

تأثير بودة الكربون على نسبة وأنماط التآكل في مركبات البولي إستر المتصلب حرارياً غير المشبع

د. محمد نهاد علي كردية*

(تاريخ الإيداع 2 / 10 / 2011. قُبِلَ للنشر في 28 / 12 / 2011)

□ ملخص □

يدرس البحث تأثير مادة التدعيم (حبيبات الكربون) في مادة البولي إستر غير المشبع (المتصلب حرارياً) على نسبة التآكل بالنسبة للزمن وكذلك على تغير نمط التآكل.

أظهرت النتائج أن استخدام بودة الكربون كمادة تدعيم للبولي إستر غير المشبع "unsaturated polyester" (UPE) بنسب عالية (40%) تعطي نتائج جيدة بالنسبة لمقدار التآكل (نسبة تآكل منخفضة مقارنة بالبوليستر غير المدعم) أي تتمتع المادة المركبة الحاوية على هذه البودة بأعلى مقاومة للتآكل نتيجة خواصها الاحتكاكية التزيتية لذا يتم استخدامها في محامل الآلات الغذائية، بينما المادة الأساس المدعمة بنسبة منخفضة من بودة الكربون (10%) فإنها تعطي قيمة جيدة ولكنها أعلى من تلك المدعمة بنسب مرتفعة وتكون مقاومتها للتآكل أقل، ولكنها تبقى أعلى من البولي إستر الحر.

وبينت النتائج بالنسبة للتدعيم بالنسبتين أن نمط التآكل يتغير من التآكل الالتصاقى عند القيم المنخفضة لزمن الاختبار ويصبح تآكلاً حاتاً (3-body) عند الأزمنة المرتفعة للاختبار، وهذا يرافقه تغير في درجة الحرارة يعطي التأثير نفسه على نمط التآكل.

الكلمات المفتاحية: البولي إستر غير المشبع، المواد المتصلبة حرارياً، مواد التدعيم، بودة الكربون، معامل التوصيل الحراري، نسب مادة التدعيم، حرارة الاحتكاك.

* أستاذ مساعد - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

The Effect of Reinforced Material Volume Fraction on the Wear Rate and Mechanisms of Unsaturated Thermosetting Polyester

Dr. Mohammad Nihad Ali Ghassan Kurdieh *

(Received 2 / 10 / 2011. Accepted 28 / 12 / 2011)

□ ABSTRACT □

This experiment investigates the effect of reinforced materials (carbon powder) of unsaturated polyester (thermosetting material) on the wear rate and its mechanisms according to time.

The obtained results show that using carbon powder with a high volume fraction (40%) as a reinforced material in UPE gives low values of wear rate compared with pure polyester; so this composite has the highest values of wear resistance; because its self-lubricant properties, it is used in food machine bearings. But the matrix reinforcing with a low volume fraction of carbon powder (10%) gives higher wear rates than those in the first case, yet better than those in pure ones.

The wear mechanism can vary from adhesive wear at the lowest value of test time to abrasive wear (3-body) at the highest value of test time; this is accompanied by temperature variations.

Keywords: Unsaturated Poly ester, Thermosetting Materials, Reinforced Materials, Carbon Powder, Volume Fraction of Reinforced Materials, Friction Temperature.

* Associate Professor, Department of Production & Design Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

نتيجة التقدم الصناعي والتطور التكنولوجي، كان لا بد من معرفة كيفية اختيار المواد الأنسب للاستخدام في مجالات الصناعة المختلفة التي تتطلب الحصول على منتج أفضل من حيث الجودة والاستخدام مع ما يترتب عليه من نتائج اقتصادية جيدة. فكان النظر على المواد المركبة التي تعطي نتائج أفضل عن طريق تحسين بعض خواصها الميكانيكية، الكهربائية، الكيميائية، والتي تمكننا من الحصول على مواد جديدة بالصفات المرجوة. وكان استخدام المواد المركبة البوليميرية قد فتح مجالاً واسعاً للمواد الجديدة لما لها من صفات جيدة إضافة لسهولة تصنيعها واستخدامها وتكلفتها القليلة. وجد أن سلوك التآكل والاحتكاك لمركبات الإيبوكسي النقي والمدعم بحبيبات الكربون وبأحجام مختلفة تحت تأثير ظروف زمن الاختبار والحمل المتغيرين يتغير حيث إن نسبة التآكل تزداد تبعاً للحمل والزمن ونسبة التدعيم، وتم التوصل إلى أن تدعيم الإيبوكسي بنسبة منخفضة من الكربون وبحجم حبيبات صغير يزيد مقاومة التآكل، أما نمط التآكل الذي كان مسيطراً عليه هو التآكل الالتصاقي ثم الحات وأخيراً التعب [1]. إن البولي إستر غير المسلح (UPR)، أو المسلح بألياف زجاجية أو بوساطة كرات من الزجاج: يبين أن نسبة التآكل تزداد مع زيادة حجم الحبيبات الحاكة، والقساوة الأعظمية للحبيبات الحاكة تعطي احتمالاً أكبر لحدوث تكسرات أكثر في عناصر الحبيبات الصلبة بوحدة الزمن؛ وهذا يقود إلى زيادة مقاومة نسبة التآكل. إن نسبة التآكل للمواد المتصلبة حرارياً تزداد عندما تكون على تحاك مباشر مع الأجسام القاسية جداً أي عندما يتم تسليح البوليمير بكرات من الزجاج القاسية، إضافة لذلك تقاوم هذه المركبات الأحمال بشكل أكبر مما هي في الحالة الحرة وبالتالي تقاوم الانحناء [2]. تبلغ نسبة التآكل قيمة منخفضة عندما توجه ألياف القطن والكتان في البولي إستر غير المشبع بشكل ناظمي على سطح الانزلاق. تزداد قيمة معامل الاحتكاك في حالة التوجيه الناظمي للألياف ولكنه لا يتأثر في حالة التوجيه الطولي فوق القيمة الحدية للعامل (P.V). الألياف الطويلة تنقص من نسبة التآكل لأنها تنغمر في المادة الأساس وبالتالي تزداد مقاومة الشد ويقل الانحناء [3]. وعند دراسة التآكل على جهاز (Pin-on-Flat) وجد أن: تتناقص نسبة التآكل للبولي إستر المسلح بألياف زجاجية عادة بزيادة سرعة الانزلاق تحت تأثير أحمال منخفضة وتميل لتثبت تحت الأحمال العالية بزيادة سرعة الانزلاق [4]. وبدراسة التآكل على جهاز (Pin-on-Disc) تبين أن نسبة التآكل تتناقص مع زيادة نسبة مادة التسليح لغاية 12.5% ثم تصبح ثابتة عند سرعة منخفضة (قيمة عالية للحد P.V) ولكن عند سرعة عالية (قيمة منخفضة للعامل P.V) تتناقص نسبة التآكل أكثر مما هو عليه في المرحلة الأولى من المنحني من أجل ألياف الزجاج القصيرة وألياف الكربون المسلح بها البولي إستر إيثر إيثر كيتون (PEEK). فزيادة الألياف الزجاجية القصيرة لهذه المادة يحسن من خواص التآكل بشكل بسيط، بينما ألياف الكربون تحسن من مقاومة تآكل الانزلاق، وبالتالي مقاومة الشد ومعامل الانحناء تحت تأثير العامل P.V العالي والمنخفض القيمة [5]. تسليح البولي إستر بألياف قطنية باتجاهات مختلفة تقلل من نسبة التآكل عند زيادة نسبة مادة التسليح وذلك عند التحميل بأحمال منخفضة وهذا يزيد من المقاومة ويقل الانحناء، ولكن النقصان الأكبر في نسبة التآكل تكون عند التسليح باتجاه عمودي على سطح الانزلاق، والنقصان الأقل يكون عند التسليح بالاتجاه الطولي. والقيم الفضلى لنسبة التدعيم لتعطي نسبة تآكل أقل هي 15% [6]. من أجل مادة البولي إستر المسلح بألياف زجاجية قصيرة بنسبة (30%) أو ألياف الكربون والبولي إستر المسلح بنسبة (45%) من الألياف الزجاجية نسبة التآكل لا تزداد في منطقة سرعة الانزلاق العالية لمادة البولي إستر المسلح بالكربون، بعكس البولي إستر المسلح بألياف الزجاج. يكون ريش التآكل الناتج عن مركبات البولي إستر تحت تأثير سرعة الانزلاق المنخفضة بشكل مدور لكن تحت تأثير سرعة الانزلاق العالية أخذ الريش شكلاً اسطوانياً طويلاً [7]. إن سلوك الاحتكاك والتآكل

الانزلاقي لمركبات البولي إستر المدعمة بألياف قطنية مع إضافة حبيبات غرافيت تحت تأثير أحمال مختلفة ونسب مختلفة للغرافيت، يبين تحسين البنية الهيكلية للمادة في شروط التآكل الانزلاقي، وإضافة حبيبات الغرافيت يحسن من قابلية المادة لمقاومة التآكل الانزلاقي بشكل أكبر، وكذلك تتخفف نسبة تآكل البولي إستر عند تدعيمه بألياف القطن، وتبدي مركباته انخفاضاً أكبر في نسبة التآكل عند إضافة حبيبات الغرافيت إليها [8]. إن سلوك التآكل والاحتكاك لمركب البولي إستر المدعم بألياف جوز الهند في شروط الانزلاق الجاف يبين أن معامل الاحتكاك يزداد عند زيادة الحمل المطبق حيث كانت القيم بين 0.7 و 0.9 في شروط التماس الجاف، بينما كانت نسبة التآكل أكبر منها في الشروط الجافة عنها في الظروف الرطبة، أي وجود الماء كملع ومنظف ساعد في تخفيض التآكل الالتصاقى لمادة البولي إستر المدعم بنسبة 10% من ألياف جوز الهند [9]. إن سلوك الاحتكاك والتآكل لمركب البولي إستر المدعم بألياف زجاجية عند تطبيق حمل بين 60 و 300[N] وسرعة انزلاق جاف ثابتة، يبدي أغشية تتزاح من سطح المركب أدت إلى انخفاض قيمة الاحتكاك ونسبة التآكل ودرس نمط التآكل عن طريق تحليل سطح العينة بواسطة SEM [10].

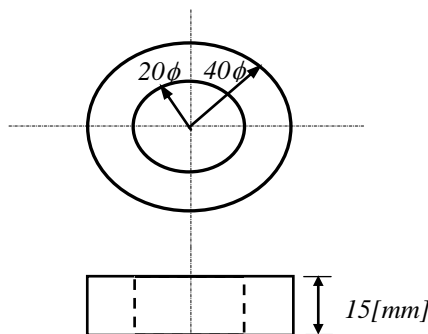
أهمية البحث وأهدافه:

دراسة تأثير نسبة مادة التدعيم (بودرة الكربون) في مادة البولي إستر المتصلب حرارياً غير المشبع على نسبة التآكل الحاصلة مع الفولاذ ونمطه وفقاً لتغير درجة حرارة الاحتكاك.

طرائق البحث ومواده:

1- تحضير العينات:

تم التصميم والتنفيذ لقالب خاص لصب العينات التي تستخدم للتآكل وهو حلقة اسطوانية مبيبة في الشكل (1)، لدراسة تأثير نسبة مادة التدعيم في مركبات UPE على نسبة التآكل ونمطه، وبيان تأثير تغير درجة حرارة الاحتكاك. ولضمان عدم التصاق UPE مع القالب تم دهن سطحه الخارجي بالشمع من النوع Wax50، وتم خلط المادة الأساسية مع المادة البادئة Peroxide MEKP ومحفز من النوع Butanox-50 بنسبة ثابتة مع البولي إستر كما يأتي (UPE:MEKP:Butanox=50:1:0.5).



شكل (1): عينة الاختبار

تم تجهيز العينات بتغيير نسبة التسليح بالبولي إستر، فنسب بودرة الكربون المستخدمة كانت نسبة عالية (40%) ونسبة منخفضة (10%)، وتركت هذه العينات (18 عينة) لمدة 7 أيام قبل تشغيلها واختبارها. وتم الاختبار

تحت تأثير سرعة انزلاق ثابتة [1500[r.p.m] وحمل ثابت [20[N] وأزمنة مختلفة [5,10,15,20,25,30[min] مع قياس درجة حرارة الاحتكاك الحاصلة.

2- الخواص الميكانيكية للعينة المختبرة:

- الخواص العامة للمادة المختبرة البولي إستر من شركة Zhejiang Tianhe Resin Coltd-Made in China هي:

- مقاومة الشد: $668 \text{ [kgf/cm}^2]$.
- الكثافة: $1.28 \text{ [g/cm}^3]$.
- درجة الحرارة التي يتم بدء صهر المادة: 170°C وتحافظ على خواصها لغاية 121°C .
- تُعدُّ العينة من المواد القاسية، ومقاومة للتآكل والاحتكاك وكذلك لتغيرات الظروف الجوية، وتتميز بثبات حجمي، وتماسك جيد مع مواد التدعيم، ولها عازلية كهربائية عالية، ولها سطح مقاوم للتآكل الحاك نسبياً، ولها خواص انزلاق جيدة، وتتميز بثباتية حرارية عند الدرجة 121°C ، كما أن لها مقاومة كيميائية ممتازة.

3- مادة التدعيم (التسليج):

هي عبارة عن بودرة الكربون الأسود وهو مركب عضوي لا ينصهر ولكنه يتحول من الحالة الصلبة إلى الغازية مباشرة عند درجة الحرارة 3500°C وله درجة انصهار عالية 3547°C ودرجة غليان قريبة منها 4830°C وكثافته $3.5 \text{ [gr/cm}^3]$. وهو كربون متبلور. وتم أخذ نسبتين من بودرة الكربون منخفضة (10%) وعالية (40%).

4 اختبار التآكل:

تم اختبار نسبة التآكل ودراستها على جهاز مصمم خصيصاً لهذا الغرض.

5 البارامترات الأساسية:

الحمل المطبق: [20[N] ويكون ثابتاً طيلة مدة الاختبار لأن المادة المستخدمة في التطبيق العملي للخلط يكون تقريباً ثابتاً، وإنما يتغير زمن الخلط حسب نوع المادة الغذائية المستخدمة فتكون الأزمنة المستخدمة: [5,10,15,20,25,30[min]

نوع مادة التدعيم: بودرة كربون أسود. ونسبة مادة التدعيم من البودرة [10,40%].

يتم حساب نسبة التآكل بطريقة فرق الوزن قبل احتكاك العينة وبعده من العلاقة:

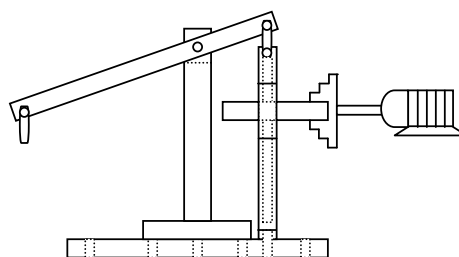
$$W_r = \frac{\Delta m}{\rho \cdot t} = \frac{m_2 - m_1}{\rho \cdot t}$$

حيث:

W_r - نسبة التآكل وتقاس بوحدة $[\text{mm}^3/\text{sec}]$. t - هو زمن الاختبار [sec]. ρ - كثافة المادة المختبرة

$[\text{gr/cm}^3]$. Δm - هي فرق الكتلة قبل وبعد الاختبار [gr].

ملاحظة: أجريت الاختبارات في مخبر كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين على جهاز قياس نسبة التآكل المصمم والمنفذ خصيصاً لهذا الغرض (كما في الشكل "2")، بالاستعانة بالمجهر حيث كانت نسبة التكبير "50 مرة"، وأجهزة قياس الزمن "Timer" ودرجة الحرارة المستخدمة بشكل حساس توضع بين سطحي التماس. وتم استخدام الميزان بدقة 0.001 mg.



شكل (2): جهاز الاختبار المثبت على مخروطة

النتائج والمناقشة:

أظهرت الاختبارات والتجارب النتائج الآتية:

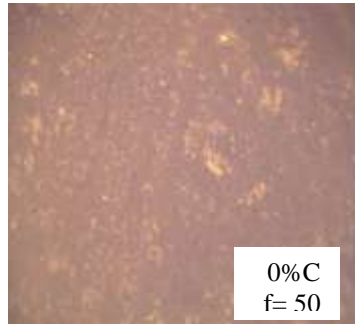
1. قيمة نسبة التآكل بالنسبة لمادة البولي إستر غير المشبع النقية (بدون تدعيم):

تم صب ست عينات من البولي إستر غير المشبع النقي واختبارها على جهاز التآكل المصمم في ظروف التشغيل الجافة، وقد أظهرت النتائج أن التآكل يمر بثلاث مراحل خلال عمر عينة الاختبار، ففي المرحلة الأولى تزداد نسبة التآكل بشكل كبير جداً خلال فترة زمنية قصيرة لا تتجاوز [5min]، حيث وصلت نسبة التآكل إلى القيمة $0.147[\text{mm}^3/\text{s}]$ وكانت درجة الحرارة عند نهاية هذه المرحلة 66°C . وقد بين التحليل المجهرى لسطح العينة المتآكل أن نمط التآكل الحاصل خلال هذه المرحلة هو تآكل التصاقى ويظهر هذا النوع من الخطوط الظاهرة في الصورة (الشكل "2").



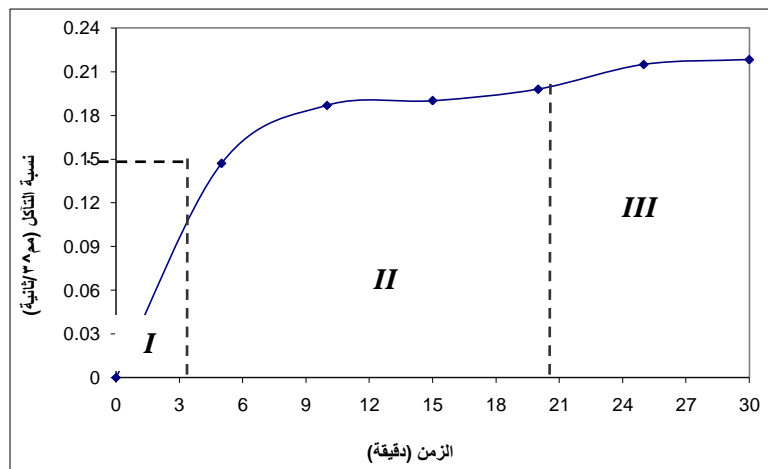
شكل (2): التآكل الالتصاقى خلال المرحلة الأولى لعينة الاختبار من UPE.

وخلال المرحلة الثانية من مخطط التآكل تحدث زيادة بسيطة بنسبة التآكل مقدارها 6.5% خلال زمن كبير من 5 إلى [22min] أي خلال [17min] من عمر العينة، أي إن نسبة التآكل قليلة جداً، ويبدأ عندها تغير نمط التآكل إلى النوع الحات المبين في الصورة (الشكل "3") وهو من النوع الحات 3-body وتظهر من خلال تشكل الحبيبات بين الجسمين المتحاكين حيث وصلت درجة الحرارة إلى 76°C . أما المرحلة الثالثة من عمر العينة (المخطط) فتبين النتائج أن نمط التآكل يستمر من النوع الحات دون الوصول إلى مرحلة الانهيار حتى نهاية زمن الاختبار المفروض [30min]. ونلاحظ أن نسبة التآكل تزداد بشكل قليل؛ ولكن أكثر من المرحلة الثانية بقليل خلال الزمن [8min] حيث وصلت نسبة التآكل إلى القيمة $0.218[\text{mm}^3/\text{s}]$ أي كانت الزيادة بنسبة التآكل لا تتجاوز 8.25% وخلال هذه الفترة ازدادت درجة الحرارة حتى وصلت إلى القيمة 80°C .

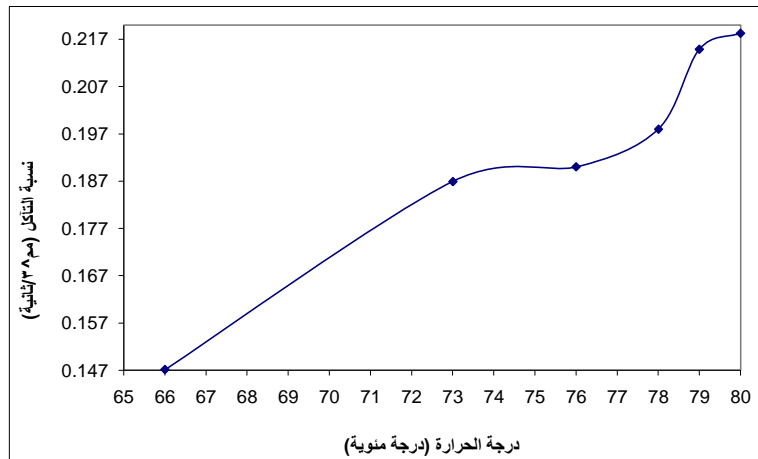


شكل (3): التآكل الحات خلال المرحلتين الثانية والثالثة لعينة الاختبار من UPE.

يبين الشكل "4" مراحل عينة الاختبار خلال زمن الاختبار وتغير نسبة التآكل مع الزمن، بينما الشكل "5" يبين تغير درجة حرارة الاحتكاك التي رافقت العينة خلال زمن الاختبار الكلي وتأثيرها على نسبة التآكل.



شكل (4): العلاقة بين نسبة التآكل وزمن الاختبار لعينات UPE، التي تحوي 10% كربون.



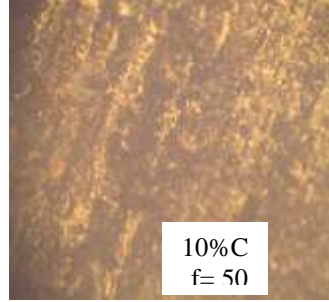
شكل (5): العلاقة بين نسبة التآكل ودرجة حرارة الاختبار لعينات UPE.

نلاحظ من المنحنيات الثلاثة أن البولي إستر غير المشبع النقي غير المدعم يعطي نسب تآكل خلال زمن الاختبار قيمته تصل حتى $0.218[\text{mm}^3/\text{s}]$ أي ازدادت نسبة التآكل بمقدار 32.5% خلال مرحلتين من العمر وتبين أن العمر، يمر بنوعين من التآكل الالتصاقى، والحاح الذي يسيطر على مجمل العمر 83.4%. ونلاحظ بأن الحرارة المرافقة لعملية الاحتكاك بين المادة البوليميرية والفولاذ والتي ينتج عنها الاحتكاك تزداد ولكن بشكل قليل خلال زمن الاختبار الكلي لأن المادة البوليميرية موصليتها الحرارية قليلة لا تساعد في زيادة درجة الحرارة ويحصل تباطؤ أو ثبات

في الحرارة خلال زمن قليل بشكل متدرج خلال فترات من العمر مما يؤدي إلى الانتقال إلى نوع التآكل الحات بسرعة أي بعد فترة قليلة من عمر العينة. ونلاحظ أن العلاقة اللغاريتمية لدرجة الحرارة مع نسبة التآكل تبين بأنها خطية مع انقطاع صغير عند ثبات الحرارة؛ وهذا دليل على أن زيادة الحرارة ليست عشوائية مما يمكن السيطرة والتحكم بها بعدة عوامل.

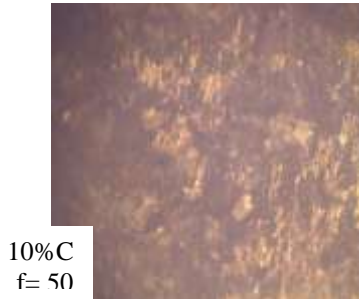
2. قيمة نسبة التآكل بالنسبة لمادة البولي إستر غير المشبع المدعم ببودة الكربون (نسب مختلفة): أ. نسبة كربون منخفضة 10%:

تم صب ست عينات من البولي إستر غير المشبع المدعم بنسبة 10% من بودة الكربون وتم اختبارها على نفس جهاز التآكل السابق، فقد أظهرت النتائج أن التآكل يمر بثلاث مراحل خلال عمر العينة المختبرة فيه، ففي المرحلة الأولى تزداد نسبة التآكل بشكل كبير جدا خلال فترة زمنية قصيرة لا تتجاوز 5[min]، حيث وصلت نسبة التآكل إلى القيمة $0.097[\text{mm}^3/\text{s}]$ وكانت درجة الحرارة عند نهاية هذه المرحلة 65°C . وقد بين التحليل المجهرى لسطح العينة المتآكل أن نمط التآكل الحاصل خلال هذه المرحلة هو تآكل التصاقى ويظهر هذا النوع من خلال الخطوط الظاهرة في الصورة (الشكل "6").



شكل (6): التآكل الالتصاقى خلال المرحلة الأولى لعينة الاختبار من UPE=10%C.

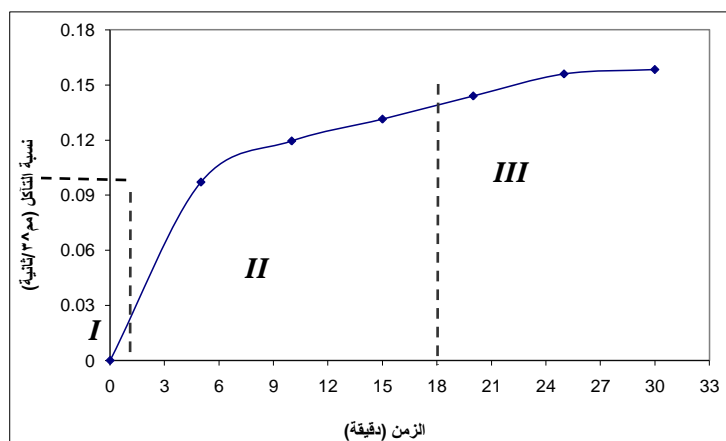
وخلال المرحلة الثانية من مخطط التآكل تحدث زيادة بسيطة في نسبة التآكل مقدارها 6.5% خلال زمن كبير من 5 إلى 22[min] أي خلال 17[min] من عمر العينة، أي إن نسبة التآكل تكون قليلة جداً، ويبدأ عندها تغير نمط التآكل إلى النوع الحات المبين في الصورة (الشكل "7") وهو من النوع 3-body وتظهر من تشكل الحبيبات بين الجسمين المتحاكين حيث وصلت درجة الحرارة إلى درجة تساوي تقريبا 74°C . أما المرحلة الثالثة من عمر العينة (المخطط) فتبين النتائج أن نمط التآكل يستمر من النوع الحات دون الوصول إلى مرحلة الانهيار حتى نهاية زمن الاختبار المفروض 30[min].



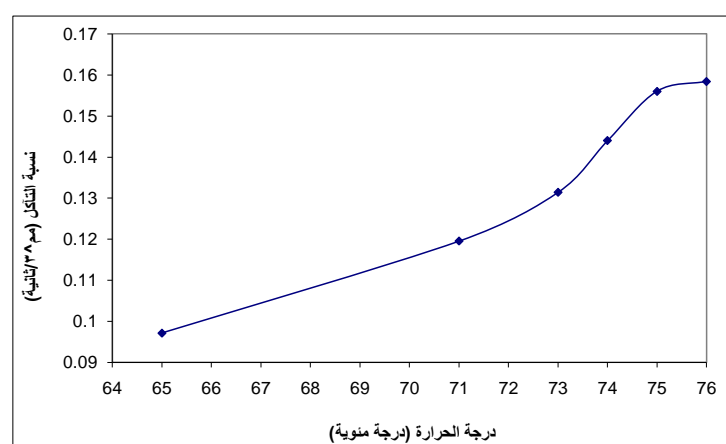
شكل (7): التآكل الحات خلال المرحلتين الثانية والثالثة لعينة الاختبار من UPE=10%C.

ونلاحظ أن نسبة التآكل تزداد بشكل قليل ولكن أكثر من المرحلة الثانية بقليل خلال الزمن 8[min] حيث وصلت نسبة التآكل إلى القيمة $0.218[\text{mm}^3/\text{s}]$ أي كانت الزيادة في نسبة التآكل بسيطة ولا تتجاوز 8.25% وخلال

هذه الفترة ازدادت درجة الحرارة حتى وصلت إلى القيمة 80°C . الشكل "8" يبين المراحل التي مرت بها عينة الاختبار خلال زمن الاختبار وتغير نسبة التآكل مع الزمن، بينما الشكل "9" يبين تغير درجة حرارة الاحتكاك التي رافقت العينة خلال زمن الاختبار الكلي وتأثيرها على نسبة التآكل.



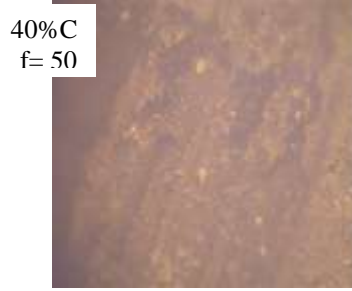
شكل (8): العلاقة بين نسبة التآكل وزمن الاختبار لعينات من UPE=10%C.



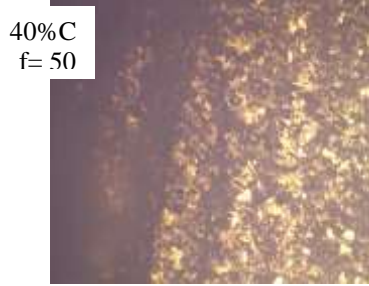
شكل (9): العلاقة بين نسبة التآكل ودرجة حرارة الاختبار لعينات من UPE=10%C.

ب. نسبة كربون عالية 40%:

تم صب ست عينات من البولي إستر غير المشبع المدعم بنسبة 40% من بودرة الكربون وتم اختبارها على جهاز التآكل السابق نفسه، فأظهرت النتائج أن التآكل يمر بمرحلتين فقط خلال عمر العينة المختبرة فيه، ففي المرحلة الأولى تزداد نسبة التآكل بشكل كبير جداً خلال فترة زمنية قصيرة لا تتجاوز [4min]، حيث وصلت نسبة التآكل إلى القيمة $0.06[\text{mm}^3/\text{s}]$ وكانت درجة الحرارة عند نهاية هذه المرحلة 64°C . وقد بين التحليل المجهرى لسطح العينة المتآكل أن نمط التآكل الحاصل خلال هذه المرحلة هو تآكل التصاقى ويظهر هذا النوع من خلال الخطوط الظاهرة في الصورة (الشكل "10"). وخلال المرحلة الثانية من مخطط التآكل تحدث زيادة بسيطة في نسبة التآكل مقدارها 4.9% خلال زمن كبير من 4 إلى [30min] أي حتى نهاية الاختبار أي خلال [26min] من عمر العينة، أي إن نسبة التآكل تكون قليلة جداً ويبدأ عندها تغير نمط التآكل إلى النوع الحات المبيّن في الصورة (الشكل "11") وهو من النوع 3-body حيث وصلت درجة الحرارة إلى 74°C في نهاية الاختبار دون أن تدخل العينة مرحلة الانهيار أيضاً.

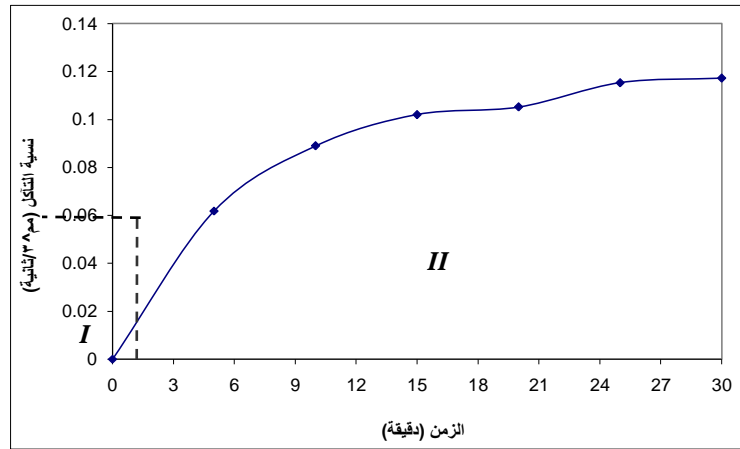


شكل (10): التآكل الالتصاقى خلال المرحلة الأولى لعينة الاختبار من UPE=40%C.

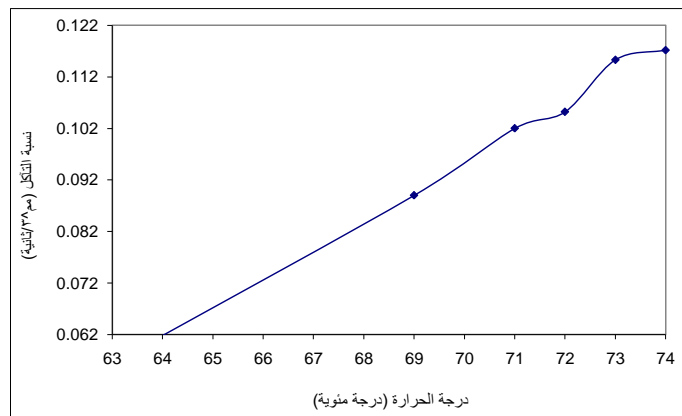


شكل (11): التآكل الحات خلال المرحلة الثانية والثالثة لعينة الاختبار من UPE=40%C.

الشكل "12" يبين المراحل التي مرت بها عينة الاختبار خلال زمن الاختبار وتغير نسبة التآكل مع الزمن، بينما الشكل "13" يبين تغير درجة حرارة الاحتكاك التي رافقت العينة خلال زمن الاختبار الكلي وتأثيرها على نسبة التآكل.



شكل (12): العلاقة بين نسبة التآكل وزمن الاختبار لعينات من UPE=40%C.



شكل (13): العلاقة بين نسبة التآكل ودرجة حرارة الاختبار لعينات من UPE=40%C.

نتيجة:

نلاحظ من المنحنيات الثلاثة أن البولي إستر غير المشبع النقي المدعم ببودرة الكربون يعطي نسب تآكل أقل مما هي عليه في البولي إستر غير المدعم خلال زمن الاختبار، وعمر العينة تقريبا يمر بمرحلتين ازدياد نسبة التآكل بشكل كبير في المرحلة الأولى خلال زمن قصير وسيطر عليه التآكل الالتصاقى، بينما المرحلة الثانية كانت نسبة التآكل قليلة خلال زمن الاختبار تقريبا وسيطر عليه ميكانيزم التآكل الحات، ولكن نسبة التآكل مع درجة حرارة الاحتكاك أقل في حالة التدعيم بنسبة تدعيم عالية من بودرة الكربون (40%) منها في حالة التدعيم بمادة التسليح نفسها ولكن بنسبة منخفضة (10%) وذلك نتيجة زيادة مادة التزييت الذاتية في المادة بازدياد نسبة الكربون والتي تقلل درجة الاحتكاك وبالتالي نسبة التآكل.

التفسير والظواهر العامة:

إن درجة الحرارة الناتجة عن الاحتكاك في العينات النقية كانت أكبر منها في العينات المدعمة سواءً ببودرة الكربون، حيث تؤدي هذه البودرة دور تشحيم ذاتي، بالإضافة إلى أن البوليميرات تملك موصلية حرارية قليلة جداً لذلك تكون أقل قدرة على تبديد الحرارة الناتجة عن الاحتكاك عند سطوح التماس، حيث إن معامل التوصيل الحراري للكربون ($0.0159 Wcm^{-1} K^{-1}$) في درجة حرارة الغرفة [11]، فتبدد العينات المدعمة ببودرة الكربون الحرارة الناتجة عن الاحتكاك بشكل أكبر وأسرع مما هي عليه في البولي إستر الحر فتتخفف درجة حرارة السطوح المتماسة، وبالتالي كلما ازدادت نسبة التدعيم أصبحت المادة أكثر قدرة على تبديد الحرارة الناتجة عن الاحتكاك [12]. كما إنه تبين أن الغرافيت يقوم بدور مزيت في شروط الانزلاق الجاف، وهذه الدراسة قريبة من بحثنا حيث إن الغرافيت هو شكل متبلور من أشكال الكربون، والكربون المستخدم في بحثنا هو الكربون الأسود وهو شكل غير متبلور [13].

تمت ملاحظة بعض الظواهر أثناء إجراء الاختبارات مثل صدور صوت متقطع في بداية الاختبار ثم ينخفض إلى أن ينعدم مع ازدياد زمن الاختبار؛ وهذا يعود إلى الاحتكاك الجاف بين العينة والعمود نتيجة التماس المباشر والكامل بينهما في بداية الاختبار، ومع استمرار الاختبار (ازدياد الزمن) يصبح الاحتكاك التصاقاً؛ لذلك ينخفض صدور الصوت (الضجة). وبشكل عام هذه الحادثة هي ظاهرة اعتيادية في المركبات البوليميرية وتعود إلى تمركز الإجهادات عند مساحة تماس حقيقية صغيرة. في المرحلة الأولى ونتيجة الاحتكاك والتماس الجاف بين البوليمير (المدعم وغير المدعم) والفولاذ يحدد (يقص ويشحد) سطح العينة البوليميرية، وهذا يؤدي إلى فقدان حبيبات من العينة البوليميرية والتي تأتي بين المادتين المتماستين المتحاكتين معاً وهذه الحبيبات تحك سطح العينة على طول خطوط التحديد، هذه الحبيبات الحاكة تعطي فقداناً أكبر للحبيبات من سطح العينة والتي تحوي على أطراف حادة تحك وتآكل بالمادة الأقل نعومة. في نهاية المرحلة الأولى تصبح الحبيبات بحجم أصغر نتيجة الاحتكاك الزائد بين السطحين فتتشكل طبقة رقيقة من الحبيبات تؤدي دور سطح واقٍ للعينة يقلل كثيراً من ازدياد التآكل مما يجعل المادة تمر بمرحلة الثبات بنسبة التآكل وهي المرحلة الثابتة من عمر عينة التآكل، ومع استمرار الاختبار (ازدياد الزمن) يحدث تمركز إجهادات في مساحات تماس حقيقية صغيرة مما يؤدي إلى زيادة نسبة التآكل بشكل قليل جداً (مهمل) أي إن المادة لا تصل إلى الانهيار، ولا يبدو عليها أي آثار من التعب. وعند مقارنة قيم درجات الحرارة الناتجة عن الاحتكاك مع نسب التآكل للعينات المختبرة تبين أن ازدياد درجة الحرارة يترافق مع زيادة نسبة التآكل وذلك في أزمنة الاختبار المدروسة جميعها. فمن المعلوم أن درجة حرارة الاحتكاك تؤثر بشكل كبير على نسبة التآكل، حيث إن توليد الحرارة العالية خلال الانزلاق قد يؤدي إلى الأكسدة أو أي نوع آخر من تشوه البوليمير، وعندما يحدث تسخين للبوليميرات المعرضة

للاحتكاك مع سطح آخر، تحدث إزالة كبيرة للجزيئات المتماسمة ويكون معها حجم التلف أكبر. فعند درجات الحرارة المنخفضة يحدث التآكل الالتصاقى (في مرحلة running-in)، ومن ثم في المرحلة الثانية يحدث التآكل الحات (مرحلة Steady-state). لذلك من المهم تخفيضها إلى أدنى قيمة ممكنة عن طريق إضافة زيوت تشحيم صلبة ألا وهي المواد المألثة. نلاحظ من الأشكال السابقة أن ازدياد نسبة التآكل مع ارتفاع درجة الحرارة في جميع العينات المختبرة هو عند زمن محدد. كما نلاحظ تحول نمط التآكل من الالتصاقى في درجات الحرارة المنخفضة إلى الحات في درجات الحرارة المرتفعة وذلك في جميع العينات، ولكن ليس بالدرجة نفسها.

الاستنتاجات والتوصيات:

من المعطيات والملاحظات التجريبية، حصلنا على النتائج الآتية:

- 1) تتغير قيمة نسبة التآكل مع تغير زمن الاختبار مترافقا مع تغير درجة حرارة الاحتكاك.
- 2) يمر مخطط العمر بثلاث مراحل مع تغير الزمن في حالتي البولي إستر النقي والمدعم بنسبة منخفضة من مادة التسليح (بودرة الكربون)، أما بالنسبة للتدعيم بنسبة كربون عالية (40%) فإن المخطط يمر بمرحلتين فقط وتكون المرحلة الثانية مستقرة تقريبا؛ ويعود ذلك للموصلية الحرارية للكربون وخاصيته التزييتية.
- 3) يتغير نمط التآكل بتغير نسبة التآكل ودرجة حرارة الاحتكاك في كل المواد المركبة والنقية ليمر بحالتين هما التآكل الالتصاقى ومن ثم الحات في المرحلة الثانية من مخطط التآكل.

المراجع:

- 1- KURDIEH, M. N., *Wear Properties of Polymeric Composites for Oilless Bearings*, Master of Science, Production and Design Engineering, Alexandria- Egypt, 1999.
- 2- K. FRIDRIECH and M. CYFFKA. *On The Wear of Reinforced Thermoplastics by Different Abrasive Paper*, Wear, 103 (1985) 333-344.
- 3- A. A. EL-SAYED, M. G. EL-SHERBINY, A. S. ABO-EZZ and G. A. AGGAG, *Friction and Wear Properties of Polymeric Materials for Bearing Applications*, Wear, 184 (1995) 45-53.
- 4- C. LHYMN, *Lubricated Wear of Fiber-Reinforced Polymer Composites*, Wear, 122 (1988) 13-31.
- 5- CVOSS, H. and FRIDRICK, K., *On The Wear Behaviour Short-Fiber Reinforced PEEK Composites*, Wear, 116 (1987) 1-18.
- 6- A.M. ELIECHI and G.M. AMIN, *The Effect of Unidirectional Cotton Fiber Reinforcement on The Friction and Wear Characteristics of Polyester*, Wear, 112 (1986) 67-78.
- 7- C. LHYMN and R. LIGHT, *Effect of Sliding Velocity on Wear Rates of Fibrous Polymer Composites*, Wear, 116 (1987) 343-359.
- 8- S. A. R. HASHMI, U.K. DWIVEDI and NAVIN CHAND, "*Graphite Modified Cotton Fiber Reinforced Polyester Composites Under Sliding Wear Conditions*", Wear, 262 (2007) 1426-1432.
- 9- D. DANAELAN and B.F. YOUSIF, "*Adhesive Wear Performance of CFRP Multilayered Polyester Composites Under Dry/ Wet contact Conditions*", Materials Science, 15 (2008) 919-925.
- 10-QUINTELIER, P. DE BAETS, P. SAMYN and D. VAN HEMELRIJCK, "*On The SEM Features of Glass-Polyester Composite System Subjected to Dry Sliding Wear*", Wear, 261 (2006) 703-714.
- 11-ROBERTC. WEAST, "*Handbook Chemistry and Physics* ", Ph.D. Published by CRC Press Cleveland, Ohio, 57th, 1977, pp. 19-26.
- 12-S. A. R. HASHMI, U.K. Dwivedi and NAVIN CHAND, "*Graphite Modified Cotton Fiber Reinforced Polyester Composites Under Sliding Wear Conditions*", Wear, 262, 2007, pp. 1426-1432.
- 13-PEDRO V. VASCONCELOS, F. JORGE LINO, ANTONIO M. BAPTISA and RUI J. L. NETO, "*Tribological Behaviour of Epoxy Based Composites for Rapid Tooling*", Wear, 259, 2005, pp. 693-696.