مقاومة البلى لخليط بوليمري متصلد حرارياً

د.بلقيس محمد ضياء* و هدى جبارعبدالحسين*

تاريخ الاستلام:2008/9/29
تاريخ القبول:2009/5/7

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة خاصية البلى الالتصاقي مع تغيير الحمل المسلط وسرعة الانــزلاق لنماذج محضرة من خلــيط بــوليمري (راتنجــات الايبوكــسي والبــولي اســتر والنوفــولاك) (EP/UP/Nov) عند نسبة خلط (80%/10%/10%).

كذلك تم دراسة خاصية الصلادة للخليط قبل وبعد الغمر في المحاليل الكيميائيــة (NaOH,HCl) وبتركيز(0.5N).

وقد تبين ان معدل البلى يزداد مع زيادة الحمل المسلط الى مقدار(20N) وكذلك يزداد مع زيــادة زمن الغمر وكان تأثير المحلول القاعدي اكبر في الخلائط من المحلول الحامضي. وقد انخفضت قيم الصلادة للخليط بعد الغمر في المحاليل الكيميائية.

Wear Resistance for Thermosetting Polymer Blend

Abstract

The research involves using Epoxy ,Unsaturated Polyester and Novolac resins ;they were needed to prepare ternary polymer blends; wear resistance including change load applied, sliding velocity, using these resins with that ratios as (80%/10%/10%). Also hardness (shore) were study before and after immersing in (NaOH,HCl) solutions with(0.5) normality .

In general the wear resistance was increased with the load applied (20N) and with immersion time.

The effect of base solution was larger than that of the acid. Shore hardness was decreased after immersing in solution.

.

1- المقدمة

نتيجة للتقدم العلمي ظهرت الحاجة الى مواد بوليمرية بمواصفات معينــة لايمكــن الحصول عليها من بوليمر من نوع واحــد. لهذاظهرت محاولات في مزج نــوعين او اكثر من البوليمرات والحصول على خلــيط بوليمري بالمواصفات الصناعية المرغــوب بها ,وتعرف الخلطات البوليمرية بأنها ناتج من مزج نوعين او اكثر مــن البــوليمرات مزجا فيزيائيا حيث يمتلك الخلــيط النــاتج خواص مشتركة بين المركبــات الاساســية وهذا يعتمد على نوعية البوليمرات وطريقة الخلط [1] .

ظهر في الآونــة الأخيــرة الاهتمــام بدراسة الاحتكاك و التزييت و البلى التــي يظهر دورها بشكل واضح فــي عمليــات تشغيل الأنظمة الميكانيكية المتعددة والتــي

*قسم العلوم التطبيقية،الجامعة التكنلوجيا/بغداد

https://doi.org/10.30684/etj.27.14.20
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

تتضمن في عملها الاحتكاك والبلى ويعرف البلى على انه عملية تعرية لسطح المادة الصلبة نتيجة تاثرها بسطح جسم صلب اخر. إذأن دراسة البلى للمواد البوليمرية بشكل عام ولمتراكباته بشكل خاص هو بسبب توفره بشكل واسع وخفة وزنه وسهولة تصنيعه ومتانته الجيدة وقلة معامل الاحتكاك له وتحمله الاحمال العالية[2] .

اجرى الباحث (Dickens and Sullivan) دراسةحول تأثير البلى لمواد بوليمرية في حالتيها الجافة (Dry) والمزيتة (Lubricted) وعند سرع أنزلاقية مختلفة إذ درس الباحث (PPO) (Poly Phenylene Oxide (Polyethereketone)(PEK) و(Polytetrafluroethylene) (PTFE) ووجد بأن معدل البلى لـ(PPO)و (PEK)في حالة التزييت يقل مع زيادة السرع الأنزلاقية بينما معدل البلى لنفس المواد وهي في الحالة الجافة يكون ثابتاً حتى يصل الى سرعة تقدر بحوالي (1m/s) وبعدها يزداد معدل البلى. إما المادة (PTFE) فأن سلوك البلى مختلف أذ أن معدل البلى

يكون عالٍ عند السرع الأنزلاقية الواطئة وهو يزداد بزيادة السرعة الا ان يصل الى حد الثبات [3].

واما الباحث(Chang and Zhzng) فقد قام بدراسة مقاومة البلى للايبوكسي المدعم بنانو اوكسيد التيتانيوم (nanoTiO2) مرة والمدعم باليياف الكربون القصيرة والكرافيت مرة أخرى وأجريت الدراسة عند سرع انزلاقية مختلفة وتوصل إلى أن أفضل مقاومة بلى يحصل عليها عند متراكبات الايبوكسي المدعم بنانواوكسيد التيتانيوم (nanoTiO2) [4].

و قام الباحث(Chand and Naik) بدراسة معدل البلى لخليط من مادتي بولي بروبلين (PP) وبولي اثيلين الترفثلايت (PET) وبعدها اضيف للخليط مادة (MAH) وأجريت مقارنة بين الخليطين,وتوصل الباحث إلى أن معدل البلى يقل مع إضافة مادة(MAH) مقارنة بالخليط الأول بدون إضافة (MAH) [5].

و يمكن ان يعرف البلى على انه تلك العملية التي تحدث نتيجة حصول تفاعل بين سطح المادة الصلب مع الظروف المحيطة مثل درجة الحرارة ,السوائل ,الغازات.الخ [6].

ويقسم البلى الى الانواع الاتية[7]:

1- البلى الحكي Abrasive Wear .
2- بلى التعرية Erosive Wear .
3- بلى كلال السطح Surface Fatigue Wear
4- البلى الالتصاقي Adhesive Wear :

وموضوع بحثنا هو البلى الالتصاقي هذا النوع من البلى يحصل في حالة انزلاق السطوح على بعضها البعض وتحت تأثير الحمل بحيث يكون الضغط على النتؤات المتماسة على درجة كبيرة تكفي لاحداث تشويه لدن موضعي (Local plastic deformation) وتلاصق (Adhesion) يحصل التصاق ذو درجة عالية من الكفاءة بالنسبة للسطوح النظيفة والخالية من الاكاسيد بين عدد قليل من النتوءات بسبب وجود قوة جذب بين ذرات السطحين ,ونظراً لان مسافة التلامس الحقيقية اقل بكثير من مسافة التلامس الظاهرية فان الضغط يكون عالٍ عند قمم النتؤات المتلامسة الضعيفة [8][9] وكما موضح في الشكل(1) .

2- الجزء العملي:

2.1 المواد المستعملة:

في الدراسة الحالية تم استعمال المواد الأتية:

2.1.1 راتنج الايبوكسي Epoxy Resin

هو سائل لزج ذو مواصفات معينة , منها

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

قابلية الالتصاق العالية وقلة أنكماشه عند التجفيف, وفي البحث الحالي أستعمال راتنج الايبوكسي من نوع كونبكسترا (Conbextra)(EP10) وبكثافة ($1.4gm/cm^3$) ويحول راتنج الايبوكسي الى الحالة الصلبة بعد أضافة مصلده اليه من نوع (MPDA) وهومادة سائلة ذات لون شفاف,وبنسبة(1:3) ليحدث بينهما تفاعل عند درجة حرارة الغرفة وبعد ها تجرى عملية المعالجة لعدد من الساعات وذلك لتقليل نسبة التقلصات وزيادة الترابط بين الجزيئات.

2.1.2 راتنج البولي أستر غير المشبع:
Unsaturated Polyester Resin

راتنج البولي استر المستعمل بالدراسة الحالية يكون على هيئة سائل شفاف متصلد حرارياً ، و هذا الراتنج قابل للمعالجة الى الحالة الصلبة بعد ان يضاف اليه مصلده من نوع بيروكسيد اثيل مثيل كيتون وبنسب (1%) لكل (39gm) من البولي استر ليتحول الى مادة صلبة بدرجة حرارة الغرفة.

2.1.3 النوفولاك Novolac:

ويكون بشكل كتل مطاوعة للحرارة (Thermoplastic) شفافة اللون وذات رائحة مميزة تتحول الى بوليمر متشابك باضافة اليه مصلده وهو هيكسا مثيلين تترأامين(HMTA) يكون بشكل مسحوق ابيض ونسبة اضافة المصلد الى النوفولاك هي (12gm) لكل (88gm) من مادة النوفولاك .

2.2 تقنية تحضير الخلطة البوليمرية :

أولا: لتحضير المصبوبة تم أستعمال قالب من الحديد وبأبعاد(25×25)cmويجب ضمان نظافة القالب وخلوه من الخدوش, وبعدها يغطى سطح القالب بالفابلون وذلك لمنع التصاق المصبوبة بسطح قالب الصب وبهذا اصبح القالب جاهزاً لعملية الصب والشكل(a-2) يوضح القالب المستعمل بالصب.

ثانياً:يُحضر بوليمر الايبوكسي وذلك بأضافة مصلده اليه ويخلط المزيج بوساطة قضيب زجاجي للحصول على خليط متجانس وبعدها يخلط البولي استر ومصلده بوساطة قضيب زجاجي ويخلط جيداً للحصول على خليط متجانس اما النوفولاك ومصلده الذي يكونان بشكل كتل فيحول الى مسحوق ناعم ذلك يتم بطحنها بوساطة الطاحونة وبعد الحصول على المسحوق الناعم من مادةالنوفولاك ومصلدها وهو هيكسا مثيلين تترأامين(HMTA) يتم تحويلها الى سائل لزج ويتم ذلك بخلط (44gm) من مادة النوفولاك و(6gm) من مصلدها وأذابة الخليط في(25cc) من كحول الايثانول وتخلط جيداً حتى نحصل سائل لزج من مادة النوفولاك ومصلدها وبهذا تم تحضيرخليط متجانس ثلاثي المكونات وبعدها يضاف الخليط بالقالب المهيأ.

ثالثا: تُركت الخلطة مدة(24) ساعة في درجة حرارة الغرفة للتصلب وبعدها وُضِعت في الفرن وبدرجة حرارة (60-65ºC) ومدة اسبوع من اجل أتمام عملية المعالجة (Post Curing).

رابعاً: تُقطع المصبوبة الى عينات وعلى وفق كل اختبار,ففي اختبار البلى تكون ابعاد العينات (20-25mm) ومساحة(10×10mm) على وفق مواصفة (ASTM) وهي نفسها تستعمل في الاختبار وكما موضح في الشكل(2b) .

2.3 الاختبارات والاجهزة المستعملة
The Test and Use Equipment:

2.3.1 اختبار البلى Wear test:

يتم 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) وهذه السرعة هي سرعة دوران العينة وصلادة القرص الحديدي هي(269HB) وكما هو موضح في الشكل(3).

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

ويحسب معدل البلى من العلاقة الرياضية الاتية:

$$\textbf{Wear rate} = \frac{\Delta W}{S_D} \ \textbf{(gm/cm)} \quad ..(2\text{-}1)$$

علماً ان :

الفرق بالكتلة للعينة قبل وبعد **(gm)** .

ΔW:الاختبار

$$\Delta W = W_1 - W_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}2)$$

مسافة **(cm)** وتحسب من العلاقة الاتية :

S_D:الانزلاق

$$S_D = 2\,\pi\,r\,n\,t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}3)$$

علماً ان :

نصف القطر من مركز العينة الى **(cm)** .

r :مركز القرص

n: عدد دورات القرص (دورة /دقيقة).

t : زمن الاختبار (دقيقة).

أولاً: في هذا البحث تم دراسة تأثير الحمل المسلط في معدل البلى وتم اعتماد ثلاثة احمال(10, 15, 20) نيوتن مختلفة مع ثبات كل من الوقت وصلادة القرص والسرعة الدورانية.

ثانياً: دراسة تأثير السرعة الانزلاقية في معدل البلى وتم اتباع ثلاث سرع انزلاقية مختلفة مع ثبات كل من الزمن وصلادة القرص (2.0943,3.1415, 4.1887m/sec) اذ ان سرعة الانزلاق تحسب من العلاقة الرياضية الاتية:

$$V = \frac{p\ DN}{60}$$

..... (2-4)

علماً ان:

V: السرعة الخطية للانزلاق (m/sec).

D: قطر الانزلاق الدائري (m).

N: سرعة دوران القرص (500دورة/ دقيقة).

ثالثاً: دراسة تأثير الغمر في معدل البلى أذ يتم غمر العينات في محلولي وهوحامض الهيدروكلوريك (HCl) وبعيارية(0.5N)ومحلول قاعدي وهو هيدروكسيدالصوديوم(NaOH)وبعيارية (0.5N) واجرى الاختبار بفترة غمر(14) يوم وبنفس الظروف التي ذكرت في النقطتين اعلاه ويجرى الاختبار لقرص الحديد .

2.3.2 اختبار الصلادة Hardness test :

يتم قياس الصلادة لعينات البلى نفسها ولحالتيها الجافة او مغمورة في محلولين حامضي وقاعدي,وفي الدراسة الحالية تم قياس الصلادة للعينات بطريقة شور(D) والجهاز المستعمل لهذا الاختبار من نوع (Shore D Hardness tester TH210) يكون عبارة عن اداة غرز بشكل ابرة تخترق سطح العينة وبعدها يسجل الرقم الذي يخرج على شاشة الجهاز.

3- النتائج والمناقشة:

3.1 تأثير الحمل المسلط في معدل البلى:

تمت دراسة تأثير الحمل المسلط في معدل البلى لخليط البوليمري,وتم اعتماد ثلاثة احمال (20,15,10) نيوتن على التوالي ومدة (10) دقائق لقرص الحديد وتبلغ صلدته (269HB).

من ملاحظة الشكل(4) نجد ان زيادة الحمل المسلط يؤدي الى زيادة معدل البلى نتيجة لزيادة قوة الاحتكاك والسبب في ذلك ان قوة الاحتكاك (F) نيوتن تتناسب مع القوة الضاغطة (N):

$$F\ a\ \ N$$

فاذا كان μ معمل الاحتكاك فان

$$F = m\ \ N$$

فضلاعن ارتفاع درجة الحرارة بين سطح العينة والقرص.

ان كلا السطحين المحتكين يتكون من نتوءات واخاديد وان بداية التلامس بين السطحين يحصل عند النتوءات الحادة ,وتحت تأثير الحمل المسلط فأن الاجهاد يتركز على النتوءات الحادة والذي يؤدي الى حصول تشوه لدن لهذه النتوءات وان زيادة الحمل تؤدي الى زيادة التشوه الحاصل عند قمم النتوءات والمنطقة القريبة

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

من السطح فتزداد الحفر نتيجة لتأثير الدقائق الناتجة عن تحطم قشرة السطح فتتجمع الشقوق الصغيرة مع بعضها مؤدية الى حدوث ازالة لطبقات السطح مكونة الحطام الذي يكون على شكل دقائق رقيقة لهذا يزداد التشوه اللدن مع زيادة الحمل[11].

اما الشكل(b -5) يبين التغيرات التي حصلت على سطح العينة بعد اختبار البلى.

اما تأثيرمحاليل الغمر فمن ملاحظة الشكل (4) نلاحظ ان معدل البلى والاحتكاك للمواد اللدائنية المغمورة بالمحاليل الكيميائية يكون اكبر مما هو عليه في الظروف الطبيعية (بدون غمر) ويعود السبب في ذلك الى عدة عوامل منها:

نتيجة لحدوث الانكماش والتشبع غير الكافي ما بين المادة الاساس(EP) والمواد المضافة(UP/Nov) لتكوين الخليط اثناء عملية القولبة يمكن ان تنشاء شقوق صغيرة على السطح ويظهر فجوات في المادة الاساس وعند تعرض هذه المادة للمحيط الكيميائي فان المواد الكيميائية تنتشر في المادة الاساس وخصوصاً في الفجوات المتكونة اثناء مرحلة القولبة وينتج عنها عمليات:الامتصاص ,التفاعل الكيميائي,اللدونة واخيراً تتحلل المادة عند فترات الغمر الطويلة,وعند تسليط الحمل على هذه المادة فان الشقوق المتكونة على السطح وفي الداخل تتحد وتندمج وهذا يسهل عملية امتصاص المحاليل الكيميائية وان اختراق جزيئات المحاليل الكيميائية الى المادة يعمل على تلدين سطح المادة نتيجة لتحطم قوى فاندرفالز ما بين السلاسل البوليمرية والذي يقلل من حاجز الطاقة لحركات اجزاء السلاسل وهذا يؤدي الى زيادة لدونة المادة وبالتالي يزداد معدل البلى. ان معدل البلى في المحلول الحامضي اقل مما هو عليه في المحلول القاعدي وضمن الفترة الزمنية نفسها ,وهذا يعني ان فاعلية المحلول الحامضي للخليط البوليمري المستخدم في البحث وتحت اختبار البلى اقل من فاعلية المحلول القاعدي ,وقد لوحظ بعض الاضرار العيانية على سطح الانموذج وتغير في لون النماذج المغمورة في المحاليل والشكل (6) صورة مجهرية للنماذج البلى بعد الغمر في المحاليل الكيميائية.

3.2 تأثير سرعة الانزلاق في معدل البلى :

من الشكل (7) نلاحظ وجود منطقتين من السرع الانزلاقية وهما منطقة السرعة الانزلاقية الواطئة والتي هي(-2.0943 3.1415m/sec) ومنطقة السرعة الانزلاقية العالية (-3.1415 4.1887m/sec),ففي منطقة السرعة الانزلاقية الواطئة يلاحظ ان كافة العينات يقل معدل فيها مع زيادة سرعة الانزلاق والسبب في ذلك هو ان في السرع الواطئة تتكون طبقة من الغشاء السطحي والتي تقلل من احتكاك السطحين ولهذا فان ارتفاع درجة حرارة السطح تكون غير فعالة ولهذا فان تأثير الاجهادات الاحتكاكية قليلة وبالتالي فان معدل البلى يتناسب عكسيا مع السرعة الانزلاقية.

اما في السرع العالية يلاحظ انه معدل البلى يزداد مع زيادة السرع الانزلاقية وهذا يعود الى ان ارتفاع درجة الحرارة تعمل على زيادة تشوه نتوءات التلامس فضلا عن ان الحرارة تلين سطح العينة المحتك بالقرص الدوار مما يسهل عملية انفصال دقائق البلى ولهذا يزداد معدل البلى في هذه المنطقة[12].

اما سلوك معدل البلى عند الغمر في المحاليل الكيميائية لقد اجريت دراسة معدل البلى للنماذج المغمورة بالمحاليل الكيميائية وهي المحلول الحامضي (HCl) وبتركيز (0.5N) والمحلول القاعدي(NaOH) وبتركيز(0.5N) ومدة غمر(2) اسبوع وبنفس ظروف الاختبار الجاف,ومن ملاحظة الشكل (2-2) فيلاحظ وجود منطقتين من السرع الانزلاقية الواطئة (-2.0943 3.1415m/sec) ومنطقة السرع الانزلاقية

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

العالية(3.1415-4.1887m/sec) واما اسباب ظهوره في منطقة السرعة الانزلاقية الواطئة يلاحظ انخفاض معدل البلى مع زيادة السرعة والسبب في ذلك يعود الى وجود المحلول الكيميائي الذي يقلل التصاق نتوءات السطحين (سطح العينة ــ القرص الدوار) وبالتالي يقل معدل البلى [13]. اما في المنطقة السرعة الانزلاقية العالية فيزداد معدل البلى مع زيادة السرعة والسبب في ذلك يعود الى وجود قوة الطردالمركزي التي تعمل على ازاحة المحلول الكيميائي ولذلك يزداد تلامس نتوءات السطحين وبالتالي يؤدي الى زيادة معدل البلى[13].

3.3 اختبار الصلادة:

اولاً: الظروف المختبرية:

ان الصلادة للخليط الثلاثي (EP/UP/Nov) (80%/10%/10%) تزداد وان السبب في زيادة قيم الصلادة يعود الى زيادة التشابك والتراص الذي يقلل من حركة جزيئات البوليمر مما ادى الى زيادة مقاومة المادة الى الخدش والقطع فتزداد مقاومتها للتشوه اللدن اذ تعتمد صلادة المواد على نوع القوى التي تربط بين الذرات اوالجزيئات في المادة فكلما كان الربط اقوى تزداد قيمة الصلادة وبذلك فان الربط القوي عند السطح البيني بين الطورين الايبوكسي والنوفولاك نتيجة لزيادة الترابط التشابكي للخليط والذي ينتج عنه حيز مغلق يعمل على زيادة الصلادة[14].

ثانياً: تأثير محاليل الغمر في قيم الصلادة:

بعد غمر النماذج في المحلول الحامضي(HCl) وبتركيز(0.5N) والمحلول القاعدي (NaOH) وبتركيز(0.5N) وقد اجري الاختبار بعد مرور اسبوعين من غمر النماذج في المحاليل الكيميائية يتبين ان جميع النماذج قد ابدت انخفاضاً ملحوظاً في قيم الصلادة وكما هو موضح في الشكل (8).

والسبب في ذلك يعود الى ان المحاليل الكيميائية تعمل على انحلال المادة مؤدية الى الفشل,اذ يؤدي انتشار هذه المحاليل خلال المواد الى تكسير الاواصر وظهور الفقاعات التي تعد من ظواهر التشوه في الانموذج [15]. اذ ان دخول المحاليل الكيميائية في الخليط البوليمري يؤدي الى ضعف الربط بين المادة الاساس والمواد المضافة الاخرى وهذا بدوره يعمل على زيادة المسامية وبذلك يزداد امتصاص المادة للمحاليل الكيميائية والذي يعمل الاخير على زيادة لدونة المادة[16].

4- الاستنتاجات:

بعد اجراء البحث حول خلائط الايبوكسي الثلاثية (EP/UP/Nov) تم التوصل الى اهم الاستنتاجات الخاصة بهذه الدراسة:

1- ان معدل البلى يزداد بزيادة الحمل المسلط.

2- ومن ملاحظة معدل البلى للنماذج عند الغمر في المحاليل الكيميائية(المحلول الحامضي (HCl) والمحلول القاعدي (NaOH)) فكان تأثيرها كما يأتي:

أ- ان معدل البلى عند الغمر يكون اكبر مما هو عليه في الظروف الطبيعية.

ب- ان تأثير المحلول الحامضي في زيادة معدل البلى أقل من تأثير المحلول القاعدي.

3- من ملاحظة قيم معدل البلى مع تغييرسرعة الانزلاق ولكلا حالتيها (في الظروف الطبيعية وهي مغمورة في المحاليل الكيميائية) لوحظ هناك سلوكان لمعدل البلى , احدهما يقل مع زيادة سرعة الانزلاق والاخر يزداد مع زيادة سرعة الانزلاق.

4- انخفاض قيم الصلاد ة لجميع.

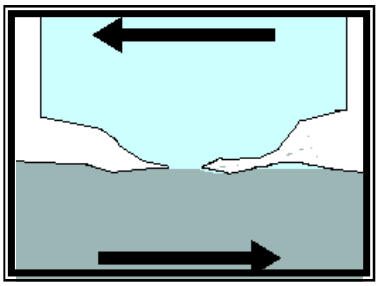
المصادر

1- A.Leszek,Utracki, "polymer Alloys and Blends",New York,(1990).

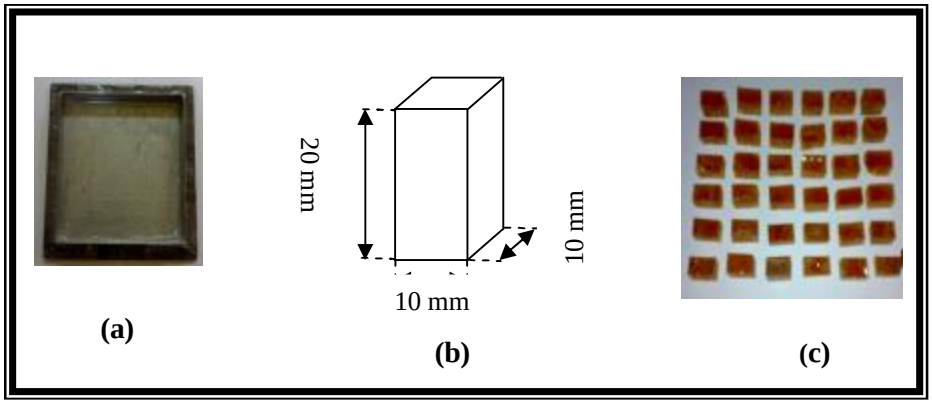
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2- Jan Quintelier and Pieter Samyan,"Materials science Forum", Vol.561, PP (635-638), (2007).
3- P.M.Dickens and J.L.Sullivan," The Last wear", Vol.112,PP(273-289), (1986).
4- L.Chang,Z.Zhzng," Applied Science and Manufacturing",Vol.35, December,(2004).
5- N.Chand,A.Naik,"J.of Engineering Triobology", PP(1-5),(2007).
6- S.S.Dara,S.Chand,"Text Book of Engineering Chemistry",PP(234-259), (2007).
7- D.H.Buckley,"Surface EffectinAdhesionFriction,Wear and Lubrication" EisevierNewYork,(1981)
8- V.Begriff,"Systematic AnalysisofWearProcess-es",PP(1-6),(1979).
9- R.L.Norton,"Machine-Design"PrenticeHall-Inc.Newjersey,(1998).
10- T.S.Eyre,"Wear – Characteristic of Metals", Triobology ,Iteruational, October, (1996).
11- S.B.Ajappai,G.Chandramohani,R.Subramanlan "Materials Science- Poland",Vol.24,No.2/1 (2006).
12- R.Light and C.Lhyman ," The Last wear", Vol.116,PP(343-359),(1987).
13- P.M.Dickens and J.L.sullivan," The Last wear", Vol.112,PP(273- 289), (1986).
14- رولا عبد الخضر عباس الصافي ,"دراسة الخصائص الحرارية والميكانيكية لمادة النوفولاك ومتراكباتها ", رسالة ماجستير ـــــ قسم العلوم التطبيقية ـــــ الجامعة التكنولوجية,(2001).
15- علي حسن رسن العزاوي,"دراسة السلوك الميكانيكي والحراري لمواد متراكبة هجينة", رسالة ماجستير ـــــ قسم العلوم التطبيقية ـــــ الجامعة التكنولوجية, (2005).
16-A.Davisand D.Sims,"Weathering of Polymer," Applied Science Pub.LT

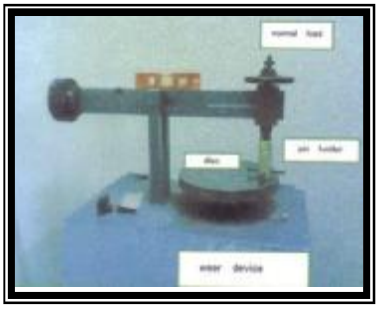
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



الشكل (1) " البلى الالتصاقي" [10].

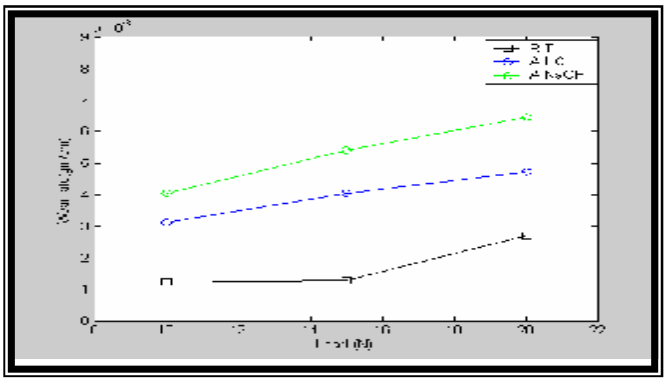


الشكل (2) يوضح : (a) قالب الصب.
(b) عينة البلى .
(c) صورة فوتوغرافية لخلطة الاختبار.

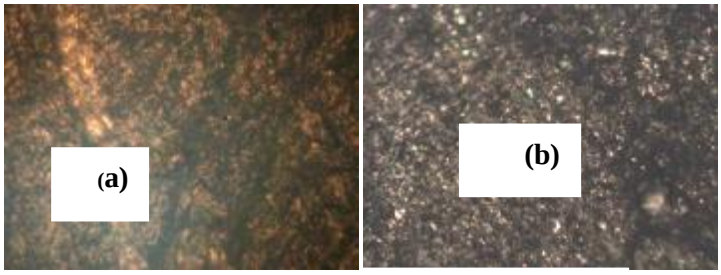


الشكل(3) يبين جهاز البلى الانزلاقي المستعمل .

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



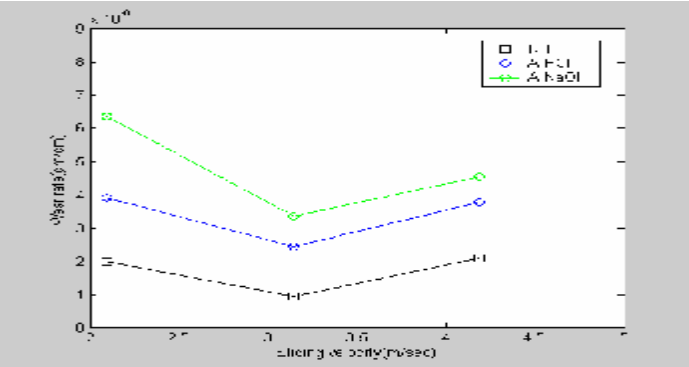
الشكل (4) يبين تغير معدل البلى مع الحمل المسلط .



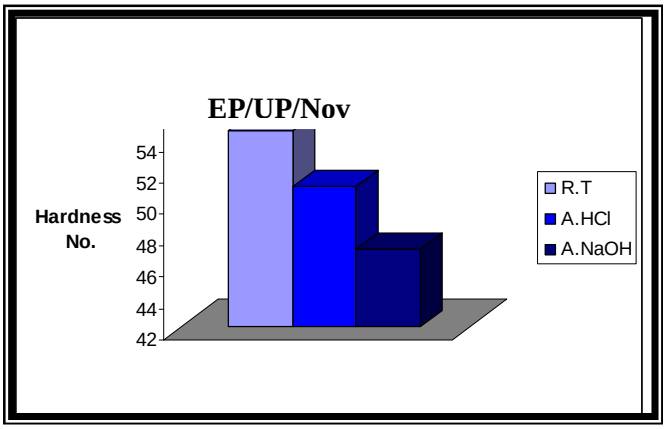
الشكل (5) صور مجهرية للنماذج :
(a) قبل اختبار البلى .
(b) بعد اختبار البلى .

الشكل (6) صور مجهرية للنماذج المغمورة في المحاليل الكيميائية :
(a) المحلول الحامضي .
(b) المحلول القاعدي .

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



الشكل (7) يبين تغير معدل البلى مع السرعة الانزلاقية.



الشكل(8) يبين تاثير محاليل الغمر في مقاومة الصلادة

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