

The Effect of Temperatures and immersion time on the polymer blend reinforced by ceramic particles

Sadeer Mouwfaq Majeed 

Applied Science Department, University of Technology/ Baghdad.

Email:sader-ss@yahoo.com

Revised on:3/9/ 2012 & Accepted on: 4/9/2014

ABSTRACT

In this research polymer blend was prepared from (EP-Novolac) reinforced by ceramic particles (SiC), which added as (10%, 20%, 30%) Wt to the blend, by using hand lay-up method

Some mechanical properties were studied on the specimens of the above mentioned materials such as hardness and wear, at different temperatures and immersion times, The samples were immersed in (HCL) and (NaOH) solutions with normality (0.5 N) for (2 and 4) weeks at different temperature (25, 44, 62) °C

And then the results of the reinforced blend showed decreasing of hardness values after immersion samples in to both above solutions

It is found that in spite of there is increment in temperatures and immersion times in (NAOH) that is consider as a corrosion media to polymers there is decreases in wear rate specially at percentage (30%SiC).

Keywords: polymer blend, particles, Wear Resistance, hand layout methods.

دراسة خواص خليط بوليمري مدعم بدقائق سيراميكية عند درجات حرارة مختلفة ومحيط أكال

الخلاصة

تم في هذا البحث تحضير خليط بوليمري من راتنجات الفينول – فورمالديهايد نوع نوفولاك والايوكسي وقد اضيفت دقائق سيراميكية من كاربيد السيليكون الى الخليط البوليمري بنسب وزنية مقدارها (10%, 20%, 30%) حيث تم تصنيع النماذج بطريقة القولية اليدوية .

اجريت على نماذج المواد المذكورة أعلاه بعض الاختبارات الميكانيكية شملت اختبار البلى الالتصاقى وفحص الصلادة للنماذج المدعمة والغير مدعمة بالدقائق عند درجات حرارة وازمان غمر بمحاليل مختلفة .بالاضافة الى دراسة تأثير غمر النماذج بمحلول حامض الهيدروكلوريك (HCl) ومحلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) وباعيارية (0.5N) لكلا المحلولين وجرى الاختبار بفترات غمر 2 اسبوع و4 اسابيع وبدرجات حرارية مختلفة هي (25, 44, 62) °C

لوحظت تأثيرات درجة الحرارة وزمن الغمر بالمحاليل على قيم الصلادة ومعدل البلى، حيث وجد انه على الرغم من زيادة درجة الحرارة وزمن الغمر بالمحلول القاعدي والذي يعتبر محلول أكال للبوليمر الا ان معدل

البلى يقل وبشكل ملحوظ عند التدعيم بالدقائق السيراميكية (وخصوصا عند النسبة 30%) عما هو عليه للنماذج الغير مدعمة .

المقدمة

الخلاط البوليمرية الاولى هي خليط من البوليمرات الطبيعية حيث ان الخليط الاول كان مزيج من المطاط الطبيعي والمطاط والذي طور وسجل براءة اختراع من قبل توماس هانكوك في عام 1846 م ، ان مصطلح الخليط البوليمري (polymer blend) يمكن ان يستخدم لوصف خليط من اثنين او اكثر من البوليمرات او البوليمرات المشتركة (copolymers) والذي يمكن ان يستبدل بالمتراكبات البوليمرية، اما السبائك البوليمرية تصف الخليط البوليمري الغير متجانس (immiscible polymer blend) مع طور مورفولوجي معين (phase-morphology) [1]

ان عملية اختراق او تغلغل الشبكات البوليمرية مع بعضها والذي يحدث تحت عملية البلمرة هو خليط بوليمري، والوصف الاخر للمزيج البوليمري هو الذي يرتبط بقابلية

الامتزاج (التجانس) للخليط (miscibility of the blend). ان المفتاح للحصول على خواص محسنة من الخلاط الغير متجانسة هو الحصول على الطور المتوافق (compatibilize polymer blends) الذي يزيد الالتصاقية بين الاطوار. ويمكن جعل الخليط البوليمري متوافق من خلال اضافة المواد التوافقية (compatibilization) حيث ان هذه العوامل تضاف الى الخليط وتحدث التفاعل التوافقي والذي يتضمن تفاعل كيميائي يؤدي الى حصول الترابط المتين مع المادة الاساس من خلال زيادة مساحة الترابط البيني (interfacial area) بين مادة التقوية والاساس.

يمكن تصنيف الخلاط البوليمرية الى خلاط مطاوعة للحرارة (thermoplastic blends) وخلاط متصلدة حراريا (thermo set blends) و الخلاط المطاطية (rubber blends) [2]. وهذا التصنيف يعتمد على الخليط الناتج والذي يكون متجانس حيث انه يمتلك طور واحد متكون من بوليمرين او اكثر وهذا الخليط ذائب مع بعضه البعض وهذا النوع من البوليمرات يمتلك درجة انتقال زجاجي (Tg) واحدة للخليط والتي تمثل معدل القيمة، اما البوليمرات الغير متجانسة و التي تمتلك طورين منفصلين والتي نحصل عليها من خلط اغلب البوليمرات عندما $\Delta G_{mix} = \Delta H_{mix} > 0$ ، وهناك الخلاط الجزئية التجانس. [3]

جاء الاهتمام بالخلاط البوليمرية من الحرص على الحصول على مواد جديدة مع للخواص المحسنة للمنتج مع كلفة قليلة، وان هذه الخواص تعتمد بالدرجة الاساس على الترابط المتزامن التكوين لخواص الراتنج - الراتنج ، وبسبب بعض الخواص التي تمتلكها هذه المواد حلت وبصورة سريعة محل بعض المواد الهندسية المتعارف عليها في كثير من التطبيقات كصناعة السيارات والهياكل الخارجية والبناء والديكور وغيرها من التطبيقات، اذ ان الخاصية المهمة لدى المصنعين هي اعادة استخدام او اعادة تدوير (recycle material) هذه المواد حيث انها اما تعود كبوليمر اصلي ومن ثم الى التصنيع التقليدي او تتحول الى سوائل كيميائية ووقود [2][3].

الجزء العملي

1- المادة الاساس (Matrix Material):

النوفلاك Novolac:-

النوفلاك يكون بشكل كتل مطاوعة للحرارة (Thermoplastic) ذو كثافة (0.91g/cm^3) . شفاف اللون وذو رائحة مميزة، تم تحضير النوفلاك من خلال اضافة مصلده وهو هيكسا ميثيلين تترامين (HMTA) او يدعى تجارياً هيكسا (hexa) يكون بشكل مسحوق ابيض ونسبة اضافة المصلد هي (11-13%) ليحدث بينهما تفاعل عند درجة حرارة الغرفة اذ يبدأ بتكون مادة جلايتينية. وقد اجريت عملية المعالجة (Curing) في فرن تجفيف وبدرجة حرارة 50°C ، عادة يتم إذابة النوفلاك الصلب باستخدام كحول الميثيل

راتنج الايبوكسي Epoxy risen:

هو عبارة عن سائل لزج، ويعتبر من البوليمرات المتصلدة حراريا thermosetting polymers يستخدم كمادة لتغليف المواد، كمادة لاصقة ، وفي الطلاءات العالية الاداء، ان هذه المادة تمتلك خواص كهربائية ممتازة ، قابلية التصاق جيدة مع بعض المعادن ومقاوم للرطوبة والصدمة الحرارية والميكانيكية. [4] وفي البحث الحالي استعمل راتنج الايبوكسي نوع quick mast 105 وكثافته (1.04 gm/cm^3) ويتحول راتنج الايبوكسي الى الحالة الصلبة بعد اضافة مصلده اليه نوع مادة ميثا فاينيلين داي امين Metaphenylene Diamine (MPDA) وهو مادة سائلة ذات لون شفاف، ونسبة (1:3)

وبعدها تجرى عملية المعالجة (Curing process) لعدد من الساعات وذلك لتقليل نسبة التقلصات ولزيادة التشابك (Cross linked) و (three-dimensional network) وجعل الايبوكسي اقصى hard واصلد rigid ومقاوم للانصهار infusible الى حد معين

2- مواد التدعيم Reinforcing Materials

في هذا البحث تم استخدام كاربيد السيليكون (SiC) كمادة تدعيم للخليط البوليمري حيث اضيف بالنسب التالية Wt (10%-20%-30%).

تحضير العينات

تم تحضير العينات الهجينة باستخدام طريقة القولية اليدوية وحسب الخطوات الآتية:-
اولاً: تم تحضير مادة النوفولاك ومصلده الذي يكونان بشكل كتل فيحول الى مسحوق ناعم ذلك يتم بطحنها بوساطة الطاحونة وبعد الحصول على المسحوق الناعم من مادة النوفولاك ومصلدها يتم تحويلها الى سائل لزج من خلال اذابة الخليط في كحول الايثانول (22cc) وتخلط جيداً حتى نحصل على سائل لزج من المادتين وبهذا تم تحضير خليط متجانس ثلاثي المكونات .
ثانياً: يحضر بوليمر الايبوكسي وذلك باضافة مصلده اليه ويخلط المزيج للحصول على مزيج متجانس .
وبالاعتماد على نسب اضافة المصلد اعلاه الى كلا المادتين .
بعد ذلك تم خلط النوفولاك مع الايبوكسي وبنسب خلط (EP60% +40% Novolac) ومن ثم تم تقوية الخليط البوليمري بدقائق كاربيد السيليكون وبالنسب (30% , 20%)
وبعدها يصب الخليط بالقالب الذي هو عبارة عن لوحين من الحديد المغلون وبابعاد (12 x 10 cm²) المهيا لعملية الصب . بعد الحصول على المصبوبة , تُقطع الى عينات وعلى وفق كل اختبار.

اختبار البلى Wear test

تم اجراء اختبار البلى باستعمال جهاز البلى الانزلاقي ويتكون من ذراع معدنية مستوية تحتوي على ماسك لتثبيت العينة وقرص حديدي دوار يتصل بمحرك كهربائي , تبلغ سرعة القرص (500 دورة/ دقيقة) وصلادة القرص الحديدي (HB269), الاحمال المستخدمة في الاختبار هي (10,15,20) نيوتن وكانت مدة الاختبار (15) دقيقة .
ويحسب معدل البلى من العلاقة الرياضية الاتية:

$$\text{Wear rate} = \Delta W / S_D \quad (\text{gm/cm})$$

علماً أن: Δw هو الفرق بالكتلة (gm) قبل وبعد الاختبار

$$\Delta w = w_1 - w_2$$

S_D : - مسافة الانزلاق (cm) وتحسب من العلاقة:

$$S_D = 2\pi rnt$$

علماً أن :-

r :- نصف القطر من مركز العينة الى مركز القرص (cm).

n :- عدد دورات القرص (دورة/ دقيقة).

t :- زمن الاختبار (دقيقة).^[6]

أولاً: دراسة تأثير الحمل المسلط على معدل البلى

وتم اعتماد ثلاثة احمال مختلفة (10 , 15 , 20) نيوتن مع ثبات كل من الزمن وصلادة القرص والسرعة الدورانية.

ثانياً: دراسة تأثير الغمر على معدل البلى.

أذ يتم غمر العينات في محلول حامض الهيدروكلوريك (HCl) وبعيارية (0.5 N) ومحلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) وبعيارية (0.5N) واجرى الاختبار بفترات غمر اسبوعين واربع اسابيع وبنفس الظروف التي ذكرت اعلاه.

ثالثاً: تأثير درجة الحرارة على معدل البلى.

اذ يتم استخدام ثلاثة درجات حرارية مختلفة وهي (C 25, 44, 62) وتم ذلك من خلال تسليط تيار هوائي ساخن على العينات اثناء تعرضها للبلى، مع ثبات كل من الوقت وصلادة القرص والسرعة الدورانية.

اختبار الصلادة Hardness test

تم قياس الصلادة للنماذج الجافة والمغمورة في محلولين حامضي وقاعدي، تم استخدام جهاز صلادة شور Shore D Hardness ايطالي المنشأ نوع (TH210) وبالمواصفات القياسية (ISO 868) حيث يستخدم لفحص المواد البوليمرية التي تمتاز بالصلادة والهشاشة في الوقت نفسه حيث تم غرز أداة الغرز للجهاز في سطح المادة ثم الانتظار لمدة ثلاث ثوان بعدها تظهر قيمة الصلادة بشكل رقمي على شاشة الجهاز.

النتائج والمناقشة

تأثير الحمل المسلط على معدل البلى

في هذا الجزء تمت دراسة تأثير الحمل المسلط في معدل البلى للعينات غير المدعمة والعينات المدعمة بدقائق كاربيد السيليكون، اذ تم اعتماد الاحمال (10,15,20) نيوتن وكانت مدة الاختبار (15) دقيقة و صلادة القرص الحديدي (HB269). نلاحظ من خلال النتائج في الاشكال (1-6) انه بزيادة الحمل المسلط يزداد مقدار البلى للعينات المدعمة والغير مدعمة، الا انه نلاحظ ان قيم معدلات البلى للعينات المدعمة تكون اقل مما في العينات الغير مدعمة بالرغم من الغمر بالمحاليل الكيميائية.

من خلال ملاحظة الاشكال (1-6) ان لقيمة الحمل تأثيراً مباشراً على التشوه اللدن الذي يحدث عند قيم التوترات في العينات الغير مدعمة والمنطقة القريبة من السطح فتزداد كثافة الانخلاعات وتنشط حركتها لذا يزداد التشوه اللدن مع زيادة الحمل المسلط، ثم تتجمع الانخلاعات مكونة فجوات صغيرة تقترب من بعضها لتكون شقوقاً صغيرة وتحصل عملية إزالة لطبقات رقيقة من البوليمر باتجاه الانزلاق لتكون حطام البلى^[8]. هذا بالإضافة الى تأثر ان قيم معدلات البلى بدرجات الحرارة المختلفة واطواسات التآكل التي تعرضت لها العينة الغير مدعمة بدقائق كاربيد السيليكون.

أما فيما يخص العينات المدعمة بالدقائق يلاحظ من خلال الاشكال (1)، (2)، و (3) ان إضافة دقائق كاربيد السيليكون إلى الخليط البوليمري يؤدي إلى نقصان معدل البلى وان النقصان يزداد مع زيادة النسب المضافة من الدقائق، ويعود سبب ذلك إلى صلادة الدقائق المضافة نتيجة إلى ارتباط مقاومة البلى مع الصلادة السطحية للمواد و بزيادة الصلادة تزداد مقاومة البلى للمادة لأنها تعمل على تقليل مساحات التلامس الحقيقية بين السطح العينة والقرص المستعمل^[6].

ان اليات زيادة المتانة في المواد المترابطة المقواة بالدقائق (دقائق كاربيد السيليكون) على الاغلب هي في زيادة مساحة سطح الكسر الناتجة من المسار غير المنتظم للشق نتيجة اعاقه الدقائق وبالتالي الحاجة الى طاقة اعلى لنمو الشق، او من خلال التشوه اللدن للارضية حول الدقائق الناتج من كون الدقائق اصلد من المادة الاساس، ينتج عن ذلك خضوع موضعي في منطقة الدقائق واعاقه لنمو الشق وتثليث المقدمة لان صلادة المادة الاساس اقل من الدقائق. وان الالية الاكثر وضوحاً وتفسيراً لاسلوب تقوية المواد المترابطة بواسطة هذا النوع هو في تثبيت مقدمة راس الشق عن طريق مادة التقوية حيث ان دقائق كاربيد السيليكون تزيد من مقاومة البلى بسبب صلادة الدقائق العالية اذ كلما زادت نسبها زادت صلادة العينة وان مقاومة البلى مرتبطة مع الصلادة السطحية للمادة وتزداد بزيادتها، فضلاً عن ذلك فان الدقائق تعمل على انها عناصر حاملة للنقل والاجهاد داخل المادة الاساس اذ تعمل على تقليل او عدم حدوث التلامس ما بين سطح العينة والقرص^[10].

تأثير محاليل الغمر على معدل البلى

بينت نتائج اختبار البلى بعد الغمر في المحلول الحامضي (HCl) والقاعدي (NaOH) وتركيز (0.5N) ان كلا المحلولين كان لهما التأثير في زيادة معدل البلى وكما موضح في الاشكال (1) الى (6)، وهناك تباين في زيادة معدل البلى على وفق الطبيعة الكيميائية للنماذج.

لنلاحظ ان معدل البلى في المحلول الحامضي اقل مما هو عليه في المحلول القاعدي للعينات المدعمة والغير مدعمة وضمن الفترة الزمنية نفسها، وهذا يعني ان فاعلية المحلول الحامضي للخليط البوليمري المستخدم في البحث وتحت اختبار البلى اقل من فاعلية المحلول القاعدي، ويعود سبب ذلك الى ان محلول هيدروكسيد الصوديوم القاعدي (NaOH) يعد من المحاليل الاكالة aggressive solution الذي يهاجم المادة الاساس حيث يعمل على تكسير الاواصر ويؤدي الى تليين المادة البوليمرية مع ظهور الفقاعات والتي تعتبر من ظواهر التشوه في النموذج كما ان فترة التغطيس تزيد من التأثيرات السلبية على معظم خواص المادة^[7]، ان

المحلل القاعدي الممتص من قبل النموذج سيتركز ضمن طور الأساس والذي يؤدي إلى تحطم الروابط البيئية بين المادة الأساس والمواد المضافة والذي يسبب مج للسلسلة البوليمرية. وقد لوحظ بعض الاضرار العيانية على سطح النموذج وتغير في لون النماذج المغمورة في المحاليل بالإضافة إلى أنه جزيئات المحلول القاعدي تنفذ إلى المادة عن طريق العيوب الموجودة في النماذج المغمورة والتي تنشأ بعد التصنيع وتعمل هذه العيوب على زيادة كمية المحلول الممتص، وإن انتشار المحلول داخل المادة يؤدي إلى تكوين شقوق وهذا بدوره يؤدي إلى فك الارتباط عند منطقة السطح البيئي بين الطورين مسبباً التصدع الذي يؤثر في مقاومة المادة.

تأثير درجة الحرارة على معدل البلى

من ملاحظة قيم النتائج الموضحة بالأشكال (1 - 6) نجد أن كلما ارتفعت درجة الحرارة كلما زاد معدل البلى للنماذج الغير مدعمة إذ أن وجود الحمل المسلط والاحتكاك والارتفاع بدرجة الحرارة كل هذه العوامل تؤدي إلى زيادة ليونة النموذج وتكسر النتوءات الناتجة من التعرض للحمل والغمر بالمحاليل الاكالة وبالتالي إزالة الطبقات السطحية للعيانة وتعرضها لنمو الشقوق الدقيقة التي قد تكون متواجدة أصلاً أثناء عملية تصنيع العينة

إلا أنه من ملاحظة الأشكال (1-6) وبالنسبة للنماذج المدعمة يمكن القول أن دقائق كاربيد السيليكون تقلل من مساحات التماس بين سطح العينة والقرص وتعمل على تحسين مقاومة البلى إلى حد معين، كما أن الانتشار المنتظم أو التوزيع المتجانس لدقائق كاربيد السيليكون يعزز بقاء الصلادة عالية وعدم حصول الليونة التي تسبب ضعف مقاومة البلى للنموذج^[12].

نتائج اختبار الصلادة

من ملاحظة قيم الصلادة في الجدول (2) يبين تأثير المحاليل الاكالة على العينات الغير مدعمة والتي تعمل على تحلل المادة أو فشلها وهذا يؤدي إلى تقليل مقاومة السطح وبالتالي تقل مقاومة المادة إلى الغرز أو التخدش وهذا يدل على التأثيرات السلبية لفترة التغطيس. حيث أن عملية انتشار المحاليل خلال المادة الأساس يعمل على تفسير الأواصر مع ظهور الفقاعات التي تعتبر من ظواهر التشوه في النموذج في منطقة اتصاله بالمادة الأساس وأن الفشل في هذا النوع من الاجهادات يحصل نتيجة تحطيم الروابط و بدء تكون الشقوق ثم نموها والتي يكون تولدها ونموها بشكل سريع وبمعدل كبير باتجاه السطوح البيئية الفاصلة بين السلاسل البوليميرية^[13].

أما بالنسبة للعينات المدعمة يلاحظ أن الخليط البوليمري (نوفلاك/ إيبوكسي) أبدى تحسن بقيم الصلادة عند إضافة الدقائق السيراميكية إذ تعمل على إعاقة نمو الشقوق والتي تعتبر مصدر لتركز الاجهادات أثناء عملية غرز وتعمل على تدعيم المادة الأساس من خلال زيادة تماسك المادة^[9] عند مقارنتها مع النماذج الغير مدعمة على الرغم من وجود المحاليل الاكالة، أن زيادة الصلادة للمادة المقواة بالدقائق يعني أن الطاقة اللازمة لكسر البوليمر تزداد وذلك نتيجة تخزين طاقة الانفعال المرن إذ تعمل الدقائق المقوية على توزيع الاجهاد وعلى مناطق متعددة وتقلل من احتمالية تركيز الاجهاد^[11].

الاستنتاجات

من خلال النتائج أعلاه نستنتج

1. أن النماذج التي دعمت بدقائق كاربيد السيليكون كان لها مقاومة بلى أعلى من النموذج الغير مدعم بغض النظر عن مدة الغمر و/أو درجات الحرارة المختلفة.
2. انخفاض مقاومة البلى للنماذج المدعمة والغير مدعمة عند الغمر بالمحلول القاعدي (NaOH) ولمدة 4 أسابيع حيث أدى إلى خفض نسبة المقاومة للبلى وبشكل كبير.
3. تحسن معدلات البلى للنماذج المدعمة بدقائق كاربيد السيليكون بزيادة درجة الحرارة.
4. زيادة معدلات البلى للنماذج المدعمة والغير مدعمة مع زيادة زمن الغمر بالمحلول القاعدي.
5. لوحظ من اختبار الصلادة أن النماذج التي دعمت بدقائق كاربيد السيليكون لم تتأثر بصورة كبيرة بالمحلول الحامضي على الرغم من اختلاف مدة الغمر للنماذج وذلك نتيجة توزيع الاجهادات وتقليل تركيز قوى الغرز على المادة الأساس إلا أن التأثير الواضح بدى عند الغمر بالمحلول القاعدي وبشكل ملحوظ لكونه محلول مفكك للأواصر المترابطة داخل المادة الأساس.

REFERENCE

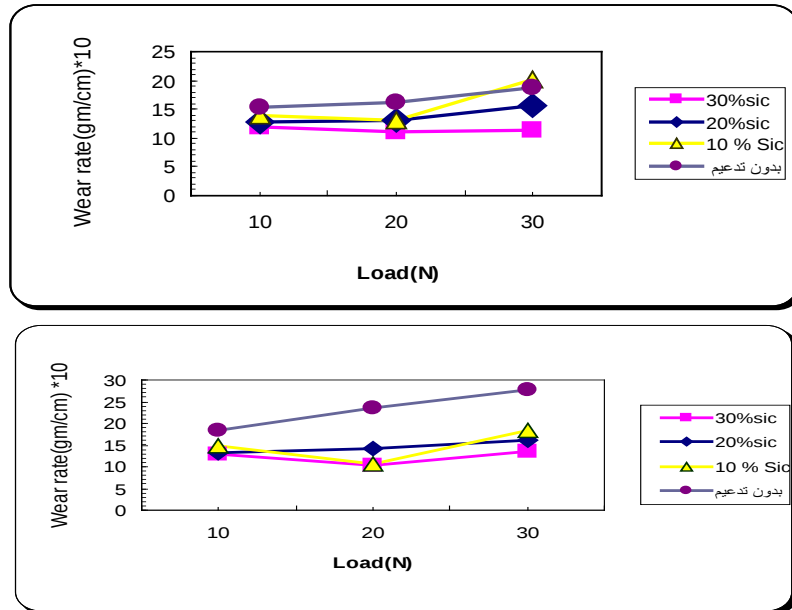
- [1] Utracki, L., Polymer Alloys and Blends, Hanser, Munich, 1990.
 [2] Datta, S., Lohse, D., Polymeric Compatibilizers. Hanser, Munich.1996
 [3] Utracki, L., Commercial Polymer Blends, Chapan & Hall, London, 1998.
 [4] Hudson, R., Commodity Plastics - As Engineering Materials, Rapra Report. Rapra Tech. LTD, Shaw bury, 1994.
 [5] Bisio, A., Xantos, M., How to Manage Plastics Waste: Technology and Market Opportunities. Hanser, Munich, 1994.
 [6] W.Bolton, "Engineering material technology" 3^{ed} edition, (1998).
 [7] Araki, T., Tran-cong, Q., Shibayama, M. Structure and Properties of Multiphase Polymeric Materials. New York: Marcel Dekker, 1998.
 [8] Y. Cao, J. Sun and others, " J.of Applied Polymer Science", vol.90, PP(3384-3389), (2003).
 [9] Fayt. R, Jerome, R. Teyssie, P., J Polym. Sci. Polym Physics, Vol. 20, 1982.
 [10]-G.Lee, R.O.Ritchie, C.K.Hdharan, J. Wear 252, (2002), p322-331.
 [11] هناء علي حميد، "دراسة السلوك الميكانيكي والحراري لمادة المترابطة من الصوف الصخري واسود الكربون"، رسالة ماجستير - قسم العلوم التطبيقية - الجامعة التكنولوجية، (2005).
 [12] A Vanaja, R.M.V.G.K Rao , " Synthesis and characterisation of epoxy–novolac/bismaleimide networks" European Polymer Journal, Volume 38, Issue 1, 2007, Pages 187–193.
 [13] Area Cmps'' Polymer matrix composite, material usage, design, and analysis' composite material handbook / Volume 3, 2009.

جدول (1) يوضح بعضا من خواص كارييد السيليكون^[4]

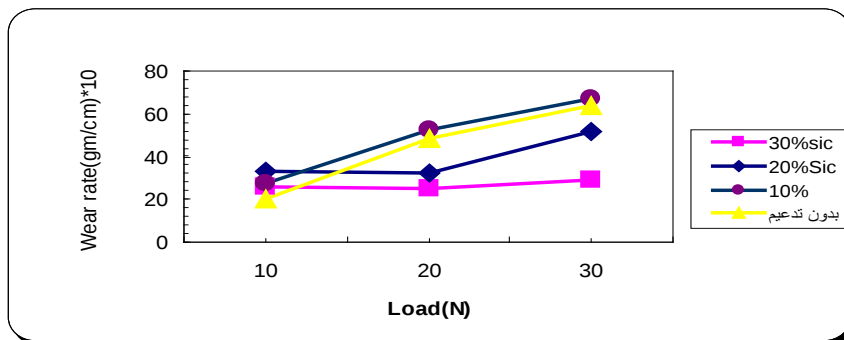
Property	Value
Density	3.21 g/cm ³
Specific Heat	0.66 J/kg ° c
Flexural Strength	450 MPa
Fracture Toughness	2.94 MPa m ^{1/2}
Hardness	2800 Hv
Elastic Modulus (Young's Modulus)	450 GPa

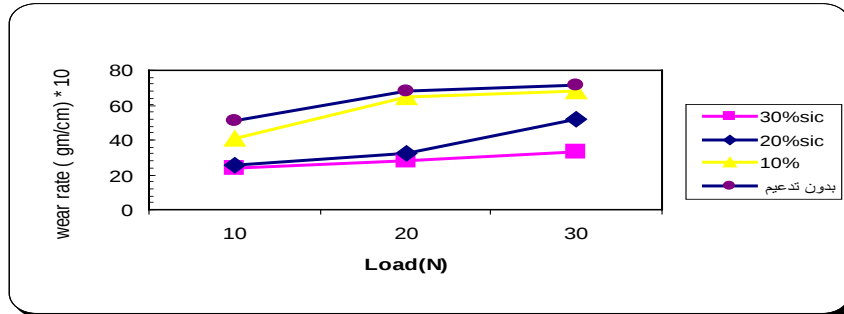
جدول (2) يوضح قيم صلادة شور للنماذج المستخدمة

Samples	Hcl		NaOH	
	2weeks	4weeks	2weeks	4weeks
SiC%				
10	68.1	63.3	58.1	54.2
20	70.2	68.2	65.5	61.2
30	71	65.1	68.2	59.4
بدون دعيم SiC	48	45	46.7	32.1

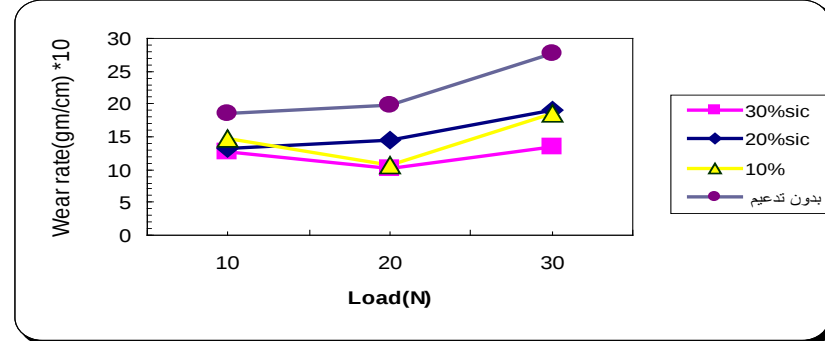
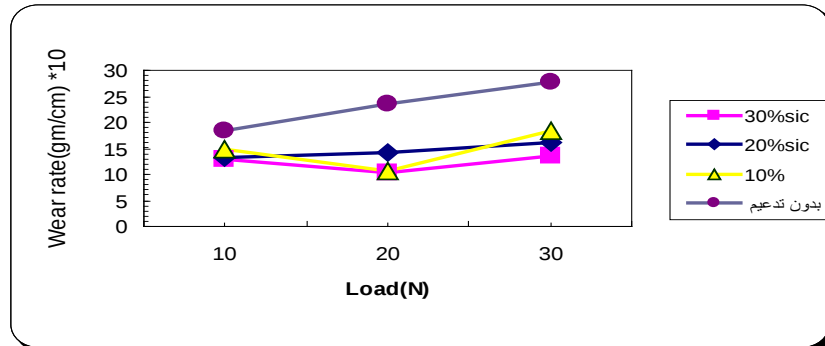


الشكل (1) يوضح العلاقة بين معدل البلى والحمل المسلط على النماذج وعند درجة حرارة 25°C. A- عند الغمر بالمحلول الحامضي ولمدة 2 اسبوع B- عند الغمر بالمحلول الحامضي ولمدة 4 اسابيع

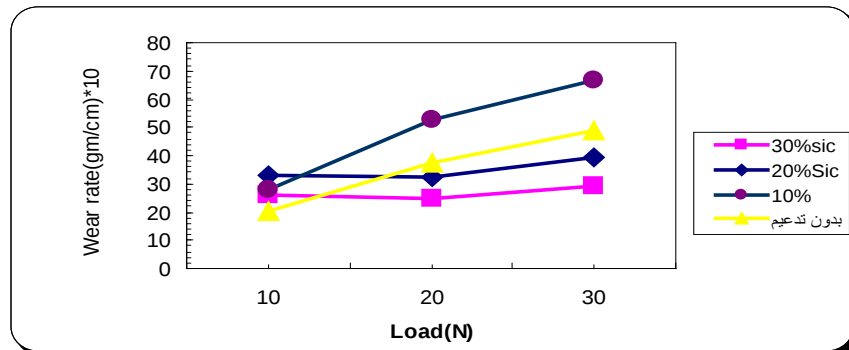


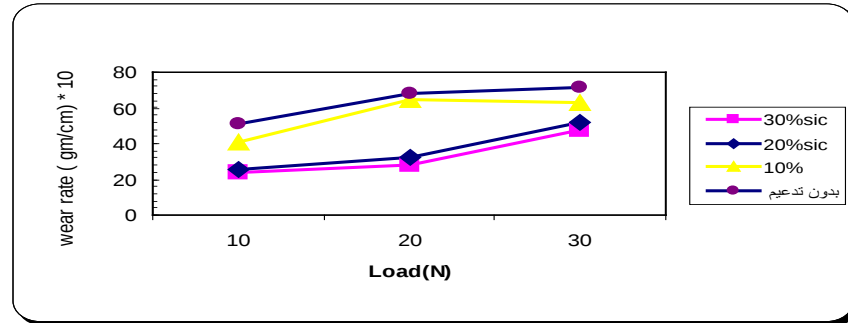


الشكل (2) يوضح العلاقة بين معدل البلى والحمل المسلط على النماذج وعند درجة حرارة 25°C. C- عند الغمر بالمحلول القاعدي ولمدة 2 اسبوع D- عند الغمر بالمحلول القاعدي ولمدة 4 اسابيع.

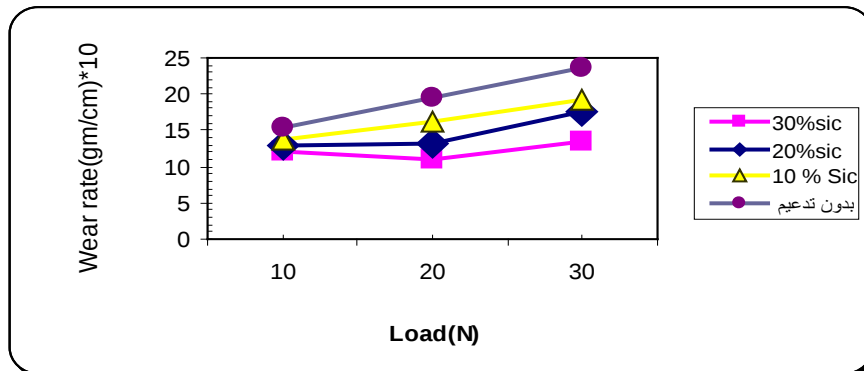
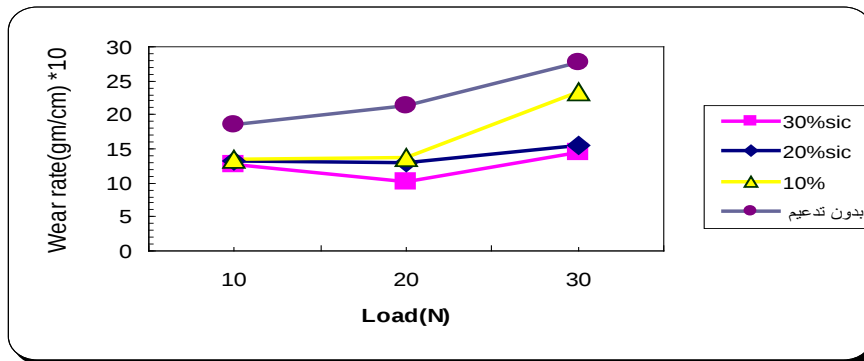


الشكل (3) يوضح العلاقة بين معدل البلى والحمل المسلط على النماذج وعند درجة حرارة 44°C. A عند الغمر بالمحلول الحامضي ولمدة 2 اسبوع B عند الغمر بالمحلول الحامضي ولمدة 4 اسابيع

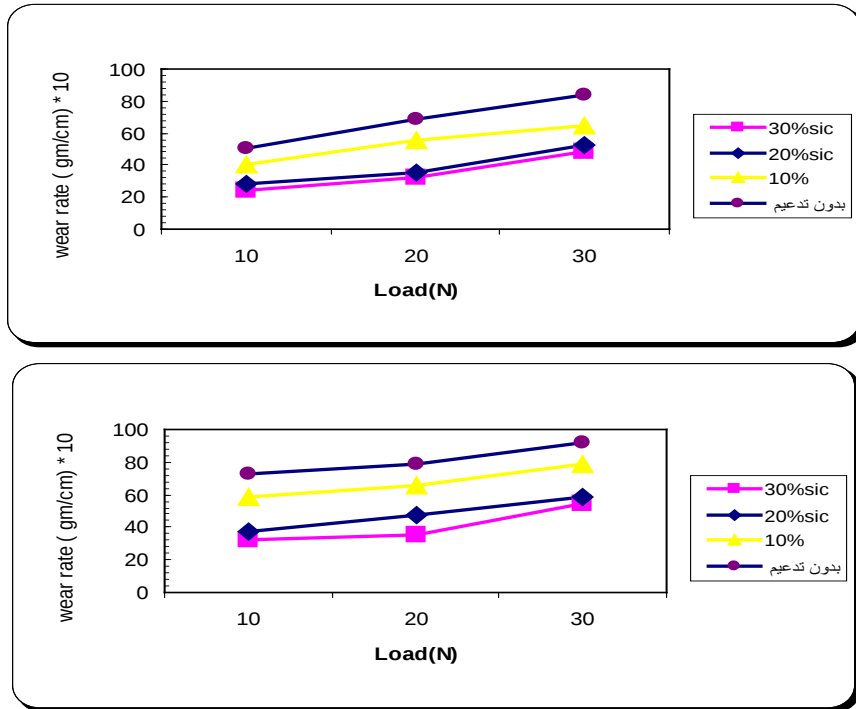




الشكل (4) يوضح العلاقة بين معدل البلى والحمل المسلط على النماذج وعند درجة حرارة 44°C. عند الغمر بالمحلول القاعدي ولمدة 2 اسبوع D- عند الغمر بالمحلول القاعدي ولمدة 4 اسابيع



الشكل (5) يوضح العلاقة بين معدل البلى والحمل المسلط على النماذج وعند درجة حرارة 62°C. عند الغمر بالمحلول الحامضي ولمدة 2 اسبوع B- عند الغمر بالمحلول الحامضي ولمدة 4 اسابيع A



الشكل (6) يوضح العلاقة بين معدل البلى والحمل المسلط على النماذج وعند درجة حرارة 62°C. C- عند الغمر بالمحلول القاعدي ولمدة 2 اسبوع D- عند الغمر بالمحلول القاعدي ولمدة 4 اسابيع