

تحضير مادة مركبة رباعي فلور الإيتلين - أكسيد الألمنيوم وتوصيف خواصها الفيزيائية والميكانيكية

طالب الماجستير: م. فخر الدين علي صلوح

المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا

الدكتور المشرف: رفيع جبره

المخلص

تمّ في هذا العمل تحضير مادة مركبة من بوليمير رباعي فلور الإيتلين مع أكسيد الألمنيوم، عن طريق المزج اليدوي، والكبس، والتلبيد. تمّ تحضير مواد مركبة تفلون - أكسيد الألمنيوم تحتوي على نسب مختلفة من أكسيد الألمنيوم 0%، 5%، 10%، 15%، 20%. دُرِس تأثير نسبة أكسيد الألمنيوم على الكثافة قبل المعالجة الحرارية للتلبيد وبعدها، وعلى الخصائص الميكانيكية لهذه المواد. بيّنت الدراسة انخفاض الكثافة التجريبية مع زيادة نسبة أكسيد الألمنيوم قبل المعالجة الحرارية وبعدها، وارتفاع المسامية مع زيادة نسبة أكسيد الألمنيوم قبل المعالجة الحرارية وبعدها مع حدوث تغير طفيف في المسامية بعد المعالجة الحرارية عنها قبل المعالجة الحرارية. أدت زيادة نسبة أكسيد الألمنيوم في المادة المركبة تفلون - أكسيد الألمنيوم إلى انخفاض الخصائص الميكانيكية بشكل عام، وكانت المادة ذات نسبة التقوية 5% و 10% أفضل المواد المركبة من ناحية الخصائص الميكانيكية.

الكلمات المفتاحية: التفلون، أكسيد الألمنيوم، المواد المركبة تفلون - أكسيد الألمنيوم، الكثافة، الخصائص الميكانيكية.

Preparation of polytetrafluoroethylene-aluminum oxide composite material and characterization of their physical and mechanical properties

Paper Research of Master Thesis

Eng. Fakhr Aldeen Sallouh

Dr. Rafi JABRAH

Abstract

The Present work covers the preparation and characterization of PTFE/aluminum oxide composite material. These composites were prepared by manual mixing, pressing and sintering. PTFE/aluminum oxide composites were prepared with different proportions of aluminum oxide, namely, 0%, 5%, 10%, 15%, 20%. The effect of aluminum oxide content on the density was studied before and after sintering treatment, while the mechanical properties of these composites were investigated after sintering treatment. The results showed that the experimental density of PTFE/aluminum oxide composites decreased and the porosity increased with increasing aluminum oxide percentage before and after sintering treatment, with a slight change in total porosity value after sintering treatment compared with their values before treatment. The increase in the percentage of aluminum oxide in the PTFE/aluminum oxide composite material led to a decrease in their mechanical properties in general, and the composite materials with 5% and 10% α -aluminum oxide showed the best mechanical properties.

Key words: Teflon, aluminum oxide, polytetrafluoroethylene-aluminum oxide composite materials, density, mechanical properties.

1- مقدمة.

استخدم الإنسان المواد المركبة منذ قرون طويلة، وتطورت مع مرور الوقت لتدخل مختلف المجالات الهندسية المتقدمة. فالمواد المركبة توفر خصائص مميزة يصعب إيجادها أو الحصول عليها من مادة هندسية واحدة، كما يمكن التحكم بالخصائص حسب الهدف والغاية من المادة. ومع التقدم التكنولوجي والصناعي، ازداد استخدام المواد المركبة في مختلف التطبيقات والمجالات والبياديين كالطيران والمعدات الرياضية والتطبيقات الطبية والفضائية.

المواد المركبة هي اجتماع مادتين مختلفتين أو أكثر بهدف الحصول على مادة جديدة تتفوق في أدائها على مكوناتها منفردة. من هنا، قد تكون المواد المركبة غير متجانسة وغير متماثلة المناحي، وتمتلك خصائص عالية لا يمكن الحصول عليها باستخدام المواد التقليدية. يحدث اجتماع المواد المكونة على مستويات بنيوية مختلفة تبدأ من المقياس الماكروي إلى المقياس الميكروي وحتى المقياس النانومتري.

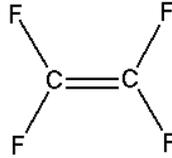
تتألف المادة المركبة في شكلها العام من مادتين، المادة الرابطة ومادة التقوية. تأخذ مادة التقوية أشكالاً متعددة: حبيبات أو صفيحات أو ألياف، وتكون مسؤولة عن الخصائص الميكانيكية للمواد المركبة، أما المادة الرابطة، فهي المسؤولة عن تماسك المادة المركبة وحمايتها من العوامل الخارجية [1,2].

تعتبر المواد المركبة البوليميرية إحدى أنواع المواد المركبة وأكثرها انتشاراً واستعمالاً، ويستخدم فيها طيف واسع من البوليميرات سواء كانت بوليميرات حرارية مثل التفلون والبولي بروبيلين وغيرها أو بوليميرات متصلبة حرارياً مثل الايبوكسي والبولي أستر وغيرها [2].

- بوليمير رباعي فلور الإيتلين (PTFE) - التفلون.

تم اكتشاف بوليمير رباعي فلور الإيتلين (PTFE) بالصدفة عام 1938 من قبل العالم Dr.RoyPlunkett الذي كان يعمل في شركة DuPont، حيث كان يعمل على تطوير غاز تبريد انطلاقاً من المركبات الفلورية، وكان يعتمد في تجاربه على مونومير رباعي فلور الإيتلين (TEF). وعند تفحصه لضغط الأسطوانة المملوءة بغاز ال (TEF)، لاحظ انخفاضاً كبيراً في ضغط الأسطوانة مع عدم وجود أي خسارة في وزنها، وبعد نزع صمام الاسطوانة، لاحظ وجود كمية صغيرة من مسحوق شمعي ابيض متجمع في قاعدتها، فكانت تلك أولى الغرامات المنتجة من بوليمير رباعي فلور الإيتلين (PTFE). سجلت لاحقاً شركة DuPont علامة تجارية لـ PTFE باسم Teflon في عام 1945، وفي العقود اللاحقة، قامت باستخدامه تجارياً بشكل كبير جداً. وأصبح تعبير التفلون المصطلح الأكثر انتشاراً للتعبير عن بوليمير رباعي فلور الإيتلين [3].

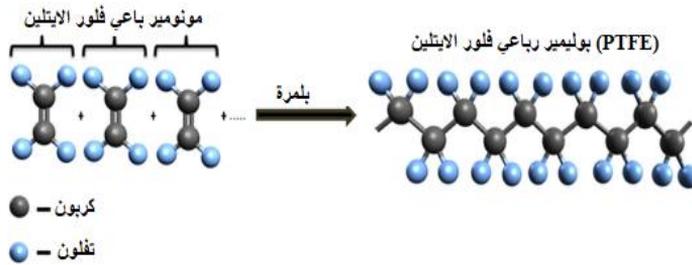
ينتمي التفلون إلى عائلة البوليميرات الفلورية المكونة من الكربون (C) والفلور (F) وهي بوليميرات خطية. يتم الحصول على التفلون من بلمرة مونومير رباعي فلور الإيتلين المشكل له، والموضح في الشكل (1).



الشكل 1: مونومير رباعي فلور الإيتلين.

يحتوي التفلون على الروابط (C-C)، و (C-F)، التي تعتبر من الروابط القوية جداً، حيث تصل طاقة الرابطة (C-C) إلى 607KJ/mol، وطاقة الرابطة (C-F) إلى 552 KJ/mol. لذلك، تأتي جميع الخصائص الرئيسية المميزة للتفلون من مقاومة بنيته الكيميائية.

يمكن تشبيهه بنية البوليمير بقضيب من ذرات الكربون مغلف بطبقة من ذرات الفلور. يكون قطر ذرات الفلور أكبر من قطر ذرات الهيدروجين الموجودة في البولي إيثيلين، لذلك، يُشكل الجزيء خطأً متعرجاً، وتتوضع ذرات الفلور بإحكام وبشكل حلزوني حول سلسلة الروابط (C-C) للبوليمير. يُشكل الفلور غلظاً مستمراً ومنتظماً حول سلسلة الروابط C-C، مما يحمي جزئ التفلون من التأثيرات الخارجية، ويمنحه مقاومة كيميائية، وثباتيه جيدة. يوضح الشكل (2) البنية الجزيئية للتفلون.



الشكل 2: البنية الجزيئية للتفلون.

يتميز التفلون بخصائص متفردة عن أغلب البوليميرات مثل درجة الإنصهار المرتفعة 342°C ، والحمول الكيميائي، ومعامل الاحتكاك المنخفض. بالإضافة إلى خصائص أخرى كمقاومة جيدة للاحتراق، ومقاومة جيدة للعوامل الجوية، وثابت عازليه ϵ_r منخفض $\epsilon_r \sim 2.1$ [4].

• أكسيد الألمنيوم Al_2O_3 - (الالومينا).

أكسيد الألمنيوم أو الالومينا هو مادة تتشكل في الطبيعة على شكل هيدروكسيد الألمنيوم الذي يشكّل المكون الرئيسي لفلزات البوكسيت والكورندوم، حيث يمكن عن طريق معالجة هذه الفلزات وتنقيتها من الشوائب الحصول على أكسيد الألمنيوم بنقاوة تصل إلى 99.5%. يتمتع أكسيد الألمنيوم برابطة أيونية قوية بين ذراته، يكون لها أثر كبير في إعطائه خصائصه المميزة [5].

• الدراسة المرجعية:

1- في عام (2004) تناول Rae وزميله، دراسة خصائص التفلون على الضغط. حيث جرى اختبار عينات من التفلون من إنتاج شركة DuPont على الضغط، عند مجال انفعال بين ($10^{-4} S^{-1}$)، وبين درجات حرارة ($198^{\circ}C$ - $200^{\circ}C$)، ومن أجل التحقق من التشوهات الصغيرة التي تحدث استخدم مقياس تشوه لتحديد التشوه العرضي والطولي، وحساب قيمة معامل بواسون. كما جرى قياس الخصائص الفيزيائية للتفلون بعد المعالجة الحرارية وقياس تبلوره [6].

2- في عام (2007)، تناول Okhlopkova وزملاؤه، الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والتريبولوجية للمواد المركبة النانوية تفلون- أكسيد الألمنيوم. حيث وضحت هذه الدراسة أن تقوية الـ PTFE بـ Al_2O_3 النانوية يحسن من الخصائص الميكانيكية والخصائص التريبولوجية فانخفض معدل الاهتراء لـ PTFE بحوالي 200 مرة، وانخفض معامل الاحتكاك مع زيادة نسبة الـ Al_2O_3 [7].

3- في عام (2013) تناول Xie Ting وزملاؤه، خصائص فيلم الانتقال والخصائص التريبولوجية للمواد المركبة (تفلون - أكسيد). جرى تقوية التفلون بـ Al_2O_3 و Sic، بأحجام $14\mu m$ لـ Al_2O_3 ، وبأحجام $8\mu m$ لـ Sic، وبنسب وزنية (1%, 5%, 10%, 15%, 20%). توصلوا إلى إن معامل الاحتكاك للمادتين المركبتين (Al_2O_3 - PTFE) و (Sic - PTFE) متقارب جداً، ولكن مقاومة الاهتراء لـ (Al_2O_3 - PTFE) أفضل من (Sic - PTFE). والخصائص الميكانيكية وقوة الالتصاق لفيلم الانتقال لـ (Al_2O_3 - PTFE) أفضل من (Sic - PTFE) [8].

2- هدف البحث.

- تحضير مادة مركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم $PTFE/Al_2O_3$ ، وتحديد الشروط العملية وخطواتها،

• دراسة تغير الكثافة والمسامية بدلالة نسبة أكسيد الألمنيوم في المادة المركبة PTFE/Al₂O₃،

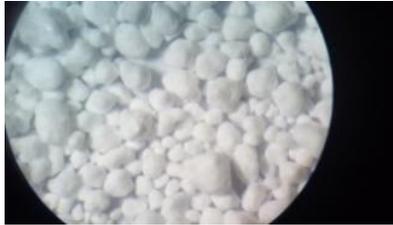
• دراسة الخصائص الميكانيكية لعينات من التفلون والمادة المركبة، واستقصاء تأثير تغير نسبة أكسيد الألمنيوم في المادة المركبة على هذه الخصائص.

3- مواد وطرائق البحث.

1.3 المواد المستخدمة.

1.1.3 بوليمير رباعي فلور الإيتلين (PTFE) التفلون.

بوليمير رباعي فلور الإيتلين (PTFE) الحبيبي التجاري من شركة Hoechst الألمانية، كثافته 2.27 g.cm^{-3} ، تتراوح أبعاد حبيباته بين بضعة عشرات من الميكرونات إلى 200 ميكرون. يُبين الشكل (3) صورة ملتقطة عند معاينة حبيبات البوليمير بالمجهر الضوئي، ويلاحظ تنوع أحجام حبيباته وأشكالها.



الشكل 3: صورة المجهر الضوئي للتفلون.

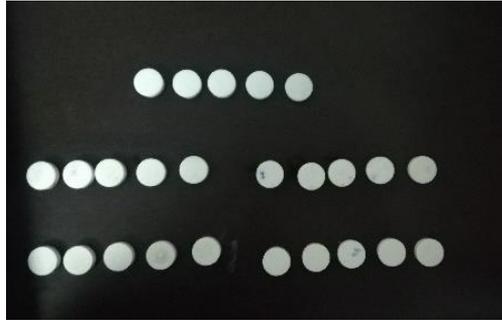
2.1.3 أكسيد الألمنيوم ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$).

مسحوق أكسيد الألمنيوم التجاري نوع $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ، كثافته 3.96 g.cm^{-3} ، جرى توصيف توزيع أبعاد دقائقه بواسطة انتشار الضوء باستعمال جهاز (الماسترسايزر)، حيث جرى بعثته في الماء المقطر، دون طحن أو تخيل، وأجريت جميع القياسات عند درجة حرارة الغرفة، وكانت أبعاد أقطار الحبيبات ($100\text{-}5 \mu\text{m}$).

2.3 تحضير العينات.

جرى تحضير العينات على ثلاث مراحل تشتمل على المزج، والكبس، والمعالجة الحرارية. حُضرت المواد المركبة باستعمال أربع نسب وزنية مختلفة لأكسيد الألمنيوم هي 5% و 10% و 15% و 20%، وطحن التفلون مع أكسيد الألمنيوم لمدة 10 دقائق تقريباً باستخدام الجرن والهاون لتأمين خلط جيد بين المادتين، ولتحاشي تجمع أكسيد الألمنيوم مع بعضه البعض، أو حدوث ترسيب لأكسيد الألمنيوم عند تحريك المادتين فقط بدون طحن، لأن كثافته أكبر من كثافة التفلون. جرى ذلك على دفعات لا تتجاوز 65g من مجموع المادتين، لتأمين حركة أسهل للمادتين. بالنسبة للعينات المحضرة من التفلون، استُخدم التفلون في عملية الكبس والقولبة كما هو من المصدر، لأن ضغط التشكيل المطبق على الحبيبات كافٍ لتأمين الالتصاق والالتحام بينها.

بعد ذلك كُبست العينات تحت ضغط 120 MPa خلال 4 دقائق تقريباً للتخلص من الفراغات والغازات داخل العينة قدر الإمكان. استُخدم قالب أسطواني الشكل قطره 25mm لتشكيل عينات الكثافة الموضحة في الشكل (4). واستُخدم قالب مستطيل الشكل أبعاده (104×13×10mm) لتشكيل عينات الشد الموضحة في الشكل (5- أ). بعد عملية المعالجة الحرارية، جرى قص عينات الشد باستخدام جهاز قص العينات كما في الشكل (5- ب) وفقاً لما هو موصى به في المواصفة العالمية 2012: ISO 527-2. جرى اختبار الخصائص الميكانيكية لعينة تفلون أجنبية جرى قصها من صفيحة تفلون أجنبية من السوق المحلية لمقارنة التفلون المُحضّر معها.



الشكل 4: عينات الكثافة.

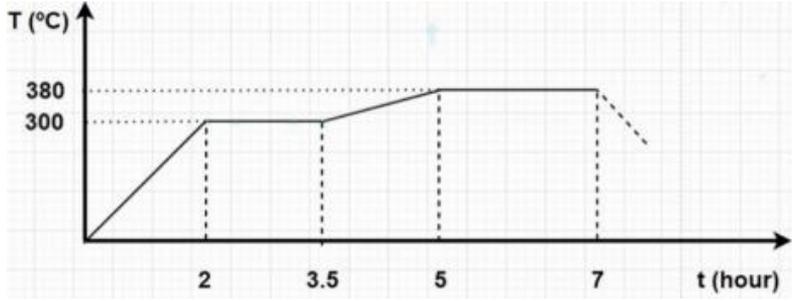


الشكل 5: أ- عينات الشد قبل القص. ب- عينات الشد بعد القص.

وتضمّن البرنامج الحراري المُعتمد للمعالجة الحرارية لجميع العينات المراحل التالية:

- رفع درجة الحرارة من درجة حرارة الغرفة إلى الدرجة 300°C بمعدل $4^{\circ}\text{C}/\text{min}$,
- تثبيت درجة الحرارة لمدة 1.5 ساعة للسماح للغازات والابخرة المحتجزة داخل العينة بالخروج،
- رفع درجة الحرارة من 300°C إلى 380°C خلال مدة 1.5 ساعة وهي أعلى من درجة انصهار التفلون،
- تثبيت درجة الحرارة على 380°C لمدة 3 ساعات لتأمين أفضل تجانس حراري داخل العينة، والتحام حبيباتها،
- تبريد العينات من الدرجة 380°C بشكل حر بعد إطفاء الفرن وبدون فتحه لعدم القدرة على التحكم بسرعة تبريد الفرن عند هذه الدرجة.

يُبين الشكل (6) المخطط الحراري للمعالجة الحرارية بمراحلها المختلفة التي تتضمن التخلص من الرطوبة والغازات والابخرة المحتجزة عند الدرجة 300°C ، وتجاوز درجة حرارة انصهار مادة التفلون عند الدرجة 327°C من أجل التليد في الطور السائل.



الشكل 6: المخطط الحراري للمعالجة الحرارية لعينات التفلون والمادة المركبة تفلون-أكسيد الألمنيوم.

3.3 طرائق القياس.

1.3.3 الكثافة والمسامية.

• الكثافة النظرية.

جرى حساب الكثافة النظرية للمادة المركبة تفلون-أكسيد الألمنيوم عند النسب الوزنية 5%، 10%، 15%، 20% قبل المعالجة وبعدها باستخدام العلاقة التالية [9]:

$$\rho_{th} = \frac{1}{\frac{W_{AL2O3}}{\rho_{AL2O3th}} + \frac{W_T}{\rho_{Tth}}}$$

حيث أن:

ρ_{th} : الكثافة النظرية للمادة المركبة (g.cm^{-3}).

ρ_{Tth} : الكثافة النظرية لمادة التفلون (g.cm^{-3}).

$\rho_{AL2O3th}$: الكثافة النظرية لأكسيد الألمنيوم (g.cm^{-3}).

W_T : النسبة الوزنية للتفلون في المادة المركبة (%).

W_{AL2O3} : النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم في المادة المركبة (%).

• الكثافة التجريبية والمسامية قبل المعالجة الحرارية.

جرى حساب الكثافة التجريبية للعينات المصنعة قبل المعالجة الحرارية بوزن العينة بعد كبسها، وقياس أبعادها باستخدام البياكوليس لحساب حجمها. وحُسبت الكثافة التجريبية والمسامية من خلال العلاقات التالية [10]:

$$\rho_{ex} = \frac{m}{v}$$

$$P = 1 - \frac{\rho_{ex}}{\rho_{th}}$$

حيث:

ρ_{ex} الكثافة التجريبية للتفلون وللمادة المركبة (g.cm^{-3})،

ρ_{th} الكثافة النظرية للتفلون والمادة المركبة (g.cm^{-3})،

v حجم العينة (cm^3)،

m وزن العينة (g)،

P المسامية (%).

• الكثافة التجريبية والمسامية بعد المعالجة الحرارية.

جرى حساب الكثافة التجريبية والمسامية بأنواعها المختلفة للمواد المركبة تفلون- أكسيد الألمنيوم باستخدام طريقة السائل المزاح وفق المواصفة (ASTM C20-00). حيث توزن العينة في الهواء الطلق قبل غمرها في الماء، ويُحدّد الوزن الجاف للعينة (m_d).

تُتَّع عينة الاختبار في الماء المقطر مع الإبقاء على درجة حرارته بحدود 85°C لمدة ساعتين، توزن العينة بعد ذلك في الهواء، ويُحدّد الوزن المشبع (m_s). ثم توزن العينة بعد غمرها في الماء، ويُحدّد وزن العينة المشبعة المغمورة في الماء (m_{si}) (وزن العينة وهي داخل الماء).

تحسب الكثافة التجريبية من العلاقة:

$$\rho_{ex} = \frac{m_d \times \rho_{fl}}{m_s - m_{si}}$$

وتحسب المسامية المفتوحة، والمسامية الكلية، والمسامية المغلقة على التوالي من خلال العلاقات التالية:

$$P_{op} = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_{si}} \times 100$$

$$P_{tot} = 1 - \frac{\rho_{ex}}{\rho_{th}}$$

$$P_{close} = P_{tot} - P_{op}$$

حيث أن:

ρ_{th} الكثافة النظرية للعينة (g.cm^{-3})

ρ_{ex} الكثافة التجريبية للعينة (g.cm^{-3})

P_{tot} المسامية الكلية (%)

P_{op} المسامية المفتوحة (%)

m_s الوزن المشبع (g)

P_{close} المسامية المغلقة (%)

m_d الوزن الجاف (g)

m_{si} الوزن المشبع المغمور (g)

ρ_{fl} كثافة السائل (الماء) عند درجة حرارة الاختبار (g.cm^{-3}).

2.3.3 الاختبارات الميكانيكية.

أجريت هذه الاختبارات باستخدام جهاز الشد من إنتاج شركة JINAN طراز WDW-50 على العينات المحضرة باستخدام القالب المستطيل، بعد قصها وفقاً للمواصفة ISO 527-2: 2012. جرى تثبيت طرفي العينة بين فكي الشد، وإدخال قيمة مساحة مقطع العينة، وسرعة الشد (5mm/min) إلى برنامج وحدة التحكم الحاسوبية. وجرى تفسير جميع قيم محس الإجهاد باستخدام لوحة مفاتيح التحكم المتصلة بجسم الجهاز. تخزن نتائج القياسات في ذاكرة الحاسب، ويمكن الحصول عليها على شكل ملفات قابلة للمعالجة.

تستنتج القيم التالية من مخطط الإجهاد- تشوه المستخلص من معالجة نتائج التجارب:

- معامل يونغ (Elasticity modulus) E (MPa).

$$E = \frac{\sigma_{Y2} - \sigma_{Y1}}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

حيث أن: σ_{Y1} و σ_{Y2} الإجهاد عند نقطتين في المنطقة الخطية من منحنى الإجهاد- تشوه للعينة المختبرة (MPa)، و ε_1 و ε_2 التشوه النسبي عند النقطتين نفسها.

- إجهاد الكسر (σ_f Tensile strength) (MPa):

$$\sigma_f = \frac{F_f}{S}$$

حيث أن: F_f القوة عند الكسر (N)، S مساحة مقطع العينة الابتدائي (mm^2).

- الاستطالة النسبية عند الكسر ε_f (%).

$$\varepsilon_f = \frac{\Delta L_f}{L_0}$$

حيث أن: ΔL_f الاستطالة عند الكسر (mm)، L_0 طول العينة البدائي (mm).

- طاقة الكسر (J.m^{-3}).

طاقة الكسر تساوي المساحة تحت منحنى القوة- استتالة مقسومة على حجم العينة، أو بشكل أسهل هي المساحة تحت منحنى الإجهاد - تشوه. لا يوجد علاقة رياضية دقيقة لحساب المساحة تحت المنحنى عندما لا يكون هذا المنحنى خطياً، لذلك، يتم حساب المساحة المذكورة بواسطة برنامج ال Excel.

4- النتائج والمناقشة

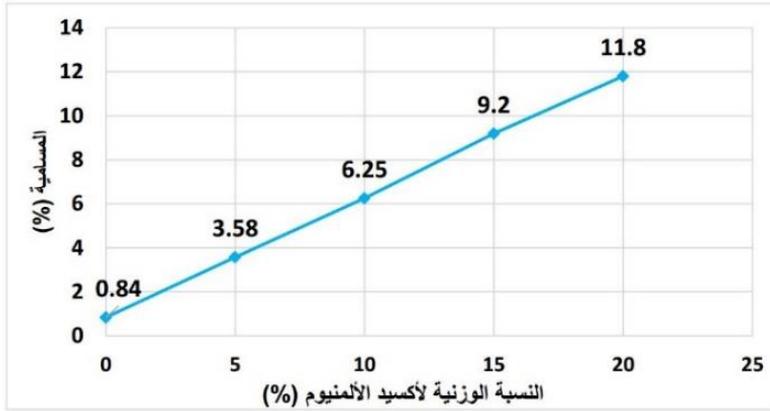
1.4 الكثافة والمسامية للتفلون وللمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم قبل المعالجة الحرارية.

يلخص الجدول (1) نتائج الكثافة النظرية والتجريبية والمسامية للتفلون والمادة المركبة تفلون- أكسيد الألمنيوم قبل المعالجة الحرارية.

جدول 1 : الكثافة النظرية والتجريبية والمسامية للتفلون والمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم قبل المعالجة الحرارية.

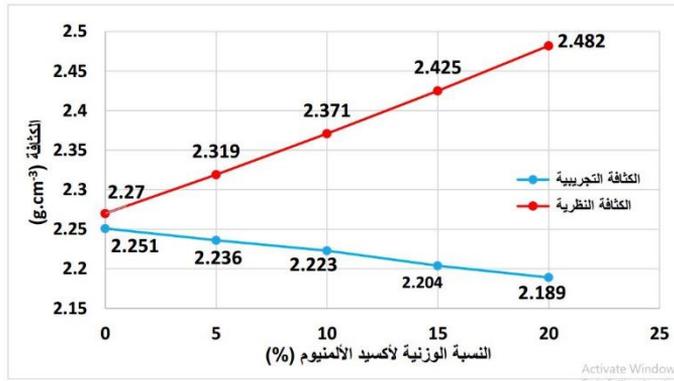
المادة	PTFE	PTFE/ 5%Al ₂ O ₃	PTFE/ 10%Al ₂ O ₃	PTFE/ 15%Al ₂ O ₃	PTFE/ 20%Al ₂ O ₃
الكثافة النظرية (g.cm ⁻³)	2.270	2.319	2.371	2.425	2.482
الكثافة التجريبية (g.cm ⁻³)	2.251	2.236	2.223	2.204	2.189
المسامية (%)	0.84	3.58	6.25	9.2	11.80

يمثل الشكل (7) تغير المسامية للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم قبل المعالجة الحرارية.



الشكل 7: تغير المسامية للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم قبل المعالجة الحرارية.

يعطي الشكل (8) تغير الكثافة التجريبية والكثافة النظرية للتفلون والمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم قبل المعالجة الحرارية.



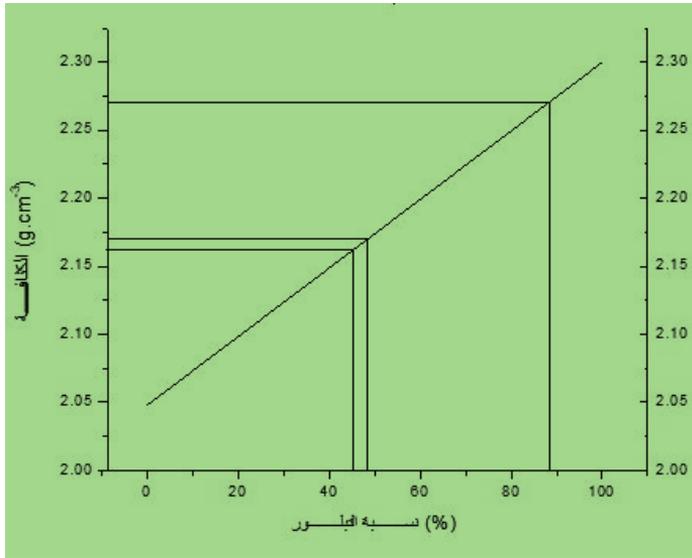
الشكل 8: تغير الكثافة التجريبية والكثافة النظرية للتفلون والمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم قبل المعالجة الحرارية.

يتضح من الشكل (7) ازدياد مسامية المواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم مع زيادة نسبة أكسيد الألمنيوم، ويمكن إرجاع ذلك إلى انحباس الغازات داخل هذه المواد، وعدم تمكنها من الانفلات، وإلى انعدام التصاق حبيبات التفلون مع حبيبات أكسيد الألمنيوم.

يتضح من الشكل (8) انخفاض كثافة المواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم مع زيادة نسبة أكسيد الألمنيوم، ويعود ذلك، إلى زيادة مساميتها.

2.4 الكثافة والمسامية للتفلون وللمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بعد المعالجة الحرارية.

بالاعتماد على المعطيات المرجعية [6] التي تعطي كثافة التفلون في الحالة الزجاجية 100% عند 2.048 g.cm^{-3} ، وفي الحالة البلورية 100% عند 2.3 g.cm^{-3} ، جرى تمثيل تغير كثافة التفلون بدلالة نسبة التبلور، كما في الشكل (9).



الشكل 9: تغير كثافة التفلون بدلالة نسبة التبلور.

بين اختبار الكثافة للتفلون أن قيمة الكثافة التجريبية هي 2.161 g.cm^{-3} ، وبمقارنة هذه القيمة مع الشكل (9)، يُستنتج أن نسبة التبلور للتفلون بعد المعالجة الحرارية حوالي 45%، بينما كانت قبل المعالجة حوالي 88%. يشير ذلك إلى انخفاض نسبة تبلور التفلون إلى النصف تقريباً، وهذا ما يفسر انخفاض الكثافة بعد التشكيل والمعالجة الحرارية. ويمكن تفسير ذلك بأن عملية تبريد عينات التفلون بعد تليدها تحدث بسرعة

كبيرة نوعاً ما، وبالتالي، لا يتوفر لبوليمير التفلون أثناء التبريد الزمن الكافي للتبلور بشكل كامل، مما يؤدي إلى انخفاض نسبة التبلور والكثافة.

لقد بينت بعض الدراسات السابقة تأثير سرعة التبريد بعد التليد على نسبة تبلور التفلون [4,6]. وتتفق قيمة الكثافة التي تم الحصول عليها في هذا العمل مع قيم كثافة التفلون التي تم الحصول عليها في المرجع [6]. كانت قيمة كثافة التفلون 2.1544 g.cm^{-3} من أجل التبريد في الهواء. أما العينات التي جرى تبريدها على مراحل فقد كانت ذات كثافة أعلى وقدرها 2.1829 g.cm^{-3} [6].

بناءً على ما تقدم جرى اعتبار الكثافة النظرية للتفلون بعد المعالجة 2.17 g.cm^{-3} عند نسبة تبلور 48%، لهامش أمان أكبر في تقدير المسامية وعلى أساس ذلك، جرى حساب مسامية التفلون، وحساب الكثافة النظرية بعد المعالجة للمواد المركبة تفلون/أكسيد الألمنيوم.

يُبين الجدول (2) نتائج الكثافة النظرية والتجريبية والمسامية للتفلون والمواد المركبة تفلون/أكسيد الألمنيوم بعد المعالجة الحرارية.

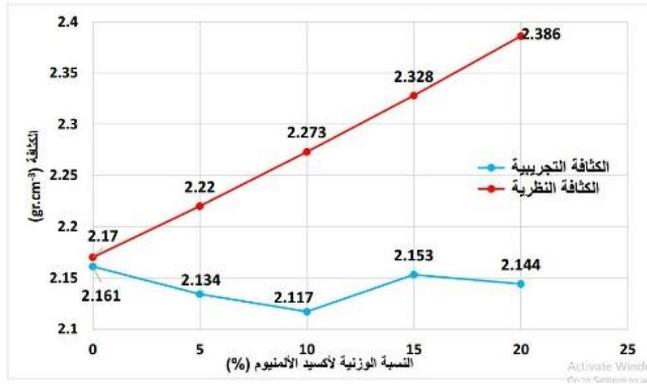
جدول 2 : نتائج الكثافة النظرية والتجريبية والمسامية للتفلون والمواد المركبة تفلون/أكسيد

الألمنيوم بعد المعالجة الحرارية.

المادة	الكثافة النظرية (g.cm^{-3})	الكثافة التجريبية (g.cm^{-3})	المسامية الكلية (%)	المسامية المفتوحة (%)	المسامية المغلقة (%)
PTFE	2.170	2.161	0.401	0	0.401
PTFE/5%Al ₂ O ₃	2.220	2.134	3.881	1.992	1.899
PTFE/10%Al ₂ O ₃	2.273	2.117	6.849	3.462	3.387
PTFE/15%Al ₂ O ₃	2.328	2.153	7.531	1.186	6.345

5.650	4.479	10.129	2.144	2.386	PTFE/20%Al ₂ O ₃
-------	-------	--------	-------	-------	--

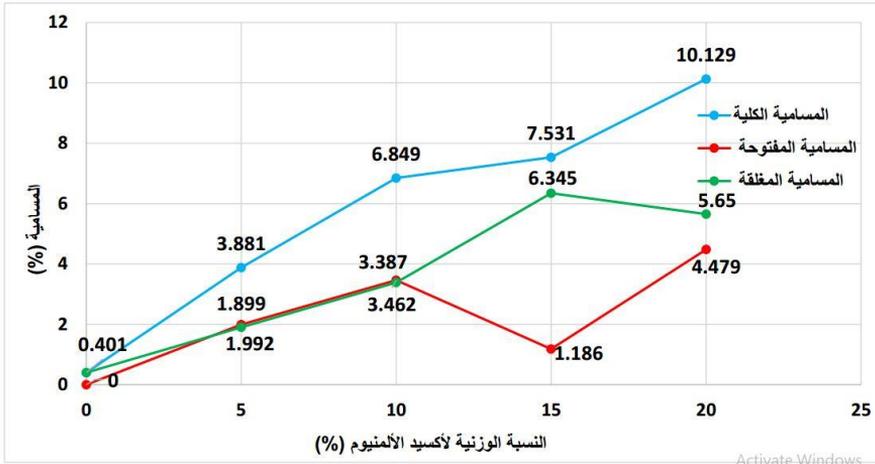
يمثل الشكل (10) تغير الكثافة التجريبية والكثافة النظرية للمواد المركبة تفلون/أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم بعد المعالجة الحرارية.



الشكل 10: تغير الكثافة التجريبية والكثافة النظرية للمواد المركبة تفلون/أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم بعد المعالجة الحرارية

يشير الشكل (10) إلى انخفاض قيم الكثافة التجريبية للمواد المركبة تفلون/أكسيد الألمنيوم عن مثيلاتها في الكثافة النظرية بنسبه تتراوح بين 4-10%. يرتبط ذلك بمسامية المادة المركبة تفلون/أكسيد الألمنيوم التي تتراوح تقريباً ضمن المجال نفسه، كما سنرى لاحقاً.

يمثل الشكل (11) تغير المسامية للمواد المركبة تفلون/أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم بعد المعالجة الحرارية.

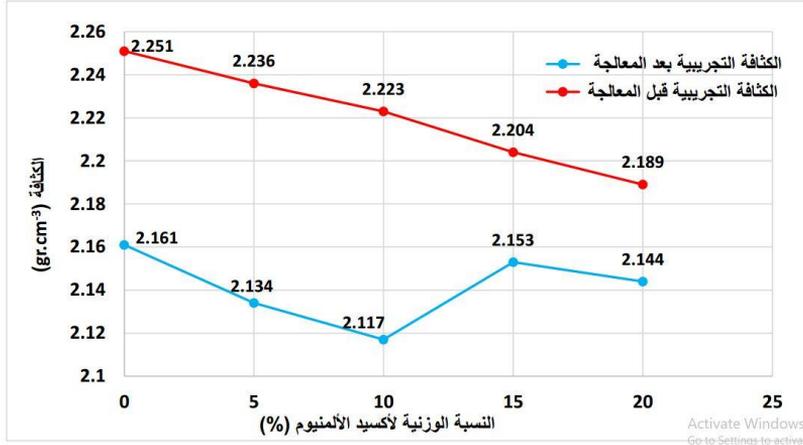


الشكل 11: تغير المسامية للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم بعد المعالجة الحرارية.

يشير الشكل (11) إلى تزايد المسامية الكلية للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم باطراد مع زيادة نسبة أكسيد الألمنيوم، وتساوي المساميتين المفتوحة والمغلقة في عينات المواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم حتى حدود 10% أكسيد الألمنيوم، وهيمنة المسامية المغلقة في عينات المواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم عند النسبتين 15% و 20%.

يُشير الشكل (11) إلى أهمية قيم المسامية المفتوحة مقارنةً بالمسامية الكلية لعينات المواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم. يرتبط ذلك بإمكانية انغلاق المسامات بفعل انصهار التفلون عند درجة حرارة التليد (380°C) واللزوجة العالية جداً لمصهور التفلون التي تعيق انتشار الغازات وخروجها، وانغلاق المسامات.

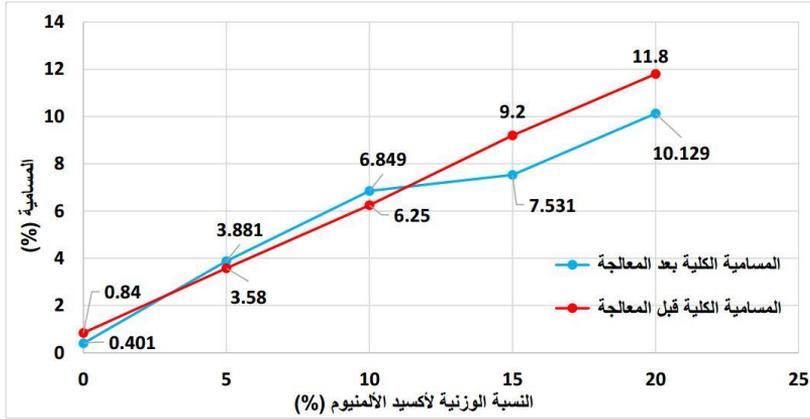
يمثل الشكل (12) تغير الكثافة التجريبية قبل المعالجة الحرارية وبعدها للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم.



الشكل 12: تغير الكثافة التجريبية قبل المعالجة الحرارية وبعدها للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم.

يشير الشكل (12) إلى اتجاه واضح لانخفاض قيم الكثافة التجريبية للمواد المركبة تفلون/أكسيد الألمنيوم قبل المعالجة الحرارية وبعدها مع زيادة نسبة أكسيد الألمنيوم. ويقدر التفاوت في هذا التناقص بعد المعالجة الحرارية بحدود 2% بين العينات PTFE10%/Al₂O₃ والعينات PTFE15%/Al₂O₃، لكن اتجاه التناقص يستمر حتى العينات PTFE20%/Al₂O₃. ويرتبط ذلك قبل المعالجة الحرارية بالمسامية الميكروية الناجمة عن قساوة حبيبات أكسيد الألمنيوم وعدم التحامها مع حبيبات التفلون. بين بالتالي، يعاكس تأثير هذه المسامية الزيادة المنتظرة بفعل زيادة نسبة أكسيد الألمنيوم. أما بعد المعالجة الحرارية فأن انخفاض نسبة تبلور التفلون عما كانت قبل المعالجة يساهم بدرجة كبيرة في تناقص قيم كثافة المواد المركبة تفلون/أكسيد الألمنيوم عن مثيلاتها قبل المعالجة الحرارية. إن مساهمة زيادة نسبة أكسيد الألمنيوم في زيادة كثافة المواد المركبة تفلون/أكسيد الألمنيوم يعاكسها مساهمة زيادة مسامية هذه المواد، وانخفاض نسبة تبلور التفلون فيها، وتفاوت هذه النسبة مع تغير نسبة أكسيد الألمنيوم في العينات المختلفة.

يمثل الشكل (13) تغير المسامية الكلية قبل المعالجة الحرارية وبعدها للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم.



الشكل 13: تغير المسامية الكلية قبل المعالجة الحرارية وبعدها للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم.

يُظهر الشكل (13) تغيراً طفيفاً في قيم المسامية الكلية بعد المعالجة عن قيمها قبلها، هذا يعني أن المعالجة الحرارية لم تتجح في إزالة مسامية مضغوطات التفلون. يرتبط ذلك بإمكانية انغلاق المسامات بفعل انصهار التفلون، واللزوجة العالية جداً لمصهور التفلون التي تعيق انتشار الغازات وخروجها، وإغلاق المسامات، واحتمال تمدد الغازات فيها، وسرعة التبريد العالية المطبقة خلال المعالجة الحرارية.

3.4 الخصائص الميكانيكية.

يلخص الجدول (3) نتائج الخصائص الميكانيكية المقاسة للتفلون والمواد المركبة تفلون/أكسيد الألمنيوم بنسبها المختلفة.

جدول 3 : الخصائص الميكانيكية للتفلون والمواد المركبة تفلون/أكسيد الألمنيوم.

إجهاد الخضوع	معامل يونغ	إجهاد الكسر	التشوه عند الكسر	طاقة الكسر	المادة
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(%)	(j.m ⁻³)	
7.83	262.17	25.21	470.87	73.55	PTFE
7.91	264.32	24.55	473.57	73.26	PTFE Foreign
5.05	254.17	7.06	259.22	17.34	PTFE/5%AL ₂ O ₃
6.74	236.99	11.71	234.81	23.09	PTFE/10% AL ₂ O ₃
4.41	190.97	6.01	164.01	9.10	PTFE/15% AL ₂ O ₃
4.78	193.78	7.01	135.89	8.48	PTFE/20% AL ₂ O ₃

يتضح من الجدول (3) التوافق بين الخصائص الميكانيكية للتفلون المُحضّر في هذا العمل وعينة التفلون الأجنبية المرجعية، كما يُلاحظ وجود اختلاف كبير في قيم معامل يونغ للتفلون عن القيم النظرية المرجعية، ويفسر ذلك بعدم دقة قياس الاستطالة في جهاز اختبار الشد، لعدم وجود مقياس للتشوه. ولكنها تتفق مع قيمة العينة المرجعية بسبب اختبارها على الجهاز نفسه. أما بقية القيم التي تم الحصول عليها للتفلون في هذا العمل، فهي تتوافق مع القيم المرجعية، ويعود الاختلاف البسيط بين القيم التجريبية في هذا العمل والقيم المرجعية الى المسامية المتبقية، وإلى اختلاف نسبة التبلور.

تتفق نتائج التفلون مع المرجع [7]، وهي أفضل منها قليلاً باستثناء معامل يونغ للأسباب السابقة.

يتضح من الجدول (3) انخفاض إجهاد الخضوع، وإجهاد الكسر، والتشوه عند الكسر، وطاقة الكسر عند إضافة 5% من أكسيد الألمنيوم عن مثيلاتها في التفلون، ويمكن تفسير ذلك بأن أكسيد الألمنيوم يؤدي إلى تشكيل مسامية تُضعف عينات هذه المادة، وتُشكل نقاط ضعف فيها. من جهة أخرى، يمكن اعتبار حبيبات أكسيد الألمنيوم نقاط ضعف بحد ذاتها نظراً لعدم التحام أكسيد الألمنيوم مع التفلون. كما يمكن حدوث تجمعات لأكسيد الألمنيوم، مما قد يفاقم تأثير نقاط الضعف هذه.

يلاحظ أن معامل يونغ للمادة المركبة تفلون/ 5% أكسيد الألمنيوم قد بقي قريباً من معامل يونغ في التفلون، أي أن أكسيد الألمنيوم لم يؤثر على التفلون في المنطقة المرنة بل أنه ساهم في الحد من تأثير المسامية على إضعاف معامل يونغ.

تتسجم هذه النتائج مع المرجع [7] مع بعض التباين في إجهاد الكسر، ومعامل يونغ، ويعود ذلك لاستخدام حبيبات أكسيد الألمنيوم ذات الأبعاد النانومترية في هذا المرجع.

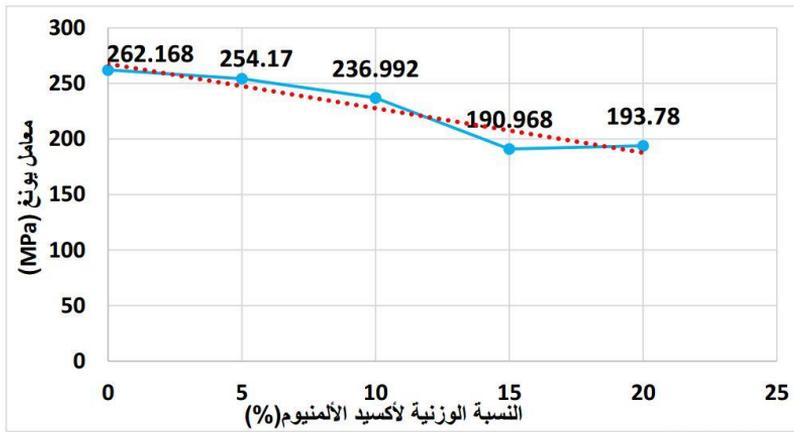
يُبين الشكل (14) تغير إجهاد الخضوع للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم.



الشكل 14: تغير إجهاد الخضوع للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم.

يشير الشكل (14) الى تناقص تدريجي في إجهاد الخضوع للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم مع زيادة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم ويصل هذا التناقص إلى حوالي 40% من إجهاد خضوع التفلون. ويرتبط هذا التناقص من جهة بعدم الالتصاق بين التفلون وحببيات أكسيد الألمنيوم، وبزيادة مسامية المواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم مع زيادة نسبة أكسيد الألمنيوم من جهة أخرى.

يُبين الشكل (15) تغير معامل يونغ للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم.



الشكل 15: تغير معامل يونغ للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم.

يشير الشكل (15) الى تناقص طفيف بحدود 10% في معامل يونغ للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم، حتى 10% من أكسيد الألمنيوم، يلي ذلك، استمرار هذا التناقص حتى حوالي 25% مع زيادة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم حتى 20% من أكسيد ألمنيوم. يشير هذا السلوك إلى عدم تقوية أكسيد الألمنيوم الميكرومترية الأبعاد للتفلون، والمحافظة على نسبة 75% من جساءة التفلون حتى 20% من أكسيد الألمنيوم.

يُبيّن الشكل (16) تغير إجهاد الكسر للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم.



الشكل 16: تغير إجهاد الكسر للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم.

يشير الشكل (16) إلى تناقص حاد يبلغ حوالي 70% في إجهاد الكسر للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بزيادة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم، ويرتبط هذا التناقص الحاد بالاستطالة الهامة لهذه المواد التي تتراوح بين (135-259) لهذه المواد المركبة عند الكسر، مقارنةً بالاستطالة الموافقة عند إجهاد الخضوع (5-10%)، والتي تنشأ على الخصوص في مادة التفلون، وتساهم في فصلها عن حبيبات أكسيد الألمنيوم.

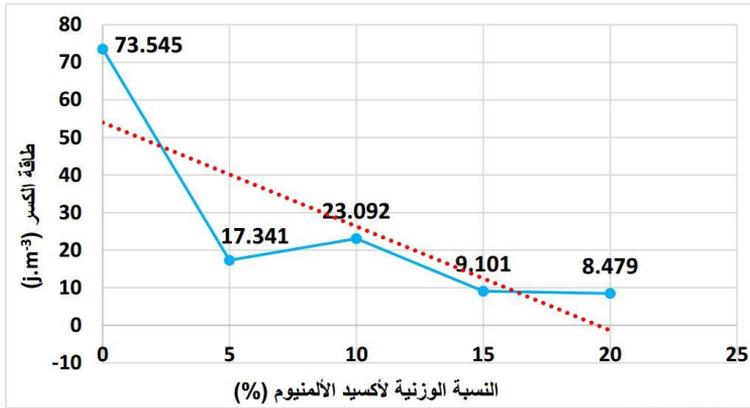
يُبيّن الشكل (17) تغير التشوه عند الكسر للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم.



الشكل 17: تغير التشوه عند الكسر للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم.

يشير الشكل (17) إلى تناقص حاد في التشوه عند الكسر للمواد المركبة تفلون- أكسيد الألمنيوم قدره 45%، بمجرد إضافة 5% من أكسيد الألمنيوم إلى التفلون. ويعود ذلك إلى أن حبيبات أكسيد الألمنيوم تشكل نقاط فصل نظراً لعدم التصاقها مع التفلون، ويستمر التناقص في التشوه عند الكسر للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم مع زيادة نسبة أكسيد الألمنيوم لكن بشكل تدريجي يتراوح بين 10-30% حتى 20% من أكسيد الألمنيوم.

يُبين الشكل (18) تغير طاقة الكسر للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم.



الشكل 18: تغير طاقة الكسر للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بدلالة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم.

يشير الشكل (18) إلى تناقص طاقة الكسر للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم مع زيادة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم، وذلك بشكل مشابه لتناقص التشوه عند الكسر، ويعود ذلك للتناسب بين طاقة الكسر ومربع التشوه عند الكسر.

ينسجم السلوك الميكانيكي العام للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم مع مثيلاتها في الدراسات السابقة [7]، ولا سيما من حيث انخفاض خصائصها الميكانيكية مع زيادة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم.

5- الاستنتاجات.

بالاعتماد على ما تقدم، وعلى النتائج التجريبية، يمكن صياغة الاستنتاجات التالية:

❖ تحضير التفلون والمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم.

- أقام هذا العمل الدليل على إمكانية تحضير مادة التفلون بطريقة تشكيل مساحيقه بالكبس والمعالجة الحرارية، وتحضير مواد مركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بالطريقة نفسها.

❖ خصائص الكثافة والمسامية للمادة المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم.

- ازدياد مسامية المواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم وانخفاض كثافتها مع زيادة نسبة أكسيد الألمنيوم قبل المعالجة الحرارية.
- ازدياد مسامية المواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بعد المعالجة الحرارية باطراد مع زيادة نسبة أكسيد الألمنيوم، وانخفاض قيم كثافتها التجريبية بعد المعالجة الحرارية أيضاً عن مثيلاتها في الكثافة النظرية بنسبه تتراوح بين 4-10%.
- انخفاض قيم الكثافة التجريبية للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم بعد المعالجة الحرارية عن القيم قبل المعالجة مع زيادة نسبة أكسيد الألمنيوم.
- حدوث تغير طفيف في قيم المسامية الكلية بعد المعالجة الحرارية عن قيمها قبلها.

تؤدي عملية المعالجة الحرارية للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم، على الرغم من الخسارة الحاصلة في الكثافة بعد المعالجة الحرارية، الى تحسين خواصها الميكانيكية.

❖ الخصائص الميكانيكية للمادة المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم.

- تؤدي زيادة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم، الى تناقص تدريجي في إجهاد الخضوع للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم ويصل هذا التناقص إلى حوالي 40% من إجهاد خضوع التفلون.
- تؤدي زيادة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم الى تناقص طفيفٍ بحدود 10% في معامل يونغ للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم، حتى 10% من أكسيد الألمنيوم، يلي ذلك، استمرار هذا التناقص حتى حوالي 25% مع زيادة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم حتى 20% منه.
- تؤدي زيادة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم الى تناقص حاد يبلغ حوالي 70% في إجهاد الكسر للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم مع زيادة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم.
- تؤدي زيادة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم الى تناقص حاد في التشوه عند الكسر للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم قدره 45%، بمجرد إضافة 5% من أكسيد الألمنيوم إلى التفلون، وكذلك مع زيادة نسبة أكسيد الألمنيوم، لكن بشكل تدريجي يتراوح بين 10-30% حتى 20% من أكسيد الألمنيوم.
- تؤدي زيادة النسبة الوزنية لأكسيد الألمنيوم إلى تناقص طاقة الكسر للمواد المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم.
- جرى الحصول على الخواص الميكانيكية الأفضل نسبياً في المادة المركبة تفلون/ أكسيد الألمنيوم عند نسبة 5% و 10% منه.

على العموم لم يحسّن أكسيد الألمنيوم الخصائص الميكانيكية للتفلون، فهو لا يعتبر من المواد المقوية والمحسنة للخواص الميكانيكية. لكن، يُضاف أكسيد الألمنيوم ليخفض من

معدل الاهتراء للتفلون، بحيث يُستفاد من خواص الاحتكاك المنخفضة للتفلون، ومن قساوة أكسيد الألمنيوم للحصول على خصائص وسطية. وتتحدد النسبة الوزنية من أكسيد الألمنيوم بحسب الغرض من القطعة المصنعة، حيث تحدد نسبة أكسيد الألمنيوم الخصائص التي يجب أن تمتلكها القطعة.

6- التوصيات والمقترحات.

- شكّل هذا العمل خطوة أولى تناولت تحضير المادة المركبة نفلون/ أكسيد الألمنيوم وتوصيفها، ويوصى بزيادة الاهتمام بهذه المواد والتوسع في دراستها.
- دراسة خصائص الاهتراء للنفلون وللمادة المركبة نفلون/ أكسيد الألمنيوم.
- دراسة تأثير مواد أخرى على خصائص النفلون (ألياف، وحببيات وغيرها).
- دراسة تأثير الأبعاد النانومترية على النفلون سواءً من مادة أكسيد الألمنيوم أو غيرها.
- نظراً لتعدد طرائق تحضير هذه المواد وتشكيلها يوصى بدراسة مقارنة بين هذه الطرائق.
- التعمق في دراسة تأثير عمليات المعالجة الحرارية على المادة المركبة نفلون/ أكسيد الألمنيوم، والتركيز على مرحلة التبريد لما لها من أهمية في تحديد الخصائص المختلفة لهذه المواد.

المراجع

- 1- Ngo, T, 2020 Introduction to composite materials, Intechopen,1-27.
- 2- Clyne, T, W. and Hull, D,2019- An introduction to composite materials. Cambridge university press, 3rd Edition,360p.
- 3- Radulovic, L.l and Wojcinski, Z.w, 2014 PTFE (Polytetrafluoroethylene; Teflon®), Encyclopedia of Toxicology, vol.3,1133-1136.
- 4- Dhanumalayan, E. and Joshi, Girish M, 2018 Performance properties and applications of polytetrafluoroethylene (PTFE)—a review, Advanced Composites and Hybrid Materials, vol.1, No.2,247-268.
- 5- Davis, K, 2010 Material Review: Alumina (Al_2O_3), School of Doctoral Studies European Union Journal. vol.6, No.2, 109-114
- 6- Rae, P.J. and Dattelbaum, DM, 2004 The properties of poly (tetrafluoroethylene)(PTFE) in compression, Polymer, vol.45, No.22, 7615-7625.
- 7- Okhlopkova, AA. Sleptsova, SA. Parnikova, AG. Ul'yanova, TM. and Kalmychkova, O Yu, 2008 Triboengineering and physicomechanical properties of nanocomposites based on PTFE and aluminum oxide, Journal of friction and wear, vol.29, No.6, 466-469.
- 8- Xie, T. Zhou, Z. Xu, Z. Yu, J. and Jiao, M, 2013. Characteristics of the transfer film and tribological properties of oxide/PTFE composites, In Advanced Materials Research Vol.631, No.632, 172-175.

- 9- Tam, Y. K. Ruan, S. Gao, P. and Yu. T, 2012-
Advances in Military Textiles and Personal Equipment.
In Advances in Military Textiles and Personal
Equipmentg Tam, Woodhead Publishing 1rd
Edition,325p..
- 10- Fatile, O. B, Akinruli, J. I, and Amori, A. A, 2014.
Microstructure and mechanical behaviour of stir-cast
Al-Mg-Si alloy matrix hybrid composite reinforced
with corn cob ash and silicon carbide. International
Journal of Engineering and Technology
Innovation, Vol.4, No. 4, 251-259.