



كلية الهندسة - جامعة بغداد

Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences

مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الهندسية

جامعة كليات الهندسة
اعضاء اتحاد الجامعات العربية

دراسة تأثير مادة السيلكا كمادة مالئة على الخواص الفيزيوميكانيكية والكيميائية لمركبات المطاط النتريلي

علي عسان الحيدر^{1*}، علي محمد علي²، ميساء علي شاش³¹ قسم هندسة المعادن والاليات، هندسة المواد التطبيقية، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، سوريا، ali.alhaidar315@gmail.com² قسم تغذية الأغذية، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، سوريا، alimali1968@yahoo.com³ قسم المعادن والاليات كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، سوريا، mayssaali@yahoo.fr

* الباحث الممثل: علي الحيدر، الايميل: ali.alhaidar315@gmail.com

نشر في: 30 ايلول 2021

الخلاصة تم في هذا البحث دراسة تأثير إضافة مادة السيلكا (SiO_2) كمادة مالئة في خواص المطاط النتريل NBR، عن طريق إعداد خلناط من المطاط تحتوي نسب مختلفة من السيلكا (0,5,10,15,20 phr) وبقيّة النسبة تحتوي على الكربون الأسود لتكون النسبة الإجمالية للمادة المالئة لكل عينة هي (45 phr)، وتحضيرها على جهاز درفلة المطاط ثم توصيف الخواص للخلناط المحضرة، وذلك باختبارها لمقاومة الشد، والاستطالة عند الانقطاع (Elongation at break)، ومقاومة البلى (Wear) وتحديد كل من قيم الصلادة (Hardness) والانتفاخ (Swelling) في مذيبات مختلفة. حيث أظهرت النتائج انخفاض مقاومة الشد لخلناط المطاط (Carbon Black/ silica) بنسبة (35.8%) مع زيادة نسبة زيادة نسبة السيلكا ضمن التركيب المطاطية حتى (20 phr)، كما انخفضت قيم الصلادة بشكل طردي وبنسبة (15.5%) مع زيادة نسبة السيلكا حتى (20 phr)، وكذلك انخفضت مقاومة الاحتكاك بنسبة (168%) مع زيادة نسبة السيلكا حتى (20 phr). أما بالنسبة للاستطالة فقد كانت على خلاف النتائج السابقة فقد ازدادت نسبة الاستطالة عند القطع تدريجياً بمقدار (45.5%) مع زيادة نسبة السيلكا حتى (20 phr). كما أظهرت نتائج الدراسة أيضاً أن انتفاخ العينات التي تحتوي على الكربون الأسود فقط (C45S0) كانت منخفضة مقارنة بالعينات التي تحتوي على خلناط (Carbon Black/ silica).

الكلمات الرئيسية – الفلكنة، السيلكا، المطاط، الكربون الأسود، الدرلفة.

1. المقدمة

لقد أصبح التطور العلمي والتقني من الظواهر البارزة التي تغطي على الصناعة في الدول المتقدمة، إذ نلاحظ التسابق الواضح بين المنشآت الصناعية لاستخدام أحدث الأساليب التقنية في الإنتاج من أجل تحسين جودة المنتجات وتخفيض تكاليف الإنتاج،

وقد أدت سرعة التطور التقني إلى زيادة وتيرة تطور التقنية الإنتاجية المستخدمة في العديد من الصناعات، وانتشار طرائق إنتاج جديدة أسهمت في إنتاج عدد من السلع ذات الجودة العالية، وأدت إلى تحسين مستوى التنمية في البلدان النامية وتحسناً في المستوى الاقتصادي والمعيشي في هذه البلدان، إذ أن وجود صناعات حديثة ومتطورة يُعدّ دعامة قوية للاقتصاد الوطني، ويسهم في الحد من عمليات الاستيراد من الخارج وتوفير في القطع الاجنبي والاكتفاء الذاتي صناعياً[1].

لذا أجريت العديد من البحوث في هذا المجال من خلال إضافة مواد مالئة لتحسين خواص المطاط، حيث يتم استخدام أنواع مختلفة من المواد المالئة بمفردها، أو الهجينة مع الكربون الأسود لأنها من أبسط الطرق المستخدمة في تحسين الخواص الفيزيوميكانيكية والكيميائية للمطاط النتريلي وتحقيق أفضل أستدامة مع تحقيق أقل تكاليف الإنتاج.

مطاط أكريلونتريل بوتادين (NBR)، ويسمى أيضاً مطاط النتريل، وهو عبارة عن بوليمير مشترك من الأكريلونتريل والبوتادين [5] ويتم إنتاج (NBR) من خلال طريقة بلمرة المستحلب حيث يتم وضع الماء وعامل الاستحلاب (الصابون) والمونوميرات (بوتادين-أكريل نتريل) وعامل تنشيط لتوليد الجذور الحرة وإضافات أخرى في مفاعلات البلمرة، وتعطي عملية البلمرة الاستحلابية البوليمير الذي يكون على شكل مستحلب يتصلب باستخدام مواد متنوعة مثل كلوريد الكالسيوم وسلفات الأمونيوم ليصبح مطاطاً على شكل قطع صغيرة تجفف وتضغط على شكل بالات أو تعباً على شكل قطع صغيرة لمنتجات خاصة. حيث يستخدم المطاط (NBR) على نطاق واسع في الصناعة نظراً لاحتوائه على مونومير الأكريلونتريل (AN) بنسبة تتراوح بين (53-17%)، وكلما ازداد محتوى المطاط من الأكريلونتريل يصبح أعلى قطبيةً، وتزداد بشكل كبير مقاومته للوقود والزيوت والشحوم، لذا فإنه يدخل في تركيب القطع الفنية المطاطية التي هي على تماس مباشر مع الزيوت والشحوم والمذيبات ومشتقات البترول [6].

2. الدراسات السابقة

درس عدد كبير من الباحثين تأثير تعديل المطاط النتريلي، حيث قام مجموعة من الباحثين (Thomas وزملائه) عام (2016) [14] دراسة تأثير إضافة السيلكا لمصفوفة مطاط النتريل (NBR) كمادة تبطين لقايض الورق (الرول) حيث تم إضافة كميات مختلفة من مسحوق السيلكا إلى المطاط NBR في خمس عينات بنسب تتراوح من (45-65 phr) حيث توصل

مطاط كوري المنشأ NBR-6250 صنع شركة (LG)، يحوي (33.9 %) أكريلونتريل، كثافته النوعية [0.99 (kg/m³)، المواد المتطايرة (0.2 %)، نسبة الرماد (Max 0.5%).

2- الكربون الأسود (Carbon Black N330):

هاباب فحم فرني ثابت ضد عمليات الحث والاهتراب (High Abrasion Furnace)، أوكرائي المنشأ صنع شركة (Jsc Stakhanov Carbon Black Chemical Plant)، نسبة الرماد (Max 0.5%)، النقاوة (99 %)، مساحة سطح الادمصاص وفق BET 82+5: (CTAB absorp) (kg/m³)، الكثافة النوعية (375+20).

3- أكسيد الزنك (Zinc Oxide):

سعودي المنشأ صنع شركة (Intermediate Chemicals)، مسحوق أبيض اللون، درجة النقاء (99.9 %)، الكثافة الظاهرية (1.8 - 1.5) (kg/m³)، نسبة الكاديوم (Max 0.0005%).

4- حمض الشمع (Stearic Acid):

ماليزي المنشأ صنع شركة (KLK OIEO)، ذو مظهر حبيبي أبيض اللون، درجة النقاء (99.5%)، نسبة اليود فيه (max 0.8%)، ونسبة الحمض (195 min).

5- مضاد الأكسدة (Antioxidants):

استخدم في البحث مضاد الأكسدة 4010NA (IPPD)، بريطاني المنشأ صنع شركة (Castle Chemicals)، الاسم الكيميائي له [N-isopropyl-N'-phenyl-p-phenylenediamine]، ذو مظهر حبيبي بني داكن، نسبة الرماد Max (0.2 % ≤)، درجة النقاء [0.97 (GC) ≥].

6- الملدن (Plasticizer):

زيت ثنائي أوكتنيل فثالات (Diocetyl Phthalate) المعروف (DOP)، سائل شفاف اللون، صيني المنشأ صنع شركة (Zhengzhou San Techchem)، صيغته الكيميائية (C₂₄H₃₈O₄)، كثافته عند الدرجة (20 °C): (0.988kg/m³)، النقاوة (Min 99.5%)، نقطة الوميض (Min 196 °C).

7- المواد المسرعة لعملية الفلكنة (Accelerators):

استخدم في البحث نوعان من المسرعات حيث يقوم كل نوع بتنشيط الآخر وهما:
MBT الاسم الكيميائي (2-mercaptobenzothiazole)، هندي المنشأ صنع شركة نوسل (Nocil)، وهو مسحوق كريم اللون (cream)، درجة النقاء (Min 96%)، محتوى الرماد (Max 0.4%)، الكثافة الظاهرية (Bulk Density): (400-440 Kg/m³)، الكثافة النوعية (Specific Gravity) عند (25°C): (1.51)، نقطة الانصهار الأولية (Min 170°C)، يصنف من المسرعات شبه فائق السرعة (Semi ultra-fast accelerator).

TMTD الاسم الكيميائي (Tetramethyl thiuram disulfide)، هندي المنشأ صنع شركة نوسل (Nocil)، وهو مسحوق أبيض اللون، درجة النقاء (Min 96%)، محتوى الرماد (Max 0.3%)، الكثافة الظاهرية (Bulk Density): (340-380 Kg/m³)، الكثافة النوعية (Specific Gravity) عند الدرجة (25°C): (1.43)، نقطة الانصهار الأولية (Min 142°C)، يصنف من المسرعات فائق السرعة (Ultra-fast accelerator).

8- السيلكا (Silica):

صيني المنشأ صنع شركة (qianphos)، مسحوق رمادي اللون، درجة النقاء (99.2 %)، نسبة الرماد (98.2 %)، الرطوبة (1.1%)، الحجم الحبيبي (100 μm).

الباحثين الى أن خصائص مطاط النتريل يمكن تعديلها عن طريق تغيير كمية السيلكا، وأن أعلى معدل تآكل للتركيبات كان عند (65 phr) من السيلكا، وكذلك ازدادت مقاومة العينات لزيت التزليق مع زيادة محتوى السيلكا، وكانت أعلى قوة شد وقيمة استطالة عند الكسر عند محتوى (50phr) سيلكا وانخفضت مع الزمن. وأظهرت العينات أعلى صلادة عند محتوى من سيلكا (65 phr) مقارنةً بالعينات التي تحتوي (65 phr).

كذلك قام الباحث (Linharesa) [9] (عام 2018) بدراسة التأثيرات إضافة عوامل فلكنة مختلفة على الروابط التشابكية ودراستها لمقاومة مطاط النتريل لوقود الديزل الحيوي وتبين أنه لا تساهم كثافة الروابط العرضية (الناتجة عن الفلكنة) وحدها وبشكل مباشر في مقاومة مطاط النتريل لوقود الديزل الحيوي. حيث أن الروابط العرضية المنخفضة الكثافة كانت أكثر مقاومة من الروابط العرضية الأعلى الكثافة. وتبين أيضاً أن اختيار المسرع لعب دوراً رئيسياً في تحديد مقاومة المطاط النتريلي لوقود الديزل الحيوي، وذلك أن التراكيب ذات محتوى (TMTD) المنخفض لديها سلوكيات انتاج مماثلة بغض النظر عن كثافات تشابكها، أما بالنسبة للتراكيب ذات محتوى (TMTD) العالي، لعبت كثافة التشابك دوراً في الانتفاخ. كما أن كثافة التشابك التي شكلتها كميات عالية من المسرع (TMTD) أدت إلى شبكات أكثر كثافة قادرة على الحد من انتفاخ المطاط النتريلي.

كذلك قام الباحث (Amin) [3] (عام 2018) بدراسة إضافة البنتونيت والكربون الأسود لمركبات المطاط الأكريلونتريل بوتاديين حيث بيّنت الدراسة، أن قيمة العزم الأدنى والعزم الأعظمي (ML وMH) لتراكيب (NBR / CB) أعلى من المركبات (NBR / Bt)، هذا يمكن أن يكون بسبب الزمر التفاعلية النشطة على سطح (CB) والسطح النوعي الصغير مقارنةً بمادة (Bt) مما يؤدي إلى تحسين كثافة التشابك. كما لوحظ انخفاض نسبة امتصاص السائل النفطي عند التحميل المماثل لنوعي مادة المألنة، وكانت نسبة الانتفاخ لمركبات (NBR / CB) أقل من مركبات (NBR / Bt). كما بيّنت خصائص التحلل الحراري (TGA) لمركبات (NBR / CB) نتائج أفضل من (NBR / Bt) بمعنى آخر، درجة الحرارة المطلوبة للتدهور الحراري لمركبات (NBR / CB) أعلى من الحرارة المطلوبة (NBR / Bt)، وبين الفحص بالمجهر الإلكتروني (SEM) لأسطح الشد المقطوعة في مركبات (NBR / CB) تشنتاً أفضل لمادة التعبئة وانفصال أقل مقارنةً بالمركبات (NBR / Bt).

أهمية البحث وأهدافه:

مانعت التسرب المنتجة من المطاط النتريلي لا يمكن الحصول عليها من مصفوفة المطاط النتريلي النقي فقط، دون مواد مألنة، ولغرض ذلك يتم دراسة سلوك العديد من المواد مألنة المستخدمة ومدى تأثيرها الأيجابي على الخواص الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية، لذلك كان هدف البحث التعرف على سلوك مصفوفة المطاط المدعمة بدقائق السيلكا ذات الحجم المايكروني، حيث أن الاختيار الأمثل لصياغة الخلطة المطاطية ولبارامترات الفلكنة، والتأثيرات الشكلية والبنوية التي تحدثها في المادة، وآلية عملية التشابك لسلاسل الجزينات العملاقة يؤدي إلى فهم التغيرات في خواص المادة واستثمار هذه الخواص بما يناسب التطبيق الذي أعدت لأجله.

3. منهجية البحث

3.1 فرضيات الحل:

أن المواد المألنة لها تأثير كبير في الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية لمركبات المطاط النتريلي ويعتمد ذلك على السطح النوعي لجزينات المادة المألنة والنشاط السطحي لجزينات المادة.

3.2 مواد وطرائق البحث:

3.2.1 المواد المستخدمة:

1- مطاط الأكريلونتريل بوتاديين (NBR):

تحت ضغط ثابت حتى تصل إلى درجة (40°)، وتترك الخلائط لمدة 24 ساعة قبل اختبارها.

حيث يتم تحضير الخلائط المطاطية وفق المراحل التالية:

1. يبيّن الجدول (1) تركيب الخلائط المطاطية المحضرة، حيث تتم عملية العجن لعينة المطاط قبل إضافة المواد إليها بواسطة الدرافيل وتسمى العجينة المحضرة بالعجينة الرئيسية حيث يمرر المطاط بين الدرافيل لعدة مرات لمدة (3-4min) دقائق حتى التجانس ضمن درجة حرارة العمل مع تقريب المسافة بينهما تدريجياً، عملية العجن وتسلسل إضافة المواد ومدة العجن تتم وفق المواصفة القياسية الأمريكية (ASTM D15) [4,8].

جدول 1: النسب المواد الداخلة في الخلطة المطاطية

Name	C45 S0	C40 S5	C35 S10	C30 S15	C25 S20
Ingredients	Phr				
Rubber NBR	100	100	100	100	100
Stearic acid	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Zinc oxide	5	5	5	5	5
Process oil Dop	10	10	10	10	10
Carbon Black	45	40	35	30	25
Silicon oxide	0	5	10	15	20
Antioxidant (TMQ)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
TMTD	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
MBTS	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Sulfur	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

2. إضافة حمض الستاريك إلى العجينة والعجن مدة دقيقة حتى التجانس.
3. إضافة أوكسيد الزنك والعجن جيداً حتى التجانس.
4. إضافة الملدن DOP (dioctyl phthalate) والعجن حتى التجانس.
5. إضافة نصف الكمية لكل من مادة الكربون والسيليكا بالنسب المحددة والعجن حتى التجانس.
6. إضافة مضادات الأكسدة (2,2,4-trimethyl-1,2-TMQ dihydroquinoline) والمسرات والعجن حتى التجانس.
7. إضافة نصف الأخر لكل من كمية الكربون والسيليكا بالنسب المحددة والعجن حتى التجانس.
8. إضافة الكبريت إلى العجينة حيث أن إضافة الكبريت كمادة مفلكنة إلى المطاط يؤدي إلى خلق تراكيب شبكية تزيد من صلابته وثباته. وتقلب العجينة بعد ذلك على الدرافيل مدة من الزمن حتى يتم انتشار الكبريت في كل أجزاء الخلطة المطاطية بشكل متساوٍ ومتجانس وتم تسحب الخلطة المطاطية بحسب السماكة.
9. تبريد العجينة المبيّنة بالشكل (2) إلى درجة حرارة الغرفة، ويستغرق وقت العمل على آلة الدرفلة مدة تتراوح بين (20-25 min).
10. عملية الفلكنة للتراكيب الناتجة بوضعها في قالب ذو تجويف متوازي مسطيلات (10*12*0.2 cm)، ثم يتم وضع القالب ضمن المكبس الهيدروليكي، وتتم العملية عند ضغط (100 bar) ودرجة حرارة (150°)، وتستغرق هذه العملية (5 min).



الشكل 2: الواح المطاط المشكّلة

9- مواصفات الديزل (Diesel):

الوزن النوعي بدرجة الحرارة (15.5 °C): (0.860- 0.820)، نسبة الكبريت (Max 0.7%)، درجة الوميض (بجهاز مغلق) حدا أدنى: 60 (Winter: 55 °C - Summer °C)، درجة الأنيلين: (Min65°C)، قرينة الديزل: (56-53)، اللزوجة بدرجة (38.33°C): [4.5-2.5 Centistoke]، نسبة الرماد: (Max 0.01%)، الماء والرواسب حجماً: (Max 0.05%)، خال من الحموض والقلويات، وزن راسب الكربون (كونرادسون): (Max 0.1 %).

10- مواصفات زيت المحرك (20/50) NO:

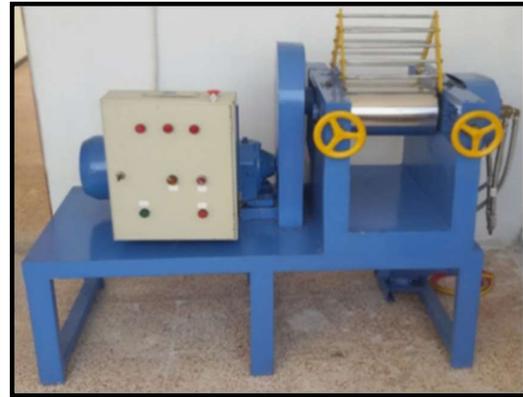
روسي المنشأ، صنع شركة (Gazpromneft Hydraulic)، الكثافة عند الدرجة (20°C): (896 kg/m3)، دليل اللزوجة (K. Viscosity) عند الدرجة (100°C): (18.5 mm2/s)، درجة السيولة (Pour Point): (-13 °C)، نقطة الوميض (Flash Point): (243 °C).

11- التولوين (Toluene):

صيني المنشأ، صنع شركة (UIV CHEM)، سائل شفاف عديم اللون، النقاوة (98 %)، نقطة الغليان (111 °C)، الكثافة: (0.866 kg/m3)، نقطة الوميض (4.44 °C).

3.2.2 الأجهزة المستخدمة:

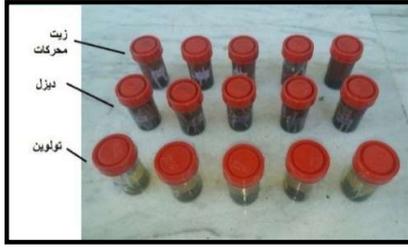
1. آلة درفلة لمزج المطاط وخلانطه سعة (1kg) الشكل (1).
2. مطحنة كرات من شركة HERZO6.
3. جهاز اختبار الشد.
4. جهاز قياس مقاومة البلى.
5. جهاز قياس الصلادة (Shore A).
6. ميزان كهربائي بدقة (0.0001 g).
7. أنبوب زجاجي سعة (25 ml) لقياس كثافة المطاط.
8. مكبس هيدروليكي حراري من شركة (noselab ats).



الشكل 1: آلة درفلة مزج المطاط وخلانطه

3.2.3 طرائق تشكيل عينات المطاط:

تم إضافة السيليكا بنسب (0,5,10, 15,20 phr) مع الكربون وبالمحافظة على نسبة ثابتة للمواد المألثة (45phr)، وتم تحضير الخلائط المطاطية باستخدام آلة درفلة لمزج المطاط سعة (1kg) الموضحة بالشكل (1)، وعمليات العجن والمزج تمت حسب المواصفة القياسية الأمريكية (ASTM D15) [4,8] والتي تتضمن درجة حرارة العمل وتسلسل إضافة المواد إلى الآلة، والفترة الزمنية اللازمة للتجانس وبشكل جيد لجميع الخلائط. وبعد الحصول على خلائط متجانسة السماكة والتي تحوي على نسب مختلفة من السيليكا والكربون الأسود كما هو موضح بالجدول (1)، يتم إنضاج النماذج المخبرية بتطبيقها بواسطة مكبس حراري مخبري يعمل بالضغط الهيدروليكي حيث يتم تسخين هذه النماذج حتى درجة (150°) وتحت ضغط قدره (100 bar) ولمدة (5min). بعدها تبرد العينة بالماء



الشكل 4: العينات وقد غمرت بالمذيبات والزيوت

3.2.4.4 اختبار مقاومة البلى (wear Resistance):

تم اختبار مقاومة البلى حسب المواصفة العالمية (DIN-53516) وذلك بحساب الوزن المفقود باستخدام جهاز (Abrasion Resistant Rubber Testing Machine)، حيث تم حساب حجم التآكل لدرجة كشط ورق الصنفرة والتي تؤخذ قيمتها وفق المواصفة القياسية ISO1891 (part1) ثم بحسب الفاقد الحجمي المفقود (V) وفق المعادلة (3):

$$V = \frac{\Delta m * S}{\alpha * \rho} \quad (3)$$

حيث:

V: الحجم المفقود [mm³]

$\Delta m = m_1 - m_2$: وزن المادة المزالة (مقدرة بـ mg)

m_1 : وزن العينة قبل التجربة (مقدرة بـ mg)

m_2 : وزن العينة بعد التجربة (مقدرة بـ mg)

$S = 200 \text{ mg} = S$ ثابت درجة التآكل المحسوبة وفق مسافة احتكاك معيارية.

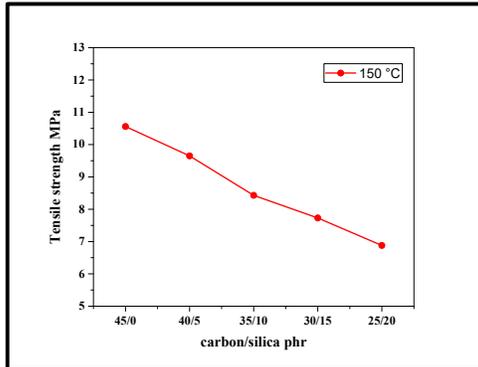
α : دليل نعومة ورق الزجاج.

ρ : كثافة العينة وتحسب عن طريق الحجم المزاج من السائل.

3.3 النتائج والمناقشة:

3.3.1 نتائج اختبار مقاومة الشد (Tensile Test):

يعد التفاعل القوي بين تراكيب المطاط أمراً مهماً لتحقيق أقصى قدر من مقاومة الشد والضغط والتمزق والتي يمكن تعظيمها عن طريق التشتت المكروي للمواد المألنة [10]، يظهر الشكل (5) نتائج اختبار الشد الذي يبين تأثير إضافة السيلكا مع الكربون بنسب مختلفة إلى عينات المطاط المدروسة، حيث نلاحظ من خلال الشكل تناقص قيمة مقاومة الشد مع زيادة نسبة السيلكا وتخفيض نسبة الكربون الأسود، ويفسر ذلك نتيجة انخفاض فعالية التفاعل بين المادة المألنة الهجينة وسلاسل المطاط الناجم عن ميل السيلكا للتجمعات البنيوية والذي بدوره يقلل من مساحة سطح التفاعل للمواد المألنة والذي بدوره يقلل من كثافة التشابكات العرضية بين السلاسل المطاطية ويؤدي إلى تناقص مقاومة الشد مع زيادة نسبة السيلكا، وهذا يتفق مع ما توصل له الباحث (Senthilvel) [12]. حيث أن النسبة المئوية لأنخفاض مقاومة الشد لاستبدال الكربون الأسود بمادة السيلكا هي (35.8%) [القيمة الأولية - القيمة النهائية) / القيمة الأولية × 100].



الشكل 5: تغير مقاومة الشد نسبة مادة الكربون الأسود-السيلكا

11. تبريد العينة عن طريق دارة تبريد موجودة ضمن المكبس تحتوي على مدخل ومخرج للمياه، ويتم مراقبة الضغط والتأكد من الاحتفاظ بالضغط ثابتاً في أثناء التبريد، ويستمر التبريد حتى تصل درجة الحرارة إلى (40°) حيث عند هذه الدرجة تأخذ العينة شكلها النهائي [4,7].

12. توقف عملية التبريد ويزال الضغط، ثم تسحب العينات من القالب كما في الشكل (3)، وتترك لمدة 24 ساعة قبل الاختبار.



الشكل 3: الواح المطاط بعد عملية الفلكنة

3.2.4 طرائق إجراء الاختبارات:

3.2.4.1 اختبار الشد (Tensile Test):

تم هذا الاختبار باستخدام آلة الشد نوع (Testometric M350-10CT) حسب المواصفة العالمية (ASTM D-412)، حيث يتم أخذ خمس مكررات لكل اختبار وأخذ المتوسط الحسابي لمقاومة الشد (Ts) والاستطالة عند القطع (ϵ_b).

3.2.4.2 اختبار الصلادة (Hardness):

أجري هذا الاختبار بحسب المواصفة العالمية DIN-53505 باستعمال جهاز قياس الصلادة الرقمي (Digital Shore Hardness Tester)، ونموذج الاختبار عبارة عن عينة مربعة الشكل (40×40 mm) وسماكة (6 mm).

3.2.4.3 اختبار الانتفاخ (Swelling test):

تم هذا الاختبار وفق المواصفة القياسية العالمية (ASTM-D471)، وذلك بغمر العينات المحضرة بأبعاد (50×20×2 mm) في زيوت ومذيبات مختلفة (تولوين وديزل وزيت محركات) كما في الشكل (4) حيث تم وزن العينات المغمورة في التولوين [3 hour] لمدة الوصول إلى الانتفاخ الاعظمي، وكذلك تم وزن العينات المغمورة (بالديزل وزيت المحركات) كل [12 hour] لمدة [168 hour] وتم حساب نسبة الانتفاخ وفق المعادلة (1):

$$SR = \frac{W_2 - W_1}{W_1} * 100 \% \quad (1)$$

حيث:

W_2 : وزن العينة بعد الغمر (g).

W_1 : وزن العينة قبل الغمر (g).

SR: الانتفاخ %.

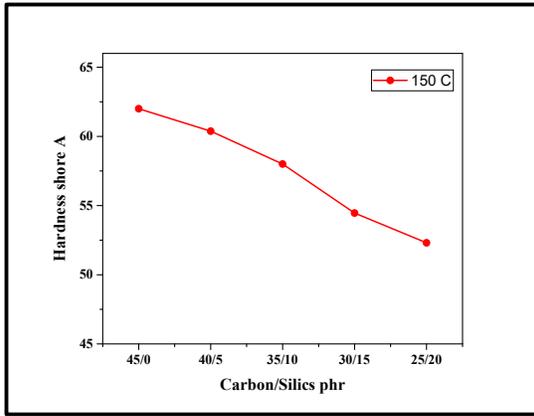
وكذلك تم الحصول على كسر الجل (gel fraction) من خلال تجفيف العينات التي غمرت في التولوين بعد إنهاء اختبار الانتفاخ وذلك عند درجة حرارة (65°)، ويتم حساب كسر الجل وفق المعادلة (2):

$$gel = \frac{W_f}{W_i} * 100 \% \quad (2)$$

حيث:

W_f : وزن العينة بعد التجفيف (g).

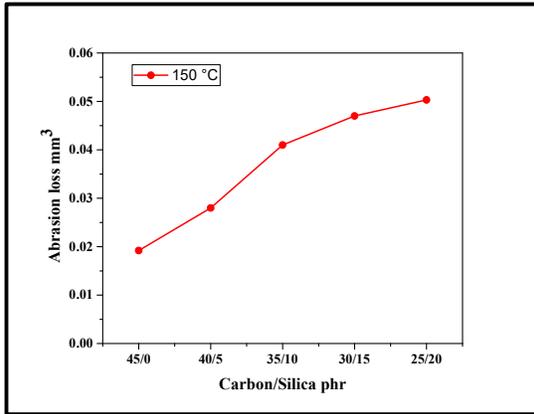
W_i : وزن العينة قبل الغمر (g).



الشكل 7: تغير قيم الصلادة مع نسبة مادة الكربون الأسود-السيكا

3.3.4 نتائج اختبار مقاومة البلى (wear Resistance):

يظهر الشكل (8) نتائج إضافة السيلكا مع الكربون الأسود بنسب مختلفة إلى عينات المطاط على مقاومة البلى، يلاحظ من خلال الشكل انخفاض مقاومة البلى (ازدياد حجم التآكل) مع تزايد النسبة (silica/carbon)، حيث ان انخفاض كثافة وصلابة التشابكات العرضية للسلاسل المطاطية لها دور كبير بانخفاض مقاومة التآكل وهذا يتفق مع الباحث [Thavamani] [13]، وكذلك أيضاً، أن عدم تجانس حجم دقائق السيلكا ووجود عيوب بنيوية ناتجة عن تجمعات السيلكا غير المتفاعل مع المطاط يؤدي بدوره الى زيادة فقدان الوزن.



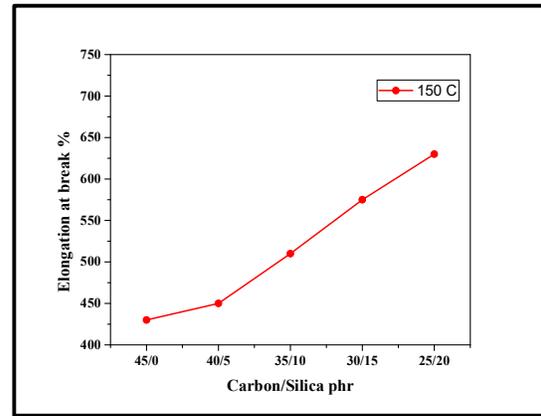
الشكل 8: تغير مقاومة البلى مع نسبة مادة الكربون الأسود-السيكا

3.3.5 نتائج اختبار الانتفاخ (swelling index) (%):

يبين الشكل (9) نتائج اختبار انتجابية المركبات المطاطية في التولوين والديزل وزيت المحركات ونسبة محتوى الجل كتابع لنسبة مادتي الإضافة (carbon/silica) يلاحظ زيادة نسبة الانتفاخ في المذيبات المختلفة (swelling ratio) مع زيادة نسبة السيلكا وتخفيض نسبة الكربون ضمن عينات المطاط المدروسة، وذلك نتيجة الحجم الجزئي الكبير للسيلكا والعيوب البنيوية الناتجة عن تجمعات السيلكا مما يسمح لجزيئات الزيت والمذيب بالتغلغل والانتشار ضمن النسيج المطاطي، وبالتالي زيادة نسبة الانتفاخ. وكذلك نلاحظ من الشكل انخفاض محتوى الجل (Gel fraction) نتيجة تغلغل المذيبات المستخدمة بنسبة أكبر الى داخل العينات، ويفسر ذلك نتيجة الحجم الكبير لدقائق السيلكا مقارنة مع الحجم الصغير لدقائق الكربون الأسود مما يؤدي الى تقليل مساحة التلامس السطحي بين المادة المالئة ومصنوفة المطاط، بالإضافة الى أن انخفاض كثافة التشابكات العرضية تساهم في زيادة الانتفاخ، وهذا منسجم مع ما توصل له الباحث (Salameh) [11] الذي توصل الى أن الكثافة العالية للتشابكات العرضية

3.3.2 نتائج اختبار نسبة الاستطالة عند الانقطاع (Elongation at break):

تم دراسة تأثير إضافة السيلكا مع الكربون الأسود بنسب مختلفة إلى عينات المطاط المدروسة على قيم الاستطالة، وفق ما هو موضح بالشكل (6)، حيث يتبين من خلال الشكل الإزدياد التدريجي لقيم الاستطالة عند الانقطاع بنسبة (45.05%) مع زيادة نسبة السيلكا حتى (20phr)، ويعود ذلك إلى انخفاض معامل الاستطالة للتراكيب مع زيادة محتوى السيلكا نظراً لحقيقة أنه كلما زاد محتوى السيلكا تنخفض كثافة الارتباط المتشابك مما يؤدي بدوره إلى زيادة حركة السلاسل المطاطية مما يؤدي إلى زيادة الاستطالة عند الانقطاع، بالإضافة الى الاختلاف في طبيعة دقائق المادتين (silica/carbon) حجماً وسطحياً ووظيفياً حيث أن دقائق السيلكا تعمل على تقليل كثافة التشابك العرضي، وهذا يتفق مع الدراسة التي أجراها الباحث (Ali Asghar Davoodi وزملاؤه) [2] حيث تبين انخفاض كثافة تشابك المطاط (NBR) الحاوي على أكسيد السيلكا حيث تقوم المجموعات الوظيفية الموجودة على سطح أكسيد السيلكا باستنفاد عناصر الفلكنة عوضاً عن قيامها بتشابكات عرضية بين سلاسل المطاط.



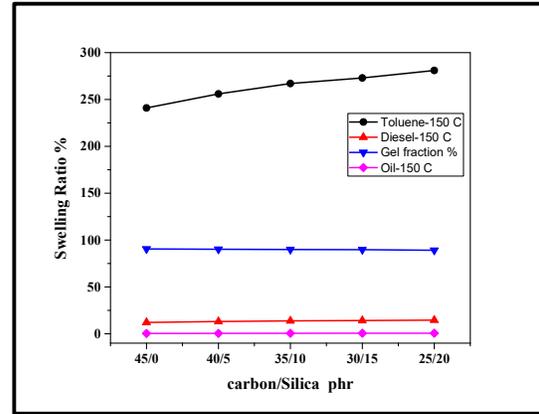
الشكل 6: تغير نسبة الاستطالة مع نسبة مادة الكربون الأسود-السيكا

3.3.3 نتائج اختبار الصلادة (Hardness):

يوضح الشكل (7) العلاقة بين تأثير إضافة السيلكا مع الكربون الأسود للتراكيب المدروسة على صلادة العينات المطاطية، يتبين من خلال الشكل (7) انخفاض قيم الصلادة مع زيادة نسبة السيلكا وتخفيض نسبة الكربون الأسود وذلك بسبب انخفاض الترابط الفيزيائي للمادة المالئة مع المطاط نتيجة انخفاض كثافة التشابكات العرضية التي تؤثر بصلادة التراكيب المطاطية، فالعلاقة عكسية بين الصلادة ونسبة زيادة السيلكا، ويفسر انخفاض الصلادة مع انخفاض نسبة الكربون لانخفاض المساحة السطحية والفعالية السطحية وتشتت المادة المالئة، حيث يلعب تشتت وانتشار المادة المالئة دوراً مهماً في التفاعل المتبادل بين دقائق التقوية والنسيج المطاطي، وهذا يتفق مع ما توصل له الباحث (Rattansom) [10].

- [3] Amin, M and Nadras, O. Comparative Study of Bentonite Filled Acrylonitrile Butadiene Rubber and Carbon Black Filled NBR Composites Properties International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. Volume 15, Issue 3 pp. 5468-5479 Sept 2018
- [4] Annual Book of ASTM standard, part28, (1971).
- [5] Arsada, R., Surojo, E., Ariawan, D. and et al. (2018). "Effect of NBR (Nitrile Butadiene Rubber) on flexural strength of composite friction brake". IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 420, No. 1.
- [6] Brentin, R. & Sarnacke, P. (2011). "Rubber Compounds". OMNI TECH International, pp. 24-25.
- [7] Chache M, Ali A, Makhlof A. "Study physico-mechanical and chemical properties of mixtures of natural rubber & thermal cement" Tishreen University Journal-Engineering Sciences Series, 38.2 (2017).
- [8] Chache, et al. "Design a model rolling machine to mix rubber and its components". Tartous University, 2016.
- [9] Linhares, F and Kersch, M and Niebergall, U and Leite, M and Atlstädt, V and Furtado, C Effect of different sulphur-based crosslink networks on the nitrile rubber resistance to biodiesel, F.N. Linhares et al. / Fuel 191 (2017) 130–139.
- [10] Rattanasom N., Prasertsri S. and Ruangritnumcha T. Polym. Test., 28, (2009), 8-12.
- [11] Salameh M, Ajji z, Makhlof A. " The effect of gamma radiation on the physics-mechanical properties of nitrile Butadiene rubber Reinforced with black carbon " Tishreen University Journal-Engineering Sciences Series, 16.2 (2020).
- [12] Senthilvel, K and Vishvanathperumal, S and Prabu, B and John Baruch. Studies on the Morphology, Cure Characteristics and Mechanical. Polymers & Polymer Composites, Vol. 24, No. 7, 2016.
- [13] Thavamani. P. and Bhowmick A.K. Plast. Rub. Compos. Pro. 18 (1992)
- [14] Thomas, O and Namboothiri, V, N, N and Joseph, R. Feasibility of silica loaded NBR as lining material for impactive gripper, Procedia Technology 25 (2016) 900 – 907.

المتشكلة من ارتباط السلاسل الجزيئية للمطاط النتريلي بالروابط (كربون-كربون) بأنها تعيق تغلغل وانتشار جزيئات الزيت أو المذيب ضمن بنية المركب المطاطي، ويلعب قصر الروابط (C-C) مقارنة بالروابط (C-Sx-C) دوراً كبيراً في منع جزيئات الزيت من الولوج بين السلاسل الجزيئية للمطاط، وبالتالي انخفاض نسبة انتباج المطاط النتريلي.



الشكل 9: تغير الانتفاخ (a) تولوين- b مؤشر تورم c- ديزل- d زيت (مركبات) مع نسبة مادة الكربون الأسود- السيليكا

4. الاستنتاجات والتوصيات

4.1 الاستنتاجات

1. تبين أن إضافة مادة السيليكا كمادة مضافة مع الكربون إلى المركب المطاطي لا يؤدي إلى تحسين في الخواص الميكانيكية.
2. تبين أن إضافة مادة السيليكا كمادة مضافة مع الكربون أدت إلى انخفاض قيمة اللصادة.
3. تنخفض مقاومة البلبي مع زيادة نسبة السيليكا في المركبات المطاطية.
4. تزداد انتباجية المركبات المطاطية بزيادة نسبة السيليكا ضمن مادة التعينة، وقد تبين أن انتباجية العينات في التولوين أعلى منها في الديزل، بينما سلوك محتوى الجلّ هو سلوك معاكس للانتباجية.

4.2 التوصيات

1. دراسة استخدام طرائق أخرى من الفلكنة كالفلكنة بالبيروكسيد أو الفلكنة الإشعاعية.
2. دراسة استخدام السليكا ذات الحجم المختلفة أو النانوية.
3. دراسة استخدام كبريتات الكالسيوم ذات الحجم المختلفة أو النانوية.

المصادر

[1] دراسة وتطوير تراكيب مطاطية من الستايرن-بوتاديين محمد أمين نجار، د. رفيع جبره، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، قسم الفيزياء التطبيقية، علوم وهندسة المواد 2015

- [2] Ali.A.Davoodi, Tal'at Khalkhali, Mohammad. M .Salehi, Soheil.S.Fard. Burst diaphragms based on carbon black/silica hybrid filler reinforced nitrile rubber compounds. Journal of soft matter.vol 2014 , 2014, pp. 1-6.

Study of the effect of silica as a filler on the physical and mechanical properties of nitrile rubber blends

Ali Alhaidar ^{1,*}, Ali Ali ² and Mayssa Shash ³

¹Department of Machines and Equipments, Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Syria, ali.alhaidar315@gmail.com

²Department of Food Technology, Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Syria, alimali1968@yahoo.com

³Department of Machines and Equipments, Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Syria, mayssaali@yahoo.fr

* Corresponding author: Ali Alhaidar, email: ali.alhaidar315@gmail.com

Published online: 30 September 2021.

Abstract This research studies the effect of adding the Silica (SiO_2) as a filling material on the properties of Acrylonitrile butadiene rubber NBR by means of preparing rubber blends containing different percentage (0,5,10,15,20 Phr) of the Silica and the rest of the proportion containing black carbon so that the total percentage of the filler for each sample is (phr45) on two roll mill, Physio-mechanical and chemical properties of the prepared blends were described by testing them for tensile strength and abrasion resistance, values of hardness and swelling in different solvents. Results revealed a decrease in the tension resistance for rubber blends (C/S) at the percentage of (35.8%) with increase of the percentage of the Silica added with the above mentioned rubber blends, Also, values of hardness decreased direct proportional at a percentage of (15.75%) with increasing the Silica percentage whereas, the wear resistance decreased at a percentage of (168%) with increasing the Silica percentage, but according to elongation, the results were quite different from the previous results so that its percentage increased when cutting gradually with the value of (45.05%) when percentage of added Silica increased. The results of the study also showed that the swelling Ratio of samples containing only carbon black (C45S0) was low compared to samples containing Carbon/Silica as filler material.

Keywords: Vulcanization, Silica, Rubber, Carbon black, rolling.