

تأثير نسبة مادة التدعيم (حببيات الكربون) في معامل الاحتكاك وآلية التآكل في مركبات بلاستيك الإيبوكسي في ظروف الانزلاق الجاف

الدكتور محمد نهاد علي كردية*

الدكتور محمد صقر ديوب**

(تاريخ الإيداع 20 / 8 / 2007. قُبِلَ للنشر في 28/10/2007)

□ الملخص □

يدرس المقال تأثير مادة التدعيم (حببيات كربون) في معامل الاحتكاك والتآكل باستخدام أحجام مختلفة للحبيبات لتحسين مقاومة التآكل لمركبات بلاستيك الإيبوكسي في ظروف الاحتكاك الجاف. لقد تم تحضير العينات على شكل محامل بسيطة من مركبات إيبوكسي/كربون، ثم إجراء التجارب والاختبارات عليها للحصول على قيم منخفضة لمعامل الاحتكاك، ونسبة التآكل بتغيير الحمل المطبق وزمن الاختبار. أظهرت التجارب أن نسبة التآكل تزداد تحت تأثير كل الظروف بزيادة الحمل المطبق واستمرار زمن الاختبار، لكن بزيادة نسبة الكربون في هذه المركبات تزداد نسبة التآكل تحت تأثير الحمل نفسه وخلال الزمن نفسه، وذلك نتيجة لزيادة مقاومة التآكل للمادة الأساسية (الإيبوكسي). من جهة أخرى، أظهرت التجارب أن معامل الاحتكاك يزداد فقط تحت تأثير زمن الانزلاق وذلك خلال الفترة الأولى من الاختبار، ثم يتناقص تدريجياً حتى يبلغ قيمة منخفضة جداً مع زيادة نسبة حبيبات الكربون في المادة الأساسية.

الكلمات المفتاحية: الإيبوكسي، مواد التسليح، حبيبات الكربون، المواد المركبة البوليميرية، التآكل، معامل الاحتكاك، الحمل.

* مدرس في قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** مدرس في قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

The Effect of Volume Fraction of Carbon Particles on Reinforced Epoxy Composites in Dry Sliding

Dr. Mohammad Nihad Ali Ghassan Kurdieh *

Dr. Mohamad Saker Dayob **

(Received 20 / 8 / 2007. Accepted 28/10/2007)

□ ABSTRACT □

The paper discusses the effect of particulate additions on the friction and wear of different sizes of carbon particles reinforced epoxy resin composites. Particles of carbon were mixed with epoxy resin. Bushing samples were prepared with varying carbon contents and grain sizes. Tests were performed on bushing samples to obtain the friction and wear for the composites with varying loads and sliding times. It was found that carbon has a significant impact on the wear and friction properties of epoxy resin. The wear rate increases with load and time. As the amount of carbon in the composite increases, its value increases irrespective of the applied load and time, due to the increase of wear resistance in matrix material. However, friction increases only with sliding time but decreases with the increase of carbon particles irrespective of time.

Key words: Epoxy, Reinforced, Carbon particles, Composites, Wear rate, Coefficient of friction, Load.

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

** Assistant Professor, Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

1- مقدمة:

إنّ المتطلبات العملية لمعرفة مدى مقاومة المواد لظاهرة التآكل قد ظهرت في القرن العشرين نتيجة لتطور الصناعة وظهور الآلات التي تعاني من مشكلة التآكل والاحتكاك بين أجزائها، والذي يعد السبب الرئيسي في انهيار بعض أجزائها. ومن ثمة من الضروري أن تصمم أجزاء الآلات بطريقة تكون فيها مقاومة التآكل أعظمية. لذلك حلت المواد البلاستيكية محل العديد من المعادن في أجزاء الآلات ولاسيما التي تكون على تماس مباشر مع الأجزاء الدوارة [1].

إنّ نسبة تآكل ألياف الأراميد المستمرة (بنسبة 60%) مع الإيبوكسي تبدي قيمة دنيا عند توجيه الألياف على نحو عمودي على سطح الانزلاق، لكن تأخذ قيمة أعظمية إذا تم توجيهها عرضياً مع سطح الانزلاق [2]. وتكون نسبة التآكل في محامل الآلة ومعامل الاحتكاك أقل في مركبات البوليميرات المسلحة ببودرة الغرافيت (بنسبة 10%). أما نسبة التآكل لمركبات الإيبوكسي/غرافيت، والإيبوكسي/زجاج/غرافيت فتعتمد على زمن الانزلاق والحمل المطبق، بينما تزداد هذه النسبة بازدياد الحمل والزمن.

إنّ معامل الاحتكاك يصل لقيمة ثابتة تقريباً بالنسبة للأحمال الأعلى [3]. كذلك فإن نسبة التآكل وقيمة معامل الاحتكاك لمركبات الإيبوكسي/غرافيت (ألياف) هي أقل قيمة إذا تم التسليح باتجاه عمودي على سطح الانزلاق، حيث تبلغ نسبة التآكل أقل قيمة، لكن معامل الاحتكاك له القيمة الأعلى في مركبات الإيبوكسي/ألياف الغرافيت وتكون هذه الألياف موجهة بالاتجاه نفسه [4].

وتتناقص نسبة التآكل ومعامل الاحتكاك بزيادة النسبة المئوية للميكا عند أي زمن انزلاق، في ألياف الزجاج غير الموجهة (نسبة 48%) مع الإيبوكسي. أعلى قيمة للقساوة نحصل عليها للمركبات بغضافة وزينة من الميكا (5%). إنّ نسبة التآكل ومعامل الاحتكاك تزداد بزيادة درجة الحرارة وتقل بزيادة قساوة المواد، ولها قيمة منخفضة عند نسبة 5% ميكا، وهذا يعود لتشكّل طبقة رقيقة منتقلة للسطح المقابل [5].

إن نسبة التآكل ومعامل الاحتكاك تصل إلى قيمة دنيا باختبار العينات على جهاز pin-on-disc مع زيادة نسبة الألياف في الفولاذ المستمر غير الموجه، وألياف النحاس والألمنيوم مع الإيبوكسي.

إن التآكل للسطح المقابل يزداد مع زيادة قساوة الألياف المعدنية [6]. ويبلغ التآكل أقصى قيمة في مركبات الإيبوكسي/ألياف الغرافيت المستمرة عندما توجه بزواوية 30^0 عن سطح الانزلاق. إنّ تكسر الألياف الأعظمي يحدث عند القيمة الأقل للتآكل [7].

تزداد نسبة التآكل لمركبات البولي تيترافلوروايثيلين المسلحة بألياف كربون بزيادة الحمل الطبيعي (نسبة ألياف كربون 15%)، وإن إضافة ألياف الكربون تقلل من نسبة التآكل بسبب الصعوبة في نسبة تشكل الفقاعات [8].

ولمسافة الانزلاق تأثير في ضغط المحامل، وعند سرعات منخفضة ومتوسطة في الاحتكاك والتآكل بالمحامل الـ Journal المصقولة (نسبة 60% bronze على PTFE). أجريت التجارب على جهاز pin-on-disc وأظهرت بأن معامل الاحتكاك ونسبة التآكل تتأثر على نحو كبير بثخانة وتركيب هذه الطبقات الرقيقة معتمدة على الالتصاق بين الفولاذ وسطح المركبات، وعلى خصائص الـ cohesive للبوليمير المستخدم، وكذلك الضغط ومسافة الانزلاق [9].

ويزداد معامل الاحتكاك لمواد البولي فينيل كلورايد والبولي كاربونات على نحو بسيط بتزايد توجيه الجزيئات عندما يحدث الانزلاق باتجاه عمودي على الجزيئات الموجهة. إنّ قيمة معامل الاحتكاك تزداد طردياً عندما يحدث الانزلاق باتجاه عمودي على الجزيئات ما قبل التوجيه [10].

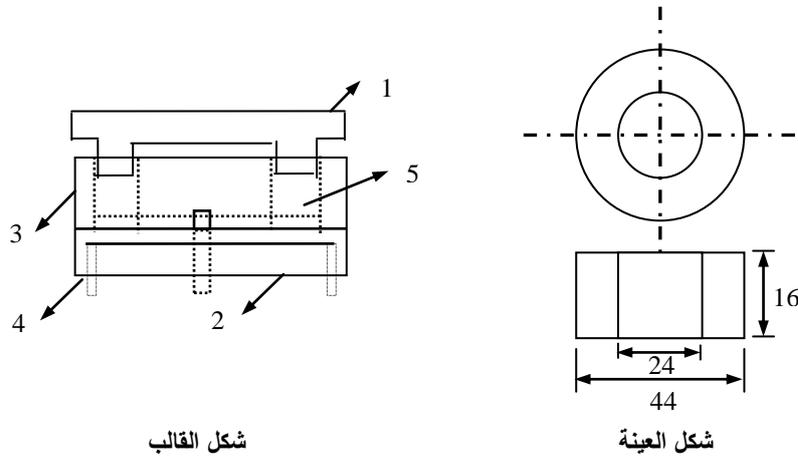
2- الهدف من البحث وأهميته:

ينحصر هدف البحث في دراسة ظاهرة التآكل التي تصيب المواد البلاستيكية، ويركز أساساً على دراسة تأثير مادة التدعيم (حبيبات كربون) في معامل الاحتكاك والتآكل باستخدام حجوم مختلفة للحبيبات، وذلك بهدف تحسين مقاومة التآكل لمركبات بلاستيك الإيبوكسي في ظروف الاحتكاك الجاف.

3- الدراسة التجريبية:

3-1 تحضير العينات:

تم تصميم وتنفيذ قالب خاص لصب العينات كما في الشكل (1) للحصول على عينات (محامل دفع) تستخدم للتآكل، ولاختبار المحامل لكل عينات الإيبوكسي (Araldite CR-39) التي سخنت لإزالة كل الفقاعات. تم إضافة كمية مناسبة من المادة المقسية (HY-95) إلى الـ Araldite بنسبة $\left(\frac{1}{2}\right)$ وزناً. ثم أضيفت حبيبات الكربون للمزيج الذي تم مزجه تماماً. بعد ذلك صبّ المزيج ضمن القالب وترك ليتصلب خلال 24 ساعة. بعد تجمد المزيج تم أخذ العينة من القالب (شكل 1). بتغيير كمية حبيبات الكربون بالإيبوكسي والمزيج المقسى، تم تجهيز عينات الدفع لمركبات الإيبوكسي/المسلح بالكربون. وقد تم تجهيز العينات بحجوم مختلفة للحبيبات بمقاسات (0.4 مم). تركت المصبوبات لتتجمد عند درجة حرارة الغرفة (الدرجة 32^oم) لمدة 24 ساعة خارج القالب.



الشكل (1): القالب مع العينة

1. غطاء القالب، 2. جسم القالب، 3. الجزء العلوي من القالب، 4. مسامير تثبيت، 5. العينة

3-2 الخواص الميكانيكية للعينة المختبرة:

- الخواص العامة للمادة المختبرة إيبوكسي CR-30 من شركة Ciba - Gigg هي:

• مقاومة الشد: $(280 \div 910) kg/cm^2$

- الكثافة: $(1.11 \div 1.4) \text{ g/cm}^3$
- القساوة: $(85 \div 120) \mu$
- درجة حرارة الانصهار: 290°C وتحافظ على خواصها لغاية 149°C .
- تعدّ العينة من المواد القاسية، ولها سطح مقاوم للتآكل الحاك نسبياً. ولها خواص انزلاق جيدة، وتتميز بثباتية حرارية عند الدرجة 87°C ، كما أن لها مقاومة كيميائية ممتازة.

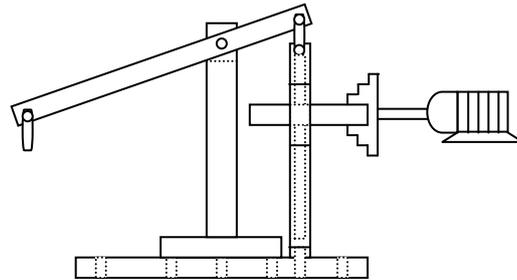
3-3 مادة التدعيم (التسليح):

المادة الداعمة لمركبات الإيبوكسي هي الكربون الأسود، وقد اختيرت كمادة إضافة (تسليح) لتحسين خواص الإيبوكسي كما في الإطارات والمطاط التجاري، وله موصلية حرارية ومقاومة احتكاك ممتازة. و نتيجة لتمتعه بمواصفات احتكاكية عالية، ومقاومته للتآكل، وخواصه الحرارية الممتازة جعلت منه مادة أساسية للاستخدام في المحامل والمكابح.

ولقد تم أخذ ثلاثة نماذج من الحبيبات ذات حجوم مختلفة و استخدمنا منها في البحث (0.4 مم)، وينسب متعددة.

4-3 اختبار التآكل والاحتكاك:

الجهاز الذي استخدم في انجاز الاختبارات من النوع عمود/دفع وذلك ليلائم هذا التصميم التجارب وشروطها لتشغيل المحامل بدون تزييت وتطبيقها عملياً. يبين الشكل (2) آلة الاختبار المستخدمة، وقد تم تثبيتها على مخرطة لدراسة التآكل عند سرعات مختلفة.



شكل (2): جهاز الاختبار مثبت على مخرطة

إنّ المحمل والعمود تم تحميلهما بشكل شاقولي وذلك باستخدام ذراع (نسبة التحميل $\left(\frac{1}{5}\right)$) ومسنّدة على قضيب دائري مثبت على القاعدة المتوضعة على فرش المخرطة لتزوده بعدة سرعات. يتم السماح للمحمل بالعمل بظروف جافة، ويتم خلال هذه الفترة قياس التآكل والاحتكاك تحت تأثير عدة أحمال وأزمنة انزلاق متعددة.

تؤخذ العينة من حاملها بنهاية الاختبار وتوزن على ميزان حساس بدقة 0.1mg (Mettler) تحت الظروف نفسها حتى نهاية الاختبار، ثم يحسب الفرق بين وزن العينة قبل كل اختبار ويعدده، وهو ما يعبر عنه بنسبة التآكل. يتم صقل Polishing سطح الانزلاق قبل الاختبار باستخدام ورق سنفرة لإعطاء العينة التدور الكامل لكل سطحها لضمان التماس التام. تم اختبار العينات بمعرفة قيمة العامل P-V تحت تأثير سرعات مختلفة وضمن حدود P-V المسموحة.

3-5 البارامترات الأساسية:

سرعة الانزلاق: 0.11 م/ثا

الحمل المطبق: 5، 10، 20، 30 نيوتن.

مساحة التلامس: 3086 مم²

زمن الانزلاق: 20، 50، 150، 200، 250، 320 دقيقة.

نسبة مادة التدعيم: 2، 5، 10، 15، 20% وزناً.

يتم حساب ضغط التماس من العلاقة التالية:

$$P = \frac{W}{A_{app}}$$

قيم P-V تعطى بالجدول رقم (1) حسب قيم الحمل والسرعة.

جدول (1): قيم P-V استناداً لقيم الضغط والسرعة

الحمل [N]	الضغط [MPa]	(عند السرعة 0.11 م/ثا) P-V
5	0.0046	0.00051
10	0.0092	0.00101
20	0.0184	0.00202
30	0.0276	0.00304

تحسب قيمة التآكل من المعادلة التالية:

$$W_r = \frac{\Delta m}{\rho t}$$

حيث:

Δm - فرق الوزن قبل الاختبار وبعده.

ρ - كثافة المادة.

t - زمن الاختبار.

4- النتائج و المناقشة:

ملاحظة: أجريت الاختبارات في مخابر كلية الهندسة بجامعة الملك خالد بالسعودية وفي كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين على جهاز مصمم خصيصاً لغرض إجراء البحث. أظهرت الاختبارات والتجارب النتائج التالية:

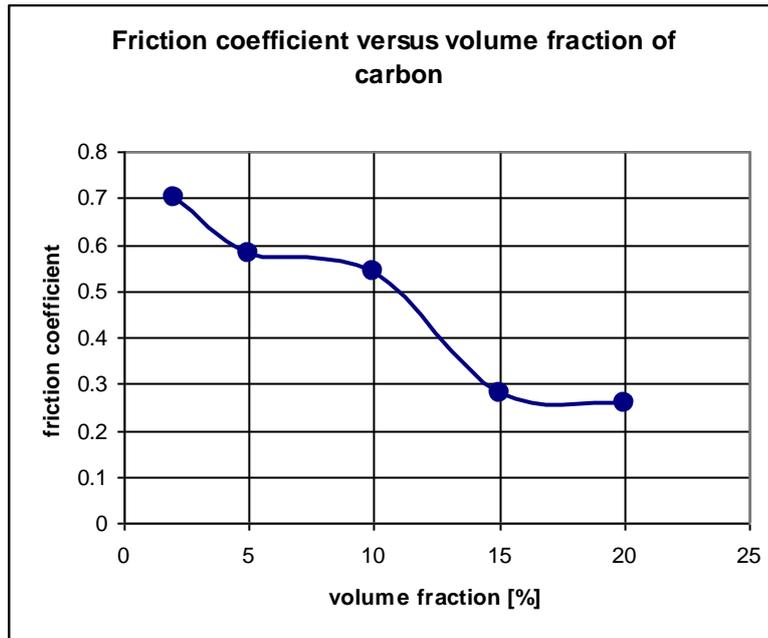
1. معامل الاحتكاك:

احتوت جميع العينات على 5 نسب من مادة التدعيم (حبيبات الكربون) وهذه النسب هي: (2%، 5%، 10%، 15%، و 20%).

تكمن أهمية هذا النوع من الاختبارات في دراسة تغير معامل الاحتكاك مع تغير نسبة مادة التدعيم عند ظروف خاصة ثابتة، ودراسة نمط التآكل عند كل مرحلة من الاختبار.

يبين الشكل (3) أنّ معامل الاحتكاك يتناقص بزيادة نسبة المادة الداعمة خلال ثلاث مراحل:

- المرحلة الأولى ينخفض معامل الاحتكاك على نحو سريع جداً لغاية $V_f = 5\%$.
- المرحلة الثانية يتناقص معامل الاحتكاك ببطء وبنسبة ثابتة، أو يبقى ثابتاً بين $V_f = (5 \div 10)\%$.
- المرحلة الثالثة والأخيرة ينخفض معامل الاحتكاك بزيادة نسبة الكربون لغاية $V_f = 15\%$ ، ثم يعود للثبات التام من النسبة السابقة إلى ما فوق النسبة $V_f = 20\%$.



الشكل (3): العلاقة بين معامل الاحتكاك ونسبة مادة التدعيم (الكربون) عند حمل 5 نيوتن، وزمن 50 دقيقة

يقل معامل الاحتكاك مع زيادة V_f نتيجة تأثير التزيت الذاتي للكربون. حيث يتحرك مسحوق الكربون ليشكل طبقة تشحيمية رقيقة متقلبة على المعدن، ومن ثمة يقل معامل الاحتكاك بين سطحي التماس. وهذا النقصان بمعامل الاحتكاك سببه سهولة انفصال طبقات الحبيبات من المادة الأساس.

في المرحلة الثانية يتناقص معامل الاحتكاك نتيجة تعميم سطح المادة الأساس التي تحدث بحالة الانزلاق عند قيم P-V عالية، ومن ثمة تسبب النتوءات المتشكلة على السطح قوة احتكاك أعلى حيث تنغمس الحبيبات بعمق في المادة الأساس.

إنَّ زيادة معامل الاحتكاك بزيادة V_f % يمكن أن يحدث لأن الحبيبات بهذه الحالة تنغمس في المادة الأساس وتمنع الفصل السهل للإيبوكسي الطري عن الحبيبات.

ولقد لاحظنا مسبقاً في المواد المركبة، بأن الطبقات البوليميرية ملتصقة بسطح التماس تسبب انخفاضاً واضحاً بمعامل الاحتكاك، وتحمي سطح الاحتكاك من التآكل الكبير، وتسهل الحركة نتيجة للقيم المنخفضة نسبياً لقوة الاحتكاك.

في المرحلة الثالثة، لاحظنا أن معامل الاحتكاك ينخفض بدايةً بزيادة V_f إلى أقل قيمة له عند القيمة 15% من حبيبات الكربون. ما قبل هذه القيمة، فإنه ينقص كثيراً نتيجة زيادة V_f .

تبين أن معامل الاحتكاك لمركبات الإيبوكسي/كربون يعتمد كثيراً على تركيز حبيبات الكربون.

بعد انتهاء المراحل الثلاث نلاحظ انخفاض معامل الاحتكاك بزيادة V_f .

2. التآكل في مركبات إيبوكسي/كربون:

احتوت جميع العينات على 5 نسب من مادة التدعيم (حبيبات الكربون) وهذه النسب هي: (2%، 5%، 10%، 15%، 20%) بالإضافة لاختبار مادة الإيبوكسي الصافي (Pure).

نتيجة لدراسة تأثير عناصر التدعيم في اختبارات نمط التآكل فإننا طبقناها لدراسة تغير نسبة التآكل مع زمن الانزلاق تحت حمل انزلاق ثابت. وأيضاً، هدفت هذه الاختبارات إلى التعرف على آلية التآكل لهذه المركبات.

تم إنجاز الاختبارات عند حمل ثابت، وعند سرعة انزلاق ثابتة هي $0.11m/s$ مع تغير زمن الانزلاق 20، 50، 150، 200، 250، 320 دقيقة. تم قياس وزن العينة عند أزمنة نظامية، وأعيدت العينات إلى الآلة واستمر الاختبار لفترة كافية.

ولقد أجريت بعد الاختبار صور لسطح العينات كافة. وتم فحص سطح المادة المركبة لدراسة آلية (ميكانيزم) التآكل خلال زمن الانزلاق الكلي.

نتيجة لتآكل المواد المركبة هذه، وجدنا بوردرة جافة بيضاء من الكربون تدلل على وجود أو حدوث ما يسمى بالتآكل الحات (3-body). وهذه البوردرة تشبه سلسلة من حبيبات الكربون تلتصق وتؤخذ بسهولة منه.

في البداية كان نموذج التآكل التصاقاً ثم بعد أن نتجت هذه السلسلة من البوردرة أصبح حاتاً abrasive. وهذه تسبب شروخاً بالطبقة الداخلية لمركبات إيبوكسي/كربون. يوجد ارتفاع بدرجة الحرارة وهذا يسبب ازدياداً في الشروخ. أيضاً تزداد درجة الحرارة وهذا يسبب زيادة في عمق الشروخ إضافة للرائحة الناتجة عن انصهار هذه المركبات، لأن الحرارة زادت على الحد الذي تتحمله هذه المركبات. والتي أصبحت بالحالة اللدنة، ثم تصبح صلبة بعد عدة دقائق (تبرّد).

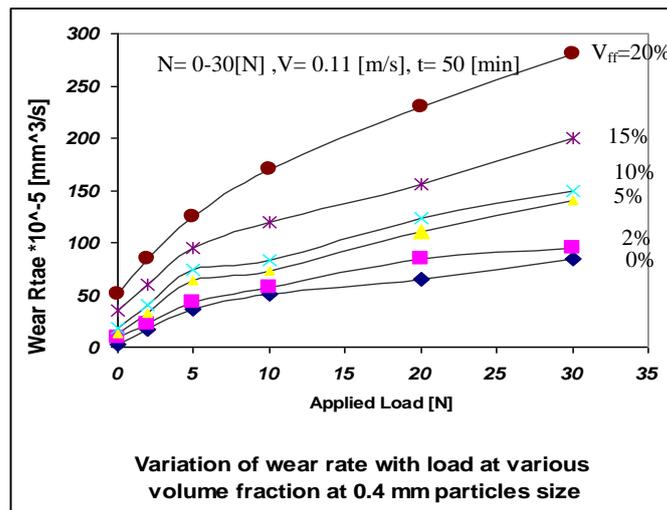
يوجد صوت نتيجة الاختلاف بالسطح المتآكل نتيجة تركيز الإجهادات، وهذا طبيعي بالمحامل الجافة.

في البداية يزداد التآكل بسرعة لأن التماس يكون كاملاً على الأسطح كافة. وبين الشكل (4) تزايد التآكل طردياً بازدياد الحمل من 0 إلى 30 N تحت سرعة انزلاق $0.11m/s$ وزمن 50 دقيقة، ولعينات تحوي على نسب مختلفة

لمادة التدعيم ومقارنة بالمادة (الإيبوكسي) الصافي. إن نسبة التآكل تزداد على نحو حاد بزيادة الحمل، ولكن عند حمل $(10 \div 30N)$ تصبح الزيادة ثابتة تقريباً فقط عند المادة الحرة $V_f = 0\%$ ، ثم تزداد على نحو حاد مرة ثانية، ولا نرى مرحلة ثبات بالتآكل خلال عملية التآكل بالنسبة للنسب كافة.

تبين جميع المنحنيات أن التآكل يزداد مع الحمل. تحت ظروف عدم تشحيم توجد طبقة غير ثابتة من التآكل بالمرحلة الأولى. ومع استمرار التجربة يزداد التآكل بالمرحلة الثانية، وأخيراً يزداد على نحو حاد حتى نهاية (الاختبار) التجربة.

في الفترة التحضيرية (بداية الاختبار) الأولى حيث كان التماس بين المعدن والمادة المركبة كاملاً يتآكل السطح كثيراً، ومن ثمة يتشقق ويتحدد. هذا يعطي ارتفاعاً بفقدان الحبيبات الكربون والتي تأتي بين سطحي التماس للمادتين. وهذا الفقدان عند سطح التماس يبدأ بحك سطح المادة المركبة على طولها مع قص وتحفير (تخديد). هذه الحبيبات الحاكة تعطي ارتفاعاً أكثر بفقدان الحبيبات التي لها أطراف حادة. في نهاية الفترة البدائية، تصبح حبيبات الكربون أصغر حجماً نتيجة الحك بالسطح المقابل (المعدن). عند تشكل هذه الحبيبات الصغيرة من الكربون وانتشارها بين سطوح التماس، يبدأ تشكل طبقة بثخانة منتظمة من الحبيبات والتي تسبب تقريباً فقداناً بالوزن بالمرحلة الثانية من 10N إلى 20N.

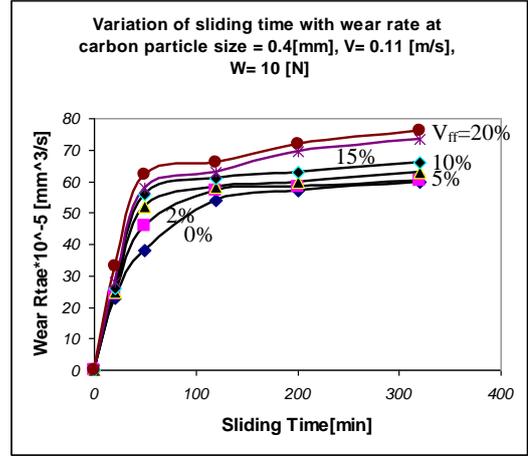
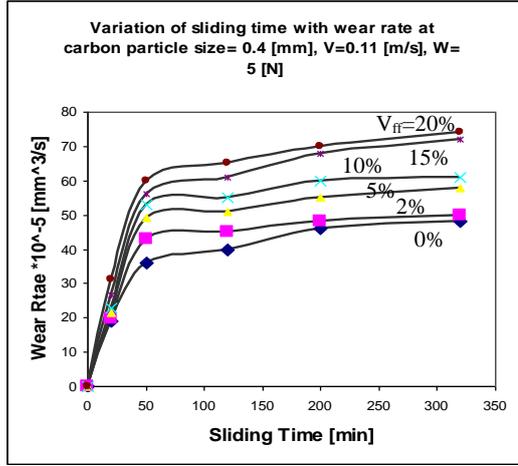


الشكل (4): تغير نسبة التآكل مع تغير الحمل عند نسب مختلفة لمادة التدعيم

يبين الشكل السابق أن نسبة التآكل تزداد في البداية على نحو حاد بزيادة الحمل لغاية (5 نيوتن) بعد ذلك نلاحظ أن أي تزايد في الحمل يرافقه تناقص في التآكل.

تزداد نسبة التآكل بزيادة الحمل عند أي نسبة للكربون. ولكل نسب الحك للكربون ولغاية 10% فإن نسبة التآكل لغاية حمل قدره 10 نيوتن هي نفسها تقريباً. وعند الأحمال الزائدة فإن العينة التي تملك أعلى نسبة من الكربون تبدي قيمة أكبر لنسبة التآكل حتى تصل إلى 20% V_f .

يبين الشكل (5) مراحل التآكل الثلاثة التي تمر فيها العينة، حيث يظهر الانسياب نفسه تزايد التآكل مع الحمل ولكن هنا مع زمن التآكل (الاختبار).



الشكل (5): تغير نسبة التآكل بتغير زمن الاختبار عند نسب مختلفة لمادة التدعيم وعند أحمال مختلفة

ويبين الشكل أيضاً أن التآكل يزداد كثيراً جداً في المرحلة الأولى من الاختبار عند كل النسب وتحت تأثير النسب المختلفة لمادة التدعيم وذلك لغاية 50 دقيقة. بعد هذه المرحلة يزداد التآكل ولكن بنسب ازدياد أقل بكثير من المرحلة الأولى بل يميل إلى الثبات تقريباً في نهاية الاختبار، و كأنه لا يتأثر بزمن الاحتكاك. عند الأزمنة القصيرة للاختبار نرى أنه لا يوجد فرق بين نسب التآكل عند النسب المختلفة لمادة التدعيم تقريباً. ولكن بازدياد زمن الاختبار نرى أن التآكل يزداد وتكون الزيادة الأكبر عند القيم الأعلى لمادة التدعيم. هذه النسب للتآكل نراها عند المراحل كلها بالنسبة للحمل (5 نيوتن) و (10 نيوتن). وفي هذه الاختبارات ونتيجة للتماس الجاف بين المادتين، فإن سطح العينة يتشقق ويتخذ، هذا يعطي ارتفاعاً بفقدان حبيبات الكربون من المادة المركبة والتي تحك سطح التماس بين المادتين. هذا الفقدان لحبيبات الكربون عند سطح التماس يحك على طول السطح مسبباً التشقق والتخدد للمادة الأخرى، كما هو موضح في الشكل (6).



الشكل (6): العينة تظهر التشقق والتخدد فيها نتيجة التآكل الجاف

يشير الشكل العلوي إلى أنه وعند الحمل 5N تزداد نسبة التآكل الجاف على نحو حاد في المرحلة البدائية لغاية زمن انزلاق 50 دقيقة. هذا بشكل نوعي يعدّ مرحلة غير ثابتة للتآكل بفترة البداية. عند أزمنة انزلاق مختلفة لا يوجد اختلاف ظاهر بين نسب التآكل المعتمدة للمادة المركبة بنسب مختلفة لحبيبات التسليح.

بزيادة زمن الاختبار، للمادة المركبة عند V_f العالية فإن التآكل أكبر بكثير. ويظهر أيضاً الشكل رقم 5 وعند حمل 10N أن نسبة التآكل تزداد على نحو حاد في البداية مع زيادة زمن الانزلاق.

في المرحلة الثانية، تزداد نسبة التآكل مع الزمن ولكن بنسبة أقل لغاية نهاية الاختبار (أكثر من 320 دقيقة). أي أن النسبة تستقر وتبقى ثابتة حتى انتهاء الاختبار. في نهاية المرحلة الأولى من التآكل، تصبح حبيبات الكربون أصغر حجماً بنتيجة الاحتكاك بالسطح المعدني. طالما أن الحبيبات أصبحت أصغر فإنها تتحرك وتنتشر بين سطح التقابل والمعدن، ومن ثمة فإن طبقة من الحبيبات بثخانة منتظمة تبدأ بالتشكل وتسبب فقداناً ثابتاً في الوزن تقريباً. مع استمرار الاختبار تبدأ الشروخ بالتشكل نتيجة تركيز الإجهادات عند مساحة تماس حقيقية صغيرة.

خلال المرحلة الأولى من التآكل يظهر تآكل سريع لكل المواد المركبة عند قيم لـ V_f مختلفة. يظهر تآكل ثابت بعد هذه المرحلة عندما يتطور ظهور طبقة رقيقة من الكربون بين سطحي التماس نتيجة تشوه (Abrasion). تشير النتائج إلى أن نسبة التآكل تعتمد على الحمل الطبيعي مع تغير الزمن بطرق متعددة معتمدة على قيمة سرعة الانزلاق. عند سرعة منخفضة، تزداد نسبة التآكل بزيادة الحمل الطبيعي لكل نسب المادة V_f وعند أحمال عالية، وتكون نسبة التآكل أقل حساسة بكثير لتغير سرعة الانزلاق مقارنة بالحالة عند حمل منخفض طبيعي.

عند نسب عالية 15، 20% تتأثر العينات بالتآكل أكثر مما هو في النسب المنخفضة (2، 5، 10%)، حيث تحتوي هذه العينات بعض الفراغات نتيجة الصب والتي تزيد من نسبة التآكل.

تزداد هذه الفراغات عند العينات مع 20% V_f والتي تسبب زيادة نسبة تآكل أكثر منها في العينات عند نسب منخفضة لـ % V_f لكل العينات مع حجم حبيبات مختلفة لمادة التسليح، فإن الزيادة بنسبة لـ % V_f حال التأثير فيها عند القيم المنخفضة.

وجدنا أيضاً أن تشكل حبيبات الكربون بين سطحي التماس ونسبة الناقل للمواد تعتمد على كمية الكربون الموجودة براتنتج الإيبوكسي. هذا يسبب تشققاً أقل وتحرقاً أقل للسطح.

يعطي الـ V_f الأعلى من الكربون بالمادة المركبة تشققاً أقل وتحرقاً أقل وفقداناً للحبيبات أقل ودرجة حرارة تماس أقل. ومن ثمة فإن التركيز الأعلى للكربون كان مناسب التأثير، وله الأفضلية في تشكل الطبقة المتقلة.

5- الاستنتاجات والتوصيات:

بالاعتماد على الملاحظات التجريبية، حصلنا على النتائج التالية:

- 1) يعتمد معامل الاحتكاك لهذه المركبات على V_f لحبيبات الكربون وعلى الحمل المطبق. حيث يقل معامل الاحتكاك بزيادة كمية الكربون لغاية قيمة معينة، ثم يبقى ثابتاً بالمجال $V_f = 5 \div 10$ وأخيراً يقل مع زيادة V_f أكثر.
- 2) تمتلك المادة الأساس الحرة قيم تآكل أقل، لكن بمعامل احتكاك أعلى.
- 3) تزداد نسبة التآكل مع الحمل عند كل V_f . والنسبة الأعلى لـ V_f تعطي قيمة نسبة التآكل الأكبر، وأيضاً الحجم الأكبر للحبيبات يعطي القيم الأكبر عند أحمال منخفضة وعالية.
- 4) خلال الفترة الأولى من التآكل يحدث تآكل سريع لكل المركبات عند قيم مختلفة لـ V_f . وتآكل بحالة ثابتة بعد هذه المرحلة عندما تتشكل وتتطور طبقة رقيقة من الكربون بين سطوح التماس.

المراجع:

- 1- KURDIEH, M. N. *Wear Properties of Polymeric Composites for Oilless Bearings*, Master of Science, Production and Design Engineering, Alexandria- Egypt, 1999.
- 2- SHAIN, Y. and MURPHY, S. *Wear performance of Aluminum Alloy Composites Containing Unidirectionally Oriented Silicon Carbide Boron Fibers*, *Wear*, 197, 1996, 248-254.
- 3- SOMIT NEOGI, HASHMI, S.A.R, and NAVIN Chand. *Role of PET in Improving Wear Properties of PP in Dry Sliding Condition*, *Bull, Mater, Sci.*, Vol. 26, No. 6, October 2003, 579-583.
- 4- SRIVASTAVA, V.K. and PATHAK, J.P. *Friction and Wear Properties of Bushing Bearing of Graphite Filled Short Glass Fiber Composites in Dry Bearing*, *Wear*, 197 (1996), 145-150.
- 5- ALI, W.Y. *Friction Behaviour of Composite Material*, *Metall 51 Jahrgang*, (1997), 324-329.
- 6- SUNG, N.H. and SUH, N.P. *Effect of Fiber Orientation on Friction and Wear of Fiber Reinforced Polymeric Composites*, *Wear*, 53 (1979), 129-141.
- 7- SRIVASTAVA, V.K. and PATHAK, J.P. *Wear and Friction Characteristics of Mica-Filled Fiber-Reinforced Epoxy Resin Composites*, *Wear*, 152, 1992, 343-350.
- 8- EL-SAYED, A.A.. EL-SHERBINY, M.G.. ABO-EZZ, A.S. and AGGAG G.A. *Friction and Wear Properties of Polymeric Materials for Bearing Applications*, *Wear*, 184, 1995, 45-53.
- 9- TEVRUZ, T., *Tribological Behaviour of Bronze-Filled Polytetrafluoroethylene Dry Journal Bearings*, *Wear*, Vol. 230, No. 1, May 1999, 61-69.
- 10- ALEICHI, A.M. and AMIN, G.M., *The Effect of Molecular Orientation Through Uniaxial Prestraining in (PVC) and (PC) on The Friction and Wear Characteristics*, *Wear*, 112, 1986, 57-66.