

تأثير نسب المزج (بولي إيزوسيانات - بولي يول) على الكثافة الظاهرية والبنية الميكروية للبولي أوريثان الرغوي

الدكتور رامي منصور*

(تاريخ الإيداع 23 / 5 / 2007. قُبِلَ للنشر في 16/7/2007)

□ الملخص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير نسبة مزج البولي إيزوسيانات والبولي يول على الكثافة الظاهرية ، والبنية الميكروسكوبية للبولي أوريثان الرغوي . وقد استخدم لهذا الهدف نوعان مختلفان من البولي إيزوسيانات والبولي يول، ويكمن الاختلاف فيما بينهما بسرعة الانتفاخ. أظهرت نتائج التجارب أن كثافة البولي أوريثان الرغوي PUF تتناقص بزيادة نسبة البولي إيزوسيانات حتى الوصول إلى قيم محددة لتعود بعد ذلك إلى التزايد . كما أظهرت الصور الميكروسكوبية للبولي أوريثان الرغوي أن تجانس الخلايا وشكلها وأبعادها ونموها يعتمد على نسب المزج بين البولي إيزوسيانات والبولي يول . تظهر الصور الميكروسكوبية أيضاً أن البنية الميكروية تعتمد على نوع القالب المستخدم في تحضير العينة (قالب مفتوح أو مغلق). تثبت نتائج الدراسة التجريبية أن العينات المنخفضة الكثافة تمتلك خلايا كبيرة، وكثافة منخفضة للجدران الخلوية، وأن العلاقة بين الكثافة والبنية هي علاقة قوية.

الكلمات المفتاحية: البولي أوريثان الرغوي - البولي أوريثان القاسي.

* أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم و الإنتاج الميكانيكي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا

The Effect of Mixing Percentage (Polyisocyanate – Polyole) on Apparent Density and Micro Structure of Foam Polyurethane (PUF)

Dr. Rami Mansour*

(Received 23 / 5 / 2007. Accepted 16/7/2007)

□ ABSTRACT □

The aim of this research is to study the influence of mixing percentage of polyisocyanate and polyole on apparent density and microstructure of foam polyurethane. We used two different types of polyisocyanate and polyol, having different rise speed.

Results show that the apparent density of polyurethane decreases with the increase of the percentage of polyisocyanate until it reaches the defined value, and then it increases again. The micrographs of foam polyurethane structure show that the isotropic of cells, shapes, size and the growth of cells depend on the percentage of polyisocyanate and polyol.

The micrographs also show that the micro structure depends on the type of form which is used to prepare the samples (open or closed form).

Results of experiment prove that low density samples have big size cells and low density cellular walls; and the relationship between density and structure is very strong.

Key Wards: Foam polyurethane, Rigid polyurethane.

*Associate Professor, Department of Design and Production, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تشكل المنتجات البلاستيكية ذات البنية الخلوية، المعروفة بالبلاستيك الرغوي Foam Plastic منذ مدة طويلة فصيلة كبيرة ومستقلة عن باقي المنتجات البلاستيكية الأخرى لأنها تتكون من طورين (غازي - صلب)، وهذا ما يجعلها ذات كثافة ظاهرية منخفضة [1,2].

يشكل البولي أوريثان PU صنفاً حديثاً نسبياً بالمقارنة مع أنواع البولييمرات الأخرى، وقد اكتشف من قبل العالم Bayer عام 1937 م وتم إنتاجه صناعياً في منتصف القرن الماضي [3].

تمثل منتجات البولي أوريثان الرغوية PUF حوالي 80% من مجمل منتجات البولي أوريثان، أما الباقي 20% فتمثل منتجات الإيستومير Elastomer والمواد اللاصقة والدهانات والجلود الصناعية والألياف، كما وتشكل منتجات البولي أوريثان الرغوي الطرية حوالي 80% من مجمل إنتاج البولي أوريثان الرغوي.

يتم إنتاج البولي أوريثان الرغوي Foam polyurethane من تفاعل مجموعات الإيزوسيانات مع مجموعات البولي يول مثل: البولي إيثر بولي يول Polyether-polyol أو البولي استر بولي يول Polyester - polyol. ونتيجة لوجود مواد حفازة مناسبة catalysts ومواد إضافة مناسبة additives تتشكل البنية الشبكية المترابطة network في البولييمر معطية المنتج النهائي الخواص الميكانيكية وذلك استناداً إلى طبيعة المواد الداخلة بالتفاعلات [1,2,3].

يقسم البولي أوريثان حسب استخدامه في التطبيقات الصناعية إلى المجموعات الرئيسة التالية [5]:

1 - رغاوي البولي أوريثان الطرية Flexible Polyurethane Foam

2 - رغاوي بولي أوريثان القاسية Rigid Polyurethane Foam

3 - رغاوي بولي أوريثان المطاطية Rubber Polyurethane Foam

4 - رغاوي البولي أوريثان نصف القاسية Semi rigid Polyurethane Foam

تشكل البنية الخلوية Cellular Structure [6,7,11] في المنتج النهائي الأساس الحقيقي المميز لمجمل خواص المنتجات الخلوية، و ترتبط هذه الخواص عادة بحجم الخلايا المتشكلة ونوعها، وتجانس شكلها، وانتظام توزيعها، وطبيعة الترابط فيما بينها، ونوع مواد الإضافة والمواد المألثة المستخدمة، وطبيعة المواد المستخدمة في تكوين الرغاء.... الخ، وهذه العوامل مجتمعة تؤثر على مجمل الخواص النهائية المطلوب توفرها بالمنتج النهائي.

استناداً للكثافة الظاهرية [1] فإن المحتوى الحجمي لمادة الأساس البولييمرية في رغاوي البولي أوريثان ذات الكثافة الظاهرية المنخفضة تمثل حوالي 5% أو أقل من حجم المنتج النهائي، وهذه الكمية الضئيلة من المادة تساهم في تكوين الأغشية الفاصلة بين الخلايا، وفي تشكيل عقد الارتباط فيما بينها.

إن الدراسات [7,9,11,14] التي تتناول مفهوم الكثافة والبنية الداخلية الميكروسكوبية للبولي أوريثان الرغوي عديدة ومتنوعة. فبعضها يدرس تأثير مواد الإضافة، مثل الماء المقطر كعامل نفخ، على الخواص الحرارية والبنوية والميكانيكية للبولي أوريثان القاسي [7]، والبعض الآخر يتناول تأثير الكثافة على الخواص اللاخطية للبولي أوريثان ذات القيم السالبة لمعامل بواسون [8,9]، وهناك دراسات تتناول تأثير الكثافة على الخواص الحرارية للبولي أوريثان [10].

تشكل بعض الدراسات الخاصة للبنية الداخلية بطريقة التصوير الميكروسكوبي إحدى الطرق الأساسية لرصد التغيرات التي تطرأ على رغاوي البولي أوريثان نتيجة اختلاف طبيعة المواد الأولية المستخدمة، أو نتيجة استخدام

عوامل نفخ متنوعة، أو استخدام مواد إضافة..... الخ. ويشكل عام يمكن القول إن كافة هذه الدراسات تهدف إلى إظهار التغيرات التي تحدث في البنية الفراغية الخلوية، والنسيج الخلوي، وفي انتظام البنية الداخلية، وعلاقة هذه البنية بشكل عام بكثافة المواد المستخدمة [4,7,11].

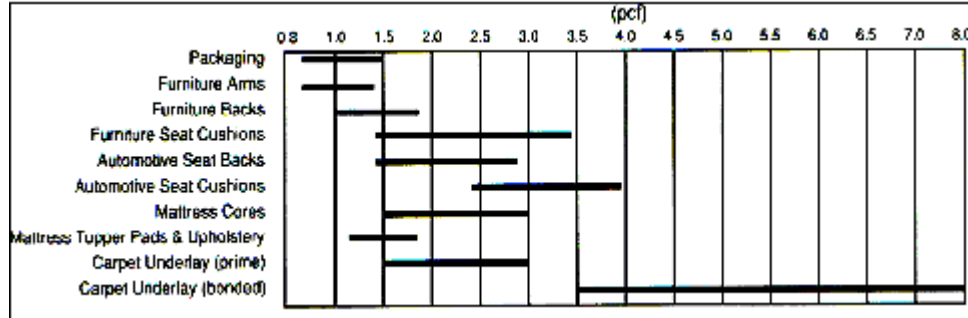
أهمية البحث:

تصنع رغايي البولي أوريثان بكثافات متنوعة [5,6] تبدأ من الكثافات المنخفضة جداً من kg/m^3 (20 - 16) ، أما المتوسطة منها فتصنع بكثافات تتراوح بين kg/m^3 (50 - 20) ، وتسمى الرغايي التي تنتمي لهذه المجموعة والتي تكون كثافتها بين kg/m^3 (30-50) بالرغايي المقاومة للضغط . أما الأنواع المسماة نصف قاسية فتتراوح كثافتها بين kg/m^3 (90-180) ، وهناك أنواع منها تمزج بمواد مألثة، وتكون ذات استخدامات خاصة، وتبلغ كثافتها بين kg/m^3 (700-750) .

تستخدم رغايي البولي أوريثان القاسية ذات الكثافة المتوسطة عادة في العزل الحراري ، وخاصة لغرف التبريد . وهذه الأصناف تكون عادة ذات كثافات بين kg/m^3 (30 - 32) ، أما كثافة kg/m^3 50 فتستعمل لسر الجدران ، وكثافة kg/m^3 100 فتستعمل لعزل الأنابيب أو للجدران المطلوبة للمقاومة وللصلابة .

تستعمل الرغايي القاسية كعوازل في عربات النقل بالسكك الحديدية أو سيارات النقل البري المجهزة بآلات التبريد ، وعوازل خارجية لخزانات نقل الغازات المسيلة في السكك الحديدية ، وكذلك تستخدم بمثابة أجهزة طوف في المراكب للإنقاذ ، وكذلك لحماية الخزانات المعرضة للعوامل الجوية [15].

يتوفر في الحياة الصناعية طيف واسع من البولي أوريثان (كما هو موضح بالشكل 1) ، ويتم التصنيف عادة استناداً للكثافة الظاهرية [6] انطلاقاً من الأنواع ذات الكثافة الظاهرية المنخفضة (0.8 pcf) حتى الكثافة الظاهرية العالية (6 pcf) ، وأكثر أنواع رغايي البولي أوريثان استخداماً هي تلك التي لها كثافة ظاهرية بين (0.9 - 2.5) pcf.



الشكل (1) - مجالات الكثافة النوعية لأنواع مختلفة من تطبيقات البولي أوريثان الرغوي

أهداف البحث:

استناداً إلى الدراسة النظرية السابقة حرصنا في بحثنا هذا على دراسة النقاط التالية :

- 1 - تأثير تغير نسبة خليط البولي إيزوسيانات و البولي يول على الكثافة الظاهرية للمنتج النهائي
- 2 - تأثير نسب المزج على البنية من خلال رصد الشكل العام للفراغات الخلوية المتشكلة بوساطة الصور

الميكروسكوبية

3 - تأثير طبيعة وسط التشكيل (مغلق - مفتوح) على الكثافة الظاهرية، وعلى الشكل العام للفراغات الخلوية

المواد المستخدمة بالبحث:

استخدم بالبحث مادتين مختلفتين من البولي إيزوسيانات والبولي يول. يكمن الاختلاف فيما بينهما بالكثافة وبسرعة الانتفاخ (Rise speed) وذلك عند نسبة مزج (50% بولي إيزوسيانات + 50% بولي يول). تتوفر هذه المواد في أسواقنا المحلية بشكل جاهز للاستخدام المباشر.

- 1 - النوع الأول - بولي أوريثان بطيء الانتفاخ - كثافته في وسط مفتوح 58 kg/m^3
- 2 - النوع الثاني - بولي أوريثان سريع الانتفاخ - كثافته في وسط مفتوح 37.8 kg/m^3

تحضير عينات الاختبار:

a- لتحضير عينات الاختبار تم مزج مادتي البولي إيزوسيانات مع البولي يول بنسب مختلفة. تراوحت نسب المزج بالنسبة للنوع الأول بين (50-65%) للإيزوسيانات و الباقي بولي يول، أما بالنسبة للنوع الثاني تراوحت نسب الخلط بين (50-75%) للإيزوسيانات و الباقي بولي يول.

b- أخذت نسب وزنيه بحيث يشكل مجموع النسبتين 100%، وتم التحريك بوساطة ملعقة حتى تكون المستحلب، وحدث التغير اللوني، وتتشكل فقاعات. بعد ذلك يبدأ المزج بالانتفاخ ويندفع باتجاه الأعلى كما هو موضح بالشكل (1) حيث يرتفع السطح العلوي للمزيج على شكل قبة حتى انتهاء الانتفاخ. يستدل على ذلك بلمس الخليط المتفاعل بوساطة أنبوبة زجاجية، ومن ثم تبدأ عملية التصلب من اللحظة التي يبقى فيها الحجم ثابتاً حتى يبلغ المزيج صفاته الفيزيائية النهائية.



الشكل (2) - تشكل ونمو الرغوة في وسط مفتوح منذ لحظة المزج الأولى حتى الحصول على المنتج النهائي

c - فيما يتعلق بالوسط المغلق فقد استخدم أوعية بلاستيكية محكمة الإغلاق، واستخدمت النسب نفسها التي استخدمت في تحضير عينات الوسط المفتوح.

طرق القياس:

- 1 - الكثافة الظاهرية:

أجري قياس الكثافة الظاهرية على ثلاث عينات أبعادها (10 x 10 x 10) cm بعد أن اقتطعت من وسط العينات المحضرة تجريبياً. تم قياس أبعاد العينات بواسطة بياكوليس رقمي ، كما تم قياس وزن العينات بواسطة ميزان بدقة 0.001 g. بعد أن حدد كل من الوزن والحجم تم حساب الكثافة الظاهرية بالعلاقة التالية [12,13]:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ , kg/m}^3$$

حيث أن: m - كتلة العينة وتقدر kg

V - حجم العينة وتقدر m³

2 - تحضير الشرائح للتصوير الميكروسكوبي:

أخذت شرائح خالية من العيوب الماكروسكوبية من مركز كل عينة و ذلك لدراسة البنية الداخلية ومدى انتظامها وحجم الخلايا الناتجة. استخدم لهذا الهدف ميكروسكوب بدرجة تكبير حتى 100 مرة، وقد أجري التصوير في كلية الزراعة بجامعة تشرين، أما تحضير العينات فقد أجريت في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في مخبر البلاستيك وآلاته.

النتائج والمناقشة:

تتلخص عملية تشكل البنية الخلوية الفراغية بالمراحل التالية [13,14]:

- 1- تكوين فراغات أو خلايا صغيرة من مادة الأساس البوليميرية وهي بالطور السائل.
 - 2- انتفاخ الخلايا حتى الوصول إلى الحجم المطلوب.
 - 3- توازن الضغط في البنية الخلوية المتشكلة مع الوسط المحيط.
- تشكل البنية الفراغية الخلوية في البولي أوريثان الرغوي من تفاعل مادة البولي إيزوسيانات مع البولي يول ، وينطلق نتيجة لهذا التفاعل غاز يعمل على تشكيل الفراغات الخلوية ضمن كتلة الخليط . إن مادتي البولي إيزوسيانات والبولي يول يكونان في الحالة السائلة كمادة أولية ، ونتيجة لعملية الخلط يتشكل ما يسمى بالمستحلب الرغوي السائل ، الذي ينتفخ تحت تأثير الغاز الناتج ، ويدفع بالاتجاه الحر. يستمر المستحلب الرغوي بالانتفاخ حتى الوصول إلى الحالة الحدية ، لتبدأ بعد ذلك عملية تصلبه.

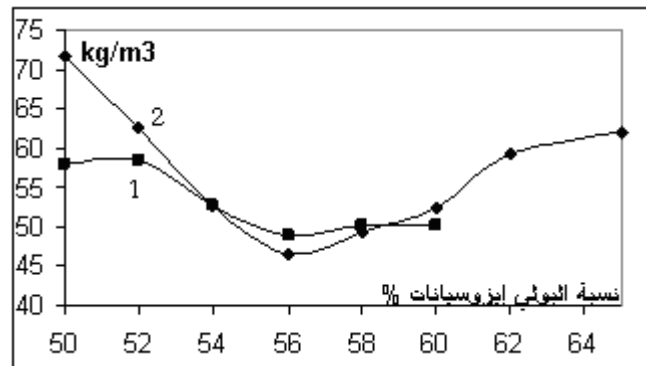
يمكن توصيف عملية تشكل البولي أوريثان الرغوي تكنولوجياً بالأزمنة التالية [13,14]:

- 1 - زمن المزج (Mixing time) أو الزمن التحريضي (Stirring time) ويشير إلى الزمن اللازم حتى بدء التفاعل
- 2 - زمن الترغية و الانتفاخ (Cream and foaming time) ويمكن ملاحظته عادة بوضوح من خلال مراقبة التغير اللوني
- 3 - زمن التليف (String or fiber time) وهو الزمن اللازم لتحول المزيج من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة ، وبطابق تقريباً نقطة التجلتن (Gel point) . وعند الوصول إلى هذه النقطة فإن 50% من التفاعل يكون قد أنجز.

4 - زمن الارتفاع الكامل (Full rise time) وهو الزمن منذ لحظة بدء خلط المزيج حتى انتهاء عملية انتفاخ المزيج. ويجب أن نلاحظ هنا أن سطح الرغوة يكون رطباً عن الانتهاء من هذا الزمن تختلف عملية انتفاخ الرغوة في وسط مفتوح عنه في وسط مغلق . يعود السبب في هذا إلى أن الغاز الناتج عن التفاعل يسعى دوماً إلى مغادرة الخلايا، ليستبدل بغاز الوسط المحيط بهدف تحقيق توازن الضغط داخل الخلايا. تتم عملية مغادرة الغاز الداخلي بسرعة أكبر بعشر مرات من سرعة دخول هواء الوسط المحيط إلى الخلايا، ولهذا السبب يجب على الجدران الداخلية للخلايا المتشكلة أن تكون قوية، وأن تتحمل الانخفاض الحاصل بفرق الضغط الناتج كي تقاوم التغير الشكلي الذي تتعرض له الخلايا نتيجة عملية النقل [1].

تميل الخلايا الداخلية ، عندما تكون كثافة الجدران الخلوية قليلة ، إلى الاستطالة والانتفاخ باتجاه نمو رغوة البولي أوريثان ، ولهذا العامل تأثيره المباشر على متانة المنتج النهائي. فقد أظهرت الدراسات أن الخلايا المتطاوله باتجاه نمو الرغوة تكون عادة ذات مقاومة أضعف، ويمكن التغلب على هذا برفع كثافة الرغوة [4,14].

تظهر نتائج الدراسة التجريبية المبينة بالشكل (3) أن تغير نسبة البولي إيزوسيانات يؤثر بشكل واضح على الكثافة الظاهرية لعينات البولي أوريثان (المنحنيات 1 و 2) على الرغم من اختلاف وسط تحضير العينات . كما هو واضح من الشكل (3) أن زيادة نسبة البولي إيزوسيانات تسبب في انخفاض الكثافة الظاهرية حتى النسبة 56% لتعود بعد ذلك بالتزايد . يظهر هذا التحول بوضوح في العينات التي حضرت في وسط مغلق، في حين يلاحظ أنه بالنسبة للعينات المحضرة في وسط مفتوح حدوث استقرار بعد هذه النسبة حتى 60% حيث يحدث تخريب بالبنية واضح بالعين المجردة بعد زيادة هذه النسبة.



الشكل (3) - منحنى تغير الكثافة الظاهرية للبولي أوريثان بدلالة نسبة البولي إيزوسيانات النوع الأول - بطيء التفاعل
1- وسط مفتوح - 2 - وسط مغلق

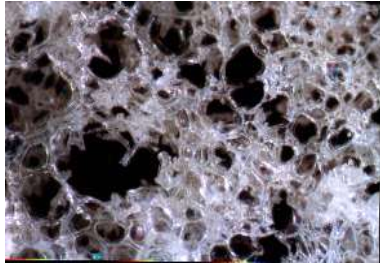
استناداً للنتائج المبينة بالشكل (3) يمكن تعليل التغير الحاصل بقيم الكثافة إلى التغير الحاصل في البنية الداخلية للبولي أوريثان . فالقيم العالية للكثافة تؤكد وجود فراغات خلوية صغيرة، وكثافة جدران خلوية عالية، أما القيم المنخفضة فتؤول إلى بنية ذات فراغات خلوية كبيرة وكثافة للجدران الخلوية منخفضة .

بهذه استقراراً تأثير تغير نسب الخلط (بولي إيزوسيانات - بولي يول) على البنية الداخلية الخلوية المتشكلة فقد أظهرت الصور الميكروسكوبية النتائج المبينة بالشكل (4) أن تغير نسب المزج يؤثر بشكل واضح كما على انتظام البنية الداخلية ، كذلك على حجم الفراغات الخلوية ، وكثافة الجدران الخلوية ، وعلى مقدار العيوب الداخلية .

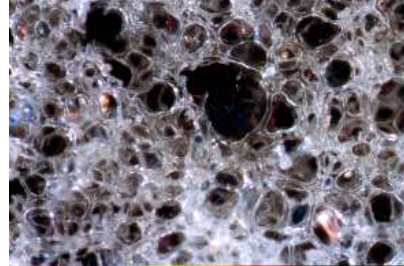
تظهر الصور الميكروسكوبية (1-4,2-4) - شكل (4) - تشكل بنية خلوية غير متجانسة وغير واضحة المعالم والأبعاد ، مع ظهور واضح لكثافة الجدران الخلوية ، وعدم وضوح بالشكل العام للفراغات الخلوية . إضافة لهذا وجود عيوب كبيرة واضحة يقدر حجمها عدة مرات حجم الفراغات الخلوية المتشكلة ، وهذا ما يبرر الكثافة العالية لهذه العينات.

أما الصورة الميكروسكوبية (3-4) - شكل (4) - فتبين بداية تشكل بنية فراغية متجانسة نسبياً، مع وضوح وتجانس نسبي في أبعاد الخلايا المتشكلة. كما يلاحظ أن كثافة النسيج الخلوي كبيرة، مع وضوح للحدود الفاصلة بين الخلايا، ووجود بعض العيوب في البنية.

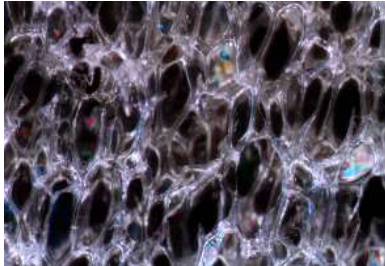
تظهر الصورة الميكروسكوبية (4-4) - شكل (4) - أن البنية المتشكلة خلوية متجانسة، ذات أبعاد واضحة، مع وجود ميل واضح لكافة الخلايا للاستطالة باتجاه نمو الرغوة، وحدود واضحة الأبعاد بين الخلايا، وكثافة منخفضة للنسيج الخلوي بالمقارنة مع النسب السابقة ، وهذا ما يفسر القيمة المنخفض للكثافة عند هذه النسبة.



(2-4) - 52% بولي إيزوسيانات + 48% بولي يول



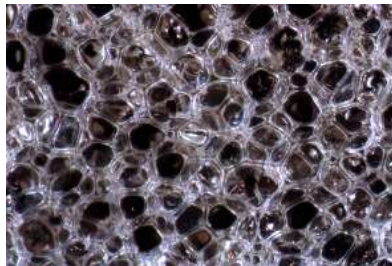
(1-4) - 50% بولي إيزوسيانات + 50% بولي يول



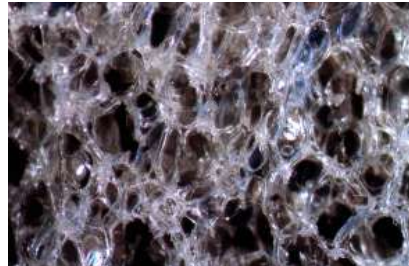
(4-4) - 56% بولي إيزوسيانات + 44% بولي يول



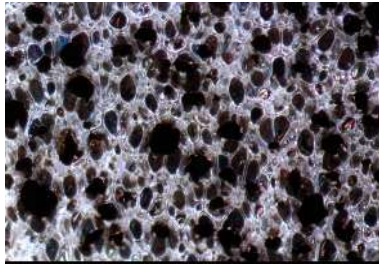
(3-4) - 54% بولي إيزوسيانات + 46% بولي يول



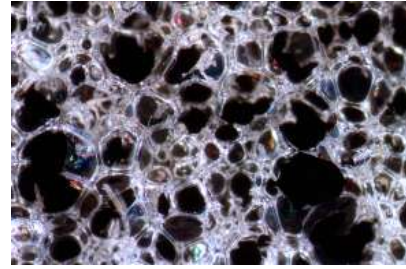
(6-4) - 60% بولي إيزوسيانات + 40% بولي يول



(5-4) - 58% بولي إيزوسيانات + 42% بولي يول



(8-4) - 65% بولي إيزوسيانات + 35% بولي يول



(7-4) - 62% بولي إيزوسيانات + 38% بولي يول

الشكل (4) - صورة ميكروسكوبية لعينات محضرة من البولي أوريثان بطيء الانتفاخ - وسط مفتوح

في الصورة الميكروسكوبية (4-5) - شكل (4) - يلاحظ أن البنية فراغية منتظمة نسبياً ذات كثافة واضحة للجدران الخلوية ، مع وجود بعض التشوهات البنيوية ، ووجود عدم تجانس نسبي في أبعاد الفراغات الخلوية. أما الصورة الميكروسكوبية (4-6) للبنية - شكل (4) - فتظهر بنية منتظمة كثيفة ذات حجم صغير للفراغات الخلوية ، وميل واضح للزيادة في كثافة الجدران الخلوية .

يلاحظ في الصورتين (4-8, 4-7) - شكل (4) - عودة للبنى غير المتجانسة بزيادة نسبة البولي إيزوسيانات مع زيادة واضحة بالعيوب الداخلية، وحدث تشوهات بنيوية واضحة. كما يلاحظ زيادة في كثافة الجدران الخلوية ، وعدم انتظام بالشكل العام للفراغات ، وعدم وضوح بأبعاد الفراغات الخلوية المتشكلة.

تفسر قراءة الصور الميكروسكوبية المبينة بالشكل (4) منحنى تغير الكثافة الظاهرية (1) بالشكل (3). فالصور تظهر بوضوح التحولات البنيوية الحاصلة في تغير البولي أوريثان بدلالة نسبة البولي إيزوسيانات ، ولاسيما التحولات الحاصلة في حجم الفراغ الخلوي ، وانتظام البنية ، وكثافة النسيج الخلوي ، وهي تظهر بوضوح أن النسبة + 56% (44% تحقق أكبر فراغ خلوي ، وقل كثافة في الجدران الخلوية الفاصلة.

إن التشابه في منحنيات تغير الكثافة الظاهرية (الشكل 3) باختلاف طبيعة الوسط (مغلق - مفتوح) يقود إلى الاستنتاج أن التغيرات البنيوية بزيادة نسبة الإيزوسيانات في الوسط المغلق ينبغي أن تتشابه مع التغيرات البنيوية في الوسط المفتوح . بالحقيقة أن إمكانية تصنيع نسب أكبر (حتى 60%) في حالة الوسط المغلق يعني بالضرورة وجود أنماط أخرى للبنى غير متوفرة في عينات الوسط المفتوح ، ولهذا السبب كان لا بد من دراسة هذه البنين باختلاف نسب التركيب .

أظهرت الصور الميكروسكوبية (الشكل 5) لعينات البولي أوريثان المحضرة من مستحلبات بطيئة الانتفاخ في وسط مغلق وجود ميل واضح للفراغات الخلوية للاستطالة بالاتجاه الحر المحدد لحركة الرغوة ، وأظهرت أيضاً أن الشكل العام للفراغات الخلوية واضح ، عند كافة النسب ، على الرغم من وجود تباين طفيف بالانتظام في شكل وأبعاد هذه الفراغات ، وفي كثافة النسيج الخلوي الفاصل .

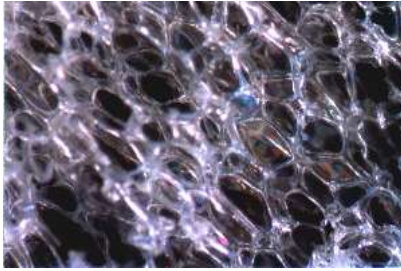
يمكن تبرير هذا الانتظام في البنية، بحالة الوسط المغلق، إلى الانتشار المتجانس للغاز الناتج عن التفاعلات ضمن الخلايا المتشكلة، وعدم السماح لعملية تبادلته مع غاز الوسط المحيط لأن تتم بسهولة. فعملية الإعاقة التي يسببها الوسط المغلق لعملية التبادل يتيح للغاز الناتج التوزيع بانتظام على مستوى الكتلة ، وهذا ما يسبب الانتفاخ

الجيد والمتجانس لخلايا البنية الداخلية، وهذا ما تثبته نتائج التصوير الميكروسكوبي (النسب من 50% بولي إيزوسيانات حتى 60%)، حيث يلاحظ وجود انتظام نسبي جيد في البنية الداخلية لكافة العينات مع اختلاف طفيف في كثافة الجدران الخلوية، وفي حجم الفراغات المتشكلة.

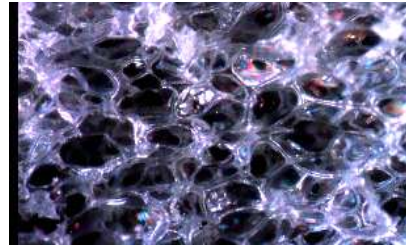
بشكل عام يمكن القول إن البنية الخلوية الناتجة عن تشكل البوليمر أوريثان في وسط مغلق تميل إلى الانتظام، إلا أنه يمكن التأكيد، استناداً للصور الميكروسكوبية (5-8,5-7)، على أن استخدام نسب تزيد عن 60% للبولي إيزوسيانات سوف يسبب تخريب في البنية، مع حدوث عدم انتظام في شكل وأبعاد خلايا البوليمر أوريثان، على الرغم من اختلاف طبيعة الوسط الذي تتم فيه عملية الانتفاخ.

بهذه المقارنة مع النتائج السابقة أجريت نفس الدراسة على نوع آخر من البوليمر أوريثان سريع الانتفاخ وذلك في وسطين مختلفين أحدهما مفتوح والآخر مغلق.

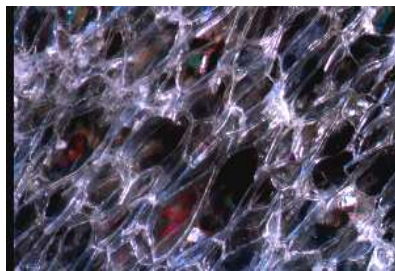
أظهرت نتائج الدراسة التجريبية المبينة بالشكل (6) أن مسار منحنيات تغير الكثافة الظاهرية متشابهاً، وهي تتأثر بتغير نسب كل من البوليمر إيزوسيانات. كما يبين الشكل أن مسار هذه المنحنيات يختلف بالمقارنة مع النتائج المبينة بالشكل (3) حيث يلاحظ أن الكثافة تميل إلى الثبات بالقيمة حتى النسبة 70% تقريباً للبوليمر إيزوسيانات، لتميل إلى التزايد بعد هذه القيمة.



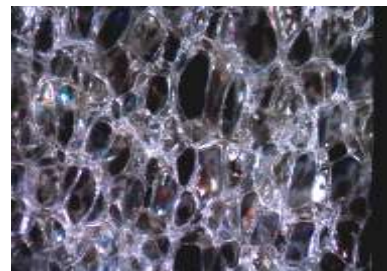
(2-5) - 52% بولي إيزوسيانات + 48% بولي يول



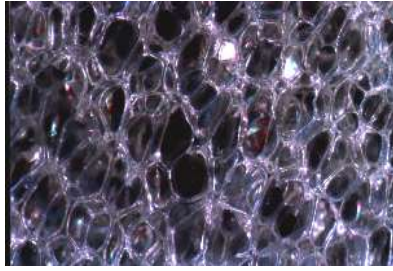
(1-5) - 50% بولي إيزوسيانات + 50% بولي يول



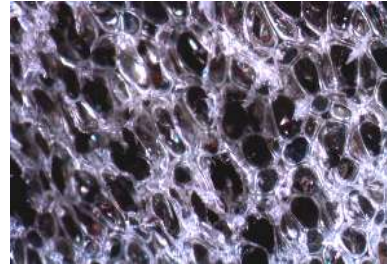
(4-5) - 56% بولي إيزوسيانات + 44% بولي يول



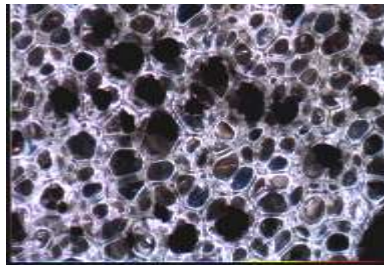
(3-5) - 54% بولي إيزوسيانات + 46% بولي يول



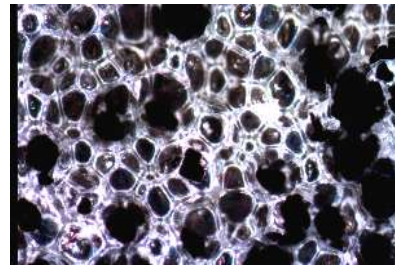
(6-5) - 60% بولي إيزوسيانات + 40% بولي يول



(5-5) - 58% بولي إيزوسيانات + 42% بولي يول



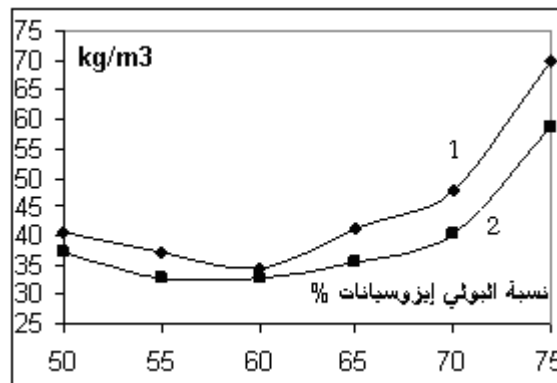
(8-5) - 65% بولي إيزوسيانات + 35% بولي يول



(7-5) - 62% بولي إيزوسيانات + 38% بولي يول

الشكل (5) - صورة ميكروسكوبية لعينات محضرة من البولي أوريثان بطيء الانتفاخ - وسط مغلق

تظهر نتائج الشكل (6) وجود اختلاف بالمقارنة مع نتائج الشكل (3)، فالناتج النسبي في قيمة الكثافة حتى النسبة 70% يعني بالضرورة وجود انتظام بالبنية واستقرار في أبعاد الخلايا وفي كثافة النسيج الخلوي، كما أن التشابه في منحنيات الكثافة للنوع سريع الانتفاخ باختلاف طبيعة الوسط (مغلق - مفتوح) يؤكد وجود تشابه في التطورات البنوية للبولى أوريثان باختلاف نسبة البولى إيزوسيانات.



الشكل (6) - منحنى تغير الكثافة الظاهرية للبولى أوريثان بدلالة نسبة البولى إيزوسيانات النوع الثاني - سريع الانتفاخ
1 - وسط مفتوح - 2 - وسط مغلق

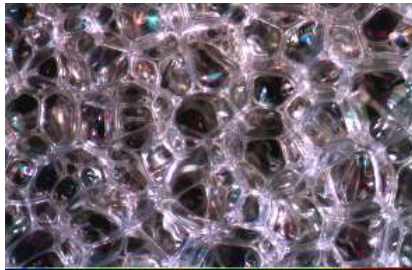
بهدف التحقق من صحة نتائج قياس الكثافة المبينة بالشكل (6) أجريت الصور الميكروسكوبية لكافة العينات باختلاف نسبة البولى إيزوسيانات، كما هو موضح بالشكلين (7,8).

كما هو واضح من الشكل (7) أن البنية ، حتى النسبة 70% بولي إيزوسيانات، تميل إلى الانتظام بشكل عام مع وجود اختلاف نسبي طفيف في كثافة الجدران الخلوية ، وفي حجم الفراغات الخلوية ، وهذا ما يجعل قيم الكثافة لعينات البولي أوريثان متقاربة فيما بينها حتى النسبة المذكورة . بعد النسبة 70% للبولي إيزوسيانات يلاحظ وجود تشوه في البنية حيث يلاحظ أن البنية عند النسبة 75% كثيفة ومتراصة وهذا ما يفسر القيمة العالية للكثافة عند هذه النسبة، أما عند النسبة 80% فيلاحظ حدوث انهيار وفشل في تشكل بنية مقبولة عند هذه النسبة.

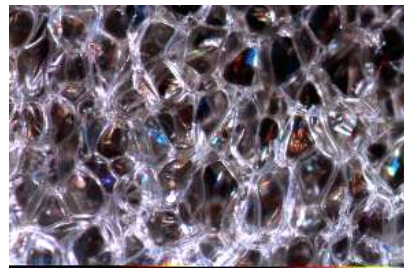
يظهر الشكل (8) صور ميكروسكوبية لعينات البولي أوريثان المحضرة من مواد سريعة الانتفاخ في وسط مغلق. كما هو واضح من الشكل أن البنية، وبشكل مشابه للشكل (7)، تميل إلى الانتظام من حيث شكل الخلايا المتشكلة وأبعادها، إضافة إلى وجود وضوح كبير بالمقارنة مع الصور السابقة، في كثافة النسيج الخلوي حيث يلاحظ وجود حدود واضحة المعالم بين الخلايا المتشكلة.

يلعب الغاز الناتج عن تشكل الخلايا دوراً هاماً في تحديد كثافة المنتج النهائي، الذي بدوره ينعكس على حجم الفراغ الخلوي، وكثافة الجدران بين الخلايا. فقد أظهرت الصور الميكروسكوبية للعينات المدروسة أن طبيعة الوسط يؤثر على الشكل العام للبنية الداخلية . فعلى الرغم من تقارب منحنيات الكثافة الظاهرية المبينة بالشكل (6) إلا أنه يلاحظ وجود اختلاف بسيط في الصور الميكروسكوبية بين العينات المحضرة في وسط مفتوح عن تلك المحضرة في وسط مغلق حيث نلاحظ أن الشكل العام للخلية في الوسط المغلق واضحة المعالم والأبعاد ، وذات جدران للخلايا واضحة الكثافة والأبعاد .

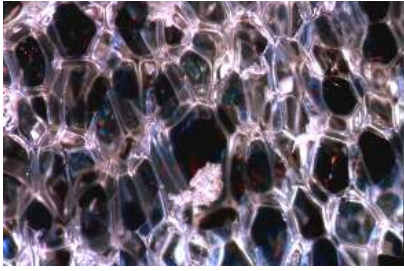
يمكن القول إن سرعة الانتفاخ تؤثر على طبيعة البنية المتشكلة . ففي المواد بطيئة الانتفاخ ، ذات الكثافة العالية، يلاحظ وجود اختلاف في البنية بين العينات المحضرة في وسط مفتوح عن تلك المحضرة في وسط مغلق، في حين نلاحظ أن البنية في النوع سريع الانتفاخ ، ذات الكثافة المنخفضة، تتأثر بشكل بسيط بطبيعة الوسط (مفتوح - مغلق) . ربما يعود السبب في هذا إلى التباين في استجابة الخلايا المتشكلة للانتفاخ نتيجة اختلاف الكثافات.



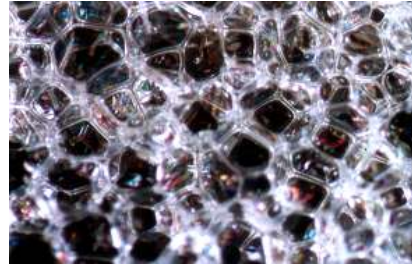
(2-7) - 55% بولي إيزوسيانات + 45% بولي يول



(1-7) - 50% بولي إيزوسيانات + 50% بولي يول



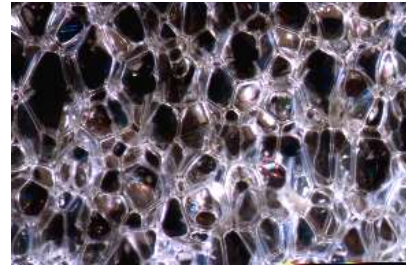
(4-7) - 65% بولي إيزوسيانات + 35% بولي يول



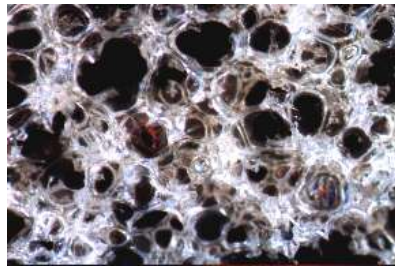
(3-7) - 60% بولي إيزوسيانات + 40% بولي يول



(6-7) - 75% بولي إيزوسيانات + 25% بولي يول

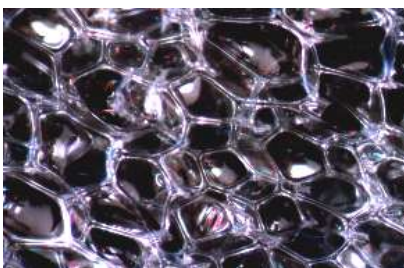


(5-7) - 70% بولي إيزوسيانات + 30% بولي يول

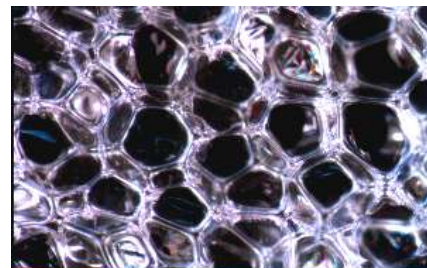


(7-7) - 80% بولي إيزوسيانات + 20% بولي يول

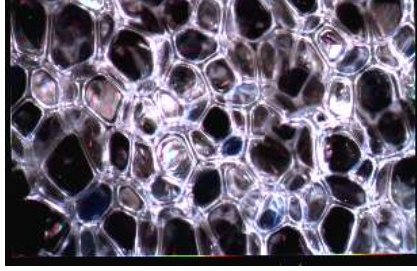
الشكل (7) - صورة ميكروسكوبية لعينات محضرة من البولي أوريثان في وسط مفتوح- النوع الثاني -سريع الانتفاخ



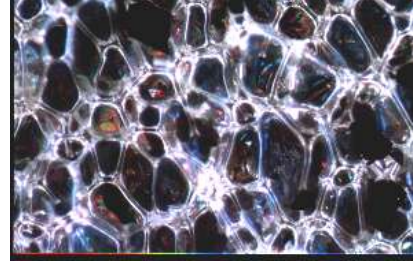
(2-8) - 55% بولي إيزوسيانات + 45% بولي يول



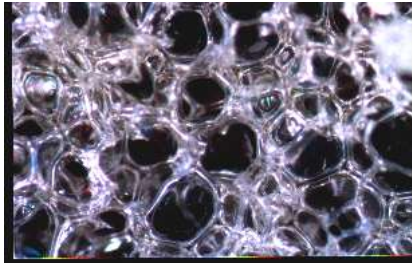
(1-8) - 50% بولي إيزوسيانات + 50% بولي يول



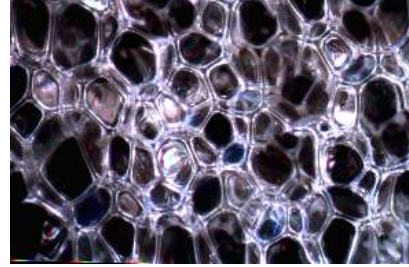
(4-8) - 65% بولي إيزوسيانات + 35% بولي يول



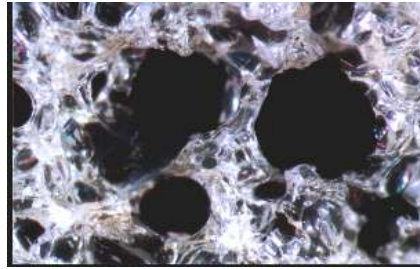
(3-8) - 60% بولي إيزوسيانات + 40% بولي يول



(6-8) - 75% بولي إيزوسيانات + 25% بولي يول



(5-8) - 70% بولي إيزوسيانات + 30% بولي يول



(7-8) - 80% بولي إيزوسيانات + 20% بولي يول

الشكل (8) - صورة ميكروسكوبية لشريحة مأخوذة من عينة محضرة من البولي أوريثان - وسط مغلق - سريع الانتفاخ

النتيجة:

- 1- استناداً لنتائج التصوير الميكروسكوبي يمكننا اختيار النسب التي تحقق بنية منتظمة متجانسة.
- 2- تظهر الصور الميكروسكوبية لعينات تم تحضيرها في وسط مغلق ميل واضح للبنية إلى الاستطالة والانتظام عند نسب مختلفة أكبر ، بالمقارنة مع مثيلاتها من العينات التي تحضر في وسط مفتوح.
- 3- تظهر نتائج التصوير الميكروسكوبي أن انخفاض الكثافة في عينات البولي أوريثان يعود إلى الحجم الكبير للفراغات الخلوية ، وإلى انخفاض في كثافة الجدران الخلوية.
- 4- تظهر الصور الميكروسكوبية أن الحدود الفاصلة بين الخلايا المحضرة في وسط مغلق أكثر وضوحاً من الحدود الفاصلة للعينات المحضرة في وسط مفتوح.

5 – استناداً لنتائج التصوير الميكروسكوبي يمكن القول إن البنية الداخلية للنوع سريع الانتفاخ أكثر انتظاماً من البنية الداخلية للنوع بطيء الانتفاخ مع اختلاف الوسط الذي تتم فيه عملية التشكيل.

المراجع:

- 1 –ДЕМЕНТЬЕВ, А.Г.-ТАРАКАНОВ,О.Г.– *структура и свойства пенопластов*, Москва,химия,1983,170.
- 2 – BERNARD,A.DOMBROW – *Polyurethane*, second edition, London,1965,225p.
- 3 –АНТОНОВ, А-ПАЛЗЕВ,К-КЕРЕМИДЧЕВ,С – *справочник по каучука и пластмсите*,София,Техника,1977,691.
- 4 – Polymer Processing-*Polymer Foams*, Polymer Engineering and Polymer Physics Group, Technische Universitat Berlin, 2003, 23-33.
- 5 – HOMS, M.Z. –*PLASTICS, ARABIC ENCYCLPEDIA* – 1991,456.
- 6 – Information On Flexible Polyurethane Foam, Polyurethane Foam Association, Vol.1, N;2 , May 1991.
- 7 – SEO,W.J - JUNG,H.C - HYUN,J.C - KIM,W.N – LEE,Y.B – CHOE,K.H - , KIM,S.B- *Mechanical morphological , and Thermal Properties of Rigid Polyurethane Foam Blown by Distilled Water*, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 90, 2003,12-21.
- 8 – CHOI,J.B and LAKES,R.S - *Nonlinear Properties Of Polymer Cellular Materials With Negative Poisson's rate*, J. Materials Science, Vol. 27, 1992, 4678-4684.
- 9 – LEE,T and LAKES,R.S - *Anisotropic Polyurethane Foam With Poisson's Ratio Greater Than 1*, J. Materials Science, Vol.32, 1997, 2397-2401.
- 10 – CHARLES L.WILLIAMSON,and ZELDA L.LAMS - General Plastics Manufacturing Co., Presented at The PATRAM International Symposium - Berlin,Germany,2004.
- 11 – BRZEZINSKU, St - *Structure and Properties of Micro porous Polyurethane Membranes designed for textile*, Polymeric Composite Systems, FIBERS & TEXTIL in Eastern Europe, vol.13,2005,53-58.
- 12 – Foamex " Glossary Of Flexible Polyurethane Foam" Physical Properties Terms.

- 13 – КЕРЕМИДЧЕВ, С- ИВАНОВА, Т –ДОСЕВ, К – *технологичен и химичен контрол на полиуретаните*, София, Техника, 1982, 121.
- 14 – KAPPS, Manfred - *The Production of Rigid Polyurethane Foam* , Bayer Material Science, File No; PU21012-0406, Issue, 29-06-2004,1-46.
- 15- WELTE, Rainer - *Rigid Polyurethane Foam for Pipe Insulation*, Bayer Material Science, File No; PU21018-0410en, Issue, 11-10-2004, 1-12.