

## تأثير إضافة ( $\text{TiO}_2$ ) على بعض الخصائص الميكانيكية والحرارية لأنابيب البولي فينيل كلوريد (PVC) المعرضة لأشعة الشمس

محمد يونس حجازي\*<sup>1</sup> محمد سمير البرزواي<sup>2</sup>

1. طالب دكتوراه، دراسات عليا، مهندس اختصاص علم المواد وهندستها، جامعة دمشق.

[mohamdhj@Damascusuniversity.edu.sy](mailto:mohamdhj@Damascusuniversity.edu.sy)

2. دكتور، استاذ مساعد في قسم هندسة التصميم الميكانيكي، اختصاص مقاومة المواد البلاستيكية. جامعة

دمشق. [MohamadAlBarzawi@Damascusuniversity.edu.sy](mailto:MohamadAlBarzawi@Damascusuniversity.edu.sy)

### الملخص:

تاريخ الايداع: 2022/11/11

تاريخ القبول: 2023/1/9



حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية،  
يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب

CC BY-NC-SA

في هذا البحث تم دراسة تأثير مادة ( $\text{TiO}_2$ ) على أنابيب البولي فينيل كلوريد (PVC) المعرضة لأشعة الشمس، حيث تم تصنيع عينات محملة بنسب مختلفة من هذه المادة وتعرضها لأشعة (UV) الموجودة في اشعة الشمس التي تسبب تحلل مادة (PVC) وذلك باستخدام جهاز تقادم يحوي بداخله أنابيب 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 1.5-2.5% ( $\text{TiO}_2$ ) أبدت أفضل الخواص الميكانيكية والحرارية. الكلمات المفتاحية: أنابيب البولي فينيل كلوريد (PVC)، ثاني أكسيد التيتانيوم ( $\text{TiO}_2$ )، الأشعة فوق بنفسجية (UV).

## The Effect of Adding (TiO<sub>2</sub>) on Some Mechanical and Thermal Properties of Polyvinyl Chloride (PVC) Pipes Exposed to Sunlight

Muhammad Yunus Hijazi\*<sup>1</sup> Mohamad Samir AlBarzawi<sup>2</sup>

\*<sup>1</sup>. Postgraduate Studies, Eng, specialization in Materials Science and Engineering. Damascus University.

[mohamdhj@Damascusuniversity.edu.sy](mailto:mohamdhj@Damascusuniversity.edu.sy)

<sup>2</sup>. Dr, Assistant Professor in the Department of Mechanical Design Engineering, Damascus University, specializing in the strength of plastic materials. [MohamadAlBarzawi@Damascusuniversity.edu.sy](mailto:MohamadAlBarzawi@Damascusuniversity.edu.sy)

Received: 11/11/2022

Accepted: 9/1/2023



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

### Abstract:

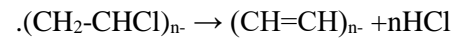
In this research, the effect of (TiO<sub>2</sub>) on polyvinyl chloride (PVC) pipes exposed to sunlight was studied. Samples loaded with different percentages of this material were manufactured and exposed to (UV) rays presented in sunlight, which causes the decomposition of PVC by means of an Aging device containing inside it a fluorescent tubes, and then some mechanical and thermal tests (tensile and elongation, hardness, internal pressure, fall weights, longitudinal rebound (thermal effect), plasticizing point (VICAT Softening) applied, where the results showed that samples containing 1.5-2.5%(TiO<sub>2</sub>) It showed the best mechanical and thermal properties.

**Keywords:** Polyvinyl chloride (PVC) pipes, titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>), ultraviolet radiation (UV).

تأثير إضافة (TiO<sub>2</sub>) على بعض الخصائص الميكانيكية والحرارية لأنابيب..... حجازي، البرزاوي

## 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 [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 جداً من التطبيقات، مثل الأنابيب وبروفيلات النوافذ، نظراً لتكلفتها المنخفضة وكفاءتها الاقتصادية ومتانتها العالية [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:



حيث يتغير لون المادة التي أساسها (PVC) من الأصفر إلى الأسود حسب درجات التحلل. بمجرد بدء التفاعل، تتعرض البوليمرات تدريجياً لتغيرات في الخواص الميكانيكية، الفيزيائية، الحرارية والكيميائية ويمكن أن تصل في النهاية للتحلل والتفكك التام [3-4]. 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 المائلة 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 [4-5]. 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 تغلغل الأشعة فوق البنفسجية في سطح المادة التي تدخل في تركيبها.

تعتبر التكلفة العالية نسبياً لثاني أكسيد التيتانيوم عيباً مهماً وبشكل خاص عند تصنيع منتجات (PVC) ذات الاستخدام الخارجي لأن هذه المنتجات تتطلب زيادة في الأبعاد وذلك لتعويض التحلل في السطح الخارجي الناتج عن تغلغل أشعة (UV). وبالتالي، من الأفضل إضافة مادة (TiO<sub>2</sub>) إلى مادة (PVC) بكمية مناسبة دون زيادة تعمل على ارتفاع قيمة التكلفة أو نقصان يؤدي إلى زيادة تغلغل أشعة (UV) وبالتالي تسريع تحلل مادة (PVC).

بما أن أغلب منتجات مادة (PVC) تحوي عموماً على 0.5-5 phr فلا يوجد ضمان لتحديد موقع الجزء الأكبر من ثاني أكسيد التيتانيوم بالقرب من الأسطح الخارجية للمواد المعرضة لضوء الشمس.

تأثير إضافة ( $\text{TiO}_2$ ) على بعض الخصائص الميكانيكية والحرارية لأنابيب..... حجازي، البرزاوي

### 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 ثباتاً لتطبيقات مادة (PVC) موضوعاً مهماً لدى كثير من الباحثين [5]، حيث تم إضافة مادة ثاني أكسيد التيتانيوم ( $\text{TiO}_2$ ) والتي تعتبر من أكثر المواد المضافة أهمية بالنسبة لمادة (PVC) المستخدمة في التطبيقات المعرضة لأشعة الشمس نظراً لامتصاصها الممتاز للأشعة فوق البنفسجية.

حيث تعمل إلكترونات مادة ( $\text{TiO}_2$ ) عندما تنتقل من مستوى الطاقة valance band ( $\text{Vb}$ ) الى المستوى conduction band ( $\text{cd}$ ) ومن ثم يملئ فراغ سابق في المستوى ( $\text{Vb}$ ) محولاً الطاقة الضوئية الى طاقة حرارية [6]. بالنسبة لمعظم التطبيقات، تم استخدام ( $\text{TiO}_2$ ) لتحسين مظهر ومتانة منتجات (PVC). درس عدد من الباحثين نواتج التحلل وآليات الأكسدة الضوئية لإضافات مادة (PVC) المدمجة تحت ظروف التجوية المختلفة. من هذه الدراسات:

1.2. قام A. J. Whittle وآخرون [7] (2001) بتقييم قوة وصلابة أنابيب (PVC) المعدلة حيث تم استخدام أنابيب (PVC) بنجاح لغرض نقل المياه لسنوات عديدة. ودراسة تأثير مستويات إضافة مختلفة ومنخفضة نسبياً لمادة مقاومة للصدم على صلابة وقوة أنابيب (PVC-M)، باستخدام مجموعة متنوعة من الاختبارات. أظهرت نتائج البحث ازدياد مقاومة الصدم لأنابيب البولي فينيل غير الملدنة (U-PVC) بازدياد تركيز البولي إيثيلين الكولر (CPE).

2.2. قام Tamer Karayildirim (2006) [9] بدراسة تأثير بعض المواد المألثة على تحلل مادة (PVC) وهي الطين

الأحمر Red Mud (RM) وكربونات الكالسيوم والدولوميت (dolomite) حيث قام بإجراء اختبار التحليل الوزني الحراري، حيث أظهرت النتائج فاعلية (RM) كمادة مضافة بنسبة 15 phr تليها مادة كربونات الكالسيوم.

3.2. قام Kantima Chaochanchaikul (2011) [10] بدراسة استقرار الهياكل الجزيئية والخواص الميكانيكية لمركبات (PVC) والخشب بواسطة مثبتات (Tinuvin) و ( $\text{TiO}_2$ ) حيث قام بمقارنة فاعلية 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).

4.2. قامت Sihama I. Al Shalchy وآخرون (2020) [11] بتصنيع وتقييم الخصائص الميكانيكية لثلاثة أنواع من خلطات البوليمرات. تظهر نتائج الخواص الميكانيكية أن مزيج البوليمر (PVC-PP-EPDM) له قيم أعلى في مقاومة الانضغاط ومعامل الانحناء وقوة الصدم، في حين أن مزيج البوليمر (PVC-PP-ABS) له قيم أعلى في مقاومة الانحناء. كما أدت إضافة جزيئات ( $\text{TiO}_2$ ) النانوية إلى تحسين الخواص الميكانيكية للمركبات المحضرة.

تتضمن الدراسة الحالية تأثير نسبة إضافة مادة ( $\text{TiO}_2$ ) الى مادة (PVC) المستخدمة في صناعة الأنابيب من حيث الخصائص الميكانيكية والحرارية وذلك أثناء عملية التجوية المتسارعة باستخدام الأشعة فوق بنفسجية (UV).

### 3. المواد المستخدمة (Materials):

#### 1.3. البولي فينيل كلوريد (PVC):

عبارة عن مسحوق أبيض اللون كوري المنشأ صنع شركة SEUNGJIN ENTERPRISE، الصيغة الجزيئية  $(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl})_n$  الكثافة  $1.38 \text{ g/cm}^3$ ، مقاومة الانضغاط  $87.5 \text{ Kg/cm}^2$ ، الحرارة النوعية  $0.4 \text{ - } 0.25$

حجازي، البرزاوي

تأثير إضافة ( $TiO_2$ ) على بعض الخصائص الميكانيكية والحرارية لأنابيب.....

Cal/Cm درجة حرارة الاستعمال العظم،  $^{\circ}C$  (80-104)

يوضح الشكل (1) ريزين البولي فينيل كلوريد (PVC).



الشكل (3) كربونات الكالسيوم  $CaCO_3$

#### 4.3. مادة مثبتة KN 500 stabilizer:

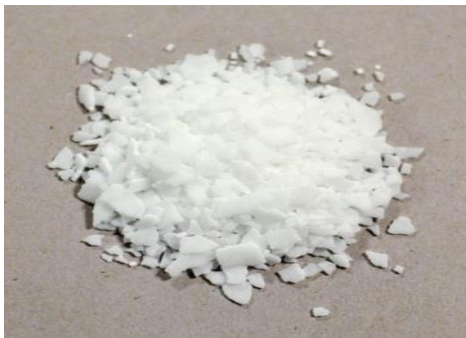
عبارة عن مسحوق أبيض كوري المنشأ، الشركة المصنعة (DANSUK)، النوع KN 500 الموضح في الشكل (4) مناسب لصناعة أنابيب (PVC).



الشكل (4) مادة مثبتة (stabilizer)

#### 5.3. حمض الشمع (Stearic Acid):

ماليزي المنشأ، الشركة المصنعة (KLK OIEO) ذو مظهر حبيبي اللون كما هو موضح في الشكل (5) درجة النقاء (99.2%)، نسبة اليود (max 0.8%).



الشكل (5) حمض الشمع Stearic Acid

#### 6.3. شمع البارافين (paraffin wax):

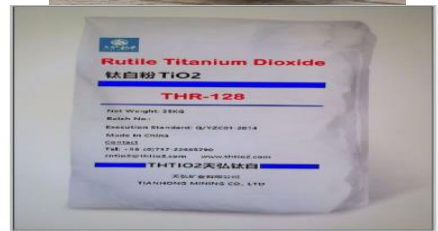
صيني المنشأ الشركة المصنعة (Beijing Dongke United Technologies) تتراوح درجة الذوبان ما بين  $^{\circ}C$  (46-68).



الشكل (1) ريزين البولي فينيل كلوريد (PVC)

#### 2.3. ثاني أكسيد التيتانيوم ( $TiO_2$ ):

عبارة عن مسحوق أبيض كوري المنشأ صنع شركة (JAEWOO ENPLA)، كثافته  $g/cm^3$  (4,23) نقطة انصهاره  $^{\circ}C$  (1843) نقطة الغليان  $^{\circ}C$  (2972). يوضح الشكل (2) ثاني أكسيد التيتانيوم ( $TiO_2$ ).



الشكل (2) ثاني أكسيد التيتانيوم ( $TiO_2$ )

#### 3.3. كربونات الكالسيوم ( $CaCO_3$ ):

مسحوق أبيض ناعم، البلد المنشأ سوريا، الشركة المصنعة الثجاج للصناعات الكيميائية، الكثافة  $g/cm^3$  (2,711)، نقطة الانصهار  $^{\circ}C$  (1339)، الكتلة المولية (100,08) g/mol. يوضح الشكل (3) كربونات الكالسيوم ( $CaCO_3$ ).

حجازي، البرزاوي

تأثير إضافة (TiO<sub>2</sub>) على بعض الخصائص الميكانيكية والحرارية لأنابيب.....



الشكل (7) زيت DOP

### 8.3. الكربون الاسود (هاب الفحم) Carbon

#### :Black N550

عبارة عن مسحوق أسود كما هو موضح في الشكل (8) يستخدم كصبغة لإعطاء المنتج اللون الرمادي أوكراني المنشأ، الشركة المصنعة (Jsc Stakhanov Carbon Black Chemical Plant). درجة النقاء % (99)، الكثافة g/Cm<sup>3</sup> (0.3)، نسبة الرماد الأعظمية % (0.5).



الشكل (8) هباب الفحم (الكربون الاسود)

### 9.3. مادة مساعدة (Processing aid):

يتم إضافته كمادة مساعدة أثناء عملية المعالجة، عبارة عن مسحوق أبيض كما هو موضح بالشكل (9)، كوري المنشأ، الشركة المصنعة (LG Chem).

الكثافة (0,9)g/Cm<sup>3</sup>. يذوب شمع البارافين في الإسترات، والإيثر، والبنزين، ولا يذوب في الماء. يتميز شمع البارافين بسرعة اشتعاله. يوضح الشكل (6) شمع البارافين المستخدم.



الشكل (6) شمع البارافين (paraffin wax)

### 7.3. الملدن Plasticizer:

من الملدنات زيت ثنائي أوكثيل فتالات (DiocetylPhthalate) المعروف (DOP) صيغته الكيميائية C<sub>24</sub>H<sub>38</sub>O<sub>4</sub> صيني المنشأ صنع شركة (ZhengzhouSan Techchem) سائل شفاف اللون كما هو موضح في الشكل (7) كثافته عند g/Cm<sup>3</sup> (0,988) النقاوة (Min 99.5%) نقطة الوميض (Min 196 °C).



حجازي، البرزاوي

تأثير إضافة ( $TiO_2$ ) على بعض الخصائص الميكانيكية والحرارية لأنابيب.....



الشكل (11) آلة إنتاج أنابيب (PVC)

قبل عملية الإنتاج تم خلط المواد بالنسب المحددة في الجدول (1) بواسطة خلاط خاص ذو منشأ صيني، الشركة المصنعة (zhangjiagang Faygo Union Science Co) والموضح في الشكل (12) حيث تبلغ سعة الخلاط العظمى 500 Kg، تمت عملية الخلط لمدة ساعتين تقريباً حيث تستمر عملية الخلط حتى تصبح درجة حرارة المزيج  $120^\circ C$  تقريباً، وعند الوصول الى درجة الحرارة المطلوبة يقوم الخلاط أوتوماتيكياً بنقل الخليط الى وعاء التبريد حتى تصبح درجة حرارته  $70^\circ C$  ومن ثم يتم اخراج الخليط.



الشكل (12) الخلاط (مازج المواد الاولية)

تم إبقاء الخلطات لمدة 24 ساعة بعد عملية تصنيعها وذلك من أجل تبريدها بالإضافة الى إتمام عملية البلمرة بشكل كامل، ومن ثم تم تصنيع العينات على شكل أنابيب.

5. تعريض العينات للأشعة فوق بنفسجية (UV):



الشكل (9) المادة المساعدة لعملية التصنيع (Processing aid)

#### 4. تحضير العينات:

تم تحضير العينات الموضحة في الشكل (10) بقطر 75mm (سماعة 3mm) وفق المواصفة الألمانية DIN (8062P) و المواصفة (ASTM D-17855) بنسب خلط كما هو موضح في الجدول (1) باستخدام آلة إنتاج أنابيب ذات منشأ صيني، الشركة المصنعة (zhangjiagang Faygo Union Science Co) ، الموضحة بالشكل (11) والموجودة في معمل (Formul) لإنتاج أنابيب (PVC), (PPR) مدينة عدرا الصناعية - ريف دمشق.



الشكل (10) إنتاج شركة Formul

| الجدول (1) نسب المواد المضافة في كل خلطة مع إضافة مادة (TiO <sub>2</sub> ). |       |       |       |       |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| رقم العينة  | 0     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
| PVC-K(67)   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   |
| Stabilizer  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
| Steric acid   | 0.4   | 0.4   | 0.4   | 0.4   | 0.4   | 0.4   | 0.4   |
| PE wax  | 0.3   | 0.3   | 0.3   | 0.3   | 0.3   | 0.3   | 0.3   |
| Processing aid  | 0.5   | 0.5   | 0.5   | 0.5   | 0.5   | 0.5   | 0.5   |
| Ca Co <sub>3</sub>  | 15    | 15    | 15    | 15    | 15    | 15    | 15    |
| هباب الفحم  | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 |
| TiO <sub>2</sub>  | 0     | 0.5   | 1.5   | 2.5   | 3.5   | 4.5   | 5.5   |

فلوريسنت والتي تصدر أشعة (UV) ذات طول موجي (270-313) نانو متر بالإضافة الى تيار من الهواء وبخار الماء.

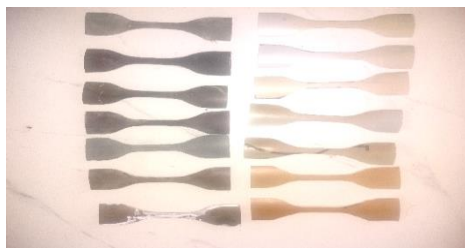
## 6. الطرائق التجريبية Experiments:

### 1.6. القياسات الميكانيكية (Mechanical)

#### :(measurements)

#### 1.1.6. اختبار الشد (Tensile Test):

تم تحضير عينات الشد الموضحة في الشكل (14) وفق المواصفة (ASTMD-412) والتي تحدد أبعاد العينة كما هو موضح في الشكل (15)، تم تطبيق التجربة بسرعة شد (5) mm/min وتحديد قيمة اجهاد الشد والاستطالة الناتجة لكل عينة.



الشكل (14) عينات الشد المقتطعة من الانابيب

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 (13) ذو منشأ صيني.

الشركة المصنعة (GAOGE) والموجود في مخبر البوليمرات في مركز الأبحاث والاختبارات الصناعية وفق المواصفة (ISO 4892) و (ASTM D4329-99)



الشكل (13) 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



تأثير إضافة (TiO<sub>2</sub>) على بعض الخصائص الميكانيكية والحرارية لأنابيب..... حجازي، البرزاوي

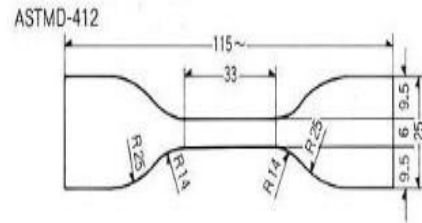
- تم قطع العينات بالمنشار بحيث تكون نهايتها مستويتين وعموديتين على محور الانبوب.
- تم أخذ أربع عينات من كل خلطة.
- تم رسم خطوط طولية على سطح العينة بالاتجاه الطولي للعينة بحيث ألا تقل المسافة بين أي خطين عن 5 Cm.
- تم ضبط الجهاز بحيث يسمح للرأس الضاربة بالسقوط الحر من ارتفاع 2m على العينة.
- توضع العينة على قاعدة التثبيت (حرف v) بحيث يكون أحد تلك الخطوط في أعلى الانبوب.
- اجراء الاختبار وذلك بالسماح للوزن الساقط بالاصطدام بالعينة حيث بلغ وزن العينة 2kg وفي حالة عدم حدوث شرخ تدار العينة بحيث يأخذ الخط الثاني الوضع الأعلى للعينة، تكرر هذه العملية إلى أن تنتهي الخطوط أو تتكسر العينة.

### 3.1.6. 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 (18)، أبعاد عينة الاختبار (3\*40\*40) mm الموضحة في الشكل (19)، يظهر جهاز الاختبار قيمة القساوة الناتجة عن غرز إبرة معيارية في اختبار القساوة، حيث تم تكرار التجربة خمس مرات لكل عينة وأخذ المتوسط الحسابي لمجموع القراءات.

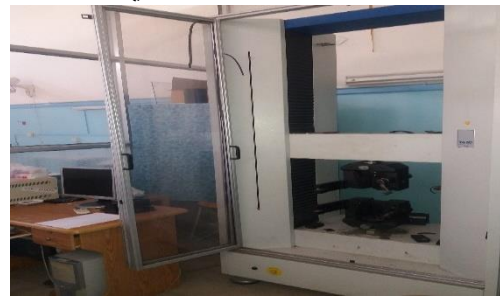


الشكل (18) جهاز اختبار القساوة



الشكل (15) أبعاد عينة الشد وفق المواصفة (ASTM D-412)

تم اجراء اختبار الشد والاستطالة باستخدام جهاز ألماني الصنع من شركة (Test-114) الموضح في الشكل (16).



الشكل (16) جهاز اختبار الشد

### 2.1.6. 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 (17) والموجود في معمل طوبى بلاست لصناعة انابيب PVC حيث تم اجراء الاختبار وفق المواصفة (ISO 9854: 2010) وذلك وفق المراحل التالية:

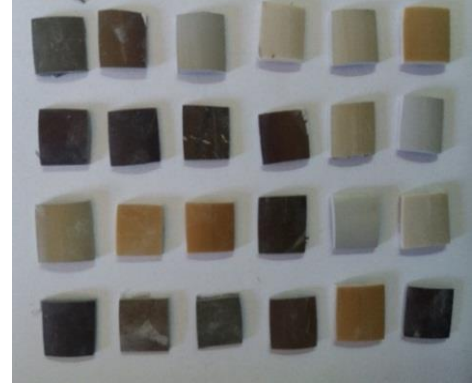


الشكل (17) جهاز اختبار الاوزان الساقطة

- تم أخذ عينات من الانابيب المنتجة بطول 20Cm.

تأثير إضافة (TiO<sub>2</sub>) على بعض الخصائص الميكانيكية والحرارية لأنابيب..... حجازي، البرزاوي

- تم قياس القطر الخارجي لكل عينة بالإضافة الى السماكة حيث تم تسجيل أقل سماكة.
- تم تركيب أغشية الاغلاق ومن ثم غمرها في الحوض الخاص بالضغط عند درجة الحرارة التي سوف يجرى عندها الاختبار وابقائها عند درجة الحرارة المطلوبة لمدة لا تقل عن ساعة قبل رفع الضغط عنها.
- تم تطبيق ضغط داخلي (35)Bar لمدة ساعة كاملة عند درجة حرارة °C (60) وفقاً للمواصفة المستخدمة في هذا الاختبار.



الشكل (19) عينات اختبار القساوة

## 2.6. القياسات الحرارية:

- 1.2.6. اختبار الارتداد الطولي (الاثر الحراري) Thermal (impact test): 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 الفرن الحراري نوع (Dipl.Lng.W.Ehret GmbH) الموضح في الشكل (22).



الشكل (22) الفرن الحراري

## خطوات اختبار الاثر الحراري:

- تم أخذ عينة من الانابيب المنتجة (20)Cm

## 4.1.6. 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 (20) جهاز الضغط وكما يوضح الشكل (21) عينة الضغط



الشكل (20) جهاز اختبار الضغط



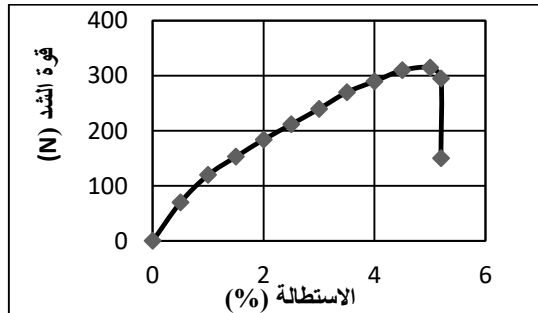
الشكل (21) عينة اختبار الضغط الداخلي

- تم أخذ عينة من الانبوب بطول (86)Cm.

تأثير إضافة ( $TiO_2$ ) على بعض الخصائص الميكانيكية والحرارية لأنابيب..... حجازي، البرزاوي

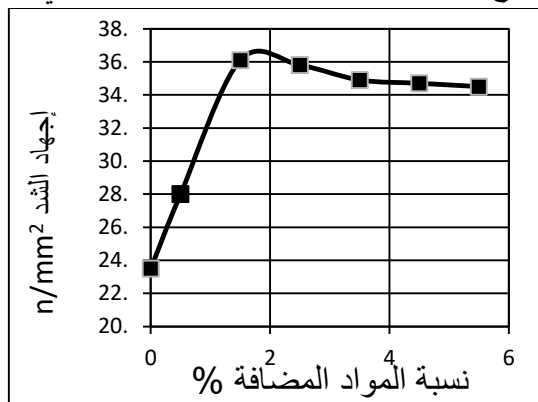
#### خواص الشد (Tensile Strength):

يوضح الشكل (24) نموذج لمخطط الشد والاستطالة لعينة (PVC) محملة بمادة ( $TiO_2$ ) 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 ( $TiO_2$ ).

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



الشكل (25) العلاقة بين نسبة ( $TiO_2$ ) واجهاد الشد عند الانقطاع

-عند النسبة % (0) من مادة ( $TiO_2$ )، 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 نسبة اضافة % (0.5) من مادة ( $TiO_2$ ) يلاحظ ازدياد مقاومة الشد ويعود سبب ذلك منع استمرار تغلغل اشعة

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

- تم وضع العينة بالفرن الحراري عند درجة حرارة (150) °C درجة مئوية وتترك العينة بالفرن لمدة (60) دقيقة كما هو محدد في المواصفة.

#### 2.2.6. اختبار درجة حرارة التلدين (نقطة فيكات)

##### (VICAT Softening):

درجة حرارة التلين (Vicat) أو صلابة (Vicat) هي تحديد درجة التلين للمواد التي ليس لها نقطة انصهار محددة، مثل البلاستيك وتستخدم من اجل مقارنة الخصائص الحرارية للمواد المختلفة. يتم تعيينها على أنها درجة الحرارة التي يتم فيها اختراق العينة إلى عمق 1mm بواسطة إبرة ذات نهاية مسطحة ذات مقطع عرضي دائري أو مربع  $1mm^2$ . بالنسبة لاختبار Vicat A، يتم استخدام حمولة 10 N. بالنسبة لاختبار Vicat B، يكون الحمل 50 N. تم اجراء الاختبار وفق المواصفة (ASTM D 1525) باستخدام جهاز من انتاج شركة (Ualitest) موديل (HV-3000) والموضح في الشكل (23)، حيث تم اعتماد حمولة 10N وارتفاع تدريجي للحرارة بمعدل  $120^{\circ}C/h$ .



الشكل (23) جهاز اختبار الاثر الحراري

#### 7. نتائج الاختبارات ومناقشتها:

##### 1.7. نتائج الخواص الميكانيكية (Mechanical properties):

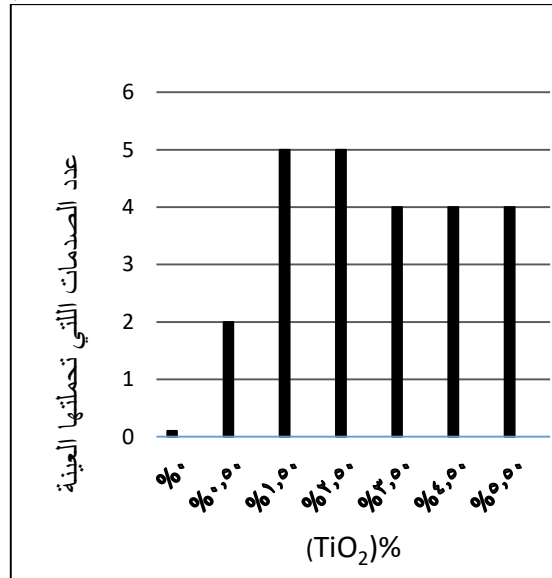
##### 1.1.7. نتائج اختبار الشد والاستطالة:

حجازي، البرزاوي

تأثير إضافة ( $TiO_2$ ) على بعض الخصائص الميكانيكية والحرارية لأنابيب.....

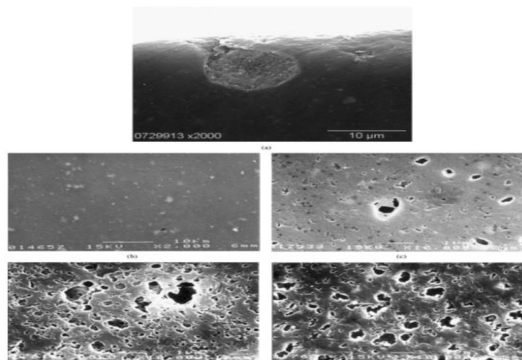
## 2.1.7. نتائج اختبار الصدم (الاوزان الساقطة):

أظهرت نتائج الصدم، كما هو موضح بالشكل (27)، تفاوت قدرة العينات على تحمل الصدمات وذلك على النحو التالي:



الشكل (27) العلاقة بين عدد الصدمات التي تحملتها العينة ونسبة إضافة ( $TiO_2$ )

عند إضافة ( $TiO_2$ ) بنسب مختلفة، أظهرت العينة التي تحتوي على 1.5-2.5% أكثر مقاومة للصدمات، حيث تحطمت العينات بعد الصدمة الخامسة، أما باقي العينات التي تحتوي على نسب أكبر تناقص في مقاومتها للصدمات ويعود سبب ذلك إلى تكتل جزيئات ( $TiO_2$ ) لتحداث انقطاع في السلاسل البوليميرية في العينات حيث يوضح الشكل (28) التكهفات مع جزيئات ( $TiO_2$ ) المتكتلة [12]



الشكل (28) يوضح ازدياد تكتلات ( $TiO_2$ ) مع ازدياد نسبة الإضافة إلى مادة (PVC)

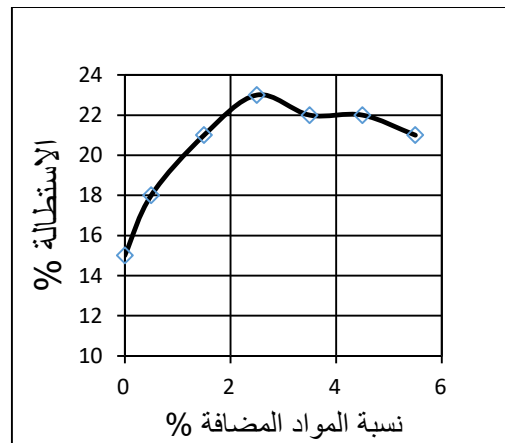
(UV) إلى مسافة عمق وبالتالي الحد من تشكل الجذور الحرة.

- عند النسبة 1.5% من مادة ( $TiO_2$ ) فإن مقاومة الشد تزداد بشكل أكبر حتى نسبة إضافة 2.5% ويعود ذلك إلى الدور الأكبر الذي تقوم به جزيئات ( $TiO_2$ ).

- عند نسبة إضافة 2.5% من مادة ( $TiO_2$ ) تبدأ مقاومة الشد بالانخفاض بشكل تدريجي ويعود ذلك إلى تشكل كتل من ( $TiO_2$ ) تسبب انقطاع في السلاسل العملاقة للبوليمير وبالتالي تراجع في الخصائص الميكانيكية.

## الاستطالة عند الانقطاع (Elongation at break %)

يوضح الشكل (26) العلاقة بين الاستطالة عند الانقطاع ونسبة إضافة ( $TiO_2$ ).



الشكل (26): العلاقة بين الاستطالة عند الانقطاع ونسبة إضافة ( $TiO_2$ ) إلى مادة (PVC)

يلاحظ من الشكل بأن الاستطالة تزداد بشكل تدريجي بسيط مع ازدياد نسبة مادة ( $TiO_2$ ) حتى نسبة إضافة 2.5-3% (0-2.5%) ويعود ذلك إلى نقص مقاومة هذه المواد لتأثير الأشعة فوق بنفسجية (UV) والتي تعمل على تفكيك الروابط العرضية للبوليمر، بالإضافة إلى تشكيل الجذور الحرة، ومن ثم تبدأ الاستطالة بالانخفاض التدريجي حتى نسبة إضافة 5.5% ويعود سبب ذلك إلى اكتساب مادة (PVC) صفة الهشاشة.

حجازي، البرزاوي

تأثير إضافة ( $TiO_2$ ) على بعض الخصائص الميكانيكية والحرارية لأنابيب.....



الشكل (30) أحد العينات المتشققة نتيجة اختبار الضغط الداخلي

## 2.7. نتائج القياسات

### الحرارية (Thermal measurement results):

#### 1.2.7. نتائج اختبار الاثر الحراري:

يوضح الشكل (31) مقدار الارتداد الطولي الناتج عن الاثر الحراري الذي تعرض له عينات (PVC) المحملة بنسب مختلفة بالمواد ( $TiO_2$ ) حيث اظهرت النتائج تفاوتاً في نسبة الارتداد الطولي لهذه العينات.

الشكل (30): الارتداد الطولي الناتج عن الاثر الحراري الذي تعرض له عينات (PVC) المحملة بنسب مختلفة بالمواد ( $TiO_2$ ).

العينات التي تحوي على مادة ( $TiO_2$ ) بنسبة % (1.5-2.5) 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 تغلغ 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).

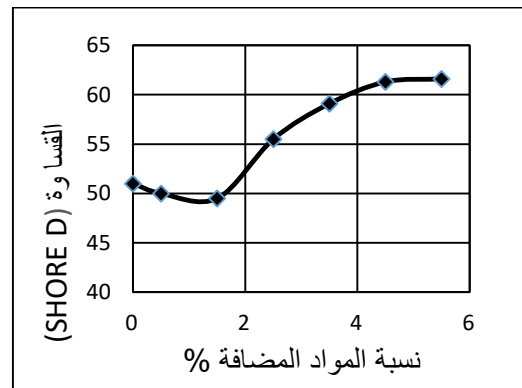
#### 2.2.7. نتائج اختبار درجة حرارة التلدين (نقطة فيكات )

##### ( VICAT Softening )

يوضح الشكل (32) قيمة نقطة فيكات لعينات (PVC) محملة بنسب مختلفة من ( $TiO_2$ ) والمعرضة لأشعة (UV)، حيث لوحظ ارتفاع تدريجي في درجة حرارة التلدين لجميع العينات مع ازدياد وذلك بسبب تأثير أشعة (UV) على لدونة

#### 3.1.7. نتائج اختبار القساوة:

تعتبر القساوة من الخصائص الميكانيكية الهامة والتي تمكن المادة من الحفاظ على سطحها متماسكاً تحت تأثير الاحمال الخارجية، حيث تتأثر هذه الخاصية في مادة (PVC) بعدة عوامل أهمها المواد المضافة ونسبة إضافتها ومن أهم هذه المواد الملدنات (plasticizer) التي تتأثر بأشعة الشمس على المدى البعيد وتخفض نسبتها في المادة مما يؤدي الى ازدياد صفة الهشاشة. يوضح الشكل (29) القساوة لعينات (PVC) محملة بنسب مختلفة من ( $TiO_2$ ) والمعرضة لأشعة (UV):



الشكل (29) القساوة لعينات (PVC) محملة بنسب مختلفة من ( $TiO_2$ )، والمعرضة لأشعة (UV)

يلاحظ من الشكل ازدياد قساوة العينات مع ازدياد نسبة اضافة كل من ( $TiO_2$ )، حيث تقوم هذه المادة بزيادة الروابط العرضية لسلاسل البوليمرات. مما يؤدي الى زيادة الوزن الجزيئي وبالتالي زيادة في القساوة.

#### 4.1.7. نتائج اختبار الضغط الداخلي:

بعد أن تم تطبيق الضغط الداخلي على عينات من مادة (PVC) محملة بنسب مختلفة من ( $TiO_2$ ) ولمدة ساعة كاملة عند درجة حرارة  $60^{\circ}C$  ظهرت تشققات في كافة العينات عدا العينات التي تحوي على نسبة % (1.5 – 2.5) من مادة ( $TiO_2$ ). أما بالنسبة لباقي العينات فقد ظهرت بها شقوق وشروخ وانتقاعات حيث يوضح الشكل (30) أحد هذه العينات:



تأثير إضافة ( $TiO_2$ ) على بعض الخصائص الميكانيكية والحرارية لأنابيب.....

حجازي، البرزاوي

4- تزداد مقاومة الضغط الهيدروستاتيكي الداخلي مع ازدياد

نسبة تحميل العينات بمادة ( $TiO_2$ ) حتى نسبة تحميل

%(2.5)ومن ثم تبدأ بالتناقص.

5- تتناقص قيمة الارتداد الطولي مع زيادة نسبة التحميل

بمادة ( $TiO_2$ ).

6- تنخفض درجة حرارة التلدين (نقطة فيكات) عند التحميل

بمادة ( $TiO_2$ ) حتى نسبة تحميل %(2.5) ومن تزداد مع

ازدياد درجة حرارة التحميل.

7- يلعب كلاً من زمن ودرجة حرارة المزج في الخلاط قبل

الدخول الى حجرة التلدين والبتق دوراً كبيراً في توزع المواد

المضافة وتجانسها.

**التمويل:** هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم

التمويل (501100020595).

العينات فعند ازدياد تأثير أشعة (UV) تزداد خسارة المواد

الملدنة نتيجة التفاعلات الحاصلة وبالتالي زيادة في قساوة

العينات، حيث بلغت درجة حرارة التلدين للعينات التي لا

تحتوي على ( $TiO_2$ ) (115) درجة مئوية وذلك لعدم مقاومة

مادة (PVC) لتأثير أشعة (UV) الضار والذي ينتج عنه

ازدياد في قساوة العينات وذلك نتيجة فقد الملدنات. وعند

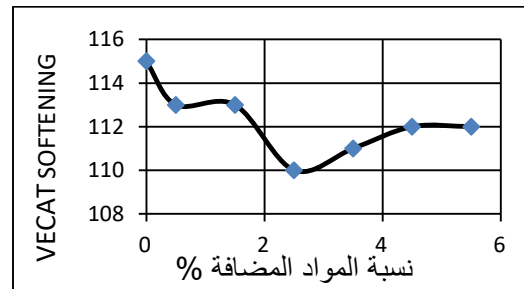
اضافة مادة ( $TiO_2$ ) فقد أنخفض درجة حرارة التلدين حتى

نسبة تحميل %(2.5) ومن ثم بدأت بالارتفاع حتى (112)

درجة مئوية عند نسبة تحميل %(5.5) ويعود سبب ذلك أن

الزيادة في كمية ( $TiO_2$ ) تكون فعالة لحد معين ومن ثم تبدأ

جزئيات ( $TiO_2$ ) بالتكتل.



الشكل (32) تأثير المواد المضافة على درجة حرارة تلدين مادة PVC

(Vicat Softening) المعرضة لأشعة (UV)

## 8. الاستنتاجات:

1- تزداد مقاومة الشد لمادة (PVC) بعد التعرض لأشعة

(UV) مع ازدياد نسبة ( $TiO_2$ ) حتى نسبة اضافة %(2.5)

ومن ثم تعود الى الانخفاض التدريجي بسبب الانقطاعات

في السلاسل العملاقة المشكلة لبنية البوليمر ،كما تنقص

الاستطالة مع ازدياد نسبة هذه المادة.

2- تزداد خاصية القساوة لمادة (PVC) بعد التعرض لأشعة

(UV) مع ازدياد نسبة المواد ( $TiO_2$ ).

3- تزداد مقاومة الصدم (الأوزان الساقطة) مع ازدياد نسبة

تحميل مادة (PVC) بمادة ( $TiO_2$ ) حتى نسبة تحميل

%(2.5)ومن ثم تبدأ بالتناقص بسبب ازدياد صفة الهشاشة

الناتجة عن تأثير أشعة (UV) الموجودة في اشعة الشمس.



[11] 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).

[12] Sheng Xu (2018)" Surface topography and cooling effects in poly(vinyl chloride) (PVC)/titanium dioxide" 27:1011–1022.

## 9. 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.

[6] Michael Schille, PVC\_Additives, (2015),p. 197-250.

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

[8] Shu Saeki" Effect of additives on dechlorination of PVC by mechanochemical treatment" J Mater Cycles Waste Manag (2001), 20–23.

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

[10] K Chaochanchaikul, N Sombatsompop " Stabilizations of Molecular Structures and Mechanical Properties of PVC and Wood/PVC Composites by Tinuvin and TiO<sub>2</sub> Stabilizer" POLYM. ENG. SCI., 51:1354–1365, 2011.