تأثير دليل التصليد الانفعالي على الخواص الميكانيكية لسبيكة (Al-Si)

د. اسيل حمد عبد*, ذكرى مهدي علي* و عبد الله حمد صنكال*

تاريخ التسليم :2010 /10/12
تاريخ القبول :2011/2/3

الخلاصة

يتضمن هذا البحث دراسة نظرية وعملية لدراسة علاقة دليل التصليد الانفعالي (n) بالخواص الميكانيكية ووصف تغيراته إثناء عملية التشكيل. لقد استخدم سبيكة الألمنيوم بشكل عينات اسطوانية الشكل خاصة باختبار الضغط بنسب تشكيل مختلفة (20%, 30% ,40% ,50% ,60%) ومن خلال النتائج المستحصلة تم ملاحظة ان كل من معامل التصليد الانفعالي والرجوعية (spring back) والصلادة تزداد بزيادة نسبة التشكيل وذلك يعطي انطباع عام عن تصرف وسلوك المعدن اثناء مراحل عملية التشكيل والتغيرات الحاصلة في البنية البلورية وكذلك حصول تناسب لكل من الصلادة والرجوعية الحاصلة في المعدن بصورة مباشرة مع الزيادة الحاصلة في معامل التصليد الانفعالي.

The Effect of Hardening Exponent on Mechanical Properties of (Al-Si) Alloy

Abstract

This approach involves theoretical and experimental study on the effect of cold working percentage on the hardening exponent (n). The important of this object deals with relation of hardening exponent on the spring back and mechanical properties. The materials used was aluminum alloy, which as a round specimen and compressed in different cold working percentage. For the research the following condition are obtained, that the hardening exponent, spring back of metal and hardness increase with increase of cold working percentage. This explain the behavior of metal during forming process and explain the change witch obtain in micro structure ,the hardness and spring back of metal is directly proportional with strain hardening exponent.

المقدمة

تتأثر المعادن عند تشكيلها على البارد (حني , ضغط) بنسب التشكيل (أي مقدار التغير في أبعاد المعدن) حيث تعطي نسب التشكيل مؤشر على قابلية المعدن لتقبل التشوهات الحاصلة أثناء تسليط الاجهادات والتي تعطي انطباع للتغيرات اللحظية والمرافقة لعمليات التشكيل وما يرافقها من اجهادات [2]. يؤثر التغير في نسب التشكيل على اجهاد الخضوع وعلى أس التصليد الانفعالي (n) [Hardening exponent] ومعامل التصليد الانفعالي (K) [Strain hardening factor]
ومن المعروف أن كل من (K,n) تعتبر من

قسم هندسة الانتاج والمعادن , الجامعة التكنولوجية / بغداد

https://doi.org/10.30684/ etj.29.4.20
University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq/2412-0758
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

الخواص الميكانيكية الأساسية للمواد المعدنية والتي تعطي انطباع عن سلوك المعدن أثناء عمليات التشكيل وكيفيته وهي مؤشر لزيادة مقاومة المعدن وصلادته إثناء عمليات التشكيل [2]. حيث يمثل أس التصليد الانفعالي مقياس لزيادة المتانة عند التشويه اللدن [3].لان الزيادة في نسبة التشكيل تؤثر على هذا العامل وعلى مقدار التصليد الانفعالي ويكون التأثير واضح ويعود سبب ذلك إلى توليد احهادات داخلية ناتجة عن عملية الإعاقة الحاصلة للانخلاعات [4].
اكثر البحوث التي اجريت لدراسة تأثير اس التصليد الانفعالي ومعامل التصليد الانفعالي تناولته من ناحية تاثير تغير معدل الانفعال على كل من (k, n) حيث تناول كل من Sunlg Hing and Cliflon [5-6]. هذا المتغير واثبتو ان (n) له حساسية عالية تجاه تغير معدل الانفعال وبالتالي على توزيع الاجهادات وفسرت النتائج حسب نظرية الانخلاعات واثبتوا ان للتشويه غير المتجانس يعتمد على تأثير قيمة اس التصليد الانفعالي والذي بدوره يتاثر بمعدل الانفعال.
وتناول Zhongping [7].تأثير اس التصليد الانفعالي على مرحلة نشوء شقوق الكلال وبالتالي تأثيره على عمر الكلال للجزء حيث اشتقاق معادلة رياضية لحساب هذا التغير.
وتناول د. شاكر سكران ,د.عدنان نعمة والباحث مازن محمد يحيى في بحثهما الاعتماد على اس التصليد الانفعالي في التنبء بالسلوك الدوري للمادة وبيان قيم (n) التي تؤدي الى التصليد الدوري والقيمة التي تؤدي الى التلين الدوري التي ترافق المراحل الاولى لعمر الكلال [8].
اما في بحثنا الحالي ارتأينا دراسة علاقة اس التصليد الانفعالي مع تغير نسب التشكيل التي تعطي انطباع عن سلوك المعدن اثناء عمليات التشكيل المعتمدة على قوى الانضغاط

الجانب العملي

المواد المستخدمة

تم استخدام سبيكة الألمنيوم الموضح تركيبها الكيميائي في الجدول رقم (1)

تحضير العينات

تم تشغيل معدن الألمنيوم بطريقة الخراطة للحصول على العينات القياسية المناسبة للفحوصات الميكانيكية والفحص المجهري حيث شغلت بقطر (mm 10) وطول(20mm) وذلك حسب المواصفات القياسية (E9 – 87) [9] .

الفحوصات الميكانيكية

1) **اختبار الانضغاط** :- اجري اختبار الضغط على عينات الالمنيوم لإيجاد منحنيات الإجهاد الحقيقي والانفعال الحقيقي باستخدام جهاز (Instron- 1195) وبحمل مقداره (5ton) وبسرعة (2mm/min) وبنسب تشكيل مختلفة % (20, 30, 40, 50 , 60) وتم تحويل منحنيات الحمل والاستطالة المأخوذة من الجهاز إلى منحني الإجهاد - والانفعال الحقيقي باستخدام العلاقات التالية [11].

$$\sigma_0 = \frac{P}{A_0} \quad \text{.....(1)}$$

$$e = \frac{\Delta L}{L_o} \quad \text{..... 2}$$

$$\sigma = \sigma_O (1+e) \quad \text{..... 3}$$

$$\in = Ln(1+e) \quad \text{..... 4}$$

ومن المنحني تم حساب مايلي

أ) تحديد مقاومة الخضوع عند نسب انفعال (0.02%)

ب) حساب دليل التصليد الانفعالي (n) حيث يمثل الزيادة في مقاومة المعدن

لأي إجهاد مسلط والذي يحسب من تحويل المعادلة الآتية [11]

$$\sigma = K \in^{n} \text{.....(5)}$$

∈:- الانفعال الحقيق True strain

σ :- الإجهاد الحقيقي True Stress

n : أس التصلد لانفعالي Strain hardening Exponent

K : معامل المقاومة Strength coefficient

إلى علاقة لوغارتمية ثم إلى علاقة خطية وحسب المواصفة الأمريكية (E646-78) وبالشكل التالي

$$\log \sigma = \log K + n \log \in$$

ومن رسم العلاقة فعند رسم منحني (log- log) لقيم لوغاريتم الأساس (10) للإجهاد الحقيقي $\log \sigma$ مع قيم اللوغاريتم للأساس (10) للانفعال الحقيقي $\log \in$ نحصل على قيم (n) من ميل الخط المستقيم.

2) حساب معامل الرجوعية

الارتداد المرن أو الرجوعية هي كمية الطاقة التي يمكن ان يختزنها الجزء عند التحميل ثم يرجعها ثانية بعد زوال الحمل المؤثر وهي ظاهرة عامة تحدث في اغلب عمليات التشكيل على البارد ويعزى سبب هذه الظاهرة إلى تكوين الاجهادات الداخلية بعد زوال حمل التشكيل . وان حساب وإيجاد مقدار الارتداد المرن ضروري في عمليات التشكيل للحصول على المنتج النهائي والدقيق للمنتج , ويمكن حسابها من المساحة المحددة بخط يوازي خط المنحني للمنطقة المرنة وايضا بالخط الموازي للمحور الراسي المبين للحمل كما موضح بالشكل (1) ويكون معيار تلك الرجوعية هي المساحة تحت المنحني للاجهاد- والانفعال المقابل للمساحة المذكورة تحت حمل الاستطالة والحمل [12].

3) اختبار الصلادة والفحص المجهري

تم تحضير العينات لغرض الفحص المجهري والصلادة اذ أجريت عمليات التنعيم الرطب بالماء باستعمال ورق التنعيم بدرجات مختلفة هي (1000 , 500 , 320 , 220) ثم أجريت عمليات الصقل باستعمال قماش صقل خاص ومعجون الماسي ذو حجم حبيبي (3/2) مايكرون ومن ثم تنظيفها بالماء والكحول وتجفيفها بالهواء.ولغرض فحص التركيب المجهري للعينات استخدم محلول الاضهار التالي (5% من HF + 95% ماء مقطر) واجري التصوير باستخدام مجهر ضوئي مزود بكاميرا وحاسوب

وقد أجريت فحص الصلادة الفيكرية غم وتم حساب (500) باستخدام حمل مقداره الصلادة من العلاقة التالية:-

$$Hv = 1.8544 \frac{P}{dav^{2}} \text{ ..(6)}$$

النتائج والمناقشة

بعد إجراء عملية الضغط بنسب التشكيل المختلفة والحصول على المخطط الذي يمثل العلاقة بين الإجهاد والانفعال والممثلة بالإشكال (2-6) كان تأثير تغير نسب التشكيل واضح على كل من إجهاد الخضوع وقيمة أس التصليد الانفعالي فإجهاد الخضوع يزداد بزيادة نسبة التشكيل أي تحصل زيادة طردية وكذلك تغير قيم أس التصليد الانفعالي مع تغير نسب التشكيل كما موضح بالشكل (7)حيث تزداد بزيادة نسبة التشكيل حيث تمثل (n) أيضا معدل التصليد الانفعالي (rate of strain hardening) ويعود سبب هذه الزيادة الى الزيادة الحاصلة في كثافة الانخلاعات وتضاعف عددها بسبب التشوهات المرافقة لعملية التشكيل وهذه التشوهات تزداد بزيادة نسب التشكيل حيث

تحصل بسمرة للانخلاعة وممانعة لحركتها فنحتاج بذلك الى قوة اكبر للتغلب على الإعاقة لكي يسهل حركتها وانتشارها [2] توضح الإشكال (8-12) المنحنيات المرسومة بين لوغاريتم الإجهاد والانفعال حيث يكون الاختلاف الحاصل في الميل والذي يمثل قيم (n) المتأثرة بتغير نسب التشكيل وهذه النتائج يمكن استخدامها في تخمين مدى قابلية المعدن على التشكيل وبيان التغيرات اللحظية الحاصلة في المعدن عند كل نسبة , أي يصف سلوك المعدن أثناء عمليات التشكيل وما يرافقها من تغيرات وهذه الحالة تنعكس على قيم الصلادة ايضا حيث نلاحظ التغيرات في قيم الصلادة مع تغير نسب التشكيل كما موضح في شكل (13) والعلاقة بين أس التصليد الانفعالي وقيم الصلادة كما موضح في الشكل (14) ويعزى سبب التغير الى السبب الذي ذكر لاحقا . ونلاحظ تأثير التغير في قيم الصلادة واس التصليد الانفعالي الى التغير الحاصل في شكل الحبيبات التي تتغير بسبب عملية التشكيل على البارد حيث يحصل تشويه للحبيبات وتغير في حجموها وينعكس تأثير هذا التغير على الخواص الميكانيكية وقيم أس التصليد الانفعالي ونلاحظ في الشكل (15) التغيرات الحاصلة في الحبيبات بتاثير تغير نسب التشكيل.

أما الشكل (16) الذي يمثل العلاقة بين نسبة التشكيل ومقدار الرجوعية الحاصلة في المعدن والمتمثلة بالمساحة تحت المنحني بعد إجراء عملية التشكيل حيث يلاحظ من الشكل انه كلما تزداد نسبة التشكيل تزداد الرجوعية الحاصلة في المعدن بسبب الزيادة الحاصلة في الاجهادات المتبقية التي تكون في الحالة المرنة لان بزيادة نسبة التشكيل يزداد الانفعال الكلي المتمثل بالانفعال اللدن والانفعال المرن ويزداد الانفعال المرن بزيادة الاختلاف الحاصل بالإبعاد نتيجة عملية التشكيل لى البارد فتزداد بذلك فان $\frac{d\sigma}{d\in}$ التي تمثل تغير الإجهاد مع تغير الانفعال والتي تزداد بزيادة نسبة التشكيل وهذه النتيجة توصل لها (W. Emmens) [13] عند إجراء تجاربه على أنواع مختلفة من الألمنيوم والشكل (17) يمثل العلاقة بين أس التصليد الانفعالي والرجوعية الحاصلة.

المصادر

[1] Richard Gedney **"Sheet metal forming "** Advanced material and process August 2002 www.tensiletesters.com .

[2] W.Bolten **"Engineering materials technology"** ,Third edition ,1998,Hall,Inc.

[3] **Tensile- Hardening , Metals ASTEME646**. www.Trl.com/testing series /mechanical/test mech. tensile. ht. 2001.

[4] L.Durreh berjer. els. **"Constitutive modeling of materials based on the evolution of the strain-hardening rate."** Transaction of the ASME, Vol. 129 , October, 2007.

[5] R.J.Clifton **"High strain behavior of metals"** Proceeding of eleventh US. National Congress of Applied Mechanics,Tucson, Arizona, May 1990, ASTM Press, New York.

[6] Hyoung seop kim, **"Effect of strain harden ability and strain rate sensitivity on plastic flow and deformation homogeneity during equal channel angular**

plate, www.mrs.rg/publicatio/2001.

[7] Zhorgping Zhorg,els, **"Theoretical calculation of the strain hardening exponent and the strength coefficient of metallic material**" Journal of materials engineering and performance Vol.15(1), February, 2006.

[8] مازن محمد يحيى **"فشل الكلال بعدد دورات منخفضة لسبيكة الألمنيوم متوسط 7020المقاومة عند معاملات حرارية مختلفة "** رسالة ماجستير مقدمة الى قسم هندسة المكائن والمعدات ,الجامعة التكنولوجية, 2009.

[9] **Annual book of ASTM standards** 0303, E9, ASTM, 2004.

[10] **Metal hand book ASM**. Vol. 8, pp (20-45), 1985, American Society for Metals.

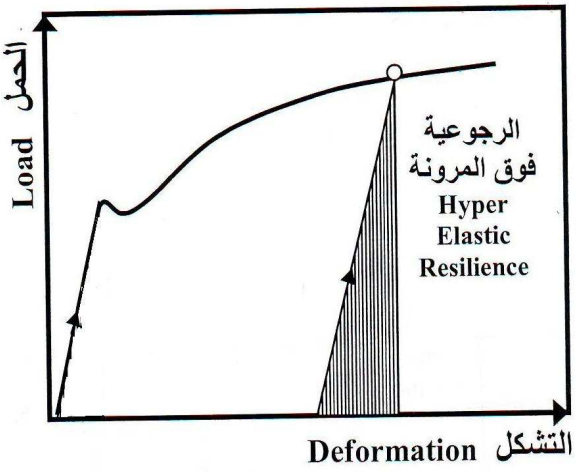
[11] **Annual book of ASM Standards** Vol. 03.01E646-678, pp (630-635), 1988.

[12] أ.د محمود امام و أ.م.د. محمد مهدي دار , ,2005**"خواص المواد الهندسية"** الكتب العلمية للنشر والتوزيع , القاهرة.

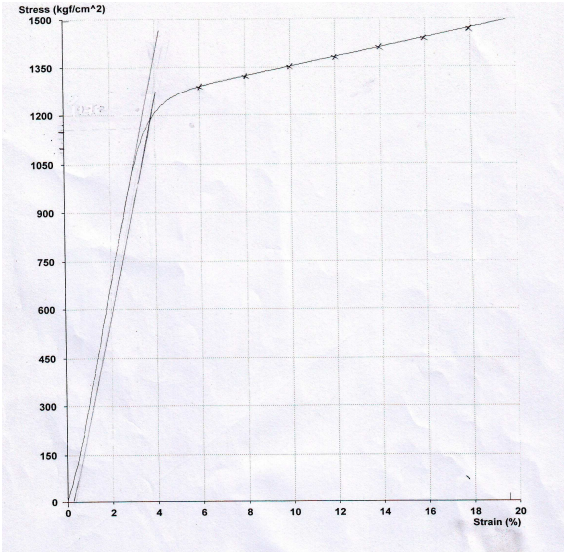
[13] W.Emmens. **"formability created by the Boushinger effect",**2ndInternational conference on new forming technology, Bremen, September (20-21),2007.

جدول (1) يوضح التركيب الكيمياوي للألمنيوم

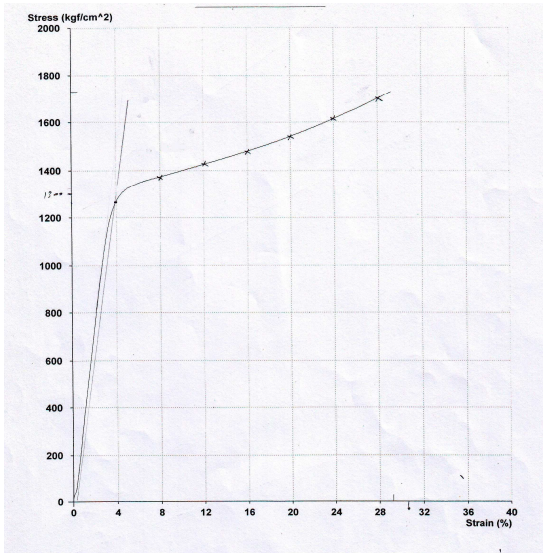
element	Si	Fe	Cu	Mg	Zn	Cr	Ni	Pb	Mn	Al
%	0.6	0.19	0.01	0.0043	0.019	0.004	0.012	0.006	0.004	99.2



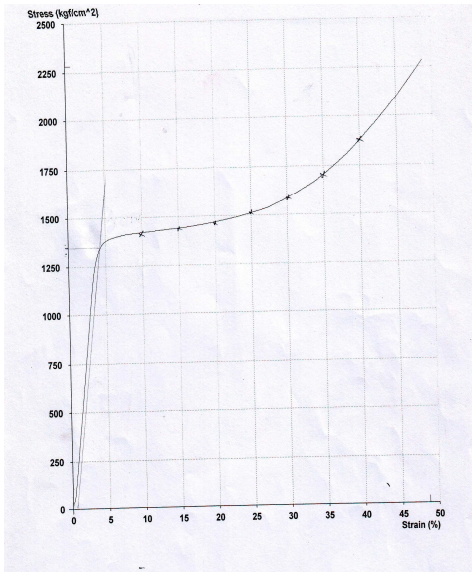
شكل (1) يمثل حساب الرجوعية تحت المنحني



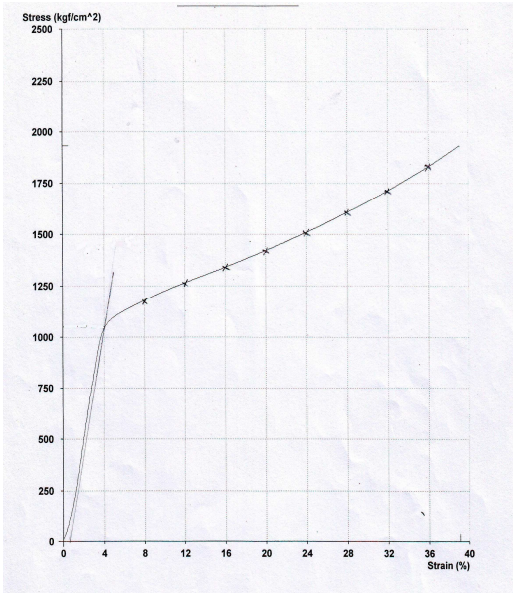
شكل (2)منحني الإجهاد والانفعال لنسبة تشكيل (30%)



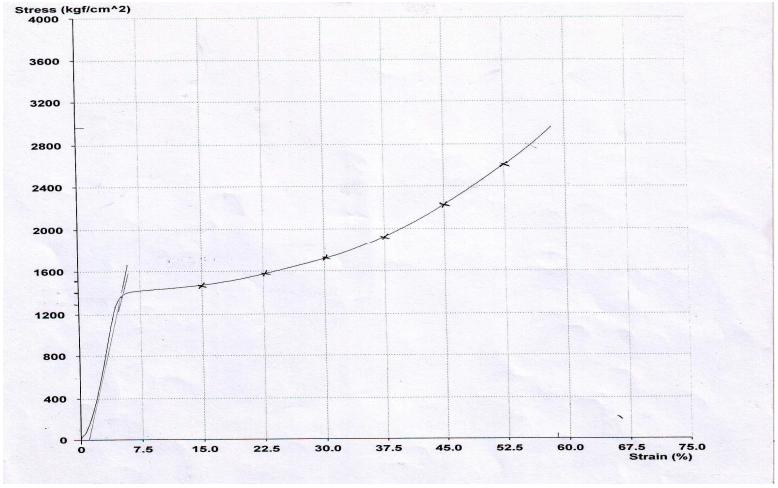
شكل (3)
منحني الإجهاد والانفعال لنسبة تشكيل (20%)



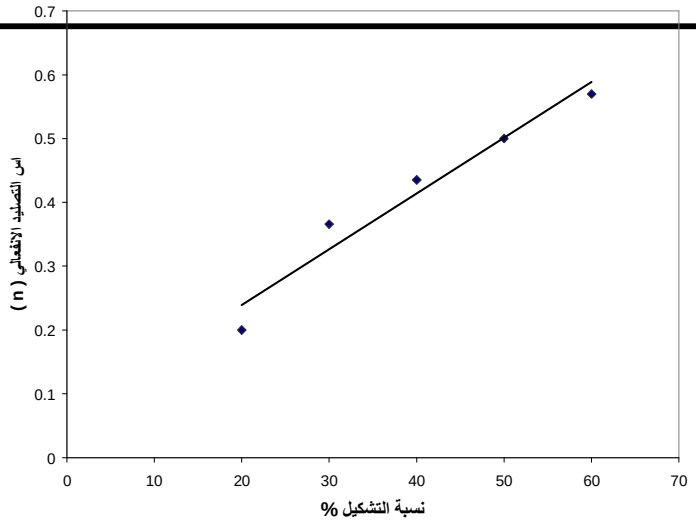
شكل (5)
منحني الإجهاد والانفعال لنسبة
لنسبة تشكيل (50%)



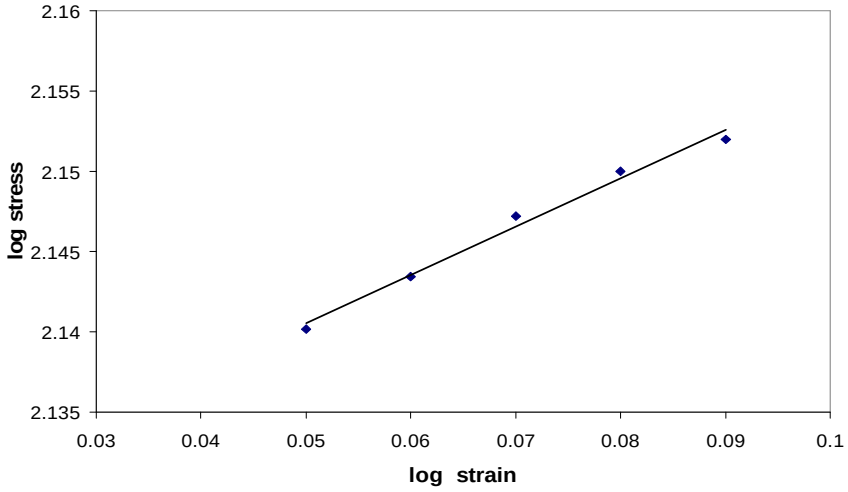
.
شكل (4)
منحني الإجهاد والانفعال
تشكيل 40%



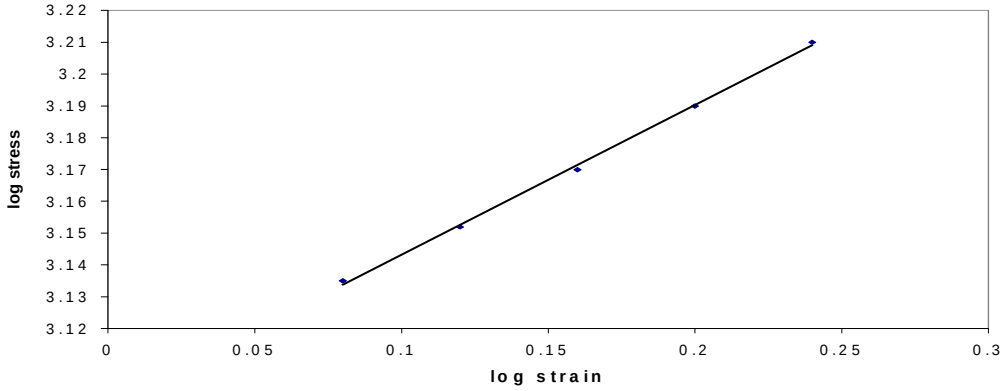
شكل (6)
منحني الإجهاد والانفعال لنسبة تشكيل (60%)



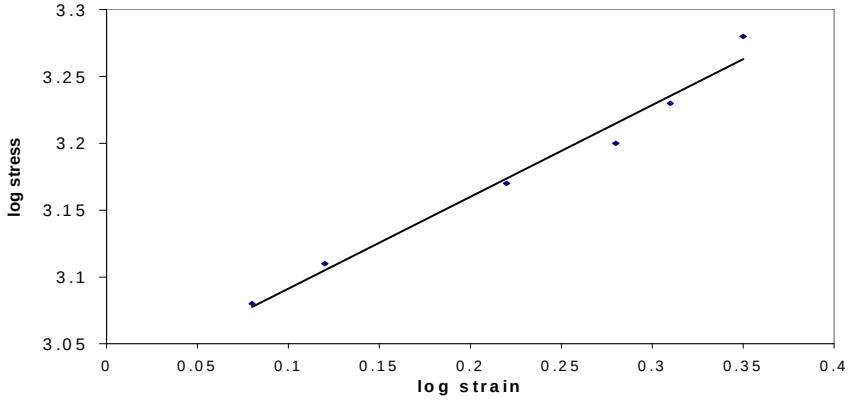
شكل (7) العلاقة بين أس التصليد الانفعالي ونسبة التشكيل



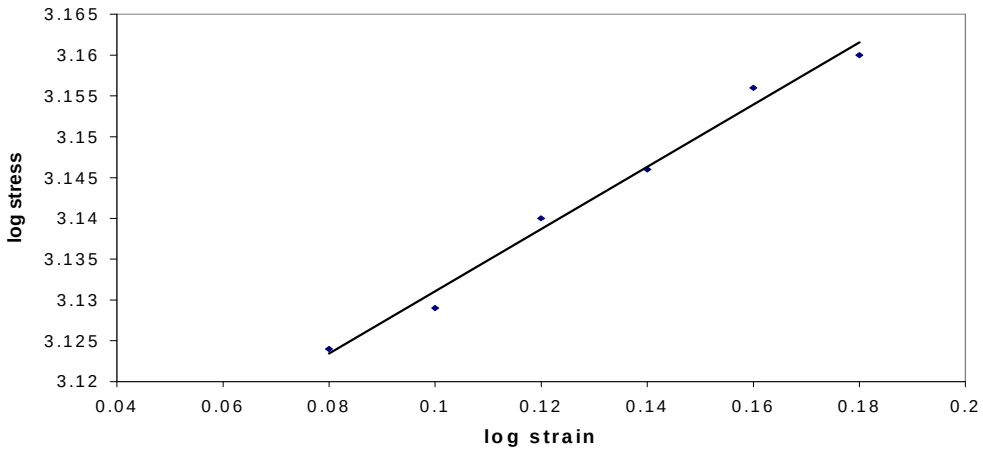
شكل (8) العلاقة بين لوغاريتم الانفعال والإجهاد n =0.2



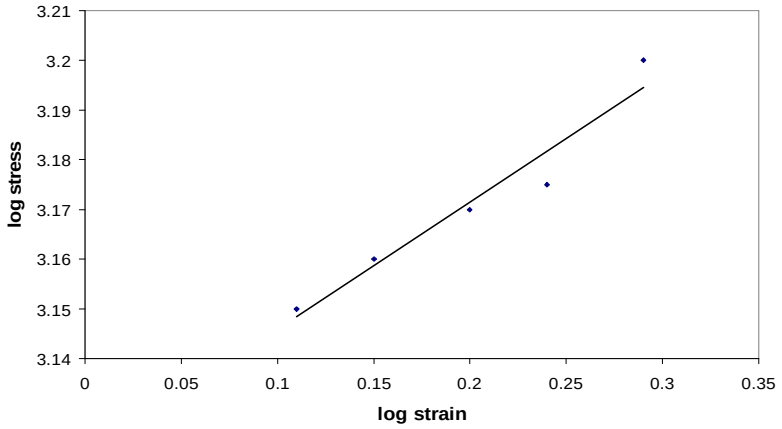
شكل (9) العلاقة بين لوغاريتم الانفعال والإجهاد n =0.366



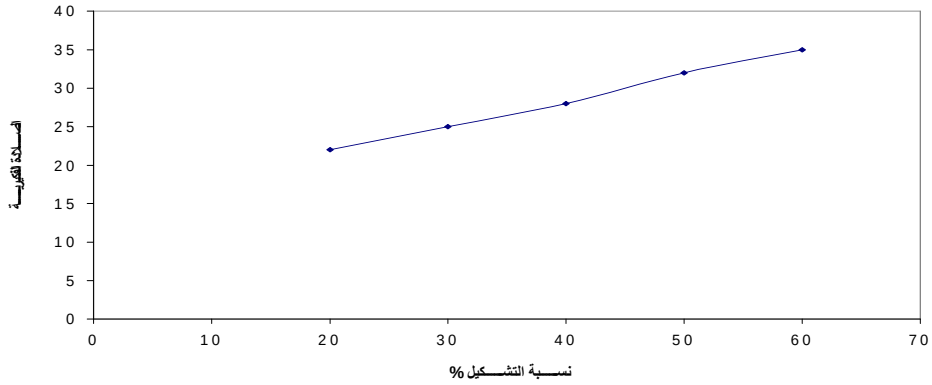
شكل (10) العلاقة بين لوغاريتم الانفعال والإجهاد n = 0.435



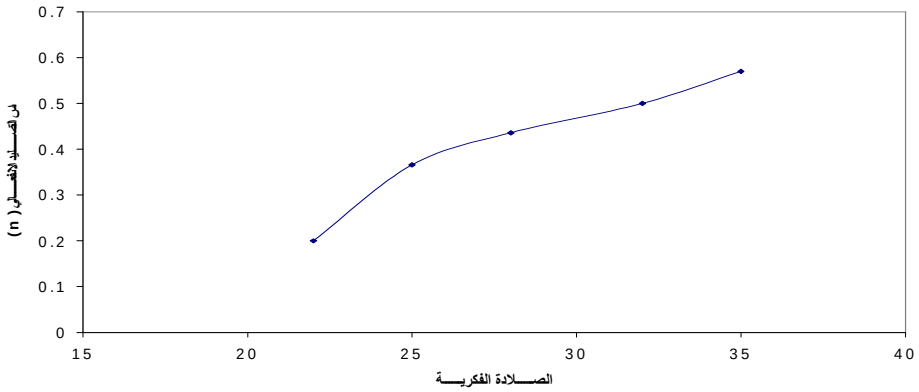
شكل (11) العلاقة بين لوغاريتم الانفعال والإجهاد n = 0.5



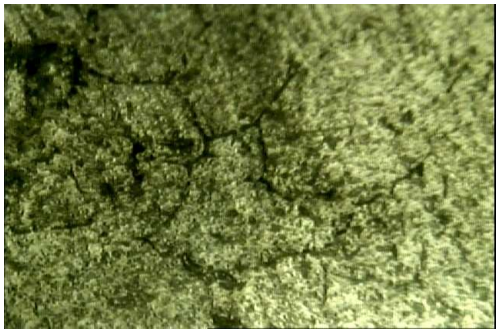
شكل (12) العلاقة بين لوغاريتم الانفعال والإجهاد n = 0.57



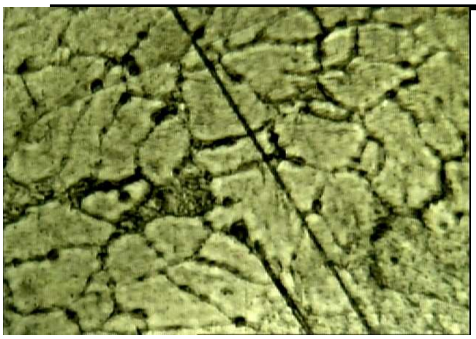
شكل (13) العلاقة بين نسبة التشكيل والصلادة



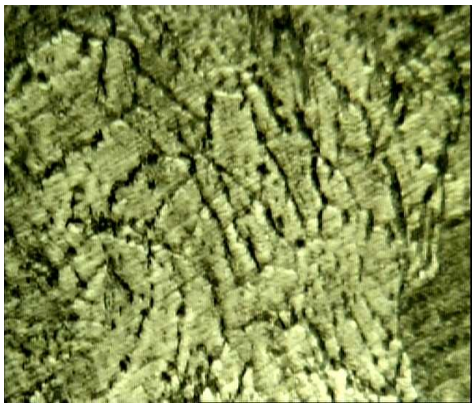
شكل (14) العلاقة بين أس التصليد الانفعالي والصلادة



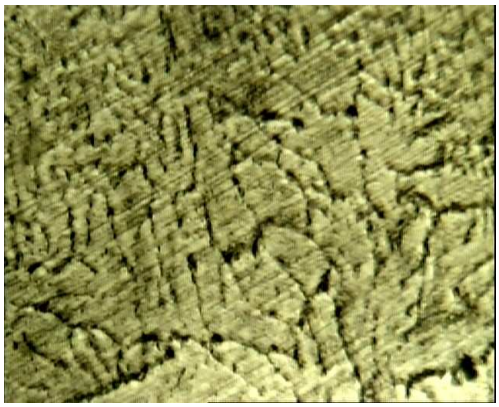
المعدن قبل التشكيل



نسبة التشكيل % 20

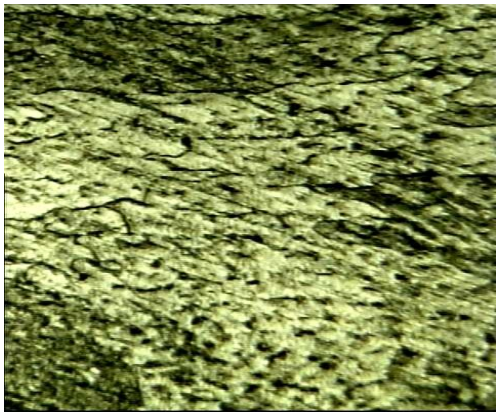


نسبة التشكيل % 30



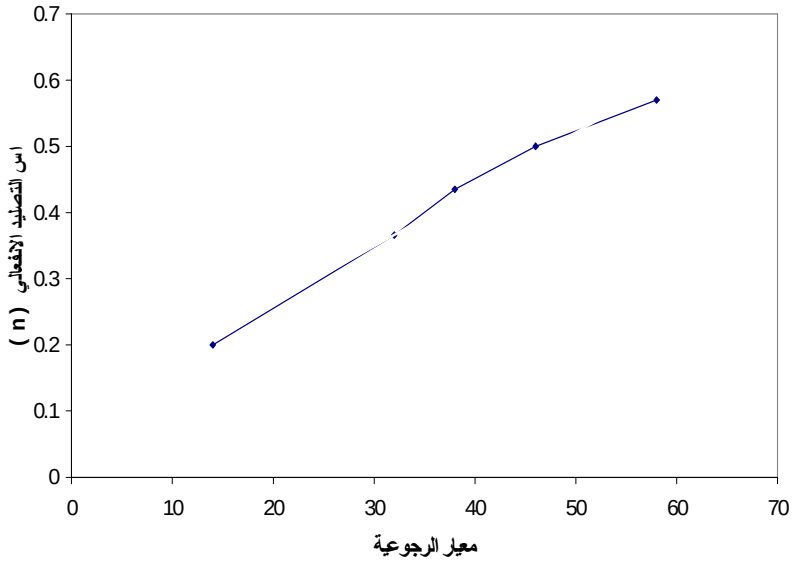
نسبة التشكيل % 40

نسبة التشكيل % 50

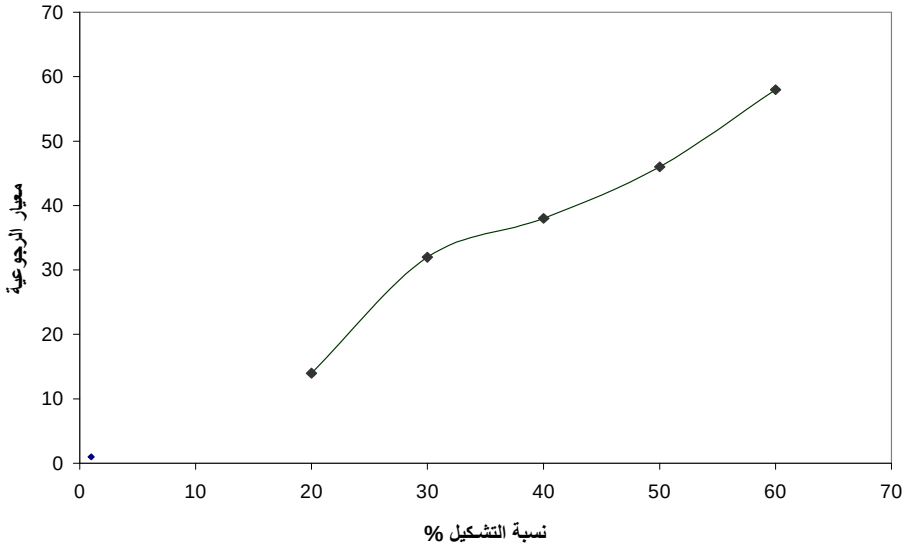


نسبة التشكيل % 60

شكل (15) يمثل صور فتوغرافية لحجوم الحبيبات بنسب تشكيل مختلفة



شكل (16) العلاقة بين اس التصليد الانفعالي ومعيار الرجوعية



شكل (17) العلاقة بين نسبة التشكيل ومعيار الرجوعية