيئة ألياف حيث تم تقطيع هذه الألياف الى ألياف قصيرة وبطول يتراوح حوالي 5 mm

3-2-2-1 ألياف الزجاج Glass Fiber

استخدمت في هذا البحث ألياف الزجاج نوع (E-Glass) كمواد تقوية للوسط الراتنجي على شكل حصيرة ألياف زجاجية متقطعة (Glass (GCSM) (Chopped Strand Mat وبمعدل قطر الشعيرة (Filament) لحصيرة الألياف الزجاجية المتقطعة يتراوح بينµm(6– 4) وهذه الألياف مجهزة من شركة (Mowding LTD.UK) الانكليزية.

وتمثل هذه الألياف النوع الأكثر استخداما، والأرخص ثمنا وأسهلها إنتاجا ويكسب المادة الراتنجية المقواة بها صفات خاصة من القوة والمتانة.

علما ان خواص الألياف موضحة بالملحق 1 .

3-2-2-2 ألياف النايلون Nylon66 Fiber

استخدمت في هذا البحث ألياف النايلون66 والمسماة بألياف البولي امايد لتدعيم المواد الوليمرية الأساس مع ألياف الزجاج لما تتمتع به هذه الألياف من خواص ميكانيكية جيدة إذ تم تقطيع هذه الألياف ومجانستها مع المادة الأساس, أما خواص الألياف فمبينة بالملحق 3.

3-2-2-3 ألياف كيفلار Kevlar Fiber

استخدمت ايضا في هذا البحث الياف كيفلار وبلونها الأصفر المعروف لتدعيم المواد البوليمرية لما تمتاز به هذه الألياف من خواص جيدة وخاصة عند

اضافتها مع الياف صلبة مثل ألياف الفولاذ ومن هذه الخواص الجيدة ان لها مقاومة بلى ومقاومة صدمة عاليين عند درجات الحرارة المرتفعة .

4-2-2-3 ألياف الفولاذ Steel Fiber

هذه الألياف استخدمت في التدعيم مع ألياف كيفلار بالأساس لكي تعمل الأخيرة على إضفاء خواص جيدة على المادة البوليمرية المركبة الناتجة حيث ان هذه الألياف تمتاز بأنها من الألياف الصلبة وذات خواص ميكانيكية جيدة ومكونات هذه الألياف ذكرت في الفصل الثاني، علما ان هذه الألياف مجهزة من الشركة العامة لصناعة الإطارات-بابل وتعد الأرخص ثمنا هذا بالإضافة الى الخواص الميكانيكية الجيدة كالمقاومة والمتانة العاليين حيث يبلغ قطر الليف 0.96mm .

3-2-3 المالئات Fillers

استخدمت مجموعة من المواد المالئة لتقليل الكلفة و لكي تعطي أداء احتكاكيا" جيدا" واستقرارية حرارية وكما ورد في الفصل الثاني وهي:

1-Rubber وهو على ثلاثة أنواع

النوع الأول هو المطاط الصناعي SBR أما النوع الثاني المطاط المعاد (الركليم) أما النوع الأخير فهو مطاط الايبونايت المعاد (المطاط الصلب) حيث يتم استخدام كل من الركليم والمطاط الصلب المعاد على هيئة مسحوق ناعم جدا.

2- **Montmorolonite** نوع من أنواع الأطيان المتوفرة محليا وقليل الكلفة حيث انه يطحن ويضاف على هيئة مسحوق ناعم جدا.

3-مايكا، باريوم سلفايد ، كبريت S ، اوكسيد المولبدنيوم MoO و كاربونات الكالسيوم $CaCO_3$ جميعها مالئات متوفرة ورخيصة الثمن وتتوفر بهيئة مساحيق تضاف الى العجنة البوليميرية المركبة.

4-2-3 مواد الاحتكاك

وتتضمن كل من :

1-**Labricants** وتشمل كبريتات النحاس ذات اللون الأزرق التي تعد من المزيتات الجيدة.

2-**abrasive** ويشمل كل من اوكسيد الحديد Fe_2O_3 و اوكسيد الالمنيومAl_2O_3 (ألومنا) واوكسيد السلكونSiO_2 (سليكا) و اوكسيد المغنسيوم MgO او اوكسيد الزركونيوم ZrO_2 (زركونيا) حيث إن هذه المواد متوفرة محليا وبهيئة مساحيق أيضا وتضاف إلى العجنة البوليمرية المركبة لتحسين الأداء الاحتكاكي.

3-3 المواصفات القياسية لوسائد الكبح التجارية

تم اخذ عينات من وسائد الكبح التجارية والمتوفرة في السوق المحلية التي كانت صينية المنشأ وإجراء الفحوصات الميكانيكية والفيزيائية عليها وكانت نتائج الفحوصات مبينة في الجدول أدناه (3-1).

الجدول (3-1) يوضح مواصفات وسادة الكبح التجارية

Brinell Hardness N /mm²	Shore D Hardness	Impact resistance KJ/m2	wear rate* 10^{-6} (g/m)	Coefficient of friction (μ)	comprising strength MPa	Thermal condictiviy K w/mC°
10.61	70.8	6.26	2.12	0.298	48.38	0.293

إن الموصفات المطلوبة لوسائد الكبح يجب ان تكون على ما يأتي:

1- ان تمتلك مقاومة بلى عالية ومعامل احتكاك عال عند الاحتكاك مع قرص الكبح.
2- ان تمتاز بمقاومة صدمة جيدة بالإضافة إلى الخواص الميكانيكية الأخرى كالصلادة العالية ومقاومة الانضغاط.

أما عملية خلط العجنات المركبة فتمت وفق الجدول الآتي :

الجدول (3-2) يوضح خطوات عملية الخلط

ت	خطوات الخلط
1.	إمرار المطاط بين الرولتين عدة مرات مع تصغير المسافة بين الرولتين لتقليل السمك .
2.	إضافة كل من مساحيق Reclaim Rubber أو Waste Hard Rubber ومجانستهما جيداً مع المطاط وذلك بإمرارهما عدة مرات من خلال الرولتين.
3.	إضافة راتنج البولي استر غير المشبع بالتدريج مع المساحيق الموجودة من المواد الاخرى ومجانستهما جيداً مع المطاط .
4.	إضافة النوفولاك على هيئة مسحوق ناعم ومجانسته جيداً مع العجنة وبالتدريج .
5.	إضافة HMT بعد اضافة النوفولاك وبعدها مجانسة المواد جيداً.
6.	إضافة مواد التقوية المتمثلة بالألياف وبالتدريج مع مجانستهما مع العجنة وذلك بإمرار العجنة عدة مرات من خلال الرولتين.
7.	إمرار العجنة بين الرولتين عدة مرات لغرض المجانسة الجيدة وتهيئتها لعملية الكبس.

3-4 تحضير العجنات البوليمرية المركبة

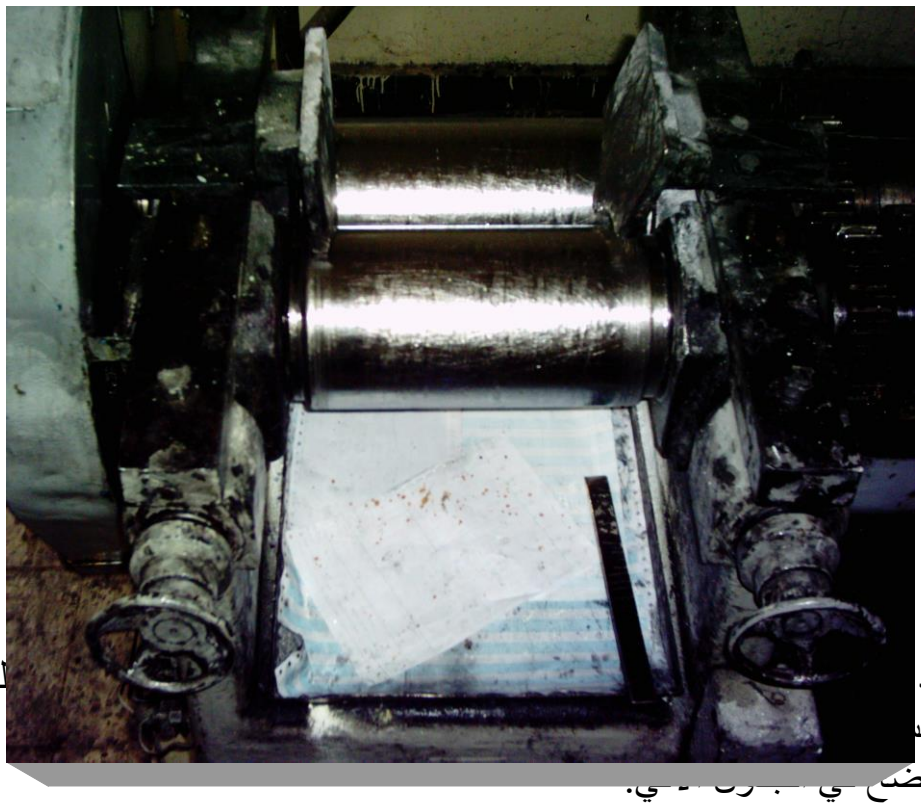
تم تحضير العجنات الرئيسية التالية وذلك باستخدام العصارة المختبرية المبينة بالشكل الأتي أما نسب مكونات هذه العجنات فمبينة بالجدول(3-3) :

الذي يبين مكونات العجنات الستة الرئيسية حيث تم التغيير بنسب مكونات كل من Filler و Binder للوصول الى العجنة الملائمة من ناحية الخواص الميكانيكية الجيدة والكلفة التي بالإمكان تطويرها للحصول على خواص امثل

جدول (3-3) يوضح نسب مكونات العجنات المركبة

	% Components	عجنةرقم (1)	عجنةرقم (2)	عجنةرقم (3)	عجنةرقم (4)	عجنةرقم (5)	عجنةرقم (6)
Filler	SBR Rubber	15	15	12	12	9	6
	Reclaim Rubber	10	0	8	0	6	4
	Waste Hard Rubber	0	10	0	8	0	0
	Montmorolonite Clay	16	16	14	14	12	10
	Mica	11	11	9	9	7	5
	$BaSo_4$	4	4	3.5	3.5	3	2
	$CaCo_3$	4	4	3.5	3.5	3	3
	MoO	1	1	1	1	1	1
	Selphur	1	1	1	1	1	1
Binder	Polyester Resin	10	10	15	15	20	25
	Novolac	10	10	15	15	20	25
Lubricants	CuSo4	5	5	5	5	5	5
Abrasive	Fe_2O_3	1	1	1	1	1	1
	Al_2O_3	2	2	2	2	2	2
	SiO_2	3	3	3	3	3	3

	MgO	2	2	2	2	2	2
Reinforcements	Glass Fiber	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	Nylon66 Fiber	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5



بعد لنسب
بالنس وكما
موضح في الجدول الآتي:

الجدول (3-4) يوضح نسب مكونات العجنات المركبة

	% Components	عجنةرقم (7)	عجنةرقم (8)	عجنةرقم (9)	عجنةرقم (10)	عجنةرقم (11)	عجنةرقم (12)
Filler	SBR Rubber	10	10	8	8	6	4

	Reclaim Rubber	15	0	12	0	9	6
	Waste Hard Rubber	0	15	0	12	0	0
	Montmorolonite Clay	16	16	14	14	12	10
	Mica	11	11	9	9	7	5
	$BaSo_4$	4	4	3.5	3.5	3	2
	$CaCo_3$	4	4	3.5	3.5	3	3
	MoO	1	1	1	1	1	1
	Selphur	1	1	1	1	1	1
Binder	Polyester Resin	10	10	15	15	20	25
	Novolac	10	10	15	15	20	25
Lubricants	$CuSo_4$	5	5	5	5	5	5
Abrasive	Fe_2O_3	1	1	1	1	1	1
	Al_2O_3	2	2	2	2	2	2
	SiO_2	3	3	3	3	3	3
	MgO	2	2	2	2	2	2
Reinforcements	Glass Fiber	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	Nylon66 Fiber	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

وبعد ذلك تم إجراء فحص الصلادة والاختبارات الميكانيكية الأخرى للعجنات المحضرة أعلاه من اجل اختيار عجنة رئيسة تمتاز بأنها ذات خواص جيدة بالمقارنة مع العجنات البقية وبالإمكان تطويرها لتحسين خواصها بالتدعيم بالالياف بالاعتماد على نتائج فحص الصلادة(برينيل وشورD) والاختبارات الميكانيكية الأخرى للعجنات المحضرة أعلاه تم اختيار العجنة رقم 10 لتكون العجنة الرئيسة التي بالإمكان تطويرها لتحسين خواصها الميكانيكية حيث تم اختيار هذه العجنة لان نسبة المطاط فيها 20% ولكون صلادة وخواصها الميكانيكية الاخرى بالمقارنة مع العجنات الاخرى جيدة مع على الرغم من ان العجنات ذات نسب المطاط الأقل أكثر

منها من ناحية الخواص الميكانيكية إلا ان هدف بحثنا في الحصول على كلفة قليلة وخفة الوزن دفعنا الى اختيار هذه العجنة لتكون عجنة رئيسية ومن ثم البدء بتحسين خواصها.

ان الطريقة التي تم بها تطوير هذه العجنة الرئيسة هي اعتبار هذه العجنة مكون واحد وبنسبة 100% ليتم إضافة هذا المكون الى نسب مختلفة من الألياف تراوحت من (25-5) لغرض تحسين خواصها.

5gr وبنسبة 100% من خلال إضافة Component بعد اعتبار العجنة المختارة مع بقاء SiO_2 4gr وAl_2O_3 3gr ، Fe_2O_3 4gr ليصبح نسبة abrasive على نسب 100% وإضافة هذا Component النسب الأخرى للعجنة المختارة كما هي ليصبح نسبة المكون الى كل من ألياف الزجاج وألياف النايلون وبنسب متفاوتة لغرض تحسين الخواص الميكانيكية الأخرى وكما مبين بالجدول الآتي:

جدول (3-5) يوضح نسب مكونات العجنات المحضرة

المكونات%	عجنةرقم 13	عجنةرقم 14	عجنةرقم 15	عجنةرقم 16	عجنةرقم 17	عجنةرقم 18
Components	100	95	90	85	80	75
Glass fiber	0	2.5	5	7.5	10	12.5
Nylon fiber	0	2.5	5	7.5	10	12.5

بعد ذلك تمت إضافة Components بالطريقة نفسها إلى كل من ألياف كيفلار وألياف الحديد لغرض تحسين الخواص الميكانيكية وبنسب وزنية متفاوتة وكما مبين بالجدول الآتي:

جدول (3-6) يوضح نسب مكونات العجنات

المكونات%	عجنةرقم 19	عجنةرقم 20	عجنةرقم 21	عجنة رقم 22	عجنة رقم 23	عجنة رقم 24
Component	100	95	90	85	80	75
Kevlar Fiber	0	2.5	5	7.5	10	12.5
Steel Fiber	0	2.5	5	7.5	10	12.5

ثم بعد ذلك تم إضافة Component إلى الأنواع الأربعة من الألياف وكما مبين بالجدول الآتي:

جدول (3-7) يوضح مكونات العجنة 25

% المكونـــات	عجنة رقم 25
Component	80
Glass Fiber	5

Nylon Fiber	5
Kevlar Fiber	5
Steel Fiber	5

بعد ذلك تم إجراء الاختبارات على العجنات المحضرة أعلاه بعد تحضير العينات الخاصة بكل اختبار.

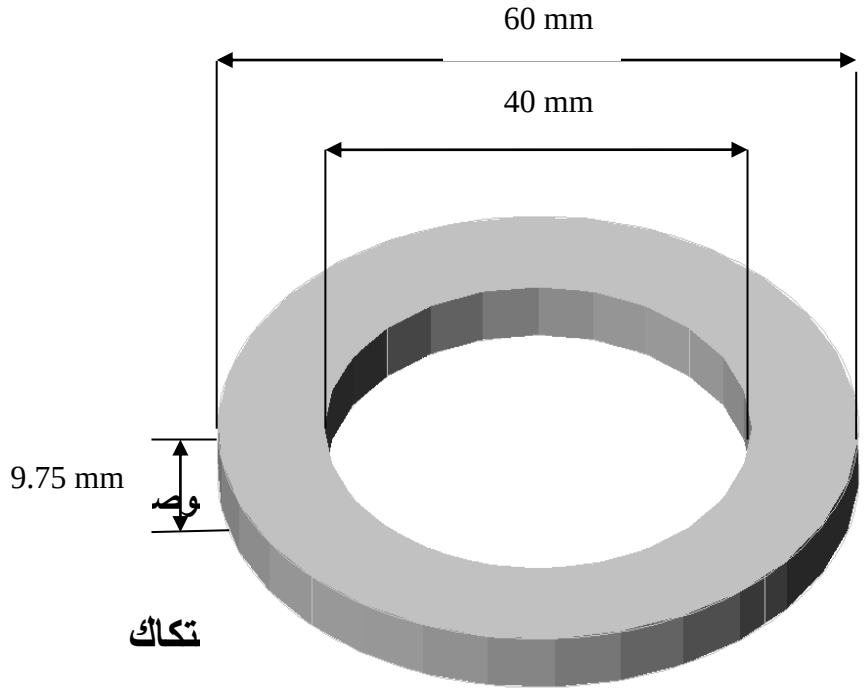
5-3 الاختبارات

في هذه الفقرة سوف تتم الاختبارات الميكانيكية بموجب أل(ASTM) التي بضمنها تحضير قوالب العينات للفحص .

1-5-3 تهيئة القوالب

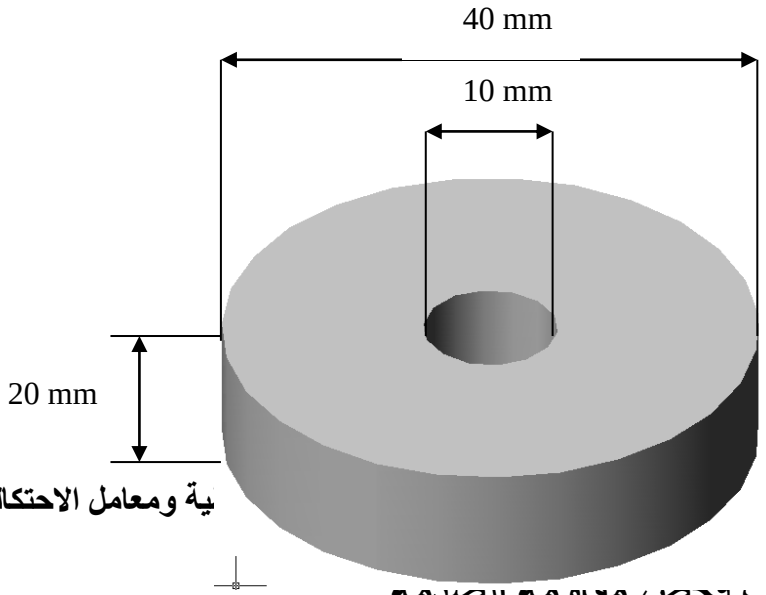
1-1-5-3 قالب فحص الصلادة والموصلية الحرارية

لتحضير قالب فحص الصلادة بنوعيها (صلادة برينيل و شور D) تم تحضير قالب دائري الشكل ومجوف بقطر 40mm وسمك 9.75mm وكما مبين في الشكل أدناه لينتج شكل العينة التي هي عبارة عن قرص دائري بقطر 40mm وسمك9.75mm حسب المواصفات القياسية ASTM D2240 حيث تم وضع القالب المجوف على plate مربعة الشكل وبإبعاد $25\times25\times1\ cm^3$ ويغطى أيضا ب plate مشابهة أثناء عملية الكبس للحصول على العينات .



2-1-5-3 تكاك

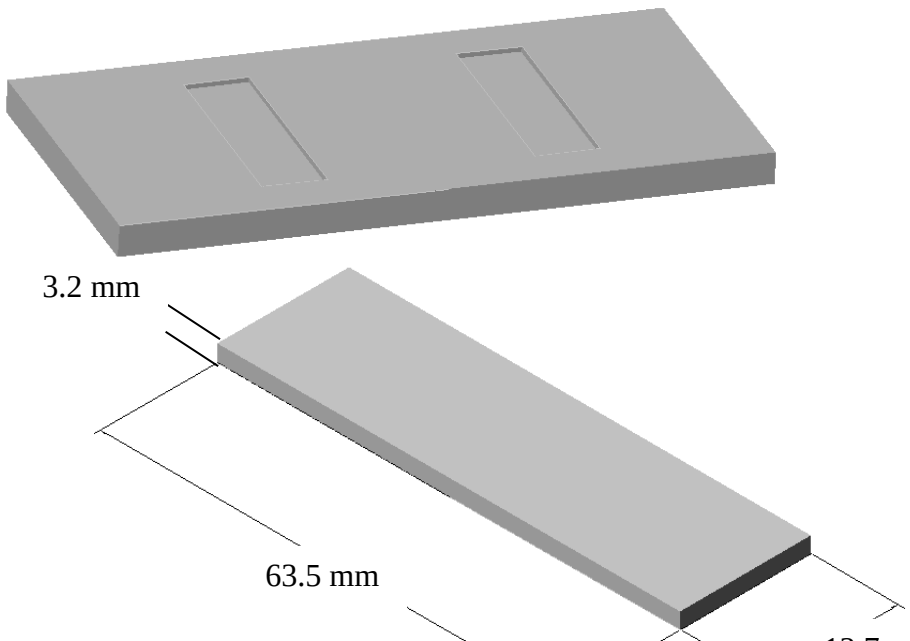
تم تحضير قالب فحص البلى الانضغاطية ومعامل الاحتكاك على هيئة قالب دائري الشكل ومجوف أبعاد التجويف الموجود في وسط القالب هي نفسها أبعاد العينة الناتجة من القالب التي تكون اسطوانية الشكل وبقطر 10mm وطول 20mm وحسب مواصفات ASTM D695 حيث تم وضع القالب على plate من الأسفل ومن الأعلى لغرض عملية الكبس وبأبعاد $25\times25\times1\ cm^3$.



الشـ ية ومعامل الاحتكاك

3-1-5-3 قالب فحص مقاومة الصدمة

تم تحضير قالب فحص مقاومة الصدمة حسب المواصفات القياسية المعتمدة ASTM D4812 حيث تم تصميم القالب وفقا للأبعاد القياسية حيث كانت أبعاد العينة الناتجة $63.5\times12.7\times3.17\ mm^3$ وتم وضع القالب على plate من الحديد الأعلى والأسفل لغرض عملية الكبس وبأبعاد $25\times25\times1\ cm^3$



الشكل (3-5) يوضح أبعاد عينة اختبار مقاومة الصدمة

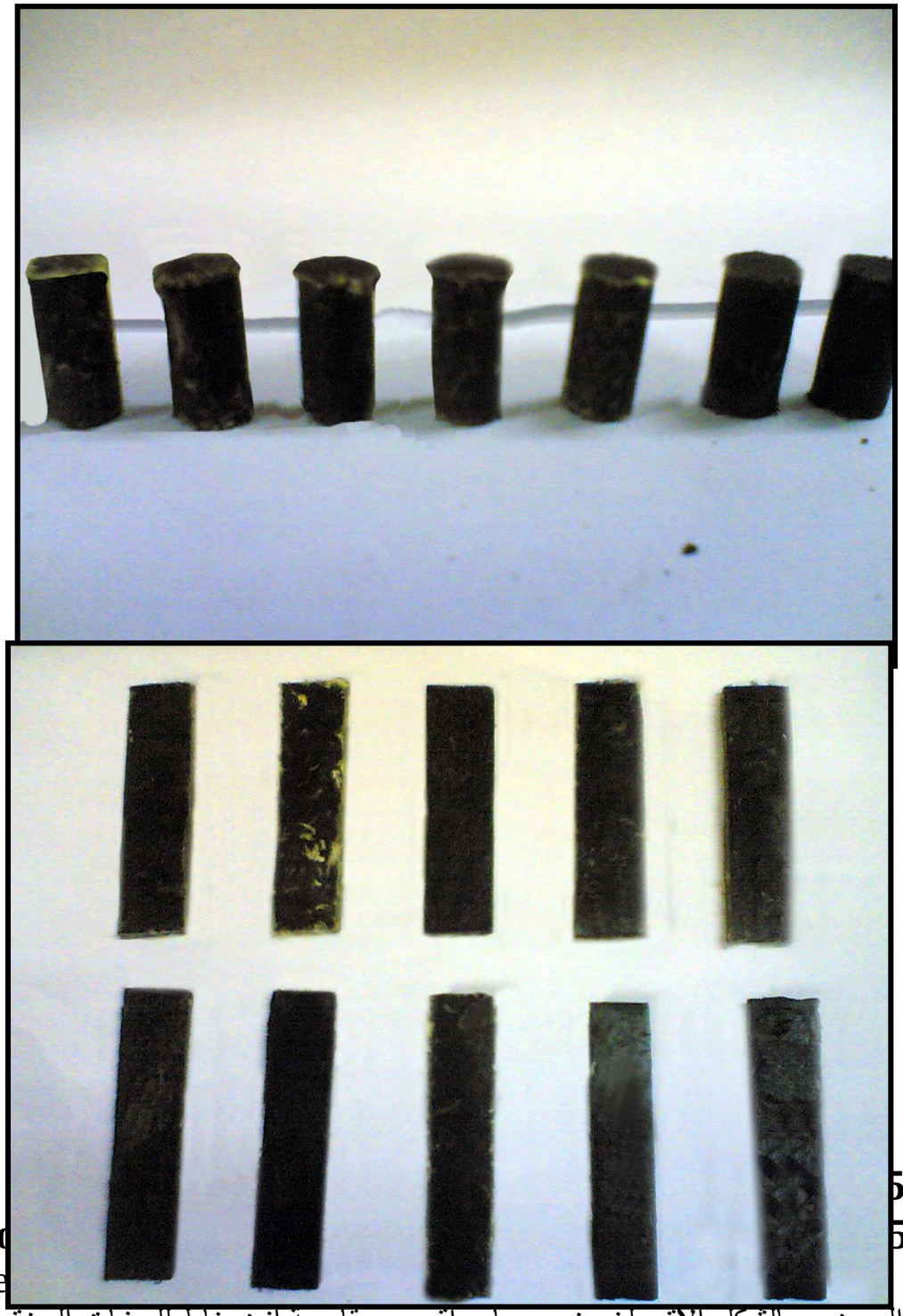
2-

3-5تحضير العينات

تم تحضير العينات الخاصة بالاختبارات أعلاه باستخدام الضغط بواسطة المكبس الهيدروليكي المبين بالشكل الآتي وباستخدام القوالب المذكورة أعلاه تمت عملية الكبس للعجنات المحضرة أعلاه باستخدام المكبس الهيدروليكي بضغط يبلغ 17.2 MPa وبدرجة حرارة 180°C ولمدة 10-15 min حيث تم تحضير العينات الخاصة بكل اختبار وكما مبين بالأشكال الآتية

(a)

شكل رقم (3-7) يوضح عينات اختبار الصلادة والموصلية



5-3

Co **5-3**

(Le

والموضح بالشكل الآتي لغرض حساب أقصى مقاومة انضغاط للعينات المختبرية ، إذ يتم تثبيت العينة القياسية بين قرصي المكبس ، وعند الضغط باستخدام الذراع

، يتحرك القرص السفلي للجهاز ويبقى القرص العلوي ثابتا، مما يسبب انضغاط العينة حتى الكسر، ولغرض حساب التقصير في طول العينة أثناء الاختبار فقد استخدمت فير نية رقمية Digital Vernier ذات حساسية مقدارها0.01mm بحيث يمكنها الحركة مع القرص السفلي وقد أمكن بواسطتها رسم منحني الإجهاد-انفعال للعينات المختبرية ، حيث تم تسليط الحمل بصورة تدريجية على العينة ذات الأبعاد القياسية حتى تم حصول الفشل للعينة حيث يمثل أقصى حمل مسلط قيمة مقاومة الانضغاط القصوى.

H 2-3-5-3

تم ة برينيل
Hardness ة تضغط
على سطح العينة المراد فحصها لمدة 15sec باستخدام حمل قياسي ثابت وبعد إزالة الحمل المسلط على المادة وإزالة الكرة يتم قياس قطر الأثر المتولد على السطح ويمكننا حساب رقم صلادة برينل من خلال النسبة بين القوة المسلطة الى مساحة الأثر الكروي المتولد على السطح وكما يأتي: [32]

رقم صلادة برينل HB=القوة المسلطة N /مساحة الأثر mm^2

$$HB = \frac{2F}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

حيث إن F:الحمل المسلط N ، D:قطر الكرة mm ، d: قطر الأثرmm

وقد استخدمت كرة فولاذية بقطر 5mm وبحمل 600N حيث تم استخدام المكبس الهيدروليكي الموضح بالشكل السابق لقياس الصلادة.

لقد تم استعمال جهاز شور(D) (Shore D No.DW53505) والخاص بقياس صلادة المواد البوليمرية والذي هو عبارة عن مقياس يحتوي على إبرة وكما هو موضح في الشكل (3-11) وقد تم استعمال العينات المحضرة في الفقرة السابقة والطريقة تتم بغرز الإبرة في سطح المادة إلى أن يتلامس سطح المادة مع سطح الجهاز المستوي ثم يتم الانتظار مدة ثلاثة ثوانٍ بعدها يتم اخذ قيمة الصلادة من مقياس الجهاز ولأتباع هذه الطريقة بنجاح يجب أن يكون سطح العينة مستويا" صقيلا" جدا".

3-3-5-3

استخ ه في الشكل الآتي وباستخدام طريقة جاربي (Charpy Impact Test) وذلك لغرض حساب الطاقة المطلوبة للكسر التي من خلالها يمكن حساب مقاومة الصدمة للمادة .

إذ يتكون الجهاز من بندول تثبيت فيه المطرقة الخاصة بكسر العينات ،و يحتوي الجهاز على مطارق بأحجام مختلفة طاقاتها (2،5،30،45)J على التوالي، بحيث يمكن استبدال مطرقة بأخرى وحسب الطاقة المطلوبة للكسر ولكن سرعة الفحص ثابتة وهي 3.42 m/sec .

ويمس البندول من الطرف الأخر المؤشر الذي يتحرك على التدريجات الخاصة بحساب الطاقة المصروفة للكسر والمثبتة على لوحة الجهاز ، وفي بدء الاختبار يتم رفع البندول مع المطرقة الى أقصى ارتفاع بحيث يتم تثبيته بصورة جيدة بواسطة مثبت موجود على الجهاز ويتم وضع العينة على مسندي الجهاز وفي المكان المخصص لها ويتم تصفير مقياس الطاقة أولا ثم يحرر البندول باستخدام العتلة المثبتة على المقياس وبحركة تأرجحية تتحول الطاقة الكامنة الى طاقة حركية عند صدمها للعينة يفقد جزء منها في كسر العينة فيقرأ مؤشر المقياس طاقة كسر العينة ، أما أذا كانت العينة محززة فعند وضعها في الجهاز يكون اتجاه الحز بالاتجاه المعاكس للمطرقة ، علما انه تم استخدام مطرقة طاقتها 5J لأجراء اختبار فحص الصدمة بطريقة جاربي ويتم حساب مقاومة الصدمة من العلاقة الآتية:

$$I.S = \frac{Uc}{IA} = \frac{Uc}{A}$$

حيث أن:- I.S : مقاومة الصدمة للمادة (J/m2). ،

U_c : طاقة الصدمة (J).

A : مساحة المقطع العرضي للعينة (m2).

3-5-

تم استخدام جهاز قياس البلى ذي الترتيب المسماري إلى القرص Pin-on-Disk والمصمم وفقا للمواصفة ASTM لغرض الحصول على حالة تلامس بين العينة والقرص الدوار تحت تأثير حمل عمودي ، يتكون الجهاز من محرك ذي سرعة ثابتة مقدارها 500 دورة في الدقيقة وتتم عملية نقل الحركة من المحرك إلى القرص على مرحلتين المرحلة الأولى يتم فيها نقل الحركة من المحرك بواسطة البكرة التي يتم تثبيتها عليه وحزام ناقل للحركة نوع V-Belt الى العمود الوسطي التي تثبت عليه بكرتان إحداهما لاستلام الحركة والأخرى لنقلها اما المرحلة الثانية فتتضمن نقل الحركة من العمود الوسطي الى العمود المثبت عليه القرص ، هذا بالإضافة ان الجهاز يحتوي على ذراع مستطيلي نهايته holder ماسك لتثبيت العينة فيه علما ان قطر الماسك 11mm، حيث تم استخدام حمل مقداره 6kg مع مسافة تثبيت مقدارها 7cm ولمدة أربع دقائق.

والقانون الآتي يوضح كيفية حساب معدل البلى

$$wr = \frac{\Delta w}{SD}$$

$$SD: \quad \mathbf{2\pi\, r' nt}$$

wr : معدل البلى .

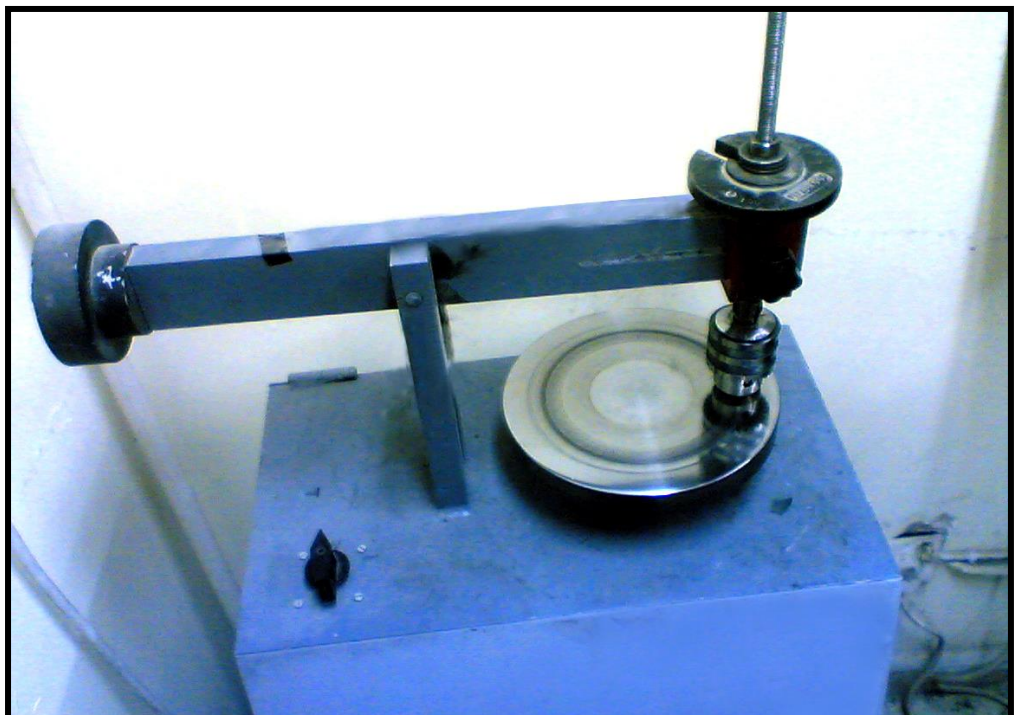
Δw : الفرق بوزن العينة قبل وبعد الاختبار.

SD: مسافة الانزلاق.

t : الوقت بالدقيقة.

n : عدد الدورات .

r´ : مسافة الانزلاق .



الشكل (3-13) جهاز قياس البلى

5-3-5-3 جهاز قياس معامل الاحتكاك Coefficient of friction Test Inst.

تم حساب معامل الاحتكاك باستخدام الجهاز المبين بالشكل الآتي حيث تم تركيب جزء في نهاية strain gauge يحوي على ماسك للعينة المختبرية من الأسفل وعلى rod لتثبيت الأثقال من الأعلى وكما مبين بالشكل لينزلق هذا الجزء المثبت في نهاية strain gauge على القرص الدوار لحساب معامل الاحتكاك:

$$F = \mu \setminus N$$

حيث يتم حساب Friction Force (F) كما موضح بالبند السابق بضرب قيمة الانفعال بثابت المعايرة أما القوة العمودية (N) تحسب من خلال ضرب قيمة الأوزان المستخدمة في التعجيل الأرضي حيث تحول الى وحدات النيوتن أما خطوات الفحص فهي كالآتي:

1-توضع العينة داخل الماسك المثبت في نهاية strain gauge
2-يشغل جهاز قياس الانفعال
3-يصفر جهاز مقياس الانفعال عند لحظة البداية.
4-يتم تشغيل القرص الدوار الذي تحتك معه العينة.
5-يتم تسجيل الانفعال عند نهاية 4min وهو الوقت المقرر لفحص كل عينة.
6-يتم حساب F من خلال ضرب الانفعال المسجل لكل عينة بثابت المعايرة المحسوب لاستخراج قيمة معامل الاحتكاك ، علما ان الوزن المستخدم كان 6kg لمدة 4min

6-3-5-3 جهاز قياس الموصلية الحرارية Thermal Conductivity Test Inst.

يمكن حساب معامل التوصيل الحراري للعينات الخاصة بالاختبار وذلك باستعمال جهاز قرص لي (Lee`s Disc) والمصنع من قبل شركة (Griffen & George) وكما موضح في الشكل، وفيه يتم انتقال الحرارة من المسخن الى القرص الذي يليه حتى يصل الى القرص الأخير .

وبالإمكان تحديد درجة حرارة الأقراص الثلاثة T_a، T_b ، T_c باستخدام المحارير الموضوعة داخلها . ومن المهم جدا ان يتم التأكد من نظافة سطوح الأقراص المصنوعة من النحاس وان تكون متماسة بصورة جيدة للحصول على أفضل انتقال للحرارة عبرها .

يتم حساب قيمة التوصيلية الحرارية (k) من المعادلة الآتية

$$K\left[\frac{T_B - T_A}{d_S}\right] = e\left[T_A + \frac{2}{r}\left(d_A + \frac{1}{4}d_S\right)T_A + \frac{1}{2r}d_S T_B\right]$$

حيث ان (e) : تمثل كمية الطاقة الحرارية المارة عبر وحدة مساحة مادة القرص لكل ثانية ($W/m^2.k$) وتحسب من العلاقة الآتية :

$$IV = \pi r^2 e(T_A + T_B) + 2\pi re\left[d_A T_A + d_S \frac{1}{2}(T_A + T_B) + d_B T_B + d_C T_C\right]$$

حيث ان :

IV : الطاقة الحرارية المارة عبر ملف التسخين لوحدة الزمن

T_A، T_B، T_C : تمثل درجة حرارة القرص (A، B، C) على التوالي

dA : سمك القرص A mm .

dB : سمك القرص B mm .

dC : سمك القرص C mm .

ds: سمك العينة mm .

r : نصف قطر القرص mm .

I : التيار المار Ampere.

V : الفولتية المجهزة Volt .

شكل (3-15) جهاز قياس الموصلية الحرارية

3-5-3-7 الفحص المجهري

تم إجراء الفحص المجهري على العينات المختبرية ، إذ يعتبر من الفحوصات السطحية المهمة لاستبيان مناطق السطوح البينية بين المادة الأساس ومادة التقوية (الألياف) ، حيث استخدم مجهر ضوئي من نوع (2003) rmm-7t ,ياباني المنشأ ذو قوة تكبير 1000X لأجراء هذا الفحص، وتم استخدام قوى تكبير مختلفة وإجراء الفحص على السطوح المعرضة لاختبار البلى بعد إجراء عملية الصقل على تلك السطوح، أما شكل الجهاز فمبين بالشكل الآتي.

شكل رقم (3-16) يوضح جهاز الفحص ألمجهري

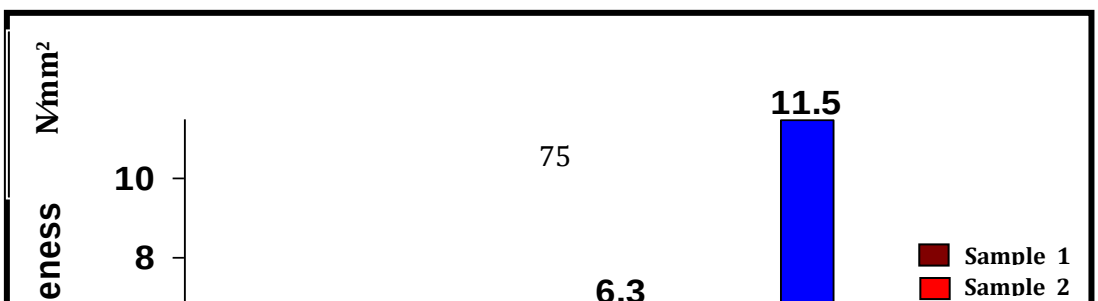
4-1 المقدمة:

يتناول هذا الفصل مناقشة كافة النتائج التي تم الحصول عليها ودراسة تأثير كل من Binder ومواد التقوية على الخواص الميكانيكية والفيزيائية للعجنات المصممة في صناعة وسائد مكابح المركبات.

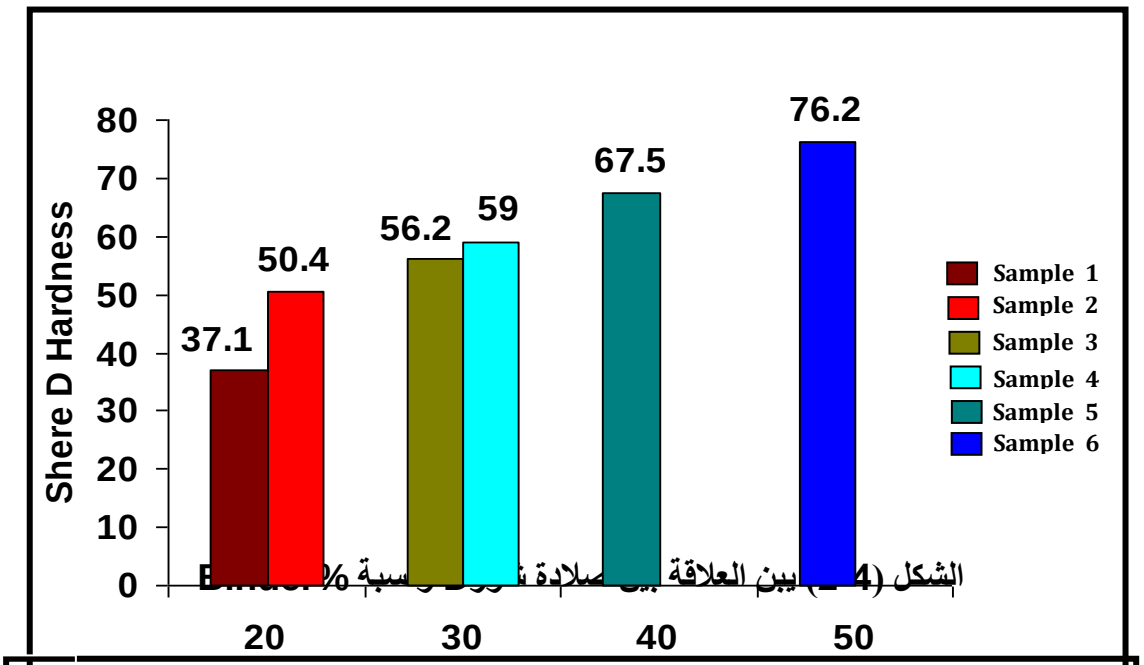
4-2 الخواص الميكانيكية

4-2-1 نتائج اختبار الصلادة (Hardness Test):

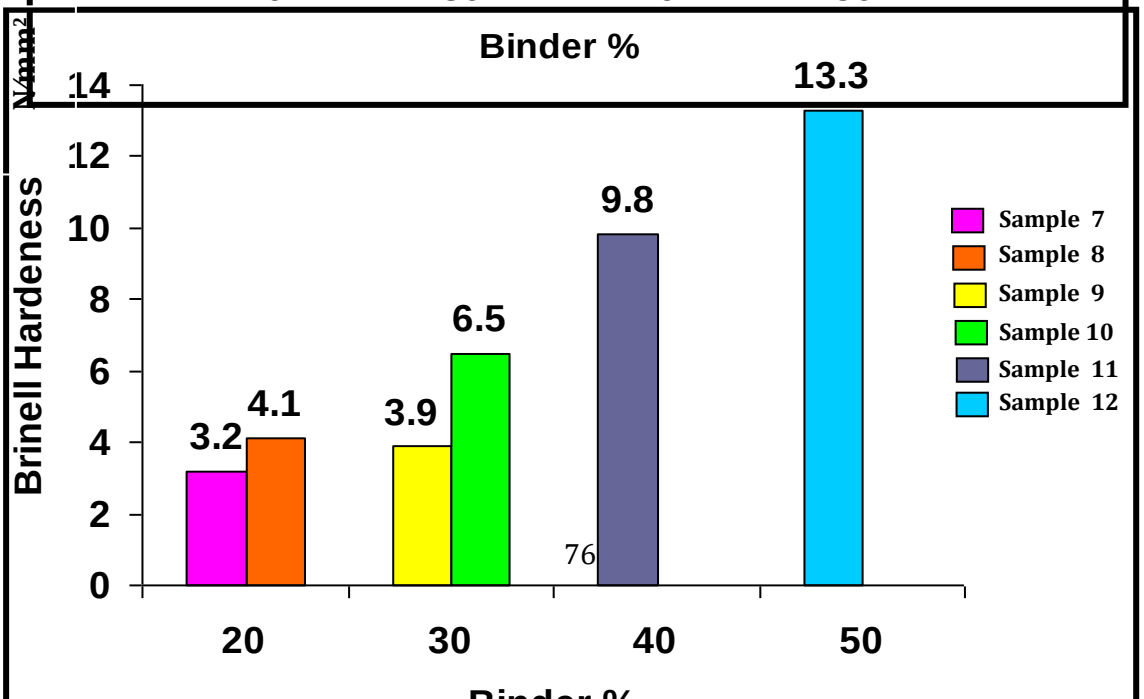
تعطي الصلادة فكرة جيدة عن متانة وتماسك كتلة المادة حيث تستخدم لقياس مقاومة المادة للتشوهات اللدنة في المناطق السطحية منها , حيث تم قياس الصلادة للنماذج المصممة في صناعة وسائد الكبح باستخدام جهاز شور D وجهاز برينل,حيث وجد انه على العموم زيادة نسبة Binder% الذي هو عبارة عن novolack + polyester مع انخفاض نسبة المطاط يؤدي إلى زيادة صلادة برينل وشور D للنماذج وذلك لان زيادة نسبة Binder% يؤدي إلى زيادة الربط التشابكي للمادة مما يؤدي إلى تحسن الخواص الميكانيكية للمادة ومن ضمنها الصلادة [24] , وكذلك انخفاض نسبة المطاط يؤدي إلى زيادة معامل المرونة وبالتالي يؤدي إلى زيادة الصلادة, وكما مبين في الشكل 4-1 الذي يبين العلاقة بين صلادة برينل ونسبة Binder% للنماذج المرقمة من 1-6 والشكل 4-2 الذي يبين العلاقة بين صلادة شورD ونسبة Binder% للعينات المرقمة من 1-6 , والتي تحوي على نسب مطاط SBR أعلى من نسبة كل من Reclaim Waste Rubber أو Waste Hard Rubber لكل عجنة, أما في حالة تقليل نسبة مطاط SBR بالنسبة إلى كل من Reclaim Waste Rubber أو Waste Hard Rubber لكل عجنة مع أبقاء النسب الأخرى ثابتة فيؤدي إلى زيادة كل من صلادة برينل وشور D للنماذج وذلك بسبب زيادة نسبةReclaim Waste Rubber أو Waste Hard Rubber الذي يؤدي إلى تقليل الفجوات الموجودة في كل عينة وبالتالي زيادة معامل المرونة للمادة مما يؤدي الى زيادة الخواص الميكانيكية [64] , وكما مبين بالشكل 4-3 الذي يبين العلاقة بين صلادة برينل ونسبة Binder% للنماذج المرقمة من 7-12 والشكل 4-4 الذي يبين العلاقة بين صلادة شور D ونسبة Binder% للعينات المرقمة من 7-12 , حيث ان زيادة نسبة Reclaim Waste Rubber وWaste Hard Rubber بهيئة المساحيق له عدة محاسن منها استخدامهما كمادة مالئة لتقليل الكلفة وتحسين الخواص الميكانيكية بالاضافة الى تقليل الضوضاء الصادرة اثناء عملية الكبح[64,78].



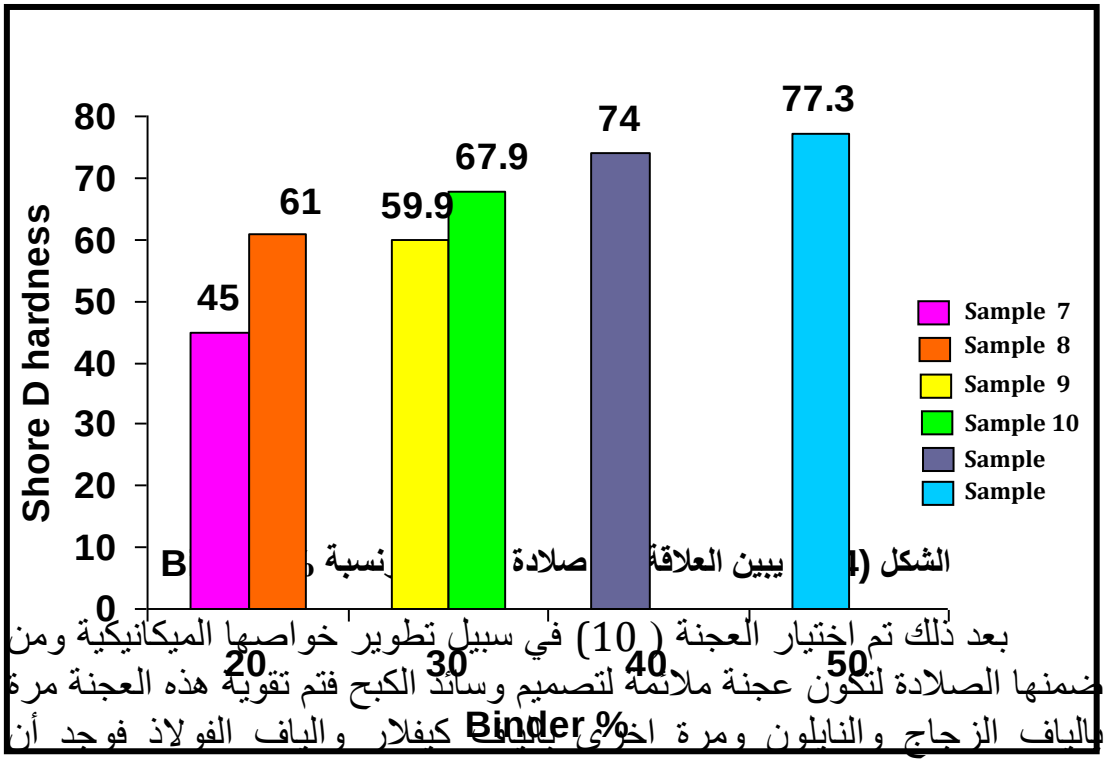
الشكل (4-1) يبين العلاقة بين صلادة برينل ونسبة Binder%



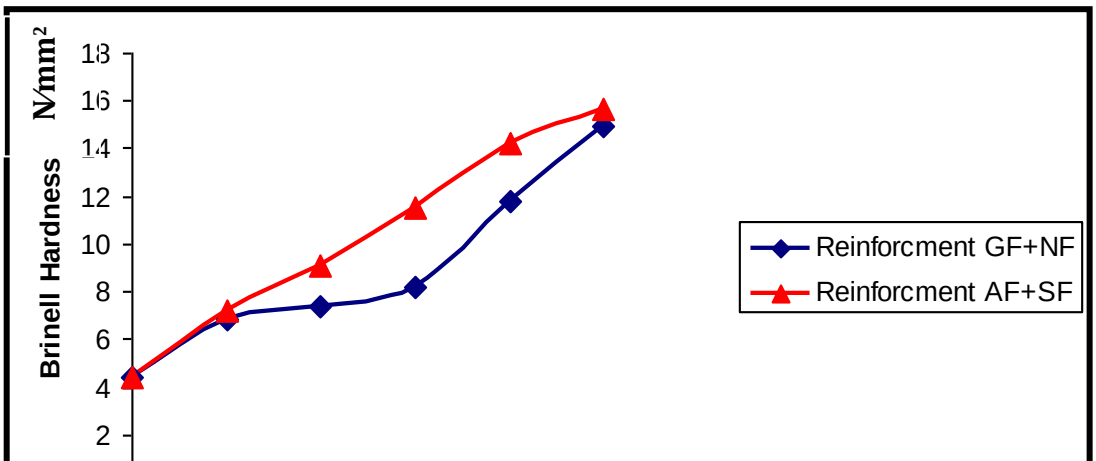
الشكل (4-1) يبين العلاقة بين صلادة برينل ونسبة Binder%



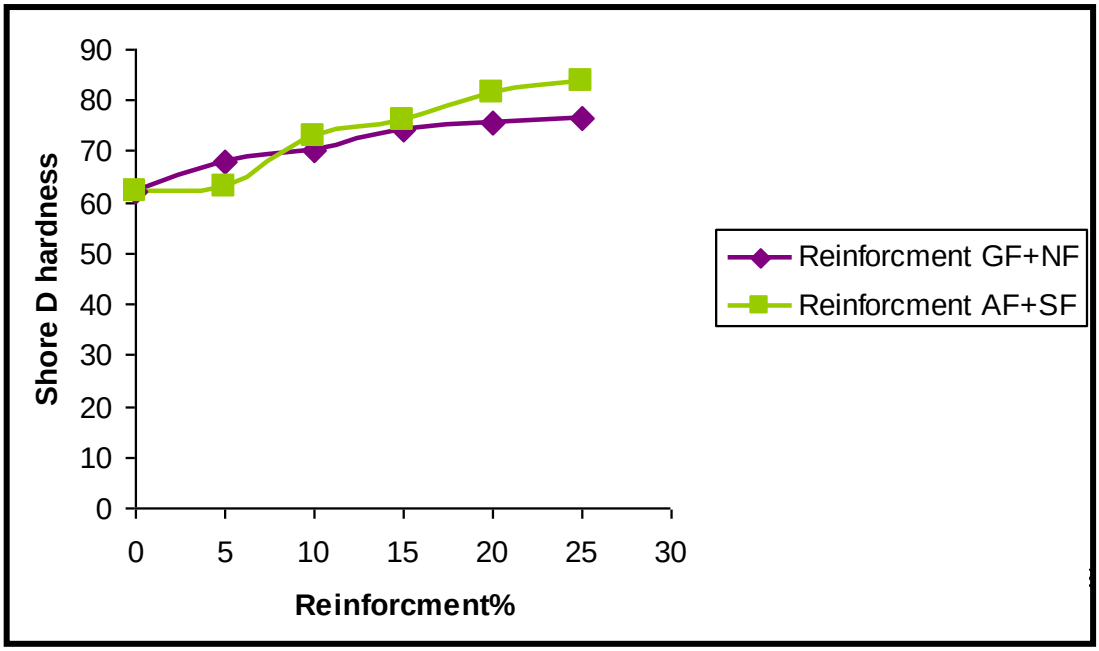
الشكل (4-3) يبين العلاقة بين صلادة برينل ونسبة Binder%



بعد ذلك تم اختيار العجنة (10) في سبيل تطوير خواصها الميكانيكية ومن ضمنها الصلادة لتكون عجنة ملائمة لتصميم وسائد الكبح فتم تقوية هذه العجنة مرة بالياف الزجاج والنايلون ومرة اخرى بالياف كيفلار والياف الفولاذ فوجد أن الصلادة تزداد بزيادة نسبة التقوية بالياف الزجاج والنايلون لكلا النوعين من الصلادة وذلك بسبب تحسن الخواص الميكانيكية من خلال التقوية بالالياف وتحمل الليف الجزء الاكبر من الاجهادات المسلطة على النماذج [48], أما في حالة التقوية بالياف كيفلار وألياف الفولاذ فوجد أن قيم الصلادة تزداد لكلا النوعين وبشكل اكبر مما هو عليه في السابق وذلك لان التقوية بالياف كيفلار يزيد من الخواص الميكانيكية للمادة وتأخذ الياف كيفلار دورها بشكل اكبر بزيادة الخواص الميكانيكية للمادة عند وجود الياف صلبة معها مثل الياف الحديد [78,64,48] ,وكما مبين بالشكل 4-5 الذي يبين العلاقة بين صلادة برينل ونسبة التقوية بالياف الزجاج والنايلون مرة ومرة اخرى بالياف كيفلار والفولاذ والشكل 4-6 الذي يبين العلاقة بين صلادة شور D ونسبة التقوية بالياف الزجاج والنايلون مرة ومرة اخرى بالياف كيفلار والفولاذ.

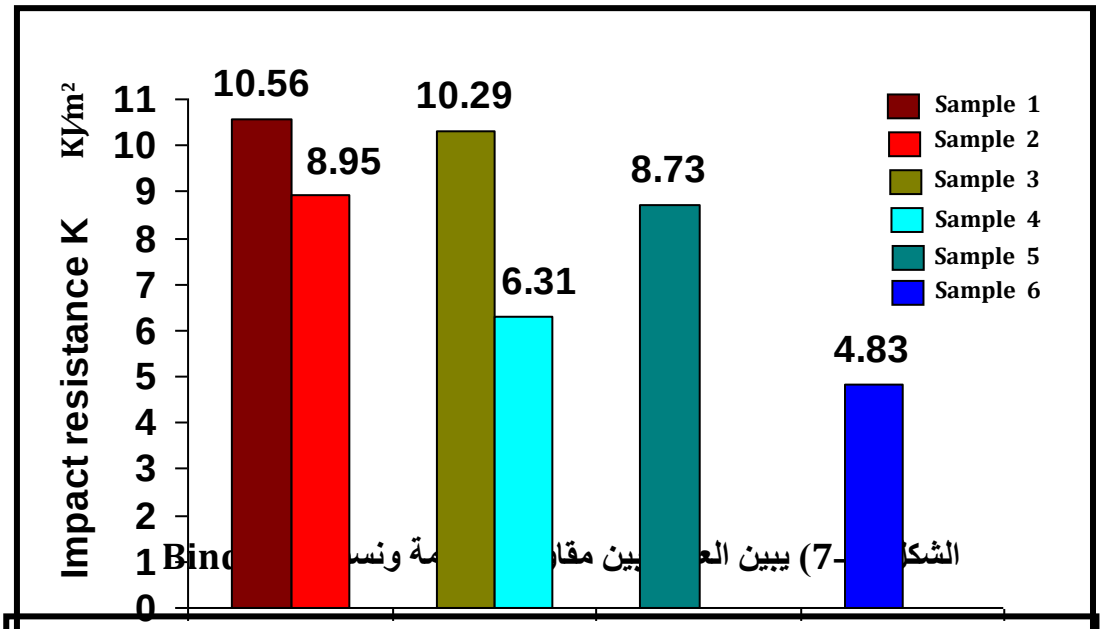


الشكل (4-5) يبين العلاقة بين صلادة برينل ونسبة التقوية

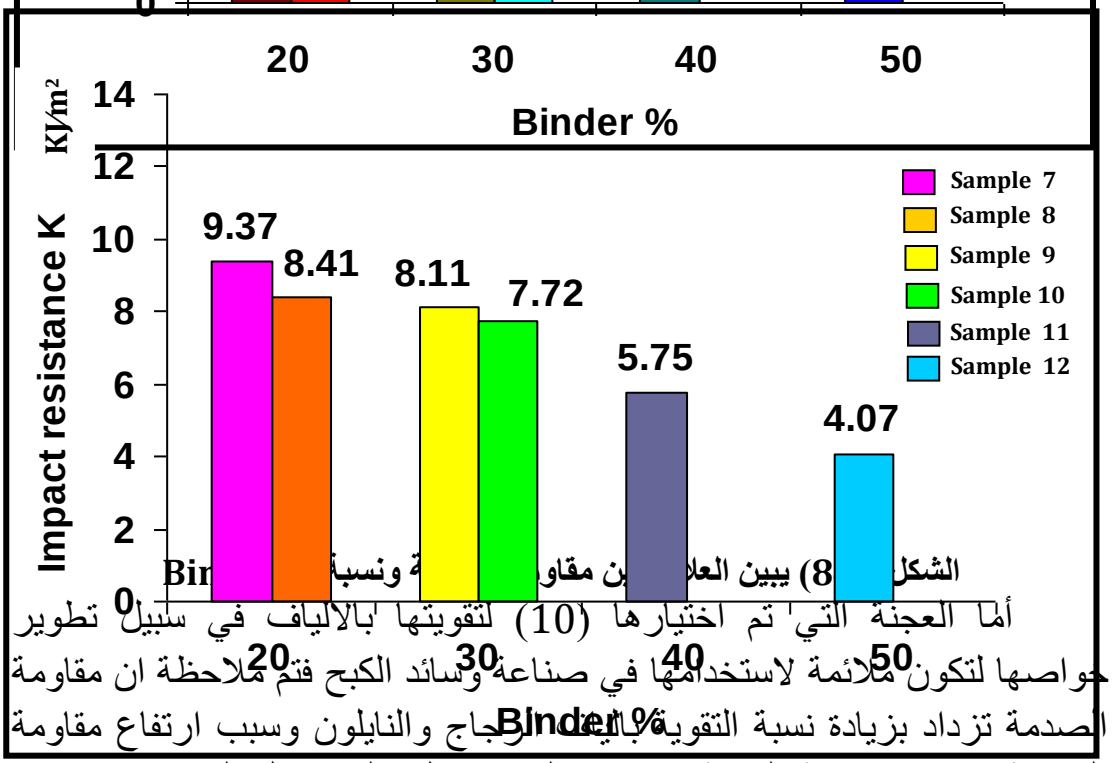


4-2-2- نتائج اختبار الصدمة(Impact test)

تم اجراء اختبار مقاومة الصدمة باستخدام طريقة جاربي لجميع النماذج المهيئة لهذا الغرض حيث يعد هذا الاختبار من الاختبارات المهمة لدراسة سلوك المواد الواقعة تحت تأثير قوى سريعة , حيث يستخدم هذا الاختبار لمعرفة مدى تحمل المادة المركبة لقوة الصدمة من خلال الطاقة التي تمتصها هذه المواد لمقاومة هذا النوع من القوى, حيث اظهرت النتائج ان مقاومة الصدمة تقل مع انخفاض نسبة المطاط للنماذج المرقمة من 1-6 وكما مبين بالشكل 4-7 والشكل 4-8 الذي يوضح العلاقة بين مقاومة الصدمة ونسبة Binder% للنماذج المرقمة من 1-6 ومن 7-12 على التوالي حيث تبين من خلال الاشكال ان مقاومة الصدمة تأخذ بالانخفاض مع النقصان في نسبةSBR وتفسير هذا يعزى الى ان مطاط SBR يقوم بدور الملدن للبولي استر غير المشبع فازدادت حرية السلاسل البوليميرية للحركة وبذلك ازدادت قابليتها على امتصاص الطاقة وهذا ادى الى زيادة الطاقة اللازمة للكسر [31,28], حيث كانت مقاومة الصدمة للنماذج المرقمة من 7-12 اقل من تلك نظيراتها للنماذج المرقمة من 1-6 للسبب المذكور سلفا.



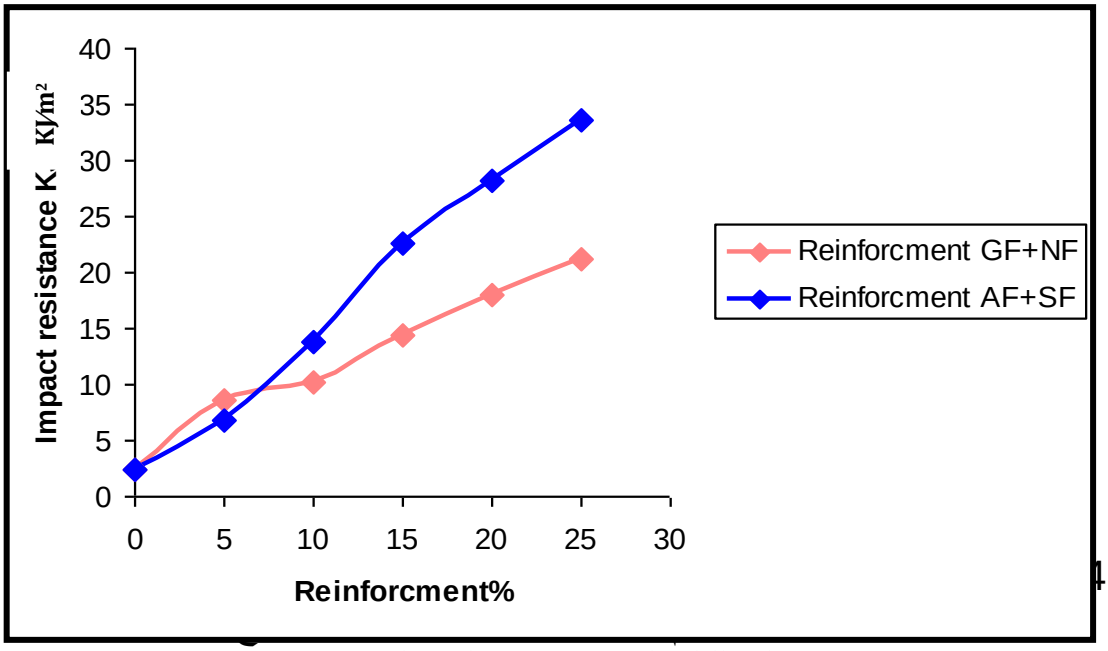
الشكل (7) يبين العلاقة بين مقاومة الصدمة ونسبة Binder %



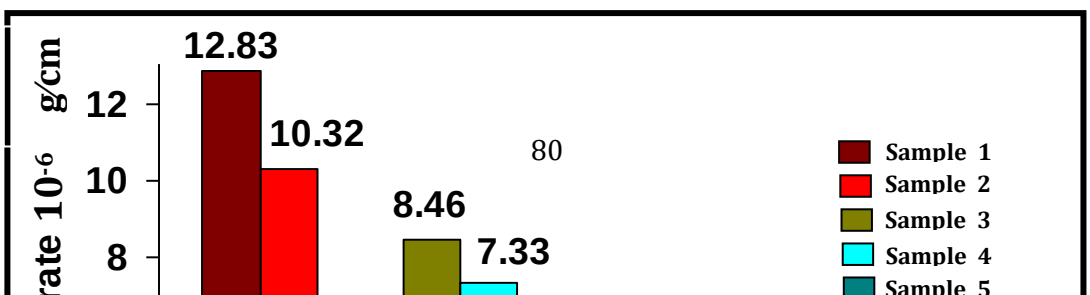
الشكل (8) يبين العلاقة بين مقاومة الصدمة ونسبة Binder %

أما العجنة التي تم اختيارها (10) لتقويتها بالالياف في سبيل تطوير خواصها لتكون ملائمة لاستخدامها في صناعة وسائد الكبح فتم ملاحظة ان مقاومة الصدمة تزداد بزيادة نسبة التقوية بالياف الزجاج والنايلون وسبب ارتفاع مقاومة الصدمة مع زيادة نسبة التقوية هو ان الالياف تعمل على تحمل الجزء الاكبر من جهد الصدم المسلط على المادة المركبة وعليه فان الاياف تعمل على توزيع الاجهاد

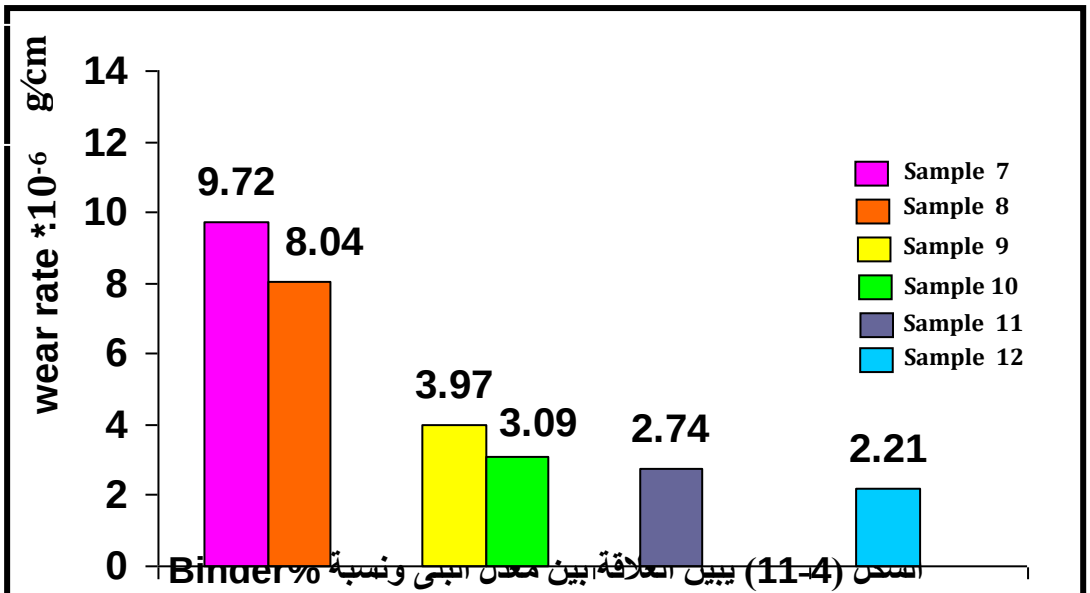
على مساحة اكبر وتقلل من احتمالية تركيز الاجهاد على منطقة معينة[6], حيث تمتاز الياف النايلون بامتلاكها متانة وصدمة عاليين [5], كما تعمل الالياف على اعاقة انتشار الشقوق, اما عند التقوية بالياف كيفلار وألياف الفولاذ فترتفع مقاومة الصدمة وبقيم اعلى من السابق وذلك للدور الفعال الذي تلعبه الياف كيفلار بزيادة الخواص الميكانيكية ومنها مقاومة الصدمة للمادة وكما مبين بالشكل 4-9 الذي يبين العلاقة بين مقاومة الصدمة ونسبة التقوية بالياف الزجاج والنايلون مرة ومرة اخرى بالياف كيفلار والياف الفولاذ, في حين بلغت مقاومة الصدمة للعينة رقم (25) $(23.9)\ kJ\backslash m^2$.



يجب ان تمتاز بمقاومة عالية للبلى لتكون ملائمة لهذا التطبيق , حيث تم اجراء اختبار البلى ووجد بشكل عام أن معدل البلى يقل مع زيادة نسبة Binder% المكون من االنوفولاك والبولي استر غير المشبع , حيث إن زيادة نسبة النوفولاك تؤدي الى زيادة مقاومة البلى للمواد المركبة وهذا يتفق مع نتائج الباحث H.Jang [23], حيث ان زيادة نسبة النوفولاك كما ذكرنا تؤدي الى زيادة الترابط الشبكي للسلاسل البوليميرية مما يؤدي الى تحسن الخواص الميكانيكية وكما مبين بالشكل 4-10 الذي يبين العلاقة بين معدل البلى ونسبة Binder% بالنسبة للنماذج المرقمة من6-1 والشكل 4-11 بالنسبة للنماذج المرقمة من 12-7 حيث يوضح الشكلان ان معدل البلى ينخفض بازدياد نسبة Binder% وان معدل البلى للنماذج المرقمة من 12-7 المبينة في الشكل 4-11 ينخفض بنسب اكبر مما هو عليه في النماذج المبينة في الشكل4-10 وذلك لازدياد نسبة Reclaim Rubber او Waste hard Rubber بهيئتهما على شكل مسحوق مما يؤدي الى انخفاض معدل البلى وزيادة معامل الاحتكاك وهذا يتفق مع نتائج الباحث J.Qiao [19].



الشكل(4-10) يبين العلاقة بين معدل البلى ونسبة Binder%



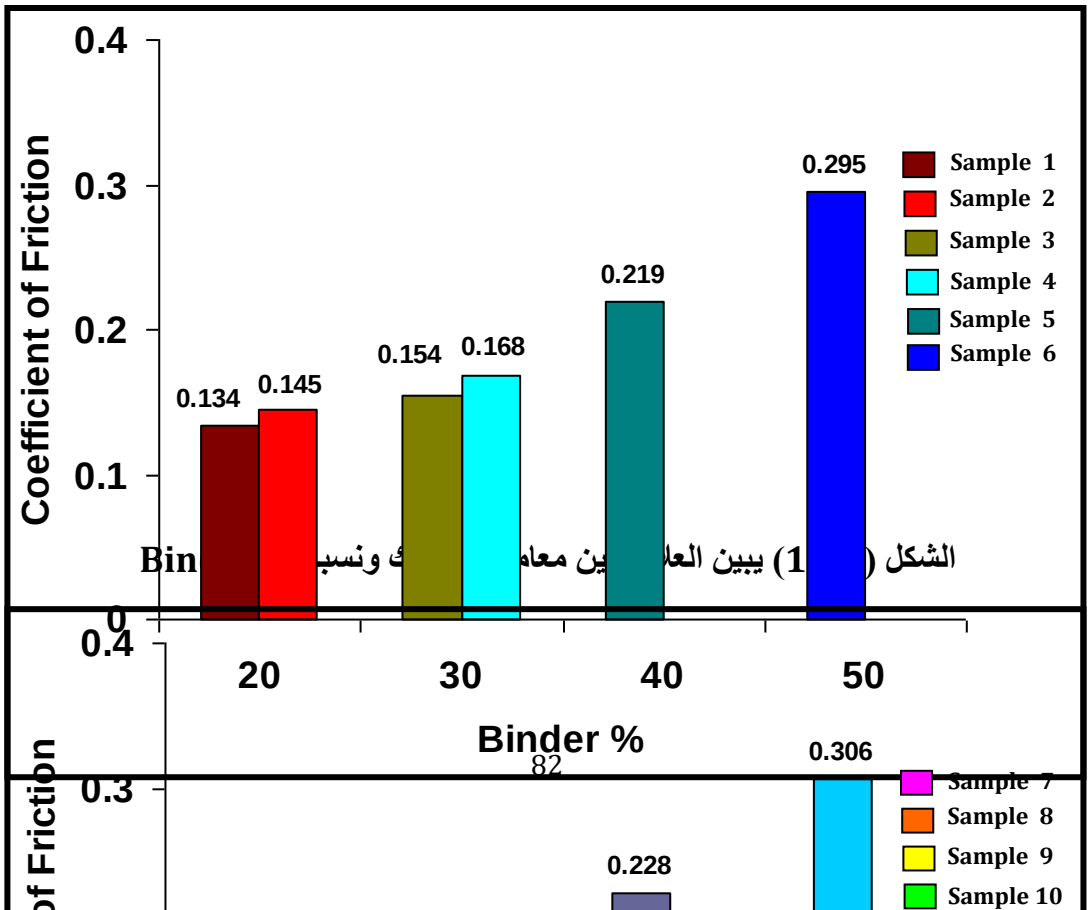
الشكل (4-11) يبين العلاقة بين معدل البلى ونسبة Binder%

أما العجنة التي تم اختيارها (10) لتحسين خواصها بالتقوية بألياف الزجاج والنايلون مرة وألياف كيفلار وألياف الفولاذ ومرة أخرى , فلوحظ أن معدل البلى يقل وبنسب اكبر عند زيادة نسبة ألياف الزجاج وألياف النايلون وهذا مايتفق مع نتائج الباحث A.Mimaroglu [22], الذي توصل إلى أن التقوية بألياف الزجاج تؤدي إلى زيادة مقاومة البلى للمادة المركبة كما أن ألياف النايلون تمتاز بسطحها الشعري الذي له القابلية العالية على الالتصاق بالمادة الأساس مما يؤدي إلى زيادة مقاومة المادة المركبة .أما في حالة التدعيم بألياف كيفلار وألياف الفولاذ فنجد أن معدل البلى ينخفض وبنسب اكبر من السابق لما تتمتع به ألياف كيفلار من مقاومة بلى عالية[64,14] وكما موضح بالشكل 4-12 الذي يبين العلاقة بين معدل البلى ونسبة التقوية بألياف الزجاج والنايلون مرة وألياف كيفلار وألياف الفولاذ مرة أخرى.أما قيمة معدل البلى للعينة المرقمة (25) فكانت (1.72) .

الشكل (4-12) يوضح العلاقة بين معدل البلى ونسبة التقوية

4-2-4- **نتائج اختبار معامل الاحتكاك** (Coefficient of friction Test)

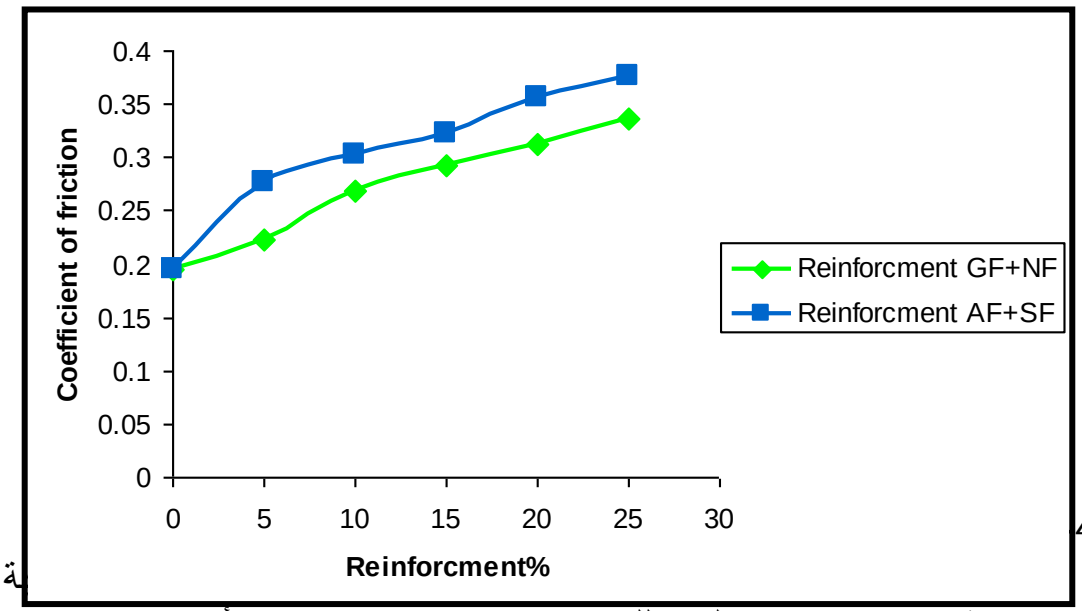
إن من متطلبات المواد المركبة المستخدمة في وسائد كبح المركبات ان تمتاز بان لها معامل احتكاك عاليا" ومستقرا" , حيث يعد هذا الاختبار أيضا ذو اهمية كبيرة لمثل هذا النوع من التطبيقات , فقد تم إجراء الاختبار على النماذج المحضرة ووجد ان معامل الاحتكاك يزداد بزيادة نسبة Binder المكون من النوفولاك والبولي استر غير المشبع وهذا ما يتوافق مع نتائج الباحثين El taybe , H.Jang [78,15] على أن زيادة نسبة الفينول تؤدي إلى زيادة معامل الاحتكاك وهذا مايتضح في الشكل 4-13 الذي يبين العلاقة بين معامل الاحتكاك ونسبة Binder% للنماذج المرقمة من 1-6 , وفي الشكل 4-14 الذي يبين العلاقة بين معامل الاحتكاك ونسبة Binder% للنماذج المرقمة من 7-12 التي أظهرت قيم معامل احتكاك أعلى من سابقاتها لكون نسبة Rubber Powder قد ازدادت وهذا يتفق مع نتائج باحثين تم ذكرهم سلفا.



الشكل (13-4) يبين العلاقة بين معامل الاحتكاك ونسبة Binder% للنماذج المرقمة من 1-6

الشكل(4-14) يبين العلاقة بين معامل الاحتكاك ونسبة Binder%

أما العجنة التي تم اختيارها (10) لتطوير خواصها بالتتقوية بكل من الياف الزجاج وألياف النايلون مرة و بألياف كيفلار وألياف الفولاذ مرة أخرى حيث فوجد أن معامل الاحتكاك يزداد بزيادة نسبة التقوية بالياف الزجاج والياف النايلون وهذ يتفق مع نتائج الباحثين A.Mimaroglu , F.J.Lino [22,17] , أما في حالة التقوية بالياف كيفلار والفولاذ فوجد أن قيمة معامل الاحتكاك تزداد مع زيادة نسبة التقوية بهذه الألياف وذلك لما تتمتع به هذه الألياف من مقاومة بلى ومعامل احتكاك عاليين وهذا متوافق مع نتائج الباحثين J.Bigwe , F.Findik [17,14] ,وكما مبين بالشكل4-15 الذي يبين العلاقة بين معامل الاحتكاك ونسبة التقوية مرة بألياف الزجاج والنايلون و بألياف كيفلار وألياف الفولاذ مرة أخرى ,أما قيمة معامل الاحتكاك للنموذج المرقم(25) بلغت(0.313) .

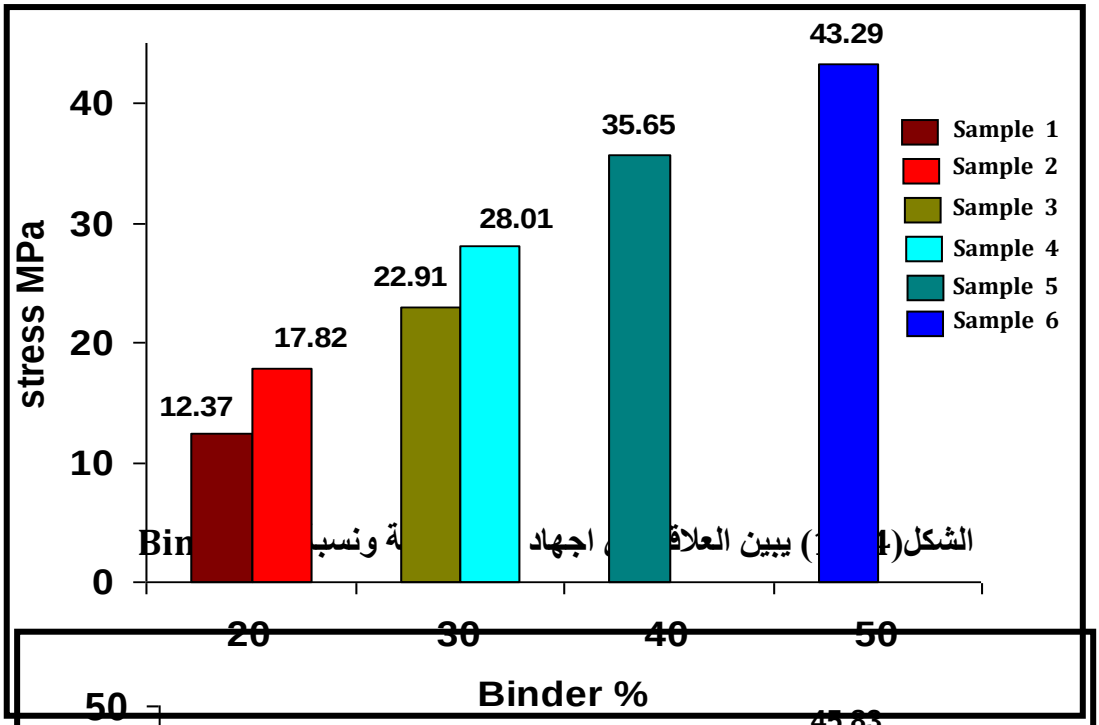


4

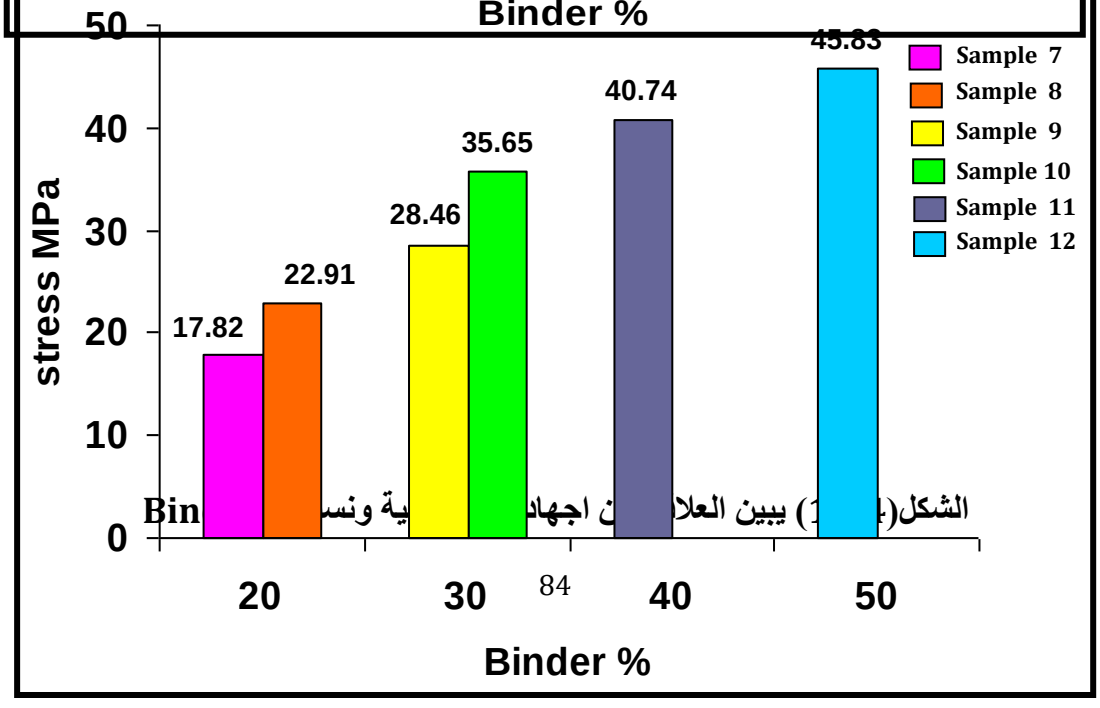
ة

المستخدمة لاغراض وسائد الكبح للمركبات إذ انه يعد اختبارا" أتلافيا" , حيث تم اجراء الاختبارات على النماذج المحضرة لهذا الفحص ومن خلال النتائج وجد ان مقاومة الانضغاط تزداد بزيادة نسبة Binder% للعينات المرقمة من 6-1 وذلك لان زيادة نسبة Binder% المؤلف من النوفلاك والبولي استر غير المشبع يؤدي

إلى تماسك اكثر للمادة المركبة مما يؤدي الى تحسن الخواص الميكانيكية للمادة المركبة , حيث يعد النوفولاك والبولي استر غير المشبع من البوليمرات المتصلدة بالحرارة التي تعمل زيادة نسبتها على زيادة الربط التشابكي للسلاسل البوليميرية مما يؤدي الى زيادة تماسك المادة وبالتالي تحسن الخواص الميكانيكية وهذا ماتم ملاحظته بالشكل 4-16 الذي يبين العلاقة فيبين مقاومة الانضغاط ونسبة Binder% للنماذج المرقمة من 1-6 , اما الشكل 4-17 الذي يبين العلاقة بين مقاومة الانضغاط ونسبة Binder% للنماذج المرقمة من 7-12 يبين ان مقاومة الانضغاط ازدادت عما هي عليه للنماذج المرقمة 1-6 وهذه الزيادة تعزى إلى ازدياد كمية Rubber Powder بالنسبة للمطاط في كل نموذج حيث يؤدي إلى تقليل المسامات التي تضعف الخواص الميكانيكية , كما ان زيادة المطاط يولد معامل مرونة منخفضا" وبالتالي يضعف الخواص الميكانيكية للمادة لذلك يستخدم Powder Rubber في مادة اساس لاصقة مثل راتنج البولي استر مما يؤدي الى زيادة تماسك العجنة المحضرة وبالتالي تحسن الخواص الميكانيكية [64].

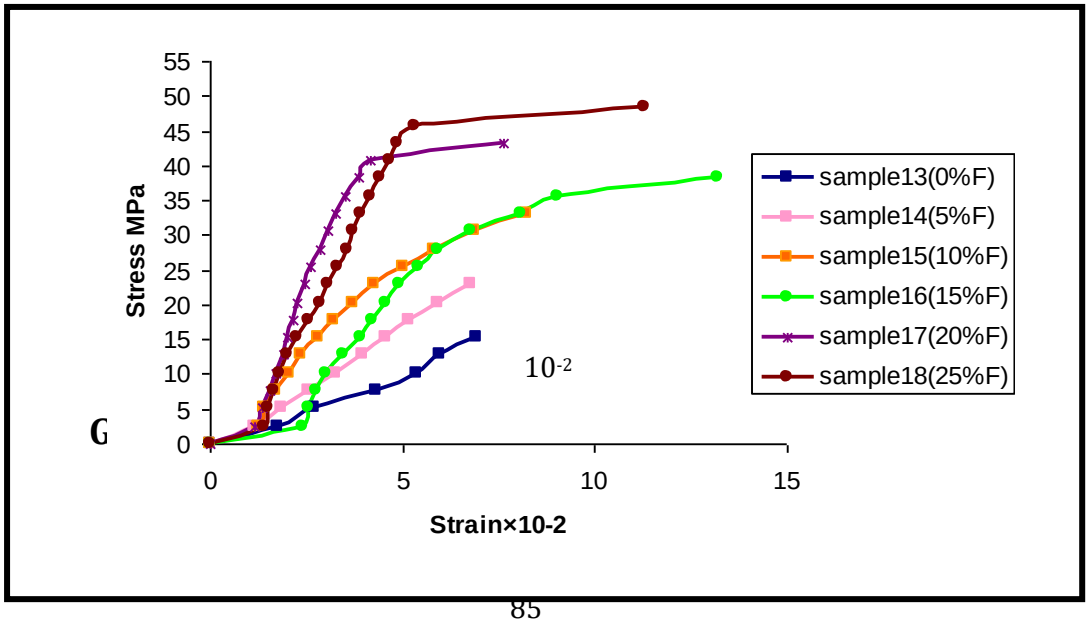


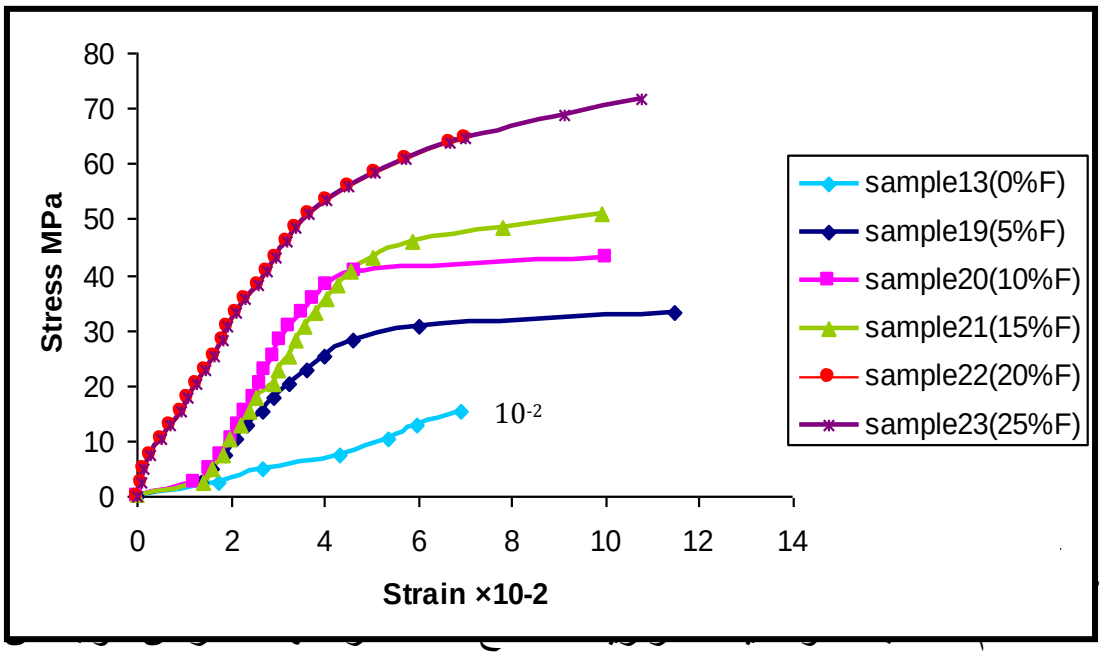
الشكل(4-16) يبين العلاقة بين مقاومة الانضغاط ونسبة Binder% للنماذج المرقمة من 1-6 اجهاد



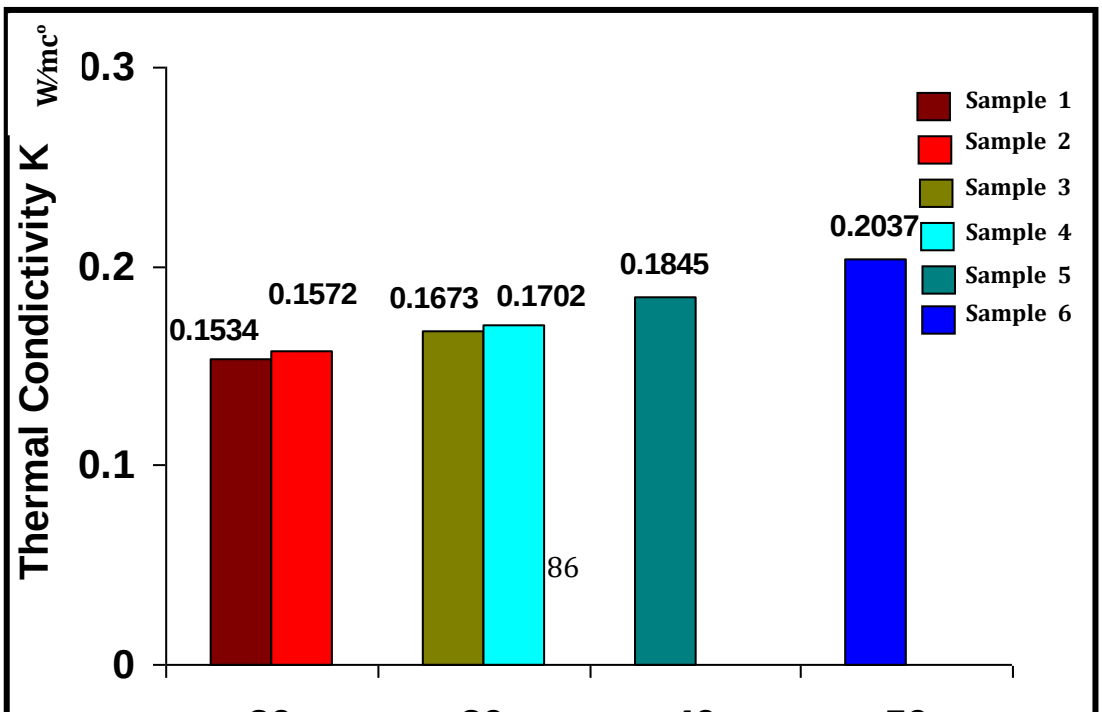
الشكل(4-17) يبين العلاقة بين مقاومة الانضغاط ونسبة Binder% للنماذج المرقمة من 7-12 اجهاد

أما العينة المختارة (10) في سبيل تحسين خواصها الميكانيكية تقوى بألياف الزجاج والنايلون مرة وبألياف كيفلار وألياف الفولاذ مرة أخرى وعلى الرغم من أن مقاومة الانضغاط تعتمد على اتجاه الليف ألا أنه تبين من خلال التقوية بألياف الزجاج وألياف النايلون فأن مقاومة الانضغاطية تزداد بفعل التقوية بهذه الأنواع من الألياف وكما مبين بالشكل 4-18 الذي يبين العلاقة بين الاجهاد والانفعال للعينات المدعمة بألياف الزجاج وألياف النايلون أما تفسير هذه الزيادة بمقاومة الانضغاط فتعزى إلى التقوية للمادة الأساس بالألياف والدور الذي تلعبه هذه الألياف بتحمل الجزء الأكبر من الإجهاد المسلط على النموذج وكذلك بفعل ازدياد قوة تماسك سطح الليف بالمادة الأساس وتكوين ارتباط قوي بين الليف والمادة الأساس حيث يسهم في تحسين الخواص الميكانيكية [48], أما التدعيم بكل من ألياف كيفلار وألياف الفولاذ فيؤدي إلى زيادة ملحوظة بمقاومة الانضغاط وكما مبين بالشكل 4-19 الذي يبين العلاقة بين الإجهاد والانفعال للنماذج المقواة بألياف كيفلار وألياف الفولاذ , إن سبب هذه الزيادة بمقاومة الانضغاط عما هو عليه بالتقوية بألياف الزجاج وألياف النايلون هو أن الدور الكبير الذي تلعبه ألياف كيفلار بتقوية المادة الأساس وتحسين الخواص الميكانيكية عما هو عليه للألياف النايلون التي تمتاز بطبيعتها الهشة والضعيفة ضد قوة الانضغاط على عكس أجهاد الشد,إذ انه على الرغم من مساهمتها في تحسن مقاومة الانضغاط إلا انه في حالة تعرض الألياف إلى حمل شد محوري فان الأواصر التساهمية هي التي تتحمل قوى الشد أما في حالة الانضغاط فان الأواصر الهيدروجينية الضعيفة وقوى فاندرفالز هي التي تتحمل إجهاد الانضغاط لذلك تضعف الألياف بسبب حدوث التليف Fibrillation والتعقد Kinking الذي يؤدي إلى انبعاج العينة Buckling وبالتالي حدوث فشل بالعينة [78,5] , لذلك تمت التقوية باضافة كل من الياف الزجاج مع النايلون لتحسين الخواص الميكانيكية ومنها الانضغاطية.

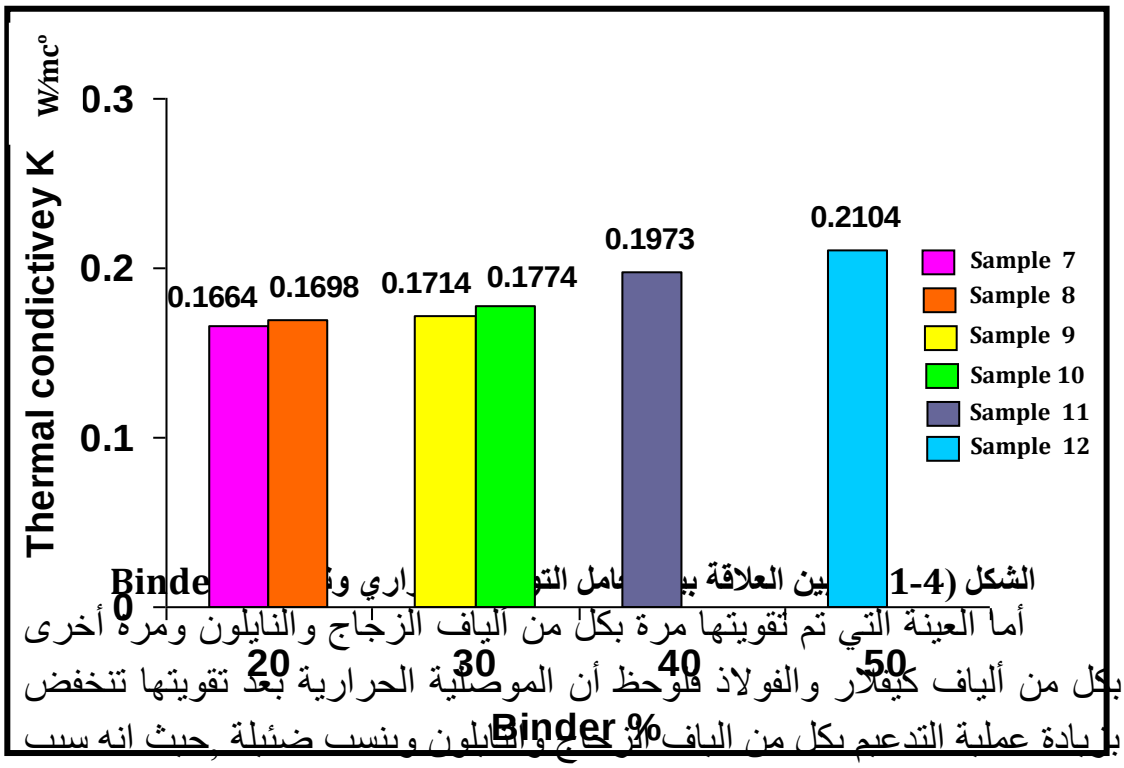




التوصيل الحراري يزداد بزيادة نسبة Binder% قد يعزى ذلك إلى إن التوصيل الحراري يزداد بنقصان المايكا مع زيادة نسبة Binder حيث تعتبر المايكا من العوازل الجيدة للحرارة وكذلك النقصان الحاصل بنسب الكبريتات والكاربونات وهي أيضا من المواد العازلة للحرارة حيث أدى النقصان بنسب هذه المواد المذكورة إلى زيادة طفيفة بالتوصيل الحراري وعلى الرغم من الزيادة الحاصلة بنسبة المادة الرابطة Binder , وكما مبين بالشكل 4-20 الذي يبين العلاقة بين ثابت التوصيل الحراري K ونسبة Binder للنماذج المرقمة من 6-1 والشكل 4-21 الذي يبين العلاقة بين ثابت التوصيل الحراري K ونسبة Binder للنماذج المرقمة من 12-7 .



الشكل(4-20) يبين العلاقة بين معامل التوصيل الحراري ونسبة%Binder

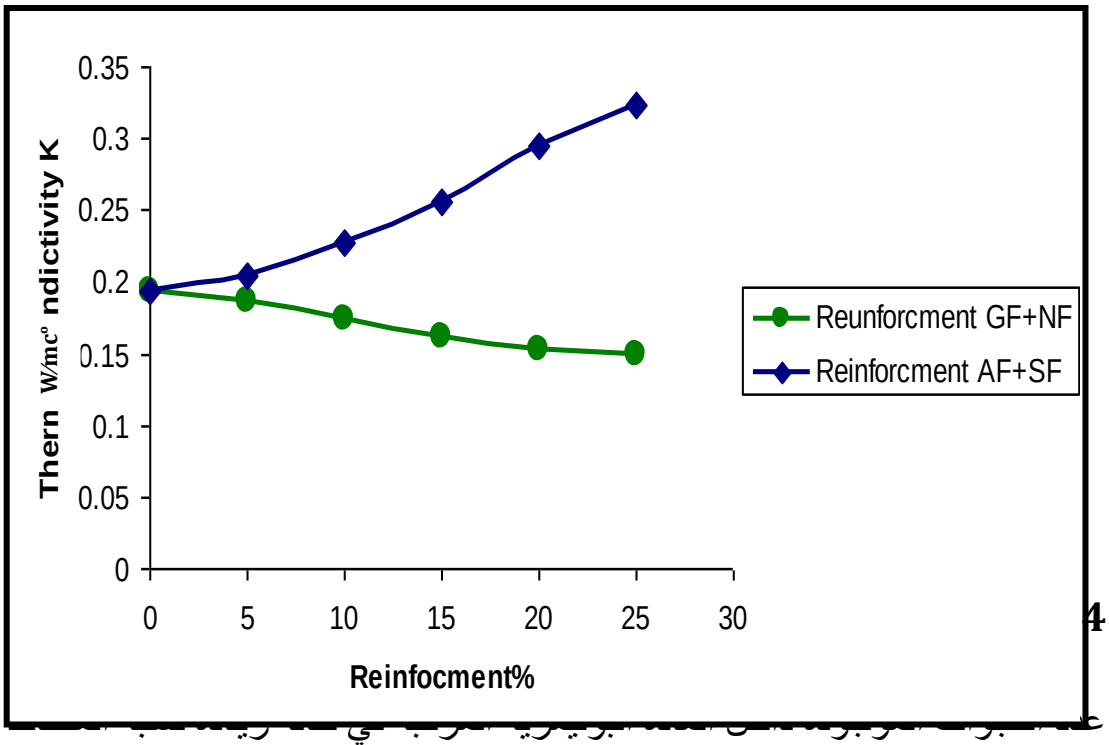


الشكل (4-1 ين العلاقة بي امل التو اري و

أما العينة التي تم تقويتها مرة بكل من ألياف الزجاج والنايلون ومرة أخرى بكل من ألياف كيفلار والفولاذ فلوحظ أن الموصلية الحرارية بعد تقويتها تنخفض بزيادة عملية التدعيم بكل من الياف الزجاج والنايلون وبنسب ضئيلة, حيث انه سبب الانخفاض بقيم الموصلية يعزى الى الياف النايلون التي تمتاز بكونها عازلة [60] وتعتمد قابليتها على العزل وجود الشعيرات الليفية الدقيقة مما يؤدي الى انتقال الحرارة بطريقتين (التوصيلية والحمل) اذ تنتقل الموجات المرنة (الفونونات) عبر المادة الاساس والجزء الصلب بواسطة الحركة الاهتزازية للذرات وبفعل الاصرة التساهمية وعند وصول الفونونات الى الجزء الشعري من الياف النايلون تعاني الفونونات عرقلة في حركتها بسبب اختلاف البنية التركيبية لهذا الوسط لانه يمتلك ذرات واواصر تختلف عن الوسط السابق مما سيؤدي الى انخفاض بقيم الموصلية الحرارية على الرغم من وجود الياف الزجاج التي تمتاز بموصليتها الجيدة للحرارة [5].

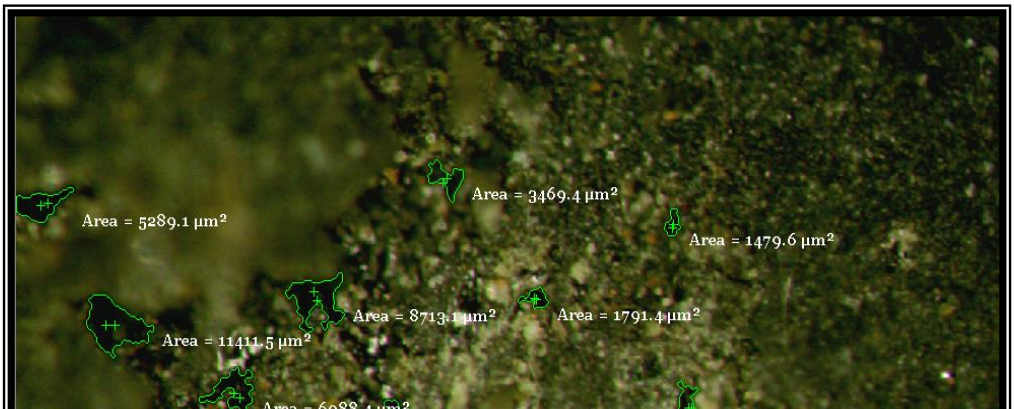
أما عند التقوية بألياف كيفلار والفولاذ فوجد أن قيمة الموصلية تأخذ بالارتفاع مع زيادة نسبة التدعيم بهذه الالياف وكما مبين بالشكل 4-22 الذي يبين العلاقة بين ثابت معامل التوصيل الحراري K ونسبة التقوية بالياف الزجاج والنايلون ومرة اخرى بالياف كيفلار والفولاذ , حيث أن الأسلاك الفولاذية تمتاز بقابلتها العالية للتوصيل الحراي وكذلك الياف كيفلار لها القابلية على التوصيل الحراري مما يسهم بزيادة الموصلية الحرارية [49,48].

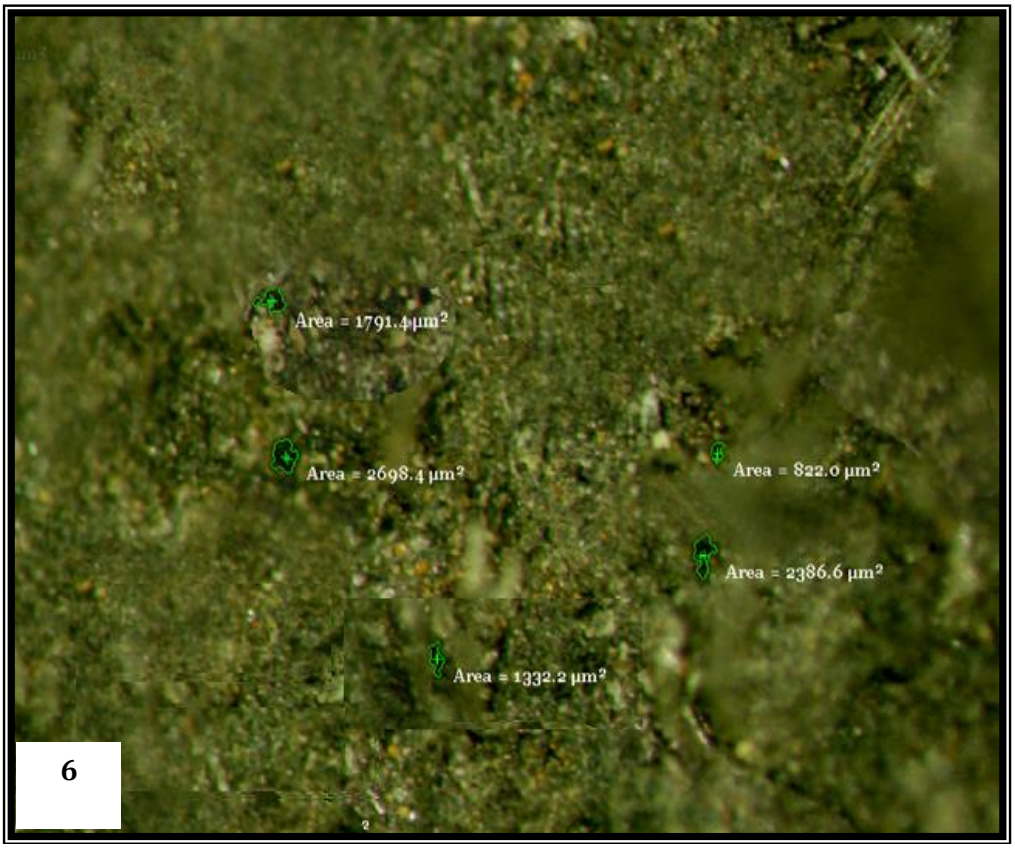
هذا بالإضافة الى ان قيمة ثابت التوصيل الحراري K للعينة رقم (25) كانت W\m°C (0.2684) .



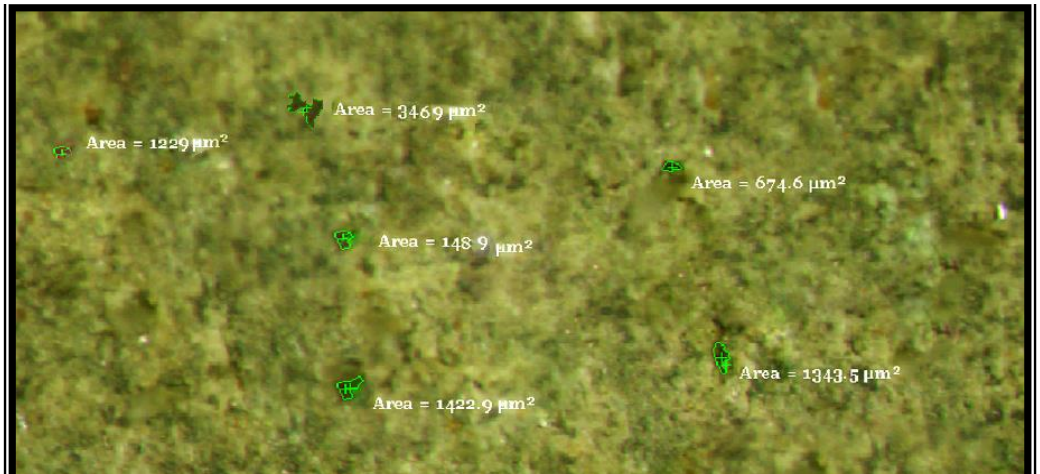
4

بالنسبة ل Rubber Powder مع إبقاء النسب الأخرى ثابتة حيث تم اخذ صور للعينات (1,6) و (7,12) وبقوة تكبير مقدارها 50X وكما موضح بالشكل 4-23 و الشكل 4-24 أدناه حيث وجد ان الفجوات تتقلص بالحجم والعدد مع زيادة نسبة Rubber Powder مما أدى إلى تحسن معظم الخواص الميكانيكية, كما إن نسبة الفجوات على سبيل المثال في العينة 12 اقل من نسبة الفجوات في العينة 6 على الرغم من امتلاكهما نفس النسب من Binder والمكونات الأخرى إلا انه زيادة نسبة مسحوق المطاط بالنسبة للمطاط الصناعي في العينة 12 أدى إلى تقليل الفجوات وبشكل واضح مما أدى إلى إن خواص العينة 12 كانت أفضل من العينة 6 .



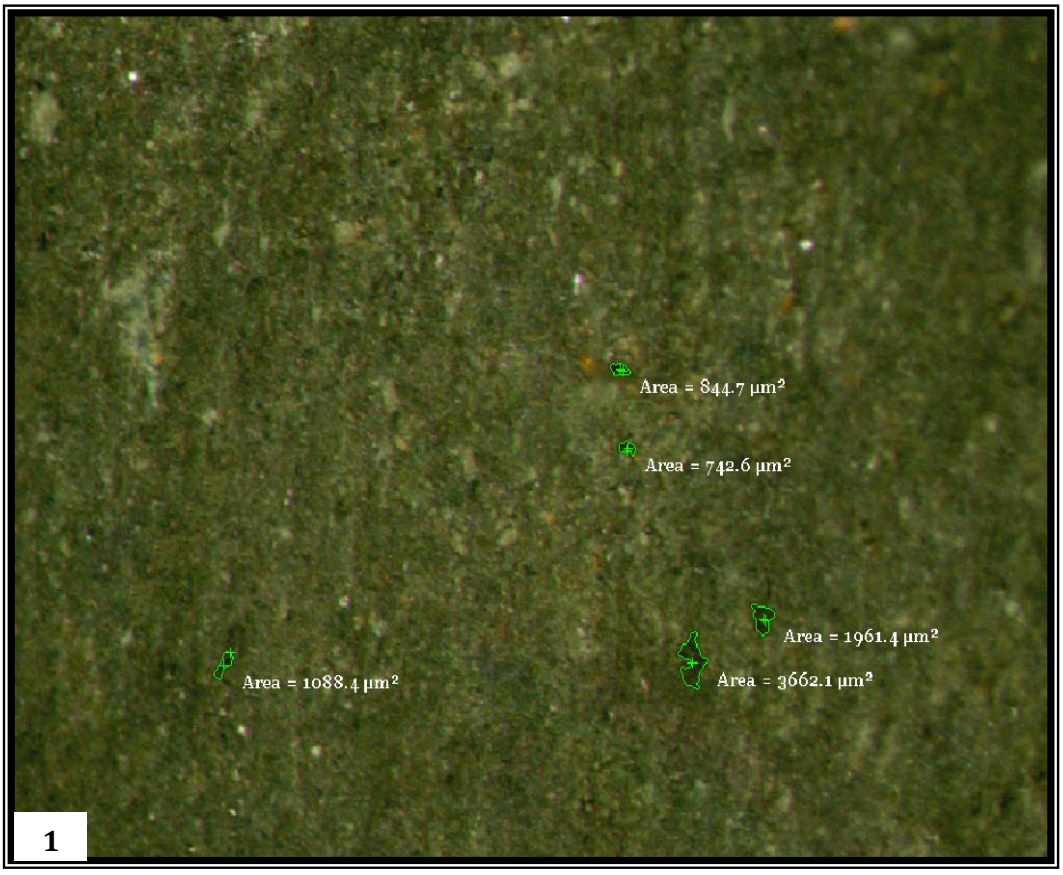


الشكل (4-23) يبين الفحص الفوتوغرافي لفجوات العينات(1، 6)



7

7



الشكل (4-24) يبين الفحص الفوتوغرافي لفجوات العينات(7، 12)

من خلال النتائج أعلاه تمت مقارنة نتائج الفحوصات الميكانيكية للعجنات المصممة لأغراض فرامل السيارات مع المواصفات القياسية لوسائد كبح المركبات التجارية والمتوفرة في السوق المحلية وكما مبين بالجدول 4-1 الذي يبين مقارنة مواصفات بعض العجنات المحضرة مع المواصفات القياسية لوسائد كبح المركبات

جدول (4-1) يبين خواص بعض العجنات المختارة ومقارنتها مع المواصفات القياسية للوسائد التجارية

Properties	17	18	22	23	24	25	الوسادة التجارية
Brinell Hardness	11.82	14.91	11.52	14.25	15.63	13.33	10.61
Shore D Hardness	75.6	76.6	76	81.5	83.7	80.2	70.80
Impact resistance	18.05	21.21	22.7	28.2	33.7	23.9	6.26
Wear resistance	1.94	1.67	1.76	1.41	1.37	1.72	2.12
Coefficient of Friction	0.313	0.336	0.323	0.356	0.378	0.313	0.298
Compration strength	43.29	48.38	50.92	66.20	71.30	56.02	48.38
Thermal Conductivity	0.1535	0.1490	0.2565	0.2942	0.3229	0.2684	0.293

5-1 الاستنتاجات

بعد إجراء هذا البحث ومن خلال نتائج الاختبارات الميكانيكية تم التوصل الى أهم الاستنتاجات:

1- زيادة نسبة المادة الرابطة المؤلفة من (Novolack +Polyester) إلى حد (50%) أدى إلى زيادة صلادة Shore D من (45) إلى (77.3) .

2- انخفضت مقاومة الصدمة من ($10.56\ kJ/m^2$) إلى ($4.83\ kJ/m^2$) بانخفاض نسبة مطاط SBR من (25%) إلى (5%) .

3- زيادة نسبة التقوية للعجنات بألياف الزجاج والنايلون ومرة أخرى بألياف كيفلار والفولاذ إلى حد (25%) أدى إلى زيادة مقاومة الصدمة من ($2.41\ kJ/m^2$) إلى ($21.21\ kJ/m^2$) في حالة التقوية بألياف الزجاج والنايلون ومن ($6.81\ kJ/m^2$) إلى ($23.9\ kJ/m^2$) في حالة التقوية بألياف كيفلار والفولاذ.

4- انخفض معدل البلى من ($2.298\ g/cm$) إلى ($1.627 g/cm$) بزيادة نسبة التقوية بألياف كيفلار والفولاذ في حين ازداد معامل الاحتكاك من (0.276) إلى (0.337).

5- انخفضت الموصلية الحرارية من ($0.1942\ W/m^oC$) إلى ($0.1490\ W/m^oC$) بزيادة نسبة التقوية بألياف الزجاج والنايلون إلى حد (25%) في حين ازدادت الموصلية الحرارية من ($0.2038\ W/m^oC$) إلى ($0.3229\ W/m^oC$) بزيادة نسبة التقوية بألياف كيفلار والفولاذ إلى حد (25%).

6- يمكن اعتبار العجنات التي تحمل الارقام 17,18,22,23,24,25 عجنات أكثر ملائمة لتصميم وسائد كبح المركبات كون هذه العجنات امتازت بمقاومة بلى واحتكاك ومقاومة صدمة عالية بالمقارنة مع الوسائد التجارية وكما مبين بالجدول (4-1) الذي يوضح مقارنة لخواص بعض العجنات المختارة مع المواصفات القياسية للوسائد التجارية.

5-2 التوصيات

1- دراسة تأثير الأشعة فوق البنفسجية على الخواص الميكانيكية للعجنات.

2- دراسة خاصية البلى ومعامل الاحتكاك والخواص الميكانيكية الاخرى تحت ظروف بيئية رطبة.

3- استخدام المجهر الالكتروني الماسح لدراسة السطوح البينة للمواد المركبة .

4- استخدام تقنية (FTIR) في تحليل مكونات الوسائد المحضرة.

5- دراسة تدعيم المواد المركبة بالدقائق ومقارنة نتائج الفحوصات الميكانيكية بالنتائج الفعلية.

6- دراسة تأثير تغيير نسب المصلد المضاف للنوفولاك على الخواص الميكانيكية للمواد المركبة.

7- استخدام انواع اخرى من الالياف مثل الياف الكاربون ودراسة تاثيرها على الخواص الميكانيكية.

8-دراسة خواص ميكانيكية اخرى مثل مقاومة الانحناء والشد.

9-دراسة تأثير الحجم الحبيبي للمالئات على الخواص الميكانيكية والفيزيائية.