مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد41 العدد(2) – 2025: 1-13

Damascus University Journal for engineering science
Vo 41 number (2) -2025: 1-13

دراسة تأثير إضافة(TiO_2/ MgO) على بعض الخصائص الميكانيكية والحرارية لأنابيب البولي فينيل كلوريد (PVC) المعرضة لأشعة الشمس

تاريخ الايداع: 2022/11/11
تاريخ القبول: 2023/2/26

حقوق النشر: جامعة دمشق –سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب
CC BY-NC-SA

محمد يونس حجازي*[1] محمد سمير البرزاوي[2]

*[1]. مهندس، دراسات عليا، جامعة دمشق، اختصاص علم المواد وهندستها.
mohamdhj@Damascusuniversity.edu.sy

[2]. استاذ مساعد، دكتور، في قسم هندسة التصميم الميكانيكي، جامعة دمشق، اختصاص مقاومة المواد البلاستيكية. MohamadAlBarzawi@Damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

في هذا البحث تم دراسة تأثير اضافة (TiO_2/MgO) على أنابيب البولي فينيل كلوريد (PVC) المعرضة لأشعة الشمس، حيث تم تصنيع عينات محملة بنسب مختلفة من هذه المواد وتعريضها لأشعة (UV) الموجودة في اشعة الشمس التي تسبب تحلل مادة (PVC) بواسطة جهاز تقادم يحوي بداخله انابيب فلوريسنت ، ومن ثم اجراء بعض الاختبارات الميكانيكية والحرارية (شد واستطالة، القساوة، الضغط الداخلي، الاوزان الساقطة، الارتداد الطولي (الاثر الحراري)، نقطة التلدن (نقطة فيكات)) حيث اظهرت النتائج أن العينات التي تحوي على 2/2% (TiO_2/MgO) أبدت أفضل الخواص الميكانيكية وبالتالي هي مناسبة للتطبيقات المعرضة لأشعة الشمس والحرارة حتى 60.

الكلمات المفتاحية: أنابيب بولي فينيل كلوريد (PVC)، ثاني اكسيد التيتانيوم(TiO_2)، أوكسيد المغنيزيوم(MgO)، الاشعة فوق بنفسجية (UV).

http://journal.damascusuniversity.edu.sy/index.pHp/index/index
ISSN (online): 2789-6854

Study of the effect of adding (TiO_2/MgO) on some mechanical and thermal properties of polyvinyl chloride (PVC) pipes exposed to sunlight

Muhammad Yunus Hijazi*[1] Mohamad Samir AlBarzawi[2]

*[1]. Eng, Postgraduate Studies, Damascus University, specialization in Materials Science and Engineering. mohamdhj@Damascusuniversity.edu.sy

[2]. Dr, Assistant Professor in the Department of Mechanical Design Engineering, Damascus University, specializing in the strength of plastic materials. MohamadAlBarzawi@Damascusuniversity.edu.sy

Received: 11/11/2022
Accepted: 26/2/2023

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a **CC BY- NC-SA**

Abstract:

In this research, the effect of adding (TiO_2/MgO) to polyvinyl chloride (PVC) pipes exposed to sunlight was studied. Samples loaded with different percentages of these materials were manufactured and exposed to (UV) rays presented in sunlight that cause the decomposition of (PVC) material. By means of an aging device containing fluorescent tubes inside, and then conducting some mechanical and thermal tests (tensile and elongation, hardness, internal pressure, falling weights, longitudinal rebound (thermal effect), plasticizing point (Vicat softining)), where the results showed that samples containing (TiO_2/MgO) 2/2% showed the best mechanical properties Thus it is suitable for applications exposed to sunlight and heat up to 60 ^{O}C.

Keywords: Polyvinyl chloride (PVC) pipes, titanium dioxide (TiO_2), Magnesium oxide (MgO), ultraviolet radiation (UV).

المقدمة:

لا تزال مادة البولي فينيل كلوريد (PVC)، مادة لا غنى عنها في كثير من التطبيقات على الرغم من تطوير مجموعة متنوعة من مواد البوليمر في صناعة البلاستيك، كما أن طبيعة مادة (PVC) يجعلها متفوقة من حيث المتانة، والقابلية للتشكيل، والقدرة على مقاومة الحريق مقارنة مع المواد البلاستيكية الأخرى. (Waller, Lindsborg) (1991) [1]. بالإضافة إلى ذلك، يتم إظهار جودة تصميم مادة (PVC) من خلال القدرة على إنتاج مادة صلبة أو لدنة مع إمكانية إعادة التدوير، ويبرز ذلك من خلال القدرة على استخدامها في مجموعة واسعة جدًا من التطبيقات، مثل الأنابيب وبروفيلات النوافذ، نظرًا لتكلفتها المنخفضة وكفاءتها الاقتصادية ومتانتها العالية(1976)(Hallas) [2]. ومع ذلك توجد مشكلة رئيسية في التطبيقات المعرضة للعوامل الجوية وأشعة الشمس حيث يحدث تحلل في بنيتها عندما تبدأ التفاعلات التي ينتج عنها إزالة (HCL) وذلك وفق المعادلة التالية:

$(CH2\text{-}CHCL)_{n\text{-}} \rightarrow (CH{=}CH)_{n\text{-}} + nHCL$.

حيث يتغير لون المادة التي أساسها (PVC) من الأصفر إلى الأسود حسب درجات التحلل. بمجرد بدء التفاعل، تتعرض البوليمرات تدريجيًا لتغييرات في الخواص الميكانيكية، الفيزيائية، الحرارية والكيميائية ويمكن أن تصل في النهاية التحلل والتفكك التام(1984) (Andreas) [3]. من الناحية النظرية، يجب ألا تمتص العديد من البوليمرات النقية الأشعة فوق البنفسجية، وبالتالي لا تخضع للتحلل الضوئي. ومع ذلك، من الناحية العملية، تحتوي معظم البوليمرات على شوائب مثل مجموعات الكربونيل أو الكربوكسي أو الهيدروبيروكسيدات التي تمتص الإشعاعات ذات الطول الموجي (290-400) نانومتر بسهولة مما يؤدي إلى تفككها. وبالتالي، يتم إنشاء مواقع داخل بنية البوليمر حيث يمكن بدء التفاعلات الكيميائية ونشرها بواسطة الجذور الحرة. قد تكون المجموعات النشطة موجودة نتيجة للتفاعلات التي تحدث أثناء البلمرة. وبالمثل، توجد الأيونات المعدنية في معظم البوليمرات كمخلفات من محفزات البلمرة، أو المواد المضافة (مثبتات الحرارة ومضادات الأكسدة والملونات والمواد المالئة وغيرها). تعمل أيونات المعادن على امتصاص الأشعة فوق البنفسجية بشكل كبير، وهي فعالة في نقل الطاقة الممتصة إلى جزيئات البوليمر من حولها، وبالتالي، فإنها تعمل على زيادة التحلل في نفس الوقت الذي تؤدي فيه وظائفها المرغوبة. يساهم الأكسجين في التحلل الضوئي للبوليمرات، والذي يساعد أي جذور حرة قد تحررها الأشعة فوق البنفسجية لبدء أكسدة البوليمر وانتشارها، وهذا ما يسمى بالأكسدة الضوئية. تعاني مادة (PVC) من ضعف في الاستقرار الحراري. يحدث التحلل عن طريق إزالة الكلور بشكل ذاتي في سلاسل البوليمر. هذا يؤدي إلى تلون شديد وفقدان الخواص الميكانيكية (Braun) (1981) [4] عادة ما يتم إضافة المثبتات الحرارية غير العضوية والعضوية لحماية البوليمر من التحلل الحراري.

تعتبر مادة ثاني أكسيد التيتانيوم من أكثر المواد المقاومة للأشعة فوق البنفسجية. حيث تعمل هذه المادة على تقليل تغلل الاشعة فوق البنفسجية في سطح المادة التي تدخل في تركيبها.

كما تعتبر مادة أكسيد المغنيزيوم من المواد الهامة التي تعطي مادة (PVC) مقاومة صدم عالية وبالتالي قدرة أكبر على مقاومة الاحمال الخارجية والصدمات اثناء النقل والتركيب وخلال فترة الاستثمار أيضاً.

1. الهدف من البحث:

من المعروف أن البوليمرات تتحلل تدريجياً تحت الضغط البيئي، حيث يتضح ذلك في التغيرات التي تطرأ على المظهر الخارجي بالإضافة الى التغيرات في الخصائص الفيزيائية والميكانيكية. لذلك، تمت إضافة المثبتات والأصباغ الى هذه المادة لحمايتها، حيث أصبح تطوير مواد مثبتة جديدة عالية الكفاءة توفر ثباتًا لتطبيقات مادة (PVC) موضوعًا مهمًا لدى كثير من الباحثين(2001) (Hawkins) [5]، حيث تم إضافة مادة ثاني أكسيد التيتانيوم (TiO_2) والتي تعتبر من أكثر المواد المضافة أهمية بالنسبة لمادة

(PVC) المستخدمة في التطبيقات المعرضة لأشعة الشمس نظرًا لامتصاصها الممتاز للأشعة فوق البنفسجية. بالنسبة لمعظم التطبيقات، كما تم استخدام (MgO) لتحسين صلابة ومتانة منتجات (PVC). درس عدد من الباحثين نواتج التحلل وآليات الأكسدة الضوئية لإضافات (PVC) المدمجة تحت ظروف التجوية المختلفة. من هذه الدراسات:

1.2. قام A. J. Whittle وأخرون [6] (2001) بتقييم قوة وصلابة أنابيب (PVC) المعدلة حيث تم استخدام أنابيب (PVC) بنجاح لغرض نقل المياه لسنوات عديدة. ودراسة تأثير مستويات إضافة مختلفة ومنخفضة نسبيًا لمادة مقاومة للصدم على صلابة وقوة أنابيب(PVC-M)، باستخدام مجموعة متنوعة من الاختبارات. اظهرت نتائج البحث ازدياد مقاومة الصدم لأنابيب (UPVC) بازدياد تركيز (CPE).

2.2. قام (Fethi Kami)(2005)[7] بدراسة قابلية استخدام أكسيد المغنيزيوم مع ثاني أكسيد التيتانيوم في أبواب ونوافذ (PVC) حيث تم فحصها من حيث تغير اللون أو البهتان وبعض الخصائص الميكانيكية. لكل مركب مرتبط بكمية مختلفة من (MgO) و(TiO_2)، أظهرت النتائج أن إضافة المغنيسيوم يقلل الأكسيد الموجود في المركبات وبالتالي يزيد من صلابة المادة.

3.2. قام Tamer Karayildirim (2006) [8] بدراسة تأثير بعض المواد المالئة على تحلل مادة (PVC) وهي الطين الأحمر Red Mud (RM) وكربونات الكالسيوم والدولوميت (dolomite) حيث قام بإجراء اختبار التحليل الوزن الحراري . حيث اظهرت النتائج فاعلية (RM) كمادة مضافة بنسبة phr (15) تليها مادة كربونات الكالسيوم.

4.2. قامK.Chaochanchaikul (2011) [9] بدراسة استقرار الهياكل الجزيئية والخواص الميكانيكية لمركبات (PVC) والخشب بواسطة مثبتات (Tinuvin) و (TiO_2) حيث قام بمقارنة فعالية هذه المثبتات للأشعة فوق البنفسجية من خلال تقييم التغيرات في الخواص الهيكلية والميكانيكية لعينات (PVC) و (WPVC) أثناء التجوية بالأشعة فوق البنفسجية نتيجة لزيادة محتويات كل مثبت. أظهرت نتائج الاختبارات أن أكثر مثبتات الأشعة فوق البنفسجية فاعلية في هذا العمل هو (Tinuvin P).

5.2. قامت (Sihama I. Al-Shalchy) وآخرون [10] (2020) بتصنيع وتقييم الخصائص الميكانيكية لثلاثة أنواع من الخلطات والمركبات البوليمرية.

تم تحضير المجموعة الأولى من (بولي فينيل كلورايد: بولي بروبيلين (PVC: PP)) بنسب مختلفة من البولي بروبلين (15-10-5). أدت إضافة جزيئات (TiO_2) النانوية إلى تحسين الخواص الميكانيكية للمركبات المحضرة. أشار تحليل المورفولوجيا إلى أن المركبات لها تكوين هيكل متجانس، نتيجة للكفاءة العالية لكل من جسيمات (TiO_2) النانوية و (EPDM).

تتضمن الدراسة الحالية تأثير نسبة إضافة مادة (TiO_2) الى مادة (PVC) المستخدمة في صناعة الانابيب من حيث الخصائص الميكانيكية والحرارية وذلك أثناء عملية التجوية المتسارعة باستخدام الاشعة فوق بنفسجية (UV).

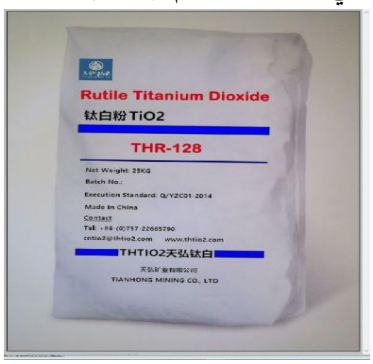
2. المواد المستخدمة:

1.2. البحث (Materials) البولي فينيل كلوريد (PVC): عبارة عن مسحوق أبيض اللون كوري المنشأ صنع شركة SEUNGJIN ENTERPRISE، الصيغة الجزيئية$(C_2H_3Cl)n$ الكثافة $0.98\ g/cm^3$، يوضح الشكل (1) ريزين البولي فينيل كلوريد (PVC).

الشكل (1) ريزين البولي فينيل كلوريد (PVC)

2.2. ثاني أكسيد التيتانيوم (TiO_2):

عبارة عن مسحوق أبيض كوري المنشأ صنع شركة (JAEWOO ENPLA)، كثافته g/cm^3 (4,23). يوضح الشكل (2) ثاني أكسيد التيتانيوم (TiO_2).



الشكل (2) ثاني أكسيد التيتانيوم (TiO_2)

3.2.أكسيد المغنزيوم(MgO):

عبارة عن مادة صلبة بلورية بيضاء غير عضوية، المنشأ مصر، صنع شركة الوطني،الكثافةg/cm^2 (3.581) يوضح الشكل(3) أوكسيد المغنزيوم (MgO).

الشكل (3) أوكسيد المغنيزيوم (MgO)

4.2. كربونات الكالسيوم ($caco_3$):

مسحوق أبيض ناعم، البلد المنشأ سوريا، الشركة المصنعة الثجاج للصناعات الكيميائية، الكثافة g/cm^3 (2,711)، يوضح الشكل (4) كربونات الكالسيوم ($caco_3$).

الشكل (4) كربونات الكالسيوم $caco_3$

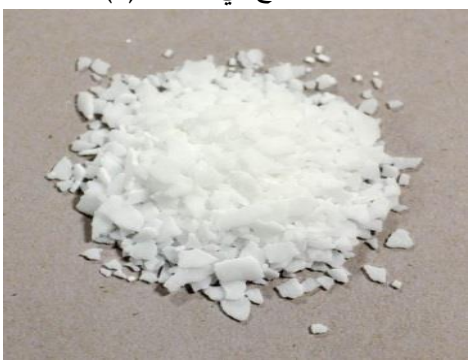
5.2. مادة مثبتة KN 500 stabilizer:

عبارة عن مسحوق أبيض كوري المنشأ، الشركة المصنعة (DANSUK)، النوع KN 500 الموضح في الشكل (5) مناسب لصناعة أنابيب(PVC) .

الشكل (5) مادة مثبتة (stabilizer)

6.2. حمض الشمع (Stearic Acid):

ماليزي المنشأ، الشركة المصنعة (KLK OlEO) ذو مظهر حبيبي اللون كما هو موضح في الشكل (6).



الشكل (6) حمض الشمع(Stearic Acid)

7.2.شمع البارافين (paraffin wax):

صيني المنشأ الشركة الصمنعة(Beijing Dongke United Technologies) الكثافة g/cm^3 (0,9). يوضح الشكل (7) شمع البارافين المستخدم.

الشكل (7) شمع البارافين(paraffin wax)

8.2. الملدن Plasticizer:

من الملدنات زيت ثنائي أوكتيل فتالات(DioctylPhthalate) المعروف (DOP) صيني المنشأ صنع شركة (ZhengzhouSan Techchem)سائل شفاف اللون كما خو موضح في الشكل (8) كثافته عند g/cm^3 (0,988).

الشكل (8) زيت DOP

9.2. الكربون الاسود (هباب الفحم) Carbon Black N550:

عبارة عن مسحوق أسود كما هو موضح في الشكل (9) يستخدم كصبغة لإعطاء المنتج اللون الرمادي، أوكراني المنشأ، الشركة المصنعة (Jsc S. C. B.C.P). الكثافة g/cm^3 (0.3).

الشكل (9) هباب الفحم (الكربون الاسود)

10.2. مادة مساعدة (Processing aid):

يتم إضافته كمادة مساعدة أثناء عملية المعالجة، عبارة عن مسحوق أبيض كما هو موضح بالشكل (10)، كوري المنشأ، الشركة المصنعة (LG.Chem).

الشكل (10) المادة المساعدة لعملية التصنيع (Processing aid)

3. تحضير العينات:

تم تحضير العينات الموضحة في الشكل (11) بقطر mm(75) سماكةmm(3) وفق المواصفة الألمانية (DIN 8062P) و المواصفة(ASTM D-17855) بنسب خلط كما هو موضح في الجدول (1) باستخدام آلة انتاج أنابيب ذات منشأ صيني، الشركة المصنعة (Z. F. U. S. Co)، والموضحة بالشكل (12).

الشكل (11) انتاج شركةFormul

الشكل (12) آلة انتاج أنابيب (PVC)

قبل عملية الانتاج تم خلط المواد بالنسب المحددة في الجدول (1) بواسطة خلاط خاص ذو منشأ صيني، الشركة المصنعة (Z. F. U. S. Co) والموضح في الشكل (13).

الشكل (13) الخلاط (مازج المواد الاولية)

4. تعريض العينات للأشعة الفوق بنفسجية (UV):

تم تعريض العينات التي تم انتاجها بنسب مختلفة من المواد المضافة الى أشعة (UV) بواسطة جهاز التقادم (ageing) أو ما يعرف التجوية المسرعة الموضح بالشكل (14) ذو منشأ صيني ،الشركة المصنعة (GAOGE) وفق المواصفة (ASTM D4329-99).

الشكل(14) جهاز التقادم

حيث تم وضع العينات والتي يبلغ عددها 19 عينة بطول متر تقريباً لكل عينة ضمن الجهاز لمدة (30) يوم أي ما يعادل 28 سنة في الظروف الطبيعية حيث تتعرض العينات الى أشعة (UV) باستخدام أنابيب فلوريسنت والتي تصدر أشعة (UV) ذات طول موجي (313-270) نانو متر بالإضافة الى تيار من الهواء وبخار الماء.

الجدول (1) نسب المواد المضافة في كل خلطة مع إضافة مادة (TiO_2).

رقم العينة	0	1	2	3	4
(PVC-K67)	100	100	100	100	100
(Stabilizer)	3	3	3	3	3
(Steric acid)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
(PE wax)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
(Processing aid)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
($Ca\ Co_3$)	15	15	15	15	15
هباب الفحم	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
(MgO/TiO_2)	0/0	1/1	2/2	3/3	4/4

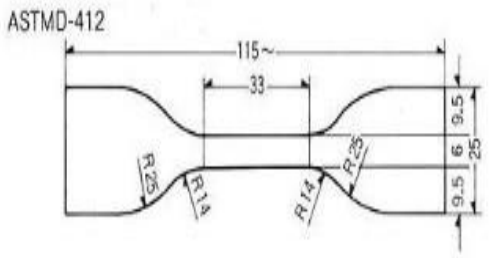
5.الطرائق التجريبية (Experiments)

1.5. القياسات الميكانيكية (Mechanical measurement)

1.1.5. اختبار الشدّ (Tensile Test):

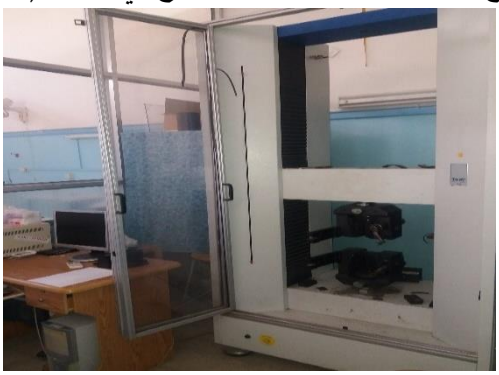
تم تحضير عينات الشد الموضحة في الشكل (15) وفق المواصفة (ASTMD-412) والتي تحدد أبعاد العينة كما هو موضح في الشكل (16)، تم تطبيق التجربة بسرعة شد (5) mm/min وتحديد قيمة اجهاد الشد والاستطالة الناتجة لكل عينة.

الشكل (15) عينات الشد المقتطعة من الانابيب



الشكل (16) أبعاد عينة الشد وفق المواصفة (ASTM D–412)

تم اجراء اختبار الشد والاستطالة باستخدام جهاز إنكليزي الصنع من شركة (Test-114) الموضح في الشكل (17).



الشكل (17) جهاز اختبار الشد

2.1.5. اختبار الصدم (الاوزان الساقطة):

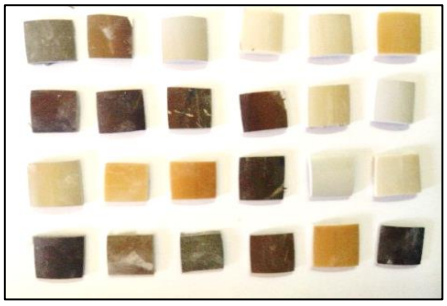
الغرض منه التأكد من قدرة تحمل الانبوب لصدمة من كتلة محدده ساقطة من ارتفاع محدد باستخدام جهاز اختبار الصدم (الاوزان الساقطة) صيني المنشأ الموضح في الشكل(18) ،حيث تم اجراء الاختبار وفق المواصفة (ISO 9854: 2010).

الشكل (18) جهاز الصدم (الاوزان الساقطة)

3.1.5.اختبار القساوة (Hardness Test):

تم اجراء اختبار القساوة وفقاً للموصفة (DIN-53505) عند درجة حرارة الغرفة، وذلك باستعمال جهاز (Digital Shore Hardness Tester) صنع شركة (Zwick) الالمانية الموضح في الشكل (19)، أبعاد عينة الاختبار (3*40*40) mmالموضحة في الشكل (20)، يظهر جهاز الاختبار قيمة القساوة الناتجة عن غرز إبرة معيارية في اختبار القساوة.

الشكل (19) جهاز اختبار القساوة



الشكل (20) عينات اختبار القساوة

4.1.5.اختبار الضغط الداخلي (Internal pressure test):

يهدف هذا الاختبار الى معرفة مدى تحمل الانبوب للإجهادات الناتجة عن الضغط الداخلي في درجات حرارة مختلفة خلال فترات زمنية مختلفة وفقاً للمواصفة (T8252 ISO1167)، تم استخدام جهاز الضغط الداخلي نوع (JINHAIHU) ذو منشأ صيني، حيث يوضح الشكل (21) جهاز الضغط وكما يوضح الشكل (22) عينة الضغط.

الشكل (21) جهاز اختبار الضغط

الشكل (22) عينة اختبار الضغط الداخلي

تم تطبيق ضغط داخلي par(35) لمدة ساعة كاملة عند درجة حرارة ^{O}C (60) وفقاً للمواصفة المستخدمة في هذا الاختبار.

2.5.اختبارات حرارية:

1.2.5. اختبار الارتداد الطولي (الاثر الحراري):

الغرض من هذا الاختبار معرفة تغير طول العينة بعد تعرضها للحرارة. بحيث لا تزيد النسبة المئوية للتغير في طول العينة على %(5). ويجب ألا تظهر أي تشققات أو أي فجوات أو أي تشوهات على الانبوب حيث تم في هذا الاختبار وفق المواصفة القياسية السورية (465) باستخدام فرن الحراري نوع (Dipl.Lng.W.Ehret GmbH) الموضح في الشكل (23).

الشكل (23) الفرن الحراري

خطوات اختبار الاثر الحراري:

– تم أخذ عينة من الانابيب المنتجة Cm(20)

– تم وضع علامتين عرضيتين متوازيتين على العينة بحيث تكون المسافة بين العلامتين Cm(10) وذلك بقلم رفيع على أربعة مناطق على مدى قطر الانبوب.

تم وضع العينة بالفرن الحراري عند درجة حرارة C^{o} (150) درجة مئوية وتترك العينة بالفرن لمدة (60) دقيقة كما هو محدد في المواصفة.

2.2.5. اختبار درجة حرارة التلدين (نقطة فيكات) (VICAT Softening):

تم اجراء الاختبار وفق المواصفة (ASTM D 1525) باستخدام جهاز من انتاج شركة (ualitest) نوع (HV-3000) والموضح في الشكل (24)، حيث تم اعتماد حمولة N (10) وارتفاع تدريجي للحرارة بمعدل $^{O}C/h$ (120).

6. نتائج الاختبارات ومناقشتها

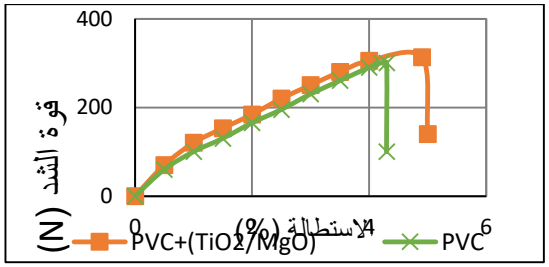
(Test results and discussion):

1.6. نتائج الخواص الميكانيكية (Mechanical properties):

1.1.6. نتائج اختبار الشد والاستطالة:

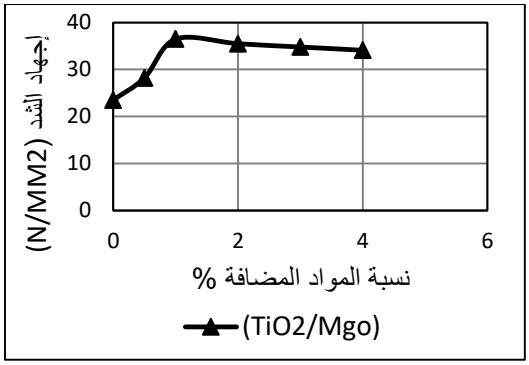
خواص الشد (tensile strength):

يوضح الشكل (24) نموذج لمخطط الشد والاستطالة لعينة (PVC) دون اضافة وعينات محملة بمادتي (TiO_2/MgO)، حيث تتأثر قوة الشد لمادة (PVC) المعرضة لأشعة الشمس وذلك تبعاً لتغلغل الاشعة فوق البنفسجية (UV) الناتجة عن أشعة الشمس في البنية الداخلية فعند ازدياد عمق التغلغل تنقص مقاومة اجهاد الشد.



الشكل (24) مخطط الشد والاستطالة لعينة من مادة (PVC) محملة بمادة (TiO_2/MgO)

كما يوضح الشكل (25) تغير قيمة اجهاد الشد عند الانقطاع بتغير نسبة اضافة (TiO_2/MgO)على النحو التالي:



الشكل (25) العلاقة بين نسبة اضافة كلٍ من(TiO_2/MgO) واجهاد الشد عند الانقطاع

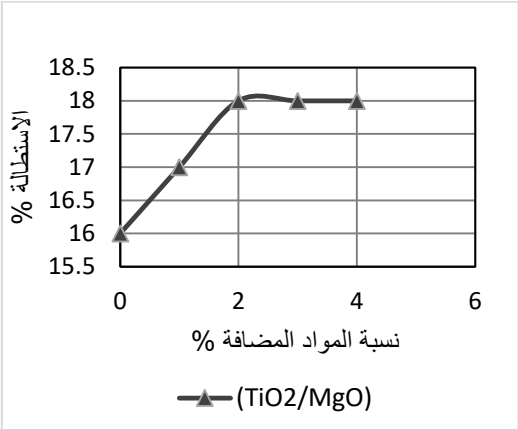
– عند النسبة % (0)، كانت أخفض قيمة لمقاومة الشد ويعود ذلك لقوة تأثير الاشعة فوق البنفسجية وتغلغلها بشكل كبير حيث تتشكل الجذور الحرة بشكل أكبر ولمسافة أعمق داخل السطح مما يؤدي الى انقطاع في السلاسل العملاقة للبوليمير وبالتالي تراجع في الخصائص الميكانيكية.

– عند النسبة %(1/1) فأن مقاومة الشد تزداد بشكل أكبر ويعود ذلك الى الدور الاكبر الذي تقوم به جزيئات (TiO_2) بالإضافة الى دور (MgO) في زيادة المتانة.

- عند نسبة اضافة %(2/2) من مادتي (TiO_2/MgO) تبدأ مقاومة الشد بالانخفاض بشكل تدريجي ويعود ذلك الى تشكل كتل من (TiO_2) تسبب انقطاع في السلاسل العملاقة للبوليمير وبالتالي تراجع في الخصائص الميكانيكية بالإضافة الى ثبات الدور الذي تؤديه مادة (MgO).

نتائج أختبار الاستطالة عند الانقطاع (Elongation at break %):

يوضح الشكل(26) العلاقة بين الاستطالة عند الانقطاع ونسبة اضافة (TiO_2/MgO)



الشكل (26) العلاقة بين الاستطالة ونسبة إضافة (TiO2/MgO) الى مادة PVC))

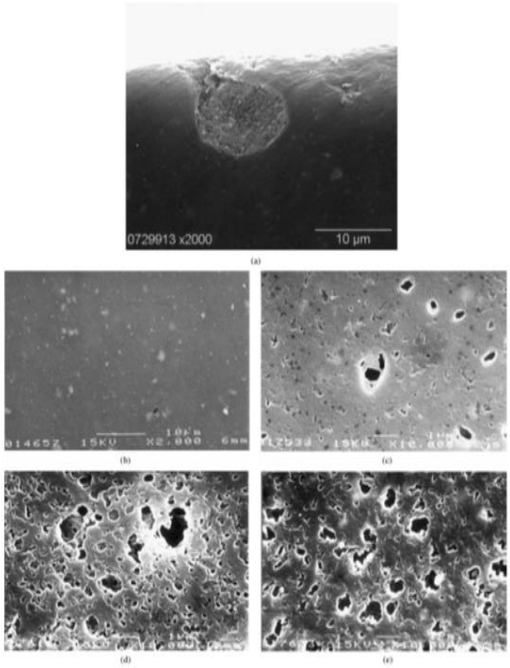
يلاحظ من الشكل بأن الاستطالة تزداد بشكل تدريجي بسيط مع ازدياد نسبة مادة (TiO2/MgO) حتى نسبة أضافة %(4–0) ويعود ذلك الى نقص مقاومة هذه المواد لتأثير الاشعة فوق بنفسجية (UV) والتي تعمل على تفكيك الروابط العرضية للبوليمر، بالإضافة الى تشكيل الجذور الحرة.

2.1.6.نتائج اختبار الاوزان الساقطة(الصدم):

أظهرت نتائج الصدم تفاوت قدرة العينات على تحمل الصدمات وذلك على النحو التالي:

عند اضافة (TiO_2/MgO) بنسب مختلفة، أظهرت العينات التي تحوي على %(2)،%(3) أكثر مقاومة للصدمات، حيث تحطمت العينات بعد الصدمة الرابعة، ويعود سبب ذلك الى تكتل جزيئات (TiO_2) لتحدث انقطاع في السلاسل البوليميرية في العينات حيث يوضح الشكل (27) التكهفات مع جزيئات (TiO_2) المتكتلة وهذ ما يتوافق مع ما ذكر في المرجع(2022) (Elgharbawy) [11]. عند اضافة (MgO) كانت قدرتها على تحمل الصدمات أخفض بسب اكتساب

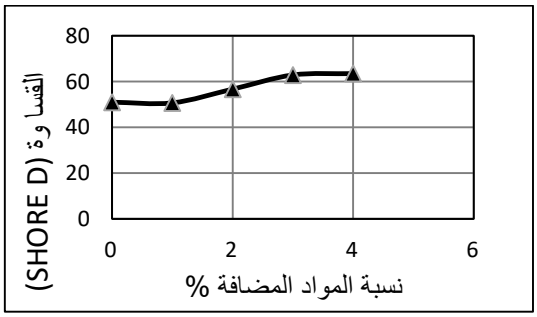
العينات صفة الهشاشة.



الشكل (27) يوضح ازدياد تكتلات(TiO_2) مع ازدياد نسبة الاضافة الى مادة (PVC)

3.1.6.نتائج اختبار القساوة:

تعتبر القساوة من الخصائص الميكانيكية الهامة والتي تمكّن المادة من الحفاظ على سطحها متماسكاً تحت تأثير الاحمال الخارجية، حيث تتأثر هذه الخاصية في مادة (PVC) بعدة عوامل أهمها المواد المضافة ونسبة أضافتها ومن أهم هذه المواد الملدنات (plasticizer) التي تتأثر بأشعة الشمس على المدى البعيد وتنخفض نسبتها في المادة مما يؤدي الى ازدياد صفة الهشاشة. يوضح الشكل (28) القساوة لعينات (PVC) محملة بنسب مختلفة من (TiO_2/MgO) والمعرضة لأشعة (UV):



الشكل (28) القساوة لعينات (PVC) محملة بنسب مختلفة من (TiO_2/MgO)، والمعرضة لأشعة (UV)

يلاحظ من الشكل ازدياد قساوة العينات بشكل متفاوت مع ازدياد نسبة اضافة كل من (TiO_2/MgO) حيث تقوم مادة (TiO_2) بمنع تغلل أشعة (UV) وبالتالي تقليل تفكك الروابط العرضية لسلاسل البوليمرات. كما تؤدي اضافة مادة (MgO) الى زيادة الوزن الجزيئي وبالتالي زيادة في القساوة.

4.1.6. نتائج اختبار الضغط الداخلي:

بعد أن تم تطبيق الضغط الداخلي على عينات من مادة (PVC) محملة بنسب مختلفة من مادة (TiO_2/MgO) من ولمدة ساعة كاملة عند درجة حرارة C^o (60) حيث ظهرت شقوق وشروخ وانتفاخات بسبب اكتساب العينات صفة الشاشة بعد تعريضها لأشعة (UV) عدا العينة المحملة ب نسبة %(2/2)، حيث يوضح الشكل (29) أحد هذه العينات.

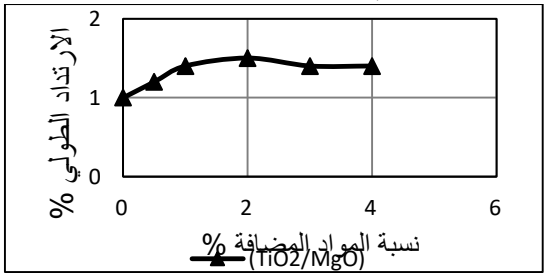
الشكل(29) أحد العينات المتشققة نتيجة اختبار الضغط الداخلي

2.6. نتائج القياسات الحرارية

(Thermalmeasurement0 results):

1.2.6. نتائج اختبار الاثر الحراري:

يوضح الشكل (30) مقدار الارتداد الطولي الناتج عن الاثر الحراري الذي تعرضت له عينات (PVC) المحملة بنسب مختلفة من(TiO_2/MgO) حيث أظهرت النتائج تفاوتاً في نسبة الارتداد الطولي لهذه العينات.

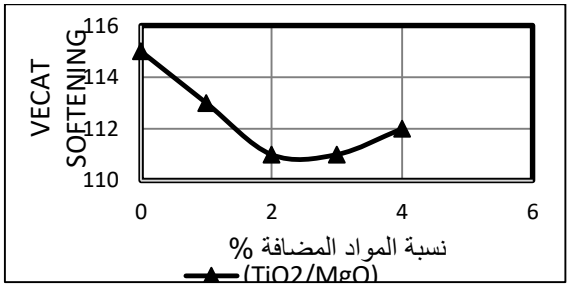


الشكل(30) الارتداد الطولي عينات (PVC) المحملة بنسب مختلفة بالمواد (TiO_2/MgO)

العينات التي تحوي على مادة (TiO_2/MgO) بنسبة %(2/2)كان الارتداد الطولي الناتج عن الاثر الحراري هو الاكبر حيث بلغت نسبة الارتداد الطولي %(1.5) ،ويعود السبب في ذلك الى أن العينات عند هذه النسب قاومت تغلل أشعة (UV) ، وعند وضع هذه العينات في فرن اختبار الاثر الحراري كان لهذه العينات النصيب الاكبر من الخسارة في البنية (خسارة المواد المضافة ، تحلل البنية).

2.2.6. نتائج اختبار درجة حرارة التلدين (نقطة فيكات) (VICAT Softening):

يوضح الشكل (31) قيمة نقطة فيكات لعينات(PVC) محملة بنسب مختلفة من بمادة (TiO_2/MgO) فقد بغلت أعلى قيمة لدرجة حرارة التلدين (113) عند نسبة تحميل % (1/1)، وبغلت اخفض قيمة (111) عند نسبة تحميل %(2/2) و%(3/3) ويعود سبب ذلك الى وجود مادة (TiO_2) التي تعمل على تقليل تغلل أشعة (UV) وبالتالي التقليل من خسارة المواد الملدَنة.



الشكل (31) تأثير المواد (TiO_2/MgO) على درجة حرارة تلدين مادة PVC المعرضة لأشعة (UV)

7.الاستنتاجات:

1- عند إضافة (TiO_2/MgO) تزداد مقاومة الشد حتى نسبة (1/1%) ومن ثم تبدأ بالانخفاض التدريجي حتى نسبة اضافة (4/4%). كما تزداد الاستطالة حتى النسبة %(2/2) ومن ثم ثبات مع انخفاض طفيف عند زيادة نسبة اضافة (TiO_2/MgO).

2- تزداد خاصية القساوة لمادة (PVC) بعد التعرض لأشعة (UV) مع ازدياد نسبة المواد (TiO_2/MgO).

3- تزداد مقاومة الصدم(الاوزان الساقطة) عند تحميل مادة (PVC) بمادة عند (TiO_2/MgO) عند النسب %(3/3),%(2/2).

4- العينات التي تحوي على %(2/2) من مادتي (TiO_2/MgO) أكثر قدرة على مقاومة الضغط الهيدروستاتيكي الداخلي من العينات التي تحوي على (MgO) فقط. حيث تزداد القدرة على مقاومة الضغط الهيدروستاتيكي الداخلي مع ازدياد نسبة تحميل العينات بمادتي (TiO_2/MgO) حتى نسبة تحميل %(2/2)ومن ثم تبدأ بالتناقص.

5- تزداد قيمة الارتداد الطولي لعينات (PVC) مع زيادة نسبة اضافة مادتي (TiO_2/MgO) حتى %(2/2) ومن ثم تبدأ بالانخفاض حتى نسبة اضافة %(4/4).

6- تنخفض درجة حرارة التلدين(نقطة فيكات) عند التحميل بمادة (TiO_2/MgO)حتى نسبة تحميل %(2/2) و%(3/3) ومن تزداد مع ازدياد درجة حرارة التحميل.

7- يلعب كلاً من زمن ودرجة حرارة المزج في الخلاط قبل الدخول الى حجرة التلدين والبثق دوراً كبير في توزّع المواد المضافة وتجانسها.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل(501100020595).

[6] A. J. Whittle (2001) "Assessment of strength and toughness of modified PVC pipes" Plastics, Rubber and Composites 2001 Vol. 30 No. 9.

[7] Fethi Kami "A study on usability of magnesium oxide with titanium dioxide in PVC door and window profiles"Journal of Materials Processing Technology 159 (2005) 40–47.

[8] Tamer Karayildirim" The effect of some fillers on PVC degradation" J. Anal. Appl. Pyrolysis 75 (2006) 112–119.

[9] K Chaochanchaikul, N Sombatsompop " Stabilizations of Molecular Structures and Mechanical Properties of PVC and Wood/PVC Composites by Tinuvin and TiO2 Stabilizer" POLYM. ENG. SCI., 51:1354–1365, 2011.

[10] Sihama I. Al-Shalchy "Mechanical Properties of Polyvinyl Chloride and Polypropylene Hybrid Polymeric Nanocomposites for Structural Applications " (2020) International Journal of Nanoelectronics and Materials(249-262).

[11] Abdallah S. Elgharbawy "Poly Vinyl Chloride Additives and Applications – A Review " Journal of Risk Analysis and Crisis Response, 2022, 12(3), 143-151.

(REFERENCES):

[1] J.M. Waller, K. Lindsborg UV Light Stabilized Polyvinyl Chloride Composition" US Patent 5,030,676 (1991).

[2] R.H. Hallas" Additives for plastics-UV stabilizers" Plast. Eng. 32 (1976) 15–19.

[3] H. Andreas" PVC stabilizers" in: R. Gachter, H. Muller (Eds.),Plastics Additives Handbook, Hanser Publisher, New York, 1984, p. 193.

[4] D. Braun" Thermal degradation of polyvinyl chloride" in: N.Grassie Ed.), Development in Polymer Degradation, vol. 3, Applied Science Publishers, London, 1981, p. 101.

[5] W.L. Hawkins" Polymer Stabilization, Wiley/Interscience" New York, 1972, p. 131.