

Determination Some Creep Factors For Lead Under Tension

Tariq Mohammed Ali Al Nuaimi

Applied Science Department, University of Technology / Baghdad

Email: tarekza2001@gmail.com

Received on:22/2/2015 & Accepted on:9/7/2015

ABSTRACT

There are a lot of engineering structures working at elevated temperatures for long periods, as in chemical plants, generation, transfer and energy application or devices uses of energy, such as turbines and reactors. When those parts work at high temperature, it was found that their materials which exposed to loads will undergo to plastic deformation and deforms slowly like a crawl turtle, for this reason they named this slow deformation as a Creep.

Care has been given in this research has to study the issue of creep under the influence of various loads under certain temperature, and the implementation of a creep test machine by a tension samples made from lead .

This research includes a study of creep parameters under the influence of temperatures. Creep properties were investigated under constant stress and fixed temperature in terms of the relation between a strain for period of times by the specimen used in this study which was lead and the applied load was tension.

Keywords: Creep rate, Creep limit, High temperature.

تحديد بعض معاملات الزحف للرصاص تحت اجهاد الشد

الخلاصة

تعمل الكثير من الأجزاء الهندسية في درجات حرارة مرتفعة ولفترات طويلة كما هو الحال في المصانع الكيميائية وايضا في مجال توليد وتحويل وتطبيقات الطاقة والوسائل المستخدمة فيها كما في التوربينات والمفاعلات ، لقد وجد عند عمل هذه الاجزاء بدرجات حرارة مرتفعة فان مادتها التي تتعرض لاحمال سوف تتعرض الى تشوه لدن ببطيء شديد أشبه بزحف السلحفاة ، لذلك يسمى هذا التشكيل البطيء بالزحف (Creep) .

لقد إهتم هذا البحث بدراسة موضوع الزحف تحت تأثير أحمال مختلفة وبدرجة حرارة ثابتة وتنفيذ جهاز اختبار الزحف بالشد لعينات من مادة الرصاص.

يتضمن هذا البحث دراسة معالم الزحف تحت تأثير درجات الحرارة . ان خواص الزحف التي تم التقصي عنها تحت اجهاد ثابت ودرجة حرارة معينة وذلك عن طريق العلاقة بين الانفعال لفترات زمنية للعينة المستخدمة في هذه الدراسة التي تكون من الرصاص النقي تحت تأثير حمل شد .

المقدمة

في بعض الأحيان يتم تصميم ماكينات أو منشآت يتم تشغيلها تحت درجات حرارة عالية مثل توربينات البخار ، توربينات الغاز ، معامل تكرير الزيت أو البترول وبعض المعدات الكيميائية والمفاعلات الذرية ... الخ ، أو يتم تشغيلها تحت درجات حرارية منخفضة حيث يجب على المهندس

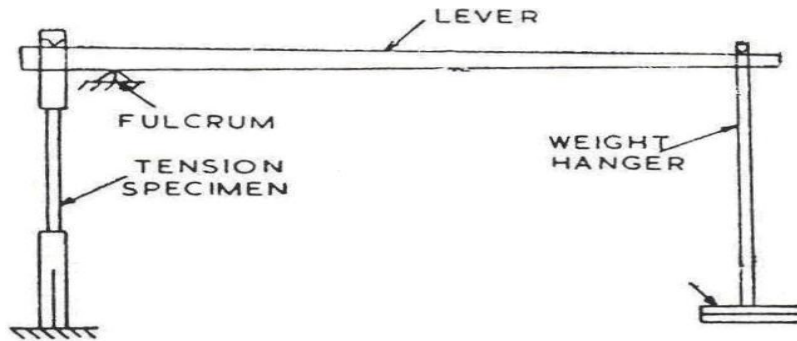
المصمم أن يأخذ في عين الاعتبار تأثير درجات الحرارة العالية أو المنخفضة على الخواص الميكانيكية للمعدن وخاصة الزحف (Creep) الذي هو عبارة عن تشكيل المعدن لفترات زمنية تحت تأثير الأحمال [1-3] ، قد يسبب الزحف تغيرات بطيئة في الأبعاد والشكل والتي تزداد مع الزمن وتؤدي في النهاية إلى الكسر ، لذلك يجب على المهندس أخذ التشكيلات الناتجة عن الزحف في عين الاعتبار وذلك عند تصميم أجزاء الماكينات التي بها أجزاء ثابتة وأخرى متحركة مما يسبب عطل هذه الأجزاء بعد فترة من الزمن ، وهناك مواد يحدث لها زحف تحت تأثير الإجهاد في درجات حرارة الغرفة مثل الرصاص والخشب والبلاستيك والخرسانة.

سلوك الزحف لمعدن الرصاص

يعود سبب تعرض معدن الرصاص للانفعال اللدن إلى درجة حرارة انصهاره الواطئة نسبياً (327.5 درجة مئوية) ، حيث يحصل الزحف له عند إجهادات منخفضة مما يقود أخيراً إلى الفشل قبل وصول قيمة الإجهاد إلى مقاومة الشد القصوى للرصاص (12 – 17MPa) [6]. على المدى الطويل ، هناك صعوبة في تحديد مقاومة الزحف للمعادن حيث تحتاج الفحوصات إلى عدة سنوات ، ومع ذلك فقد أوجدت الدراسات أن الزحف يمكن أن يحصل للرصاص (نقاوة 99.99%) بمدى إجهاد أقل من 0.7 MPa وباستطالة مقدارها 0.06% لفترة زمنية مقدارها 500 يوم عند درجة حرارة 30 درجة مئوية ، وعند مضاعفة الإجهاد تصبح الاستطالة 2% ولنفس الفترة الزمنية [6]. تشير دراسات أخرى أنه عند الظروف الاعتيادية لا يحصل أي زحف للرصاص نقاوة 99.9% إذا كانت الإجهادات المسلطة أقل من 1.72MPa (أو 2.75MPa في حالة الضغط) ، حيث يعزى سبب هذه الاختلافات في النتائج إلى الاختلاف في درجات الحرارة وظروف الفحص الأخرى [6]. لقد تؤثر العمليات التشغيلية كثيراً في تحسين مقاومة الرصاص للزحف وكذلك بعض الإضافات من المعادن السبائكية ، حيث أن إضافة كميات قليلة من النحاس أو الفضة يمكن أن تحسن كثيراً من مقاومة الزحف .

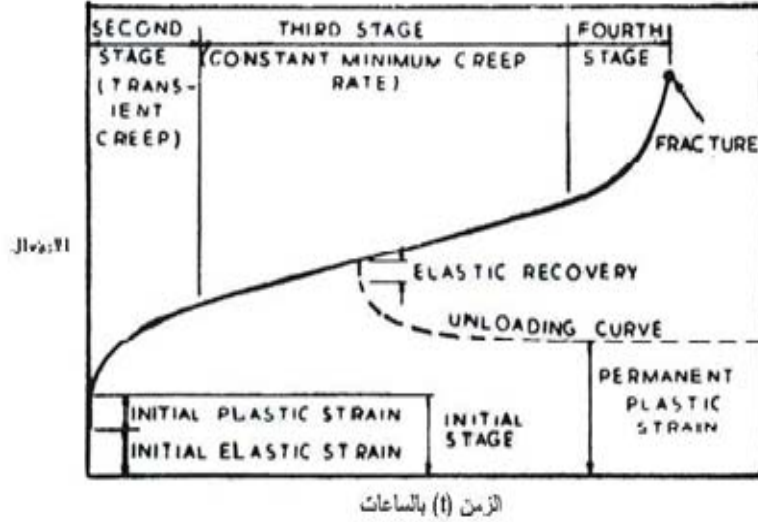
خواص الزحف ذو الإجهاد الثابت والحرارة الثابتة

تبنى أغلب المعلومات الموجودة للزحف على نتائج اختبارات الشد المعرضة إلى حمل ودرجة حرارة ثابتين . وللحصول على معلومات الزحف التصميمية يتم تعريض مجموعة من تلك العينات إلى أحمال ثابتة بواسطة رافعة كما في الشكل (1) ويقاس الانفعال بواسطة مقاييس بصرية غالباً أو عن طريق جهاز الحاسوب المرتبط بجهاز الاختبار عند فترات متفاوتة وذلك بوضع العينة في أفران كهربائية ، حيث يتم اختبار مجموعة من العينات القياسية في نفس الوقت مع تسجيل قيم الانفعال الحاصل عند تغير الإجهاد والحرارة لكل عينة . وتختبر العينة لمدة 1000 ساعة (حوالي 42 يوماً) ثم ترسم مجموعة من المنحنيات لقيم الإجهادات المختلفة ودرجة حرارة ثابتة ، ويلزم التنبيه هنا أن هناك انفعالاً مرناً ابتدائياً يقاس مع الزمن [10].



شكل (1): تحميل الزحف في الشد [10]

وكقاعدة عامة يكون منحنى العلاقة بين الانفعال والزمن كما في الشكل (2) مكوناً من أربع مراحل ، [10] :
المرحلة الأولى اللحظية ، المرحلة الثانية العرضية ، المرحلة الثالثة ، المرحلة الرابعة



شكل(2): منحنى الزحف مع الزمن موضعاً المراحل المختلفة للزحف [10]

ويختلف شكل منحنى الزحف تبعاً إلى الحجم البلوري Crystal grain size والإصلاح بالزمن Age hardening والتأكسد Oxidization والصدأ Corrosion [7] ، وكقاعدة عامة تتشابه خواص المواد غير المعدنية في الزحف مثل البلاستيك مع خواص المعادن إلا أنه تحت تأثير الإجهادات المنخفضة تظهر بعض أنواع البلاستيك معدل زحف أقل بالنسبة إلى الزمن خلال المرحلة الثالثة ، ويوضح الجدول (1) درجة حرارة الزحف مع درجات حرارة الانصهار لمجموعة من المعادن .

جدول(1): قيم تمثل درجة حرارة الزحف مع درجات حرارة الانصهار لمجموعة من المعادن [10]

مدى الانصهار التقريبي	درجة حرارة الزحف	السبيكة Alloy	
Approximate melting	Creep temperature		
(350-800) ^o F (175-425) ^o C	Room temperature	Lead , Tin , Zinc	الرصاص والقصدير والزنك
(900-1200) ^o F (480-650) ^o C	(200-400) ^o F (95-205) ^o C	Aluminum	الألمنيوم
(1500-1950) ^o F (815-1065) ^o C	(300-400) ^o F (150-205) ^o C	Brass and Bronze	البراس والبرونز
(2400-2750) ^o F (1315-1510) ^o C	650 ^o F (345) ^o C	Carbon steel	الصلب الكربوني

طرق تفسير بيانات اختبارات الزحف Interpretation of creep data

يحتاج المصمم إلى علاقة بين انفعال الزحف والزمن لاجهاد معين لكي يتمكن من انتخاب إجهاد زحف مسموح به وذلك في الفترة المقدره لعمر الجزء ومن أهم الطرق التي وجد أنها تطابق نسبياً نتائج الاختبارات لكثير من المواد الهندسية طريقة اللوغارتم – اللوغارتم المعدلة – Modified Log – Log Method ففي هذه الطريقة يقسم انفعال الزحف e_t عند أي زمن (t) إلى قسمين هما التقاطع (e_0) المساوي للانفعال المرن مضافاً إليه انفعال الزحف الابتدائي ثم الجزء الآخر وهو الانفعال (e) المتوقع على الزمن وكما موضح في الشكل (3) [9] ، أي أن :

$$e_t = e_0 + e \quad \dots (1)$$

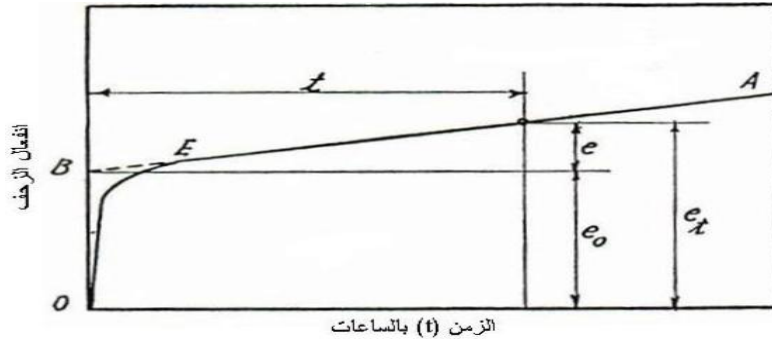
وبتطبيق المعادلة (1) يستبدل منحنى الزحف – الزمن OEA والذي يتكون من الجزء المنحني OE والجزء المستقيم EA بالمستقيمين OB و BA ، ويعتبر هذا التعويض مناسباً ، حيث أن انفعالات الزحف لفترة قصيرة من الزمن لا أهمية لها .

عند تطبيق المعادلة (1) يجب وضع كل من (e_0) ، (e) بدلالة الإجهاد والزمن . وقد بينت الاختبارات على بعض المعادن وبعض أنواع البلاستيك أن العلاقة بين (e_0) والإجهاد (f) تعطى بالمعادلة الآتية [9] :

$$e_0 = D. \left(\frac{f}{f_0}\right)^p \quad \dots (2)$$

حيث

D ، f_0 ، p ثوابت تجريبية تتوقف قيمها على نوع المادة ودرجة الحرارة .



شكل(3): العلاقة بين انفعال الزحف والزمن . [9]

لقد وجد أيضاً أن انفعال الزحف المتوقع على الزمن (e) يرتبط مع الإجهاد والزمن بالمعادلة الآتية [9] :

$$e = Bt. \left(\frac{f}{f_0}\right)^n \quad \dots (3)$$

حيث B ، n ثوابت تجريبية تتوقف قيمها على نوع المادة المختبرة ودرجة الحرارة . وبوضع قيم (e_0) ، (e) من المعادلتين (2) ، (3) في المعادلة (1) فإن الانفعال (e_t) يصبح [9] :

$$e_t = D. \left(\frac{f}{f_0}\right)^p + Bt. \left(\frac{f}{f_0}\right)^n \quad \dots (4)$$

في كثير من التطبيقات يتم أخذ الانفعالات لأزمنة طويلة مثل خمس أو عشر سنوات كقاعدة للتصميم ، وفي تلك الحالات تعتبر قيمة انفعال الزحف (e_0) صغيرة بالنسبة لقيمة (e) وبالتالي يمكن إهماله ، فنصبح المعادلة (4) كما يلي [9] :

$$e_t = e = Bt \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^n$$

$$\frac{e_t}{t} = B \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^n \quad \text{or} \quad C = B \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^n \quad \dots(5)$$

حيث C تساوي e_t / t والتي تمثل معدل الزحف أو ميل الخط المستقيم EA في الشكل (4) ، وبأخذ لوغارتم الطرفين للمعادلة (5) فإن [9] :

$$\text{Log } C = n \text{ Log } f + \frac{B}{f_0^n} \quad \dots (6)$$

تمثل المعادلة (6) علاقة مستقيمة على ورقة اللوغارتمات ويمكن تمثيلها بالمعادلة [9]

$$Y = n x + b \quad \dots (7)$$

حيث :

$$Y = \text{Log } C \quad , \quad x = \text{Log } f$$

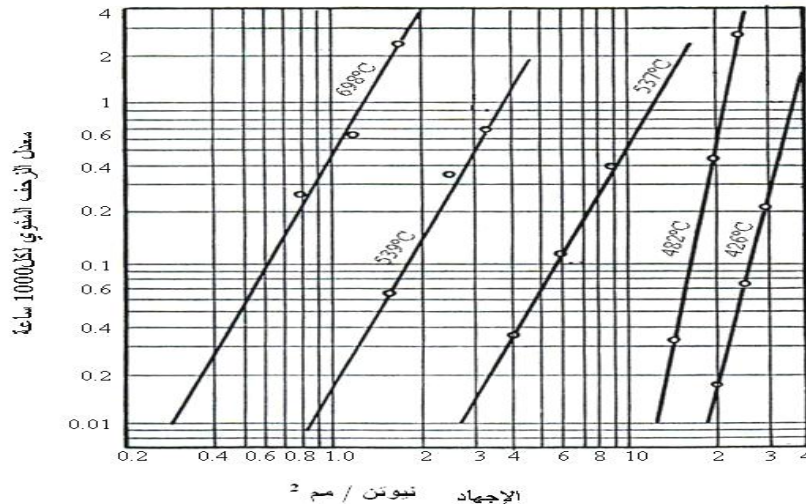
يمثل الشكل (4) انطباق العلاقة التجريبية بالمعادلة رقم (1) مع نتائج الاختبارات لصلب كاربوني عند درجات حرارة مختلفة ، فمن الشكل يتبين أن النقاط الموقعة تكون بالتقريب خطأً مستقيماً وأن المعادلتين (5) ، (6) تعتبران صحيحتين لمدى كبير من الاجهادات وتمثل قيمة (n) ميل الخطوط المستقيمة في الشكل (5) بينما تعطى قيمة (b) المساوية الى مقدار التقاطع مع محور (Y)

حيث :

$$\text{Log } \frac{B}{f_0^n} \quad x = \text{Log } f = 0$$

$f = 1$ ان :

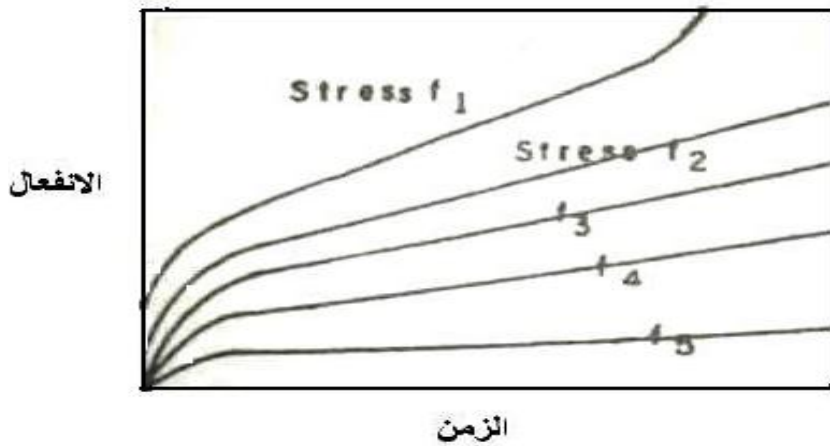
تنتخب قيمة الثابت (f_0) اختيارياً وتؤخذ قيمته غالباً على أنها 70 كيلو غرام/السنتمتر المربع ، ويطلق على العلاقة بين معدل الزحف والإجهاد في المعادلة (6) اسم علاقة اللوغارتم - اللوغارتم .



شكل (4): علاقة الاجهاد - معدل الزحف لصلب كاربوني في الشد [9]

إيجاد حد الزحف

حد الزحف هو الاجهاد المسموح به عند تصميم الاجزاء المعرضة الى درجات تشغيل حرارية عالية معلومة والذي يعطي انفعالا لدنا مسموحا به في زمن معلوم من التشغيل ، يساعد هذا الاجهاد المهندس المصمم في تصميم اجزاء الالات والمنشآت المعرضة لدرجات الحرارة العالية بدون حدوث انهيار فيها نتيجة للزحف ، والشكل (5) يوضح العلاقة بين الزحف في الشد والزمن لقيم اجهاد مختلفة ، حيث $f_1 > f_2 > f_3 > f_4 > f_5$.



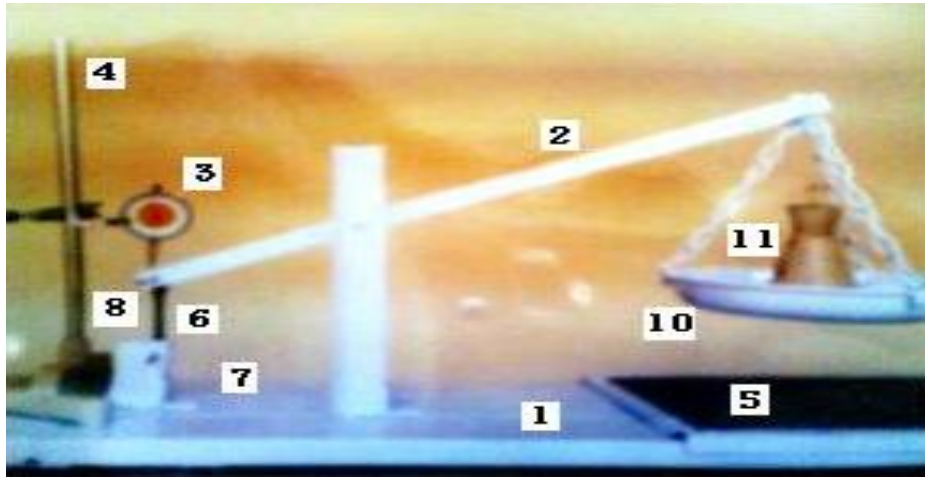
شكل(5): منحنيات الزحف في الشد مع الزمن لقيم اجهادات مختلفة [10]

- عادة ما يتم اتباع الخطوات التالية في تحديد حد الزحف ، وهي :
1. لايجاد قيمة حد الزحف فانه لايد من رسم العلاقة بين الزحف والزمن لقيم مختلفة من الاجهاد وعند درجة حرارة ثابتة ، ونظرا لان هذا الزمن قد يصل في بعض الاحيان الى عشرات السنين فإنه يلزم تفسير نتائج اختبارات الزحف ذات المدى القصير نسبيا وذلك بين المماسات عند نهاية المراحل . وللحصول على نتائج اكثر دقة يجب استمرار إختبار الزحف لأطول مدة ممكنة لتغطي جزء كبير من المرحلة الثالثة .
 2. يمكن رسم منحنيات تمثل العلاقة بين الاجهاد والزحف لسنوات مختلفة لنفس درجة الحرارة الثابتة .
 3. تكرار الخطوات 1 ، 2 لرسم منحنيات تمثل العلاقة بين الاجهاد والزحف لسنوات مختلفة على ان يمثل كل منحنى خاصا بدرجة حرارة ثابتة مختلفة .
 4. استعمال هذه المنحنيات لرسم منحنيات اخرى تمثل العلاقة بين الاجهاد ودرجة الحرارة لقيم مختلفة من الزحف ومن ثم تحديد قيمة حد الزحف .

جهاز اختبار الزحف

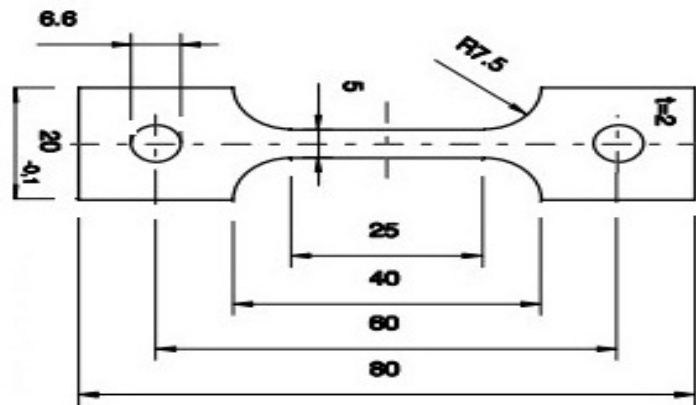
لقد تم تصميم وتصنيع جهاز اختبار الزحف المبين في الشكل (6) من الأجزاء التالية :

1. القاعدة .2. الذراع .3. مقياس انفعال .4. حامل مقياس الانفعال .5. وسادة كتم الصدمة .6. العينة .7. كراسي تثبيت .8. مسامير تثبيت .9. ساعة توقيت .10. حامل ائقال .11. ائقال مختبرية .



شكل (6): جهاز اختبار الزحف المنفذ

تكون العينة المستخدمة في الاختبار بأبعاد معينة وحسب مواصفات شركة G.U.N.T الألمانية [8] ، ويوضح الشكل (7) أبعاد عينة الشد المستخدمة في اختبار الزحف .



شكل (7): أبعاد العينة المستخدمة في اختبار الزحف [8]

الجانب العملي

ان المادة التي تم اختيارها لعمل هذه الاختبارات هي معدن الرصاص النقي 99.9% والسبب في اختيار هذا المعدن هو انه لاجراء اختبار الزحف يتطلب ثبوت درجة الحرارة وهذا يتطلب وجود فرن تسخين للعينة لغرض رفع درجة حرارتها الى الدرجة المطلوبة وحفظها في هذه الدرجة ، ولعدم امكانية تصنيع هذا الفرن وعدم توفره فلقد تم اختيار معدن الرصاص لانه يبدي انفعال زحف واضح حتى في درجة حرارة الغرفة وكذلك قصر فترة الاختبار له نوعا ما بالمقارنة مع بقية المعادن مما يجعله ملائما لعمل الاختبارات عليه في هذا الجهاز .

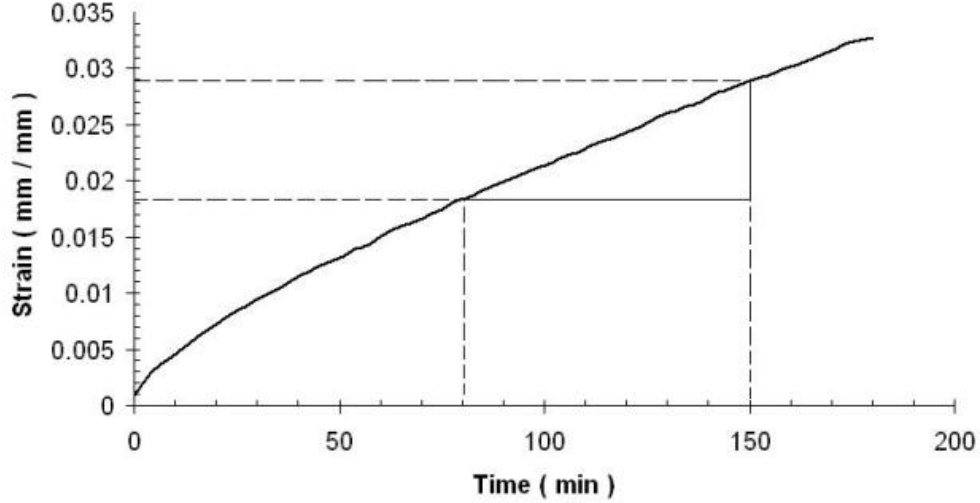
النتائج والمناقشة

في أدناه الاختبارات تم تعريض عينات من الرصاص الى احمال مختلفة وبثبوت درجة الحرارة ، حيث كانت الاحمال (4 ، 5.5 ، 6) كغم مضافا لكل حمل كتلة تساوي 0.3 كغم وهي كتلة الحامل والسلاسل للجهاز ، ولكل عينة من هذه العينات تم تسجيل بيانات الزمن والاستطالة ليتسنى لنا رسم

منحنى الزمن – الانفعال وحساب معدل الزحف لها ، حيث ان قيم الاستطالات المتحصل عليها يتم استخراج الانفعال المقابل لها وذلك بقسمة الاستطالة الحاصلة للعينة على الطول الاصلي .

نتائج اختبارات الزحف للرصاص بحمل 4.3 كغم

يوضح الشكل (8) منحنى الزحف لعينة الرصاص تحت تأثير حمل 4.3 كغم ، يلاحظ ان العينة اعلاه قد فشلت بعد 180 دقيقة من بدء الاختبار وقد حصل فيها استطالة نهائية بمقدار 3.77 مم ، وتوضح من الشكل مراحل الزحف الاربعة وبهذا فانه يصبح من المستطاع حساب قيمة معدل الزحف بواسطة تعيين ميل المنحنى الذي يمثبه الخط المستقيم للمرحلة الثالثة ، وكالاتي :



شكل (8): منحنى الزحف وتحديد معدل الزحف لعينة الرصاص تحت تأثير حمل 4.3 كغم ودرجة حرارة 25 درجة مئوية

وبذلك يكون معدل الزحف لهذه العينة تحت حمل 4.3 كغم :

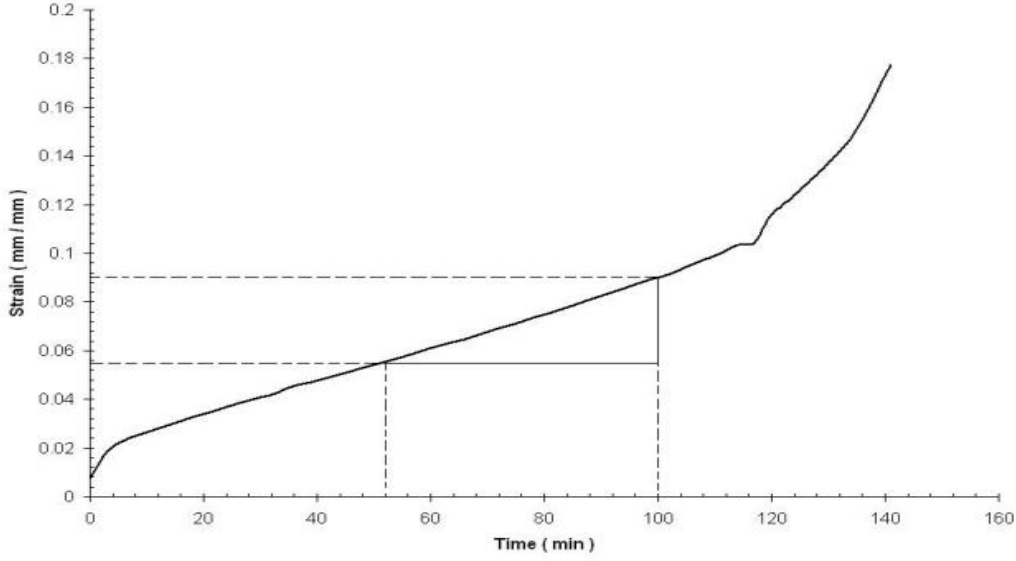
$$\text{slope} = \frac{0.029 - 0.0183}{150 - 80}$$

$$C = 0.000153 \frac{\text{mm/mm}}{\text{min}}$$

$$C = 9.18 \frac{\text{mm/mm}}{1000 \text{ hours}}$$

نتائج اختبارات الزحف للرصاص بحمل 5.8 كغم

يوضح الشكل (9) منحنى الزحف لعينة الرصاص تحت حمل 5.8 كغم .



شكل (9): منحنى الزحف وتحديد معدل الزحف لعينة الرصاص تحت تأثير حمل 5.8 كغم ودرجة حرارة 25 درجة مئوية

لوحظ ان العينة أعلاه قد فشلت بعد 141 دقيقة من بدء الاختبار مع استطالة كلية بمقدار 20.39 مم ، من الشكل السابق يمكن حساب قيمة معدل الزحف بواسطة تعيين ميل المنحنى الذي يمثله الخط المستقيم للمرحلة الثالثة ، وكالاتي :

وبذلك يكون معدل الزحف لهذه العينة تحت حمل 5.8 كغم :

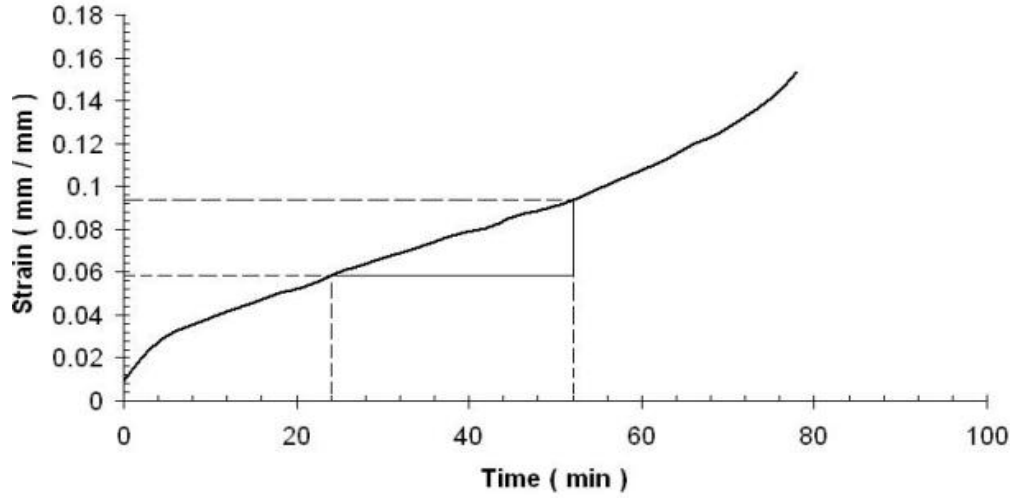
$$\text{slope} = \frac{0.090 - 0.055}{100 - 52}$$

$$C = 0.0007 \frac{\text{mm/mm}}{\text{min}}$$

$$C = 42 \frac{\text{mm/mm}}{1000 \text{ hours}}$$

نتائج اختبارات الزحف للرصاص بحمل 6.3 كغم

يوضح الشكل (10) مراحل الزحف المختلفة لعينة الرصاص تحت تأثير حمل مقداره 6.3 كغم ويتبين منه ان العينة قد فشلت بعد 78 دقيقة وباستطالة كلية مقدارها 17.62 مم ، وتم تحديد معدل الزحف ببيانها وذلك بحساب ميل الخط المستقيم للمرحلة الثالثة ، وكالاتي :



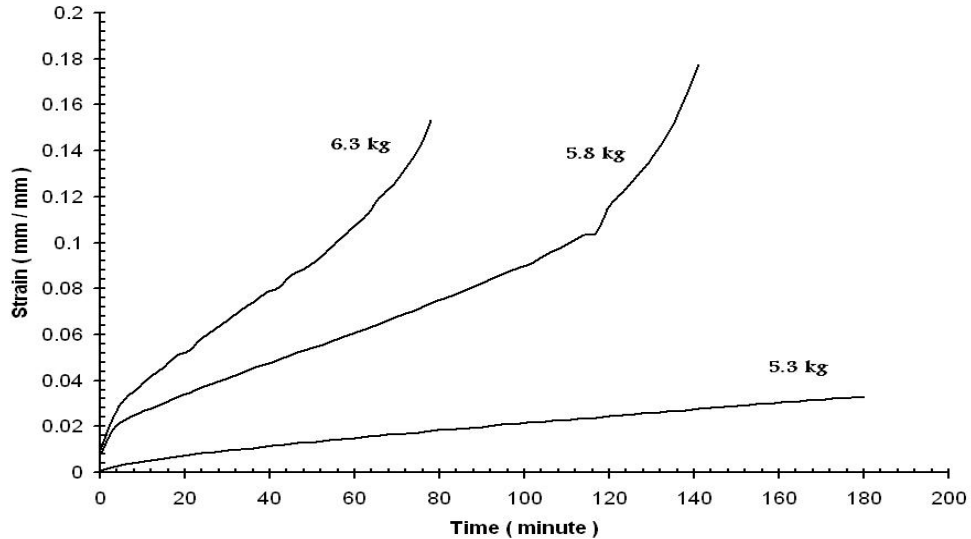
شكل (10): منحنى الزحف وتحديد معدل الزحف لعينة الرصاص تحت تأثير حمل 6.3 كغم ودرجة حرارة 25 درجة مئوية

$$\text{slope} = \frac{0.094 - 0.058}{52 - 24}$$

$$C = 0.00128 \frac{\text{mm/mm}}{\text{min}}$$

$$C = 76.8 \frac{\text{mm/mm}}{1000 \text{ hours}}$$

وأخيرا فإن الشكل (11) يعطي مقارنة واضحة بين منحنيات الزحف لعينة الرصاص تحت تأثير الأحمال المختلفة (6.3 ، 5.8 ، 4.3) كغم وبثبات درجة الحرارة .



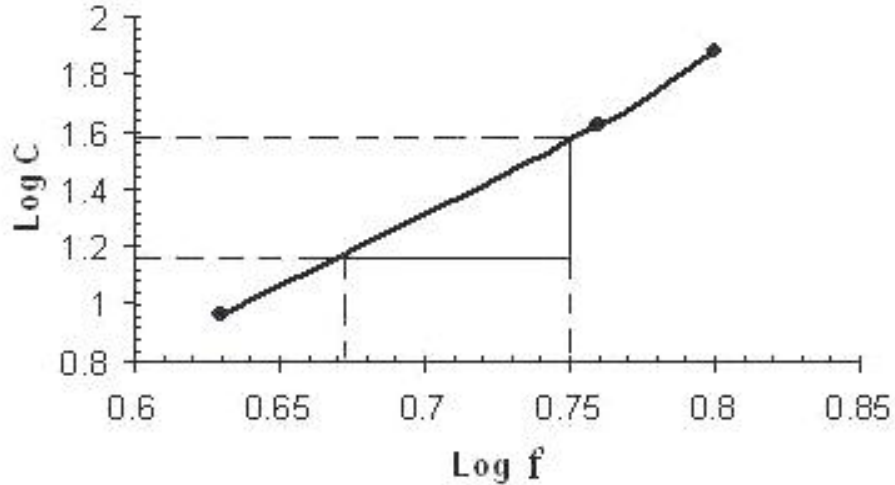
شكل (11): منحنيات الزحف لعينة الرصاص تحت تأثير أحمال 6.3 ، 5.8 ، 4.3 كغم ودرجة حرارة 25 درجة مئوية

تحديد قيم الثوابت n و B للرصاص في درجة حرارة الغرفة

يعتبر تحديد قيم الثوابت n و B والخاصة بمعادلة الزحف التي تربط بين قيمة الحمل وقيمة معدل الزحف المقابل المرحلة الاخيرة في اجراء هذا الاختبار .
الجدول (2) يمثل حسابات رسم العلاقة بين لوغارتم معدلات الزحف (Log C) ولوغارتم الأحمال المقابلة (Log f) .
يوضح الشكل (12) هذه العلاقة بين لوغارتم معدلات الزحف ولوغارتم الاحمال المقابلة تكون خط مستقيم تقريبا وان ميل الخط المستقيم يمثل قيمة الثابت n .

جدول (2): حسابات رسم العلاقة بين لوغارتم معدلات الزحف ولوغارتم الأحمال المقابلة

الحمل (f) (kg)	لوغارتم الحمل (Log f)	معدل الزحف لكل دقيقة / mm / min) (C)	Log (C)
4.3	0.63	0.000153	0.962
5.8	0.76	0.000700	1.620
.36	0.80	0.001280	1.880



شكل (12): منحنى العلاقة بين لوغارتم معدل الزحف ولوغارتم الحمل

فمن ميل الخط المستقيم في الشكل السابق يتم تحديد قيمة الثابت n كما يلي :

$$\text{slope} = \frac{1.58 - 1.16}{0.750 - 0.672}$$

$$n = 5.38$$

وبذلك يمكن الان تحديد قيمة الثابت B وذلك بتعويض قيمة احد لوغارتم الاحمال مع قيمة لوغارتم معدل الزحف المقابل وقيمة الثابت n في المعادلة 5، حيث :

$$C = B \cdot \left(\frac{f}{f_0} \right)^n$$

وبتعويض قيم الحمل الأول ($f = 4.3 \text{ Kg}$) ومعدل الزحف المقابل له :
 $f_0 = 0.7 \text{ Kg} / \text{mm}^2$ و $C = 0.000153 \text{ mm} / \text{mm} / \text{min}$

ينتج :

$$B = 8.77 \times 10^{-9} \text{ mm} / \text{mm} / \text{min}$$

$$B = 5.26 \times 10^{-7} \text{ mm} / \text{mm} / \text{hour}$$

الاستنتاجات والتوصيات

1. من خلال اجراء الجانب العملي لهذا البحث تم الحصول على قيمة الثابت $n = 5.38$ والثابت $B = 5.26 \times 10^{-7} \text{ mm} / \text{mm} / \text{hour}$ لمعدن الرصاص ذو نقاوة 99.9% وبدرجة حرارة الغرفة 25 درجة مئوية ، حيث يمكن استخدام هذين الثابتين دائما في المعادلة (6) لاستخراج قيمة معدل الزحف لهذا المعدن عند تسليط اي اجهاد شد عليه وبنفس درجة الحرارة دون الحاجة الى اجراء الاختبار مرة أخرى .
2. بسبب درجة حرارة الانصهار الواطنة نسبيا لمعدن الرصاص 327 درجة مئوية ، تكون نقطة الخضوع له في الشد واطنة جدا 0.0138 MPa ، حيث يعاني انفعالا لدنا بدرجة حرارة الغرفة ويتوضح ذلك جليا بملاحظة الشكل (9) حيث الانفعال المرن الابتدائي قليل جدا لجميع الاحمال المستخدمة.
3. العينة الثانية تحت تأثير حمل 5.3 kg تعاني اكبر انفعال لدن عن باقي العينات باستطالة كلية مقدارها 20.39 mm ، وتبين فيها مراحل الزحف الاربعة بوضوح اكثر من باقي العينات .
4. من الضروري عند تصميم بعض الاجزاء الداخلة في نظام يعمل بدرجات حرارة عالية إتخاذ اجهاد التصميم على اساس تغير مسموح به في الشكل نتيجة للزحف وذلك بسبب عدم امكانية تحييد مشكلة الزحف تماما .
5. الجهاز الذي تم تصنيعه في هذا البحث مخصص لاختبارات المعادن التي تبدي زحفا ملحوظا تحت قيم احمال قليلة نوعا ما عند درجة حرارة الغرفة ، مما يجعله مناسباً لاستخدامه في توضيح فكرة الزحف للاغراض التعليمية .

المصادر

- [1] William Harrison, Mark Whittaker and Steve Williams, "Recent Advances in Creep Modeling of the Nickel Base Superalloy, Alloy 720 Li", Materials, 6, pp. 1118-1137, 2013.
- [2] Junjie Shen, Ken-ichi Ikeda, Satoshi Hata and Hideharu Nakashima, "Transient Creep in High Purity Aluminum at Ultra-Low Strain Rate and Room Temperature by Constant Stress and Changing- Stress Experiments", Materials Transactions, Vol. 52, No. 10, pp. 1885-1889, 2011.
- [3] P. Nagy and L. M. Vas. "Relationships between Constant Strain Rate and Stress Relaxation Behavior of Polypropylen", Express Polymer Letters, Vol. 1, No. 2, pp. 84-91, 2007.
- [4] E139, "Standard Test Methods for Conducting Creep, Creep-Rupture, and Stress-Rupture Tests of Metallic Materials", ASTM International, 2003.
- [5] Dieter, G.E., Mechanical metallurgy, SI metric edition, McGraw-Hill, 1988.
- [6] www.ila-lead.org/UserFiles/File/factbook/chapter2.pdf
- [7] www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d_417.html
- [8] www.fetweb.ju.edu.jo/me/courses/labs/materials/Lab_files/Binder_Creep.pdf

- [9] غانم ، حسام محمد – مقاومة واختبار المواد المعدنية – دار الراتب الجامعية – بيروت – لبنان – 1985.
- [10] الدرويش ، ابراهيم علي – مقاومة واختبار المواد (الجزء الثاني) – دار الراتب الجامعية – بيروت – لبنان – 1986.
- [11] فياي ، عدنان حميد – الزحف في البولي استر غير المشبع المدعم وتأثير درجة الحرارة فيه- مجلة الهندسة والتكنولوجيا ، المجلد 25 ، العدد 9 ، 2007.
- [12] عزت ، نوال - عدنان ، ايمان- جبار ، عمار - دراسة خواص الزحف للمواد المتراكبه ذات أساس (Al-Mg-Si) مقواة بدقائق من كربيد السليكون – مجلة الهندسة والتكنولوجيا ، المجلد 25 ، العدد 7 ، 2007 .