دراسة بعض الخواص الميكانيكية ومقاومة البلى لمتراكبات ألمنيوم - زجاج

د. علي عباس بندر* د. منى خضير عباس** و شيرين كاظم طعيمة*

تاريخ التقديم: 2 /6/ 2009
تاريخ القبول: 6/3 /2010

الخلاصة

يهدف البحث الى تحضير مواد متراكبة ذات أساس من الالمنيوم النقي مدعم بدقائق من الزجاج نوع (Window glass) ذات حجم حبيبات يتراوح من µm 75 الى µm 150وبنسب وزنيه مختلفة هي(1%,2%,3%,5%,7%) . تم تحضير المواد المتراكبة باستعمال تقنية السباكة بالمزج الميكانيكي (Mechanical Stir Casting) حيث تم تكوين دوامة (Vortex) في منصهر الالمنيوم ساعدت على تشتيت دقائق الزجاج في أرضية الالمنيوم. ولغرض تحسين قابلية الترطيب (Wetability) بين دقائق الزجاج ومنصهر الالمنيوم تم طلاء دقائق الزجاج بالنحاس باستعمال تقنية الطلاء اللاكهربائي Electroless (Method) قبل أضافتها الى المنصهر .

وقد أجريت عدة فحوصات واختبارات منها فحص البنية المجهرية وفحص الصلادة وأختبارمقاومة الانضغاط واختبار البلى الأنزلاقي الجاف نوع Pin-on-Disk باستعمال أحمال متغيرة وسرعة انزلاق ومسافة انزلاق ثابتتين.

لقد لوحظ من النتائج إن إضافة دقائق الزجاج المطلي بالنحاس الى الالمنيوم النقي يزيد من قيم الصلادة ومقاومة الانضغاط كذلك يزيد من مقاومة البلى .

Studying Some Mechanical Properties and Wear Resistance of Aluminum - Glass Composites

Abstract

The research is aimed to prepare an aluminum matrix reinforced with window glass particles with weight percentages of (1%,2%,3%,5% and 7%) ,with particle sizes varies from 75-150µm. Composite materials are prepared by using mechanical stir- casting method. The formation of vortex in aluminum melt helps dispersion of glass particles in aluminum melt . Electroless copper coating on glass particles is carried out to improve wetability between glass particles and aluminium melt. Many inspections and tests have been done such as microstructure, hardness inspection, compression test and dry sliding wear test type Pin-on Disk with different loads and at a constant speed and sliding distance It was found that addition of glass particles coated with copper to pure aluminum increases hardness , compression strength and wear resistance .

Keywords: Aluminum Matrix Composite, Electroless Copper Coating, Wear resistance.

* كلية العلوم للبنات، جامعة بغداد / بغداد
** قسم هندسة الإنتاج والمعادن ،الجامعة التكنولوجية / بغداد

https://doi.org/10.30684/etj.28.21.19
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

المقدمة

لقد أدى التطور التكنولوجي الى ازدياد الحاجة لمواد هندسية جديدة ذات خواص أفضل للأجزاء الميكانيكية التي لا تحتاج الى المتانة العالية فقط ولكن الى خفة الوزن أيضاً . كما تتأثر كفاءة هذة الأجزاء التي تدخل في الصناعات الحديثة مثل معدات الفضاء والطائرات ومعدات توليد الطاقة في تحسين وتطوير هذه المواد التي أصبحت تعرف فيما بعد بالمواد المتراكبة [1] .

تعرف المادة المتراكبة على أنها خليط من مادتين أو أكثر تعطي مواصفات أفضل لا تتوفر في أي من المادتين على انفراد [2] . تتألف المادة المتراكبة من طورين يسمى الأول طور الأرضية (Matrix) ويمكن أن تكون معدنية , سيراميكية , أو بوليمرية . والطور الثاني هو طور التقوية . وتكون مواد التقوية أما على هيئة حشوات (Fillers) أو ألياف (Fibers) أو دقائق (Particles) أو طبقات (Laminar) . حيث تعمل هذة المواد على تحسين الخواص الميكانيكية مع انخفاض معامل التمدد الحراري [3] .

تعتبر ظاهرة البلى من المشاكل الخطيرة لما تسببه من خسائر مادية كبيرة علاوة على الكلال والتآكل لذلك أهتم الباحثون بدراستها ومعرفة أسبابها وآليتها وخاصة تحت ظروف الانزلاق الجاف , لكون هذة الحالة خالية من التزييت فالنتائج تكون أكثر حدة[4]. وتلعب عمليات الطلاء والمعاملات الحرارية دورا في تحسين مقاومة البلى . و تعد تقنية إضافة المواد السيراميكيه ذات الصلادة العالية إلى المعادن وسبائكها من أهم التقنيات ألحديثه لتقليل ظاهرة البلى بشكل كبير[6,5] .

قام الباحث (Mandal) وآخرون في عام 2004 [7] بدراسة معدل البلى لمادة متراكبة ذات أساس من الألمنيوم النقي والمدعمة بألياف من الفولاذ باستخدام تقنية المسمار على القرص (pin-on disc) حيث تضمنت الدراسة تأثير كل من الطلاء اللاكهربائي لمادة التقوية وكذلك تأثير الحمل المسلط على معدل البلى (Wear Rate) للمادة المتراكبة. أستنتج الباحث أن معدل البلى يزداد بزيادة الحمل المسلط حيث ينتقل من البلى الأوكسيدي إلى البلى المعدني كذلك لوحظ نقصان معدل البلى بزيادة نسبة مادة التقوية المطلية بالنحاس.

قام الباحثان (Tekmen and Cöcen) [8] في عام 2006 بدراسة أمكانية تحسين قابلية ترطيب مواد التقوية السيراميكية بمنصهر الألمنيوم . وبينا إن تبللية المواد السيراميكية ذات الأواصر التساهميه مع منصهر الألمنيوم ضعيفة جدا كذلك توصل الباحثون إلى إن طلاء مادة التقوية بالمعادن وخاصة النيكل يحسن قابلية الترطيب حيث يتفاعل النيكل بشدة مع الألمنيوم ليكون مركبات مستقره , كذلك فأن تسخين دقائق التقوية قبل أضافتها إلى المنصهر يساعد على تشتيت الدقائق في المنصهر.

قام الباحث (Y.Sahin) في عام 2007 [9] بدراسة السلوك الترايبولوجي لمادة متراكبة معدنية ذات أساس من الألمنيوم والمقواة بدقائق كاربيد السليكون (SiC) حيث درس الباحث تأثير كل من الدقائق المضافة ومسافة الانزلاق وكذلك تأثير الحمل المسلط على معدل البلى. وقد وجدَ الباحث إن إضافة دقائق(SiC) يأتي في المرتبة الأولى من حيث التأثير على مقاومة البلى يتبعها الحمل المسلط وأخيرا مسافة الانزلاق. حيث إن إضافة دقائق التقوية تزيد من مقاومة البلى للمادة الأساس , بينما يزداد معدل البلى بزيادة الحمل كذلك زيادة مسافة الانزلاق تودي إلى زيادة معدل البلى.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

هدف البحث

1- طلاء مادة التقوية (دقائق الزجاج بالنحاس) باستعمال طريقة الطلاء اللاكهربائي

2- تحضير مادة متراكبة ذات أساس من الامنيوم النقي والمقواة بدقائق الزجاج المطلي بالنحاس وبنسب مختلفة هي (1,2,3,5,7)%

3 -. أجراء فحص البنية المجهرية للمادة المتراكبة.

4- دراسة الخواص الميكانيكية وكذلك مقاومة البلى للمادة الأساس والمواد المتراكبة.

الجزء العملي :

1- المواد المستعملة

1-1المادة الأساس

1-2أستخدم الألمنيوم النقي والمبين تركيبة الكيماوي في الجدول (1) والمجهز من قبل الشركة ألعامه للصناعات الكهربائية في الوزيريه كماده أساس لتحضير المواد المتراكبة.

1-2 مادة التقوية

استخدم مسحوق الزجاج نوع - Window glass ذو حجم حبيبي يتراوح من (75- 150)µm والمبين تركيبة الكيماوي في الجدول (2) . ولغرض تحسين قابلية الترطيب بين دقائق الزجاج ومنصهر الالمنيوم تم طلاء الدقائق بطبقة من النحاس باستعمال تقنية الطلاء اللاكهربائي .

2- عملية الطلاء :

تم غمر مسحوق الزجاج في لتر من محلول التحسسيه (Sensitizer Solution) والذي يتكون من كلوريد الخارصين وحامض الهيدروكلوريك المركز وحسب التراكيز والظروف المبينة في الجدول (3) وبعد مرور (40min) جمع المسحوق وغسل بالماء المقطر. ثم حضر نصف لتر من محلول التنشيط Activator (solution) والمكون من كلوريد البلاد يوم وحامض الهيدروكلوريك المركز وتم استخدام الخلاط المغناطيسي (Magnetic Stirrer) لضمان ذوبان كلوريد البلاديوم في المحلول , ثم تم غمر المسحوق مع التحريك المستمر في المحلول بعدها رشح المحلول وغسل المسحوق عدة مرات بالماء المقطر . ثم غمر المسحوق في محلول الطلاء والمبينة مكوناته في الجدول السابق الذكر لمدة 30 min حيث يشير تغير لون محلول الطلاء من اللون الأزرق الى الشفاف الى انتهاء التفاعل. يجمع المسحوق ثم يغسل عدة مرات بالماء المقطر.

3- تحضير المواد المتراكبة :

قطعت مصبوبة الالمنيوم المستلمة الى قطع صغيرة ثم صهرت في بودقة كرافيتيه في فرن صهر كهربائي نوع (Carbolet) عند درجة حرارة (750˚C) , ثم غمرت دقائق الزجاج المطلية بالنحاس والمسخنة مسبقاً الى درجة حرارة (500˚C) في منصهر الالمنيوم . وقد استخدمت تقنية الدوامة (Vortex technique) لتحسين توزيع الدقائق في المنصهر . وكانت نسب الإضافة لدقائق الزجاج هي (1,2,3,5,7)% .

تم بعد ذلك أجراء عملية التشغيل الميكانيكي للمصبوبات الناتجة , حيث قطعت الى عينات أسطوانية بقطر 10mm وطول 20mm .

بعد هذة العملية تم اختبار الصلادة للألمنيوم النقي والمواد المتراكبة المحضرة من خلال قياس صلادة برينيل باستعمال جهاز المكبس الهيدروليكي نوع (Leybld Harris No.36110). لذا تم تسليط حمل مقداره 500gm وبمدة تثبيت مقدارها 10 Sec وبواقع ثلاث قراءات لكل عينة. ثم تم حساب القيمة النهائية . بعدها أجري فحص مقاومة الانضغاط باستعمال جهاز نوع (Tinius Olsen H50 KT) انكليزي المنشأ وكان الحمل المستخدم لجميع العينات هو (50KN) والذي يمثل سعة الجهاز

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

بعده أجري اختبار البلى باستعمال جهاز البلى نوع (Pin-on- Disk) إذ أستخدم قرص من الصلب الكربوني ذي الصلادة 35HRC ويدور بسرعة دوران rpm 510 . أجري الفحص بعد تثبت مسافة الانزلاق (المسافة من مركز العينة الى مركز القرص) 70mmوأستخدمت أربع أحمال مختلفة هي N (5,7.5,10,12.5) . ثم تم قياس وزن العينة قبل الاختبار بميزان كهربائي ذي دقة قياس gm 0.0001 واستخدمت العلاقة التالية لحساب معدل البلى

$$\text{wear Raet} = \frac{\Delta w}{2pNRt} \quad \ldots\ldots\ldots(1)$$

حيث إن :-

$W_1 - W_2 = \Delta W$

W_1 = وزن العينة قبل الاختبار(gm)

W_2 = وزن العينة بعد الاختبار(gm)

ΔW = التغير بالوزن (gm)

R = نصف قطر مركز الدوران للقرص (70 mm)

N= سرعة دوران الفرص (510 rpm)

T = زمن الاختبار 25)min)

مناقشة النتائج :

1- نتائج الطلاء اللاكهربائي :

يوضح الشكل (1) الصور المجهرية لدقائق الزجاج المطلي بالنحاس بطريقة الطلاء اللاكهربائي Electroless (method) قبل وبعد الطلاء, حيث يتضح من الشكل (b) التغيير الحاصل في مظهر غالبية دقائق الزجاج ذات اللون الشفاف لتصبح ذات لون نحاسي براق بسبب ترسب النحاس على سطح الزجاج . لوحظ إن طبقة النحاس المترسبة على سطح دقائق الزجاج هي طبقة مستمرة حيث وفر التحريك المستمر لمحلول كبريتات النحاس أثناء عملية الطلاء فرصة طلاء متجانسة لجميع الدقائق. كذلك وجد إن عملية تغطيس الدقائق في محلول التحسسية لها دور مهم في تهيئة سطح الدقائق لعملية الطلاء. ساعدت عملية الطلاء بالنحاس على تحسين قابلية ترطيب دقائق الزجاج مع الالمنيوم النقي , وهذا ما أكده باحثون آخرون [10]

2- نتائج الفحص المجهري

يبين الشكل (2) نتائج التصوير بالمجهر الضوئي للمادة الأساس والمواد المتراكبة . تبين الصورة (a) الصورة المجهرية لعينة الالمنيوم النقي من دون إضافة دقائق التقوية , أما الصورة (b) فتمثل الصورة المجهرية لعينة المادة المتراكبة المحتوية على 3wt% glass, أما الصورة (d) فتمثل الصورة المجهرية لعينة المادة المتراكبة المحتوية على glass 7wt%., تبين الصور التوزيع المتجانس تقريبا لدقائق الزجاج في الأرضية .كذلك يكون حجم الدقائق ضمن المدى المستخدم (150-75µm).

3 - نتائج الصلادة

يبين الشكل (3) العلاقة بين النسبة المئوية الوزنية لدقائق الزجاج المطلي بالنحاس المضافة والصلادة إذ تكون العلاقة طردية حيث تزداد قيم صلادة برينيل بزيادة محتوى دقائق الزجاج، ويعزى السبب في زيادة قيم الصلاة بزيادة نسبة دقائق الزجاج المطلي بالنحاس في الارضية الى تقوية مادة الاساس (الالمنيوم) بدقائق صلة جدا مطلية بمادة رابطة. وهذه الدقائق تقاوم حركة الانخلاعات في الارضية ومن ثم تؤدي الى زيادة الاجهاد اللازم لحني الانخلاعة. وقيد التشوه اللدن للأرضية في زيادة المقاومة للالمنيوم وبذلك تزداد الصلادة علاوة على ذلك فان دقائق الزجاج ذات صلادة أعلى من المادة الاساس او الارضية. كذلك تتفاعل طبقة النحاس التي تحيط سطح الدقائق مع الألمنيوم لتكون مركبات معدنية أكثر صلادة من الأرضية. وقد أكد هذة النتائج العديد من الباحثين ومنهم الباحث Tekmen وآخرون[8] حيث بينوا أن

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

طلاء مادة التقوية بمعادن وخاصة النيكل يحسن قابلية الترطيب نتيجة تفاعل النيكل مع الألمنيوم وتكوين مركبات مستقرة والتي بدورها تعمل على تحسين الخواص الميكانيكية للمواد المتراكبة مثل الصلادة.

4- نتائج مقاومة الانضغاط:

الشكل (4) يوضح تأثير أضافه دقائق الزجاج المطلي بالنحاس على مقاومة الانضغاط للألمنيوم النقي والمواد المتراكبة. حيث تزداد مقاومة المادة للانضغاط بزيادة نسب الأضافه لدقائق الزجاج , ويعزى ذلك إلى أن مقاومة الانضغاط العالية نسبيا للزجاج تمنح المادة الأساس (الامنيوم النقي) مقاومة أضافية , وتزداد هذة المقاومة بزيادة الدقائق المضافة

5 – نتائج اختبار البلى :

5-1- تأثير الحمل على معدل البلى :

تأثير الحمل على معدل البلى تمت دراسته بتثبيت المتغيرات الأخرى وتغيير الحمل المسلط . حيث يلاحظ من الشكل (5) ازدياد معدل البلى بزيادة الحمل المسلط . عند زيادة الحمل يزداد التشوه اللدن الحاصل عند قمم النتوءات والمنطقة القريبة من السطح وبالتالي تزداد كثافة الانخلاعات بزيادة هذا التشوه وبالتالي تصبح المادة هشة تدريجياً, بسبب تجمع الانخلاعات تكون الفجوات الصغيرة والتي تتجمع لتكون شقوقاً صغيرة في سطوح المعدن . لقد تم في هذا البحث دراسة المنطقة المتضررة من السطح باستعمال المجهر الضوئي . حيث أظهرت الصور وجود بعض الشقوق التي تكون بصورة عمودية على أتجاة حركة الانزلاق , إن التقاء هذة الشقوق مع بعضها ومع خطوط البلى يسبب أزاله لطبقات رقيقة من المعدن تزال بسهولة باتجاه الانزلاق لتكون حطام البلى لحصول كلال في طبقات السطح هذة[11]. كذلك يحصل تكسر الأوكسيد في حالة الحمل الواطئ ليقذف خارج سطح العينة وعند زيادة الحمل بصورة كبيرة اكبر من7.5 نيوتن يزال مع الأوكسيد بعض الرقائق المعدنية مما يؤدي الى زيادة في معدل البلى أن عملية التصاق النتؤات فيما بين السطحين المنزلقين تعتمد اعتمادا كبيراً على مقدار الحمل المسلط ففي الأحمال القليلة يتكون غشاء سطحي واقي يؤدي الى قلة التلامس بين السطحين . وبهذا تكون القوة المطلوبة لقص الترابط الحاصل بين النتؤات في الطبقة السطحية أقل منة في المعدن الأساس وبالتالي يؤدي الى انخفاض معدل البلى.أما في حالة الحمل في حالة الحمل العالي فأن حطام البلى يتكون بصورة أساسية من المعدن مع وجود بعض الأكاسيد[12].

5-2- تأثير إضافة دقائق الزجاج على معدل البلى :

يوضح الشكل (6) اختلاف معدل البلى مع محتوى دقائق الزجاج . حيث يلاحظ إن معدل البلى يقل بصورة عامة مع زيادة نسبة دقائق الزجاج المطلي بالنحاس المضافة . بما إن معدل البلى يتناسب عكسيا مع صلادة المادة فأن إضافة دقائق الزجاج تحسن الصلادة وتقلل التشوه اللدن للمادة المتراكبة . إن دقائق الزجاج تتصل بالقرص الدائر وتمنع الأرضية من التشوه الزائد الناتج من دوران القرص .

الاستنتاجات

1- أثبتت عملية الطلاء اللاكهربائي بالنحاس للدقائق الزجاجية نجاحها في تحسين قابلية الترطيب بين دقائق الزجاج ومنصهر الالمنيوم , ويتبين ذلك من خلال تثبيت الدقائق و توزيعها داخل الأرضية .
2- أدت زيادة نسبة الدقائق الزجاجية المطلية بالنحاس إلى زيادة الصلادة للمواد المتراكبة مقارنة بالمادة الأساس الالمنيوم النقي.
3- أدت إضافة دقائق الزجاج المطلي بالنحاس إلى الالمنيوم النقي الى زيادة مقاومة الانضغاط وتزداد

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

مقاومة الانضغاط بزيادة نسب الإضافة.

4- يكون معدل البلى للمواد المتراكبة أقل من المادة الأساس (الألمنيوم النقي) وعند الأحمال المسلطة جميعها وعند ثبات متغيرات البلى ألانزلاقي (زمن الانزلاق, مسافة الانزلاق, صلادة القرص).

5- يكون سلوك البلى ألانزلاقي الجاف للمادة الأساس (الألمنيوم النقي) مشابهاً للمواد المتراكبة الحاوية على نسب مختلفة من الدقائق الزجاجية. عند ثبات متغيرات البلى الأنزلاقي الجاف (سرعة الانزلاق , زمن الانزلاق, صلادة القرص) . إذ يتغير سلوك البلى من البلى الطري (الأوكسيدي) عند الأحمال القليلة(5N) إلى البلى الشديد(المعدني) عند الأحمال العالية (12.5N).

References

[1]eoutman .J .Lawerange , , (1974) . Krock .Richard .H , " Composite Material",Vol.4, "Metallic Composite" edited by Kreider. Kenneth .G by Acadmin Press Inc.,5th. Eveneue Newyork

[2]chael S.Mamlok , John P.Zaniewki " Materials For Civil and Constriction Engineers" Structure and Properties of Engineering Materials 5th edition ,McGraw Hill , (2006).

[3]aniel Gay , Soung V .Hoa and Stephen W. Tsai " Composite Materials Design and Application" ,by CRC Press LLC, (2003).

[4]J . Halling " Principle of Tribology" Macmillan Press LTD, (1979).

[5]Halling J., " Introduction to Tribology",Prentice Hall .Inc.,New Jersey, (1998).

[6]iping Tang, Hezhou Liu , Haijun, Zhao Lei Hiu, Yating Wu ," Frictiuon and Wear Properties of Copper Matrix Composites Reinforced With Short Carbon Fibers", J. Materials & Design ,(2007).

[7].mandaletal," Wear And Friction Behavior Of Stir Cast Aluminum-Base Short Steel Fiber Reinforced Composites" ,Wear J. ,Vol. 257, PP.654-664, (2004) .

[8]Tekman and Cocen" The Effect Of Ceramic Coating On The Wettability Of Al-SiC Composites", Journal of Science Technology ,(2006).

[9]y.sahain," Tribological Behaviour Of Metal Matrix and Its Composite" Materials and Design ,Vol.28, PP.1348-1352, (2007).

[10].W.IP,R.Sridhar and J.M. Toguri, "Wettability of Nickel Coated Graphite By Aluminum" Materials Science and Engineering, A244,31-38, (1998).

[11]Mikell P. Groover, "Fundamentals of Modern Manufacturing Materials Processes and Systems", John, Wiley & Sons, Inc., 1999.

[12]Jafar T. Al-Haidarry et al , Eng. And Tech .J. ,Vol. 13, No.12,(1994) .

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

جدول (1) التركيب الكيمياوي للألمنيوم المستعمل

Element	Si	Fe	Cu	Ti	Zn	Other each	Al
wt%	0.30	0.40	0.02	0.03	0.07	0.03	Rem

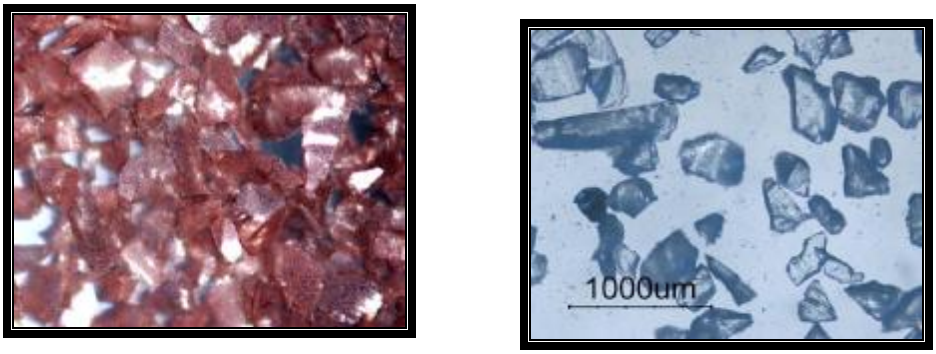
جدول (2) مكونات زجاج النوافذ

المادة	النسبة المئوية
SiO_2	%73
Na_2O	%14
CaO	%10
Al_2O_3	%1
MgO	%2

جدول (3) الخطوات اللازمه لطلاء مسحوق الزجاج

الخطوة	المواد المستعملة في كل خطوة	شروط التشغيل
التحسسية (Sensitization)	1-كلوريد الخارصين 2- حامض الهيدروكلوريك المركز (SP.gr=1.19)	10gm/L 40ml/L Temp.=room.temp. Time=40min
التنشيط (Activating)	1- كلوريد البلاديوم 2- حامض الهيدروكلوريك المركز (SP.gr=1.19)	0.5gm/L 1ml/L Temp.=room temp. Time=10min
الطلاء بالنحاس (Copper Plating)	1- كبريتات النحاس 2- هيدروكسيد الصوديوم 3- الفورمالديهايد 4- ملح روشيل	10gm/L 10gm/L 10ml/L 40gm/L Temp=40˚C Time=30mine PH=11

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



(b) (a)

شكل (1) صورة مجهرية لمسحوق الزجاج

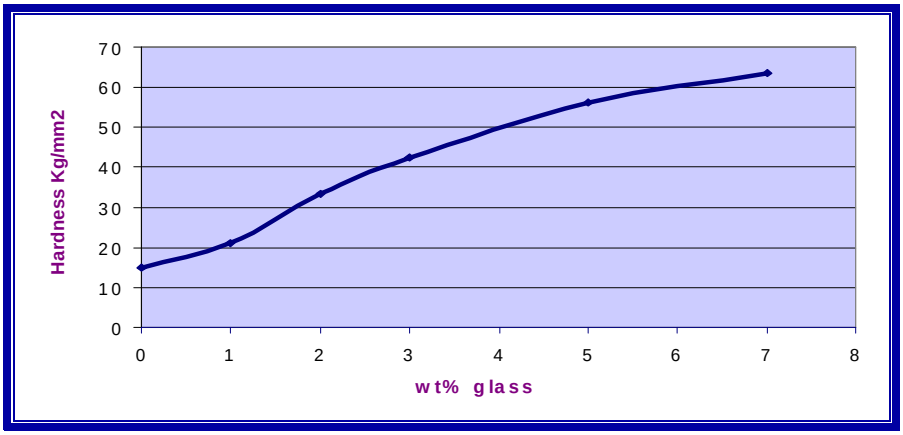
(a) قبل الطلاء (b) بعد الطلاء اللاكهربائي بالنحاس

(b) (a)

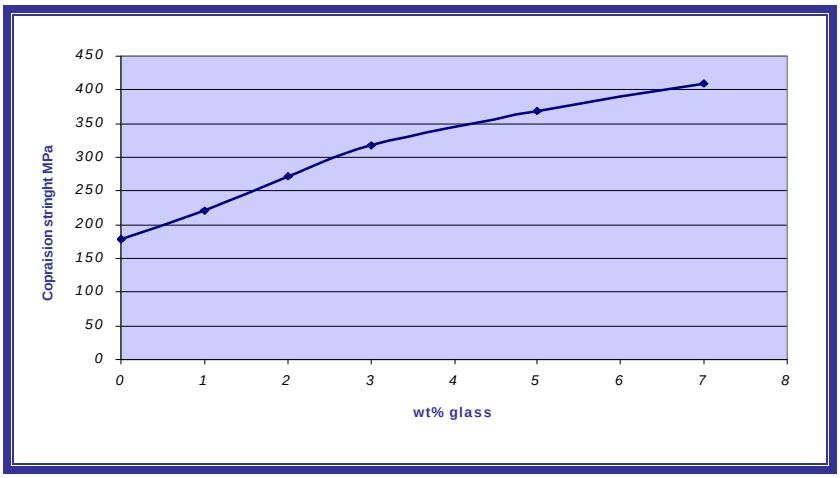
(c)

شكل (2) البنية المجهرية للألمنيوم النقي والمواد المتراكبة (a) تمثل العينة (Pure Al) (b) تمثل Al-3%glass) (c) تمثل (Al-7%glass)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

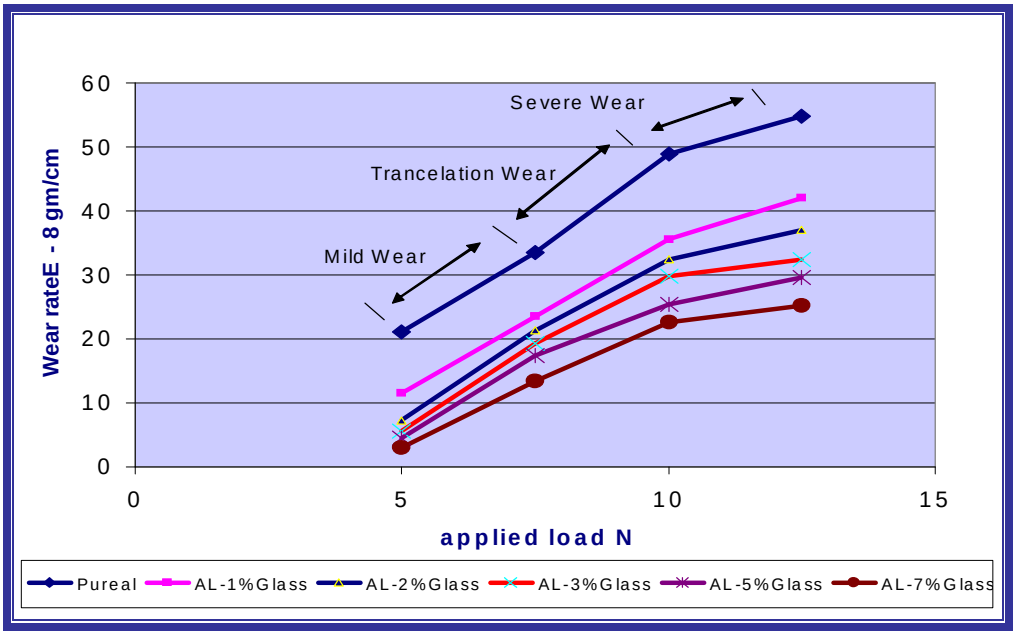


شكل (3) يمثل تأثير إضافة دقائق الزجاج المطلي بالنحاس على الصلادة

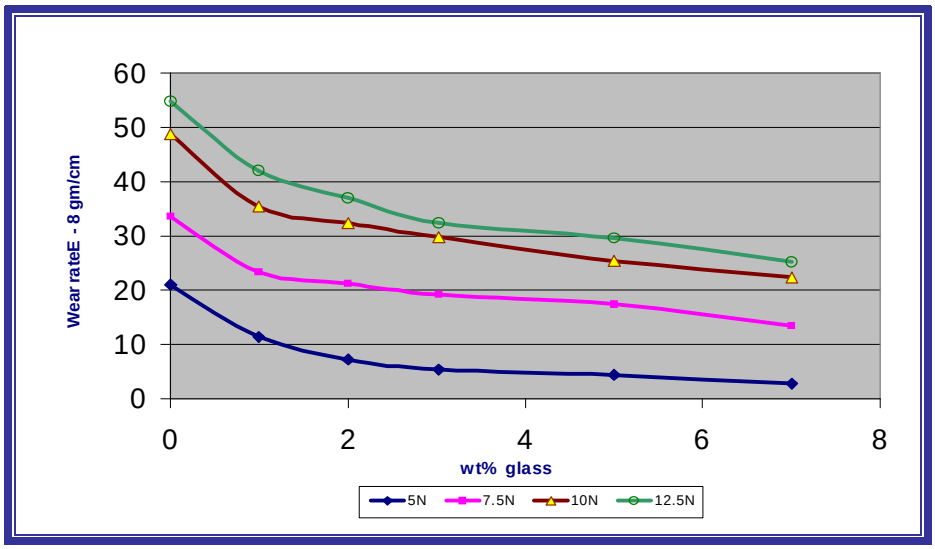


شكل (4) يمثل تأثير إضافة دقائق الزجاج المطلي بالنحاس على مقاومة الانضغاط

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شكل (5) يوضح العلاقة بين معدل البلى والحمل المسلط للمواد المتراكبة والمادة الأساس عند سرعة انزلاق ثابتة (3.7) m/sec وزمن انزلاق (25) min



شكل (6) يمثل تأثير إضافة دقائق الزجاج المطلي بالنحاس على مقاومة البلى ل (5) يوضح العلاقة بين معدل البلى والحمل المسلط للمواد المتراكبة والمادة

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com