دراسة أهمية حساب الحجم الجزئي (volume fraction) للمواد المركبة المقواة بألياف الزجاج والكربون

زينب كاظم حنتوش العامري* د.حاتم كريم كاظم* و د.أسيل جاسم محمد*

تاريخ التسليم :2010/9/27
تاريخ القبول :2011/3/3

الخلاصة

تكمن اهمية دراسة خواص المواد المركبة لكثرة استخدامها في الصناعة وعلى الاخص تلك المستخدمة في تطبيقات الانابيب والاوعية ,صار من الضروري زيادة الاهتمام في دراسة الخواص لهذه المواد.وعليه سوف يتم عرض بعض النتائج التي وجدت بعد اجراء سلسلة من الاختبارات على الخصائص الفيزيائية لهذه المواد.وقد تم استخدام عينات من انابيب معرضة للضغط (ضغط داخلي).
اما طريقة الاختبار فتمت حسب المواصفة الامريكية القياسية ASTM-D2584 (1968) للمواد المركبة المقواة بالياف الزجاج وطريقة الكثافة للمواد المركبة المقواة بالياف الزجاج وطريقة الكثافة للمواد المركبة المقواة بألياف الكربون.
وقد تم عرض هذه النتائج في جداول موضحة سلسلة التجارب (الاختبارات) التي تم اجراؤها عليها فوجد ان الحجم الجزئي(Volume Fraction) للمواد المركبة المقواة بالياف الزجاج هو(0.476) والمقواة بالياف الكربون هو (0.540).

الكلمات المرشدة:الحجم الجزئي , ألياف الزجاج, المواد المركبة, ألياف الكاربون.

Studying The Importance of Evaluation And Determination of Volume Fraction Values For Wound Glass And Carbon Fiber Reinforced Composites

Abstract

The wide and increased use of the composite materials in industry especially into important applications such as pipes and pressure vessels tends to give the study of their properties more importance, so results will be presented from a series of tests on the physical properties of composite materials . Specimens cut from pipes made from composite materials to be tested under internal pressure loadings have been tested by using a series of ASTM D2584 (1968) standards test methods for glass fiber reinforced composites and the density method for carbon fiber reinforced composites .The results from this series of tests have been tabulated and presented. The volume fraction for the glass and carbon fibers were found to be 0.476 and 0.540, respectively.

المقدمة

بالنظر لحسن الاداء(performance) للمواد المركبة في تطبيقات الهياكل(structure) فقد ازداد اسخدامها لهذا المجال ومنذ الستينات من القرن الماضي ولكن الدراسات على هذه المواد كانت قد اجريت قبل ذلك بحوالي 20 سنة.
وكانت تعتمد اجراء الاختبارات بطريقة تقليدية(conventional) لايجاد الخواص الميكانيكية والفيزيائية في البدايات وهي نفس

* قسم الهندسة الكهروميكانيكة ،الجامعة التكنولوجية/ بغداد

https://doi.org/10.30684/ etj.29.4.18
University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq/2412-0758
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

الطرق المستخدمة للمعادن(metals) وبقية المواد الهندسية المتجانسة(Homogenous)وتلك التي تمتلك خواص متساوية الاتجاهات وتسمى اتجاهية (Isotropic).

ولما كانت المواد المركبة غير متجانسة (Non Homogenous) وكذلك غير اتجاهية(anisotropic) غير متساوية الخواص بالاتجاهات المختلفة ,فأنها تتطلب اجراء اختبارات خاصة لايجاد الخواص الفيزيائية والكيمياوية وبطرق متخصصة وبتقنيات خاصة بحيث تتوافق وتتناسب مع خواص المواد المركبة .[3] .

لكي تحدد المقاومة والجساءة للمواد المركبة فيجب ان تجري عدة فحوصات على المواد التي يصنع منها الهيكل .تلك الفحوصات تهدف الى تقييم المزايا الميكانيكية والفيزيائية لجزيئات ألياف المواد المركبة وهذا مهم جدا في تحديد مواصفات المواد وكذلك لتوفير جهود التصليح.[6, 5, 4]

لقد كان استخدام المواد المركبة مقتصرا على بعض التطبيقات الثانوية والخاصة,اما في الوقت الحاضر فصار استخدامها اكثر من ذي قبل بحيث تستخدم في التطبيقات لاجزاء اساسية ورئيسية وذلك لما تتمتع به هذه المواد (المواد المركبة) من خواص. اذ انها تتميز بالجمع الجيد ما بين مجموعة من الخواص بحيث تكون خواصها الميكانيكية والحرارية اضافة الى خواص الحماية الجيدة بحيث يمكن استخدامها في اوساط معرضة للتأكل مع المقاومة والمتانة العالية والوزن القليل مع حسن الاداء بحيث تتفوق على المواد التقليدية .

ولما كان انتاج وتصنيع المواد المركبة يتم بطرق مختلفة مع ضرورة فهم السلوك لهذه المواد تحت ظروف التحميل المختلفة ,اصبح من الضروري والمهم التوسع في فهم ودراسة الطرق المختبرية لايجاد الخواص الميكانيكية والفيزيائية لها ومدى سهولة طرق الاختبار هذه للحصول على المعلومات المهمة .ذلك ان المواصفات التي تعطى من قبل المصنعين تكون بصورة عامة وذات قيم تقريبية (Average) وللمنتج ككل وليست بصورة تفصيلية ولكل جزء على حدة.

وهذا يمكن ان يكون من مصادر الخطأ عند اقتطاع اجزاء صغيرة كعينات من المنتج . كما ان المواصفات لايتم اعطاؤها بصورة تفصيلية من قبل المصنعين والمنتجين ,لذلك يتوجب اجراء الاختبارات من قبل المستخدم لايجاد قيم مضبوطة ودقيقة للمعلومات الضرورية .ذلك ان معرفة الخواص الميكانيكية الدقيقة ضرورية للمصمم في حساباته لاخذها في نظر الاعتبار في التصميم عند استخدام المواد المركبة وتعرضها للاحمال والاجهادات وبظروف مختلفة .

الغرض الاساسي من البحث هو تقديم تقنيات عمل لتهيئة العينات وتحليل طرق الاختبار ومراحلها وكيفية اجراؤها لايجاد الخواص الفيزيائية للمواد المركبة ,وقد تم اعتماد المواصفة الامريكية لجمعية الاختبار والمواد (ASTM)وتعتبر تلك الاختبارات مفيدة جدا لمثل هذه المواد الغير منتظمة التركيب(orthotropic).

المواد والطرق
Materials And Methods:

تم اختيار المواد المركبة الموضحة في الشكل رقم (1) من الانواع التالية:

1-مواد مركبة مقواة بالياف الزجاج مع مادة رابطة(ايبوكسي)

2-مواد مركبة مقواة بالياف الكربون مع مادة رابطة(ايبوكسي)

وكما يظهر في الجدول رقم(1) الخواص الميكانيكية لهذه الالياف والمادة الرابطة المستخدمة في هذا البحث هي الايبوكسي مع

مـــادة تصـــليد مـــن نـــوع MW215TA و MW215TB على التوالي.
اما الجدول رقم(2)يوضح الخواص الفيزياوية والميكانيكية للمادة الرابطة.

حســـاب قـــيم الحجـــم الجزئـــي للاليـــاف : Determination of fiber volume fraction (Vf)

في المادة المقواة بالالياف ,يكون توزيع هذه الالياف خلال المادة الرابطة بشكل متكرر او دوري(repeating or periodic) وهنالك بعض العشوائية ولكن بالتقريب الاولي للمقطع يمكن تمثيله بالمربع اوالسداسي (packed array) وأسماء هذه ال array مستمدة من شكل
المضلعات التي تصف نمط الترتيب لتعبئة الألياف ,والسداسي يكون أكثر احتمالا.
وكما يظهر في الشكل رقم (2) التركيب المجهري (microstructure)للمواد المركبة على فرض ان اي من الانماط يمثل بصورة معقولة بعض الدقة. حيث يبين الشكل مقطع عرضي تظهر فيه توزيع الألياف , اذ ان الألياف هنا موزعة بشكل هندسي باتجاه واحد ولكن توزيع الألياف لا يكون بهذا الشكل دائما اذ يعتمد على زاوية الألياف مثل ($90^o,45^o,0^o$ .. الخ.) , وهذ يقود الى اختلاف في كثافة الألياف وبالتالي يكون من الضروري حساب الحجم الجزئي لكل عينة.
وبتوجيه الانتباه الى وحدة الخلية(unit cell) لهذا النموذج نرى ان مساحة المقطع للالياف نسبة الى مساحة المقطع الكلي لوحدة الخلية يكافئ حجم الالياف نسبة الى الحجم الكلي للمادة المركبة .وهذا يعتبر من المقاييس المهمة للمواد المركبة ويسمى الحجم الجزئي للالياف وقيمته العددية تتمثل برقم مابين صفر الى واحد [7].
لما كان المحتوى لكل من الالياف والمادة الرابطة مؤثرا مهما في استجابة الخواص الميكانيكية للمواد,اصبح من الضروري قياسه بصورة دقيقة ولكل مادة يتم اختبارها اذ انها تساعد في الاستجابة الميكانيكية .
من الممكن احتساب الحجم الجزئي للالياف(Vf) وبطريقة عملية وذلك بالوزن الشريحة lamina ثم ازالة المادة الرابطة وبعدها وزن الالياف[8] ,وقد تم تهيئة اربعة عينات لقياس الحجم الجزئي للمواد المركبة المقواة بالياف الزجاج.

طريقـــــــــــــة الاختبـــــــــــــار TEST METHOD

يتم وضع العينة في بوتقة ثم في الفرن بحيث يتبقى فقط اجزاء التقوية وبدون استخدام حشوة (filler) وعندما تختفي المادة الرابطة (resin) بصورة تامة نحصل على الطبقة المتبقية من الحرق .هذه الطريقة معروفة بأسم (طريقة الفقدان بالأشتعال) ignition loss method او عملية الاحتراق burn-out process.
ان طريق الحرق burning method (ASTM D2548-6) يمكن اعتبارها كطريقة بسيطة وفعالة لتحديد الحجم الجزئي للمادة الرابطة في المواد المركبة cured resin composite material,ولكن هنا بعض التحديدات في استعمال هذه الطريقة عند وجود filler ذلك لان الحشو هذا قد يحترق جزئيا او لايحترق البتة ,بحيث يبقى مع الالياف الزجاجية .وهذا يسبب صعوبات في ايجاد الحجم الجزئي للالياف .ولحد الان لا توجد طريقة قياسية معروفة لفصل الحشو عن الالياف والمادة الربطة هناك في المواد المركبة (في هذا العمل المنجز لم يتم اضافة اي حشو).
الأجهزة والمعدات المستخدمة:
1- فرجال يستعمل لقياس الطول والسمك للعينات (length and thickness).
2- فرن كهربائي (electric furnace) تصل درجة حرارته الى أعلى من 565^Oم لحرق العينات .

3-ميزان حساس له امكانية تحسس وقياس اوزان بحدود 0.01 غم.
4- بودقة من الخزف بسعة 30 مليلتر.
5- معدات سلامة مثل (قفازات).

عينات الاختبار

عينة الاختبار تحوي على مقطع واضح الشكل بحيث يوضح الاجزاء ,ويجب ان تكون بحجم ملائم (كبيرة)بحيث يقل الخطأ من ناحية وامكانية وزنها بدقة من ناحية اخرى ,بالاضافة الى ذلك يتم قطع العينة بحيث يتوضح اتجاهات الطبقات المؤلفة لها.

الأجراءات قبل اجراء الاختبار:

1- اعداد جدول مناسب لادراج البيانات المطلوبة.
2- اسم العينة وحجمها.
3- تحديد ابعاد العينة وايجاد قيمة متوسطة اذا كانت العينة غير منتظمة .
4-تسجيل طريقة الاختبار .

اجراءات الاختبار:

1- يتم تسخين البوتقة الى 600^{O} م لمدة 10 دقائق او اكثر .ثم يتم تبريدها الى درجة حرارة الغرفة ثم يتم وزنها الى حد اقرب (0.1 ملغم). وتدوين النتيجة في ورقة البيانات .
2- يتم تشغيل مفرغة الهواء في المختبر .
3- يتم وزن البودقة مع العينة بدقة لاقرب0.01 ملغم.
4- يتم وضع البوتقة وبداخلها عينة الاختبار في الفرن,ثم يوضع مؤشر التسخين للفرن الى 565^{O} م ,تبقى العينة داخل الفرن لمدة ساعتين على الاقل بحيث تختفي المادة الرابطة نهائيا (قد نحتاج الى وقت اضافي عندما تكون الطبقات اكثر سماكة).
5- يتم استخراج البوتقة من الفرن مع المواد المتبقية بداخلها ويتم تبريدها الى درجة حرارة الغرفة ,بعد ذلك يتم وزنها بدقة بأستخدام الميزان الحساس لايجاد كتلة المادة المحترقة.

Calculations of volume fraction of glass fiber:[5]

$$M_c = M_f + M_m \quad \text{.....(1)}$$

$$V_f = \frac{M_f}{\rho_f} \quad \text{.....(2)}$$

$$V_m = \frac{M_m}{P_m} \quad \text{.....(3)}$$

$$V_f = \frac{V_f}{V_c} \quad \text{.....(4)}$$

$$V_m = \frac{V_m}{V_c} \quad \text{.....(5)}$$

$$V_c = V_f + V_m \quad \text{.....(6)}$$

حيث ان:

M_c: وزن العينة (غرام)
M_f: وزن الفايبر (غرام)
M_m: وزن المادة الرابطة (غرام)
ρ_f: كثافة الفايبر (غرام\سم^3)
ρ_m: كثافة المادة الرابطة (غرام\سم^3)

V_c: حجم العينة (سم^3)
V_f: حجم الفايبر (سم^3)
V_m: حجم المادة الرابطة (سم^3)
$\mathbf{V_f}$: الحجم الجزيئي للفايبر
$\mathbf{V_m}$: الحجم الجزيئي للمادة الرابطة

النتـــــائج والمناقشـــــة:
Result &Discussion

تـم اختيـار اربعـة عينـات لغـرض اختبارهـا وتحليلها لتحديد الحجم الجزئي لألياف الزجاج وكمـا مثبـت فـي الجـدول رقـم(3) حيـث يبـين النتائج التي تم الحصول عليها للحجم الجزئي للالياف والتي تراوحت بين 46.7%-48.3% ومتوسـط القـيم هـو46.7% للحجـم الجزئـي للالياف الزجاجية .

امـا الشكل رقـم(3) فيوضـح شـكل العينـة قبـل وبعد الحرق ,وكما يظهر ان المـادة الرابطـة قد تـم ازالتهـا كليـا مـن عينـة المـادة المركبـة بعـد الحـرق. كمـا ان شـكل الألياف يبـدو بـنفس الصورة تقريبا قبل تشكيل العينة.

الحجم الجزئي لالياف الكربون:

تـم عمـل الاختبـارات لايجـاد محتـوى الالياف لالياف الكربون بالاعتماد على طريقة الكثافة Density method.وهذه الطريقة غير مفضلة للمـواد ذات المسـامية العاليـة مثـل السـيراميك. وعلـى فـرض ان المسـامية قليلـة لمـادة مـا فـأن الحجـم الجزئـي للألياف يمكـن ايجـاده بسـهولة ويسـر وبسـرعة وبتقـدير جيـد للقيمـة الناتجـة للحجم الجزئي وبأقل تحديد.

من الجدول رقم(1) ورقم(2) فأن قيم الكثافات لكل من الكربون والمادة الرابطة هي:1.8غم/سم^3 و 1.1غم/سم^3. تم ايجاد الحجم الجزئي لالياف الكربون من العينـات المستعملة ,بحساب الكثافة للمـادة المركبـة فـي الهـواء وفـي الكحول ,ولايجاد Vf ذلك تم قطـع اربـع عينـات من المواد المركبة من عينة مادة مركبة لاختبار الشد وكل عينـة تـم تجفيفهـا ووزنهـا فـي الهـواء ,ثـم تـم غمـر كـل عينـة منهـا فـي الكحـول مـن نـوع(2-بروبـانول) وتـم وزنهـا فـي محلـول البروبانول.

تم احتساب الكثافة للمادة المركبة بالاعتماد على قانون ارخميدس باستخدام المعادلة التالية :

$$\rho_c = W_{air}\rho_{2-propanol}/(W_{air} - W_{2-propanol}) \quad (7)$$

حيث ان:

ρ_c: كثافة المادة المركبة

$\rho_{2-propanol}$: كثافـــة الكحـــول (بروبانول-2)= 0.782 g/cm^3

W_{air}: وزن العينة في الهواء

$W_{2-propanol}$: وزن العينـــة فـــي الكحول

ثـم تـم ايجـاد الحجـم الجزئـي بأسـتخدام قاعـدة المخـاليط (rule of mixture) مـن المعادلـة (8)

$$V_f = \frac{\rho_c - \rho_{resin}}{\rho_{fiber} - \rho_{resin}} \quad \ldots\ldots\ldots (8)$$

حيث ان:

V_f: الحجم الجزئي للألياف

ρ_{fiber}: كثافة ألياف الكاربون = 1.8 g/cm^3

ρ_{resin}: كثافة الأيبوكسي = 1.1 g/cm^3

ρ_c: كثافة المادة المركبة (التـي تـم حسـابها مـن المعادلة (7))

وتراوحـت القـيم للحجـم الجزئـي للالياف مـن 53.7%-54.2% بينمـا كانـت قيمـة الكثافـة 1.483 غـم/سـم^3 وكمـا موضـحة فـي الجـدول رقم(4) القيمة المتوسطة للحجم الجزئي للالياف الكربون 54.0%.

الأستنتاجات Conclusions

- بصـــورة عامـــة ,يزودنـــا المصـــنعين والمنتجـين بقـيم متوسـطة للحجـم الجزئـي

ولخط كامل من الانتاج .ووجد ان هذه القيم تتفاوت وعلى نطاق واسع بين عينات من المصنِع ,ولما كانت هذه التفاوتات في القيم تؤثر في الخواص الميكانيكية لما للحجم الجزئي من تأثير كبير فيها ,فأصبح من الضروري ايجاد اختبارات لتقدير وايجاد الحجم الجزئي للالياف عند استخدام المواد المركبة والتعامل معها.

- لم يتم استخدام اي حشو filer في هذه المواد المركبة على الرغم من ان الحشو تتم اضافته لتحسين مقاومة الحرق fire resistanceولتقليل الكلفة للمواد المركبة بالاضافة الى تقليل الفجوات voids ولتحسين اللزوجة viscosity,ولكن من ناحية اخرى فأن الحشو يقلل من الخواص الميكانيكية للمواد المركبة بحيث ان كمية قليلة من الحشو يسبب في خفض مقاومة الصدمة للمواد المركبة [5].ان الحجم الجزئي لالياف الزجاج والكربون تم ايجادها بأستخدام طريقة Filament winding وكانت 0.540 & 0.476على التوالي.

المصادر:

[1] ASTM D2584. 1968. Standard test method for ignition loss of cured reinforced resins. Annual book of ASTM standards, Vol. 8.01, American Society for Testing and Materials, Philadelphia. pp. 328-329.

[2] Broyles N. S., Verghese K. N. E., Davis S. V., Li H., Davis R. M., Lesko J. J. and Riffle J. S.," Fatigue performance of carbon fiber/vinyl ester composites: the effect of two dissimilar polymeric sizing agents polymer", 39(15): 3417-3424. 1998.

[3] Donald F. Adams, Leif A. Carlson and R. Byron pipes, " Experimental characterization of advanced composite materials", 3rd Ed. By CRC Press LLC,2003.

[4] Enrique J. Garcia, Diego S. Saito, Ludovico Megalini A. John Hart, and Roberto Guzman de Villoria, and Brian L. Wardle," Fabrication and Multifunctional Properties of High Volume Fraction Aligned Carbon Nanotube Thermoset Composites", Journal of Nano Systems & Technology, Vol. 1 | No. 1,pp. 1-11, October, 2009.

[5] MOHD ZUHRI MOHAMED YUSOFF, MOHD SAPUAN SALIT, NAPSIAH ISMAIL & RIZA WIRAWAN, "Mechanical Properties of Short Random Oil Palm Fiber Reinforced Epoxy Composites", Sains Malaysiana ,pp.87–92,39(1)(2010).

[6] G. T. Pott, "Upgraded natural fibers for polymer composites". Euro mat 97, (5th
Conference on Advanced Material Science and Material Technology). Maastricht,
the Netherlands, Vol. 2, 107-113, (1997).

[7] Fatai Olufemi ARAMIDE, Isiaka Oluwole OLADELE, and Davies Oladayo FOLORUNSO," Evaluation of the Effect of Fiber Volume Fraction on the Mechanical Properties of a Polymer Matrix Composite", Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, p. 134-141,2009, http://lejpt.academicdirect.org.

[8] Wang X, Chung DDL.," An electromechanical study of the transverse behavior of carbon fiber polymer-matrix composite". Composite interfaces;5(3):191-199. 1998

[9]Hoo Tien Kuan, Wesley Cantwell and Hazizan Md Akil, "The Mechanical Properties of Hybrid Composites Based on Self-Reinforced Polypropylene", Malaysian Polymer Journal, Vol. 4, No.2, p 71-80, 2009, Available online at www.fkkksa.utm.my/mpj.

[10] Z. Gul Apalak, "Elastic Flexural Stresses in an Adhesively Bonded Functionally Graded Double Containment Cantilever Joint", Journal of Thermoplastic Composite Materials, Vol. 23, No. 1, 35-56 (2010).

جدول رقم(1)

Types of fiber	E_f(GPa)	υ_f	G_f(GPa)	ρ(g/cc)
Carbon fiber	228.0	0.31	41.16	1.81
Glass fiber	72.53	0.33	29.721	2.0

جدول رقم(2)

Item	Unit	WM-215 TA	WM-215 TB	Mechanical Properties of Matrix	
Appearance	-	White viscous liquid	Colorless liquid	E_m(GPa)	3.2
				υ_m	0.28
Viscosity	CPs@30C	5500+1000	30+20	G_m (GPa)	1.25
				ρ_m (g/cc)	1.1
Mixing ratio	-	100	25	Ultimate tensile stress (MPa)	51

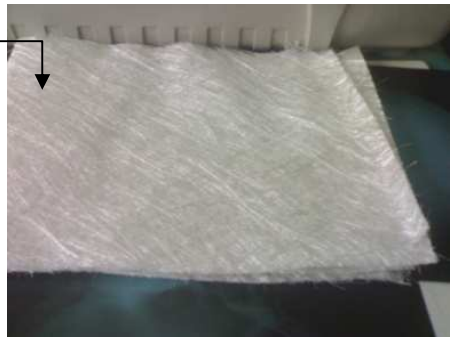
جدول رقم(3)

Specimen No.	Mass of Matrix(M_m)(g)	Mass of fiber (M_f)(g)	M_f/M_c	M_m/M_c	Vc cm^3	Vf cm^3	Vm cm^3	v_f	v_m
1	0.6662	1.0602	61.411	38.589	1.136	0.530	0.606	0.467	0.533
2	0.632	1.0468	62.3541	37.646	1.098	0.523	0.575	0.477	0.523
3	0.6332	1.0494	62.3678	37.632	1.100	0.525	0.576	0.477	0.523
4	0.6312	1.0732	62.9664	37.034	1.110	0.537	0.574	0.483	0.517
Average								0.476	0.524

جدول رقم(4)

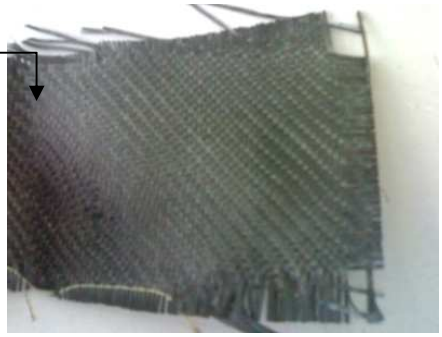
Specimen No.	Weight in air W air (g)	Weight in Propanol W2-propanol(g)	Composite density ρc(g/cc)	Volume fraction v_f
1	2.1738	1.0309	1.484	0.540
2	2.2777	1.0807	1.484	0.541
3	2.0877	0.9909	1.485	0.542
4	2.2616	1.0707	1.481	0.537
Average			1.483	0.540

ألياف الزجاج



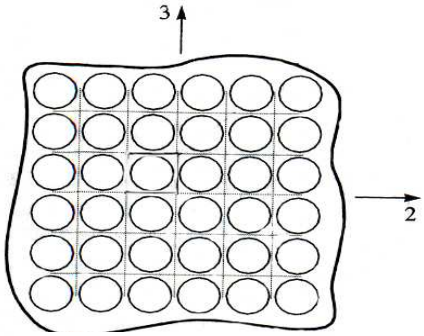
(a)

الياف الكاربون

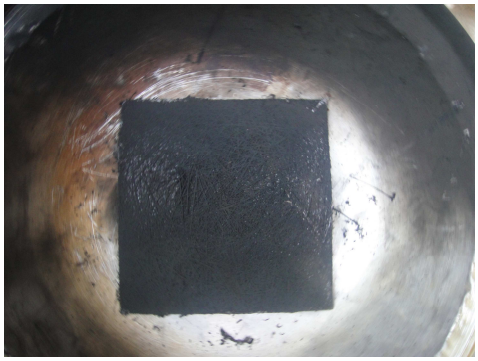


(b)

شكل رقم (1)



شكل رقم (2)



(a)

(b)

شكل رقم (3)