Study What Can be Achieved by the Lack of Flexural Strain Energy of Change for The Efficient Recovery of Novolak of The Elasticity As a Result of Fiber-Reinforcement

Rola Abdul Khader Abbas
Applied Sciences Department, University of Technological /Baghdad
Email: abass71rolai@yahoo.com

Received on: 21/12/2011 & Accepted on: 7/6/2012

ABSTRACT

This study deals, with the problem of the widening expanse of time to download is not limited to a certain mechanical property of clear-cut, but intertwined and branched out and became one of its aspects scientific insomnia ... Because the total value of creep does not give us a firm base to judge the causes, but under certain circumstances can be separated total distortions for sample into two recoverable deformation and irrecoverable deformation. Therefore, the sum that in order to facilitate the perception of mechanical we need to know the creep resilience modulus and may even add images to unforeseen come to know through the flexural strain energy , which helps to understand this mechanism in order to avoid the dangers arising from the phenomenon of creep.

Generally has this study measured the ability of novolak material side by side with the composites prepared reinforcing the novolak material, by glass fiber once and asbestos fibers once and hybrid fibers (30% fiber glass +30% fiber asbestos) again on the absorption of elastic energy which disappear after the removal three – point flexural stress and is know by creep resilience modulus, note that the ratio weighted mount reinforced (60%) and that the samples of various kinds attended with two different ratio from the material hardened (Hexamethylene - teraamine) (HMTA), a percentage (10%) weight once and (14%) and weight again .

* The practical results showed that a small fraction absorbed elastic mechanical energy after the first period of time from loading to be non-refundable after the demise of the forces of bending acting on them, and this shows the extent of accumulation of elastic strain energy stored in novolak material over time and raise the value of creep resilience modulus and the consequent decrease of the potential to restore the original situation after removing the stress and thus discouraged the return of this energy absorbed .

As a reference this study also to the high elastic strain energy and creep resilience modulus For an article novolak when compared composites as a result of the lack of fiber foregoing in. This is a clear proof on the efficiency of reinforcement mechanism to be strengthened to raise the efficiency of novolak to return the energy bending absorbed, and study also showed that the increase the proportion of material hardened (HMTA) to (14%) lead to the devaluation of resilience modulus which confirms the sharply decreasing the accumulation of elastic strain energy to novolak material and

https://doi.org/10.30684/etj.2012.57265
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

composites, and indicative of, the positive impact of increasing the proportion of material hardened can cancel at least in part the negative impact of this accumulation of elastic strain energy stored in this article prepared to restore elasticity.

دراسة ما يمكن أن يحققه النقص في طاقة انفعال الثني من تغير لكفاءة استرداد النوفولاك للمرونة نتيجة تدعيمه بالألياف

الخلاصة

لقد ذكرت هذه الدراسة أن مشكلة اتساع الامتداد الزمني للتحميل ليست مقتصرة على خاصية ميكانيكية معينة واضحة المعالم، بل تشابكت وتشعبت جوانبها وأضحت أحد المؤرقات العلمية... نظراً لأن القيمة الكلية للتزحف (Creep) لا تعطينا قاعدة ثابتة للحكم على مسبباته ولكن تحت ظروف معينة يمكن فصل التشوهات الكلية للنموذج إلى قسمين رجوعية ولا رجوعية. لذلك فأن مجمل القول أنه لكي يسهل تصور ميكانيكية التزحف فعلينا أن نعرف معامل الرجوعية التزحفي (Creep resilience modulus)... بل ويمكن أن نضيف إليه صوراً غير منظورة نتوصل إلى معرفتها من خلال طاقة انفعال الثني (Flexural strain energy) والتي تساعد على فهم هذه الإلية بقصد تجنب الأخطار الناجمة عن ظاهرة التزحف.

عموماً تمت هذه الدارسة بقياس قدرة مادة النوفولاك جنباً إلى جنب مع متراكباتها المحضرة بتدعيم مادة النوفولاك بألياف الزجاج مرة وألياف الاسبست مرة والألياف الهجينة (30% ألياف زجاج + 30% ألياف أسبست) مرة أخرى على امتصاص الطاقة المرنة التي تختفي تماما بعد زوال حمل الثني الثلاثي الركيزة والمعروف بمعامل الرجوعية، علماً بأن النسبة الوزنية للتدعيم مقدارها (60%) وأن هذا العينات بمختلف أنواعها حضرت بنسبتين مختلفتين من المادة المصلدة (الهيكيا مثيلين تترأأمين) (HMTA) وهي نسبة (10%) وزناً مرة و(14%) وزناً مرة أخرى.

فقد ظهر من خلال النتائج العملية أن جزءاً ضئيلاً من الطاقة الميكانيكية المرنة الممتصة بعد أول مدة زمنية من التحميل يكون غير قابل للإرجاع بعد زوال قوى الثني المؤثرة عليها، وهذا يوضح مدى تراكم طاقة الانفعال المرنة المختزنة في مادة النوفولاك بمرور الوقت مع رفع قيمة معامل رجوعيتها التزحف والذي يترتب عليه نقصان قدرة هذه المادة في استعادة وضعها الأصلي بعد إزالة إجهاد الثني عنها وبالتالي في إرجاع هذه الطاقة الممتصة.

كما أشارت هذه الدراسة إلى ارتفاع طاقة الانفعال المرنة ومعامل الرجوعية التزحفي لمادة النوفولاك أذا ما قورنت بمتراكباتها وذلك نتيجة لعدم وجود الألياف السابقة الذكر فيها وهذا يعد برهاناً واضحاً على كفاءة إلية التدعيم في رفع كفاءة النوفولاك في إرجاع طاقة الثني الممتصة، كما أوضحت الدراسة أيضاً أن زيادة نسبة المادة المصلدة (HMTA) إلى (14%) يؤدي ذلك لانخفاض قيمة معامل الرجوعية مما يؤكد التناقص الحاد في تراكم طاقة الانفعال المرنة لمادة النوفولاك ومتراكباتها، وبهذه الطريقة فأن التأثير الايجابي لزيادة نسبة المادة المصلدة يمكن أن يلغي ولو جزئياً التأثير السلبي لهذا التراكم في طاقة الانفعال المرنة المختزنة في هذا المادة المحضرة على استعادة مرونتها.

المقدمة

تعرف المادة الصلبة (Rigid body) بأنها المادة التي لا يتغير شكلها أو حجمها بتأثير القوى الخارجية، وهذا تعبير رياضي مجرد لأنه جميع المواد الحقيقية تتأثر إلى حد ما عند تسليط قوى خارجية عليها، إلا أن مقدار هذه التغيرات التي تحدث للمادة تحت تأثير حمل سوء كان انضغاط

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

(Compressive) أو شد (Tensile) أو قص (Shear) أو انحناء (Flexural) ليس دليلاً على مرونتها من الوجهة الهندسية [1] وإنما تعتبر قدرتها على الاستعادة التامة لإبعادها الأصلية (حالتها الطبيعية Recoverable change) عند زوال الحمل المؤثر عنها هو الدليل على المرونة... لذلك تسمى حالة المطاط الطبيعي الذي يمكن شده من عشرة إلى خمس عشرة قدر طوله الأصلي ثم رجوعيه إلى شكله الأول بعد زوال الشد عنه بالانفعال الرجوعي (Recoverable strain) أو بأجهاد الحالة عالية المرونة والمعروف أن المادة في هذه الحالة تدعى مادة تامة المرونة (Completely elastic) [3,2,1]. في حين إذا احتفظت هذه المادة بشكلها المتأثر بعد زوال قوى التأثير فأنها تدعى مادة تامة اللدونة (Completely plastic)، ومعنى ذلك أن المواد الحقيقية تقع بين هاتين الحالتين، ومع ذلك لا توجد في الحقيقة مواد تامة المرونة بحيث تبقى مرنة بشكل ما لغاية حدوث الكسر على الرغم من أن بعضها تظهر المرونة في مديات واسعة من خلال الاجهادات، وتعد بعض المواد غير تامة المرونة حتى ضمن الاجهادات الواطئة [1].

وفي الحقيقة، يفسر سلوك الأجسام ذات المرونة المثالية استناداً إلى قانون هوك (Hooke)، بحيث يتناسب الانفعال لكل وحدة طول طردياً مع الإجهاد المسلط على الجسم المرن، ومن جانب آخر فأن عملية تشوه الأجسام البلورية تتضمن هبوطاً في درجة الحرارة، وعند إزالة قوى الانفعال فأن هذه الأجسام تستعيد شكلها الأصلي كما هو مذكور سابقاً وترتفع بنتيجتها درجة الحرارة من جديد[4,3] ومن هنا يتضح انه قد تقع الأجسام التي تمتلك صفات المرونة في مجموعتين، وتشمل المجموعة الأولى الأجسام التي تقاوم بشدة أي تغير في شكلها وتكون قيمة تغيرها الرجوعي كمية غير محسومة، وتكون مثل هذه المواد أما متبلورة أو غير متبلورة. أما المجموعة الثانية فتشمل الأجسام التي تتغير شكلها رجوعياً بسهولة وبمقادير تتجاوز إبعادها الأولية بمئات المرات مثل الايلاستومرات (Elastomers) [3].

وبصورة عامة فأن لخاصية المرونة أهمية خاصة في العديد من المجالات الحديثة مثل أعمال التركيبات والتشييد وسفن الفضاء والمنتجات الرياضية والصناعية [5,1]، خصوصاً مع دخول البوليمرات لمعظم مفاصل الحياة اليومية للفرد لما تتمتع به من انخفاض للكثافة رغم افتقارها إلى القوة والمتانة مقارنة بالمواد الهندسية الأخرى كالمعادن والسيراميك [6,5] والتي سوف تتعرض فيها لا مجال للعديد من الحمولات والحركات التي ينتج عنها اجهادات مختلفة مؤثرة طوال عمرها الاستهلاكي بصفة متكررة بحيث تارة تتعرض للإجهاد وتارة أخرى تزول القوى المؤثرة عليها [5]. وبذلك لابد من أن تتميز هذه المواد بالمقدرة على الارتداد المرن إلى الوضع الأصلي لاسيما بعد تعرضها لتغيرات متكررة نتيجة للذبذبات العالية على إن يؤخذ في الاعتبار العوامل المؤثرة في هذه الخاصية من درجات الحرارة العالي، الاهتزازات (Vibrations)، سرعة أو معدل الإجهاد أو التحميل ونوع التحميل ومقداره نظراً لتخلف مقدار من التشوهات التي تظهر مع الزمن على شكل تشوه عالي المرونة وتشوه انسيابي لارجوعي [6,3]، أي أن الشفاء العالي المرونة ضرورية جداً للرجوعية الجيدة [7]، وهذا يستدعي تحوير هذه البوليمرات بشكل هندسي لتصبح مناسبة لهذه الاستخدامات السابقة الذكر بإضافة بعض المواد والتي يطلق عليها بمواد التقوية (materials Reinforcing) التي تلبي متطلبات التحميل حتى يتم تحسن خواص مقاومتها ومقالبتها مع مراعاة خفض الكلفة، وقد جرت العادة على تسمية هذه المواد بالمتراكبات البوليمرية [6,5]، والواقع أنه بالإمكان تعريف هذه المواد المتراكبة بأنها تلك الأنظمة الناتجة عن اشتراك مادتين أو أكثر غير قابلة على التذاوب أو التفاعل التام فيما بينها أي لا تؤدي إلى تكون مادة كيميائية جديدة بحيث تمثل كل مادة طوراً منفصلاً في النظام لغرض الحصول على مواد جديدة ذات خصائص فيزيائية مناسبة تجمع بين خواص مكوناتها الداخلة في تشكيلها [8] وعموماً فأن المواد التي تضاف إلى هذه اللدائن يمكن جمعها في المجاميع الآتية:-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

أ- مواد الحشو (Fillers). ب- عوامل التلوين (Coloring agents). جـ- المواد الملدنة (Plasticizers). د- المواد المزيتة (Lubricants).

ويعني ذلك أن كل التطورات والاتجاهات تكون مبنية على فهم الخواص الطبيعية الأساسية لمكونات المتراكبات البوليمرية التي تتحكم في مقدرتها على امتصاص وإرجاع الطاقة التي تتعرض لها إثناء الاستعمال، وتعتمد مقدرة امتصاص الطاقة على الخواص الشد والاستطالة للمواد المتراكبة أما مقدرة استرجاع الطاقة بعد زوال الاجهادات فتعتمد على مقدار الفقد في هذه الطاقة نتيجة للانفعال الذي يحدث في المواد أو بمعنى أخر مرونة المواد المتراكبة [5].

ومن هنا يأتي أهمية البحث العلمي لمفاهيم متممة لبعضها البعض والمتمثلة بالانزلاق أو التزحف (Creep) واسترخاء الإجهاد والتشوه الرجوعي واللارجوعي لبيان السبل الرئيسية في خفض مدى استجابة المواد البوليمرية ومتراكباتها للقوى المؤثرة عليها استاتيكياً كذلك في رفع مدى استرجاع هذه المواد لحالتها الأصلية بعد زوال هذة القوى المؤثرة عليها.

ففي عام (1984) ذكر الباحثان (Sharma) و(Panda) أن تدعيم مادة البولي بوربلين بنوعين من مواد التدعيم المتمثلة بـ ألياف الزجاج القصيرة والكريات الزجاجية) وبنسب وزنية مختلفة يؤدي إلى تحسين معامل مرونة هذه المواد المدروسة وخصوصاً مع زيادة نسب المواد المدعمة الوزنية [9].

ففي عام (2001) رصد الباحث (Abbas) حقيقة تحسين معامل مرونة مادة النوفولاك مع تدعيمها بألياف الزجاج مرة ، وألياف الاسبست مرة، وألياف الهجينة (30% ألياف زجاج + 30%ألياف اسبست) مرة أخرى، علاوة على حقيقة هامة أخرى وهي أن معظم السلوكيات والخواص التي تتميز بها مادة النوفولاك قبل التدعيم بالألياف وبعده تعتمد على درجة الحرارة التي ينفذ عندها الاختبار كحقيقة تدهور معامل مرونة هذه المواد المدروسة بشكل تدريجي مع ارتفاع درجة الحرارة بتثبيت كل الظروف والعوامل الأخرى [10].

وفي عام (2006) قام الباحث (Maya) وجماعته بدراسة تحليلية لخصائص الاسترخاء (Relaxation characteristics) لمادة متراكبة مدعمة هجينا بألياف حيوية Biofibers من قنب السيزال sisal وزيت النخيل (Oil palm) قبل وبعد معامل هذه الألياف ً، وقد استنتج الباحثون بأن معدل الاسترخاء (Rate of relaxation) لمادة المطاط يقل مع تدعيمه وكذا مع زيادة قوة الربط بين هذه الألياف المعاملة كيميائيا والمطاط [11].

وفي دراسة أخرى قام بها الباحث (Abbas) عام (2011) حول ارتباط مقاومة التزحف تحت حمل ثلاثي الركيزة لمواد متراكبة مكونة من مادة النوفولاك المقواة بألياف الزجاج مرة وألياف الاسبست مرة والألياف الهجينة (30% ألياف زجاج + 30%ألياف اسبست) وتساقط مياه الإمطار المحملة ببعض الدقائق الحامضية العالقة في الهواء بقصد الحد من الخسائر التي تسببها الإمطار الحامضية في مقاومة التزحف للمواد المدروسة وتبين أن هناك فقدان شديد في قيمة معامل التزحف الانعطافي نظراً لأن هذه الملوثات عند دخولها جسم المتراكب البوليمري تتراكم عاماً بعد عام إلى أن تصل إلى التركيز الضار والذي يتسبب انهيار مقاومتها للتزحف [12].

أما الدراسة الحالية فهي تهتم في توصيف مدى تأثير عملية تدعيم مادة النوفولاك بألياف الزجاج مرة وألياف الاسبست والألياف الهجينة(30% ألياف زجاج + 30%ألياف الاسبست) مرة أخرى في مقدرتها على امتصاص الطاقة المرنة إثناء تعرضها لأجهاد ثني ثلاثي الركيزة، وفي نفس الوقت رفع قدرتها على إرجاع أو رد هذه الطاقة عند إزالة هذه الإجهاد المؤثر فيها دون أن يحدث لها تشويه دائمي أو كسر أو تشقق بها على أن يكون هذا التوصيف شاملاً تأثير الامتداد الزمني لتسليط الإجهاد عليها.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الجانب النظري:-

مفهوم التشوه الرجوعي (المطاطي) والتشـــوه الانســـيابي اللارجـــوعي (flow deformation Irrecoverable):-

يعتبر الشكل الملفوف أكثر الأوضاع استقراراً بالنسبة للسلسلة البوليمرية المرنة، ولذلك تقـــاوم الحركة الحرارية لوحدات هذه السلسلة القوة الخارجية المؤثرة عليها، ولكن هذه المقاومـــة تكـــون ضئيلة نسبياً حيث يضطر البوليمر بعدها لتغير شكله والاستطالة لمسافات أكبر بعشرات المرات من إبعاد النموذج الأصلي.

وعند زوال المؤثر الخارجي فأن النموذج يستعيد شكله الملتف وإبعاده الأولية وذلك لأن التشوه عالي المرونة يكون رجوعياً في حقيقة الأمر فأن المرونة من وجهة النظر الجزيئية يمكن تعريفها على أنها استطالة سلاسل البوليمر المرنة الملفوفة بتأثير قوة معينة ثم استرجاعها لشكلها الأصـــلي عند زوال هذه القوة. وفي الحالات المثالية فإن أجزاء طفيفة من البوليمر هي التي تتـــأثر ولكـــن الجزء الأعظم فيه يبقى بدون أي تأثير ملحوظ (عدم وجود الانسيابية) [13,3].

ويجدر بنا هنا أن نتصور الإلية الحرارية للسلوكية في البوليمر عالي المرونة (High -elastic) بافتراض حالة عكسية تتم عند حجم وحرارة ثابتين وعليه يمكن تمثيل علاقة الطاقة الحـــرة (dF) بالطاقة الداخلية (du) والانتروبي (dS) بالمعادلة التالية:-

$$dF = du - T\,dS \qquad \ldots.(1)$$

ومن جهة أخرى فأن أخرى فأن $dF = dA$ حيث أن A هي الشغل الحقيقي الذي ينجزه النظام. وفي حالة هذا الشغل شداً معيناً فأن $dA = f.d\mathbf{l}$ حيث أن f تمثل القوة المسلطة و $d\mathbf{l}$ التغير في طول النموذج وعليه فأن المعادلة تأخذ الشكل التالي:-

$$fd\mathbf{l} = du - TdS \qquad \ldots. (2)$$

أو

$$f = \left(\frac{\partial u}{\partial \mathbf{l}}\right)_T - T\left(\frac{\partial S}{\partial \mathbf{l}}\right)_T \qquad \ldots. (3)$$

ويتضح من المعادلة (3) أن هناك نوعان من قوى المرونة، احدهما تقترن بالتغير فـــي الطاقـــة الداخلية والأخرى بالتغير في الانتروبي مع الحركة الحرارية.

وفي حالة تشوه بلورة مثالية فأن التغير في الترتيب النسبي للذرات أو الايونات يكون طفيفاً جداً وبالإمكان إهماله أي أن $(\partial S/\partial \mathbf{l})_T = 0$ وتصبح المعادلة (3) كما يلي:-

$$f = \left(\frac{\partial u}{\partial \mathbf{l}}\right)_T \qquad \ldots. (4)$$

أي أن الشغل الناتج عن قوة الانفعال الخارجي ينجز تغيراً في الطاقة الداخلية فقط، وأن تشـــوه البلورة المثالية يكون عبارة عن تغير في طبيعة طاقتها لا غير. أما التشوه في حالة المطاط المثالي فأنه لا يقترن بأي تغير في طاقته الداخلية، أي أن $(\partial u/\partial \mathbf{l})_T = 0$، وعلى هذا فأن قوى المرونة نتيجة للحد الثاني من المعادلة (3):-

$$f = T\left(\frac{\partial S}{\partial \mathbf{l}}\right)_T \qquad \ldots. (5)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ويستنتج من هذه المعادلة بأن تشوه المطاط المثالي يعتمد على درجة الحرارة وعلى التغير في الانتروبي. وهذا يقود بالنتيجة إلى الطبيعة الحركية لهذه الظاهرة [3].

هذا... وبجانب التشوهات الرجوعية (المطاطية)، هناك تشوهات انسيابية لارجوعية. والانسيابية هي إزاحة لارجوعية لجزيئات المادة بالنسبة لبعضها بتأثير الإجهاد الخارجي ويبرز الاحتكاك الداخلي خلال عملية الانسياب كقوة مضادة لعملية إزاحة الجزيئات. وتلاحظ الانسيابية في الغازات والسوائل والأجسام البلورية. ولكن طبيعة قوى الاحتكاك الداخلي تختلف باختلاف الطور والحالة الفيزيائية للمادة، ففي حالة البلورات فأن الانسيابية تظهر على شكل إزاحة لمستويات النسق البلوري (lattice Planes of the crystal) بالنسبة لبعضها البعض نظراً لصعوبة الحركة الانتقالية للذرات والجزيئات حيث تتطلب هذه العملية تغلباً على على قوى التداخلات بين المستويات المختلفة التي تعيق عملية الانسيابية. لذا فأن الاحتكاك الداخلي في حالة الأجسام البلورية يكون ذا طبيعة طاقية، ولعل من الأمثلة في هذا المجال هو ما تظهره البوليمرات من تشوه تدريجي مع الزمن، إذ تشمل على نوعين من التشوهات وهما عالي المرونة و الانسيابي اللارجوعي، ولأجل إعطاء قاعدة ثابتة للحكم على مسببات تزحف البوليمرات ولكن تحت ظروف معينة فأنه يمكن فصل الانفعال الكلي للنموذج إلى قسمين رجوعي ولا رجوعي ويمكن إجراء هذه العملية بطريقتين:-

الطريقة الأولى:-

وهي الطريقة الأكثر دقه وتتضمن ترك النموذج المنفصل ليرتخي كلياً بعد إزالة ضغط الإجهاد منه وتحت ظروف تكفل له أكبر معدل للاسترخاء كالحرارة المرتفعة مثلاً. حيث تتيح إزالة التغيرات الرجوعية التي تحصل إثناء العملية وبذلك يكون التغير(أو التشوه) المتبقي ناتجاً عن الانسيابية فقط. ويمكن اعتبار استعادة الشكل الأصلي للنموذج كإثبات لفكرة الفصل بين التشوه الانسيابي والتوتر عالي المرونة (حيث تسترجع السلاسل تشكيلاتها الأولية) فإذا بقى تركيب النموذج بعد الاسترخاء كما كان قبله وتغير شكله فقط فأن التشوه الملاحظ يكون لارجوعياً.

الطريقة الثانية:-

أن عملية فصل التشوهات الرجوعية عن اللارجوعية تتضمن قياس انفعال البوليمر كمعامل للزمن.

عمليات الاسترخاء (Relaxation processes)

أن أهم الصفات التي تميز تركيب البوليمر هي احتواءه على نوعين من عناصر التشكيل ونعني بهما السلاسل الجزيئية والوحدات المكونة لها وتختلف هذه العناصر تماماً من حيث حجمها وشكل حركتها.

وتكون إبعادها الوحدات المتكررة مشابهة لإبعاد الجزيئات المجهرية في حالة وجود هذه الوحدات بحالة حرة (كجزيئات المونومر). لكن ارتباطها كيميائياً في سلاسل طويلة تقييد كثيراً من حريتها. ومع هذا فأن حركة الوحدات في الحالة عالية المرونة تبقى كبيرة بما فيه الكفاية لإعادة تجمعها بمعدلات جيدة حيث أن الوقت اللازم لمثل هذا التجمع، أي زمن استرخاء الوحدة، هي بحدود 10^{-4} – 10^{-6} ثابتة. وهذا الزمن يتجاوز زمن الاسترخاء للجزيئات المجهرية للسائل بحوالي 4-6 مرات. ونظراً لكبر أحجامها فأن جزيئات البوليمر تكون ذات حركة بطيئة وبالتالي فأن زمن استرخائها يكون عالياً جداً ولهذا فأن التغير في درجة حرارة البوليمر في حالة عالية المرونة توثر بصورة رئيسية على إعادة تجمع جزيئات أي تغير شكل السلسلة.

وتسمى العمليات التي يستغرق النظام فيها فترة من الزمن للوصول إلى حالة التوازن بعمليات الاسترخاء. وتتضمن هذه العمليات أعادة مساواة تركيز المادة المنتشرة غير المتجانسة بواسطة التنافذ أو توجيه الجزيئات المعزولة في مجال كهربائي أو إرجاع الجزيئات القطبية إلى توزيعها العشوائي بعد زوال تأثير المجال الكهربائي الخارجي عنها وظهور توتر عالي المرونة [14,13,3].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الجانب العلمي:-

المواد المستخدمة

تم استخدام راتنج النوفولاك المنتج محلياً في شركة ذات الصواري كمادة أساس وهو عبارة عن كتل صلبة يتم طحنها وخلطها مع المادة المصلدة (HMTA) للحصول على خليط (HMTA – Novolak) مناسب للقولبة بالحرارة والضغط. أما مواد التقوية المستخدمة تتمثل بألياف صناعية قصيرة تعمل على تقوية المادة الأساس وهي ألياف الزجاج نوع (E) وهي بشكل ألياف قصيرة (Short fibers) متقطعة بأطوال معينة تتراوح بين (6.8mm) وذات قطر بحدود (mm 14-10) وألياف الاسبست المعروفة بـ (Chrysolite) وهو عبارة عن ألياف غير مستمرة أشبه بالشعيرات المنقطعة (Discontinuous fibers - whiskers) علاوة على ذلك تم استخدام عوامل تحسين النوعية المتمثلة بالمواد التالية (Mgo، Olic، PVA، سترات الرصاص، Aniline).

الأجهزة المستخدمة Instruments.

جهاز التزحف بالانعطاف تحت حمل ثلاثي الركيزة العراقي المنشأ والمصمم وفق المواصفات التي وضعتها الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد (ASTM -D2990 -77).

طريقة تحضير وفحص النماذج.

تم تحضير عينات مقواة بألياف قصيرة بنسبة وزنية تقدر بـ (60%) وذلك بالاعتماد على المعادلة الآتية [10]:-

$$y = \frac{W_f}{W_c} \times 100\% \qquad \ldots. (6)$$

$$W_c = W_f + W_m \qquad \ldots. (7)$$

أن (W_f ، W_m ، W_c): كتلة الألياف والمادة الأساس والمواد المتراكبة على التوالي.

حيث كانت المواد المتراكبة مكونة من النوفولاك المقواة بألياف الزجاج والنوفولاك المقواة بألياف الاسبست ومواد متراكبة هجينة مكونة من النوفولاك المقواة بـ (30% ألياف زجاج + 30% ألياف الاسبست).

في الوقع تمت عملية التحضير الابتدائي للمزيج الداخل في تحضير النماذج المتراكبة بالاعتماد على طريقة الاشراب او التشرب (Impregnation method) والتي تعد أهم طرائق القولبة الفينولية.

استنادا إلى ذلك تم إتباع الخطوات التالية في تحضير المتراكبات من راتنج النوفولاك وكمايلي:-

أ - يحضر مزيج الراتنج الفينول وذلك بإذابة خليط (Novolak -HTMA) ذو نسبة (10%) وزناً من (HMTA) في كحول الايثانول باستعمال خلاط ذو سرعة عالية ثم بعد ذلك يتم أضافه (عوامل تحسين النوعية) بشكل تدريجي مع مراعاة استمرار الخلط.

ب- تغمر الألياف في مزيج الراتنجي الفينولي مع التحريك ومراقبة تشبع كافة الألياف بالراتنج. وهكذا نعود إلى تكرار الخطوات السابقة الذكر مع خليط (Novolak -HTMA) ذو نسبة (14%) وزناً مع (HTMA).

جـ- بعد التأكد من الغمر الجيد وتشبع الألياف بالمزيج الراتنجي ننتقل إلى مرحلة التجفيف بالهواء الساخن لدرجة تتراوح (^{0}C) 70-80)، حيث تترك المادة في جو الفرن عند هذه الدرجة الحرارية لمدة ثلاثة ساعات وبذلك يتم التخلص من كحول الايثانول المستخدم في المزيج عندئذ تصبح المادة

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

المحضرة جاهزة للقولبة ومن ثم يتم كبس النماذج المستخدمة في الاختبارات التي تم إعدادها باستخدام المكابس نصف الآلية المصنفة من قبل شركة (Batten Feld /Berge). حيث أن عملية القولبة بمكابس الضغط تتم باستعمال القوالب الفولاذية المارقة (Flash) فأن ذلك يؤدي إلى الحصول عينات نظامية من هذه القوالب حسب المواصفات القياسية العالمية وكما يلي:-

عينات اختبار التزحف بالانعطاف (Flexural creep) تحت حمل ثلاثي الركيزة أعدت حسب النظام القياسي (ASTM -D790) بسمك (6mm) وعرض (15.9mm) وطول (12mm).

ويغطى الاختبار عموماً خواص الثني (Flexural) في حدود المرونة عبر فترات محسوسة من الزمن تحت حمل ثابت ثلاثي الركيزة مثل انفعال التزحف ألانعطافي ومعامل التزحف ألانعطافي و معامل الرجوعية ألانعطافي التزحفي وطاقة الانفعال المرنة.

طريقة أجراء الاختبار:- توضع العينة المحضرة على مساند الجهاز ويتم تطبيق الحمل في مركزها من الأسفل بقيمة ثابتة قدرها (29.43N) التي تحسب من المعادلة التالية[12]:-

$$P = m \times g \qquad \text{.....(8)}$$

حيث أن (m): الكتلة المعلقة مقاسه بـ (kg). (g): التعجيل الأرضي ($9.81 m/sec^2$).

وفي هذه الخطوة يسجل مقدار التشوه (أي بمعنى الانحراف Deflection الحاصل عند منتصف العينة والذي يرمز له (D) مقاساً بـ (m)) بحذر خلال فترات زمنية معينة واستناداً إلى هذه النتائج يمكن حساب معامل الرجوعية ألانعطافي التزحفي من المعادلة التالية[2,1]:-

$$R = \frac{9DP}{2bdL} \qquad \text{....(9)}$$

حيث أن (R): معامل الرجوعية التزحفي ألانعطافي (creep resilience modulus Flexural)مقاساً بوحدات (P_a).

(b): عرض العينة مقاساً بـ (m).

(d): سمك العينة مقاساً بـ (m).

(L): البعد بين نقطتي التحميل أو امتداد العتبة مقاساً بـ (m).

ولدراسة ارتباط كفاءة هذه المواد لامتصاص طاقة اجهادات الثني المبذولة في حدود المرونة بوجود وتراكم طاقة الانفعال المرنة المختزنة في المتراكبات المحضرة بمضي الزمن على التحميل يتم تطبيق المعادلة التالية[15]:-

$$u = \frac{P^2\left(\frac{L}{2}\right)^3}{E_f bd^3} \qquad \text{....(10)}$$

حيث أن (u): طاقة الانفعال المرنة (Elastic strain energy) مقاسة بـ(KJ/m^2).

(E_f): معامل التزحف ألانعطافي (Flexural creep modulus) مقاسة بـ (P_a).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

وقد اعتمدت هذه الدراسة الحالية في الحصول على معاملات الانعطاف التزحفية لمتراكبات النوفولاك المحضرة بصفه أساسية على النتائج العملية التي توصل أليها الباحث (Abbas) [12] في دراسة له سبق الإشارة أليها في البحث الحالي.

النتائج والمناقشة:-

أن المتتبع لما يحدث في عملية استرجاع كمية الطاقة الميكانيكية المرنة المخزونة في وحدة الحجوم من المادة بمجرد إزالة الحمل المؤثر عليها يجد أن هذه العملية تعاني من مخاطر تبدأ بالاستخدام المسهب للمادة ضمن حد المرونة (Elastic limit) ولفترات تحميل طويلة مسبباً استهلاك في مقدرتها على الاستطالة أو الانحناء حسب نوع الإجهاد المؤثر فيها عن طريق تحويل جزء من الطاقة المرنة الميكانيكية على هيئة طاقة انفعال مرنة (Elastic strain energy) غير قابلة للاسترجاع مع كل مرحلة تزايد في زمن التحميل حتى تصل المادة في نهاية الأمر إلى الانهيار [16,15,7,5] وعلى هذا الأساس سوف يتم مناقشة هذه الحقائق وكما يلي:

تأثير استخدام المواد الليفية لتقوية راتنج النوفولاك على معامل الرجوعية التزحف وطاقة الانفعال المرنة.

أن اثر زيادة انفعال الثني الثلاثي الركيزة عن الانفعال المرن بمضي زمن التحميل له أثر سلبي ملموس وخطير في مقدرة مادة النوفولاك ومتراكباتها المحضرة في امتصاص الطاقة المرنة الميكانيكية المؤثرة عليها لأن الانحناء (Flexural) الذي يحدث فيها بعد أول مدة زمنية من التحمل غير قابل للرجوع (Nonrecoverable extensibility) [16]، ومعنى ذلك أن هذه المادة ومتراكباتها التي تعاني من ظاهرة التزحف (Creep) تنخفض مرونتها مع استمرار زمن التحميل (كما في الجدول رقم 1و2 و3).

وترجع ضخامة هذه المشكلة (أي فقد القابلية للانثناء بدون حدوث تشوه دائمي أو كسر أو تشقق بها) إلى تعدد الآليات المسؤولة عن حدوث هذا النوع من الفشل والمتمثلة بـ (الإلية الشدية والانضغاطية والقصية) وخاصة بالإلية القصية التي غالباً ما تلعب دوراً هاماً في عملية الفقد هذه بفعل الاجهادات القصية المستعرضة التي تنشأ عند الحافات الحرة للمادة الخاضعة لاختبار التزحف الثلاثي الركيزة ولذلك غالباً ما تساعد هذه الاجهادات القصية على زيادة الانحراف الحاصل في المنطقة الوسطية (أو المركزية) من المادة والتي يتمركز فيها اجهادات الانضغاط والشد [17]، فقد أكدت هذه الدراسة الحالية على أن استخدام مبدأ التسليح في مادة النوفولاك ذو الطبيعة الهشة يمكنها من التقليل جزئياً من عملية تراكم طاقة الانفعال المرنة المختزنة فيها، وذلك بتدعيمها ببعض الألياف الصناعية لمعادلة أثار هذه الطاقة الضارة بمعامل الرجوعية التزحفي (الشكل رقم 2) وما إلى ذلك حيث بلغت النسبة المئوية المتبقية من طاقة الانفعال المرنة لحظة تسليط الحمل من مادة النوفولاك ذات نسبة (10%) من (HMTA) إلى (44.454%) بعد تدعيمها بألياف الزجاج و (26.894%) بعد تدعيمها بألياف الأسبست و(43.666%) بعد تدعيمها هجيناً بالألياف السابقة الذكر (الشكل رقم3) ويرجع السبب الرئيسي في هذا الانخفاض الذي يكون مصحوباً عادة بارتفاع مقدرتها على إرجاع الطاقة التي تتعرض لها إثناء الاستعمال إلى تحمل الألياف الجزء الأكبر من الحمل المسلط على المادة المتراكبة نسبة إلى المادة الأساس نظراً لتمتع هذه الألياف بالعديد من الخصائص المطلوبة مثل مقاومتها العالية وذلك بمقارنتها بكثافتها بالإضافة إلى تميزها بنسبة المعامل/ الكثافة (وهو ما يعرف باسم القوة النوعية والعامل النوعي) الذي يعتبر عالي بدرجة ملحوظة وعليه فأن الألياف تعمل على توزيع الإجهاد على حجم اكبر وتقلل من احتمالية تركيز الإجهاد عند المنطقة الوسطية (أو المركزية) [19,18,15,10].

ولاشك أن اتساع الامتداد الزمني للتحميل يؤدي إلى زيادة طاقة الانفعال المرنة المختزنة من المواد المحضرة بنسبة لا يستهان بها (الشكل رقم 4 و5) ولا سيما في مادة النوفولاك المسلح التي

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

تختزن في كل من مكان حولها طاقة الانفعال المرنة أما في حالة متراكبات النوفولاك فأن الألياف بمختلف أنواعها تخزن فيها اغلب طاقة الانفعال المرنة وبذلك تكون هذه الألياف في حالة إجهاد عالية مقارنة بالمادة الأساس (Matrix) المحيطة [15] بها وعليه تقل مقاومة مادة النوفولاك ومتراكباتها للتغير في الشكل لأن القوة الداخلية المتولدة لمقاومة حمل الثني المسلط سوف تضعف بمرور الوقت وهذا يؤدي بدوره إلى نقصان مقاومة قص الطبقات الداخلية مع مرور الوقت.. ولذلك تقل قدرة المواد المحضرة على الرجوعية (Ressilience) (الشكل رقم 6 و7).

تأثير زيادة نسبة (HMTA) في مادة النوفولاك ومتراكباتها على معامل الرجوعية التزحفي وطاقة الانفعال المرنة.

أوضحت النتائج المتمثلة بالشكل رقم (8) أمكانية حدوث نقص في طاقة الانفعال المرنة المختزنة في مادة النوفولاك ومتراكباتها مع زيادة نسبة المادة المصلدة(HMTA) من (10%) إلى (14%)، كما سينجم عن ذلك انخفاض في معامل الرجوعية التزحفي لهذه المواد المحضرة ومن أمثلة ذلك معامل رجوعية النوفولاك ذو نسبة (14%) من (HMTA) والذي يبلغ مقدارها ($76,664MP_a$) مقابل ($79.55MP_a$) ذو نسبة (10%) من (HMTA) (الشكل رقم2) وهو مقدار ليس عالي ولكنه يساهم في تحسين استرجاع أو استعادة المرونة، ويرجع هذا التصرف لزيادة كثافة الترابط التشابكي (Cross- link density) لمادة النوفولاك (المادة الأساسMatrix) حيث تصبح جزيئات النوفولاك مترابطة ببعضها بروابط متينة ومرنة مع زيادة نسبة المادة المصلدة إلى (14%) وهذا بدوره يساعد المواد المحضرة في استعادة وضعها الأصلي بعد زوال قوة الثني المؤثرة عليها، وبالتالي إرجاع الطاقة الممتصة لتوصف هذه المواد بالمرونة [20,10,7].

الاستنتاجات:-

لقد ظهر أن مادة النوفولاك (Novolak) الغير مدعمة بالألياف حساسة جداً نحو استمرارية تعرضها لإجهاد الثني، واتضح أن معامل رجوعيتها التزحفي وصل إلى نسبة لا يستهان بها مقارنة بمادة النوفولاك المدعمة بالألياف بمختلف أنواعها المستخدمة في هذه الدراسة، كما اتضح أيضا يزداد ميل هذه المادة (النوفولاك الغير مدعم) إلى تحزين طاقة الانفعال المرنة فيها مع الاتساع الزمني للتحميل، وهذا يعني أن كمية الطاقة الميكانيكية المرنة الممتصة الغير قابلة للاسترجاع تتراكم مع مضي وقت التحميل بصورة لا تظهر أثارها مباشر في بداية الأمر، وهذا يمثل مؤشراً هاماً لتوقع زيادة النسبة المئوية لهذا التراكم كلما زاد زمن التحميل وبذلك يمتد الأثر الضار لهذا التراكم إلى إعاقة مادة النوفولاك في استعادة وضعها الأصلي بعد إزالة قوى الثني المؤثرة عليها.

وبذلك تمكن ألياف الزجاج والاسبست بوجودها في مادة النوفولاك من تقليل عملية تراكم طاقة الانفعال المرنة المختزنة فيها ولو جزئياً فقد بلغت النسبة المئوية المتبقية من طاقة الانفعال لحظة تسليط الحمل من (100%) إلى (44,454%) عند تدعيم مادة النوفولاك ذات نسبة (10%) من (HMTA) بألياف الزجاج والى (26.894%) عند تدعيمها بألياف الاسبست و(43.666%) بعد تدعيمها هجيناً بالألياف السابقة الذكر. ويزداد هذا الانخفاض في طاقة الانفعال المرنة كلما اتجهنا نحو زيادة نسبة (HMTA) في المادة النوفولاك ومتراكباتها من (10%) إلى (14%) وأن هذا الانخفاض في طاقة الانفعال المرنة المتراكبة في مادة النوفولاك ومتراكباتها يعني خسائر في قيم معامل الرجوعية التزحفي وفي ظل هذا الوضع فإن مقدار الطاقة الميكانيكية الممتصة المرجعة تزداد مما يتسبب عنه رفع قابلية هذه المواد في استعادة وضعها الأصلي عند إزالة أجهاد الثني عنها دون أن يحدث لها تشوه دائمي أو كسر أو تشقق فيها.

6- المصادر:-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

د. صاحب مهدي الصفار،" هندسة المعادن والسبائك"، دار الإيمان للطباعة والنشر والترجمة والتوزيع دمشق- سوريا الطبعةالأولى(2010). [1]

د. محمد رشاد الدين مصطفى حسين،"خواص مواد البناء واختباراتها"، منشورات الرتب للأبحاث الجامعة - كلية الهندسة / جامعة بيروت العربية، (1983). [2]

أنا تاكر، ترجمة د. أكرم عزيز محمد،" الكيمياء الفيزيائية للبوليمرات"، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي – جامعة الموصل. جمهورية العراق،(1984). [3]

[4] J. Beddoes and T. Mohammdi ," Comparison of stress relaxation and creep strain roles for the superalloy IN738LC", The Journal of strain analysis for engineering design,Vol.45, No.1, Nov, 2010, (587-592).

د. كوركيس عبد أل أدم ود. حسين على كاشف الغطاء،" تكنولوجيا وكيمياء البوليمرات"، كلية العلوم - جامعة البصرة، (1983). [5]

د. قحطان خلف محمد الخزرجي،" مبادئ هندسة المواد اللامعدنية"، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي –جامعة بابل/ كلية الهندسة، (1994). [6]

كيميائي محمد إسماعيل عمر،" تكنولوجيا الألياف الصناعة"، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة- جمهورية مصر العربية، (2002). [7]

أريج رياض سعيد،"دراسة الخصائص الميكانيكية لمتراكبات بوليمرية مدعمة بمواد طبيعية" رسالة ماجستير، العلوم التطبيقية- جامعةالتكنولوجيا، (2009). [8]

[9] S. J. Panda and D.K. Sharma," Strength and stiffness of short glass fiber/glass particulate hybrid composite", fiber science and Technology, vol. 20, P.P. (235-243), (1984).

رولا عبد الخضر عباس،" دراسة الخصائص الحرارية والميكانيكية لمادة النوفولاك ومتراكباته"، رسالة ماجستير، العلوم التطبيقية- الجامعة التكنولوجيا، (2001). [10]

[11] Meya Jacob etal," Stress relaxation and thermal analysis of hybrid biofiber reinforced rubber bio composites", Journal of reinforced plastics and composites, Vol.25, No.18, 2006, (1903-1917).

رولا عبد الخضر عباس،" دراسة انعكاسات التحلل بفعل الدقائق الحامضية العالقة في هواء المدن على متراكبات النوفولاك"، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 29، العدد 6، 2011، الصفحة (315 – 332). [12]

[13] R.L. Addleman and G. A. Webster, "Asimple model of uniaxial creep recovery and stress relaxation based on residual stress redistribution, The Journal of strain analysis for engineering design, Vol.8, No. 1, Apr., 1973, (99-106).

[14] G. P. Tandon etal, "Environmental durability of Fabric-Reinforced Shape-Memory Polymer composites ", Journal of Intelligent Material Systems and structures, Vol. 21, No.1, 2010, PP.(1365-1381).

[15] Donald F. Adams and A. Keith Miller," The influence of transverse shear on the static flexure and chirpy impact response of hybrid composite materials", Journal of materials science, vol.4, No.9, September, (1975), P.P.(1697-1710).

د. أحمد سلطان،" الألياف الصناعية"، كلية الهندسة – الإسكندرية، جمهورية مصر العربية، (1983). [16]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

[17] G. C. Shin and L. J. Ebert," Flexural failure mechanisms and global stress plane for unidirectional composites subjected to four – point bending tests", composites, vol.17, No.4, October, (1986), P.P. (309-320).

[18] كيميائي محمد إسماعيل عمر،" تكنولوجيا تصنيع البلاستك المقوى (المسلح)"، دار الكتـــب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة - جمهورية مصر العربية، (2002).

[19] M. O. W. Richarson," Polymer engineering composite", Applied science pub.LTD, London, (1977).

[20] W. Y. Chiang and S. Y,Yang. ,"Optimal compositions of molded phenolic and its properties ", Journal of applied science, vol.37, (1989), P.P.(499-512).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الجدول (1) يوضح نسبة الزيادة المئوية في معامل الرجوعية التزحفي لمتراكبات النوفولاك ا ذات 10% وزناً من (HMTA) ووصف سلوكها المتبع مع مضي زمن التحميل الانعطافي الثلاثي الركيزة وبعض التغيرات وردود الأفعال كما تبدو للعين المجردة في مظهر المادة الأصلي.

Time min نوع المادة ذات HMTA =10%	فترات زمنية منتخبة على مدار وقت الفحص								امتداد زمني بعمق اكبر من مدار وقت الفحص							
	(125) min			(614) min			(1800) min		(7500) min			(13200) min				
	R(%)	التغيرات وردود الأفعال كما تبدو للعين المجردة في مظهر المادة الأصلية والذي يعتبر استجابة مباشرة أو غير مباشر لحالة الزيادة المنوية في معامل الرجوعية.	نوع السلوك	R (%)	التغيرات وردود الأفعال كما تبدو للعين المجردة في مظهر المادة الأصلية والذي يعتبر استجابة مباشرة أو غير مباشر لحالة الزيادة المنوية في معامل الرجوعية.	نوع السلوك	R (%)	التغيرات وردود الأفعال كما تبدو للعين المجردة في مظهر المادة الأصلية والذي يعتبر استجابة مباشرة أو غير مباشر لحالة الزيادة المنوية في معامل الرجوعية.	نوع السلوك	R (%)	التغيرات وردود الأفعال كما تبدو للعين المجردة في مظهر المادة الأصلية والذي يعتبر استجابة مباشرة أو غير مباشر لحالة الزيادة المنوية في معامل الرجوعية..	نوع السلوك	R(%)	التغيرات وردود الأفعال كما تبدو للعين المجردة في مظهر المادة الأصلية والذي يعتبر استجابة مباشرة أو غير مباشر لحالة الزيادة المنوية في معامل الرجوعية.	نوع السلوك
Nov+G.F.	4	المادة تبدو بصورتها الأصلية للعين المجردة.	خضوع بشكل تام تقريبا للسلوك الهوكي	7.719	لمادة لا يبدو عليها تغيرات أو ردود أفعال في صورتها الأصلية للعين المجردة بعد زوال الحمل المسلط.	خاضع للسلوك الهوكي ولم ينحرف عنه إلا بمقدار ضئيل جداً	10.456	المادة لا يبدو عليها تغيرات أو ردود أفعال في صورتها الأصلية للعين المجردة بعد زوال الحمل المؤثر فيها	خاضع للسلوك الهوكي ولم ينحرف عنه إلا بمقدار ضئيل جداً	41.824	حدوث تشوه دائمي في صورة المادة الأصلية بدرجة واضحة جداً للعين المجرد بعد زوال الحمل المسلط عليها.	يظهر السلوك اللزج غالباً على السلوك الهوكي	76.677	تغير كبير في صورة المادة الأصلية بدون تشقق فيها واضح للعين المجردة أو كسر فيها	السلوك اللزج هو السائد
Nov+Hybrid	2.291	المادة تبدو بصورتها الأصلية للعين المجردة.	خضوع بشكل تام تقريبا للسلوك الهوكي	9.583	المادة لا يبدو عليها تغيرات أو ردود أفعال في صورتها الأصلية للعين المجردة بعد زوال الحمل المسلط.	خاضع للسلوك الهوكي ولم ينحرف عنه إلا بمقدار ضئيل جداً	11.927	المادة لا يبدو عليها تغيرات أو ردود أفعال في صورتها الأصلية للعين المجردة بعد زوال الحمل المؤثر فيها	خاضع للسلوك الهوكي ولم ينحرف عنه إلا بمقدار ضئيل جداً	47.708	حدوث تشوه دائمي في صورة المادة الأصلية بدرجة واضحة جداً للعين المجردة بعد زوال الحمل المسلط عليها.	يظهر السلوك اللزج غالباً على السلوك الهوكي	87.464	تغير كبير في صورة المادة الأصلية بدون تشقق فيها واضح للعين المجردة أو كسرا فيها	السلوك اللزج هو السائد
Nov+asb.F.	1	المادة تبدو بصورتها الأصلية للعين المجردة.	خضوع بشكل تام تقريبا للسلوك الهوكي	2.666	المادة لا يبدو عليها تغيرات أو ردود أفعال في صورتها الأصلية للعين المجردة بعد زوال الحمل المسلط.	خاضع للسلوك الهوكي ولم ينحرف عنه إلا بمقدار ضئيل جداً	4.833	المادة لا يبدو عليها تغيرات أو ردود أفعال في صورتها الأصلية للعين المجردة بعد زوال الحمل المؤثر فيها	خاضع للسلوك الهوكي ولم ينحرف عنه إلا بمقدار ضئيل جداً	19.332	المادة تبدو للعين المجردة بصورتها الأصلية	خاضع للسلوك الهوكي رغم انحرافه عن هذا السلوك بمقدار محدود	35.442	حدوث اختلال بدرجة ملفتة للنظر في هيئة المادة الأصلية بعد زوال الحمل المؤثر فيها	يجمع بين سلوك المرن والسلوك اللزج مع فقد السلوك المرن كفاءته

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الجدول (2) يوضح نسبة الزيادة المئوية في معامل الرجوعية التزحفي لمتراكبات النوفولاك ذات 14% وزناً من (HMTA) ووصف سلوكها المتبع مع مضي زمن التحميل الانعطافي الثلاثي الركيزة وبعض التغيرات وردود الأفعال كما تبدو للعين المجردة في مظهر المادة الأصلي.

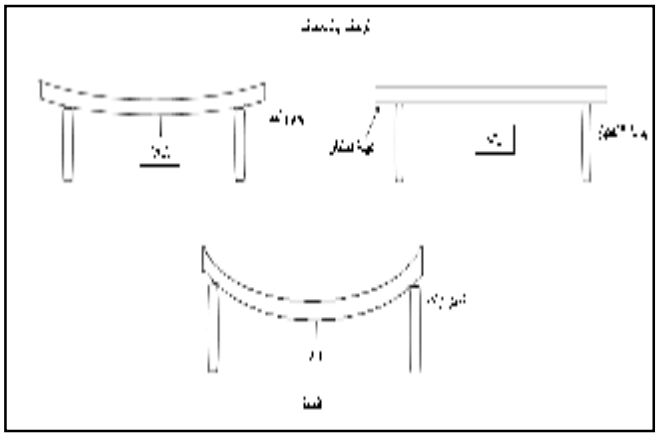
Time min / نوع المادة ذات HMTA =14%	فترات زمنية منتخبة على مدار وقت الفحص									امتداد زمني بعمق اكبر من مدار وقت الفحص				
	(125) min			(614) min			(1800) min			(7500) min			(13200) min		
	R(%)	التغيرات وردود الأفعال كما تبدو للعين المجردة في مظهر المادة الأصلية والذي يعتبر استجابة مباشرة أو غير مباشر لحالة الزيادة المنوية في معامل الرجوعية.	نوع السلوك	R (%)	التغيرات وردود الأفعال كما تبدو للعين المجردة في مظهر المادة الأصلية والذي يعتبر استجابة مباشرة أو غير مباشر لحالة الزيادة المنوية في معامل الرجوعية.	نوع السلوك	R (%)	التغيرات وردود الأفعال كما تبدو للعين المجردة في مظهر المادة الأصلية والذي يعتبر استجابة مباشرة أو غير مباشر لحالة الزيادة المنوية في معامل الرجوعية.	نوع السلوك	R (%)	التغيرات وردود الأفعال كما تبدو للعين المجردة في مظهر المادة الأصلية والذي يعتبر استجابة مباشرة أو غير مباشر لحالة الزيادة المنوية في معامل الرجوعية.	نوع السلوك	R(%)	التغيرات وردود الأفعال كما تبدو للعين المجردة في مظهر المادة الأصلية والذي يعتبر استجابة مباشرة أو غير مباشر لحالة الزيادة المنوية في معامل الرجوعية.	نوع السلوك
Nov+G.F.	1.270	المادة تبدو بصورتها الأصلية للعين المجردة.	خضوع بشكل تام تقريباً للسلوك الهوكي	1.267	المادة تبدو بصورتها الأصلية للعين المجردة.	خضوع بشكل تام تقريباً للسلوك الهوكي	2.886	المادة تبدو بصورتها الأصلية للعين المجردة.	خضوع بشكل تام تقريباً للسلوك الهوكي	11.544	المادة لا يبدو عليها تغيرات أو ردود أفعال في صورتها الأصلية للعين المجردة بعد زوال الحمل المؤثر فيها	خاضع للسلوك الهوكي ولم ينحرف عنه إلا بمقدار ضئيل جداً	21.164	المادة لا يبدو بصورتها الأصلية رغم أن علامات التغير في الشكل مازالت غير واضحة جداً للعين المجردة بعد زوال الحمل المؤثر فيها	يظهر سلوك المرن والسلوك اللزج جنباً إلى جنب
Nov+Hybrid	2.044	المادة تبدو بصورتها الأصلية للعين المجردة.	خضوع بشكل تام تقريباً للسلوك الهوكي	2.729	المادة تبدو بصورتها الأصلية للعين المجردة.	خضوع بشكل تام تقريباً للسلوك الهوكي	5.524	المادة تبدو بصورتها الأصلية للعين المجردة.	خضوع بشكل تام تقريباً للسلوك الهوكي	22.096	المادة لا يبدو بصورتها الأصلية رغم أن علامات التغير في الشكل مازالت غير واضحة جداً للعين المجردة بعد زوال الحمل المؤثر فيها	يظهر السلوك المرن والسلوك اللزج جنباً إلى جنب	40.509	حدوث اختلال بدرجة ملفته للنظر في صورة المادة الأصلية كما يبدو للعين المجردة بعد زوال الحمل المؤثر فيها	يظهر السلوك اللزج غالباً على السلوك الهوكي
Nov+asb.F.	0.484	المادة تبدو بصورتها الأصلية للعين المجردة.	خضوع بشكل تام تقريباً للسلوك الهوكي	1.113	المادة تبدو بصورتها الأصلية للعين المجردة.	خضوع بشكل تام تقريباً للسلوك الهوكي	3.141	المادة تبدو بصورتها الأصلية للعين المجردة.	خضوع بشكل تام تقريباً للسلوك الهوكي	12.564	المادة لا يبدو عليها تغيرات أو ردود أفعال في صورتها الأصلية للعين المجردة بعد زوال الحمل المؤثر فيها	خاضع للسلوك الهوكي ولم ينحرف عنه إلا بمقدار ضئيل جداً	23.034	المادة لا يبدو بصورتها الأصلية رغم أن علامات التغير في الشكل مازالت غير واضحة جداً للعين المجردة بعد زوال الحمل المؤثر فيها	يظهر سلوك المرن والسلوك اللزج جنباً إلى جنب

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

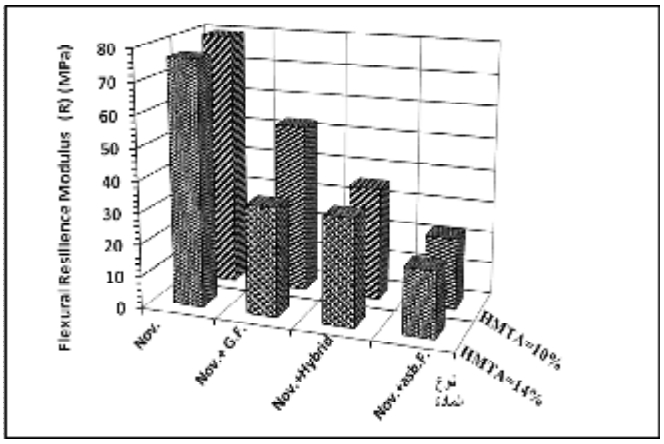
الجدول (3) يوضح قيم النسبة المئوية للزيادة في معامل الرجوعية التزحفي المستنبطة من جدول (1 و2) لتحديد الفئات التسع الرئيسية لنوعية سلوك متراكبات الثرموست بشكل عام وعلامات التحذير المرتبطة بهيئتها مع مضي زمن تحميلها تحت إجهاد الثلاثي الركيزة.

المعيار الأساسي لتحديد مدى التغير في كفاءة امتلاك المادة لصفة المرونة من حيث الوجهة الهندسية كدالة للزمن.	الوصف	الفئة	الإضرار المنظورة في شكل المادة التي تنذر ببقاء أي تشكل دائم بعد زوال الحمل المؤثر	ما يمكن أن تحققه هذه المعايير من تغير للسلوك الهوكي نحو الاتجاه السلبي (السلوك النيوتني)	المغزى
R(%) = 0	Excellent quality	1	تستعيد المادة إبعادها الأصلية بشكل عام وبذلك تكون مستعيدة هيئتها الأصلية	جسم مرن نموذجي كدالة للزمن (وفيه يستحيل أن تعاني هذا المادة من السلوك اللزج (النيوتني)	يشير المعيار التالي إلى قدرة المادة ثانية على استرجاع أكبر كمية من الطاقة الميكانيكية المصروفة لانحناء المادة الواقعة تحت حمل حد التناسب ألانعطافي في خلال فترات تحميل طويلة والتي تختزن في وحدة حجومها وخلاصة هذا المعيار عدم بقاء أي تشكل دائم (يسمى التغير في الإبعاد للمادة تشكلا) بعد زوال الحمل المسلط، وهذا دليل على خضوع المادة للسلوك الهوكي لتوصف المادة بكونها تامة المرونة لكن هذه النتيجة نظرية ولا تتناسب مع الإمكانيات العملية لعدم توفر مادة مثالية لا تتغير فيها الخواص الميكانيكية مع مرور الوقت تحت حمل حد التناسب.
0<R(%)≤10	Very good quality	2	الجسم يبدو بصورته الأصلية للعين المجردة	جسم مرن – لدن كدالة للزمن وفيه هذا الجسم سلوكه مشابه للسلوك الهوكي ألا أنه لا يخلو من اثأر للسلوك اللزج (Viscous).	أن مقدار بسيط من الطاقة الميكانيكية المختزنة في المادة لن تسترجع (أو تختفي) بعد زوال حمل الانعطافي عنها خلال فترة من زمن التحميل وعليه فيعني ذلك بقاء تشكل دائم بعد زوال الحمل المؤثر بمقدار ضئيل جدا جدا بطريقة غير ملفتة للنظر.
10<R(%)20	good quality	3	الجسم يبدو للعين المجردة بصورته (أو شكله) الأصلية	جسم مرن – لدن كدالة للزمن (وفيه يتصرف هذا الجسم على نفس المنوال السابق حيث لا يتعدى بخضوعه السلوك الهوكي، وأن كانت هناك بشائر لأثار إنماء وتراكم السلوك اللزج في المادة دون حدوث إضرار ظاهرية.	عدم القدرة أو نقص القدرة على استعادة الأبعاد الأصلية بشكل تام تقريبا في ظل النقصان الغير حاد في الطاقة المرنة المسترجعة بعد زوال حمل الانعطاف نتيجة تراكمها في المادة رغم ذلك فأن هذه الكمية من الطاقة الغير مسترجعة تعتبر محدودة حيث يعتبر تواجدها خلال فترة زمنية معينة غير ضار.
20<R(%)30	Very fair quality	4	جسم لا يبدو بصورته الأصلية مقارنة بمثيله في المعايير (المقاييس) السابقة رغم أن هكذا جسم لا تبدو عليه علامات التغير بشكل واضح جدا للعين المجردة.	جسم مرن – لدن كدالة- للزمن (وفيه الجسم يظهر السلوك الهوكي) بجانبه السلوك اللزج وعادة يتواجد هذا السريان بكميات أقل من السريان النموذجي.	يتلازم ظهور صفات اللدونة بجانب صفات المرونة حتى حمل التناسب الانعطافي مع وجود جزء غير بسيط من الطاقة الميكانيكية المخزونة في المادة والغير مسترجعة بعد زوال الحمل وفي نفس الوقت التغير في الشكل غير واضح وجلي.
30<R(%)≤40	Fair quality	5	حدوث اختلال بدرجة ملفته للنظر في صورة الجسم الأصلية للعين المجردة.	جسم مرن – لدن كدالة للزمن يجمع بين السلوك المرن والسلوك اللزج الميكانيكي لكنه يفقد كفاءة السلوك المرن جزئيا.	مع استمرار عملية النقص في الطاقة المرنة المسترجعة بمرور وقت التحميل يتبين مدى تأثير وفرة هذه الطاقة المختزنة بشكل دائم في المادة في رفع قدرة المادة على أن يكون لها تشكل دائم والذي ينذر بأخطار غير مبشرة ليعتبر هذه المعيار الحد الأدنى لظهور أول هذه الإعراض جلية للعين مجردة.
40<R(%)≤50	Poor quality	6	زيادة مؤشرات التشكل الدائم على صورة الجسم الأصلية بدرجة واضحة بشكل جلي للعين المجردة.	جسم مرن – لدن كدالة للزمن (وفيه يتزايد السلوك اللزج بينما يتناقص السلوك الهوكي مع مضي وقت التحميل).	في ظل النضوب الشديد في الطاقة الميكانيكية المسترجعة تتزايد قدرة المادة على أن يكون لها تشكل دائم بدرجة تنذر بأخطار مباشرة تقلل من كفاءة عملية استعادة المادة الوضع الأصلي بعد زوال الحمل المسلط.
50<R(%)≤60	Very poor quality	7	التغيرات التي تحدث للمادة بعد زوال الحمل المؤثر عليها أصبحت للعين البشرية سهلة الملاحظة.	جسم مرن - لدن كدالة للزمن (وفيه السلوك اللزج يهيمن على السلوك العام للمادة بدرجات متزايدة خلال فترة التحمل وعلى كل حال فقد تناقص السلوك المرن شيئا فشيئا.	أن تخلف نسبة عالية من الطاقة انفعال الثني في جسم المادة بمضي الوقت تؤكد مستوى الارتفاع في مساهمة هذه السموم المتراكمة لدرجة تمنع عودة الجسم إلى وضعه الأصلي بعد زوال الحمل المؤثر.
60<R(%)≤70	Bad quality	8	تولد تشوه كبير في صورة الجسم الأصلية.	جسم مرن - لدن كدالة للزمن (وهذا الجسم يقع تحت سيطرة السلوك اللدن تماما).	قد ينشأ عند تراكم هذه الكميات الكبيرة من الطاقة انفعال الثني في جسم المادة السماح لها بتغير لدن كبير تحت حمل ثابت بمرور الوقت.
70<R(%)≤100	Very Bad quality	9	تغير كبير في شكل أو صورة الجسم قد يكون بدون كسر أو بكسر.	جسم مرن - لدن كدالة للزمن (جسم تام اللدونة).	أن طاقة انفعال الثني المرنة التي سوف تختزن في المادة أكبر بكثير من الطاقة المرنة المسترجعة وبهذا سوف تكون لهذه المادة تشكل دائم بعد إزالة الحمل المؤثر.

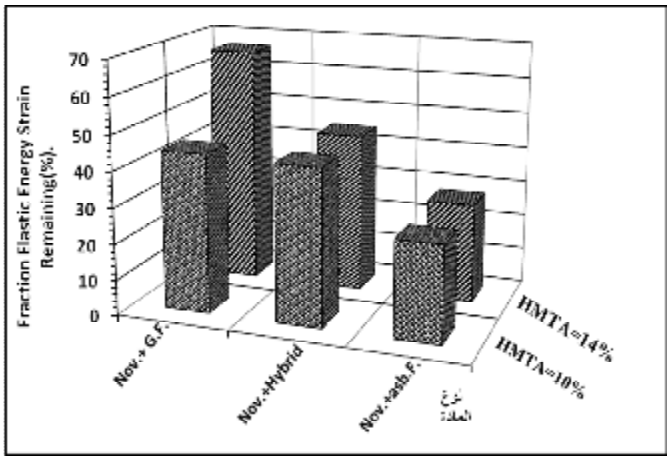
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



الشكل (1) طريقة اختبار التزحف لقياس معامل الرجوعية التزحفي.

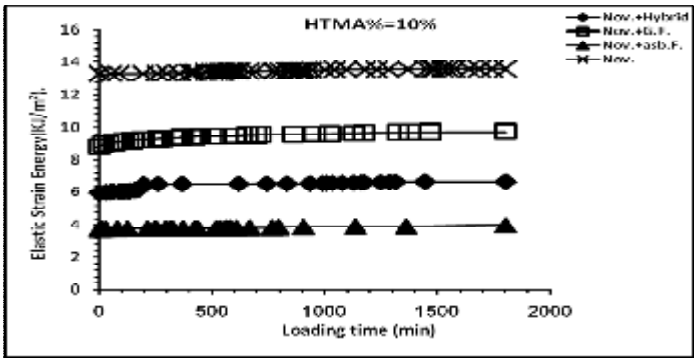


الشكل (2) تغير معامل الرجوعية التزحفي لحظة تسليط الحمل الثلاثي الركيزة للمواد المحضرة في أطار التغير في نسبة (HTMA).

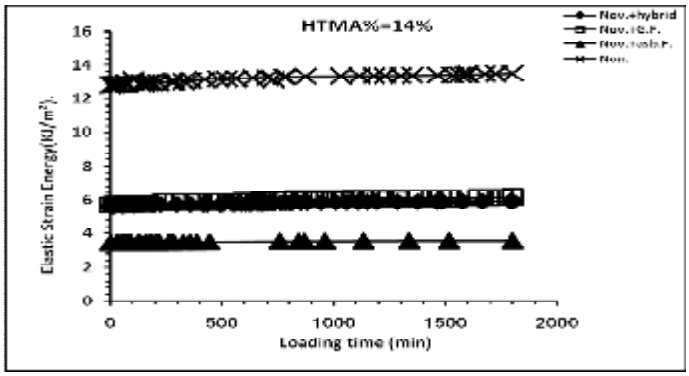


الشكل (3) المتبقي من طاقة الانفعال المرنة المختزنة في المتراكبات المحضرة بالنسبة إلى النموذج الغير المدعم لحظة تسليط الحمل الثلاثي الركيزة.

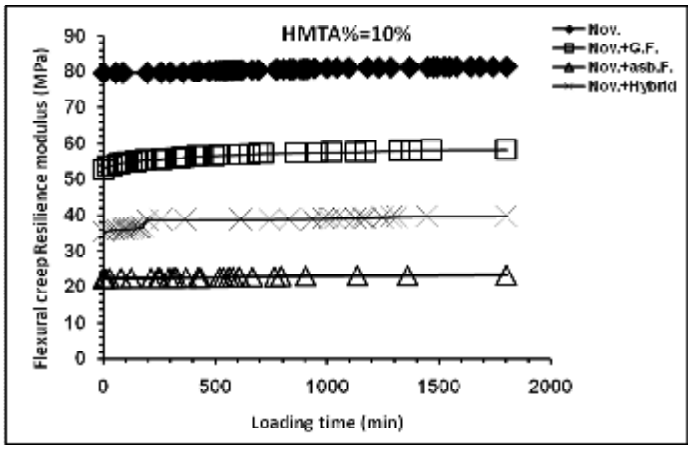
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



الشكل (4) العلاقة بين طبيعة المواد المدعمة لمادة نوفولاك ذات نسبة 10%وزناً من (HTMA) وطاقة الانفعال المرنة بمضي زمن التحميل الثلاثي الركيزة.

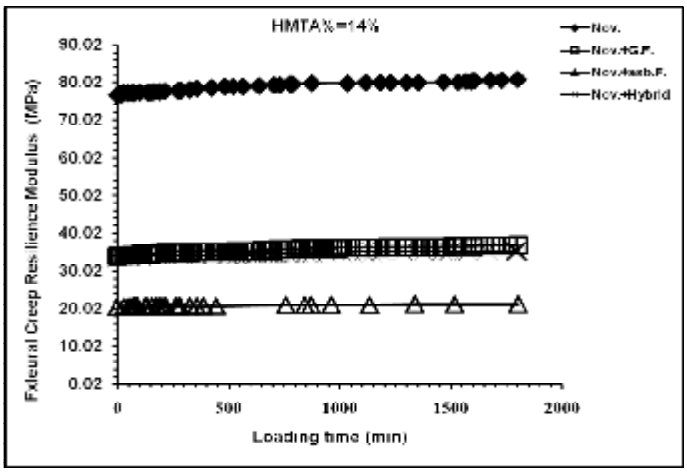


الشكل (5) العلاقة بين طبيعة المواد المدعمة لمادة نوفولاك ذات نسبة 14%وزناً من (HTMA) وطاقة الانفعال المرنة المرنة بمضي زمن التحميل الثلاثي الركيزة.

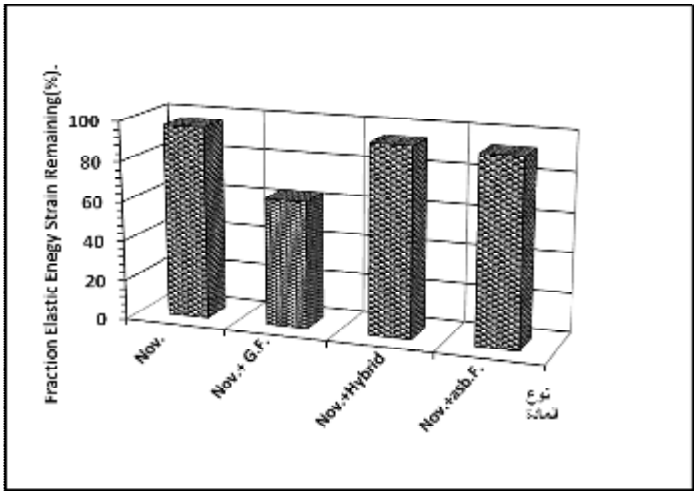


الشكل (6) تأثير طبيعة المواد المدعمة على معامل الرجوعية التزحفي لمادة النوفولاك ومتراكباته ذات نسبة 10% وزناً من (HTMA) بمضي زمن التحميل الثلاثي الركيزة.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



الشكل (7) تأثير طبيعة المواد المدعمة على معامل الرجوعية التزحفي لمادة النوفولاك ومتراكباته ذات نسبة 14% وزناً من (HTMA) بمضي زمن التحميل الثلاثي الركيزة.



الشكل (8) المتبقي من طاقة الانفعال المرنة بالنسبة للنماذج ذات 10% وزناً من (HTMA) لحظة تسليط الحمل الثلاثي الركيزة.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com