الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم هندسة التصميم الميكانيكي

تحضير مركبات مطاطية لاستخدامها في صناعة أغشية المضخات الغشائية

رسالة قدمت لجامعة دمشق لنيل درجة الماجستير في علم المواد وهندستها

إعداد

المهندس عمار خالد مبروكه

الإشراف

الدكتور المهندس وسيم ديب

العام الدراسي

2024-2025

قرار لجنة الحكم

توقيعات لجنة المناقشة:

بناء على قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا رقم /1958/ المتخذ بالجلسة رقم /13/ المنعقدة بتاريخ 2025/03/10 القاضي بتشكيل لجنة الحكم على رسالة الماجستير التي أعدها طالب الدراسات العليا عمار مبروكه بعنوان "تحضير مركبات مطاطية لاستخدمها في صناعة أغشية المضخات الغشائية" والمؤلفة من السادة الأساتذة:

الاسم	الصفة	التوقيع
أ.م.د محمد علي سلامة	عضواً	
أ.م.د حسن فارس هدله	عضواً	
د.م وسيم ديب	عضواً و مشرفاً	

وقد أجريت جميع التعديلات اللازمة لهذه الرسالة وتعد هذه النسخة معتمدة كنسخة نهائية لرسالة الماجستير للمهندس عمار مبروكه.

بسم الله الرحمن الرحيم

(نَرفَعُ دَرَجَاتٍ مَّن نَّشاءُ وفَوقَ كُلِّ ذِي عِلمٍ عَلِيمٌ)

صدق الله العليّ العظيم

الإهداء

إلى غاليتي التي طالما سهرت لتدعو لي بالتوفيق ..

أمي

إلى قدوتي الذي مهد لي الطريق ..

أبي

إلى رفيقة دربي وشريكة حياتي .. ومن قاسمتني جميع أيام حياتي

زوجتي الغالية

إلى من أعطوا للحياة حلاوتها .. إلى سندي منذ الصغر

إخوتي

إلى من تحلو الحياة برفقتهم ..

أصدقائي الأعزاء

الشكر

الحمدلله الذي أكرمني ووفقني لإتمام هذا البحث.

أبدأ بجزيل الشكر للدكتور المهندس وسيم ديب لتفضله بالإشراف على هذا البحث، ولما قدمه لي من نصحٍ وإرشاد فقد كان خير عونٍ لي في كل خطوه، ولم يبخل عليّ بوقتٍ أو جهد، فلك مني فائق الاحترام والتقدير.

كما أتوجه بالشكر للدكتور المهندس أحمد مخلوف على توجيهاته و إرشاداته ونصائحه.

مع خالص الشكر والتقدير لأعضاء الهيئة التدريسية في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية لما قدموه من توجيه ونصح خلال سنوات الدراسة و أخص بالذكر السادة أعضاء لجنة الحكم ممثلة بـ:

أ.م.د محمد علي سلامة

أ.م.د حسن فارس هدله

مع خالص المودة والاحترام للسيد الأستاذ الدكتور مهلب داوود رئيس قسم هندسة التصميم الميكانيكي

كما أتوجه بالشكر للشركة التقنية بالتغليف (تكنوباك) التي كانت داعمة لي في هذا البحث و قدمت لي التسهيلات المختلفة.

وأتوجه بالشكر لشركة الاتحاد للكابلات التي كانت عوناً لي و ساعدتني في إجراء الاختبارات في المخبر الخاص بالشركة.

فهرس المحتويات Table of Contents

الإهداء.....	IV
الشكر.....	V
فهرس المحتويات.....	VI
قائمة الجداول.....	XI
فهرس الأشكال.....	XIIi
ملخص البحث.....	XVII
أولاً: المقدمة.....	XVIII
ثانياً: هدف البحث.....	XIX
ثالثاً: أهمية البحث.....	XIX
رابعاً: المنهج المتبع في البحث.....	XIX
خامساً: الدراسات المرجعية المتعلقة بالبحث.....	XX
الفصل الأول: المطاط وأنواعه.....	1
1-1 مقدمة.....	2
1-2 السمات العامة للحالة المطاطية.....	3
1-3 أنواع المطاط.....	4
1-3-1 المطاط الطبيعي.....	4
1-3-1-1 التركيب الكيميائي للمطاط الطبيعي.....	4

1-3-1-2 طرق استخلاص المطاط الطبيعي.....	6
1-3-1-3 أنواع المطاط الطبيعي.....	7
1-3-2 المطاط الصناعي.....	9
1-3-2-1 المطاط الصناعي للأغراض العامة.....	10
1-3-2-2 المطاط الصناعي للأغراض الخاصة.....	11
1-4 أهم المواد الداخلة في تركيب المنتجات المطاطية.....	22
الفصل الثاني: عملية الفلكنة.....	24
2-1 مقدمة.....	25
2-2 تعريف الفلكنة.....	25
2-3 تأثير عملية الفلكنة على خواص المطاط.....	27
2-4 أنواع أنظمة الفلكنة.....	28
2-4-1 الفلكنة بالكبريت بدون مسرعات.....	28
2-4-2 الفلكنة بالكبريت بوجود مسرعات.....	29
2-5 آلية الفلكنة.....	31
2-6 الفلكنة بالبيروكسيدات.....	32
2-7 الفلكنة بالأكاسيد المعدنية.....	33
2-8 الفلكنة بالراتنجات.....	34
2-9 المواد الملدنة.....	35

2-9-1 تعريف المواد الملدنة.....	35
2-9-2 ميكانيكية عمل الملدنات.....	35
2-9-3 أثر الملدنات في الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمطاط.....	36
2-9-4 أنواع الملدنات.....	36
2-9-5 اختيار الملدن المناسب.....	37
2-10 مضادات الأكسدة والمثبتات.....	38
2-11 المنشطات.....	39
الفصل الثالث: عمليات تشكيل المطاط.....	41
3-1 مقدمة.....	42
3-2 عمليات تشكيل المطاط.....	44
3-2-1 القولبة بالكبس.....	44
3-2-2 القولبة بالحقن.....	45
3-2-3 القولبة بالبثق.....	46
الفصل الرابع: مواد وطرائق الاختبار.....	48
4-1 مقدمة.....	49
4-2 تكنولوجيا إنتاج المطاط.....	49
4-2-1 تحضير الخلطة المطاطية	49
4-2-1-1 قسم التحضير.....	49

4-2-1-2 عملية الخلط.....	50
4-2-1-3 طريقة التحضير.....	52
4-2-2 عملية تشكيل أغشية المضخات	62
4-3 دراسة الخواص الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية	63
4-3-1 القياسات الميكانيكية	63
4-3-1-1 اختبار الشد (Tensile Test).....	63
4-3-1-2 اختبار القساوة (Hardness Test).....	66
4-3-2 القياسات الفيزيائية والكيميائية	68
4-3-2-1 اختبار الكثافة (Density Test).....	68
4-3-2-2 اختبار الانتباجية (Swelling Test).....	70
الفصل الخامس: مناقشة وتحليل النتائج	75
5-1 دراسة الخواص الميكانيكية للخلائط المختلفة.....	76
5-1-1 مقاومة الشد (Tensile Strength).....	76
5-1-2 الاستطالة النسبية (Elongation).....	77
5-1-3 القساوة (Hardness).....	78
5-2 دراسة الخواص الفيزيائية والكيميائية للخلائط المختلفة.....	79
5-2-1 الانتباجية Swelling.....	79
5-2-2 الكثافة Density.....	82

الاستنتاجات والتوصيات.....	84
المراجع العلمية.....	86

قائمة الجداول

اسم الجدول	رقم الصفحة
الجدول (1) نسبة المطاط في الخلطات المطاطية للدراسة الأولى	XI
الجدول (2) نسبة المطاط في الخلطات المطاطية للدراسة الثانية	XI
الجدول (3) نسبة المطاط في الخلطات المطاطية للدراسة الثالثة	XI
الجدول (4) نسبة المطاط في الخلطات المطاطية للدراسة الرابعة	XI
الجدول (1-1) العناصر التي يحتويها المطاط الطبيعي	7
الجدول (1-2) مقارنة بين مطاط مدخن و مطاط أبيض	8
الجدول (1-3) أنواع مطاط SBR	11
الجدول (1-4) بعض خواص مطاط NBR	13
الجدول (1-5) بعض خواص المطاط السليكوني	14
الجدول (1-6) بعض خواص مطاط BR	16
الجدول (1-7) تصنيف المطاط وفق النظام العالمي ASTM	20
الجدول (1-8) خصائص بعض أنواع المطاط	21
الجدول (2-1) تغير خواص المطاط قبل وبعد عملية الفلكنة	27
الجدول (2-2) تغير نسب المسرعات والكبريت بتغير نوع الفلكنة	31
الجدول (2-3) تأثير التقادم على بعض أنواع المطاط	39
الجدول (4-1) مكونات الخلطة المطاطية	53

الجدول (4–2) خصائص مطاط NBR المستخدم	54
الجدول (4–3) خصائص مطاط SBR المستخدم	55
الجدول(4–4) مواصفات حمض الستاريك المستخدم	56
الجدول (4–5) مواصفات أكسيد الزنك المستخدم	57
الجدول (4–6) مواصفات مضاد الأكسدة المستخدم	58
الجدول (4–7) مواصفات زيت الملدن المستخدم	59
الجدول (4–8) مواصفات أسود الكربون المستخدم	60
الجدول (4–9) مواصفات مسرع الثيورام المستخدم	62
الجدول (4–10) مواصفات زيت الهيدروليك	72
الجدول (4–11) مواصفات زيت المحرك	73
الجدول (4–12) مكونات الصمغ	74

فهرس الأشكال

اسم الشكل	رقم الصفحة
الشكل (1) المضخة الغشائية	XIII
الشكل (1–1) المطاط الطبيعي	4
الشكل (1–2) التركيب الكيميائي للمطاط الطبيعي	5
الشكل (1–3) جزيئات الايزوبرين – بنية البولي إيزوبرين	5
الشكل(1–4) طريقة استخلاص المطاط الطبيعي	6
الشكل(1–5) آثار الشد في الرابطة	8
الشكل (1–6) شكل مطاط SBR	10
الشكل (1–7) التركيب الكيميائي لمطاط SBR	10
الشكل (1–8) التركيب الكيميائي لمطاط NBR	12
الشكل (1–9) التركيب الكيميائي للمطاط السيليكوني	14
الشكل (1–10) التركيب الكيميائي لمطاط الأكريليك ACM	15
الشكل (1–11) التركيب الكيميائي لمطاط البوتادئين BR	15
الشكل (1–12) التركيب الكيميائي لمطاط فلوروكربون FKM	16
الشكل (1–13) التركيب الكيميائي لمطاط نيوبرين CR	17
الشكل (1–14) التركيب الكيميائي لمطاط EPDM	18
الشكل (1–15) التركيب الكيميائي لمطاط البوتيل IIR	18

الشكل (1–16) التركيب الكيميائي لمطاط اوريتان AU	19
الشكل (2–1) تشكل الشبكة المتصالبة بعد الفلكنه	26
الشكل (2–2) تأثير عملية الفلكنة على جزيئات المطاط	26
الشكل (2–3) آلية الفلكنة بالكبريت بدون مسرعات	28
الشكل (2–4) تسلسل ظهور مسرعات الفلكنة	29
الشكل (2–5) التصالبات خلال الفلكنة	32
الشكل (2–6) اختفاء تصالبات ثنائي أو متعدد الكبريتيد	32
الشكل (2–7) آلية تفاعل الفلكنة بالبيروكسيد	33
الشكل (2–8) صيغة النيوبرين	34
الشكل (2–9) آلية تفاعل فلكنة النيوبرين	34
الشكل (2–10) آلية الفلكنة بواسطة الراتنجات	35
الشكل (3–1) Flush Mold	45
الشكل (3–2) آلة حقن حلزونية	45
الشكل (3–3) آلة بثق نموذجية	46
الشكل(3–4) تطبيقات البثق	47
الشكل (4–1) عجن الخلطة المطاطية	51
الشكل (4–2) درفلة (سحب) لوح المطاط	51
الشكل (4–3) ألواح المطّاط المشكّلة	52

الشكل (4-4) مطاط NBR المستخدم	53
الشكل (4-5) مطاط SBR المستخدم	54
الشكل (4-6) الكبريت المستخدم	55
الشكل (4-7) حمض الستاريك المستخدم	56
الشكل (4-8) أكسيد الزنك المستخدم	57
الشكل (4-9) مضاد الأكسدة IPPD المستخدم	58
الشكل (4-10) الزيت الملدن DOP المستخدم	59
الشكل (4-11) أسود الكربون المستخدم	60
الشكل (4-12) مسرع CBS المستخدم	61
الشكل (4-13) مسرع الثيورام TMTD المستخدم	61
الشكل (4-14) قالب تشكيل الطبلات	62
الشكل (4-15) المكبس الهيدروليكي	63
الشكل (4-16) أبعاد عينة الشد	63
الشكل (4-17) آلة قص عينات الشد	64
الشكل (4-18) عينات الشد المقصوصة	64
الشكل (4-19) جهاز اختبار الشد	65
الشكل (4-20) مراحل عملية اختبار الشد	65
الشكل (4-21) جهاز القساوة المستخدم	67

الشكل (4–22) إجراء اختبار القساوة	67
الشكل (4–23) جهاز اختبار الكثافة	68
الشكل (4–24) الميزان الالكتروني	69
الشكل (4–25) العينات مغمورة ضمن سوائل الاختبار	70
الشكل (4–26) وزن عينات اختبار الانتباجية بعد الغمر	71
الشكل (5–1) نتائج مقاومة الشد	76
الشكل (5–2) نتائج اختبار الاستطالة	77
الشكل (5–3) نتائج اختبار القساوة	78
الشكل (5–4) نتائج اختبار الانتباجية ضمن زيت الهيدروليك	79
الشكل (5–5) نتائج اختبار الانتباجية ضمن زيت المحركات 15W40	79
الشكل (5–6) نتائج اختبار الانتباجية ضمن الصمغ المستخدم في صناعة الكرتون	80
الشكل (5–7) نتائج اختبار الانتباجية ضمن الحبر المائي الأسود	80
الشكل (5–8) نتائج اختبار الانتباجية ضمن البنزين	81
الشكل (5–9) نتائج اختبار الانتباجية ضمن الفيول	81
الشكل (5–10) نتائج اختبار الكثافة	82

ملخص البحث

تم في هذا البحث دراسة تحضير خلائط مطاطية مختلفة من المطاط النتريلي NBR ومطاط الستارين بوتاديين SBR وذلك لاستخدامها في تصنيع أغشية المضخات الغشائية المستعملة في ضخ السوائل المختلفة (ماء، حبر، غراء مستخدم في صناعة الصناديق الكرتونية،....إلخ) وتم دراسة الخواص الفيزوميكانيكية والكيميائية للخلائط المطاطية الثلاث.

تم تحضير ثلاث خلائط من المطاط تحوي على نسب مختلفة من مطاط النتريل و مطاط الستارين بوتاديين على جهاز درفلة المطاط، ثم إجراء اختبار مقاومة الشد و الاستطالة وتحديد قيم القساوة والانتباجية في المذيبات المختلفة.

أظهرت النتائج أن عمر الأغشية المصنعة من خلائط المطاط التي تحوي نسبة 75% من المطاط النتريلي NBR هو أكبر من تلك المصنعة من خلائط المطاط التي تحوي نسبة 75% من مطاط الستارين بوتاديين SBR.

كما أظهرت النتائج ازدياد مقاومة الشد مع زيادة نسبة المطاط النتريلي NBR، كما لوحظ انخفاض نسب الاستطالة عند القطع تدريجياً مع زيادة نسبة المطاط النتريلي NBR، أما بالنسبة لقيم القساوة فقد ازدادت بشكل طردي مع زيادة نسبة المطاط النتريلي NBR في الخلائط.

كما أظهرت نتائج الدراسة أن انتباجية العينات في زيت الهيدروليك كانت أكبر مقارنة بكل من الزيت المعدني والحبر المائي الأسود والفيول ولكنها كانت أقل مقارنة بالبنزين.

أما بالنسبة للكثافة فكانت أعلى في تلك الخلائط التي تحتوي على نسبة أكبر من المطاط النتريلي NBR.

الكلمات المفتاحية:

المطاط – الفلكنة – المضخات الغشائية – المطاط النتريليNBR – مطاط الستارين بوتاديين SBR

أولاً: المقدمة

أصبحت صناعة اللدائن من أهم الصناعات في الوقت الحالي إلى حد يمكن تسمية العصر الحاضر بعصر اللدائن، بحيث أمكن إنتاجها بالمواصفات التي تناسب الغاية المطلوبة منها و أصبح بديلا مناسبا لعدد كبير من المعادن والخشب والزجاج حيث دخلت في صناعة الآلات والسيارات والسفن والطائرات.

يعتبر المطاط من أكثر المواد الأولية نفعاً وأكثرها أهمية حيث أن له فوائد خاصة لأسباب عديدة فهو يحبس الهواء ولا يمتص الرطوبة ولا يوصل الكهرباء بسهولة ولكن أهميته الخاصة تكمن في مرونته وقابلية عودته إلى شكله الأصلي.

ويستخدم المطاط في كثير من المجالات التي تتطلب إضافة لمرونته خواصاً ميكانيكية جيدة ومقاومة حرارية ومقاومة اهتراء لذا أجريت العديد من البحوث في هذا المجال من خلال إضافة مواد مالئة (Filler) أو إضافة مواد بوليميرية لتحسين خواص المطاط.

وقد شهدت السنوات الأخيرة نمواً غير مسبوق في عمليات التصنيع المختلفة وزاد عدد المعامل والشركات وخاصة تلك الشركات العاملة في مجال صناعة المضخات الغشائية . وتعتبر المضخات الغشائية أو مضخة الحاجز نوع من أنواع المضخات التي تنتمي لعائلة مضخات الإزاحة الجانبية وتصنف على أنها أحد أنواع المضخات الترددية.

يصنع جسم المضخات من مواد و معادن مختلفة (ألمنيوم – حديد صب – ستانلس ستيل – بولي بروبلين ... الخ) وتتكون المضخة من غشاء متصل بمكبس وتحتوي على مجموعة من صمامات عدم الرجوع على كل من خط السحب وخط الدفع للمضخة حيث يتحرك الغشاء حركة ترددية إلى اليمين واليسار بشكل متواصل وتؤدي هذه الحركة إلى دفع المادة المراد ضخها عبر خط الدفع.

وتستخدم هذه المضخات بشكل كبير في المعامل والشركات على اختلاف أنواعها وقياساتها وتختلف مادة الغشاء حسب طبيعة ونوع المواد المراد ضخها (CR _ NBR _ EPDM _FKM _ TPEE _ TPO).

الشكل (1) المضخة الغشائية

المصدر [1]

ثانياً: هدف البحث

يهدف البحث إلى الوصول إلى خلطة مناسبة من المطاط وذلك من أجل استخدامها في تصنيع أغشية المضخات الغشائية المستخدمة في ضخ المياه و الأحبار و الصمغ.

ثالثاً: أهمية البحث

شهدت السنوات الأخيرة نمواً غير مسبوق في عمليات التصنيع المختلفة وزاد عدد المعامل والشركات وخاصة تلك الشركات العاملة في مجال صناعة المضخات الغشائية. وتعتبر المضخات الغشائية أو مضخة الحاجز نوع من أنواع المضخات التي تنتمي لعائلة مضخات الإزاحة الجانبية وتصنف على أنها أحد أنواع المضخات الترددية. حيث تتكون المضخة من غشاء متصل بمكبس وتحتوي على مجموعة من صمامات عدم الرجوع على كل من خط السحب وخط الدفع للمضخة حيث يتحرك الغشاء حركة ترددية إلى اليمين واليسار بشكل متواصل وتؤدي هذه الحركة إلى دفع المادة المراد ضخها عبر خط الدفع.

تستخدم هذه المضخات بشكل كبير في المعامل والشركات على اختلاف أنواعها وقياساتها وتختلف مادة الغشاء حسب طبيعة ونوع المواد المراد ضخها (CR _ NBR _ EPDM _FKM _ TPEE _ TPO).

ونتيجة العقوبات المفروضة على وطننا وعدم القدرة على توريد قطع الغيار للمضخات الغشائية أصبحت هناك حاجة ملحّة لإيجاد البدائل لكثير من المواد المستوردة وتعتبر هذه الأغشية من المواد ذات الاستهلاك الكبير لذلك هناك حاجة لتصنيعها وفق مواصفات محددة وملائمة لظروف العمل و بأقل كلفة ممكنة.

رابعاً: المنهج المتبع في البحث

المنهج المتبع في هذا البحث هو المنهج التجريبي الذي يقوم على التجربة حيث سنقوم في هذا البحث بتصميم أغشية من الخلائط المطاطية الثلاث (الخلطة الأولى 75%NBR:25%SBR–الخلطة الثانية 50%NBR:50%SBR – الخلطة الثالثة 25%NBR:75%SBR) وسيتم وضعها ضمن الاختبار العملي و دراسة الخواص الميكانيكية والفيزيائية و الميكانيكية لهذه الخلائط الثلاث.

خامساً: الدراسات المرجعية المتعلقة بالبحث

درس الباحثون (Mushtaq et al ,2022) تأثير الخواص الميكانيكية لخلائط المطاط النتريلي NBR 6240 مع مطاط الستارين بوتاديين SBR1502 حيث تم تجهيز خمس خلطات تختلف عن بعضها بنسبة مطاط NBR لمطاط SBR حيث كانت النسب على الشكل التالي:

الجدول (1) نسبة المطاط في الخلطات المطاطية للدراسة الأولى

	SBR	NBR
S1	100	0
S2	75	25
S3	50	50
S4	25	75
S5	0	100

وقد وجد الباحثون أن مقاومة الشد لعينات المطاط التي تحتوي على نسبة 100%SBR هي أعلى من مقاومة الشد للعينات التي تحتوي على نسبة 100%NBR، في حين أن أعلى مقاومة شد كانت للعينات التي تحتوي على 50%SBR −50%NBR، أما بالنسبة للاستطالة فإن أكبر استطالة كانت عند نسبة مطاط 100%SBR. ووجد الباحثون ان أكبر قساوة كانت قساوة العينات التي تحتوي على 100%NBR.

بينما درس الباحثون (Abdelsalam et al 2020) تأثير الخواص الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية لخلائط المطاط النتريلي مع مطاط الستارين بوتاديين والمطاط الطبيعي حيث تم تجهيز خمس خلطات تختلف عن بعضها البعض بنسب مطاط NBR و مطاط SBR بالنسبة للمطاط الطبيعي NR حيث كانت النسب على الشكل التالي:

الجدول (2) نسبة المطاط في الخلطات المطاطية للدراسة الثانية

	NR	SBR	NBR
S1	30	60	10
S2	30	50	20
S3	30	40	30
S4	30	30	40
S5	30	20	50

وقد وجد الباحثون أن أعلى مقاومة شد كانت لعينات الخلطة S4 حيث بلغت (Mpa) 2.43، أما بالنسبة للاستطالة فإن أكبر استطالة كانت لعينات الخلطة S3 حيث بلغت الاستطالة 829.97%، كما تم دراسة انتباجية الخلطات الخمس من خلال غمر العينات بمذيب التولين (toluene) لمدة 72 ساعة وبعد التجفيف و الوزن تبين أن أكبر انتباج كان للخلطة S1 حيث بلغت نسبة الانتباجية 382.52% بينما أقل انتباج كان للخلطة S4 حيث بلغت نسبة الانتباجية 269.50%.

بينما قام الباحثون (Yotwade et al 2012) بمقارنة الخواص الميكانيكية لخلائط مطاطية مصنعة من مزيج من مطاط SBR1502 مع مطاط NBR:N230 وخلائط مطاطية مصنعة من مطاط NSBR: Sabor DT100 حيث تم تجهيز ست خلطات مطاطية (خمس منها من مطاط SBR/NBR تختلف عن بعضها بنسبة مطاط NBR لمطاط SBR وخلطة واحدة من مطاط NSBR) حيث كانت النسب على الشكل التالي:

الجدول (3) نسبة المطاط في الخلطات المطاطية للدراسة الثالثة

	NBR	SBR	NSBR
S1	100	0	0
S2	75	25	0
S3	50	50	0
S4	25	75	0
S5	0	100	0
S6	0	0	100

وقد وجد الباحثون أن أكبر قساوة كانت للعينات التي تحتوي على 50%SBR −50%NBR، أما بالنسبة لمقاومة الشد فكانت أعلى قيمة مقاومة شد كانت لخلائط المطاط المصنعة من مطاط NSBR، بينما كانت أكبر استطالة لعينات المطاط المصنعة من مطاط NSBR.

وقد قام الباحثون (Noriman et al 2008) بمقارنة الخصائص الميكانيكية لخلائط مطاطية مصنعة من مزيج من مطاط SBR ومطاط NBR أولي وخلائط مطاطية أخرى مصنعة من مطاط SBR ومطاط معاد تدويره حيث تم تجهيز عشر خلطات تختلف عن بعضها بنسب المطاط حيث كانت نسب الخلط على الشكل التالي:

الجدول (4) نسبة المطاط في الخلطات المطاطية للدراسة الرابعة

	SBR	vNBR	rNBR
S1	95	5	0
S2	85	15	0
S3	75	25	0
S4	65	35	0
S5	50	50	0
S6	95	0	5
S7	85	0	15
S8	75	0	25
S9	65	0	35
S10	50	0	50

وقد وجد الباحثون أن أعلى مقاومة شد كانت لعينات الخلطة S6 التي تحتوي على 95% SBR -5% rNBR بينما كانت أكبر استطالة لعينات الخلطة S6 أيضاً، ووجد الباحثون ان أكبر قساوة كانت قساوة عينات الخلطة S10.

الفصل الأول

المطاط و أنواعه

1-1 مقدمة:

تشير كلمة المواد المطاطية إلى مجموعة البوليميرات التي تبدي سلوكاً مطاطيا أو مرنا وتشمل المطاط الطبيعي والمطاط الصناعي وتعرف الجمعية الأمريكية لاختبار المواد (ASTM) المطاط وفقاً للمواصفة (ASTMD1566-66T) بأنه مادة جزيئية تعود بسرعة إلى أبعادها الابتدائية وشكلها الأصلي بعد تعرضها لتشوه كبير بواسطة إجهاد ضعيف عند إزالة الإجهاد، وتستطيل المواد المطاطية بشكل كبير وضمن مجال يتراوح ما بين (900% - 200%) من طولها الأصلي عند درجة حرارة الغرفة ثم تعود لحالتها الأصلية عند زوال إجهاد الشد.

يأتي المطاط الطبيعي المعروف بمطاط هيفا Hevea Rubber من شجرة المطاط Brasiliensis Heva وقد جلب كولومبس هذه المادة عند عودته إلى أوروبا بعد اكتشافه أمريكا حيث وجد أن الهنود الحمر يلعبون بكرات ذات ارتدادية عالية High Resilience ومصنوعة من مادة ذات قوام رغوي حليبي يمكن الحصول عليها من خلال إحداث شق في لحاء شجرة الهيفا أو شجرة الكاوتشوك Caochouc التي تعني "الخشب الباكي" كما وجد أن هذه المادة استخدمها الهنود الحمر في طلاء ملابسهم للوقاية من الأمطار وفي صناعة الأحذية البدائية لهم. حيث لم تكن خواص المطاط تجعله صالحاً للاستخدام في كل الأغراض، فقد كان يلتصق في كثير من المواد وسريع التأثر بالحرارة ولا يتحمل الإجهاد عند استخدامه في تطبيقات تحتاج إلى مرونة عالية .

جاءت تسمية المطاط باللغة الإنجليزية Rubber للدلالة على مقدرة المادة على محو علامات الرصاص عن الورق بواسطة الحك، وتنتشر اليوم مزارع المطاط في جنوب شرق آسيا (تايلند – ماليزيا – سيرلانكا – فيتنام وكمبوديا) وفي بعض الدول الاستوائية في افريقيا (نيجيريا و ليبيريا) كما يجري التوسع بزراعته في موطنه الأصلي في أمريكا الجنوبية.

وفي الوقت الحاضر تعد ماليزيا من أكثر دول العالم انتاجاً للمطاط إذ تنتج ما يقرب من مليون ونصف المليون طن سنوياً، حيث يتم الحصول على المطاط الطبيعي من العصارة التي يفرزها لحاء شجرة الهيفا حيث أنه بعد قطع هذه الشجرة تكون هذه العصارة عبارة عن محلول مائي يحتوي على (40%-25) من المطاط الهيدروكربوني ويكون مثبتاً بوجود كميات قليلة من المواد البروتينية والحوامض الشحمية وتجمع هذه العصارات و تخثر و تغسل ثم تجفف.

يأتي أسود الكربون في المرتبة الثانية بعد المطاط من حيث الأهمية في الصناعات المطاطية لكونه يعتبر من هم المواد المضافة للخلطة المطاطية و كونه عامل تقوية جيد ومناسب حيث أنه يساعد على تحسين الخواص الفيزيائية و الميكانيكية لمركب المطاط الداخل في الصناعات المطاطية. حيث يتم إنتاجه بعدة طرق، غير أن النوع المستخدم لتقوية المطاط هو أسود الكربون المنتج بطريقة الفرن الغازي، ويعتمد مقدار التقوية المتحققة باستخدامه على عدة عوامل كحجم الجزيئة وتوزع أبعاد الجزيئات والبنية التركيبية والفعالية السطحية والمجموعات الوظيفية مثل الكربوكسيل و الكيتونات.

ويستخدم المطاط الطبيعي في العديد من التطبيقات الصناعية مثل صناعة الأدوات الميكانيكية والأحذية واللواصق والإطارات وتحضير بعض اللواصق الخاصة بالأحزمة الناقلة المطاطية النسيجية ويخلط المطاط الطبيعي (البولي ايزروبرين) مع مطاط SBR وأسود الكربون لعمل عجنات الجزء الجانبي للإطارات.

أما المطاط الصناعي فهو مركب هيدروكربوني مصدره الأساسي هو البترول، ولم تتطور فعلياً معالجة المطاط الصناعي نحو طريقة مناسبة تسمح بإنتاج مقادير كبيرة منه إلا عند بداية الحرب العالمية الثانية، وذلك عندما قُطعت طرق إمداد الولايات المتحدة بالمطاط من الهند فكان عليها استخدام كميات كبيرة من المطاط الصناعي.

وفي عام 1839 اكتشف العالم شارلز كوديير بطريق الصدفة فلكنة المطاط وذلك من خلال انسكاب مخلوط من المطاط والكبريت فوق سطح ساخن فلاحظ أن المطاط قد احتفظ بمرونته، فمضى في تجاربه إلى أن توصل إلى المطاط المفلكن وسميت العملية بالفلكنة (Vulcanition) وكان هذا الاكتشاف بداية عهد جديد في تاريخ المطاط فقد استخدم في صناعة مئات الأصناف المفيدة الأمر الذي أدى إلى ازدياد استهلاكه بصورة كبيرة والتفكير بصناعته.

يمكن تقسية (فلكنة) المطاط الطبيعي بإضافة الكبريت إليه وبتسخينه لتحسين مرونته واستطالته ومقاومته وحمايته من التقادم. كما يمكن استخدام هباب الفحم كمادة مضافة إلى المطاط لتحسين مقاومته ولاسيما حين استخدامه في صناعة عجلات السيارات حيث تعمل عملية الفلكنة على تقوية الروابط بين السلاسل مما يزيد مرونة المطاط ويجعل المطاط أكثر قساوة وأقل قابلية للاستطالة.

عندما يتعرض المطاط لدرجة حرارة منخفضة دون الدرجة الحدية فإن أجزاء السلاسل تتجمد إلى حد ما وتأخذ شكلا ثابتاً هندسيا، فيفقد عندها المطاط على نحو مفاجئ خاصية المرونة. وإذا ما تعرض المطاط لدرجات حرارة منخفضة جدا فإنه يصبح هشاً ويتكسر إلى قطع عند تعرضه للطرق، وقد أسهم تأثير الانخفاض الشديد وغير الاعتيادي في درجة الحرارة في الحلقات المطاطية الداخلة في بناء المركبة الفضائية تشالنجر (Challenger) في حدوث الكارثة التي أدت إلى سقوطها.

2-1 السمات العامة للحالة المطاطية:

- الوزن الجزيئي الوسطي للمطاط 350000 g/mole
- استطالة كبيرة جداً تصل إلى 1000%
- تشوه آني عكوس.
- درجة حرارة استعمال أكبر من درجة حرارة التحول الزجاجي (Tg)
- درجة (Tg) منخفضة.
- بنية زجاجية أي أنه لا يتبلور بشكل طبيعي.
- قوى التبادل والتفاعل الفيزيائي بين السلاسل ضعيفة.
- وجود روابط تصالبية بين السلاسل.

1-3 أنواع المطاط:

1-3-1 المطاط الطبيعي:

يعد المطاط الطبيعي من أهم أنواع المطاط المستخدمة في الصناعة بسبب امتلاكه لصفات تتفوق على المطاط الصناعي حيث يمتلك قوة شد عالية ورجوعية عالية ومقاومة انثناء في درجات الحرارة المنخفضة ومقاومة التمزق والقطع. ويتميز المطاط الطبيعي بمقاومة منخفضة للتأكسد بالأوكسجين والأوزون نظراً لاحتوائه على روابط مزدوجة سهلة التفاعل مع الغازات ولهذا السبب يتم إضافة مضادات أكسدة تتفاعل مع النهايات الحرة مقللة بذلك من عمليات الأكسدة وتتراوح درجة حرارة التشغيل للمطاط الطبيعي من 60- درجة مئوية إلى 80 درجة مئوية.

يستخدم المطاط الطبيعي في العديد من التطبيقات الصناعية مثل صناعة الأدوات الميكانيكية، الأحذية، السيور ومانعات التسرب، اللواصق والإطارات.

ويبين الشكل (2-1) شكل المطاط الطبيعي

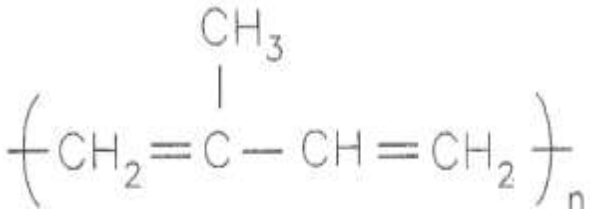
الشكل (1-1) المطاط الطبيعي

المصدر Institute of making

1-1-3-1 التركيب الكيميائي للمطاط الطبيعي:

المطاط الطبيعي فحم هيدروجيني Hydro Carbon متعدد الجزيئات Polymer غير مشبع، أول من قام بتعيين صيغته الكيميائية هو العالم فاراداي وبين أن الصيغة المجملة لوحيد الحد منه هي $(C5H8)n$
ويضاف إليه كميات ضئيلة جدا من الشوائب ذات التأثير على فلكنة المطاط وبالتالي على الخواص الفيزيائية للمطاط الناتج وقد أمكن تحديدها وتعيين نسبها المئوية بنتيجة التحليل الكيميائي للمطاط. ولا يكتسب المطاط مرونته العالية إلا بعد إضافة الكبريت إليه حيث تترابط جزيئات المطاط ترابطا بواسطة جسور كبريتية.

ويمثل الشكل (2-2) الصيغة الكيمائية التفصيلية للمطاط الطبيعي (البولي – إيزوبرين) .

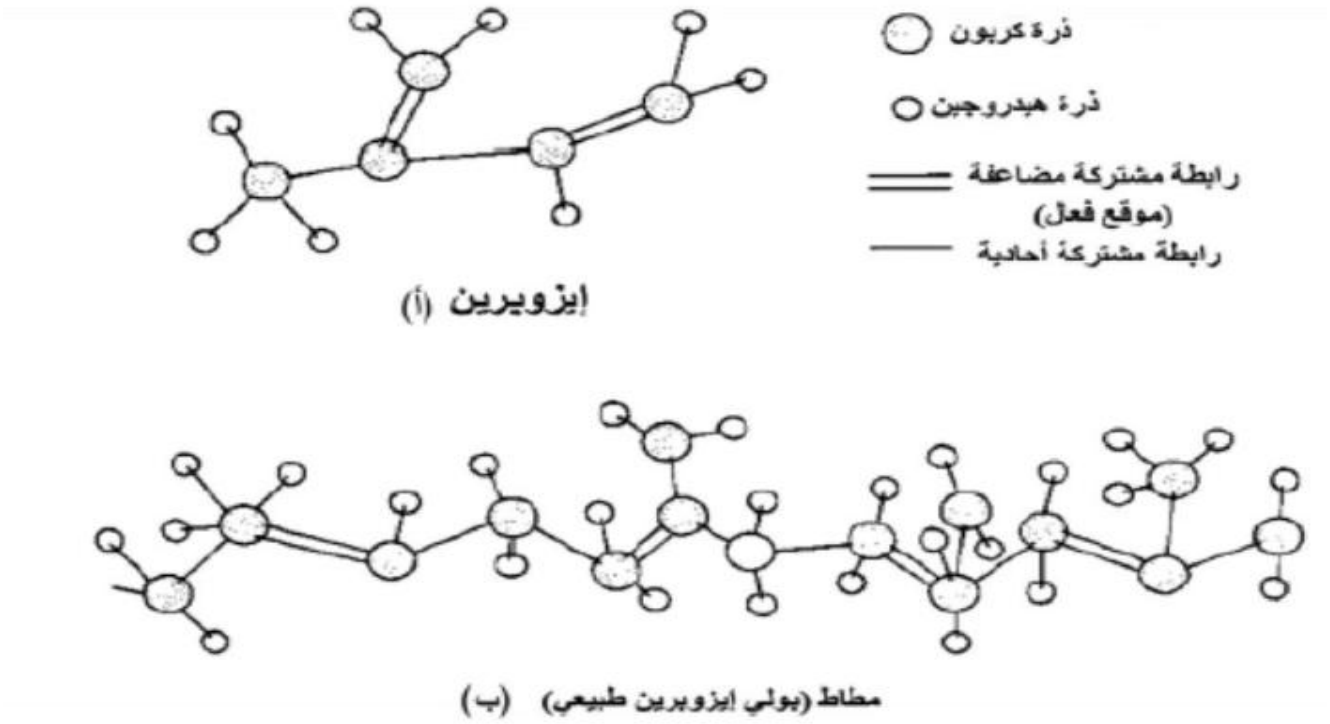


الشكل (1–2) التركيب الكيميائي للمطاط الطبيعي

المصدر [2]

حيث n = 5000 وحدة أو جزيئة إيزوبرين(مطاط)

ويبين الشكل (2–3) الوحدة البنيوية المتكررة للإيزوبرين، وسلسلة مطاط الإيزوبرين، وبنية البولي إيزوبرين حيث أن بنية معظم المطاط الطبيعي الشائع هو البولي إيزوبرين



الشكل (1–3) جزيئات الايزوبرين – بنية البولي إيزوبرين

المصدر [2]

1-3-1-2 طرق استخلاص المطاط الطبيعي:

يتم استخلاص المطاط الطبيعي من شجرة الهيفا الشكل(2-4) حيث أنه عندما يبلغ عمر الشجرة 7-5 سنوات يتم البدء بجني النسغ منها ويتم ذلك بإحداث شق ضيق من اليسار لليمين في لحاء الشجرة وبعمق 0.5 cm وعلى ارتفاع بحدود 100 cm أو يزيد قليلا عن سطح الأرض وبطول يساوي ثلث محيط الشجرة، بحيث يكون هذا الشق مائلا عن الأفق بزاوية 30 درجة مئوية كي يسيل النسغ ويُجمع حيث يكرر العمل يوميا بإحداث شق جديد تحت الشق القديم وذلك حتى بلوغ قاعدة الشجرة وبعدها يبدأ العمل في الجانب الآخر من الشجرة وفي هذه الأثناء تلتحم الجروح القديمة بلحاء جديد يسمح بإعادة العملية من جديد. وبعد إحداث الشق ونتيجة الضغط الوعائي يسيل النسغ إلى نهاية الشق السفلي ومنها إلى وعاء خاص يوضع فيه مسبقا مواد تمنع تخثر النسغ(كبريت الصوديوم) ريثما يتم نقله إلى المعمل.

إن عملية جني النسغ ينبغي أن تتم مع أول خيط من نور الصباح وعندها يمكن أن نحصل على أكبر كمية من النسغ، بعد فترة زمنية (4-3) ساعات من جني النسغ يؤخذ إلى المعمل الرئيسي بواسطة آليات خاصة وهناك يضاف إليه الماء لترسيب بعض الشوائب ثم يخثر اللاتكس بإضافة (1%) من حمض الخل أو حمض النمل أو فلوروسيليكات الصوديوم، والمطاط المتخثر يطفو على السطح بشكل مادة عجينة بيضاء ثم تمرر المادة العجينية (المطاط) بين اسطوانات خاصة يعصر منها الماء ويخرج المطاط على شكل صفائح أو رقائق حيث يتم تجفيفها. ويختلف نوع المطاط باختلاف طرق التجفيف والشوائب الموجودة فيه.

الشكل(1-4) طريقة استخلاص المطاط الطبيعي

المصدر موسوعة ويكيبيديا

ويبين الجدول (2-1) نسبة العناصر التي يحتويها المطاط الطبيعي (اللاتكس) :

الجدول (1–1) العناصر التي يحتويها المطاط الطبيعي

Constituent	Content, %
Rubber	30 – 40
Proteins	1.0 – 1.5
Resins	1.5 – 3.0
Minerals	0.7 – 0.9
Carbohydrates	0.8 – 0.1
Water	55 – 60

1–3–1–3 أنواع المطاط الطبيعي

يتم تقسيم المطاط وفق المواصفات العالمية إلى 31 نوع موزعة على سبعة أصناف رئيسية و تختلف هذه الأصناف عن بعضها بطريقة التجفيف والنسبة المئوية للمطاط و الشوائب واللون ومن أهم هذه الأصناف:

1. **المطاط الأبيض:**

وله أربعة أنواع تختلف عن بعضهاالبعض بنسبة الشوائب واللون ويتم الحصول عليه بتجفيف اللاتكس بالهواء الساخن.

2. **المطاط المدخن:**

وله سبعة أنواع تختلف عن بعضها بنسبة الشوائب واللون ويتم الحصول عليه بوضع اللاتكس في غرفة محكمة الإغلاق ثم تمرر كمية كبيرة من غاز CO_2 حتى يتم تجفيف المطاط

3. **المطاط المختلط:**

وله ثلاثة أنواع ويحصل على هذا النوع من فضلات النوعين السابقين وذلك بعد خلطهم.

وهنا لابد من الإشارة إلى أن بعض الصناعات مثل صناعة الاسفنج لا تحتاج إلى لاتكس متخثر فيستعمل عندئذ اللاتكس بتركيز (40–42%) أو (60–62%) حسب الحاجة ولمنع تخثر اللاتكس فإنه يضاف إليه ماءات الصوديوم أو ماءات الأمونيوم.

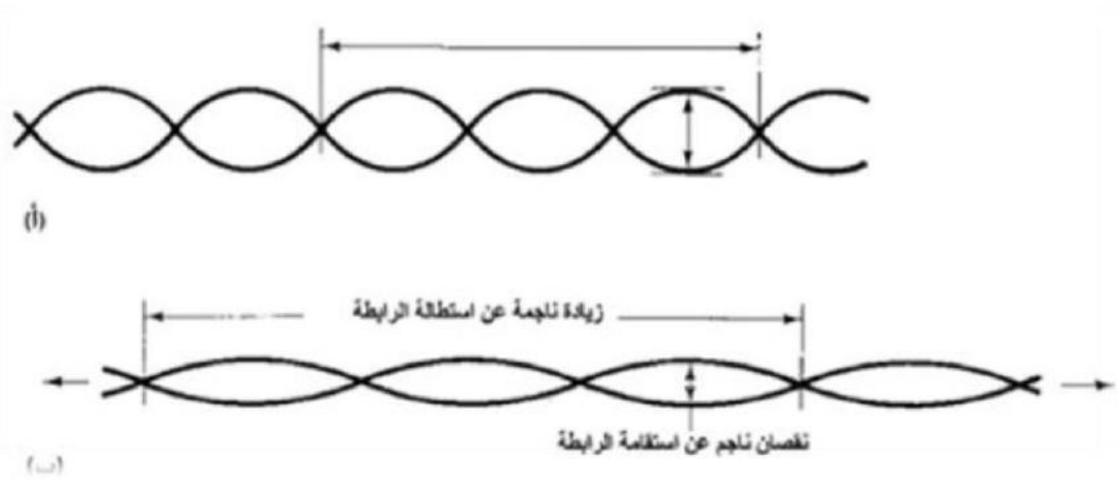
ويبين الجدول (1–2) مقارنة بين نوعين من المطاط الطبيعي والنسبة المئوية لكل من مكوناتهما:

الجدول (1–2) مقارنة بين مطاط مدخن و مطاط أبيض

المكونات	مطاط مدخن		مطاط أبيض	
	القيم الوسطية (%)	حدود القيم (%)	القيم الوسطية (%)	حدود القيم (%)
رطوبة	0.61	0.30-1.08	0.42	0-0.18
المستخلص بالاسيتون	2.89	1.25-3.50	2.88	2.26 -3.45
بروتينات	2.82	2.18-3.5	2.82	2.37-3.76
رماد	0.38	0.20-0.85	0.30	0.15-0.87
مطاط	93.30		93.58	

يضاف للمطاط الطبيعي بعد تجفيفه مواد كيميائية ومواد مالئة وتجري تقسيته بواسطة الكبريت أي فلكنته وبهذا نحصل على مطاط عالي المرونة وذلك بسبب تركيب جزيء المطاط.

عند تطبيق قوى شد على المطاط الطبيعي تتغير بنيته إذ تستطيل السلاسل وتستقيم بسبب استطالة الرابطة ويحدث التبلور بدرجات مختلفة اعتماداً على مقدار الإجهاد ومع تزايد التبلور تصبح قيم المقاومة والمتانة والقساوة أكبر. وبالتالي فإن التغيرات البنيوية في المطاط تجعله مناسبا لصنع العجلات لأن جزء العجلة الخاضع لإجهاد عال يكون بلوريا، مما يوفر للسيارة التي يحملها الدعم الضروري بينما تحافظ في الوقت نفسه أقسام العجلة غير الخاضعة لإجهاد عال على رجوعيتها وتمتص الصدمات الناجمة عن النتوءات في الطريق.



الشكل(1–5) آثار الشد في الرابطة :

أ – غياب الحمولة

ب _ حمولة شد مطبقة

المصدر [2]

وكأمثلة على منتجات أخرى تستفيد من هذه الطبيعة المتينة واللينة للمطاط أحذية رياضتي التنس والجري وغيرها من الرياضات وكرات الجولف أيضا، حيث تختلف فيما بينها بالكثافة والجساءة نظراً لاختلاف مقادير مزج مكونات الخلطة المطاطية.

وتوضح الدراسات الخاصة بإنتاج المطاط الطبيعي أن ضعف الترابط بين سلاسل المطاط تجعله لينا ورقيقا ولزجا لاسيما عند رفع درجة حرارته، لكن عند تبريده إلى درجات حرارية منخفضة يصبح صلبا وهشا وسهل الانكسار وهذا يجعل من استخدامه غير مرغوب به في كثير من الصناعات التي تتطلب إضافة الخاصية المطاطية إليها من أجل توفير عوامل المتانة من مقاومة للاحتكاك والضغط والسحب وغيرها، لاسيما في صناعة الإطارات، ولأجل التقليل من عيوب المطاط يتم إجراء عملية الفلكنة وذلك بهدف إكساب المطاط متانة ومقاومة لكثير من المؤثرات الفيزيائية والميكانيكية وكذلك مقاومة الكثير من المذيبات.

تكمن المشاكل مع المطاط الطبيعي في أنه لين جداً وفي تفاعلية روابطه المزدوجة العديدة، مما يتسبب بالأكسدة السريعة والتقادم مع الزمن علاوة على ذلك تؤدي لدونة المطاط الطبيعي إلى عدم رجوعيته التامة عند تعرضه لإجهاد عال.

اكتشف Charles Goodyear عام 1819 أنه من الممكن زيادة قساوة المطاط الطبيعي وتحسين مقاومته للأكسدة وللتفاعل مع المواد الكيميائية الأخرى وذلك من خلال إضافة الكبريت له.

تؤدي إضافة الكبريت إلى ما يسمى فلكنة (vulcanization) المطاط أي تحويله من بوليمير متلدن حراريا إلى بوليمير متصلب حرارياً ويتم هذا الأمر عبر وصل سلاسل المطاط الجزيئية ببعضها البعض عند أماكن روابطه المضاعفة، وعندما يصبح (5%) من أزواج السلاسل تقريباً متصالبة الروابط، يصبح المطاط لينا وقابل للرجوع الى وضعه الأصلي وتزداد قساوته، أي كلما ازدادت كمية الكبريت المضاف، أصبح المطاط المفلكن أكثر جساءة.

ويؤدي فلكنة الخلطة الحاوية على ثلث حجمها من الكبريت والثلثين من المطاط إلى ما يسمى الإبونيت أو المطاط الصلد. ويمكن استخدام فوق الأكاسيد وعوامل أخرى مثل التلوريوم والسيلينيوم بدلا من الكبريت لكن سعرها أعلى من الكبريت، وتحتاج فلكنة المطاط بالكبريت وحده إلى عدة ساعات وإلى درجات حرارة حوالي145 درجة مئوية ولكن عند إضافة مسرعات ومنشطات إلى المزيج المطاطي، تحدث الفلكنة خلال دقائق.

يُظهر المطاط الطبيعي المفلكن قيما ممتازة لمقاومة الانعطاف أو قابلية التشوه ولمقاومة الشد والاهتراء ولكنه يتعرض للهجوم من قبل زيوت النفط والشحوم والغازولين ويمتلك خصائص هندسية إجمالية تتفوق على مثيلاتها في المواد الصناعية مع الأخذ بعين الاعتبار الميزات الخاصة المطلوبة والسعر وقابلية المعالجة.

1-3-2 المطاط الصناعي:

تصنع المواد المشابهة للمطاط من المواد الكيميائية ويسمى ذلك باسم المطاط الصناعي نظراً لأنه يستخدم بديلاً للمطاط الطبيعي. ويصنف المصنعون للمطاط الصناعي إلى نوعين مطاط للأغراض العامة ومطاط للأغراض الخاصة.

1-2-3-1 المطاط الصناعي للأغراض العامة:

مطاط الستيرين – بوتادينSBR يعتبر من أكثر أنواع المطاط شهرة واستخداما إذ تصل نسبته إلى حوالي 60% من مجموع إنتاج العالم من مختف أنواع المطاط الصناعي، وهو بوليمر مشترك من مادة الستارين والبوتاديئين (SBR) ويتكون عادة من نحو ثلاثة أجزاء بوتاديئين وجزء واحد إستيرين ويُصّنع البوتاديئين في صورة غازية من النفط، ويجب أن يضغط أو يكثف إلى حالة سائلة لاستخدامه في صناعة المطّاط، أما الإستيرين فهو سائل يصنع من قطران الفحم أو النفط وخواصه قريبة من خواص المطاط الطبيعي، إلا أن درجة انتفاخه في الزيوت المعدنية وقدرة امتصاصه للماء تكون أقل من المطاط الطبيعي، كما يتمتع بمقاومة عالية للتقادم ويحافظ على مرونته في درجات الحرارة المنخفضة، لكنه ضعيف المرونة ولا يملك خاصية الالتصاق.

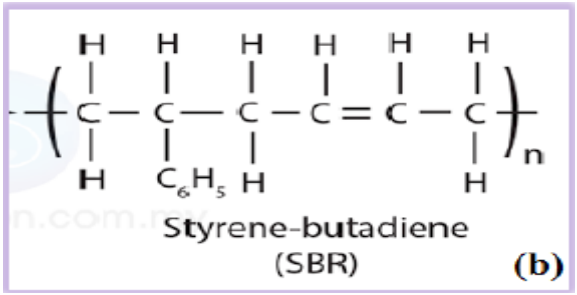
من عيوب مطّاط ستارين بوتاديئين أنّه ضعيف وغير قابل للاستخدام بدون تدعيم من الكربون الأسود لكنه في وجود الكربون الأسود يكون أقوى ومقاوما للتآكل بالإضافة إلى أنه ذو مقاومة رديئة للزيت وغير مقاوم للعوامل الجوية كالأشعة فوق البنفسجية أو الأكسجين أو الأوزون وذلك لوجود الرابطة الثنائية في الجزء الأساسي للبوليمر وتتراوح درجة حرارة العمل لمطّاط الستارين بوتاديئين (100 -55) درجة مئوية لذا فإن هذا النوع من المطاط يستخدم في صناعات متعددة فهو يدخل في تركيب الإطارات الخارجية كما يدخل في تركيب القطع المطاطية التي لا تتعرض إلى زيوت وفي السيور الناقلة والأنعال والأحذية.

ويبين الشكل (2-6) شكل مطاط SBR

الشكل (1-6) شكل مطاط SBR

المصدر [2]

بينما يبين الشكل (2-7) التركيب الكيميائي لمطاط SBR



الشكل (1-7) التركيب الكيميائي لمطاط SBR

المصدر [2]

ويبين الجدول (1-3) أنواع مطاط SBR

الجدول (1-3) أنواع مطاط SBR

سلسلة	المطاط
1000	مطاط حار بدون زيوت وملونات
1100	مطاط حار مضاف إليه هباب فحم مع 14% زيوت
1500	مطاط بارد بدون ملونات وزيوت
1600	مطاط بارد مضاف إليه هباب فحم مع 14% زيوت فأقل
1700	مطاط بارد مضاف إليه زيوت
1800	مطاط بارد مضاف إليه هباب فحم مع 14% زيوت فأكثر
1900	مطاط مستحلب
2000	لاتكس حار
2100	لاتكس باد

1-3-2-2 المطاط الصناعي للأغراض الخاصة:

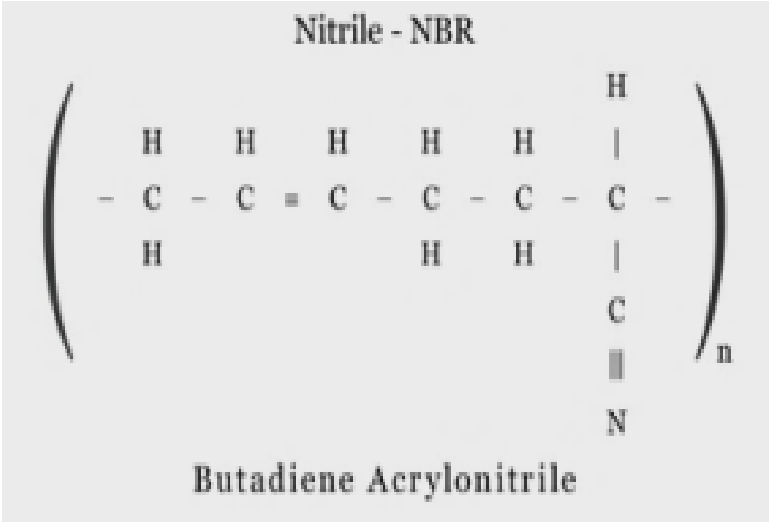
مطاط الأغراض الخاصة ذو استخدامات محدودة نظراً لما يتطلب من مواصفات محدّدة، مثل المقاومة للوقود والزيوت والشحوم ودرجات الحرارة المرتفعة وله أنواع كثيرة منها على سبيل المثال لا الحصر:

- مطاط أكريليك (Polyacrylic Rubber) ويرمز له ACM .
- مطاط السليكون (Silicone Rubber) ويرمز له SI .
- مطاط البوتاديئين (Polybutadiene rubber) ويرمز له BR .
- مطاط كلوروبرين (Chloroprene Rubber) ويرمز له CR .

- مطاط البوتيل (Isobutylene-isoprene rubber) ويرمز له IIR .
- مطاط الإيثيلين البروبيلين (Ethlylene Propylene Diene Monomer) ويرمز له EPDM .
- مطاط اكريل نتريل بوتاديئين (Acrylonitrile butadiene rubber) ويرمز له NBR .

1. المطاط النتريلي أو البونا (NBR):

ذو مقاومة عالية لتأثيرات البترول، الشحم، الزيت أو الشمع والمذيبات الضارة ويتحمل حرارة حتى 125 درجة مئوية وصيغته الكيميائية:



الشكل (1–8) التركيب الكيميائي لمطاط NBR

المصدر [2]

يحصل عليه من البلمرة المشتركة لكل من أكريل نتريل والبوتاديئين ويستخدم هذا النوع من المطاط على نطاق واسع في الصناعة نظراً لاحتوائه على مونومير الأكريلونترايل (AN) بنسبة تتراوح بين (% 35–17) وكلما ازداد محتوى المطاط من الأكريلونترايل يصبح أعلى قطبية و تزداد بشكل كبير مقاومته للفيول والزيوت والشحوم وكذلك للانتباج في الهيدروكربونات في مجال واسع من درجات الحرارة وترتفع مقاومته الميكانيكية والحرارية، لذا فإنه يدخل في صناعة القطع المطاطية التي تكون عل تماس مباشر مع الزيوت والشحوم والمذيبات و المشتقات البترولية ويستعمل ضمن المجال الحراري 40– إلى 125+ درجة مئوية.

يبين الجدول (1–4) بعض خواص مطاط NBR

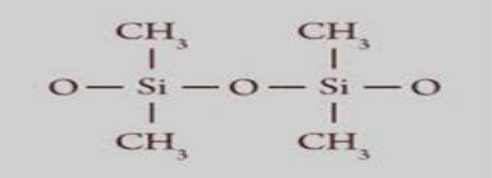
الجدول (1-4) بعض خواص مطاط NBR

Representative Polymer	Copolymer of butadiene C_4H_6
Symbol	NBR
Tensile strength	1.5-25 Mpa
Elongation	350 - 650% at failure
Specific gravity	1

وأهم ميزات مطاط النتريل هي :

- مجال القساوة 20 – 95 shore A
- مقاومة الشد 1.5 – 25 MPa
- الاستطالة 350 – 650 %
- مقاومة الاحتكاك والاهتراء جيدة إلى ممتازة
- الانضغاطية جيدة إلى ممتازة
- مقاومة التمزق جيدة إلى ممتازة
- مقاومة الحموض الممدة جيدة
- مقاومة الشحوم والزيوت جيدة إلى ممتازة
- مقاومة المحلات جيدة إلى ممتازة
- مقاومة اللهب ضعيفة
- مقاومة العوامل الجوية متوسطة إلى جيدة
- مقاومة الماء جيدة إلى ممتازة

2. المطاط السيليكوني:



الشكل (1–9) التركيب الكيميائي للمطاط السيليكوني

المصدر [2]

تعتمد مركبات السليكون في تكوينه على السليكون وعنصر مشتق من الكوارتز، لصنع هذه الفئة من المطاط الصناعي ترتبط مجموعات عضوية معلقة مقل الميثيل والفينيل بذرات السيليكون، ويمكن أن تؤدي إضافة سلاسل جانبيّة إلى تنوع هائل في الخصائص.

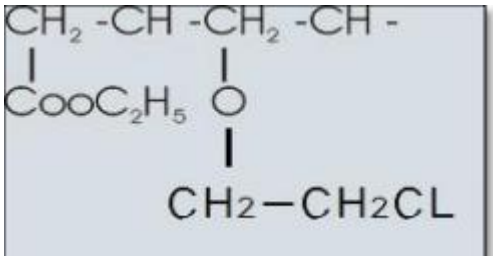
وتتميز منتوجات السيليكون بمقاومتها الممتازة للحرارة والأوزون والظروف الجوية بصفة عامة، بالإضافة إلى أنها عازلة للكهرباء ومقاومتها للعديد من الزيوت والمواد الكيميائيّة والمذيبات، وتتميز السليكونات بأفضل مرونة عند درجة حرارة منخفضة. ويتحملّ المطاط درجات الحرارة العالية جدا والمنخفضة جدا فهو يتحمل حرارة أكثر من 300 درجة مئوية ودرجة حرارة منخفضة حتى 150– درجة مئوية، لذا يعمل بشكل أفضل في ظل الظروف البيئية القاسية ودرجات الحرارة المرتفعة، إلا أن لها نقاط ضعف معينة مثل قوة الشّد المنخفضة وضعف مقاومة التآكل ومقاومته للأحماض والقلويات ضعيفة. ويُستخدم عادة في صناعة السيارات والطيران والصناعات الدوائية والغذائية ويبين الجدول (1–5) بعض خواص المطاط السليكوني:

الجدول (1–5) بعض خواص المطاط السليكوني

Representative Polymer	Polydimethylsiloxane $(SiO(CH_3)_2)_n$
Symbol	VMO
Tensile strength	10 Mpa
Elongation	700% at failure
Specific gravity	0.98

3. مطاط أكريليك ACM :

صيغته الكيميائية هي



الشكل (1–10) التركيب الكيميائي لمطاط الأكريليك ACM

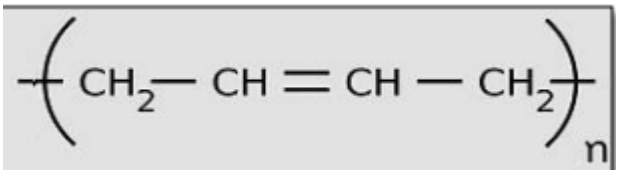
المصدر [2]

يتم الحصول عليه من البلمرة المشتركة لكل من مركب ايتيل اكريلات وكلور ايتيلين فينيل ايتر ويتصف بأنه:

- مقاوم لفصل الزيوت الساخنة والشحوم التي تتحمل الضوط العالية والزيوت الهيدوليكية
- مقاوم لأشعة الشمس و الأكسدة بالأوزون
- يتحمل درجات حرارة تصل إلى 200 درجة مئوية

4. مطاط البوتادئين BR:

صيغته الكيميائية هي



الشكل (1–11) التركيب الكيميائي لمطاط البوتادئين BR

المصدر [2]

له ثالثة أنواع تختلف عن بعضها بطريقة إنتاجها، ويمتاز هذا النوع من المطاط:

- مقاومة تأكل عالية
- قابلية مط عالية

وبسبب ارتفاع ثمنه لا يستخدم بمفرده بل يضاف إليه نوع مطاط آخر ويستخدم في صناعة الإطارات وصناعة السيور والقشط.

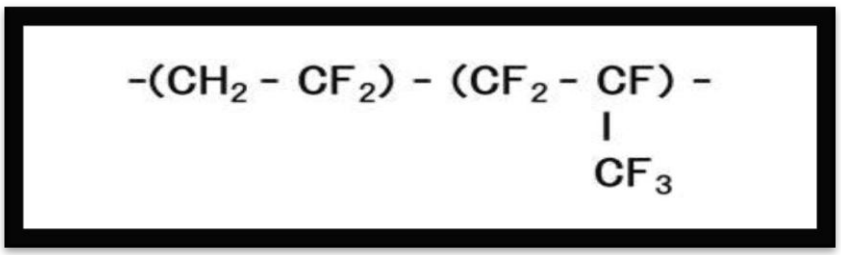
يبين الجدول (1-6) بعض خواص مطاط BR:

الجدول (1-6) بعض خواص مطاط BR

Representative Polymer	Polybutadiene $(C_4H_6)_n$
Symbol	BR
Tensile strength	15 Mpa
Elongation	500% at failure
Specific gravity	0.93

5. مطاط فلوروكربون FKM:

صيغته الكيميائية هي



الشكل (1-12) التركيب الكيميائي لمطاط فلوروكربون FKM

المصدر [2]

ويتصف هذا النوع من المطاط بالمواصفات التالية:

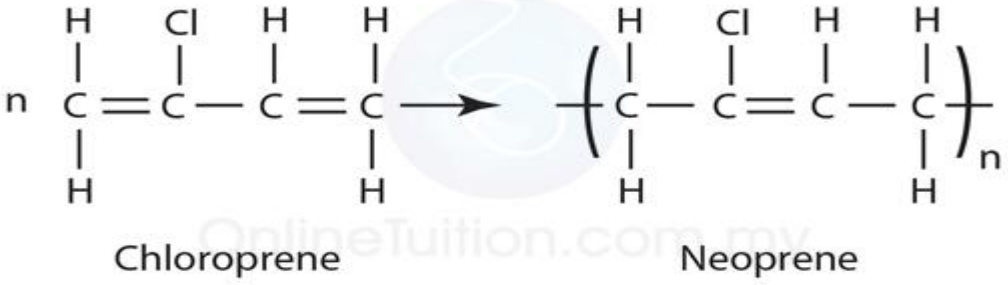
- مواصفات ميكانيكية ممتازة
- مقاومة الزيوت والشحوم والبترول
- مقاوم للحموض والأسس بما في ذلك حمض الآزوت الدخاني والأسس المنصهرة

- يتحمل درجات الحرارة العالية والمنخفضة

يدخل هذا النوع من المطاط في الموانع التي يجب أن تتحمل درجات حرارة عالية والمستخدمة في الطائرات.

6. مطاط نيوبرين (كلوروبرين) CR

صيغته الكيميائية هي



الشكل (1-13) التركيب الكيميائي لمطاط نيوبرين CR

المصدر [2]

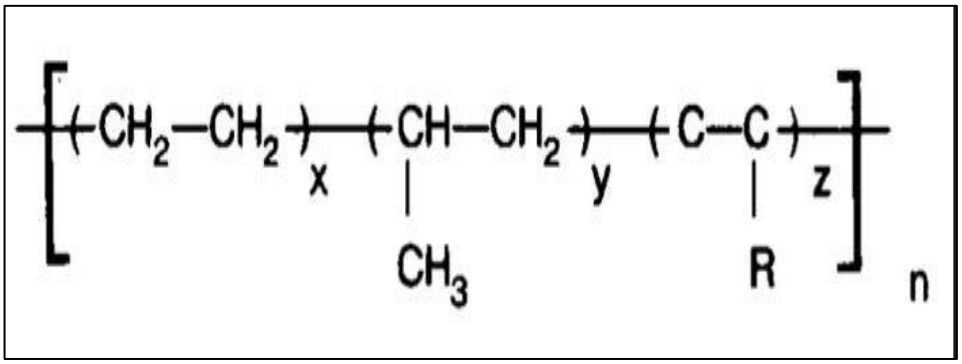
يشبه في تركيبه مطاط ايزوبرين إلا أنه يحتوي على ذرة كلور مكان جذر الميثيل في مطاط ايزوبرين ويتمتع بالمواصفات التالية:

- مقاوم للهب و الزيوت والمذيبات بصورة أفضل من المطاط الطبيعي ومطاط SBR
- مقاوم لأشعة الشمس و بالتالي الأوزون
- يتحمل درجة حرارة حتى 100 درجة مئوية

ويستخدم هذا النوع من المطاط في صناعة الخراطيم وأقنعة الغازات والمواد اللاصقة والعوازل الكهربائية و كذلك في تلبيس السلندرات و خزانات المصانع الكيميائية وملابس النجاة.

7. مطاط ايتيلين – بروبلين EPDM

صيغته الكيميائية هي



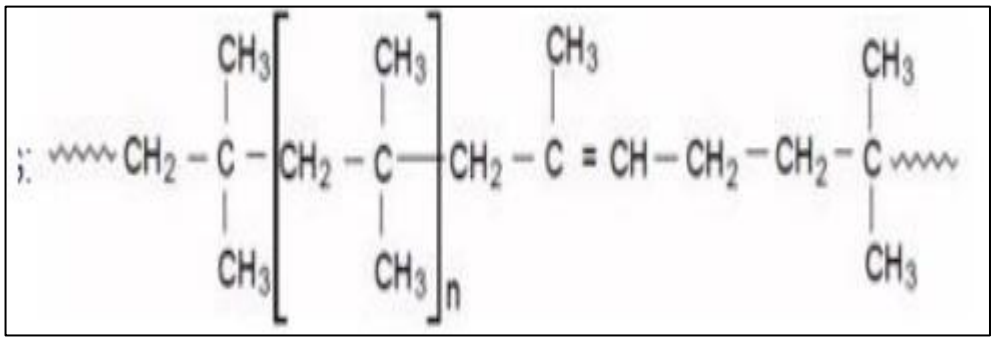
الشكل (1–14) التركيب الكيميائي لمطاط EPDM

المصدر [2]

ويتم الحصول عليه من البلمرة المشتركة لكل من الايتلين والبروبلين ويمتاز هذا النوع من المطاط بأنه يمكن إضافة كمية كبيرة من المواد الحشوية إليه دون أن تتأثر صفاته الطبيعية كما أنه يقاوم ضوء الشمس والماء ويستخدم في صناعة الأجزاء المطاطية للسيارات كقواعد المحركات ولتلبيس السيلندرات وتغليف الكابلات الكهربائية.

8. مطاط البوتيل IIR

صيغته الكيميائية هي



الشكل (1–15) التركيب الكيميائي لمطاط البوتيل IIR

المصدر [2]

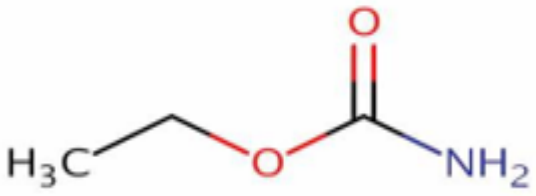
ويتم الحصول عليه بالبلمرة المشتركة لكل من الايزوبوتين وايزورين (% 4–1) و يتمتع بالمواصفات التالية:

- لا يسمح بنفوذ الغازات والهواء
- يتحمل ضوء الشمس ودرجات الحرارة العالية (100 درجة مئوية) وعدداً من الحموض والأملاح المعدنية والقلويات.

يستخدم في صناعة الإطارات الداخلية وخراطيم الماء الساخن وأقنعة الغازات وملابس النجاة.

9. مطاط أوريتان AU

صيغته الكيميائية هي



الشكل (1–16) التركيب الكيميائي لمطاط اوريتان AU

المصدر [2]

ويتمتع هذا النوع من المطاط بالمواصفات التالية:

- قوة التصاق جيدة
- لا يتأثر بالأوزون وأشعة الشمس
- مقاوم للزيوت والبترول

يدخل في تركيب عدد من الموانع المطاطية التي تحتاج إلى مرونة عالية مع قساوة عالية وفي تركيب المواد اللاصقة.

يمكن تصنيف المطاط الصناعي من الناحية الكيميائية إلى مجموعتين رئيسيتين:

- مطاط صناعي ناتج عن مونومير واحد مثل المطاط البوتيليBR والمطاط السيليكوني
- المطاط الصناعي المؤلف من أكثر من مونومير في تركيبه وخاصة البوتاديين ويندرج تحت مجموعة البوليميرات المشتركة (SBR – EPDM – NBR – CR)

ويبين الجدول التالي تصنيف المطاط وفق النظام العالمي ASTM

الجدول (1–7) تصنيف المطاط وفق النظام العالمي ASTM

ASTM Designation	Common name	Chemical Componation
NR	Natural Rubber	Cis-Polyisoprene
IR	Synthetic Rubber	Cis-Polyisoprene
BR	Butadiene Rubber	Cis-Polybutadiene
SBR	SBR	Poly (butadiene-styrene)
IIR	Butyl Rubber	Poly (isobutylene-isoprene)
CIIR	Chlorobutyl Rubber	Chlorinated poly (isobutylene-isoprene)
BIIR	Bromobutyl Rubber	Brominated poly (isobutylene-isoprene)
EPM	EP Rubber	Poly (ethylene-propylene)
EPDM	EPDM Rubber	Poly (ethylene-propylene-diene)
CSM	Hypalon	Chloro-sulfonyl-polyethvelene
CR	Neoprene	Poly chloroprene
NBR	Nitrile Rubber	Poly (butadiene-acrylonitrile)
HNBR	Hydrogenated Nitrile Rubber	Hydrogenated poly (butadiene-acrylonitrile)
ACM	Polyacrylate	Poly ethylacrylate
ANM	Polyacrylate	Poly (ethylacrylate-acrylonitrile)
T	Polysulfide	Polysulfides
FKM	Fluoroetastomer	Poly fluoro compounds
FVMQ	Fluorosilicone	Fluoro-vinyl polysiloxane
MQ	Silicone Rubber	Poly (dimethylsiloxane)

VMQ	Silicone Rubber	Poly (methylphenyl-siloxane)
PMQ	Silicone Rubber	Poly (oxydimethyl silylene)
PVMQ	Silicone Rubber	Poly (polyoxymethylphenyl-silylene)
AU	Urethane	Polyester urethane
EU	Urethane	Polyether urethane
GPO	Polyether	Poly (propylene oxide-allylglycidyl ether)
CO	Epichlorohydrin homopolymer	Polyepichorohydrin
ECO	Epichlorohydrin copolymer	Poly (epichorohydrin-ethylene oxide)

ويبين الجدول (1–8) خصائص بعض أنواع المطاط

الجدول (1–8) خصائص بعض أنواع المطاط

ASTM Designation				IIR	EPM					ACM
	NR	BR	SBR	CIIR	EPDM	CSM	CR	NBR	HNBR	ANM
Durometer range	30-90	40-90	40-80	40-90	40-90	4-100	30-95	40-95	35-95	40-90
Tensile Max,psi	4500	3000	3500	3000	2500	4000	4000	4000	4500	2500
Elongation Max%	650	650	600	850	600	500	600	650	650	450
Compression set	A	B	B	B	B-A	C-B	B	B	B-A	B
Creep	A	B	B	B	C-B	C	B	B	B	C
Resilience	High	High	Med	low	Med	Low	High	Med-Low	Med	Med
Abrasion resilience	A	A	A	C	B	A	A	A	A	C-B
Tear resilience	A	B	C	B	C	B	B	B	B	D-C
Heat aging at 212°F	C-B	C	B	A	B-A	B-A	B	B	A	A
Tr°C	-73	-102	-62	-73	-65	-17	-43	-26	-32	-24
Weather resistance	D-B	D	D	A	A	A	B	D	A	A
Oxidatiion resistance	B	B	C	A	A	A	A	B	A	A
Ozon resistance	NR-C	NR	NR	A	A	A	A	C	A	B
solvent resistance										
Water	A	A	B-A	A	A	B	B	B-A	A	D

Ketones	B	B	B	A	B-A	B	C	D	D	D
Chlorohydrocarbons	NR	NR	NR	NR	NR	D	D	C	C	B
kerosene	NR	NR	NR	NR	NR	B	B	A	A	A
Benzol	NR	NR	NR	NR	NR	C-D	C-D	B	B	C-B
Alcoholes	B-A	B	B	B-A	B-A	A	A	C-B	C-B	D
Water glycol	B-A	B-A	B	B-A	A	B	B	B	A	C-B
Lubricating oils	NR	NR	NR	NR	NR	B-A	B-C	A	A	A

A=excellent	B=good	C=fair	D=use with caution	NR=not recommended

1-4 أهم المواد الداخلة في تركيب المنتجات المطاطية

من أهم المواد الداخلة في تركيب المنتجات المطاطية هي:

1. **المواد المفلكنة:** بعد أن أوجدت الصناعة أنواعاً عديدة من المطّاط، لذا لم يعد الكبريت العنصر الوحيد القادر على فلكنة كل أنواع المطّاط، بل وجدت مواد كثيرة تقوم بهذه العملية وذلك بحسب نوع المطّاط، من أهم هذه المواد الكبريت (بشكل حر أو مركبات كبريتية) السلينيوم والتيلوريوم والأكاسيد المعدنية لكن يبقى الكبريت هو المادة المفضلة صناعيا لفلكنة المطّاط.
2. **المواد المسرعة للفلكنة:** إن فلكنة المطّاط بالكبريت تستغرق زمنا طويلاً قد يصل إلى عدة أيام، لذا يضاف عادة إلى الخلطة المطّاطية مواد مسرعة للتفاعل من شأنها خفض الزمن اللازم لفلكنة المطّاط ، كما أنها تحسن أيضاً مواصفات المنتج النهائي، وتساعد على جعله متماثلاً كلياً وتقسم هذه المواد إلى ثلاث فئات: مسرّعات سريعة ومتوسطة وبطيئة، ويختلف استعمالها باختلاف نوع ومواصفات المنتج المطّاطي.
3. **المواد المنشطة للمسرعات:** تتباطأ فعّالية المواد المسرّعة للتفاعل بعد مرور زمن قصير من الفلكنة، لذا ينبغي إضافة مواد منشِّطة لها وتقسم هذه المواد إلى نوعين: منشّطات عضوية ومنشّطات معدنية.
4. **المواد المضادة للأكسدة Antioxidants والعوامل الجوية والضوء:** للمطاط أنواع عديدة تختلف عن بعضها بمرور الزمن من خلال مقاومتها لفعل العوامل والتقلبات الجوية، لذا كان لابد من إضافة مواد إلى الخلطة المطّاطية لإكساب المنتج المطّاطي خاصية قوة تحمل ضد هذه العوامل والتقلبات الجوية لذلك فإن مضادات الأكسدة تحمي المطّاط من التغيرات الكيميائية ومن التأثيرات الضارة للحرارة وضوء الشمس والهواء، كما أن بعض المواد الكيميائية تمنع الشروخ الناتجة من تأثير الأوزون والأكسدة.
5. **المواد المالئة:** تعدّ هذه المواد من أهم المواد التي تضاف للمطاط لتحسين خواصه الميكانيكية وتضاف المالئات التي هي مواد خاملة نسبياً إلى البوليميرات لتحسين الصلادة، مقاومة الصدم، الجساءة، المتانة، مقاومة الشد والانحناء، مقاومة المذيبات لتغير الخواصّ الكهربائية للبوليميرات. و تساعد المالئات على استخدام درجات حرارة عالية للتقسية،

كذلك تعمل على تقليل ميل البوليمر للتشقق خلال التقسية بالإضافة إلى عملها في خفض نسبة الانكماش ومساعدتها على إنتاج سطوح مقولبة ناعمة، ومن أهم أنواع المالئات هي أوكسيد الكالسيوم، اسود الكربون، الحبيبات الناعمة المترسبة من السيلكا، سليكات الألمنيوم، كربونات الكالسيوم المنشّطة وغيرها من المالئات.

6. **المواد الملدنة:** تضاف إلى المطّاط في أثناء تحطيم السلاسل الكربونية، أي أثناء المراحل الأولى لعجن المطّاط الخام. وهي تكسب المطّاط سيولة في أثناء التشغيل ونعومة في المنتج النهائي ومن أهمّها: زيوت معدنية، اتيرات كبريتية، استيرات كبريتية. حيث إنّ إضافة الزيوت المعدنية إلى الخلطة يكسب المطاط طراوة ولوناً وعطراً مع الإبقاء على درجة حرارة الدرافيل منخفضة، كما تساعد على توزيع وتشتيت المواد المالئة وخفض مدة العجن وتوفير الطاقة.

الفصل الثاني

عملية الفلكنة

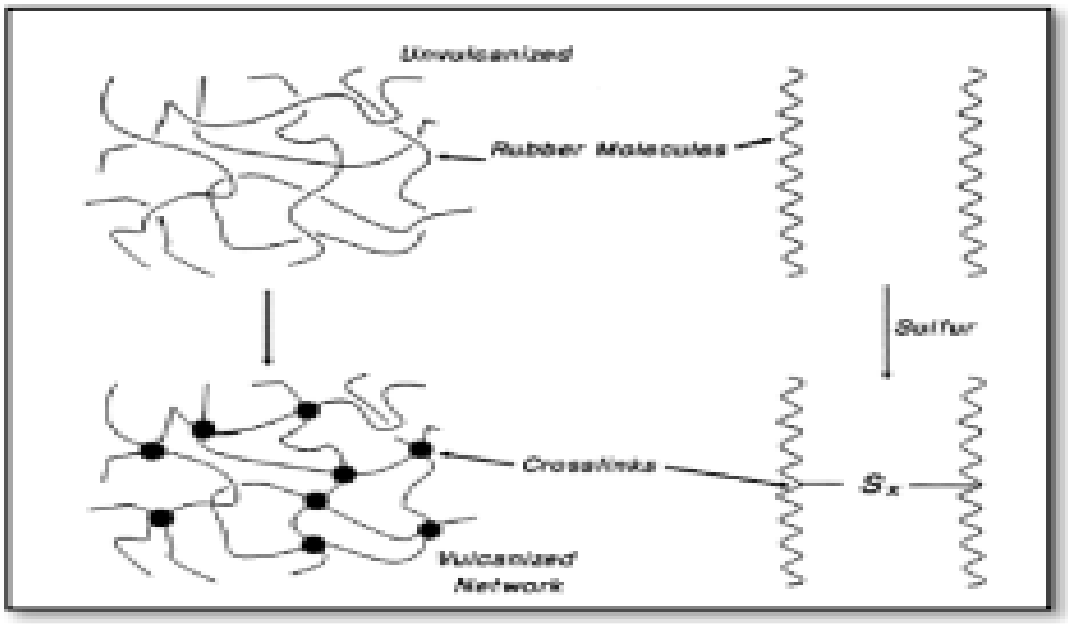
2-1 مقدمة

لا يمكن أن تصنع معظم المنتجات المطاطية المفيدة كالإطارات والقطع الميكانيكية دون درجة كبيرة من الفلكنة، وقد نسبت أول طريقة فلكنة تجارية إلى العالم Charles Goodyear حيث اكتشف طريقة لمعالجة المطاط بغرض تصليده حيث تسمح هذه الطريقة للمطاط بالاحتفاظ بخواصه تحت جميع الظروف المناخية وبهذه الطريقة نجح في تحويل المطاط الخام وهو لدن ترموبلاستيكي إلى مطاط مفلكن من نوع لدن ترموسيتينك. بعد ذلك بعام قام العالم Thomas Hancok بنفس العملية في انكلترا، ومنذ تلك الأيام يستمر العمل على تحسين هذه العملية ونتائجها على المطاط الطبيعي ثم على المطاط الصناعي وبالإضافة إلى الكبريت، تم إدخال العديد من المواد الأخرى على عملية الفلكنة(المعالجة) كالبيروكسيدات والراتنجات والأكاسيد المعدنية.

2-2 تعريف الفلكنة

الفلكنة هي مصطلح يستخدم في صناعة المطاط ليشير إلى العمليات المختلفة للترابطً المستعرضً. حيث يمتلك المطاط المفلكن شكلاً غير طبيعي من الترابط المستعرض بسبب إضافة ذرات إضافية إلى كتلة جزيئات البولي أيزوبرين وذلك نتيجة ربط جزيئات البوليمير بصورة مستعرضة، بينما المطاط الخام (الغير مفلكن) يتحول إلى مادة لزجة ولينه عند تسخينه نتيجة تمكن جزيئات البوليمير من الانزلاق فوق بعضها البعض.

تحدث عملية الفلكنة عادة عبر خلط المطاط مع عوامل الفلكنه من خلال عجن الكبريت في المطاط الخام الساخن خلال عملية الفلكنة قبل إجراء عملية القولبة له وتحويله إلى الشكل النهائي عند درجات الحرارة العالية، مما يزيد من رجوعية المطاط وينقص نسبة التشوه الدائم المتبقي فيه بعد إزالة القوة المسببة للتشوه، أي تزداد المرونة وتقل اللدونة. ويتم إنجاز هذه العملية بتشكيل شبكة جزيئية متصالبة بين سلاسل البوليمير كما في الشكل

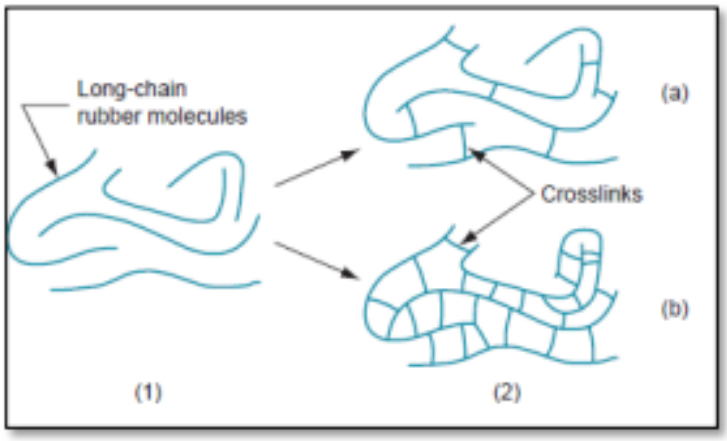


الشكل (2–1) تشكل الشبكة المتصالبة بعد الفلكنه

المصدر [2]

ويمكن أن تكون هذه التصالبات من ذرات كبريت في سلسلة قصيرة أو ذرة واحدة أو رابطة كربون– كربون أو جذر حر متعدد التكافؤ أو مجموعة أيونية أو شاردة معدنية.

يبين الشكل (2–2) تأثير عملية الفلكنة على جزيئات المطاط



الشكل (2–2) تأثير عملية الفلكنة على جزيئات المطاط

المصدر [2]

حيث:

الشكل (1) يبين المطاط الخام Raw Rubber

الشكل (2) يبين عملية الفلكنة (تشكل التصالبات نتيجة وجود الكبريت) حيث أن الشكل a يبين المطاط الناعم حيث درجة التصالبات منخفضة بينما الشكل b يبين المطاط الصلب حيث درجة التصالبات مرتفعة.

2-3 تأثير عملية الفلكنة على خواص المطاط

تلعب الفلكنة دوراً رئيسياً في عمليات تصنيع المنتجات المطاطية المختلفة مما لها من تأثير على الخواص المختلفة للمطاط و يبين الجدول التالي (3-1) تغيير خواص المطاط قبل وبعد عملية الفلكنة.

الجدول (2-1) تغير خواص المطاط قبل وبعد عملية الفلكنة

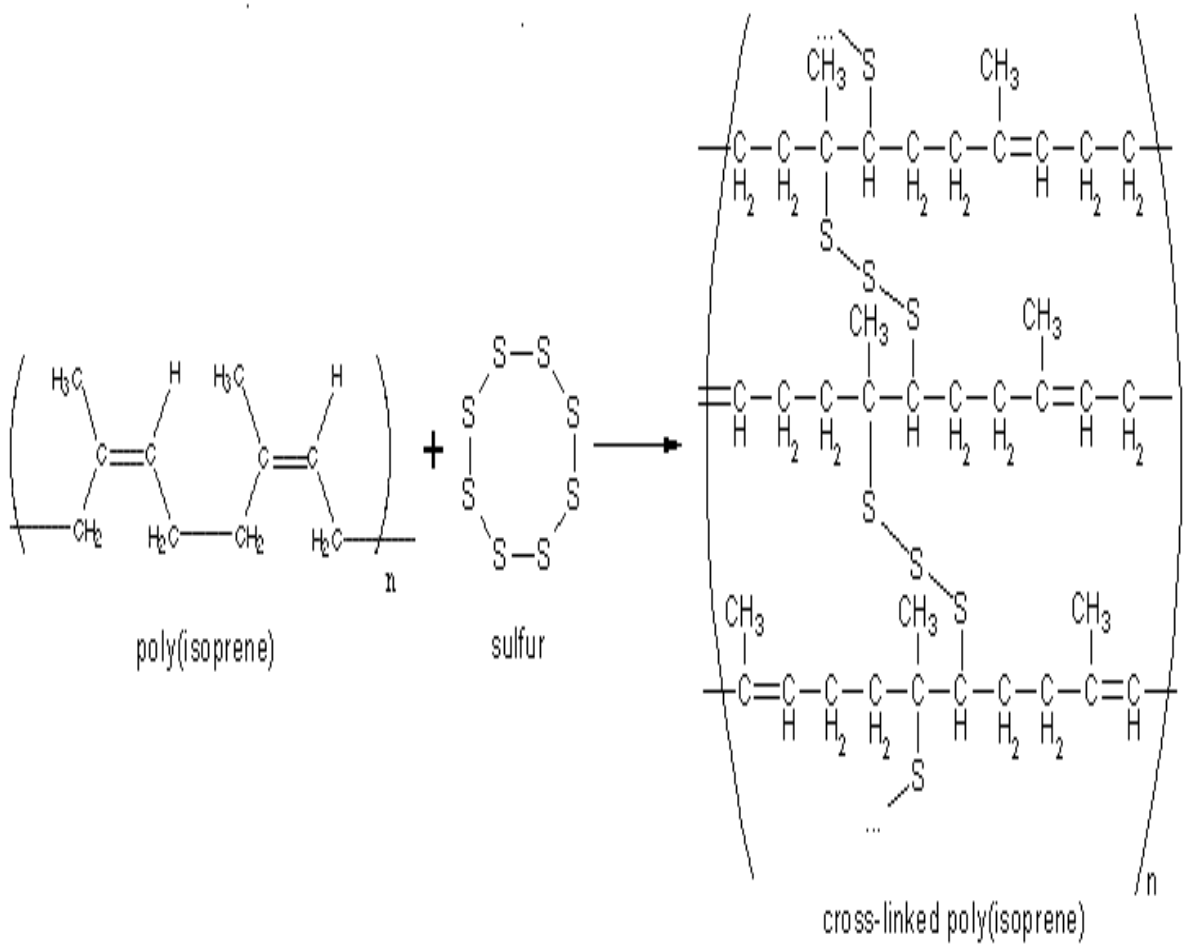
Un-vulcanized Polymer	Vulcanization Process	Vulcanized (Cross linked Polymer)
▪ Low Viscosity ▪ Low Modulus (static & dynamic) ▪ Low Tensile Strength ▪ High Elongation ▪ Low Hardness ▪ High Compression & Tension Set ▪ Low Rebound Resilience ▪ Low Abrasion Resistance ▪ Low Flex-Fatigue ▪ Low / No Elasticity ▪ Dissolves / High Swelling in Solvent	Vulcanizing Agent + Accelerator + Activator + Heat / Pressure *Vulcanization* →	▪ High Viscosity ▪ High Modulus ▪ High Tensile Strength ▪ Low Elongation ▪ High Hardness ▪ Low 'Set' ▪ High Resilience ▪ High Abrasion Resistance ▪ High Flex-Fatigue ▪ High Elasticity ▪ Only Swelling (% Swelling depends on Base Polymer)

2-4 أنواع أنظمة الفلكنة

2-4-1 الفلكنة بالكبريت بدون مسرعات:

في البداية تم إنجاز الفلكنة باستخدام الكبريت بتركيز8 أجزاء لكل 100 جزء (phr) من المطاط، وتطلبت العملية 5 ساعات عند حرارة 140 درجة مئوية، وعند إضافة أكسيد الزنك نقص الزمن إلى 3 ساعات، وباستخدام المسرعات بتركيز منخفض يصل إلى 0.5 phr انخفض الزمن إلى (3-1) دقيقة .

لا تعتبر عملية الفلكنة بالكبريت بدون مسرعات ذات أهمية تجارية وتحدث التفاعلات الكيميائية على فترة طويلة من المعالجة، وقد وجد بعض العلماء أن الآلية تحدث بمشاركة الجذور الحرة كما في الشكل (2-3)



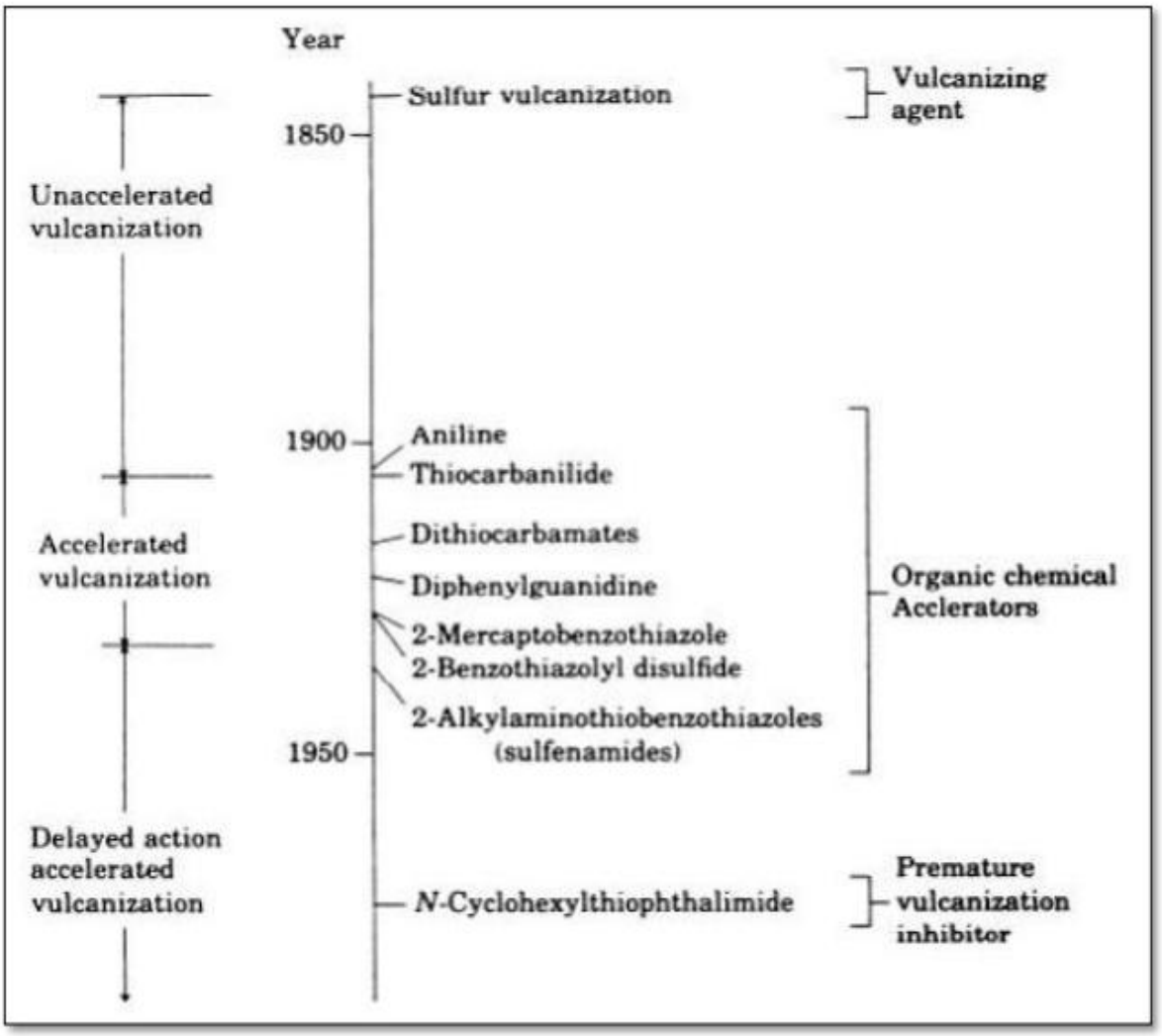
الشكل (2-3) آلية الفلكنة بالكبريت بدون مسرعات

المصدر [2]

2-4-2 الفلكنة بالكبريت بوجود مسرعات:

لم تستخدم المسرعات الكيميائية العضوية حتى عام 1906 أي بعد 21 سنة من تطوير العالمان Charles Goodyear وThomas Hancok الفلكنة بدون وجود مسرعات حيث اكتشف العالم Oenslager تأثير الأنيلين على الفلكنة بالكبريت الأمر الذي أدى إلى تطوير صناعة الإطارات الهوائية.

في عام 1907 ظهر Thiocarbailide، ثم ظهرت في عام 1919 نواتج التفاعل بين ثنائي كبريت الكربون والأمينات الأليفاتية أي Dithiocarbamates والتي ماتزال تعتبر من أكثر المسرعات فعالية لارتباطها بسرعة التصالب وامتداد تشكلها ويوضح الشكل رقم (2-4) تسلسل ظهور مسرعات الفلكنة.



الشكل رقم (2-4) تسلسل ظهور مسرعات الفلكنة

المصدر [2]

وتعد عملية الفلكنة بواسطة الكبريت بوجود المسرعات الأسلوب الأكثر استخداما على نطاق واسع للعديد من التطبيقات، كما تم استخدامها على المطاط الطبيعي وأغلب أنواع المطاط الصناعي (SBR,NBR,EPDM) وهي مفضلة لعدة أسباب:

- ❖ اقتصادية
- ❖ ممتازة للتحكم بسرعة الفلكنة من خلال استخدام المسرعات والمؤخرات لعملية الفلكنة
- ❖ إمكانية التأثير على طبيعة التصالبات بواسطة نوع وكمية المسرعات وكذلك كمية الكبريت المستخدمة

فتصالبات متعددة الكبريتيد تعطي مواد مرنة ومقاومة للشد، أما أحادي وثنائي الكبريتيد، فهي تعطي موادا مقاومة حراريا وتتألف عادة الخلطات المستخدمة في هذا النوع من الفلكنة (مع أي نوع من المطاط) على الشكل التالي:

- ✓ 100 phr مطاط
- ✓ 2–10 phr أوكسيد الزنك
- ✓ 1–4 phr حمض دسم (الشمع)
- ✓ 0.5–2 phr مسرع
- ✓ 0.5–4 phr كبريت

حيث يلعب أكسيد الزنك والحمض الدسم دور منشطات تشكل أملاحا معقدة تتفاعل مع المسرعات ومع نواتج التفاعل بين المسرعات والكبريت، ولكن في كثير من الأحيان يتم استخدام مزيج من المسرعات (عادة بنزوثيازول مع كمية قليلة من ديثيوكاربامات) حيث يقوم كل نوع بتنشيط الآخر، ويمكن أن يؤثر ذلك على سرعة التصالب.

يوجد ثلاثة أنظمة للفلكنة بواسطة الكبريت مع مسرع وهي:

- **الفلكنة التقليدية بالكبريت:** تطبق على المطاط الطبيعي والمطاط الصناعي القائم على الإيزوبرين والبوتاديين، ويستخدم فيها نسبا عالية نسبيا من الكبريت الذي يترابط مشكلاً على الأرجح تصالبات من متعدد الكبريتيد و تختلف كمية الكبريت الحر ونسبته إلى المسرع من نوع مطاط إلى آخر.
- **الفلكنة الفعالة (Efficient Vulcanization):** تطبق أيضا على المطاط الطبيعي والصناعي القائم على الإيزوبرين والبوتاديين، وينتج عنها تصالبات أحادية الكبريتيد ثابتة حراريا وتشمل هذه الفلكنة مانحات الكبريت أو مزيج من تراكيز منخفضة من الكبريت الحر (أقل من 0.5 phr) مع تراكيز عالية من المسرعات.
- **الفلكنة شبه الفعالة (Semi Efficient Vulcanization):** تطبق على أنواع المطاط السابقة نفسها، وتستخدم فيها تراكيز من الكبريت والمسرعات بين تراكيز النوعين السابقين.

الجدول (2–2) تغير نسب المسرعات والكبريت بتغير نوع الفلكنة

Material	Conventional cure system, phr	Semi-EV (semiefficient vulcanization system, phr	EV (efficient vulcanization system), phr
Natural rubber	100	100	100
N330 Carbon Black	50	50	50
ZnO	4	4	4
Stearic acid	1	1	1
6PPD[a]	1	1	1
Sulfur	2.5	1.5	0.15
CBS[b]	0.5	1	2
TMTD[c]			2.5

2–5 آلية الفلكنة

في البداية، يتم تفاعل الكبريت مع أملاح الزنك المتفاعلة مع المسرع ليتشكل ملح ثنائي الكبريتيد XS_xZnS_xX

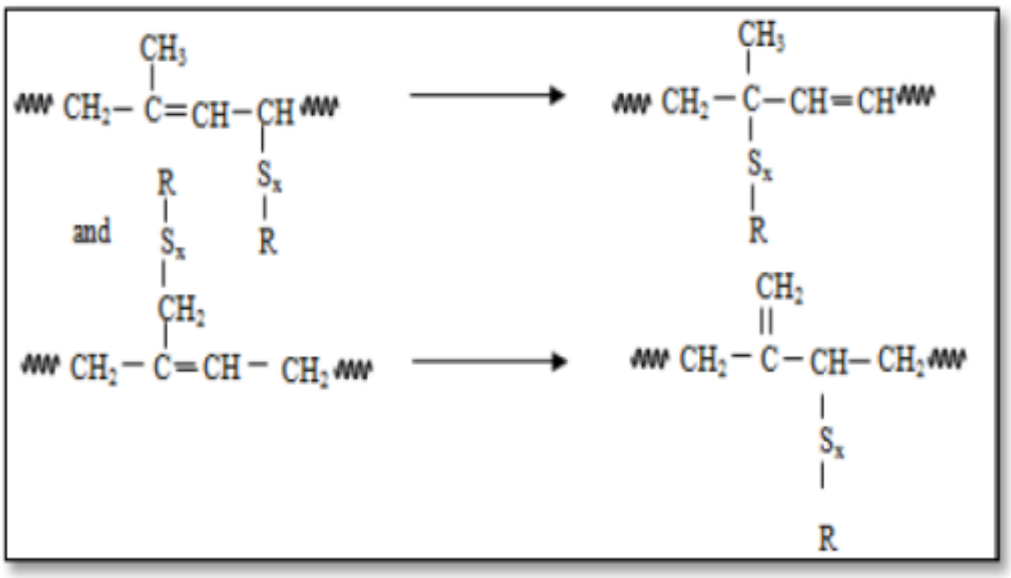
حيث X : مجموعة مشتقة من المسرع (مجموعة ثيوكاربامات أو بنزوثيازول مثلا) ويتفاعل هذا الملح مع المطاط RH حسب التفاعل التالي:

$$X\,S_x\,Zn\,S_x\,X + RH \longrightarrow X\,S_x\,R + ZnS + HS_{x-1}X$$

ويتفاعل المركب الوسيطي XS_xR مع جزيء مطاط هيدروكربوني RH ليشكل تصالباً ويولد جزيء مسرع حسب التفاعل التالي:

$$X\,S_x\,R + RH \longrightarrow R\,S_{x-1}\,R + XSH$$

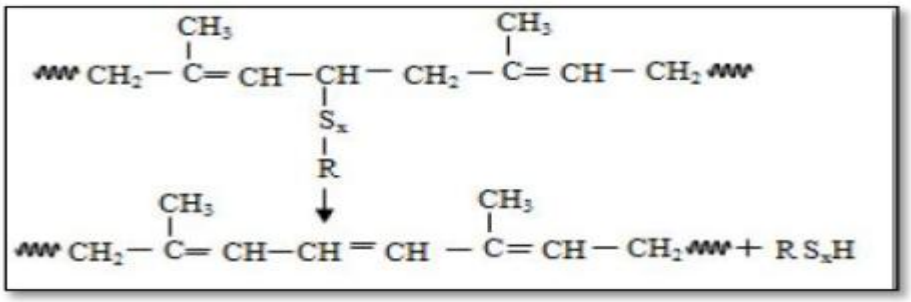
وتتم التصالبات في المطاط الطبيعي مثلا على النحو التالي:



الشكل (2–5) التصالبات خلال الفلكنة

المصدر [2]

وفي نفس الوقت، يمكن أن يحدث اختفاء تصالبات ثنائي أو متعدد الكبريتيد وتشكيل trienes (وجود ثلاثة روابط مضاعفة) حسب التفاعل:



الشكل (2–6) اختفاء تصالبات ثنائي أو متعدد الكبريتيد

المصدر [2]

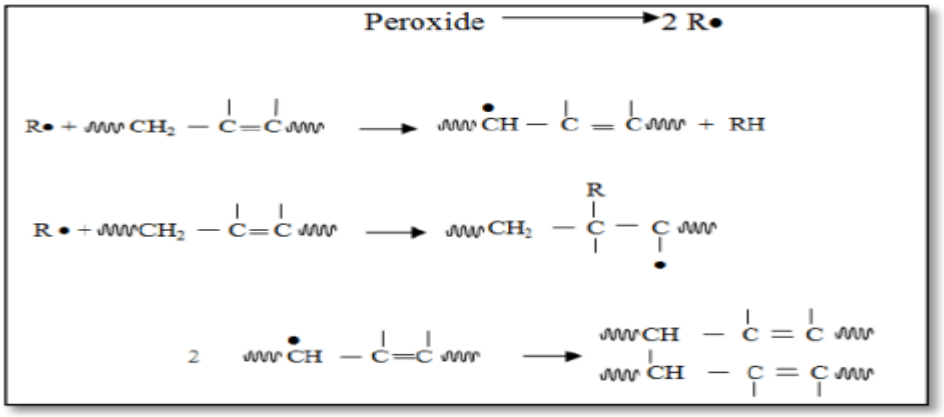
2–6 الفلكنة بالبيروكسيدات

تفيد مركبات البيروكسيدات العضوية من أجل تصالب البوليميرات غير المشبعة والمشبعة التي لا تحتوي على مواقع للهجوم من قبل عوامل الفلكنة .حيث لا تدخل هذه المركبات ضمن سلاسل المطاط وانما تشكل جذوراً حرة تولد روابط كربون–كربون بين سلاسل المطاط المتجاورة، فهي مفيدة للمطاط إتيلين–ً بروبلين EPR أو المطاط السيليكوني.

وبشكل عام ليست مفيدة كثيراً لمطاط البوتيل و POLY (isobutylene -co-isoprene) لأنها تميل إلى إحداث قطع بالسلاسل أكثر من تشكيل تصالبات عند معالجتها بالبيروكسيدات.

تتصالب أغلب أنواع المطاط المشتقة من الإيزوبرين والبوتاديين بسرعة بواسطة البيروكسيدات. ومع ذلك فإن خصائص المطاط المعالج بها تكون أدنى من المطاط المعالج بالكبريت مع المسرع، ويكون استخدام البيروكسيدات ضروريا عندما يراد تحسين خواص التقادم الحراري والانضغاطية.

تعطى آلية تفاعل الفلكنة بالبيروكسيد على النحو التالي:



الشكل (2-7) آلية تفاعل الفلكنة بالبيروكسيد

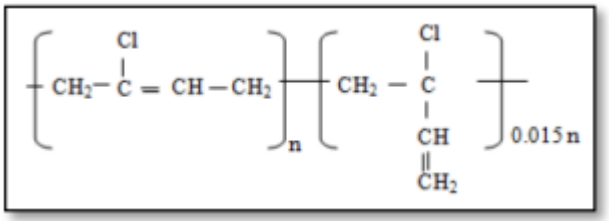
المصدر [2]

2-7 الفلكنة بالأكاسيد المعدنية

يمكن للمطاط النتريلي الكربوكسيلي ومطاط SBR أن يتصالبا من خلال التفاعل بين أكسيد الزنك والمجموعات الكربوكسيلية على السلاسل البوليميرية وتشكيل أملاح الزنك. ويمكن أن يتم التفاعل مع أكاسيد أخرى بنفس الطريقة.

في حالة مطاط النيوبرين، تكون الرابطة المضاعفة صعبة المنال بسبب ذرات الكلور المجاورة، فتكون الفلكنة بالكبريت غير ممكنة.

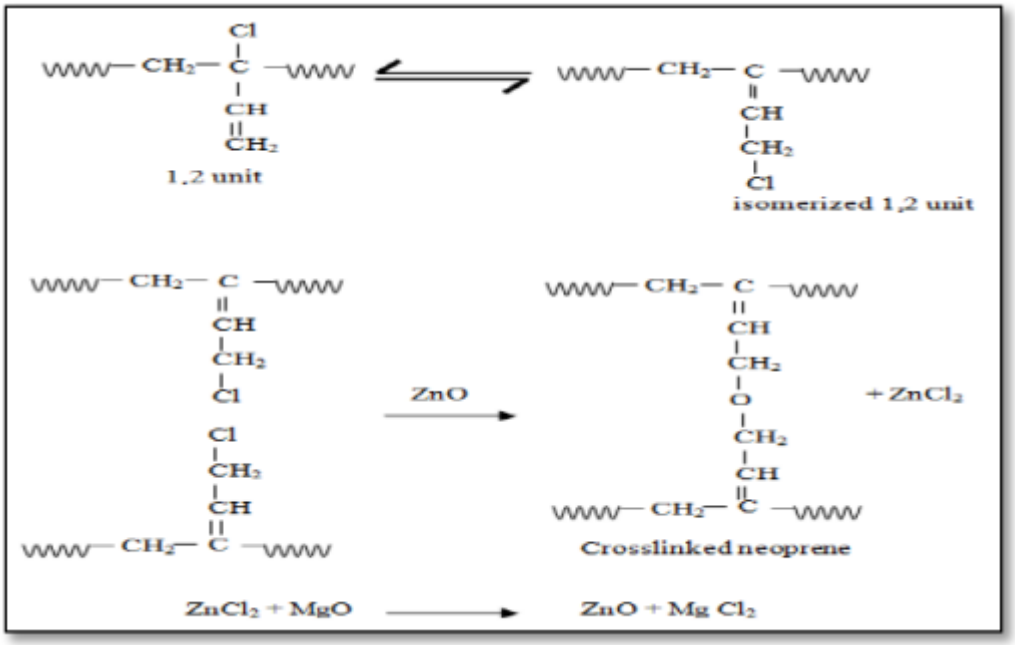
تعطى صيغة النيوبرين على النحو التالي:



الشكل (2–8) صيغة النيوبرين

المصدر [2]

وبالتالي تجري فلكنة النيوبرين باستخدام أكسيد الزنك، وعادة ما يستخدم معه أكسيد المغنزيوم الذي يقاوم الفلكنة المبكرة تعطى آلية تفاعل فلكنة النيوبرين على النحو التالي:

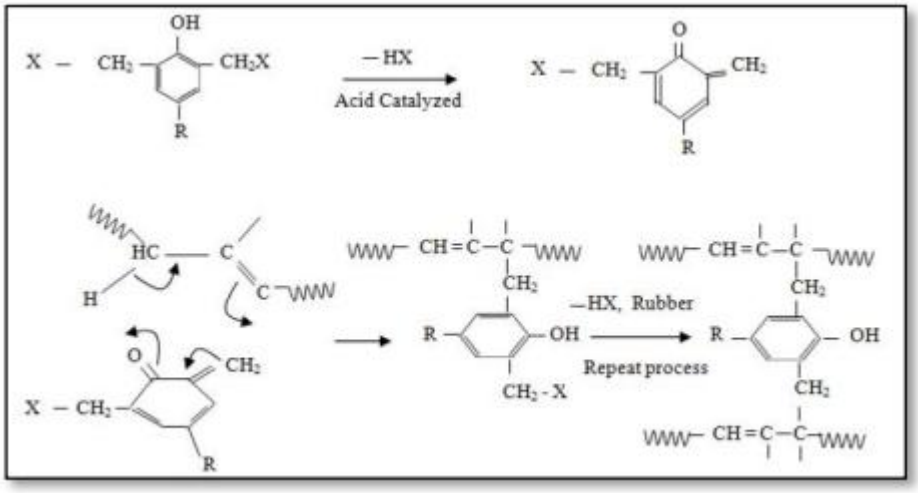


الشكل (2–9) آلية تفاعل فلكنة النيوبرين

المصدر [2]

2–8 الفلكنة بواسطة الراتنجات

تشكل بعض المركبات ثنائية الوظيفة تصالبات مع المطاط عن طريق تفاعلها مع جزيئتين بوليميريتين وتشكيل جسور بينها. تستخدم راتنجات الايبوكسي مع مطاط النتريل، ودي أوكسيم الكينون(quinone dioximes) والراتنجات الفينولية مع مطاط البوتيل، والامينات الثنائية مع مطاط فلوروكربونات وتعطى آلية تفاعل مركبات الفينول مع مطاط الدائين مثل(المطاط الطبيعي والبوتيل والستايرين بوتاديين)على النحو التالي:



الشكل (2–10) آلية الفلكنة بواسطة الراتنجات

المصدر [2]

2–9 المواد الملدنة (Plasticizers) :

2–9–1 تعريف المواد الملدنة :

هي عبارة عن مركبات كيميائية (سائل أو راتنج عضوي) ذات وزن جزيئي عالي ودرجة تطاير منخفضة، تعمل على تلدين البوليمر لجعله لدنا أو لينا في درجة حرارة أقل من المعتاد (درجة حرارة التلدين –التزجج) أثناء عملية التشغيل.

تمزج الملدنات مع الخلطة المطاطية لتخفيض المجال الحراري لـ Tg وتسهيل عمليات التشكيل وزيادة قابلية التشوه، ويجب امتزاجها بشكل جيد مع المطاط مما يساعد على جودة إضافات المواد الأخرى. وقد تكون الملدنات مواد صلبة مثل الكافور أو سوائل عضوية ذات قوام زيتي، أي أن إضافتها تؤدي إلى انخفاض لزوجة المواد السائلة وتعمل على لدونة صلابة المواد الصلبة.

2–9–2 ميكانيكية عمل الملدنات:

تضاف الملدنات إلى المطاط في أثناء تحطيم السلاسل الكربونية، أي في أثناء المراحل الأولى لعجن المطاط الخام حيث تعمل جزيئات المادة الملدنة على التغلب على قوى الجذب والترابط الداخلية بين سلاسل المطاط، وذلك بانتشارها بين السلاسل مشكلة روابط ثانوية معها مما يؤدي إلى خفض التأثيرات المتبادلة والقوى الفيزيائية فيما بينها، وبالتالي زيادة المسافة بين هذه السلاسل ومنع التشابك فيما بينها، فتنزلق سلاسل المطاط بسهولة فوق بعضها البعض، وهذا يؤدي إلى سهولة تشكيل المطاط دون أي تأثير على البنية التركيبية له، وتساهم كافة هذه العوامل في تخفيض الـTg.

2-9-3 أثر الملدنات في الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمطاط:

للملدنات تطبيقات واسعة لتحسين العديد من الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمطاط حسب المنتج النهائي المطلوب منها فهي تعمل على:

1) زيادة الاستطالة (elongation) وخفض قوة الشد (strength tensile) وهي من النتائج الطبيعة للانخفاض في درجة حرارة التحول الزجاجي Tg نتيجة إضافة الملدنات.
2) تحسين الانسيابية وزيادة المرونة وخفض درجة حرارة التحول الزجاجي Tg وعامل يونغ وتخفيض نسبة الانكماش أثناء العمل وهذا من أهم أهداف استخدام الملدنات عموما، ويتضح ذلك من ميكانيكية عمل الملدنات.
3) التقليل من زمن الخلط (time Mixing) وضغط البثق (extrusion of pressure) مما يوفر في الطاقة كما تقلل من درجة حرارة الانصهار (temperature melting) ودرجة التحلل.
4) التحكم في اللزوجة حيث أن معظم الملدنات عبارة عن سوائل ذات لزوجة منخفضة حيث أن إضافة الملدنات يحسن من الظروف التشغيلية.
5) تساعد على جودة انتشار الإضافات الأخرى وتسهيل تشتتها بين سلاسل البوليمر، مثل المواد المالئة أو الملونات سواء كانت إضافات سائلة أو صلبة، وخاصة تلك التي تذوب في الملدنات الأمر الذي يؤدي إلى جودة اتحادها ويعمل على تحسين جودة المنتج.
6) زيادة التوافق بين البوليمر والإضافات، وبين الإضافات وبعضها البعض، كذلك بين البوليمر والبوليمر في الخلطات.
7) تخفيض القساوة وخفض قابلية الطرق ductility وتحسين مقاومة الصدم Impact resistance
8) تحسين عمر المنتج عند الثني وتعديل خواص الانتباج ومقاومة اللهب وتخفيض الحرارة المتولدة خلال الانتاج (الابقاء على درجة حرارة الدرافيل منخفضة).
9) تؤثر على الفعالية الكهربائية للبوليمر، فإضافة الملدنات تخفض اللزوجة وتخفف التركيز، مما يزيد من حرية حركة جزيئات البوليمر، فتتفاعل كيميائيا مع بعضها.
10) التأثير على الخواص الكهربائية يعتمد على الخصائص الكهربائية للملدنات والتي يمكن أن تكون موصلة أو عازلة.

2-9-4 أنواع الملدنات:

تقسم الملدنات إلى نوعين: إما على شكل زيوت هيدروكربونية أو ملدنات صنعية. وتشتمل الزيوت الهيدروكربونية على ثلاث مجموعات رئيسية:

- **زيوت بارفينيه paraffinic**: تحوي نسبة عالية من السلاسل الهيدروكربونية حوالي 55% كحد أدنى وتعد مقاومة جيدة لتغير اللون والأكسدة وذات محتوى عطري منخفض ولا ينصح باستخدامها مع البوليميرات القطبية

- **زيوت نفتينية naphthenic:** يبلغ مجموع الحلقات العطرية فيها 30% كحد أدنى. وبشكل عام لا ينصح باستخدامها مع البوليميرات القطبية ويمكن استعمالها مع البوليميرات متوسطة القطبية.
- **زيوت عطرية aromatic:** يبلغ محتوى الحلقات العطرية فيها لدرجة مرتفعة 70% كحد أدنى، وتستخدم من أجل البوليميرات القطبية والمتوسطة القطبية، وتؤثر النسبة المرتفعة من عدم الإشباع فيها على ثباتية اللون ومقاومة الأكسدة.

كما تستخدم بعض أسترات الحموض العضوية أو حمض الفوسفوريك كملدنات صنعية في الشروط التي يكون فيها استعمال الزيوت الهيدروكربونية غير مناسب (غير متوافقة مع البوليمير مثلاً) وتستعمل بشكل خاص مع المطاط النتريلي NBR ومطاط الكلوروبرين CR

ومن الأمثلة على هذه الملدنات:

- ثنائي الكيل فتالات DOP
- أسترات ثنائية اليفاتية (ثنائي أوكتيل أديبات DOA)
- بولي بروبلين أديبات PPA
- ملدنات فوسفاتية (ثلاثي إكسليل فوسفات TxP)

3-9-5 اختيار الملدن المناسب:

إن اختيار الملدن المناسب في التركيبة المطاطية يعتبر من العوامل الهامة في صياغة الخلطة المطاطية وتتبع توافقية الملدن مع المطاط لعدة اعتبارات من أهمها:

- لزوجة الملدن
- الوزن الجزيئي للملدن
- البنية الكيميائية للملدن.

فيجب أن يتوافق مع المطاط من جهة ومع مكونات الخلطة المطاطية (مواد الإضافة) من جهة أخرى فعدم توافقية الملدن يمكن أن تؤدي إلى ضعف في قابلية التشكيل والتصنيع أو تشكل نتوءات سطحية في المنتج النهائي بسبب انفصال الملدن عن المطاط وهذا ينعكس سلبا على الانتاجية.

ويجب أيضا تحديد قطبية كل من البوليمير والملدن المستخدم بحيث يكون لهما نفس القطبية تقريبا لضمان تشكيل مزيج متجانس ومستقر من البوليمير والملدن

ومن مواصفات الملدن الجيد: التوافق مع البوليمير وفعالية التلدين الحراري والوفرة والسعر والديمومة وسهولة التعامل وانخفاض التطاير وضعف أو انعدام الرائحة وعدم السمية والاستقرار الحراري والضوئي ومقاومة اللهب.

2-10 مضادات الأكسدة (Antioxidants) والمثبتات (Stabilizers)

المثبتات هي مركبات كيميائية تضاف بنسب منخفضة إلى الخلطة المطاطية كي تقاوم التحولات الفيزيائية والكيميائية التي تجري على البوليمير خلال مراحل التصنيع والاستثمار وذلك نتيجة وجود الروابط المضاعفة في البوليمير الذي يصبح أكثر عرضة لتأثير عوامل التقادم.

إن وجود الروابط المضاعفة كربون-كربون في المطاط يجعل منه عرضة للهجوم من قبل الاوكسجين والأوزون وأيضا التقادم الحراري، وتزداد سرعة أكسدة المطاط بوجود عدد من العوامل: الحرارة والتلوث بالمعادن الثقيلة والضوء والجو والتعب والاوكسجين والأوزون والإشعاع والرطوبة والانتباج في المحلات.

ويوجد في الخلطة المطاطية ثلاثة متغيرات تلعب دوراً بارزاً في مقاومة التقادم:

1. نوع البوليمير.
2. نظام المعالجة (الفلكنة)
3. نظام مضاد التقادم.

إن نظام الفلكنة له الدور الأكبر والأساسي لمقاومة الأكسدة الحرارية، فعند الفلكنة باستخدام البيروكسيد يكون المنتج أكثر مقاومة بسبب عدم وجود الكبريت وتشكيل تصالبات كربون-كربون.

وكما أن أنظمة الفلكنة الفعالة تتميز بمستويات منخفضة من الكبريت ونسب عالية من المسرعات وكذلك الأمر لدى استخدام مانحات الكبريت تظهر ثباتية حرارية ومقاومة تجاه الأكسدة، ولكن مع مقاومة ضعيفة للتعب بسبب وجود تصالبات أحادية الكبريتيد Monosulfidic Crosslinks .

تتميز أنظمة المعالجة التقليدية بنسب عالية من الكبريت وتراكيز منخفضة من المسرع، وبالتالي تظهر مقاومة ضعيفة تجاه الحرارة والأكسدة بسبب التصالبات متعددة الكبريتيد Polysulfidic Crosslinks التي تكون غير مستقرة حراريا وسريعة الأكسدة ولكن مع مقاومة أفضل للتعب.

وتكون أنظمة المعالجة شبه الفعالة متوسطة الموقع بين النظامين السابقين وبالتالي تكون حلاً وسطياً بين مقاومة الأكسدة والتعب.

وتتم الأكسدة عن طريق آليتين أساسيتين هما:

- **التصالبات:** حيث تتكسر شبكة التصالبات من ثنائي أو متعدد الكبريتيد إلى تصالبات أحادية الكبريتيد ويصبح المطاط أكثر قساوة أو أقل مقاومة للتعب، كما يصبح أكثر جساءة ويميل مطاط NBR-EPDM-SBR وبولي كلوروبرين إلى هذا السلوك.
- **انقطاع السلاسل:** أي يحدث انقطاع في سلسلة البوليمير مسببا تليناً في المطاط وانخفاضا في مقاومة الاحتكاك والتآكل، ويميل المطاط الطبيعي إلى هذا النوع من التقادم. يوضح الجدول (2–3) تأثير التقادم على بعض أنواع المطاط.

الجدول (2–3) تأثير التقادم على بعض أنواع المطاط

Elastomers	Effect Of Degradation
Natural Rubber (NR)	Scission (Softens)
Poly Isoprene (IR)	Scission (Softens)
Polychloroprene (CR)	Cross linking & Scission (Harden)
Styrene Butadiene Rubber (SBR)	Cross linking & Scission (Harden)
Acrylo Nitrile Butadiene Rubber (NBR)	Cross linking (Harden)
Polybutadiene Rubber (BR)	Cross linking (Harden)
Isobutylene Isoprene Rubber (IIR)	Scission (Softens)
Ethylene Propylene Rubber (EPM)	Cross linking & Scission (Harden)
Ethylene Propylene Ter-polymer (EPDM)	Cross linking & Scission (Harden)
Chlorosulfonated Polyethylene (CSM)	Cross linking (Harden)
Polyacrylic Rubber (ACM)	Cross linking (Harden)
Fluorinated Hydrocarbon Rubbers (FPM)	Cross linking (Harden)
Polysulfide Rubbers (T)	Cross linking (Harden)
Chloro Isobutylene Isoprene Rubber (CIIR)	Cross linking (Harden)

2–11 المنشطات

هي مواد تضاف إلى الخلطة المطاطية لزيادة سرعة الفلكنة (المعالجة) من خلال تنشيط المسرع ليقوم بدوره بفعالية أكبر، وتكون منشطات المسرع ضمن مجموعتين:

1) **مركبات غير عضوية (أكاسيد معدنية عادة):** أكسيد الزنك و أول أكسيد الرصاص وأكسيد المغنزيوم. وأكسيد الزنك هو الأكثر استخداماً إذ أنه يرتبط مع الحمض الدسم ليشكل صابوناً منحلاً في المطاط وتكون أغلب الأكاسيد المعدنية المستخدمة معالجة لكي تتشتت في المطاط بشكل أسرع.

2) **أحماض عضوية:** تتحد عادة مع الأكاسيد المعدنية (أكسيد الزنك) وتتألف من حموض دسمة أحادية أو بشكل مزائج من عدة أنواع (حمض الشمع وحمض الزيت وحمض النخيل والميرستيك) وزيوت مهدرجة من زيت النخيل والخروع وبذر الكتان . ويعتمد استخدام كل نوع على نوع المسرع والمواد المضافة للخلطة المطاطية.

الفصل الثالث

عمليات تشكيل المطاط

3-1 مقدمة

يتألف المطاط الخام من جزيئات طويلة وزنها الجزيئي كبير جداً لذلك تكون أشبه بالنابض وتقاوم عمليات التشكيل.

المرحلة الأولى: لكي نتمكن من قولبة وتشكيل المطاط يجب علينا تكسير هذه الجزيئات، لذلك يتم بثق المطاط في مطواع (Plasticator) ثم يعجن في خالط بانبري (Banbury Mixer) أو يلدن بين الدرافيل في مطحنة المطاط (Rubber Mill) حيث يضغط المطاط بين درفيلين يدوران أحداهما بعكس اتجاه الآخر، حيث أن أحد هذه الدرافيل سيدور أسرع من الثاني بنسبة قد تصل إلى (1:3) وهذا سيحرض القص المتعدد والتأثير الانضغاطي على المطاط.

الصفيحة الخارجة من درافيل المطحنة ستعاد تغذيتها لفترة زمنية محدودة إلى الخلاط لطحنها حيث سيتم في الخلاط والمطحنة تغميس المطاط بالمواد المضافة للحصول على المنتج النهائي. حيث تستخدم هنا طرائق عديدة مشابهة للعمليات التي تستخدم في قولبة بعض أنواع اللدائن. كما أن غالبية المطاط الصناعي(Elastomer) لا يستجيب للعجن أو التشكيل.

المرحلة الثانية: هي قولبة أو تشكيل المطاط بالشكل المطلوب ثم فلكنته. غالبا ما يكون الكبريت هو العنصر المفلكن وذلك بهدف الحصول على الروابط المستعرضة بين جزيئات المطاط. وهذا ما سيجعل المطاط مرنا غير لزج قوي ومقاوم أكثر للحرارة والمذيبات.

إن بنية معظم المطاط الصناعي يتم تنظيمها خلال عملية البلمرة ولا تتم فلكنتها، كما أن عملية القولبة والتشكيل الحقيقية تنجز بطرائق مختلفة وهي مشابهة للطرائق الشائعة للمواد اللدائنية، فيمكن بثق المطاط أو ضغطه أو حقنه في قوالب وتشكيله.

تتم صناعة المنتجات المطاطية ضمن مراحل متعددة ومتشابهة بالنسبة لجميع المنتجات المطاطية وبالنسبة لجميع أنواع المطاط وهي:

1) تحضير الخلطة المطاطية

ففي هذه المرحلة توزن جميع المواد الداخلة في تركيب الخلطة المطاطية وفق استطاعة آلة عجن المطاط المتوفرة في المعمل. حيث تتم صياغة خلطة المطاط ولأي نوع من أنواع المطاط للحصول على مجموعة واسعة من الميزات والخواص، حيث تتضمن الخلطة إضافة عدد من المواد العضوية واللا عضوية التي تتضافر جميعها في تحديد خواص وأداء المنتج المطاطي ومجالات تطبيقاته، وتتضمن هذه المواد والاضافات: كل من البوليمير والملدنات والمثبتات والمواد

المالئة وعوامل الفلكنة بغية الوصول إلى الصيغة المطلوبة من أجل تطبيق معين. وتتلخص الأغراض الرئيسية لصياغة الخلطة المطاطية فيما يلي:

- ❖ زيادة الثبات والاستقرارية الحرارية خلال مراحل التشكيل وحماية المطاط اتجاه عوامل التقادم المختلفة
- ❖ تسهيل عمليات التشكيل والقولبة والمعالجة عن طريق تغيير السلوك الريولوجي للخلطة المطاطية
- ❖ زيادة كثافة المطاط وتحسين سيولته وانسيابه ضمن آلات التشكيل
- ❖ الحصول على خواص فيزيائية وكيميائية محددة
- ❖ تحقيق أداء محدد في الخدمة
- ❖ زيادة عمر وفترة الحياة للمنتج

2) مرحلة العجن

في هذه المرحلة يتم وضع المواد التي تم وزنها مسبقاً فيما عدا عنصر الفلكنة (الكبريت) في آلة عجن داخلية والتي هي عبارة عن جهاز يتألف من اسطوانتين تدوران بشكل متعاكس مغلق من الخارج وذلك للتقليل من تطاير المواد أثناء عملية العجن وبعد مرور الزمن اللازم لعجن الخلطة المطاطية (8–6) دقيقة تخرج من أسفل الجهاز ويختلف وزن الخلطة الواحدة بحسب استطاعة آلة العجن، بعدئذ تبرد الخلطة المطاطية ومن ثم تؤخذ إلى جهاز عجن آخر يتألف أيضا من اسطوانتين تدوران بشكل متعاكس إلا أنه غير مغلق حيث يعمد إلى تطرية أولية وتكسير لروابط الخلطة المطاطية ثم تضاف عناصر الفلكنة، وتقلب العجنة على العجان المفتوح مدة من الزمن حتى يتم انتشار الكبريت في كل أجزاء الخلطة المطاطية بشكل متساوي وثم تسحب الخلطة المطاطية بحسب السماكة المطلوبة.

3) مرحلة الفلكنة

في هذه المرحلة تتم فلكنة المطاط ويأخذ المنتج المطاطي شكل القالب المعدني وعملية الفلكنة لا تتم إلا بوجود الضغط والحرارة، وتوجد طرق عديدة لفلكنة المطاط تختلف باختلاف نوع المنتج المطاطي نذكر منها:

- **الفلكنة بالضغط** : وذلك باستخدام مكابس هيدروليكية مسخنة بواسطة مقاومات كهربائية أو بالبخار وذات طابقين أو أكثر توضع ضمنها الخلطة المطاطية وتستخدم هذه الطريقة في إنتاج الخراطيم العادية، الموانع المطاطية، الإطارات الخارجية، الأنعال، أرضيات السيارات وصناديق المدخرات.
- **الفلكنة بالحقن:** وتتم باستخدام آلة خاصة تقوم بحقن المطاط المسخن إلى ما دون درجة حرارة الفلكنة في قوالب معدنية مطبق عليها ضغط من الأعلى والأسفل ومسخنة بمقاومات كهربائية. وتستخدم هذه الطريقة لإنتاج بعض الأنواع من

الموانع المطاطية والأنعال وصناديق المدخرات الرصاصية وقواعد المحركات وبالنظر لارتفاع التكلفة الاقتصادية لهذه الطريقة لذا فإنها لا تستخدم إلا في حالة الإنتاج الكمي للمنتج الواحد.

- **الفلكنة بالهواء الساخن أو البخار وتحت الضغط:** يتم ذلك باستخدام موصدة (Autoclave) (خزان ضغط مكون من المعدن مصمم لتسخين المحاليل المائية فوق نقطة غليانها عند الضغط الجوي النظامي وذلك بهدف التعقيم) وتستخدم هذه الطريقة لإنتاج بعض البروفيلات المطاطية، الإطارات الداخلية، تلبيس الاسطوانات المستخدمة في الصناعات النسيجية والأحذية المطاطية.
- **الفلكنة بالحمام الملحي:** ويتم ذلك باستخدام آلة خاصة تقوم ببثق المطاط بحسب شكل القالب المعدني الموجود في مقدمتها ومن ثم يمرر المنتج ضمن حوض يتراوح طوله ما بين (7–150) متر فيه أملاح معدنية كثافتها لا تسمح للمنتج المطاطي إلا بأن يبقى غارقاً ضمنها ودون أن يلامس قاع الحوض ويسخن المحلول الملحي بتيار قصير الموجة Micro wave أو بتيار عالي الذبذبة UHF وتستخدم هذه الطريقة للإنتاج المستمر مثل البروفيلات المطاطية والخراطيم المطاطية والإطارات الداخلية.

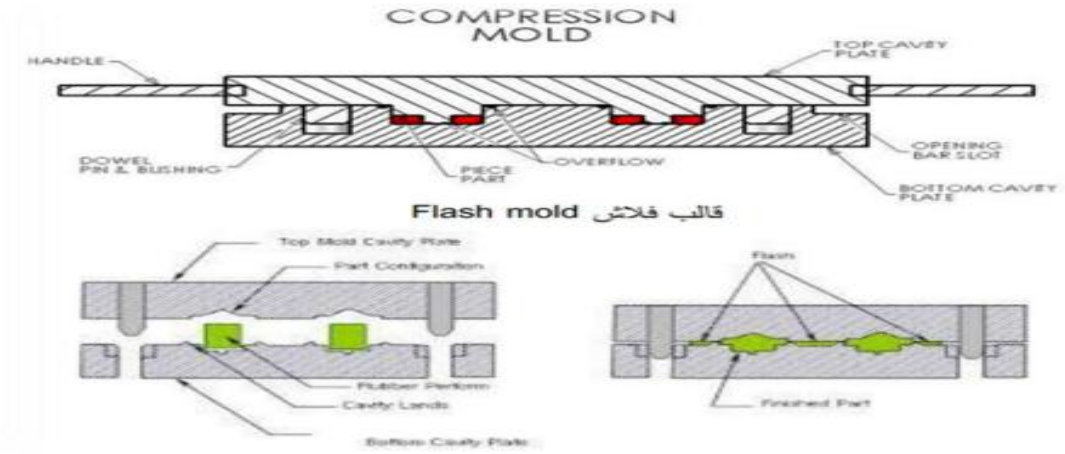
3–2 عمليات تشكيل المطاط

3–2–1 القولبة بالكبس Compression Molding

وهي من أكثر الطرق شيوعا وقدماً في إنتاج السلع المطاطية، المعالجة تتم هنا في القالب المسخن والموجود تحت الضغط.

أبسط أنواع قوالب الضغط هو ما يسمى بـ Flush Mold حيث يكون الضغط الوحيد على المادة المتبقية في القالب هو الضغط الناشئ عن اللزوجة العالية لمصهور المادة التي لا يسمح لها بالخروج كما في الشكل (3–1)

بما أن معظم أنواع المطاط تتمتع بلزوجات عالية جدا خصوصا وهي محتوية على المواد المالئة، لذلك هذا المكبس هذا يستخدم على نطاق واسع لصناعة المراس والحلقات وفي صناعة أكعاب الأحذية والأحواض وسدادات الحواجل وغيرها من السلع المألوفة

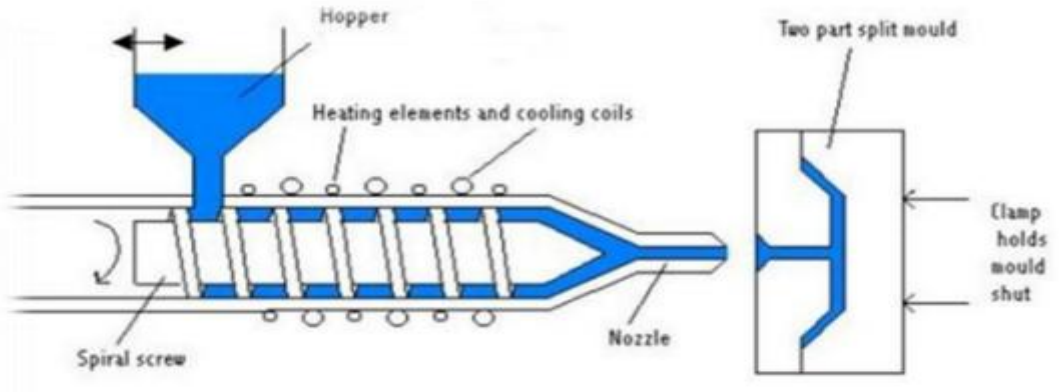


الشكل (3–1) Flush Mold

3–2–2 القولبة بالحقن Injection Molding

تتألف آلة القولبة Screw type بشكل عام من قمع يملأ بالمادة المراد حقنها وهي على شكل حبيبات أو بودرة .... الخ، تتساقط منها المادة المطاطية إلى اسطوانة حيث يقوم الناقل الحلزوني بدفع هذه الحبيبات إلى المنطقة المسخنة وفي اثناء مرورها بهذه المنطقة تجبر بالتوجه إلى الجدران الساخنة.

تخرج المادة أو العجينة التي تكاد تكون سائلة من تأثير الحرارة التي تصل إلى 150–250 درجة مئوية من خلال فتحة صغيرة (Nozzle) تتفرع إلى قنوات تؤدي بواسطة فتحات مناسبة إلى الأجزاء المختلفة للقالب، إذا كان المطاط المستخدم من النوع الذي يجب معالجته في القالب فيجب الانتظار حتى تنتهي المعالجة ومن ثم البدء بعملية تبريد القالب، بعد ذلك يبرد القالب لعدة ثوان ويفتح وتسحب منه القطعة المتكونة ويغلق ثانية وتكرر العملية عددا غير محدود من المرات.



الشكل (3–2) آلة حقن حلزونية

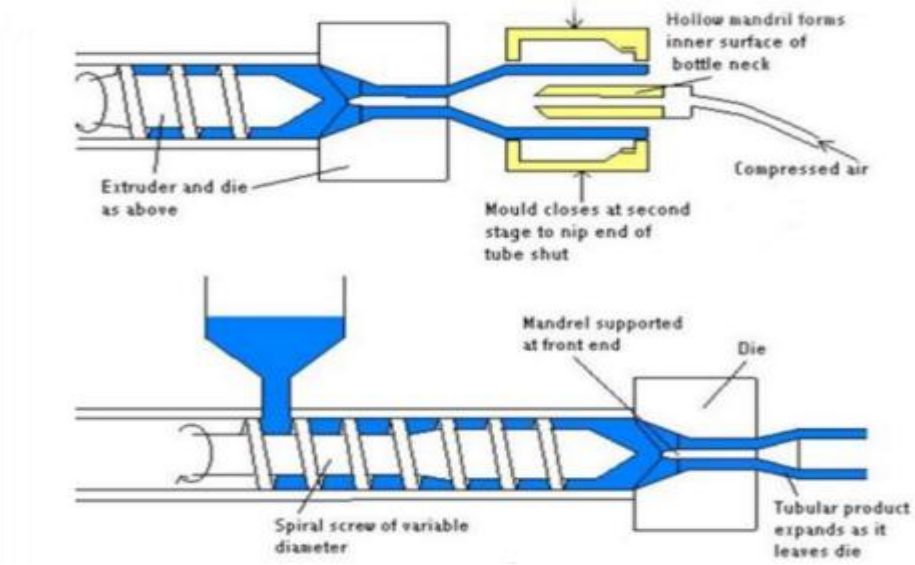
فائدة الحلزون تتمثل في أنه يزيد من انتقال الحرارة على الجدران كما يسخن هو أيضا وذلك بتحويل جزء من العمل الميكانيكي إلى طاقة حرارية كذلك فإن الناقل الحلزوني يقوم بمزج ومجانسة المركب المطاطي.

تشكيل المطاط بالحقن يعطي قطعا أقل مسامية، من ميزاته الأخرى أن المطاط المقولب والمترابط تصالبياً عند ضغط عال تكون مرونته أفضل، فمثلاً تستطيع كرة مطاطية شكلت عند ضغط أقل من 1000 psi أن ترتد إلى 85% من ارتفاعها الأصلي بينما إذا تمت القولبة عند عشرة أضعاف هذا الضغط فإن الارتداد يصل إلى حوالي 92% هذه الميزة يكون لها قيمة عملية عند صناعة الألعاب.

المشكلة الرئيسية التي تعترض انتشار هذه الطريقة في إنتاج المنتجات المطاطية هي أن الفترة اللازمة للمعالجة تبطئ عملية الإنتاج وتطيل الزمن اللازم لإنتاج القطعة الواحدة، وتجرى أبحاث حثيثة هدفها التقليل من الزمن اللازم للمعالجة أو إنتاج أنواع جديدة من المطاط لا تحتاج إلى معالجة في القوالب، انتشر استخدام آلات الحقن في صناعة الأحذية بالدرجة الأولى.

3-2-3 القولبة بالبثق Extrusion

تتألف آلة البثق من ناقل حلزوني يقوم بنقل المركب المطاطي إلى الأمام ودمجها في جزء الضغط مع التسخين من مسخنات خارجية ونتيجة الاحتكاك يبلغ الضغط قيمته العظمى قبل القالب مباشرة، هذا القالب يعطي شكل الجزء الدقيق المبثوق وتقوم شبكات وصفيحة تكسير موجودة بين الحلزون والقالب بتصفية الأوساخ والكتل غير المنصهرة.



الشكل (3-3) آلة بثق نموذجية

بالطبع عند بثق المركب المطاطي يجب معالجة المبثوق المطاطي وهذه المعالجة تتم بتسخينه في أسطوانة تسخين أو بطريقة تقنية الوسادة المائعة Fluid bed vulcanization Technique بواسطة هذه التقنية الأخيرة تنجز عملية نقل الحرارة على الجسم المبثوق بإمرار هذا الأخير من خلال وسادة من بودرة صلبة ناعمة جدا معلقة في الهواء (معومة) ومسخنة إلى الدرجة المطلوبة.

في الواقع تستخدم طرق التشكيل بالبثق على نطاق واسع في صناعة المطاط ففي هذه التقنية يمكن إنتاج تنوع واسع من السلع والإطارات الخارجية حتى تغطية الكابلات، ومن الجدير بالذكر أن أول آلة بثق ذات ناقل حلزوني قد استخدمت لبثق المطاط.

تختبر قدرة المركب المطاطي على البثق بشكل ملائم بواسطة قالب يدعى Garvey Die. باستخدام جهاز بثق صغير (مخبري) يمكن بثق مطاط مضافا إليه مواد مالئة بما أن المطاط يغذى إلى الآلة على شكل أشرطة ساخنة لذلك فإنه يجب أن يبرد لمنع حدوث التصالبية المعالجة.

تنبثق الأنابيب والخراطيم من خلال قالب حلقي الشكل حول محور، يتم التبريد هنا بتدوير الماء خلال المحور بالإضافة إلى تمرير الجسم المبثوق خلال حمام مائي.

آلة بثق مجهزة بقالب يتضمن آلية لتدوير الماء داخله لإنتاج الأنابيب والخراطيم

تطبيقات عملية البثق للمنتجات المطاطية – خراطيم مطاطية ومانعات تسرب

الشكل(3-4) يبين تطبيقات البثق

الفصل الرابع

مواد وطرائق الاختبار

4-1 مقدمة

الغرض من هذا البحث الحصول على أغشية مطاطية من تراكيب مطاطية مختلفة لاستخدامها في المضخات الغشائية و دراسة السلوك و الخواص الميكانيكية – الفيزيائية والكيميائية لهذه الخلطات كل منها على حدا.

4-2 تكنولوجيا إنتاج المطاط

تمت صناعة الأغشية المطاطية ضمن مراحل متعددة وهذه المراحل هي:

4-2-1 تحضير الخلطة المطاطية

تتكون المنتجات المطاطية من مجموعة من المواد الأولية التي تمزج معاً لإنتاج الخلطة المطاطية ثم يتم قولبة الخلطة من أجل الحصول على المنتج النهائي، ففي هذه المرحلة توزن جميع المواد الداخلة في تركيب الخلطة المطّاطية وفق استطاعة آلة العجن.

ويعني التركيب إضافة كميات محدودة من العناصر المختلفة بعناية لتلدين المطاط حيث أن التحكم الدقيق بكمية الإضافات يعمل على التحكم بالمواصفات والخواص الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية للمنتجات المطاطية.

ويتم تحضير الخلطات المطاطية وفق المراحل التالية:

4-2-1-1 قسم التحضير

يتم في قسم التحضير تصنيع العجنات المطاطية وفق ما يأتي:

1. إجراء الفحص المظهري لكل نوع من المواد الأولية الداخلة في الخلطة وهي مطّاط NBR-SBR والمواد الكيمياوية وأسود الكربون والزيوت على أنواعها.
2. التأكد من العلامات الدالةّ على هذه الموادّ الكيميائية الداخلة في الخلطة وذلك عن طريق التأكد من النوع والصنف والاسم لكل مادة بحسب ما هو مثبت على الأكياس الحاوية على هذه المواد.
3. التأكد من صلاحية هذه المواد عن طريق الفحص المظهري لشكل المادة ولونها وعدم تأثرها بطريقة التخزين والظروف الجوية وتغير مظهرها ولونها، وكذلك التأكد من نقاوتها وعدم تلوّثها بمواد أخرى.
4. مراقبة الظروف التشغيلية للآلة وهي خطوط التبريد بالماء في الأجزاء التي تحتاج إلى تبريد، وكذلك خطوط التسخين في الأجزاء التي تحتاج إلى تسخين.
5. مراقبة الضغط الذي يجب أن يكون بضغط معين لضمان الحصول على عجن متجانس.

6. مراقبة درجة الحرارة والتوقيت في أثناء العجن عن طريق وجود الثرموكبل وساعة التوقيت.
7. يتم وزن المواد الأولية في قسم التحضير بواسطة ميزان الكتروني دقيق.
8. تحضّر هذه الموادّ الموزونة في أكياس خاصة جاهزة للتغذية إلى الآلة.
9. يتم العمل على هذه المواصفات القياسية للخلطات وتغذيتها إلى الآلة بالتتابع المثبت بالمواصفة ووفق الوقت المطلوب لكل مرحلة، مع مراقبة درجة الحرارة وارتفاعها نتيجة العجن.

4-2-1-2 عملية الخلط

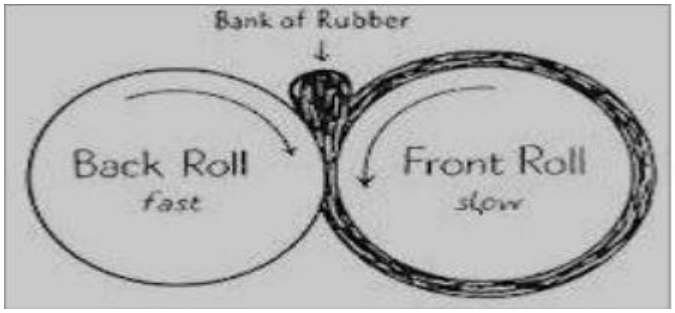
تلعب عملية الخلط دوراً مهماً في تصنيع المنتج المطاطي حيث يتم في هذه المرحلة وضع عناصر الخلطة التي تم وزنها سابقاً عدا عنصر الفلكنة (الكبريت) وفق التسلسل التالي:

1. المطاط NBR- SBR وتمريره بين الدرافيل لعدة مرات
2. المقويات
3. المنشطات
4. المسرعات
5. مضادات الأكسدة

يتم عجن المطّاط في درجات حرارة منخفضة أو مرتفعة فيسلط إجهاد ميكانيكي من الدرافيل الأمر الذي يؤدي إلى تطرية أولية وتكسير الروابط في الخلطة المطاطية والذي يحصل في عملية العجن هو أن التحطيم الميكانيكي للسلاسل البوليميرية في أثناء عملية العجن يسبب تكوين جذور حرة، حيث أن هذه الجذور تكون غير مستقرة وسرعان ما ترتبط هذه السلاسل ثانية أو ترتبط الجذور الحرة بسلاسل بوليميرية أخرى مسببة تفرعها أو ارتباطها العرضي.

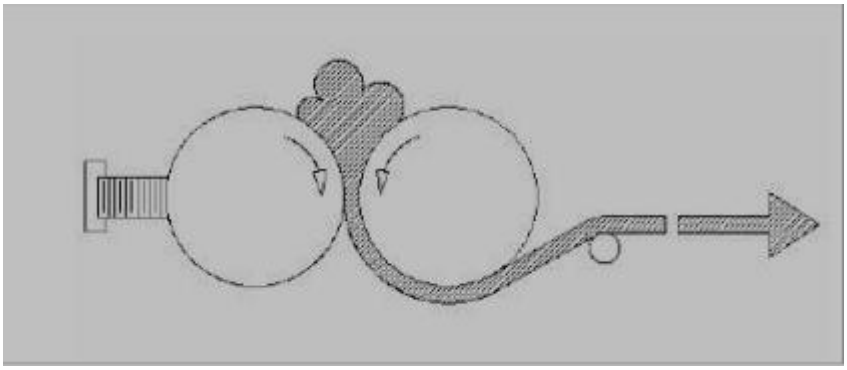
بعد العجن تضاف عناصر الفلكنة مثل الكبريت مما يؤدي إل خلق تراكيب شبكية تزيد من صلابة وثبات الخلطة المطاطية فيتفاعل مع جزيئتي مطاط كبيرتين في منطقة الروابط المزدوجة ليكون جسراً بينهما.

تقلب الخلطة بعد ذلك على الدرافيل مدة من الزمن حتى يتم انتشار الكبريت في كل أجزاء الخلطة المطّاطية بشكل متساو ومتجانس ثم تسحب الخلطة المطاطية بالسماكة المطلوبة



الشكل (4–1) عجن الخلطة المطاطية

المصدر [3]



الشكل (4–2) درفلة (سحب) لوح المطاط

المصدر [3]

بعد خروج ألواح المطاط من عملية الدرفلة تبرد ثم يرسل نماذج منها إلى المخبر لإجراء الفحص المخبري عليها لبيان مدى مطابقتها للمواصفات المعتمدة.

بعد الفحص المخبري والتأكد من مطابقة المواصفات تمرر الخلطات للمرحلة التالية وهي مرحلة التشكيل.

لعملية المزج المتجانس أهمية كبيرة في السيطرة على نوعية المنتج النهائي وتوجد عوامل عديدة تؤدي إلى الحصول على خلطة مطاطية غير متجانسة كنشوء غازات ناتجة عن مواد الخلط والهواء داخل المطاط مما يؤدي إلى تكوين فقاعات وفجوات داخل المادة تؤدي بالنتيجة إلى الحصول على مادة ذات عيوب في تركيبها مؤدية إلى عدم تجانسها.

ومن العوامل الأخرى التي قد تؤدي إلى الحصول على تركيبة غير متجانسة من المادة ارتفاع درجة الحرارة أثناء عملية الخلط بسبب الاحتكاك الحاصل بين المادة والدرافيل وهو ما يؤدي إلى عدم تجانس المادة المنتجة الأمر الذي يؤثر على الخصائص الميكانيكية.

4-2-1-3 طريقة التحضير

1- قمنا بتحضير المواد المذكورة في الجدول (4-1) وفق الكميات المحدّدة بواسطة ميزان كهربائي دقيق لكل عجنه على حدا، ثم تجري عملية العجن لعينّة المطّاط قبل إضافة المواد إليها بوساطة الدرافيل، وتسمى عندئذ العجينة الرئيسية إذ يمرّر المطّاط بينهما لعدة مرات مدة من (3-4) دقائق حتى التجانس ضمن درجة حرارة العمل مع تقريب المسافة بينهما تدريجيا .

2- إضافة حمض الستاريك إلى المطّاط والعجن مدة دقيقة حتى التجانس.

3- إضافة أوكسيد الزنك، ثم العجن جيدا حتى التجانس.

4- إضافة زيت الملدن DOP ثم العجن حتى التجانس.

5- إضافة نصف كمية الكربون ثم العجن حتى التجانس.

6- إضافة المواد ضد الأكسدة (TMQ) والمسرَّعات، ثم العجن حتى التجانس.

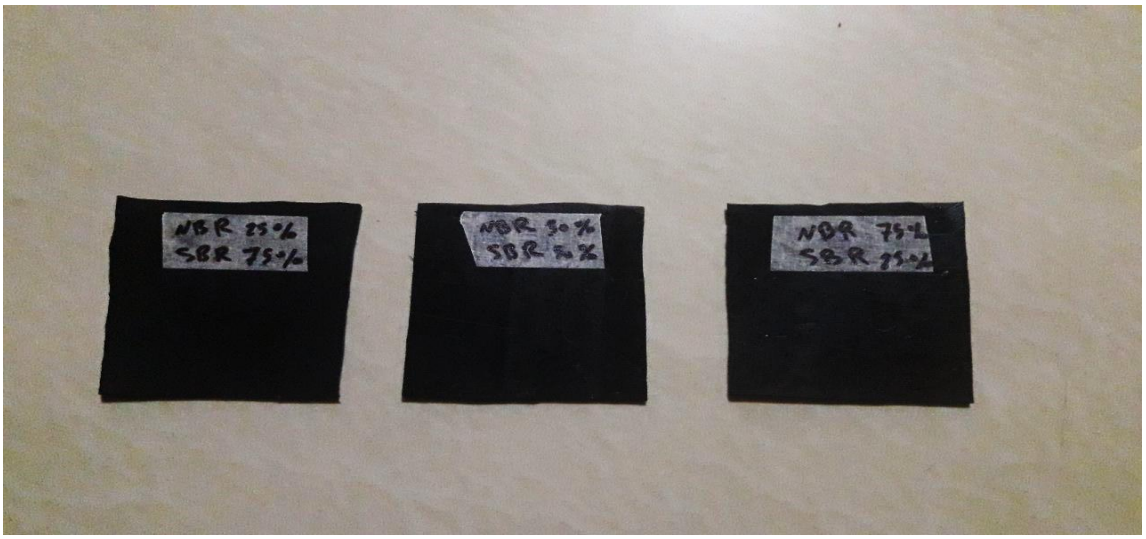
7- إضافة النصف الآخر من الكربون والعجن حتى التجانس.

8- إضافة الكبريت إلى العجينة والدرفلة جيدا حتى التجانس.

9- بعد اكتمال عملية العجن تبرد العجينة إلى درجة حرارة الغرفة.

يستغرق وقت العمل على آلة الدرفلة مدة تتراوح بين (20- 25) دقيقة، وتقرب المسافة بين الدرافيل في أثناء العمل، وذلك لضمان العجن الجيد وتجانس المكونات والحصول على السماكة المطلوبة

ويبين الشكل (5-3) ألواح المطّاط المشكّلة.



الشكل (4-3) ألواح المطّاط المشكّلة

(المصدر إعداد الباحث)

الجدول (4–1) مكونات الخلطة المطاطية

Function	Ingredients	Concentration		
Rubber matrix	NBR	75	50	25
	SBR	25	50	75
Processing aid	Stearic Acid	1.5	1.5	1.5
Activator	Zinc Oxide	5	5	5
Antioxidant	IPPD	1.5	1.5	1.5
Plasticizers	DOP Oil	8	8	8
Reinforced filler	CB–N330	50	50	50
Accelerator	CBS	0.7	0.7	0.7
	TMTD	0.5	0.5	0.5
Vulcanization	S	1.2	1.2	1.2

حيث أن المواد الداخلة في التركيبة المطاطية هي :

- **مطاط النتريلNBR** :

تم استخدام مطاط NBR Emulcril 3350 صيني المنشأ من شركة INSA GPRO له المواصفات التالية:

الشكل (4–4) مطاط NBR المستخدم

المصدر [4]

الجدول (4–2) خصائص مطاط NBR المستخدم

Property	Unit	Specification		Typical	Test Method
		MIN	MAX		
Mooney viscosity					ASTM-D1646
ML 1+4 @ 100C	MU	45	55		
Cure profile @ 160C *					ASTM-D2084
ML	lb-in	1.4	1.9		
MH	lb-in	13.8	17.4		
ts1	min.	1.6	2.5		
t'50	min.	2.4	3.7		
t'90	min.	7.8	12.0		
Total Volatile Matter	wt. %		1 .0		ASTM-D5668
Total Ash	wt. %		0 .8		ASTM-D5667
Bound ACN	wt. %	32	34		ASTM-LH-110-2
Specific gravity	gr/cc			0.98	ASTM-D297

- **مطاط الستيرين – بوتادين SBR :**

تم استخدام مطاط SBR 1712 كوري المنشأ من شركة KHUMO له المواصفات التالية

الشكل (4–5) مطاط SBR المستخدم

المصدر [5]

الجدول (4–3) خصائص مطاط SBR المستخدم

ANALYSIS ITEMS	SPECIFICATION		TEST METHOD
	Min.	Max.	
VOLATILE MATTER (%)		0.50	ASTM D5668
ASH CONTENT (%)		0.80	ASTM D5667
OIL CONTENT (%)	25.8	28.8	ASTM D5774
ORGANIC ACID (%)	3.90	5.70	
SOAP CONTENT (%)		0.50	
BOUND STYRENE (%)	22.5	24.5	ASTM D5775
RAW MOONEY VISCOSITY, ML1+4 at 100℃	44.0	54.0	ASTM D1646
COMPOUND MV VISCOSITY, ML1+4 at 100℃		71.0	
TENSILE STRENGTH, 35' Kgf/㎠	215		ASTM D3185
ELONGATION, % 35'	500		& D412
300% MODULUS, kgf/㎠ 35'	95	125	

- **المادة المفلكنة (الكبريت)**

تم استخدام كبريت على شكل بودرة هندي المنشأ من شركة Oriental Carbon & Chemicals وهو مسحوق ناعم أصفر اللون محضر من الكبريت الغير قابل للذوبان مع زيت النفثين و يحتوي على كبريت بنسبة (80±1%) و يحتوي على زيت بنسبة (MAX 20±1%) ومحتوى الرماد (MAX 0.05 %)

الشكل (4–6) الكبريت المستخدم

المصدر [6]

- **حمض الستاريك StearicAcid**

صيني المنشا من شركة Henan Sinowin Chemical Industry Co

الشكل (4–7) حمض الستاريك المستخدم

المصدر [7]

وله المواصفات التالية:

الجدول(4–4) مواصفات حمض الستاريك المستخدم

Specification:

Terms	specification		
Grade	triple pressed(200)	double pressed(400)	single pressed(800)
Appearance	white flake, granular	white flake, granular	white flake, granular
Iodine value	2.0max	4.0max	8.0max
Sapon value	206-211	203- 214	193-220
Acid value	205-210	202-212	192-218
Hazen	200max	400max	800max
Titer, Centigrade	54-57	54min	52min
Moisture,%	0.2max	0.2max	0.3max
Inorganic,%	0.001max	0.001max	0.001max

- **أكسيد الزنك Zinc Oxide**

سعودي المنشأ من Intermediate Chemicals Co. Arabian Zinc Oxide Factor

الشكل (4–8) أكسيد الزنك المستخدم

المصدر [8]

له المواصفات التالية:

الجدول (4–5) مواصفات أكسيد الزنك المستخدم

Test Parameters	Specifications
Zinc Oxide Content as ZnO (dry basis)	99.5% Min.
Colour & Appearance	White Powder
Volatile Matters on dry basis	0.10% Max.
LOI @850 °C	0.20% Max.
Insoluble in Dil HCl acid	0.040% Max.
Lead Content as Pb	0.05% Max.
Iron Content as Fe	0.005% Max.
Cadmium Content as Cd	0.001% Max.
Total Sulphur Content	Nil
Specific Gravity	5.6
Bulk Density (tapped)	0.75 gm/cc
Surface Area (BET)	4 - 6 m^2/gm
Residue on 350 mesh (wet Sieving)	0.1%

- **Antioxidant IPPD**

صيني المنشأ من شركة Taizhou Huangyan Donghai Chemical Co.,Ltd

الشكل (4–9) مضاد الأكسدة IPPD المستخدم

المصدر [9]

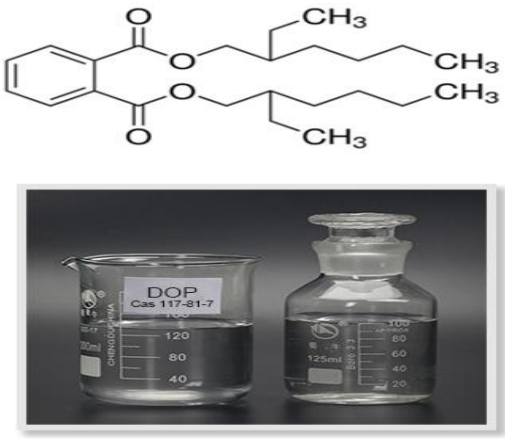
له المواصفات التالية:

الجدول (4–6) مواصفات مضاد الأكسدة المستخدم

Exterior	Grayish-purple to purple-brown flake or granular
content(%)	≥95%
Melting point °C (℃)	≥70℃
Heating loss% (%)	≤0.3%
Ash content (%)	≤0.2%

- **Plasticizers DOP Oil**

صيني المنشأ من شركة Shandong Aojin Chemical Technology Co.Ltd



الشكل (4–10) الزيت الملدن DOP المستخدم

المصدر [10]

له المواصفات التالية:

الجدول (4–7) مواصفات زيت الملدن المستخدم

Certificate Of Analysis

Project	Superior Standards	Inspection Result
Purity, %≥	99.5	99.57
Acidity (phthalate meter) ≤	0.010	0.0027
Moisture, %≤	0.10	0.016
Color (platinum-cobalt) Number, ≤	30	12
Density (20℃), g/cm3	0.982-0.988	0.9838
Flash Point, ℃≥	196	209
Volume Resistivity X1010, Ω·M≥	1.0	5.00

- **Reinforced filler CB N330**

هندي المنشأ من شركة Aditya Birla Group

الشكل (4–11) أسود الكربون المستخدم

المصدر [11]

له المواصفات التالية:

الجدول (4–8) مواصفات أسود الكربون المستخدم

PROPERTY	Target	Tolerance	ASTM test method
1. Iodine adsorption, g/kg	82	± 6	D 1510
2. Oil absorption number, cm^3/l00g	102	± 6	D 2414
3. Sieve residue 45 µm (No.325), %		≤ 0.05	D 1514
4. Sieve residue 500 µm (No.35), %		≤ 0.001	D 1514
5. Heating loss, %		≤ 1.0	D 1509
6. Ash content, %		≤ 0.75	D 1506
7. Pour density, kg/m^3	380	± 25	D 1513
8. Fines content, %		≤ 7	D 1508
9. pH value		7 ÷ 10	D 1512
10. Sulfur content, %		≤ 1.1	D 1619
11. Individual pellet hardness (average of 20), g		≤ 55	D 5230
12. Individual pellet hardness (max of 20), g		≤ 90	D 5230
13. Toluene discoloration, %		≥ 85	D 1618
14. BET surface area (NSA), m^2/g	78	± 5	D 6556
15. External surface area (STSA), m^2/g	75	± 5	D 6556
16. Tint strength	104	± 5	D 3265
17. Oil absorption number of compressed sample, cm^3/100g	88	± 5	D 3493

- **Accelerator CBS**

صيني المنشا من شركة Zhengzhou Yaoduo Industrial Development Co.Ltd له المواصفات التالية

Density:1.31-1.34 و melting point:≥ 96℃

الشكل (4-12) مسرع CBS المستخدم

- المصدر [12]

- **Accelerator TMTD**

صيني المنشأ من شركة Rongcheng Chemical General Factory Co.Ltd

الشكل (4-13) مسرع الثيورام TMTD المستخدم

المصدر [13]

له المواصفات التالية:

الجدول (4–9) مواصفات مسرع الثيورام المستخدم

	Value	Units
Loss on drying	max. 0.40	%
Ash	max. 0.30	%
Granular diameter	1.5 - 3	mm
Broken strength	2 - 5	N
Initial M.P.	min. 142	°C

4–2–2 عملية تشكيل أغشية المضخات

يتم تشكيل أغشية المضخات من خلال عملية القولبة بالكبس Compression Molding حيث يتم استخدام قالب مؤلف من نصفين حيث أن قطر تجويف القالب هو 110 mm مصنع مسبقاً وموجود لدى شركة تكنوباك.

بعد الانتهاء من عملية العجن والدرفلة يتم وضع صفائح المطاط المسخنة ضمن النصف السفلي لقالب التشكيل الذي تم تسخينه مسبقاً حتى درجة حرارة 140 درجة مئوية ويتم تطبيق ضغط على القالب بمقدار 75 طن من خلال مكبس هيدروليكي مع زمن إبقاء بحدود 3 دقائق.

ويمثل الشكل التالي المكبس الهيدروليكي و قالب التشكيل:

الشكل (4–14) قالب تشكيل الطبلات

(المصدر إعداد الباحث)

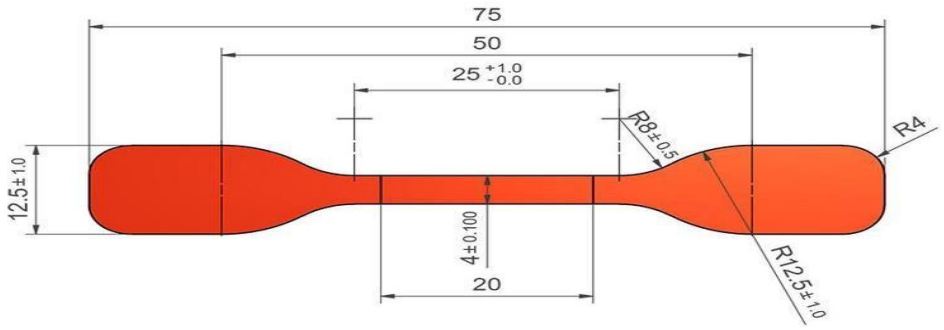
الشكل (4–15) المكبس الهيدروليكي

4–3 دراسة الخواص الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية

4–3–1 القياسات الميكانيكية

4–3–1–1 اختبار الشد (Tensile Test)

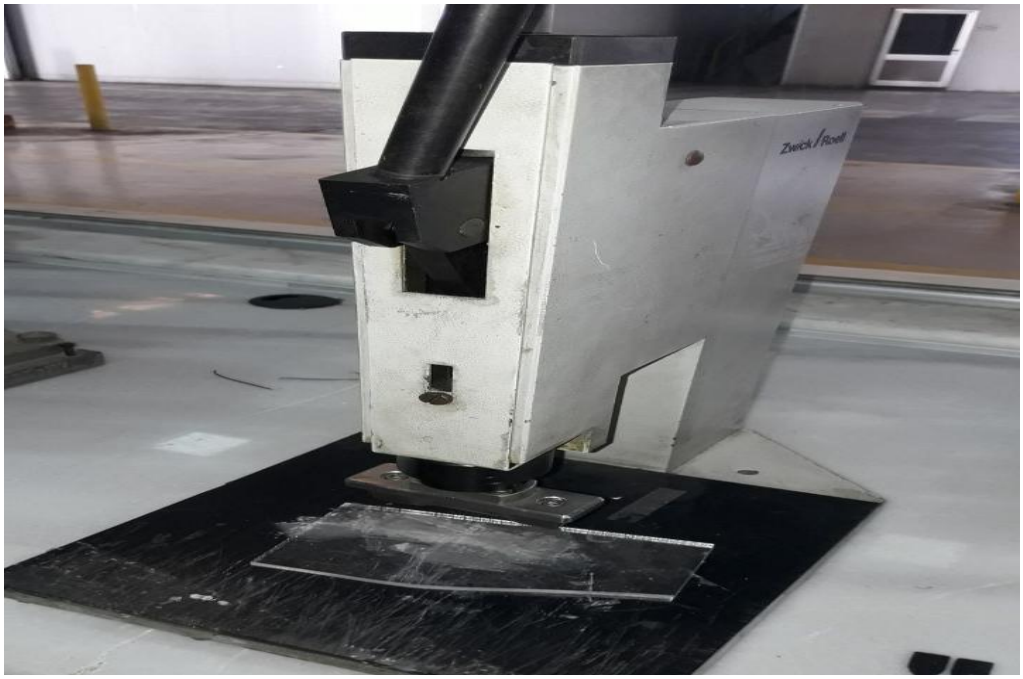
أجري هذا الاختبار وفق المواصفة القياسية العالمية ISO37 باستخدام الجهاز الموجود في شركة تكنوباك وهو جهاز Testometric M350-5KN، حيث سرعة اختبار الشد 500mm/min وتم قص 7 عينات لكل خلطة وفق نموذج dumbbell ship الموضح بالشكل (4–16)



الشكل (4–16) أبعاد عينة الشد

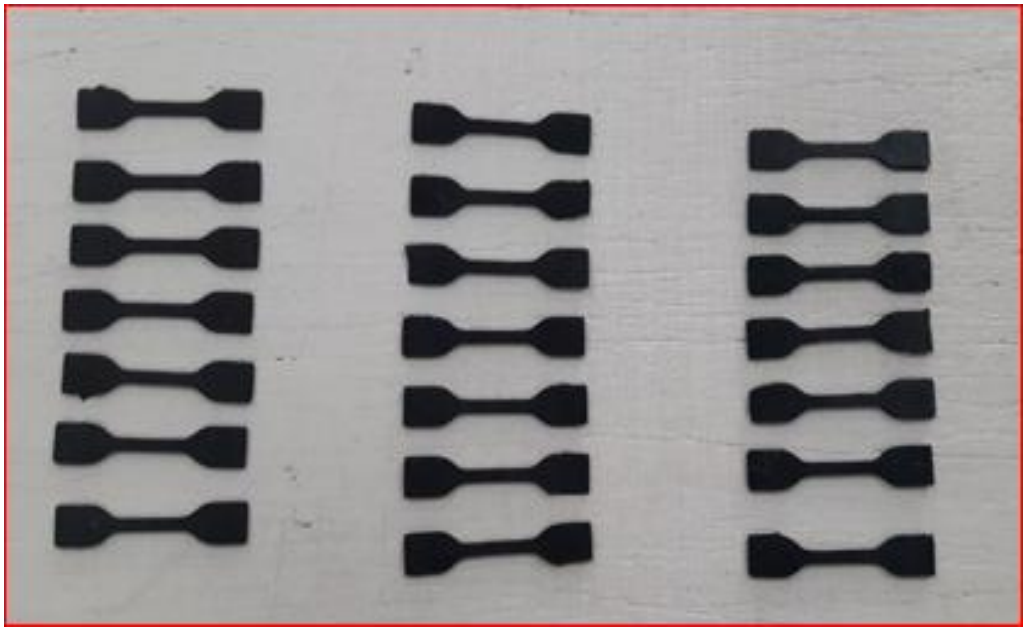
(المصدر ISO 37)

وتم قص العينات باستخدام مكبس يدوي لقص العينات ضمن شركة الاتحاد للكابلات كما هو مبين بالصور التالية:



الشكل (4-17) آلة قص عينات الشد

(المصدر إعداد الباحث)



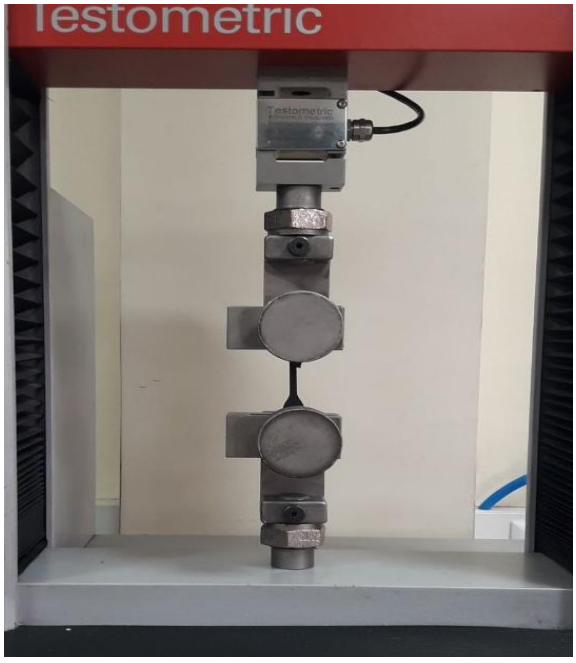
الشكل (4-18) عينات الشد المقصوصة

(المصدر إعداد الباحث)

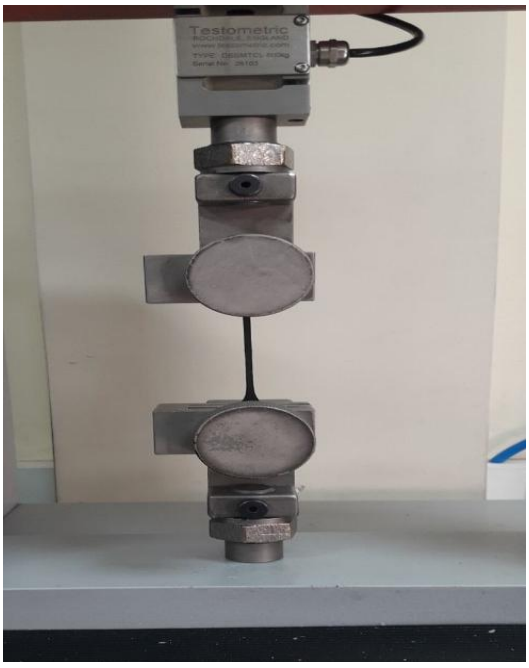
الشكل (4–19) جهاز اختبار الشد

(المصدر إعداد الباحث)

ويبين الشكل (4–20) مراحل عملية اختبار الشد



(1)



(2)

(3)

(4)

الشكل (4–20) مراحل عملية اختبار الشد

(المصدر إعداد الباحث)

4–3–1–2 اختبار القساوة (Hardness Test)

يتم إجراء اختبار القساوة وفق مواصفات عالمية باستعمال أجهزة اختبار القساوة، وتكون أبعاد عينة الاختبار هي (40*40*6 mm).

تم إجراء الاختبار في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية باستخدام جهاز من صنع شركة BAREISS ألماني الصنع .

يتكون جهاز الاختبار من 4 أجزاء رئيسية هي:

1. حامل الاختبار
2. وحدة التحميل
3. وحدة الكترونية
4. وحدة القياس القابلة للتبديل حسب الطريقة المستخدمة

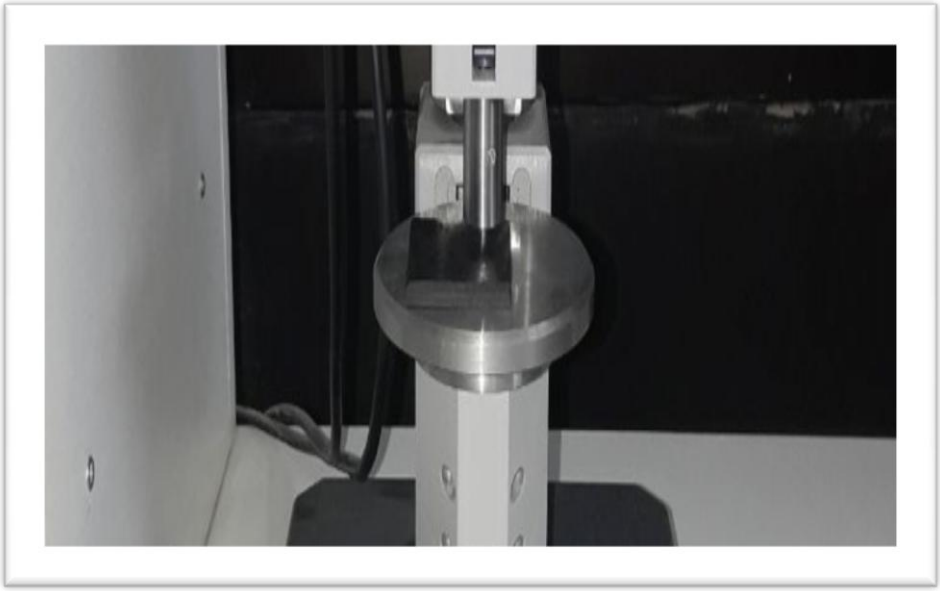
يتم قياس قساوة المطاط باستخدام رأس IRHD وتكون واحدة القساوة هي Shore A

يوضح الشكل (4–21) جهاز القساوة المستخدم

الشكل (4–21) جهاز القساوة المستخدم

(المصدر إعداد الباحث)

ويبين الشكل (4–22) إجراء اختبار القساوة للعينات



الشكل (4–22) إجراء اختبار القساوة

(المصدر إعداد الباحث)

4-3-2 القياسات الفيزيائية والكيميائية

4-3-2-1 اختبار الكثافة (Density Test)

تم إجراء اختبار الكثافة ضمن كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية باستخدام جهاز الكثافة الموجود في مخبر هندسة البلاستيك.

يتكون الجهاز من:

1. ميزان الكتروني
2. تجهيزات لقياس وزن القطعة في الهواء وقياس دافعة أرخميدس.

يتم وزن القطعة بالهواء حيث يوجد ضمن الجهاز مكان لتوضع العينة، وبعد استقرار الجسم العائم نحصل على القراءة من على شاشة الجهاز والتي تشير الى وزن العينة في الهواء.

ثم توضع القطعة بالماء وتوضع الشبكة عليها فتعطي قوة دفع للأعلى تعطينا دافعة أرخميدس ومن ثم تظهر قيمة الكثافة مباشرة على الشاشة.

يوجد ضمن الجهاز أداة تشبه الشبكة تكون محدبة قليلا إما باتجاه الأعلى أو الأسفل ونستخدم المحدبة للأعلى عندما تكون كثافة المادة كبيرة نوعاً ما.

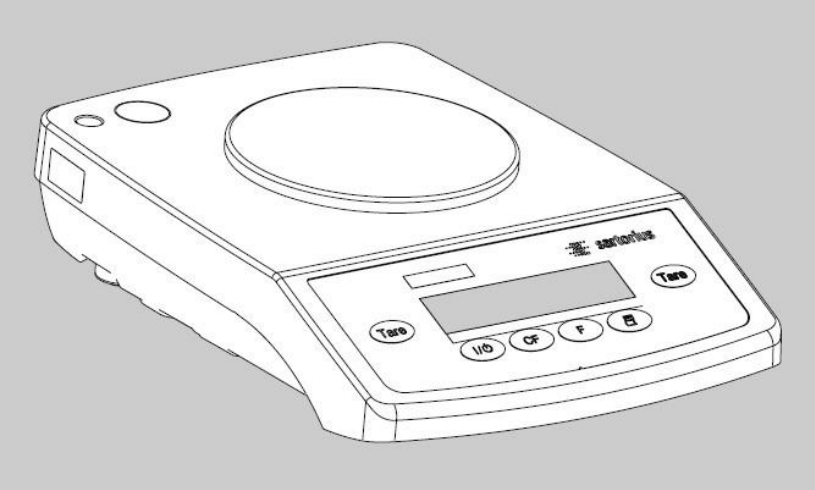
تم استخدام ماء مقطر كثافته ($1 g/cm^3$) وتم اختبار ثلاث عينات من كل خلطة مطاطية حيث أن أبعاد العينات كانت ($10 \times 10 \times 2.0 \pm 0.1$ mm)

ويمثل الشكل (4-23) جهاز اختبار الكثافة المستخدم

الشكل (4-23) جهاز اختبار الكثافة

(المصدر إعداد الباحث)

حيث أن الميزان الكتروني هو ميزان حساس طراز LS1200 من شركة (Sartorius) يقيس الأوزان بدقة 0.001 غرام ضمن المجال (0 – 1200) غرام مع إمكانية إجراء معايرة ذاتية وتصفيره في أي وقت.



الشكل (4–24) الميزان الالكتروني

المصدر [14]

أما جهاز قياس الكثافة بطريقة السائل المزاح فهو جهاز مرفق بالميزان السابق ويعتمد على مبدأ دافعة أرخميدس لقياس الكثافة، يتألف الجهاز من وعاء زجاجي وحامل مثبت على الميزان الالكتروني، حيث يوضع في الوعاء سائل مناسب ثم توزن العينة في الهواء ثم في السائل مع مراعاة تغطية العينة بمادة تمنع تسرب السائل للمسامات، بعدها تحسب الكثافة اعتما د على العلاقة التالية:

$$\rho = P_1/(P_2 - P_3) * \rho'$$

حيث:

P1: وزن العينة في الهواء دون تغطية

P2: وزن العينة في الهواء بعد التغطية

P3: وزن العينة بعد التغطية في السائل

ρ': كثافة السائل المستخدم

مع التنويه إلى أنه خلال القياس يجب مراعاة عدم تشكل فقاعات هوائية أثناء وضع القطعة المختبرة لأنه من المحتمل التأثير على قيمة الكثافة.

4-3-2-2 اختبار الانتباجية (Swelling Test)

أجري اختبار الانتباجية وفق المواصفة القياسية (ASTM-D471) حيث يغمر عدد من العينّات المحضَّرة والموزونة بدقة باستحدام ميزان كهربائي حساس (0.001g) مع إمكانية إجراء معايرة ذاتية وتصفيره في أي وقت.

بأبعاد (25 x 50 x 2.0 ± 0.1 mm) في زيوت ومذيبات مختلفة لفترات زمنية مختلفة، عند درجة حرارة الغرفة، ومن ثم إخراج عينات الاختبار وتجفيفها بواسطة ورق الترشيح ووزنها من جديد، وتحسب الانتباجية وفق العلاقة الآتية:

$$\text{Swelling \%} = (W2 - W1) / W1 * 100\ \%$$

حيث:

$W1$: وزن العينّة قبل الغمر (g).

$W2$: وزن العينّة بعد الغمر (g).

ويوضح الشكل (4-25) غمر العينات ضمن سوائل الاختبار

الشكل (4-25) العينات مغمورة ضمن سوائل الاختبار

المصدر إعداد الباحث

بينما يوضح الشكل (4-26) وزن العينات بعد الاختبار

الشكل (4–26) وزن عينات اختبار الانتباجية بعد الغمر

المصدر إعداد الباحث

حيث أن سوائل الاختبار هي

1. زيت هيدروليك 32
2. زيت محرك 15W40
3. صمغ مستخدم في صناعة الكرتون
4. حبر مائي أسود
5. بنزين
6. فيول

فيما يلي خواص بعض سوائل الاختبار:

- **زيت هيدروليك 32**

محلي الصنع مصنع لدى شركة الشحرور لصناعة الزيوت والشحوم TRIPTON وفقاً لمواصفات شركة Summit الموضحة في الجدول التالي:

الجدول (4–10) مواصفات زيت الهيدروليك

Property	Values
Iso grade	32
Viscosity @ $40^{\circ}C, cSt$	30.9
Viscosity @ $100^{\circ}C, cSt$	5.6
Viscosity index	121
Specific Gravity	0.846
Flash Point $^{\circ}C$	243
Fire Point $^{\circ}C$	288
Pour Point $^{\circ}C$	−54
4–Ball wear (mm scar)	0.34
Water separation (ml oil/ml water/ml emulsion)	40/40/0 (10 Min)
Copper Corrosion	1A

- **زيت المحرك 15W40**

محلي الصنع مصنع لدى شركة الشحرور لصناعة الزيوت والشحوم TRITPON وفق المواصفات العالمية الموضحة في الجدول التالي:

الجدول (4-11) مواصفات زيت المحرك

Property	ASTM Methods	Values
SAE Grade	-	15W40
Viscosity @ $-15^{\circ}C, cSt$	D445	<10000
Viscosity @ $40^{\circ}C, cSt$	D445	115
Viscosity @ $100^{\circ}C, cSt$	D445	15
Viscosity index	D2270	135
Density @C/CC/g	D1298	>0.870
Flash Point $^{\circ}C$	D92	>220
Pour Point $^{\circ}C$	D97-87	<-30
Zinc Content %W	D4628	0.1
Sulfated Ash%W	D874	>1.3

- **الصمغ المستخدم في صناعة الكرتون**

الصمغ هو عبارة عن مزيج من المواد (كوستيك، بوراكس، نشاء ذرة و ماء) وفق النسب والتراكيز الموضحة في الجدول التالي:

الجدول (4–12) مكونات الصمغ

المادة	التركيز	النسبة
كوستيك $NaOH$	98%	1.3%
بوراكس $Na_2B_{407} - H_2O$	99%	0.25%
نشاء الذرة	–	27%
ماء	–	71.45%

الفصل الخامس

مناقشة وتحليل النتائج

5-1 دراسة الخواص الميكانيكية للخلائط المختلفة

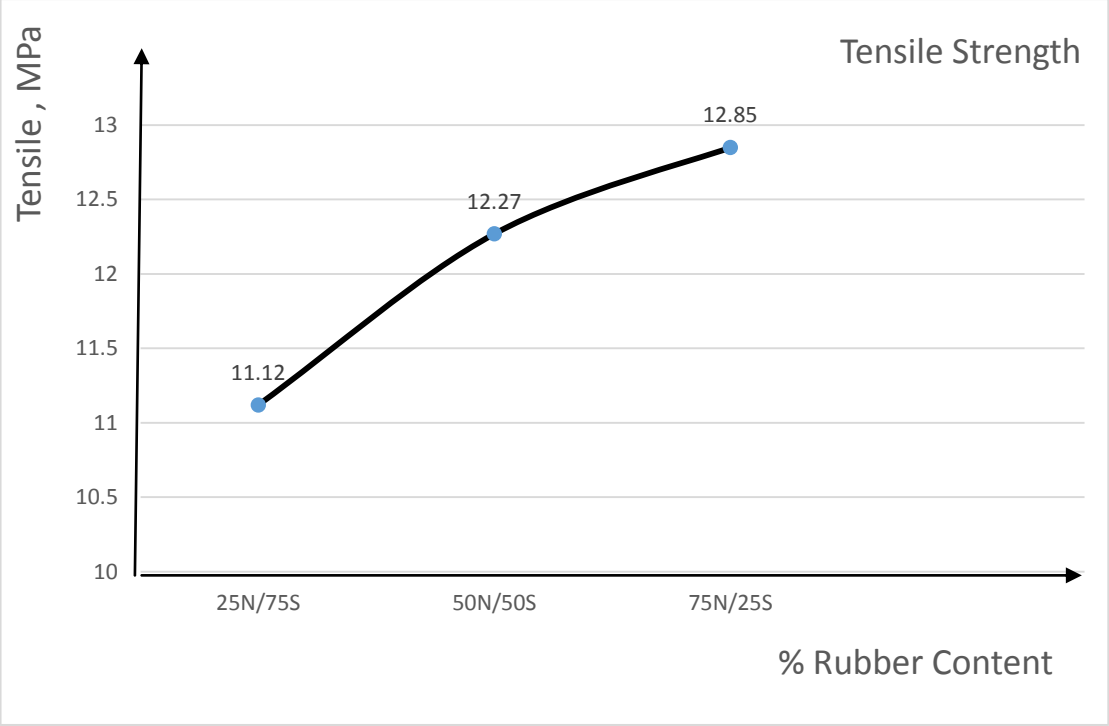
يتميز المطاط بمعامل مرونة منخفض وبالتالي يمكن أن يستطيل إلى مدى أعلى من 1000%من بعده الأَصلي ويمكنه أن يسترجع أبعاده الأَصلية بسرعة بعد إزالة الحمل المطبق عليه.

تكون مقاومة المطاط الميكانيكية منخفضة للغاية قبل عملية الفلكنه لذلك تتم فلكنته و إضافة مواد التقوية التي تمنحه خواص ميكانيكية ممتازة.

5-1-1 مقاومة الشد (Tensile Strength) :

تتعلق مقاومة الشد بعدد من العوامل مثل نوع المطاط وكثافة تشابك سلاسله الجزيئية وقدرة السلاسل على تبديد الطّاقة ونوع عامل الفلكنه المستخدم وتركيزه ضمن الخلطة المطاطية وطول سلسلة البوليمير.

يبين الشكل (5-1) نتائج اختبار الشد للخلطات المطاطية الثلاثة حيث تختلف عن بعضها بنسبة كل من مطاط NBR ومطاط SBR.



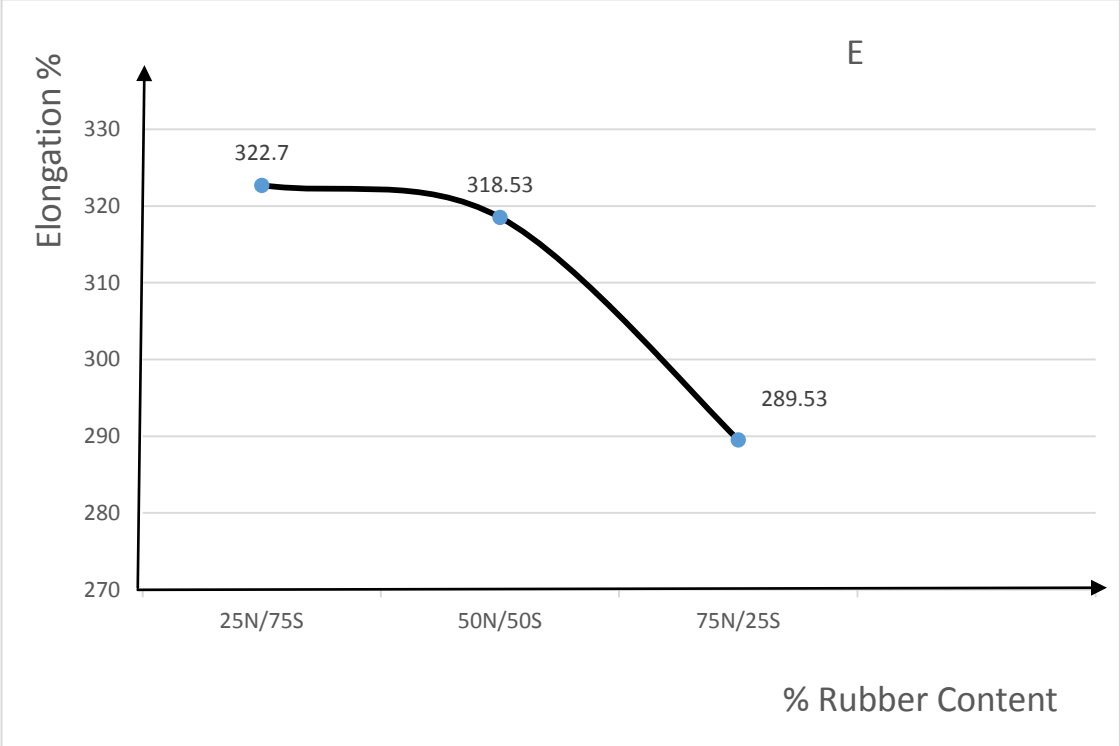
الشكل (5-1) نتائج مقاومة الشد

(المصدر إعداد الباحث)

نلاحظ من الشكل السابق زيادة مقاومة الشد للخلائط المطاطية مع زيادة نسبة مطاط NBR وذلك بسبب زيادة قطبية الخلائط حيث يحتوي مطاط NBR على مجموعات السيانيد القطبية CN ذات الفاعلية العالية التي تعمل على تشكيل روابط عرضية مع سلاسل المطاط النتريلي الأخرى، كما أن كثافة التشابك للمطاط النتريلي NBR هي أعلى من مطاط الستارين بوتادبين SBR، حيث أن المجموعات العطرية الحلقية كبيرة الحجم في الستارين بوتادين تعمل على زيادة التباعد بين السلاسل المطاطية المتجاورة وهو ما يضعف الترابط المتبادل بين السلاسل ويؤدي إلى انخفاض مقاومة الشد مع الزيادة المستمرة في نسبة المطاط SBR في الخلائط.

5-1-2 الاستطالة النسبية (Elongation) :

يبين الشكل (5-2) نتائج اختبار الاستطالة النسبية للخلطات المطاطية الثلاثة حيث تختلف عن بعضها بنسبة كل من مطاط NBR ومطاط SBR .



الشكل (5-2) نتائج اختبار الاستطالة

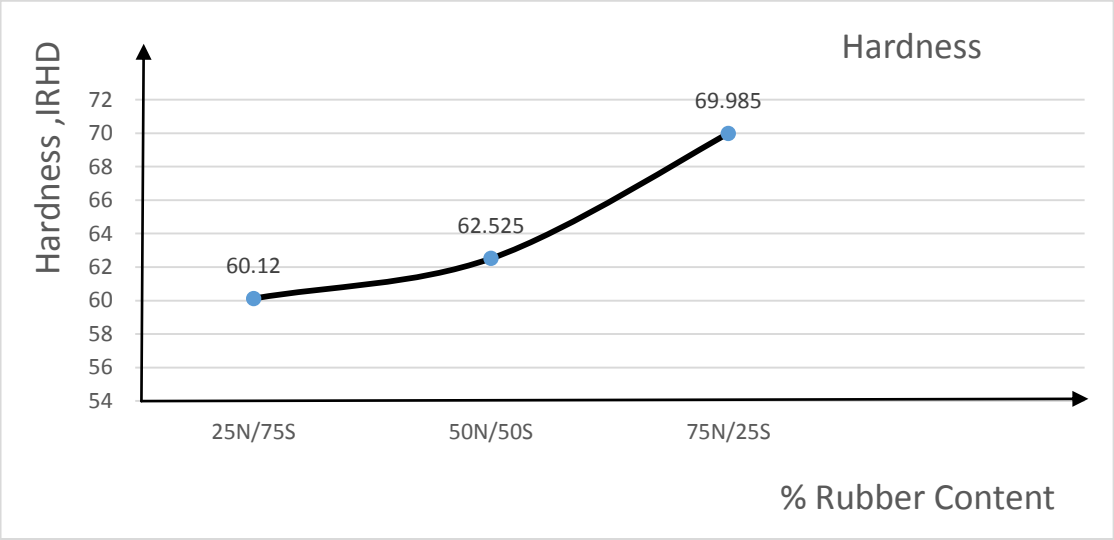
(المصدر إعداد الباحث)

نلاحظ من الشكل السابق انخفاض الاستطالة مع زيادة نسبة مطاط NBR وذلك بسبب زيادة جساءة المزيج المطاطي وقد نوه الباحثون إلى أن إدخال نسبة أعلى من مطاط NBR يؤدي إلى حجم أقصر لمناطق توزع NBR وانتشار أكثر تجانس ضمن النسيج المطاطي الأمر الذي يؤدي إلى تعزيز الترابط السطحي بين طوري المطاط NBR،SBR ضمن

المزيج المطاطي ويؤدي إلى تقييد حرية حركة السلاسل المطاطية الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض الاستطالة عند الانقطاع . [20]

3-1-5 القساوة (Hardness)

يبين الشكل (5-3) نتائج اختبار القساوة للخلطات المطاطية الثلاثة حيث تختلف عن بعضها بنسبة كل من مطاط NBR ومطاط SBR .



الشكل (5-3) نتائج اختبار القساوة

(المصدر إعداد الباحث)

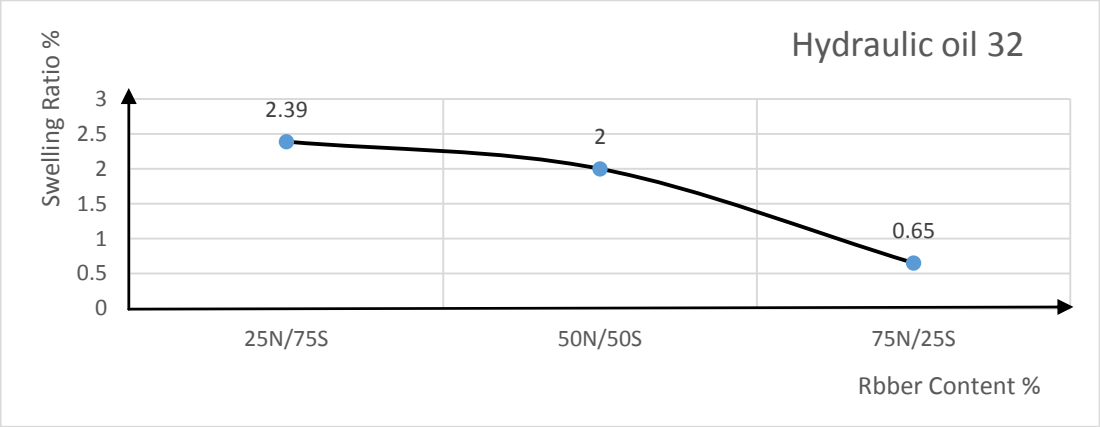
نلاحظ من الشكل السابق ارتفاع القساوة مع زيادة نسبة مطاط NBR في الخلطة المطاطية وذلك لأن إدخال مطاط النتريل NBR في الخلائط المطاطية يعمل على زيادة كثافة تشابك السلاسل الجزيئية، حيث أن المطاط النتريلي يمتلك ثنائيات أقطاب من النوع Cyano dipoles وهي أقوى من ثنائيات أقطاب مطاط الستارين بوتاديين ، كما أن كثافة التشابك في المطاط النتريلي هي أعلى من مطاط الستارين بوتاديين نتيجة للفاعلية الكبيرة لمجموعات السيانيد التي تمتلك رابطة ثلاثية يمكنها الدخول في تشابكات مع الذرات المجاورة وتشكيل شبكة ثلاثية الأبعاد أكثر جساءة ومتانة مقارنة بمطاط الستارين بوتاديين الأمر الذي يؤدي لزيادة القساوة [21].

5-2 دراسة الخواص الفيزيائية والكيميائية للخلائط المختلفة

5-2-1 الانتباجية Swelling

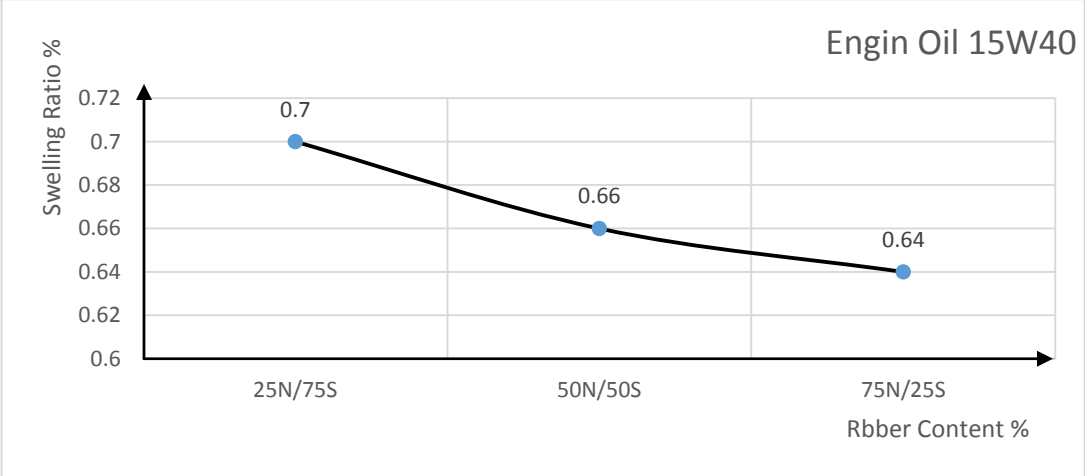
الانتباجية هي ظاهرة ديناميكية ناتجة عن تشوه الشبكة البوليميرية بتأثير دخول الزيت والمذيبات إلى داخل بنية المطاط وانتشاره بين السلاسل مما يؤدي إلى زيادة حجمه وفي كثير من الأحيان إذابة جزء من بنيته.

وتبين الأشكال التالية نتائج اختبار الانتباجية للخلائط المطاطية الثلاثة بعد وضعها في المحاليل المختلفة لمدة 24 ساعة



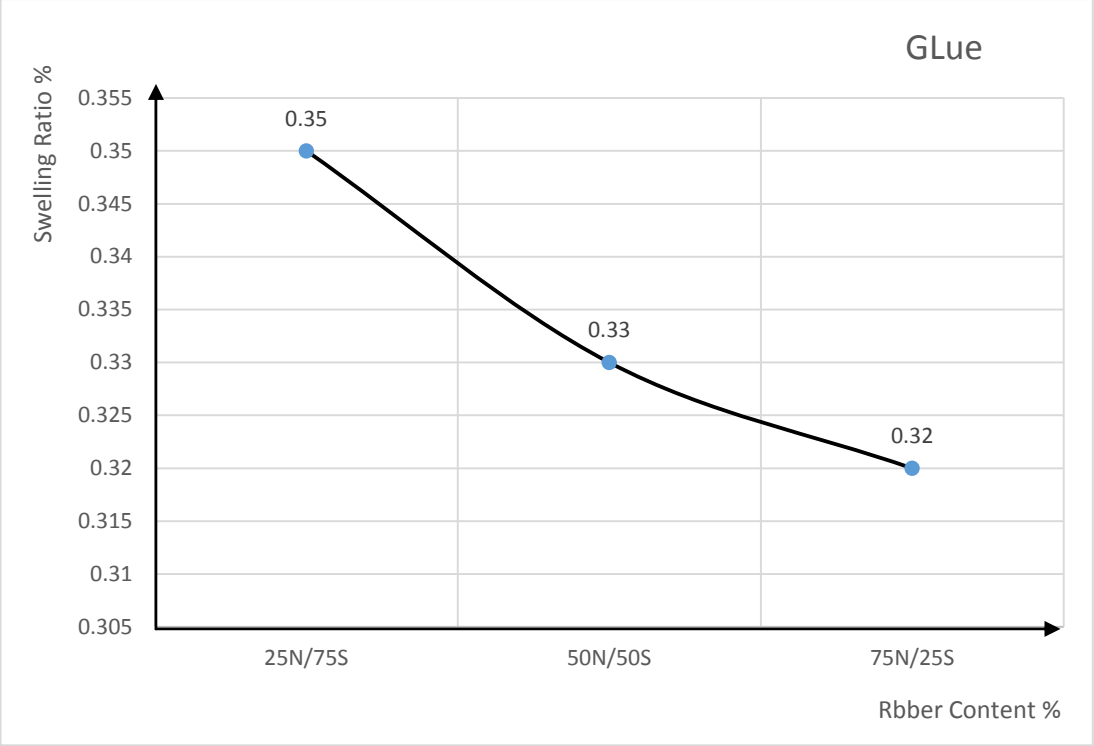
الشكل (5-4) نتائج اختبار الانتباجية ضمن زيت الهيدروليك

(المصدر إعداد الباحث)



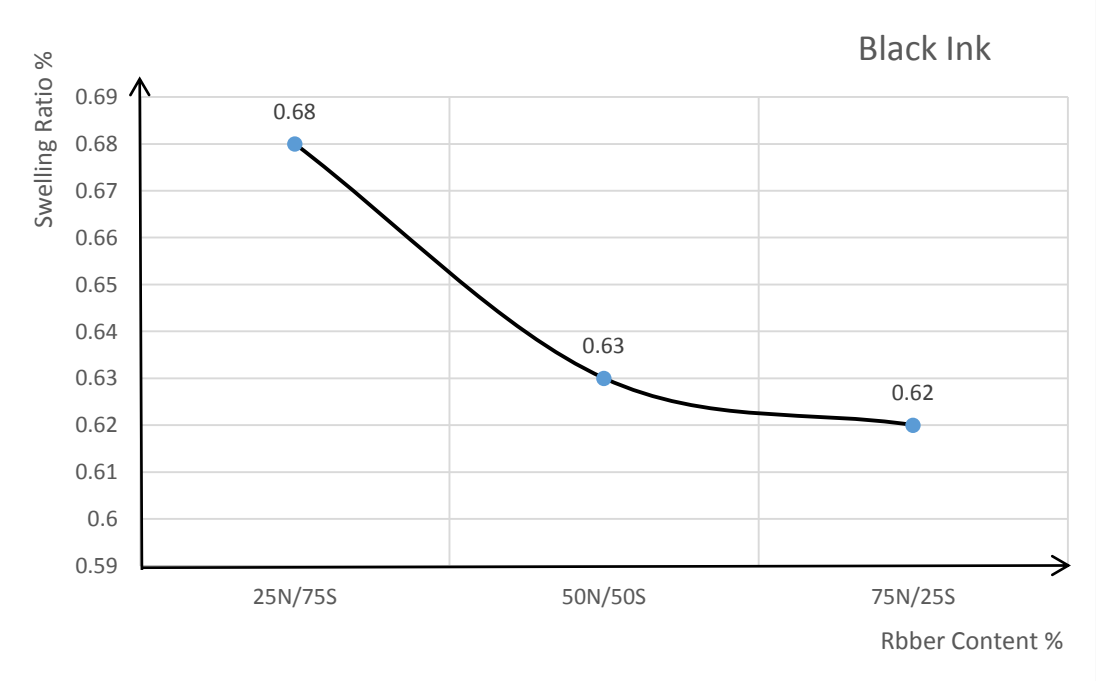
الشكل (5-5) نتائج اختبار الانتباجية ضمن زيت المحركات 15W40

(المصدر إعداد الباحث)



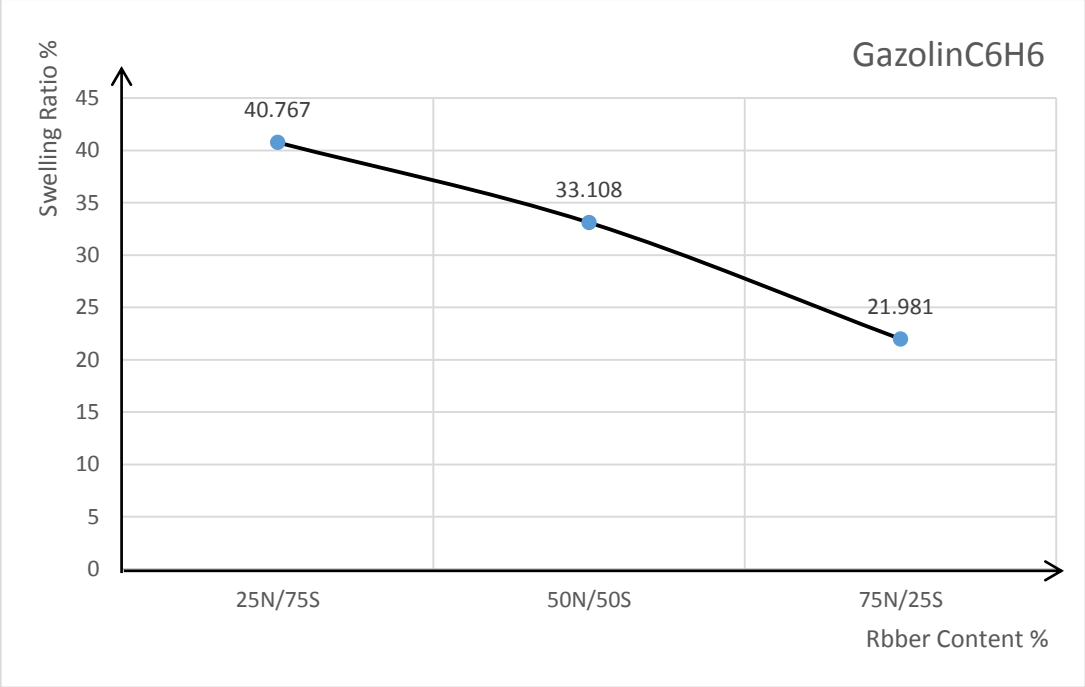
الشكل (5–6) نتائج اختبار الانتباجية ضمن الصمغ المستخدم في صناعة الكرتون

(المصدر إعداد الباحث)



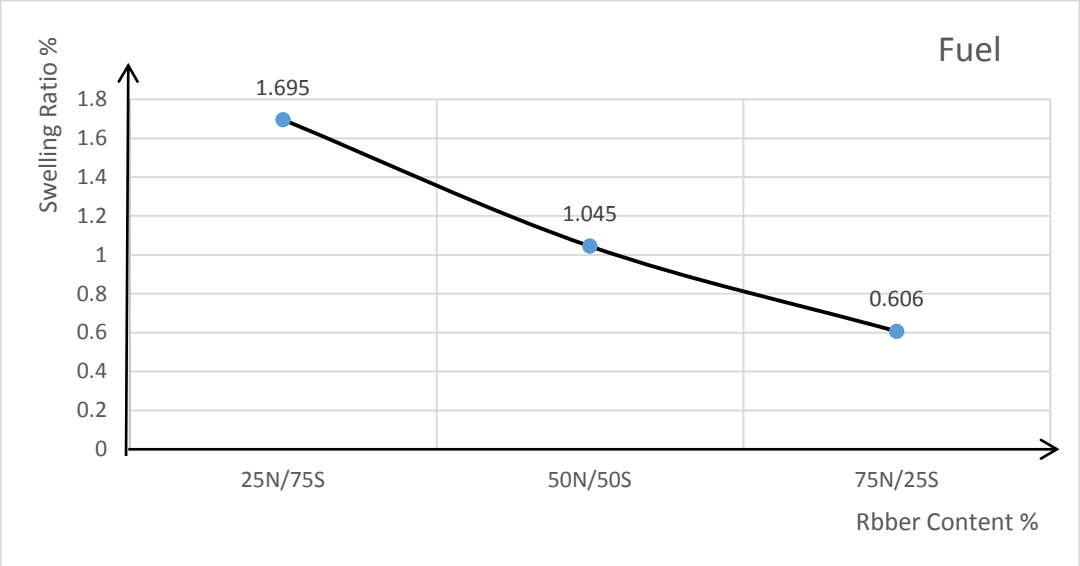
الشكل (5–7) نتائج اختبار الانتباجية ضمن الحبر المائي الأسود

(المصدر إعداد الباحث)



الشكل (5-8) نتائج اختبار الانتباجية ضمن البنزين

(المصدر إعداد الباحث)



الشكل (5-9) نتائج اختبار الانتباجية ضمن الفيول

(المصدر إعداد الباحث)

نلاحظ من الأشكال السابقة انخفاض نسبة الانتباج وذلك مع زيادة نسبة مطاط النتريل NBR وذلك لأن قطبية المطاط النتريلي أعلى قطبية من مطاط الستارين بوتاديين SBR، كما أن كثافة التشابك في المزائج المحتوية على نسبة عالية

من المطاط النتريلي تكون أعلى من تلك التي تحتوي على نسب قليلة من مطاط النتريل الأمر الذي يعيق ولوج الزيت أو المذيب إلى داخل البنية المطاطية وانتشاره بين السلاسل الجزيئية للمطاط، ومن المعروف أن المطاط النتريلي NBR يتميز بمقاومته الممتازة للمشتقات النفطية ضمن مجال واسع من درجات الحرارة كما أنه مقاوم للزيوت المعدنية والنفطية كزيت الهيدروليك و زيت المحركات.

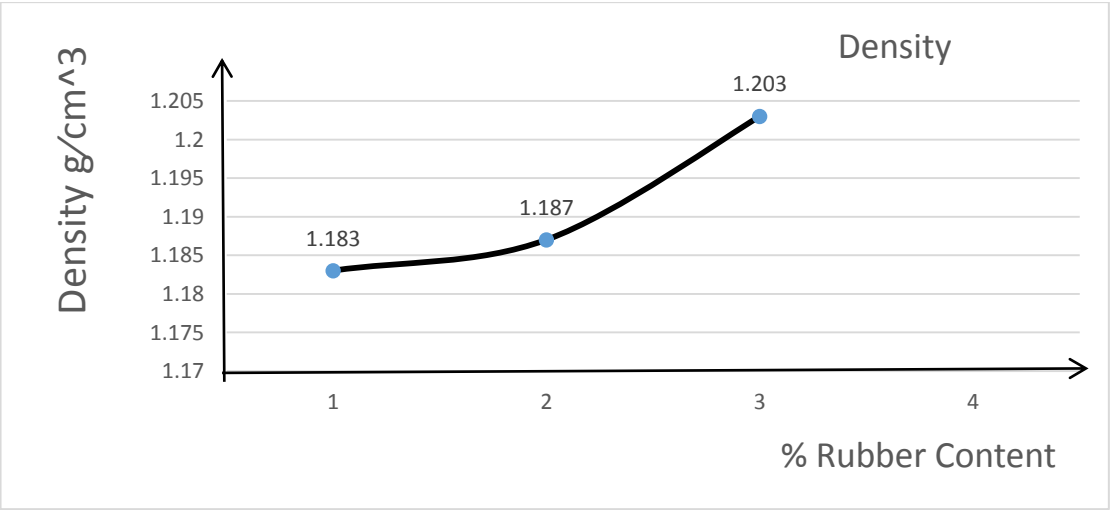
كما يلاحظ أن نسبة الانتباج في زيت الهيدروليك هي أعلى من نسبة الانتباج في زيت المحرك وذلك لأن لزوجة زيت المحرك هي أعلى من لزوجة زيت الهيدروليك وبالتالي فإن قدرة زيت المحرك على النفاذ ضمن جزيئات السلاسل البوليميرية تكون أقل وأكثر صعوبة.

ويلاحظ أن مقاومة المطاط النتريلي NBR ومطاط الستارين بوتاديين SBR للبنزين ضعيفة وهذا ما يفسر ارتفاع نسبة انتباج المزائج في البنزين وذلك لأن البنزين C6H6 يعتبر من المركبات الهيدروكربونية العطرية.

وقد أشار الباحثون [24] إلى أن كثافة تشابك السلاسل الجزيئية لمزائج المطاط من NBR-SBR التي لم تعدل بأي نوع من المولفات تزداد بازدياد نسبة المطاط النتريلي وذلك بسبب وجود مجموعات النتريل التي تسرع عمليات التشابك في البنية الجزيئية للمطاط.

5-2-2 الكثافة Density

يبين الشكل (5-10) نتائج اختبار الكثافة للخلطات المطاطية الثلاثة حيث تختلف عن بعضها بنسبة كل من مطاط NBR ومطاط SBR.



الشكل (5-10) نتائج اختبار الكثافة

(المصدر إعداد الباحث)

نلاحظ من الشكل السابق زيادة الكثافة للخلائط المطاطية مع زيادة نسبة مطاط NBR وذلك بسبب زيادة قطبية الخلائط حيث يحتوي مطاط NBR على مجموعات السيانيد القطبية CN ذات الفاعلية العالية التي تعمل على تشكيل روابط عرضية مع سلاسل المطاط النتريلي الأخرى، كما أن كثافة التشابك للمطاط النتريلي NBR هي أعلى من مطاط الستارين بوتاديين SBR، حيث أن المجموعات العطرية الحلقية كبيرة الحجم في الستارين بوتادين تعمل على زيادة التباعد بين السلاسل المطاطية المتجاورة وهو ما يضعف الترابط المتبادل بين السلاسل وبالتالي تؤدي إلى حدوث فجوات و فراغات بين هذه السلاسل مما يؤدي إلى انخفاض الكثافة.

الاستنتاجات والتوصيات

1. الاستنتاجات

1. تزداد مقاومة الشد لمزائج مطاط NBR-SBR مع زيادة نسبة مطاط NBR حتى نسبة 75%
2. تقل الاستطالة عند القطع لمزائج مطاط NBR-SBR مع زيادة نسبة NBR حتى نسبة 75%
3. تزداد قساوة مزائج مطاط NBR-SBR مع زيادة نسبة NBR حتى نسبة 75%
4. تزداد مقاومة مزائج مطاط NBR-SBR للزيوت والأحبار والمشتقات النفطية مع زيادة نسبة مطاط NBR
5. إن عمر الأغشية التي تحتوي على نسبة SBR 25% – NBR 75% هو أطول من عمر باقي الأغشية التي تحتوي نسبة أعلى من مطاط SBR
6. تزداد كثافة مزائج مطاط NBR-SBR مع زيادة نسبة المطاط النتريلي NBR

2. المقترحات و التوصيات

1. استخدام المزيج الحاوي على نسبة مرتفعة من مطاط NBR في التطبيقات الصناعية التي هي على تماس مباشر مع الزيوت والمشتقات النفطية .
2. دراسة أغشية مصنعة بنسبة NBR 100%
3. دراسة مدى تأثير درجة الحرارة ، قيمة الضغط ضمن القالب و زمن الإبقاء على تجانس قطع الأغشية المنتجة
4. دراسة تدعيم الأغشية بألياف الزجاج أو الكربون أو ألياف التقوية الأخرى.
5. دراسة تأثير نسبة الكربون والمسرعات و مواد التقوية على الخلطات المطاطية
6. دراسة خواص عملية التقادم للمزائج المحضرة
7. دراسة إمكانية تصنيع أغشية المضخات الغشائية عن طريق الحقن بدلاً من القولبة بالضغط.

المراجع العلمية

المراجع باللغة العربية

1- كتالوج شركة yamada للمضخات الغشائية

2- ديب، وسيم. (2019، نيسان 7). **RUBBER**. محاضرة. دمشق: سورية. جامعة دمشق

3- مخلوف، أحمد (2016) دراسة الخواص الفيزوميكانيكية والكيميائية لخلائط المطّاط الطبيعي والاسمنت الحراري. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية ،38 (2)

4- كتالوج شركة INSA GPRO لصناعة المطاط

5- كتالوج شركة KHUMO لصناعة المطاط

6- كتالوج شركة Oriental Carbon & Chemicals Co,Ltd

7- كتالوج شركة Henan Sinowin Chemical Industry Co

8- كتالوج شركة Intermediate Chemicals Co. Arabian Zinc Oxide Factor

9- كتالوج شركة Taizhou Huangyan Donghai Chemical Co.,Ltd

10- كتالوج شركة Shandong Aojin Chemical Technology Co.Ltd

11- كتالوج شركة Aditya Birla Group

12- كتالوج شركة Zhengzhou Yaoduo Industrial Development Co.Ltd

13- كتالوك شركة Rongcheng Chemical General Factory Co.Ltd

14- كتالوج شركة Sartorius للموازين

15- كتالوج شركة Summit للزيوت

16- كتالوج شركة تريبتون لصناعة الزيوت و الشحوم

17- الشلاح، د.أحمد. (2001). الصناعات العضوية والتركيبات الكيميائية: حلب

المراجع باللغة الأجنبية

18- Mushtaq.Aseim, Nafees.Asra, M.Khan.Raza, Z.Ahmed.Sayed , S.Khan.Muhammad ,Uzair.Hafiz , Shamim.Ali , Shamim.Osama . (2022) . Effect of mechanical properties on blend of Acrylonitrile- Butadiene Rubber with Styrene-Butadiene Rubber . Science International . 34(1).27-36

19- Abdelsalam.Amir ,Araby.sherif ,El-sabbagh.Salwa , Abdelmoneim.Ahmed , Hassan.Mohsen .(2020) . A comparative study on mechanical and rheological properties of ternary rubber blends . Sage journals

20- N. Z. Noriman a , H. Ismail a & Azura Rashid., Curing Characteristics and Mechanical and Morphological Properties of Styrene Butadiene Rubber/Virgin Acrylonitrile-Butadiene Rubber (SBR/vNBR) and Styrene Butadiene Rubber/Recycled Acrylonitrile- Butadiene Rubber (SBR/rNBR) BlendsPolymer Plastics Technology and Engineering, 47: 1016–1023, 2008

21- Yotwade, C., Supanut, O., Chakrit, S.,Comparison on Properties of Acrylonitrile Styrene Butadiene Rubber (NSBR) and Styrene Butadiene Rubber (SBR) / Nitrile Rubber (NBR) Blends., KGK · 11/12 2012

22- M.N Chukwu , I.Ekhatoor and L.O.Ekebafe .(2019) . Effect of Zinc oxide level as activator on the mechanical properties of natural rubber composite . Faculty of engineering ,university of Nigeria

23- Fred W.Billmeyer , Hr: Text Book of Polymer Science , 2nd Edition (John Wiely & Sons, Inc., London , 2002).

24- S. Botros, A. Moustafa, and S. Ibrahim, "Improvement of the homogeneity of SBR/NBR blends using polyglycidylmethacrylate•]g•]butadiene rubber," J. Appl. Polymer Sci., 99, vol. 1559-1567, Dec. 2005

25- Wu,lili.,Ding,Yukui.,Zhen,Jianwei.,Zhang,Qian.,Chen,Siyang.(2017).Swelling Properties of Nitrile-butadiene Rubber with Different Acrylonitrile Content in Isopropyl Nitrate.CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS,59.vol.

ABSTRACT

In this research, the preparation of different rubber mixtures of Acrylonitrile Butadiene (NBR) and Styrene Butadiene (SBR) mixtures were studied for using in manufacturing membranes of diaphragm pumps which used in pumping different liquids (water, ink, glue used in the manufacture of cardboard boxes…etc) and the physic-mechanical and chemical properties of the three rubber mixtures were studied.

Three rubber mixtures containing different ratio of Acrylonitrile Butadiene and Styrene Butadiene rubber were prepared on the rubber rolling machine, then the tensile strength and elongation tests were performed and the hardness and swelling values were determined in different solvents.

The results showed that the life of the membranes manufactured from rubber blends which containing a higher percentage of Acrylonitrile Butadiene (NBR) is longer than those manufactured from blends which containing a higher percentage of Styrene Butadiene (SBR).

The results showed an increase in tensile strength with increasing the ratio of Acrylonitrile-Butadiene (NBR), and noted the low percentage of elongation at break gradually with increasing the proportion of Acrylonitrile Butadiene (NBR), as for the hardness values it has increased in extrusive with increase the percentage of Acrylonitrile Butadiene (NBR).

The results of the study also showed that the samples swelling in hydraulic oil was greater compared to each mineral oil, black ink and fuel but it was lower compared to gasoline.

As for the density, it was higher in those mixtures that contained a higher percentage of Acrylonitrile Butadiene (NBR).

Keywords: Rubber – Vulcanization – diaphragm pumps - Acrylonitrile Butadiene (NBR) - Styrene Butadiene (SBR).

Syrian Arab Republic

Damascus University

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering

Department of Mechanical Design Engineering

Preparation of rubber compounds for using in diaphragm pump membranes manufacturing

A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Materials Since and Engineering

By

Eng. Ammar Mabroukeh

Supervisor

Dr.Eng Wassim Dib

Academic Year

2024−2025