دراسة بعض الخواص الميكانيكية لمادة بوليمرية مقواة برايش و مسحوق النحاس

الدكتور المهندس علي حسين عتيوي
أستاذ مساعد
قسم هندسة المواد
الجامعة التكنولوجية

المهندس ليث وضاح اسماعيل
مدرس
قسم هندسة المواد
الجامعة التكنولوجية

المهندسة أسيل محمود عبد الله
مدرس مساعد
قسم هندسة المواد
الجامعة التكنولوجية

الخلاصة

في هذا البحث تم استخدم رايش ومسحوق النحاس لتقوية مادة البولي استر لانتاج مادة متراكبة. تم إجراء الفحوصات الميكانيكية مثل مقاومة الانحناء واختبار الصدمة للمادة البوليمرية المقواة برايش ومسحوق النحاس، وقد وجد ان أقصى مقاومة انحناء للمادة البوليمرية المقواة بالنحاس (المسحوق والرايش) هي (85.13 Mpa)و (50.08 Mpa) على التوالي، بينما أعلى طاقة ممتصة في فحص الصدمة للمادة البوليمرية المقواة بالنحاس (المسحوق والرايش) هي (0.85 J) و (0.4 J) على التوالي.

Study of Some Mechanical Properties for a Polymer Material Reinforcement with Chip or Powder Copper

Abstract

In this paper, chip and powder copper are used as reinforcing phase in polyester matrix to form composites. Mechanical properties such as flexural strength and impact test of polymer reinforcement copper (powder and chip) were done, the maximum flexural strength for the polymer reinforcement with copper (powder and chip) are (85.13 Mpa) and (50.08 Mpa) respectively was obtained, while the maximum observation energy of the impact test for the polymer reinforcement with copper (powder and chip) are (0.85 J) and (0.4 J) respectively.

الكلمات الرئيسية:- بولي أستر، رايش النحاس، مسحوق النحاس، مقاومة الانحناء، اختبار الصدمة.

الدكتور المهندس علي حسين عتيوي
المهندس ليث وضاح اسماعيل
المهندسة أسيل محمود عبد الله

المقدمة:-

تتألف المواد المتراكبة ذات الاساس البوليمري المقواة بالجسيمات من مدى واسع من مواد التقوية [Brian S., 2004]. تعتبر الهشاشية من المشاكل المهمة التي تعاني منها البوليمرات المتصلدة بالحرارة (Thermosetting) مثل البولي استر غير المشبع (polyester) ، مما يحدد أستعمالها في التطبيقات الهندسية عندما تكون متانة الفشل (Fracture toughness) لها قليلة وخاصة في درجات الحرارة المنخفضة. من جهة أخرى تمتلك هذه المواد البوليمرية خواص معينة مرغوبة جداً مثل الكثافة المنخفضة والمقاومة الجيدة للتآكل. المواد البوليمرية يمكن زيادة مقاومتها ضد التشقق بإضافة جسيمات من مواد معينة والتي تسمى بالحشوات (Fillers) وان طبيعة هذه الجسيمات مثل حجمها وتركيزها ذات اهمية بالغة على مقدار المتانة التي يكتسبها البوليمر[**أ.د. قحطان خلف، 2009**].

ان المادة البوليمرية الناتجة من التقوية بالجسيمات تدعى المادة المتراكبة المقواة بالجسيمات. تحدث التقوية في هذه المواد عندما تعمل الجسيمات كعوائق تشويه المادة الاساس اثناء التحميل وتكون هذه الجسيمات عادة في عدة اشكال منها الكروية أو القشرية أو الابرية أو الخيطية. حيث تعمل هذه الجسيمات على تحسين الخواص الميكانيكية لمادة الاساس [W.D Callister, 2003].

يمكن تقسيم الحشوات بالنسبة لفعاليتها الى الاقسام الآتية [M.S Bhatnagar, 2004]:

أ- حشوات فعالة (Active fillers): وهي الحشوات التي تلعب دوراً كبيراً في تقوية المواد المرنة والمطاط وان اضافة هذه الحشوات الفعالة تحت درجة الانتقال الزجاجي تقلل الهشاشية.

ب- الحشوات غير الفعالة (Inactive fillers): تستعمل هذه الحشوات لتقليل كلفة المادة ولتحسين المنتجات البوليمرية من حيث الشكل والحجم. وتعمل هذه الحشوات على زيادة معقولة في الحجم وبذلك فان نسبة الحشوة للمادة تكون مهمة جداً وتكون هذه الحشوات عضوية مثل (النايلون والرايون) او غير عضوية مثل (الزجاج والكاربون).

الدراسات السابقة وهدف البحث

قام الباحث [N.M. Sofian, 2001] وزملائه بدراسة مادة متراكبة ذات اساس بوليمري مستخدماً المساحيق التالية

(نحاس Cu، زنك Zn، حديد Fe، البرونز Sn) كحشوات للمادة الاساس بولي أثيلـين (Polyethylene) بنسبة كسر حجمي (0-24%)، وقد توصل البـاحثون عمليـاً ان الحشوات ذات كـسر حجمـي (0-16%) التي تم توزيعها بشكل متجانس في مـادة الاساس وبشكل أفضل من القيم الاخـرى للكسر الحجمي. كما وجـد ان الموصـلية الحرارية قد زادت وبشكل كبيـر للمـادة المتراكبة التي تم فيها التوزيع المتجـانس للحشوات. قام الباحث **[Surgasarathi Bose, 2004]** وزميلـه بدراسـة تـاثير الحجم على الخواص الميكانيكيـة لمـادة بوليمرية مقواة بمـسحوق المايكـا حيـث استخدما نايلون (مادة بوليمريـة) مقـواة بمسحوق المايكا بحجوم حبيبيـة مختلفـة ووجد ان متانة الصدمة والانحناء تـزداد عند تقليل الحجم الحبيبي. كما قام الباحـث **[Munir Tasdemir, 2008]** وزميلـه بدراسة الخواص الميكانيكية لمادة متراكبة ذات اساس بـوليمري مقـواة بمـسحوق الحديـد بكسر حجمي (15،10،5) %. ووجدوا ان البولي اثيلين في اختبار الصلادة أعطـى نتائج افضل من البولي بروبلين والبـولي ستايرين عند التقوية بمسحوق الحديد. بينما اختبار الصدمة للبولي اثيلين أعطى نتـائج غير جيدة وأقل من البولي بروبلين والبولي ستايرين.

يهدف البحث الحالي الى الاسـتفادة من رايش النحاس الذي يعتبر من مخلفات عملية الخراطة كمادة تقوية للبولي اسـتر لانتاج مادة متراكبة ذات اساس بـوليمري مقواة برايش النحاس بكسور وزنية مختلفة (0.5%،0.8%،1% and 1.5%) ودراسة بعـض الخـواص الميكانيكيـة للمـادة البوليمرية المقواة مثل مقاومـة الانحنـاء والصدمة ومقارنة النتائج للبـولي اسـتر المقوى بمسحوق النحاس لـنفس الكـسور الوزنية. وفي بحثنا هذا محاولة للمـساهمة في الاستفادة من المخلفات الصناعية خدمةً للأقتصاد الوطني والمحافظة على البيئة.

الجزء العملي:-

- المواد المستعملة

المواد المستعملة فـي تحـضير النمـاذج المصنعة تقسم كالآتي:

1) مادة الاساس

تم أستعمال البولي استر غير المشبع (Polyester) كمادة اسـاس وهـو مـادة بوليمرية من نوع البـوليمرات المتـصلدة بالحرارة (Thermosetting) الـسعودي المنشأ على هيئة سائل لـزج شـفاف ذو لزوجة (1000 بنتي بواز) عنـد درجـة حـرارة ($25\ C^0$) ووزن نـوعي (1.15) يتحول الى الحالة الـصلبة بعـد اضـافة

المصلد اليه الذي يكون ايضاً سائل لـزج شفاف.

2) مادة التقوية

تم أستعمال النحاس النقـي (Cu) وبعـدة اشكال:

* رايش النحـاس المنـتج مـن عمليـة الخراطة ويكون على نوعين رايش نـاعم بحجم حبيبـي حـوالي ($300\,\mu m$) كمـا موضح في الشكل (1).

* مسحوق النحاس النقي (Cu) ذو الحجم الحبيبي ($53\text{-}55\,\mu m$) كما موضـح فـي الشكل (2).

تم حساب الحجم الحبيبـي للنحـاس (المسحوق والـرايش) بأسـتعمال عمليـة الغربلة بواسطة جهاز الغربلة الكهربائي.

- القوالب المستعملة

لقد تـم تـصنيع قالـب ذو قاعـدة وجوانب من الخشب المـصقول وتكـون الجوانـب متحركـة ومرتبطـة بالقاعـدة بواسطة المثبتات. وهذه الجوانب تكـون متغيرة على وفق ابعـاد العينـة المـراد تصنيعها. حيث ابعاد القالب المستخدم فـي البحث هي (220 x 200 mm).

- تحضير العينات

لقد تم أسـتعمال الطريقـة اليدويـة (Hand-lay-out) في تحضير النمـاذج حيث نبدأ بعملية المزج. علماً أن التقويـة بكسور وزنية مختلفة هـي (1.5% and 1.2%,1%,0.8%,0.5%) وتمزج مـادة الأساس مع المصلد عند درجـة حـرارة الغرفة. ونخلط المـزيج بـشكل مـستمر وببطىء ويستمر المـزج لمـدة (8-10) دقائق الى ان يتجانس الخليط ثم يتم صـب المزيج السائل على شكل سيل من احـدى جوانب القالب بحيث يسيل بصورة مستمرة ومنتظمة ثم يوضع القالـب علـى هـزاز كهربائي ونبدأ عملية هـز القالـب لفتـرة زمنية (1-2 min) للتخلص من الفقاعـات الهوائية.

بعد اجراء العمليـات الـسابقة تـم الحصول على نمـاذج المـواد المتراكبـة (Composite) بهيئة ألـواح بعـدها تـم إجراء عملية التقطيع لغرض تهيئة النماذج حسب المواصفات القياسـية التـي تفـي بمتطلبات الفحوصات الميكانيكية والـشكل (3) يوضح العينـة بعـد أجـراء عمليـة التقطيع.

- الفحوصات

من الفحوصات التي اجريت على النماذج المحضرة :

فحص الصدمة:

لقد تم استعمال جهاز شاربي لفحص الصدمة (Charpy Impact test) حيـث تم أستعمال النماذج بأبعاد قياسـية (80 x 10 x 4 mm) وبدون حـز علـى وفـق النظام العالمي(ISO-179).

فحص الانحناء:

لقد تم تحضير عينات الانحناء بابعاد قياسية (191 x 13 x 4.8 mm) وبنسبة طول الى السمك (span to Depth Ratio) مقدارها 1:32 على وفق المواصفات الامريكية (ASTM D-790).

المناقشة:-

- أختبار فحص الصدمة (Impact Test)

نلاحظ من الجداول (1) ان طاقة الصدمة الممتصة اللازمة لحدوث الكسر للبولي استر بدون تقوية قليلة والتي تبلغ (0.18 J) مقارنة مع جميع النماذج المقواة بالنحاس على اختلاف اشكاله (المسحوق او الرايش) وعلى اختلاف نسب الكسور الوزنية ويعزى سبب ذلك الى ان مادة البولي استر هي مادة هشة مما يحدد أستعمالها في التطبيقات الهندسية **[أ.د. قحطان خلف، 2009]**. ان الفشل يحدث في المادة البوليمرية غير المقواة الخاضعة لفحص الصدمة بتحطيم الارتباطات او القوى فيها وذلك بنمو الشقوق الاولية المحدثة بفعل اجهادات الصدمة وان الشقوق المتولدة تنمو وتتكاثر بشكل كبير وسريع باتجاه السطوح البينية الفاصلة بين السلاسل البوليمرية لان القوى بين هذه السلاسل المتمثلة بقوى فاندرفالز (Vandervalls) تتطلب طاقة قليلة للتغلب عليها. اما الشقوق الممتدة بالاتجاه العمودي على اتجاه السلاسل البوليمرية فأنها تعمل على تحطيم تلك السلاسل خلال عملية نمو الكسر (Propagation)، ومن الجدير بالذكر ان هذا الامر يتطلب طاقة للتغلب على تلك القوى المسؤولة عن ربط الوحدات التركيبية **[J. S. Wu, 1989]**، والتصنيع الجيد للمادة البوليمرية يحافظ على المادة ويمنع الكسر في الظروف الاعتيادية **[Prof. Ger Storbl, 2007]**.

ان الشكل (4) يوضح تأثير تغير الكسر الوزني لمسحوق النحاس المضاف الى البولي استر على الطاقة اللازمة لحدوث الكسر بالصدمة ويلاحظ من المخطط ان هذه الطاقة تزداد مع زيادة الكسر الوزني وذلك نتيجة عمل هذه الدقائق كحواجز امام الشقوق النامية خلال المادة المتراكبة أي تعمل على اعاقة نمو الشق وهذا سيؤدي الى تغيير شكل واتجاه الشق مما يؤدي الى تحوله الى مجموعة شقوق ثانوية، كما ان هذا التغير في شكل الشق واتجاهه يؤدي الى زيادة المساحة السطحية للكسر والطاقة المصروفة. ان سلوك انشاء الشق في المتراكبات يختلف عن مثيلاتها في المواد غير المقواة، ففي المواد المتراكبة ذات الاساس البوليمري يعتمد انتشار الشق على

مناطق متعددة منها المادة الاساس ومنطقة السطح البيني ومـادة التقويـة [R. M. Jones, 1975]. ان تخليق العيب ونمـو الشق في المادة المتراكبة المـستعملة فـي البحث حدث في مـادة الاسـاس او عنـد السطح البيني، او عند مادة التقويـة لانـه عادة يكون تخليق ونمو الشق فـي ثلاثـة مواقع هي (مادة الاسـاس او فـي مـادة التقوية او عنـد الـسطح البينـي)، فيمـا لانستبعد وجود فجـوات عنـد أو حـول مناطق التقوية مما يـؤدي الـى مـصدر لتخليق ونمو الشق، وان الكسر الذي حصل في العينات هو كسر هش لانه حدث فجـأة دون ان نتمكن من تمييز أي تـشوه لـدن وهذا هو سلوك الكسر الهش، وهو الكـسر الذي يحدث فجاة دون ان يسبقه أي تـشوه لدن [انـا. اتـاكر، 1984]، وقـد عرفـت خصائص الكسر الهش بدقة فـي المـواد الصلبة من قبل العالم (Griffth) وطورت بعدها من قبل العالم (Irwin) الذي فـسر آلية الكسر في المـواد الهندسـية [S. R. Allen, 1989].

وفي نفس الشكل (4) نلاحظ زيـادة في قيمة الطاقة الممتصة بالـصدمة مـع زيادة الكسر الوزني لرايش النحـاس ثـم تنخفض قيمة هذه الطاقـة فـي النمـوذج المقوى برايش النحاس (Chip) ذو الكسر الوزني (1.5%) ويعزى سبب ذلك الى ما يلي، اما التقوية قد تجاوزت الكسر الوزني الحرج اذ ان المادة المتراكبة عندما تتجاوز فيها المادة المـضافة تتغيـر الخـصائص الميكانيكية لها أو بسبب الزوايـا الحـادة للرايش المضاف التي تعمل علـى زيـادة الاجهادات الموضعية (Stress Raisers) وهي المناطق التي يسهل فيها خلق ونمـو الـشقوق [William D., 2007] أو السببان المذكوران أعلاه معاً.

ومن الجدول (1) الذي يستعرض قيم الطاقة الممتصة اللازمة للكسر بالـصدمة مع الكسر الوزني لمسحوق رايش النحاس نلاحظ انخفاض قيمـة الطاقـة الممتـصة اللازمة لحدوث الكسر أقل للمادة المتراكبة المقواة برايش النحـاس (Chip) مقارنـةً بتلك المقواة بمسحوق النحاس لنفس الكسر الوزني ولجميع الكسور الـوزني، وهـذا يعود الى النهايات الحادة للرايش (Chip) وهي مناطق تتمركـز فيهـا الاجهـادات ومناطق نمو للشق وتكون مـصدر آخـر لنمو الشقوق ولهذا تحتـاج طاقـة قليلـة لحدوث الكسر حيث ان النهايات الحادة هي مناطق تتمركز فيها الاجهادات ومنـاطق نمـو الـشق [William D., 2007]، وللحصول على تقوية عالية يجب اعتمـاد دقائق صغيرة وبمـدى ضـيق وبتوزيـع متجانس داخل مادة الاساس وبكسر وزني مناسب [William D., 2007].

- أختبار مقاومة الانحناء (Flexural Strength)

يوضح الشكل (5) العلاقة بين مقاومة الانحناء والكسر الوزني لمادة التقوية في المادة المتراكبة ذات الاساس بولي أستر المقواة بمسحوق النحاس، حيث يلاحظ زيادة المقاومة مع زيادة الكسر الوزني ويعزى سبب ذلك الى حدوث التقوية، وتحمل مادة التقوية معظم الاجهادات المسلطة وتعمل على توزيعها في المادة الاساس وبالتالي تحول دون تمركز الاجهادات في منطقة معينة، مما أدى الى الحاجة الى اجهاد أكبر لحدوث الفشل عند زيادة الكسر الوزني للمسحوق. كما نتوقع وجود ترابط مابين مسحوق النحاس ومادة الاساس (البولي أستر) والذي يؤدي الى نشوء سطح بيني جيد بحيث ان حصول الكسر يحتاج الى اجهاد أكبر لحدوثه، وان التقوية أو تحسين الخواص الميكانيكية يعتمد على الربط الجيد للسطح البيني ما بين مادة الاساس والتقوية **[William D., 2007]**.

في نفس الشكل (5) نلاحظ أن مقاومة الانحناء للمادة المتراكبة المقواة برايش النحاس قد قلت عن المادة المتراكبة المقواة بمسحوق النحاس لنفس قيم الكسر الوزني، فمثلاً عند الكسر الوزني (1.5%) لمسحوق النحاس بلغت مقاومة الانحناء (85.13 Mpa) بينما للمادة المقواة برايش النحاس بلغت (50.08 Mpa) لنفس الكسر الوزني ويعزى سبب ذلك الى صعوبة السيطرة على حجم وشكل ومقدار الشقوق للمادة المقواة بالرايش، قد يحتوي الرايش على شقوق او حزوز حول حافتيه والتي تكون مراكز الضعف عن التقوية.

يحدث الفشل في العينات بسبب الاجهادات المسلطة وهي اجهاد الشد والانضغاط والتي تحدث في مواقع مختلفة وبنفس الوقت لان العينات في اختبار الانحناء الثلاثي النقاط تتعرض بصورة عامة الى أجهاد شد على احد جانبي العينة واجهاد انضغاط على الجانب المقابل **[أ.د. جعفر الحيدري، 2003]**.

الاستنتاجات:-

أ- الطاقة اللازمة لحدوث الكسر تزداد بزيادة الكسر الوزني لمسحوق النحاس في البولي استر، بينما للبولي استر المقوى برايش النحاس تنخفض الطاقة اللازمة لحدوث الكسر بعد زيادة الكسر الوزني أعلى من 1%.

ب- ان مقاومة الانحناء والطاقة اللازمة لحدوث الكسر لمادة البولي استر المقوى بمسحوق النحاس تعطي نتائج أفضل من البولي أستر المقوى برايش النحاس لنفس الكسور الوزنية.

ج- ان مقاومة الانحناء لمادة البولي أستر المقوى برايش النحاس أو بمسحوق النحاس تزداد بزيادة الكسر الوزني.

المراجع :-

- Brian S. Mitchell, "An Introduction to Materials Engineering and Science for Chemical and Materials Engineers", John Willey & Sons, 2004.
- J. S. Wu, K. Friedrich and M. Grossot, "Impact Behavior of Short Fiber/Liquid Crystal Polymer Composites", Composite, Vol.20, No.3, PP. 223-233, 1989.
- M.S Bhatnagar "A Textbook of Polymers, Chemistry and Technology of Polymers – Processing and Aapplication", By Dr. Published by S. Chand & Company LTD, New Delhi, 2004.
- Munir Tasdemir and H. Ozkan Gulsoy, "Mechanical Properties of Polymer Filled with Iron Powder", International Journal of Polymeric Materials, Vol.57, Issu 3, PP. 258-265, 2008.
- N.M. Sofian, M. Rusu, R. Naegu and E. Neagu, "Metal powder-Filled Polyethylene Composites. V. Thermal Properties", Journal of Thermoplastic Composite Materials, Vol 14, No1, PP. 20-30, 2001.
- Prof. Ger Storbl, "The Physics of Polymer", Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
- R. M. Jones, "Mechanics of Composite Materials", 1st Edition, chap.1, New York (1975).
- S. R. Allen and E. J. Roche, "Deformation Behavior of Kevlar, aramid Fiber", Polymer, Vol.30, No.6, PP. 996-1003, 1989.
- Surgasarathi Bose and P.A. Mahan war, "Effect of Particle Size of Filler on Properties of Nylon", Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, Vol.3, No.1, PP. 23-31, Printed in the USA, 2004.
- W.D Callister, JR." Materials Science and Engineering An Introduction", 6th ed., John Wiely and Sons, Inc., New York, 2003.
- William D. Callister, Jr, "Materials Science and Engineering an Introduction", Joh Wiley & Sons, Inc, 2007.

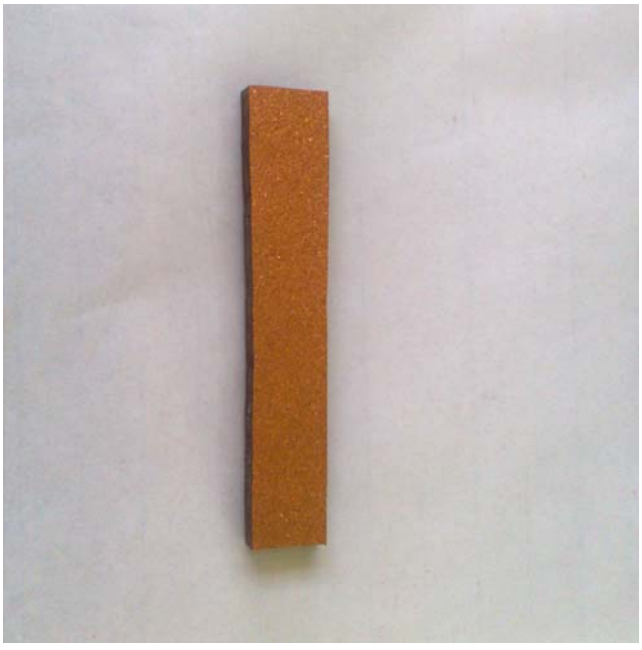
- أ.د. جعفر الحيدري، "أختبارات المواد الهندسية"، دار المعتز للنشر والتوزيع، 2003.
- أ.د.قحطان خلف الخزرجي، "مبادىء هندسة المواد اللامعدنية"، دار دجلة للنشر، الطبعة الاولى، 2009.
- انا. اتاكر ، ترجمة د. أكرم عزيز محمد "الكيمياء الفيزيائية للبوليمر"، جامعة الموصل، الموصل، 1984. مطابع جامعة.

جدول (1) العلاقة بين نسبة الكسر الوزني والطاقة الممتصة اللازمة لحدوث الكسر بالصدمة

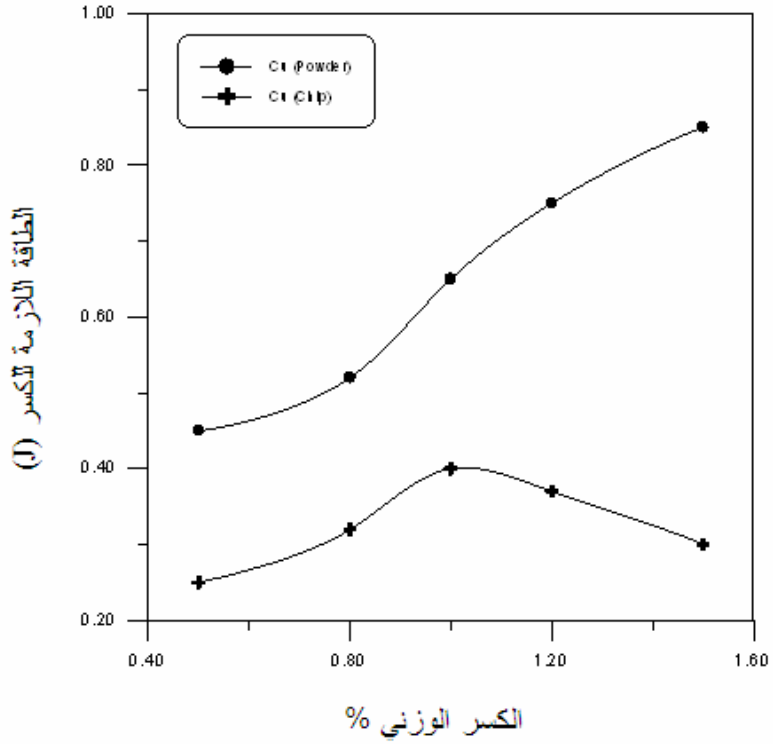
الكسر الوزني %	الطاقة الممتصة اللازمة لحدوث الكسر بالصدمة J	
	بولي أستر مقوى بمسحوق النحاس	بولي أستر مقوى برايش النحاس
0.5	0.45	0.25
0.8	0.52	0.32
1	0.65	0.4
1.2	0.75	0.37
1.5	0.85	0.3

الشكل (1) رايش النحاس المنتج من عملية الخراطة

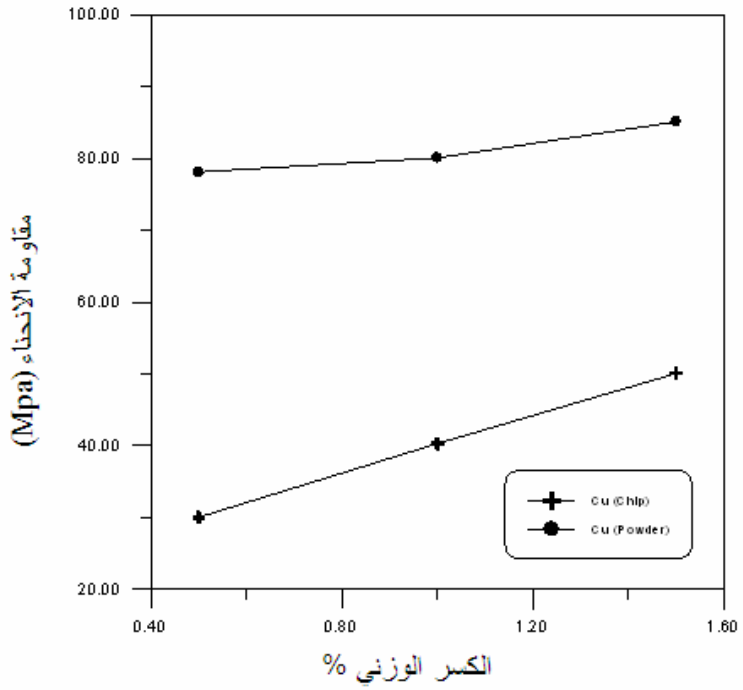
الشكل (2) مسحوق النحاس المستخدم في التقوية



الشكل (3) عينة المادة المتراكبة الناتجة بعد عملية التقطيع المقواة بمسحوق النحاس



الشكل (4) العلاقة بين الكسر الوزني والطاقة الممتصة اللازمة للكسر للبولي أستر المقوى بالنحاس



الشكل (5) العلاقة بين الكسر الوزني ومقاومة الانحناء للبولي أستر المقوى بالنحاس