EFFECT OF ROLLING PROCESS ON THE FORMABILITY OF PLASTIC DEFORMATION FOR ALUMINUM ALLOY(7020-T6).

QASIM MHALHAL AZPEN
Assistant Lecturer
Institute of Technology – Baghdad / Mechanical Department.

Abstract :

The aim of this research is to study the effect of plastic deformation of aluminum alloy (7020-T6) sheets metal with (10 mm) thickness by cold rolling process. The deformation ratios are (5%، 10%،15%، 20%)respectively from the original thickness.

The sheets are prepared with dimensions (10 × 50×100 mm) and then passed through a pair of rolls with diameter of (50mm). The tension test is carried on specimens which manufacture according to (ASTM E8) standard for each forming ratio. The hardness and grain size of the specimens were measured and the microstructure was inspected in order to know the effect of plastic deformation ratio on them.

Rolling process was contributed in improvement for the mechanical properties of the alloy are increasing for the all forming degree and the best ratio was (15%). The ratio (20%) lead to small cracks in the specimens, as it appears in microstructure pictures. The ratios (5% &10%) produce inhomogeneous deformation , is not usually a desirable situation, which is lead to high increasing in the values of pressure and force of roll. This often corresponding to sticking friction conditions. On the other hand, the ratios (15% & 20%)produce homogenous deformation.

تأثير عملية الدرفلة على قابلية التشكيل اللدن لسبيكة الألمنيوم (7020-T6).

الخلاصة:

يهدف البحث إلى دراسة قابلية التشكيل اللدن لسبيكة الألمنيوم (7020-T6) من خلال درفلة عدد معين من صفائح هذه السبيكة (درفلة على البارد) بنسب تشكيل محددة (5% ،10%،15% ،20%) من السمك الأصلي للسبيكة (10mm).إذ تم تهيئة صفائح من هذه السبيكة بأبعاد (10×50×100mm) ثم تم تمريرها بمرحلة واحدة لكافة العينات على ماكينة الدرفلة المتكونة من درفيلين قطر كل منهما (50mm) . اجري اختبار شد للعينات التي تم تصنيعها من الصفائح المدرفلة وفق المواصفة القياسية (ASTM E8) لكل نسبة تشكيل.كذلك تم قياس الصلادة وفحص البنية المهجرية وقياس الطول الحبيبي لكافة العينات لمعرفة تأثير درجة التشكيل عليها.

ساهمت عملية الدرفلة في تحسين الخواص الميكانيكية وأفضل نسبة تشكيل كانت عند النسبة (15%)بينما النسبة (20%) سببت حدوث شقوق صغيرة في العينة وهذا ما أظهرته صور البنية المجهرية . وجد إن التشكيل غير متجانس عند نسب التشكيل(5% ،10%) مما أدى إلى زيادة عالية في قيم ضغط وقوة الدرفيل بسبب حدوث الاحتكاك الالتصاقي بين القطع المدرفلة والدرفيل .كذلك حدوث تشكيل متجانس عند النسب (15% ،20%).

الدرفلة ، التشكيل ، التشكيل على البارد ، التشكيل اللدن ، سبائك الألمنيوم ، 7020-T6 .

المقدمة:

إن الغرض الرئيسي من عمليات تشكيل المعادن المختلفة في الصناعة هو تغيير شكل المعدن من خلال التشويه اللدن **(H.Ahmed and others,2005)** تجرى معظم عمليات التشكيل على البارد عند درجة حرارة الغرفة والتي من خلالها يتغير الشكل الحبيبي بتغير الشبكية البلورية المنتظمة التي فيها يتم التشويه اللدن بسهولة ولهذا فأن المعدن المشكل تزداد صلادته وتقل مطيليته المميزة وتأخذ البلورات شكلا" طوليا" باتجاه التشكيل(**G.R.Nagpal ,1998**).

تستخدم سبائك الألمنيوم في صناعة الأجزاء الخاصة بالمركبات والسفن حيث تتعرض تلك الأجزاء إلى اجهادات والتي غالبا" ما تكون السبب الرئيسي في فشل الكسر في مجال النقل وفي تطبيقات أخرى. سبائك الألمنيوم ذات السمك القليل دخلت في التطبيقات الهيكلية وذلك لتقليل الوزن والكلفة.إما سبائك الألمنيوم ذات السلسلة (7000) تستخدم بشكل واسع في تطبيقات الطيران بسبب خواصها الميكانيكية النوعية المرغوب بها. السبيكة (7020-T6) التابعة للسلسلة أعلاه والتي هي موضوع الدراسة ذات أهمية كبيرة وذلك لاستخدامها في العديد من التطبيقات الهندسية مثل هياكل ووسائط النقل البحري حيث تدخل في صناعة السفن والجسور وأبراج الاتصالات وغيرها **(Kuo-N.H.Lee and others,2011)** **(Jiantao and others,2003)** **(Tsung and others,2009)**.

تعتبر عملية الدرفلة من العمليات الإنتاجية المهمة في تقنيات تشكيل المعادن وأن الهدف منها هو تقليل مساحة مقطع الصبة أو الصفيحة التي تستخدم لإنتاج العديد من المنتجات والأجزاء في التصاميم الهندسية. مسبوكات صفائح الفولاذ الذي وزنها يصل إلى (20 ton) أو أكثر ممكن باستخدام عملية الدرفلة أن نحصل على سمك (30 cm) على الأقل. الألمنيوم ممكن أن يدرفل إلى شرائح عرضها (4 m) ورقائق الألمنيوم يمكن أن تكون بسمك حوالي (0.025 mm) **(G.W.Rowe,1977)**.

إن إجراء عملية الدرفلة على البارد وبنسب تشكيل مختلفة على سبائك الألمنيوم يؤدي إلى زيادة مقاومتها وزيادة إجهاد الخضوع والاجهاد الأقصى وكذلك استطالة حبيباتها.الدرفلة على البارد فعالة ومؤثرة في تحسين مقاومة كسر الاهتزازات **(H.Yuan and others,2011)**.

يمكن حساب القوة اللازمة لعملية الدرفلة بواسطة ماكنة متكونة من درفيلين والمبينة في الشكل رقم (1) (J.Beddoes,M.J.Bibby,1999).

الشكل رقم (1) يمثل مخطط مبسط لعملية الدرفلة، ومن الواضح إن سرعة خروج الصفيحة تكون اكبر من سرعة دخولها.حيث إن الدرافيل تدور بسرعة ثابتة وتوجد نقطة واحدة على طول زاوية التماس (α) تتساوى فيها سرعتي الدرفيل والصفيحة ،تلك النقطة تسمى بنقطة التعادل (Neutral Point). إن هذا الاختلاف في السرعة سببه قوة الاحتكاك التي تؤثر باتجاه نقطة التعادل.

الاحتكاك ضروري لعملية الدرفلة وذلك من خلال قوى الاحتكاك التي تنقل القدرة من الدرفيل إلى الصفيحة والتي تسبب التشكيل. إذا معامل الاحتكاك خلال عملية الدرفلة يقترب من الصفر فأن الدرفيل سوف ينزلق على الصفيحة مما يؤدي إلى عدم وجود شغل ولهذا السبب فأنه يجب السيطرة وبدرجة كبيرة على عملية التزييت خلال عملية الدرفلة لتجنب حدوث الانزلاق (Skidding).

ويمكن حساب القوة اللازمة خلال عملية الدرفلة نسبة إلى طول خط التماس بين الدرفيل والقطعة ، من الشكل رقم (1) يمكن حساب طول خط التماس من المعادلة التالية (J.Beddoes,M.J.Bibby,1999):

$$L = \sqrt{R}\ (h_0 - h_1) \quad \text{---------- (1)}$$

حيث إن :

L – طول منطقة التماس بين الصفيحة والدرفيل (mm).

R – نصف قطر الدرفيل (mm).

h_0 – سمك الصفيحة قبل الدرفلة (mm).

h_1 – سمك الصفيحة بعد الدرفلة (mm).

في حالة كون ($1 > \frac{h}{L}$) أي أن قطر الدرفيل أكبر بكثير مقارنة بسمك الصفيحة وأن التشويه اللدن يكون من نوع (Plain Strain) ويكون متجانس نسبيا" وأن ضغط الدرفيل يمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$p_r = \sigma_{tm}\ Q_p \quad \text{---------- (2)}$$

$$h = \frac{h_0 + h_1}{2} \quad \text{---------- (3)}$$

حيث إن :

p_r – ضغط الدرفيل (N/mm^2).

σ_{tm} – الإجهاد الانسيابي الحقيقي المتوسط (N/mm^2).

Q_P – معامل الضرب (في حالة التشكيل المتجانس).

h - سمك الصفيحة المتوسط(mm).

إن الاجهاد الانسيابي الحقيقي المتوسط (σ_{tm}) هو إجهاد يقع بين إجهاد الخضوع والاجهاد الأقصى ويمكن حسابه من المعادلة التالية **(J.Beddoes,M.J.Bibby,1999)**:

$$\sigma_{tm} = \frac{K\varepsilon^n}{n+1} \quad \text{---------- (4)}$$

حيث إن :

n – معامل التصليد الانفعالي.

K – ثابت المقاومة.

ε ـ الانفعال.

أذن قوة الدرفيل تساوي:

$$Fr = LW\sigma_{tm} Q_p \quad \text{---------- (5)}$$

حيث إن :

Fr – قوة الدرفيل (N).

W – عرض القطعة المدرفلة (mm).

وبالرغم من أن الطول يزداد خلال عملية الدرفلة فان العرض يبقى ثابت في حالة كون ($\frac{W}{h}>10$) في عمليات الدرفلة التجارية ، من المعادلة رقم (5) نلاحظ إن القوة اللازمة لعملية الدرفلة تقل في حالة النقصان في طول التماس (L) وكذلك السمك (h).

أما في حالة كون ($\frac{h}{L}<1$) فهذا يعني إن سمك الصفيحة يكون كبير مقارنة بنصف قطر الدرفيل لذا فانه سوف ينتج تشكيل غير متجانس وهذا بسبب الاحتكاك الالتصاقي (Sticking Friction) والذي يكون حالة غير مرغوب بها حيث إنها تحدث خلال عمليات الدرفلة للصبات الكبيرة ، لذلك تكون معادلتي الضغط والقوة في هذه الحالة .

$$p_r = \sigma_{tm} Q_i \text{----------(6)}$$

$$F_r = LW\sigma_{tm} Q_i \text{----------(7)}$$

حيث إن :

Q_i – معامل الضرب (في حالة التشكيل الغير متجانس).

التشوه الغير متجانس يمكن أن يؤدي إلى التسبب في حدوث عيب التشقق (Crack Defect) الذي يحدث في حالة :

$$\frac{h0}{R} > \left(\frac{h0}{h1} - 1\right) \times 1.18 \quad \text{-------(8)}$$

لقد تناول العديد من الباحثين دراسة تأثير عملية الدرفلة على الخواص الميكانيكية والبنية المجهرية لسبائك الألمنيوم ومنهم الباحث **(Waldear A. Monteiro & others,2011)** الذي قام بدراسة تأثير عملية الدرفلة على البارد للسبيكة (6063) بنسب تشكيل (30%,60%&90%) بعد إجراء معاملات حرارية مناسبة لها ووجد إن مقدار التشويه اللدن يعتمد على القوة المسلطة وعند نسبة التشكيل (90%) حصل على أكثر نقصان في مساحة المقطع من خلال الزيادة في استطالة الحبيبات والنقصان في السمك.

الباحث **(D. Wang &others,2009)** فقد درس تأثير عملية الدرفلة على البارد على الخواص الميكانيكية والتآكل الاجهادي لسبيكة الألمنيوم (7050)حيث توصل إلى أن المتانة (إجهاد الخضوع والاجهاد الأقصى) والتآكل الاجهادي يزدادان مع زيادة النقصان في السمك خلال عملية الدرفلة على البارد. أما الباحث **(Kuo-Tsung and others,2009)** فقد وجد إن الدرفلة على البارد تزيد من مقاومة الكسر الناتج أثناء الاهتزاز لسبيكة الألمنيوم (5052).الباحث **(Jurij J. &others,2011 Sidor)** درس تأثير التشكيل اللدن بنسب مختلفة بطريقة الدرفلة على البارد وتوصل إلى إن الزيادة في مستوى النقصان بالدرفلة على البارد يزيد من متانة صفائح سبائك الألمنيوم للسلسلة (5000).

الهدف من البحث:

يهدف البحث إلى دراسة تأثير درجة التشكيل اللدن وبنسب مختلفة في عملية الدرفلة على الخواص الميكانيكية لسبيكة الألمنيوم– زنك– مغنسيوم (7020-T6).

2- الجانب العملي:

2-1– اختيار المعدن:

تم اختيار سبيكة ألمنيوم – زنك – مغنسيوم (7020- T6) وهي إحدى سبائك الألمنيوم القابلة للتعامل الحراري. ومن اجل التعرف على التركيب الكيماوي لمعدن السبيكة المختارة فقد تم أجراء التحليل الكيماوي لها باستخدام جهاز المطياف(spectrometer) وأن نتائج التحليل الكيماوي موضحة في الجدول رقم (1).

2-2- تهيئة صفائح عملية الدرفلة:

تم تهيئة قطع (billets) من السبيكة بالأبعاد (100mm × 50 × 10) لغرض إجراء عملية الدرفلة بنسب تشكيل (5% ، 10%،15%، 20%) من السمك الأصلي للصفيحة.الشكل رقم (2) يوضح أبعاد تلك العينة.

2-3- تصنيف الصفائح لإجراء عملية الدرفلة :

لغرض تسهيل إجراء الاختبارات والفحوصات فقد تم تصنيف الصفائح إلى مجاميع والمبينة في الجدول رقم (2).

2-4- إجراء عملية الدرفلة:

تم إجراء عملية الدرفلة باستخدام ماكنة الدرفلة المتكونة من درفيلين قطر كل منهما (50mm)على الصفائح المصنفة في الجدول رقم (2) . تم تقليل السمك بمقدار (2 mm , 1.5 , 1 , 0.5) على التوالي . علما بأن عملية تقليل السمك قد تمت بمرحلة واحدة لكافة العينات.الشكل رقم (4) يمثل ماكنة الدرفلة التي استخدمت في التجارب والشكل رقم (5) إحدى العينات التي أجريت عليها عملية الدرفلة.

2-5- تصنيع عينات الاختبارات:

من اجل التعرف على خواص المعدن من مقاومة شد وخضوع قبل وبعد عملية الدرفلة فقد تم تصنيع عينات اختبار الشد وفق المواصفة القياسية (ASTM E8) للصفائح المبينة في الجدول رقم (2) وان شكل العينة موضح في الشكل رقم (5).

2-6- الفحوصات والاختبارات :

2-6-1 اختبار الصلادة :

تم إجراء اختبار الصلادة بطريقة برنيل (Brinell Hardness) لجميع العينات المصنفة في الجدول رقم (2) حيث تم اخذ ثلاث قراءات لكل عينة واعتمد المعدل لجميع العينات. الجدول رقم (3) يبين قيم الصلادة لتلك العينات والشكل رقم(6) يمثل العلاقة بين درجة التشكيل والصلادة .

2-6-2 قياس طول الحبيبات:

تم قياس طول الحبيبات للصفائح قبل وبعد الدرفلة باستخدام جهاز المجهر الضوئي بالحاسوب (Computerized Optical Microscope). الجدول رقم (4). يبين قيم معدل طول الحبيبات للعينات المشكلة والعينة الأصلية حيث اعتمدت عدة قراءات واخذ المعدل.الشكل رقم (7) يوضح صور مجهريه للعينات قبل وبعد الدرفلة.

2-6-3 اختبارات الشد:

من اجل التعرف على خصائص السبيكة من مقاومة شد قصوى وخضوع حيث اجري اختبار شد باستخدام جهاز نوع (Instron Machine 1195) بسرعة (2 mm/min.)على كافة العينات في الجدول رقم (2) وان النتائج مبينة في الجدول رقم (5) والشكل رقم (8).

2-7- حساب القوى في عملية الدرفلة:

تم حساب القوة اللازمة لعملية الدرفلة وذلك بتطبيق المعادلات (5)و(7). الجدول رقم (6) يبين قيم تلك القوى.أما قيم الثوابت ($Q_P.Q_i$) فتم استخراجهما بالاعتماد على قيمة ($\frac{h}{L}$) لكل نسبة تشكيل [8].

الشكل رقم (9) يوضح العلاقة بين درجة التشكيل وطول منطقة التماس بين الصفيحة والدرفيل (L) بينما الشكلين رقم (11,10) يبينان العلاقة بين درجة التشكيل وبين كل من ضغط وقوة الدرفيل على التوالي.

8 - مناقشة النتائج:

في الجدول رقم (3) والشكل رقم (6) نتائج فحص الصلادة للعينات في الجدول رقم(2) وجد زيادة في قيم الصلادة إذ أعطت العينتين (D,E) أعلى القيم وذلك بسبب زيادة عدد التمريرات الذي ولد التصليد الانفعالي العالي (Strain Hardening) الذي حدث للسبيكة **(R.A.Higgins,1974)**.أوضحت صور العينات المدرفلة والمبينة في الشكل رقم(5) الاستطالة في طول الحبيبات للعينات المدرفلة وهذا ناتج من ضغط الدرافيل على القطع المدرفلة (**Kuo-Tsung and others,2009)** و**(Waldear A. Monteiro) &others,2011** كما أظهرت الصور حدوث شقوق صغيرة (مجهريه) عند درجة التشكيل (20%) شكل رقم (7,E).

نتائج اختبار الشد (الشكل رقم(8) منحني الاجهاد – الانفعال) والجدول رقم (5) يوضح الزيادة في قيم الاجهادات المختلفة: الاجهاد الانسيابي الحقيقي المتوسط (σ_{tm}) ، أجهاد الخضوع (σ_y)، وإجهاد الشد الأقصى (σ_u) وإجهاد الكسر (σ_{fr}) مع الزيادة بنسب التشكيل.كذلك صاحب تلك الزيادة في الاجهادات النقصان بالانفعال ووجد أيضا" إن العينات الثلاث الأولى(A,B,C) ذات نسب التشكيل (0% ,5%, 10%) كانت لها قيم لأقصى أجهاد ثم حدث الكسر بينما العينتين(D,E) بنسبتي التشكيل (15%, 20%) حصل لهما الكسر مباشرة دون الوصول للقيمة القصوى للإجهاد ومن ثم النزول(هذا يعني إن إجهاد الكسر هو نفسه الاجهاد الأقصى) وهذا ناتج عن التصليد الانفعالي الذي حدث للسبيكة بسبب عملية الدرفلة على البارد. لذلك فان أي عملية تشكيل لاحقة يتطلب إجراء عملية تلدين مناسبة لإرجاع المطيلية المفقودة وهذا ما أشار إلية الباحثون **(D. Wang &others,2009)** **(Jurij J. Sidor &others,2011)**.

الشكل رقم(9) يوضح العلاقة بين درجة التشكيل وطول تماس العينات(L) مع الدرفيل حيث يبين الزيادة في طول التماس مع الزيادة في نسبة أو درجة التشكيل وذلك بسبب الزيادة في السمك المقلل ($h_0 - h_1$) في كل مرحلة من مراحل التشكيل. الشكل رقم (10) أظهر أن ضغط الدرفيل (p_r) يزداد عند نسبة التشكيل الأولى ثم يميل إلى النقصان ثم إلى الزيادة في نسبة التشكيل الأخيرة (20%) وتفسير ذلك يعود إلى أنة حدث تشكيل غير متجانس (سمك الصفيحة يكون سميك مقارنة مع قطر الدرفيل) في نسب التشكيل الأولى أدى إلى هذه الزيادة في ضغط الدرفيل بسبب حدوث الاحتكاك الالتصاقي بعد ذلك عاد إلى أن يكون التشكيل متجانس وهو النوع المرغوب به في عمليات التشكيل **(J. Beddoes, M. J. Bibby,1999)**.

وأخيرا أوضح الشكل رقم (11) الزيادة في قوة الدرفيل (F_r) مع زيادة نسبة التشكيل حيث نلاحظ أن تأثير الاحتكاك الالتصاقي على قيم القوة ليس كما هو على قيم الضغط وذلك بسبب أن تأثير الزيادة

في طول تماس الدرفيل (L) يكون اكبر من تأثير الاحتكاك الالتصاقي وهذا يتفق مع الباحث **(Waldear A. Monteiro &others,2011)** **والباحث (R.A.Higgins,1974)**.

9- الاستنتاجات :

1- الزيادة الملحوظة في الصلادة لجميع العينات المدرفلة ولكافة نسب التشكيل إلى أن ثبتت تلك القيمة عند نسبة التشكيل الأخيرة (20%) وذلك بسبب التصليد الانفعالي الذي حدث للسبيكة.

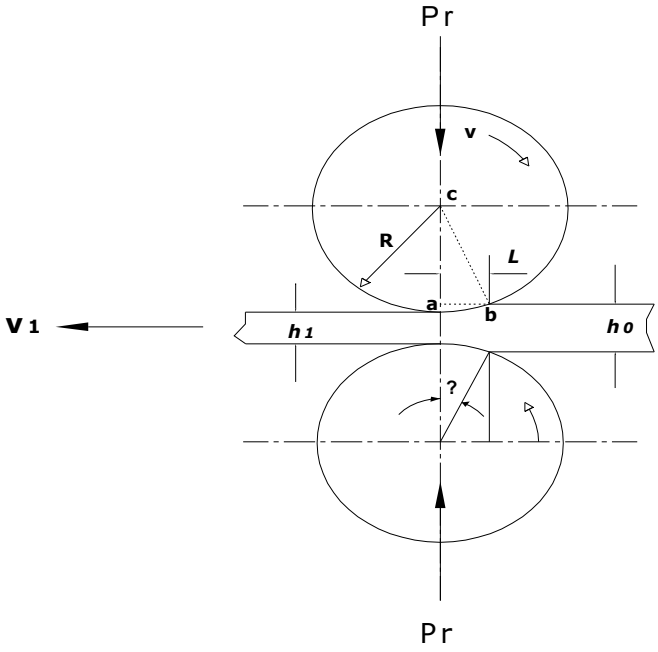
2- حدوث شقوق صغيرة عند نسبة التشكيل (20%) وكما هو واضح في الصور المجهرية التي أخذت للعينات وهذا يوجب الحاجة إلى أجراء عملية التلدين قبل هذه النسبة للاستمرار بعملية التشكيل على البارد.

3- الزيادة في قيم الاجهادات المختلفة (الاجهاد الانسيابي الحقيقي المتوسط (σ_{tm}) جهاد الخضوع (σ_y)، وإجهاد الشد الأقصى (σ_u) وإجهاد الكسر (σ_{tr}) والنقصان في قيم الانفعالات الناتجة وبالتالي النقصان في مطيليه هذه السبيكة مع الاستمرار في زيادة نسبة التشكيل.

4- حدوث تشكيل غير متجانس عند نسب التشكيل(5% ، 10%،15%) أدى إلى زيادة غير ملائمة في قيم ضغط وقوة الدرفيل بسبب حدوث الاحتكاك الالتصاقي بينما كان التشكيل من النوع المتجانس عند النسبة (20%).

5- زيادة قيم ضغط وقوة الدرفيل مع زيادة نسبة التشكيل لكافة العينات التي أجريت لها عملية الدرفلة.

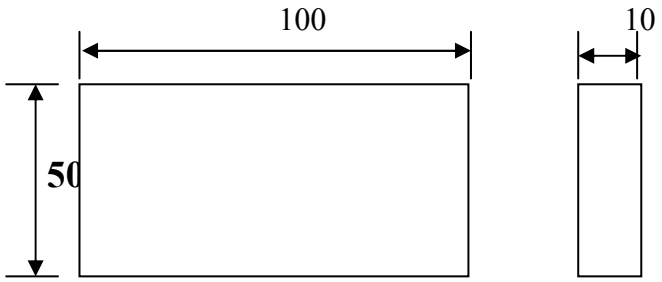
10-الإشكال والجداول:



شكل رقم (1) إبعاد عملية الدرفلة المسطحة (J.Beddoes,M.J.Bibby,1999).

جدول رقم (1) يبين التركيب الكيماوي للسبيكة (7020- T6) .

الحالة	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Al
القيم القياسية	≤ 0.35	≤ 0.40	≤ 0.20	0.05-0.5	1-1.5	4-5	0.08	0.10-0.35	المتبقي
القيم المقاسة عمليا	0.24	0.27	0.10	0.08	1.23	4.16	0.03	0.15	المتبقي



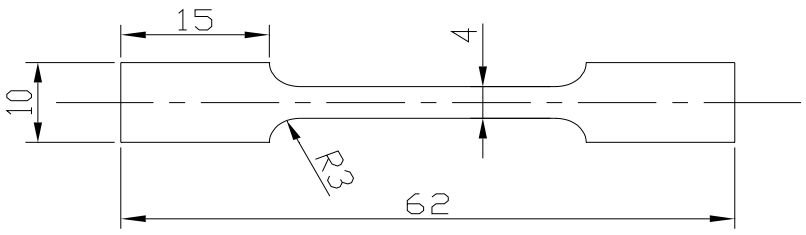
شكل رقم (2) أبعاد عينة اختبار عملية الدرفلة.

جدول رقم (2) يبين تصنيف عينات الاختبارات.

رمز المجموعة	A	B	C	D	E
درجة التشكيل %	0	5	10	15	20

شكل رقم (3) يوضح ماكنة الدرفلة التي استخدمت.

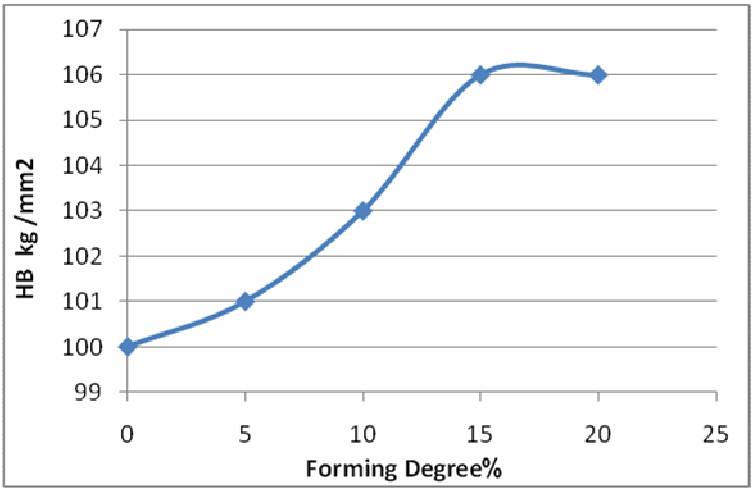
شكل رقم (4)يوضح العينة بعد الدرفلة.



شكل رقم (5) أبعاد عينة اختبار الشد.

الجدول رقم (3) يبين قيم الصلادة لعينات الدرفلة.

رمز العينة	A	B	C	D	E
HB_{kg/mm^2}	100	101	103	106	106

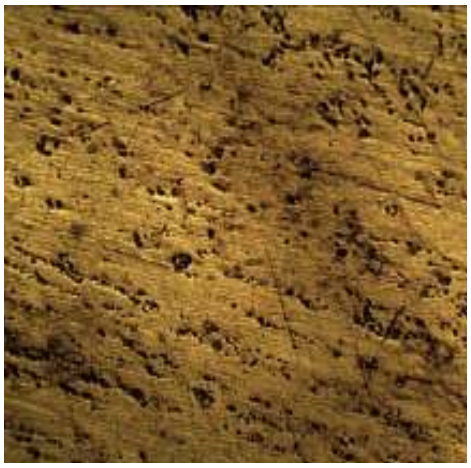


شكل رقم (6) يوضح العلاقة بين درجة التشكيل والصلادة المقاسة للعينات.

الجدول رقم (4) يبين طول الحبيبات للعينات الخمسة.

رمز العينة	A	B	C	D	E
طول الحبيبة (µ)	23.994	31.235	41.004	53.698	74.168

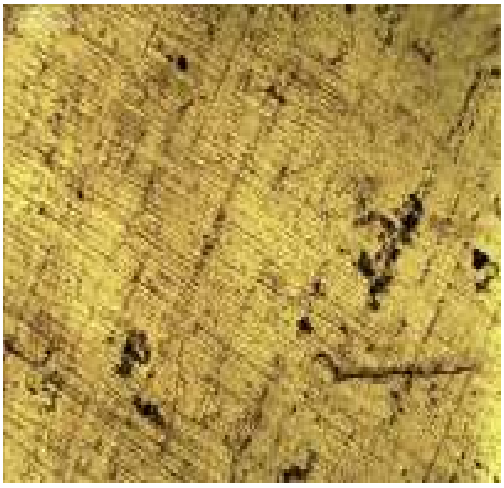
قبل عملية الدرفلة (A)



نسبة تشكيل (5%) (B)

(C) نسبة تشكيل(10%).

(D) نسبة تشكيل(15%).

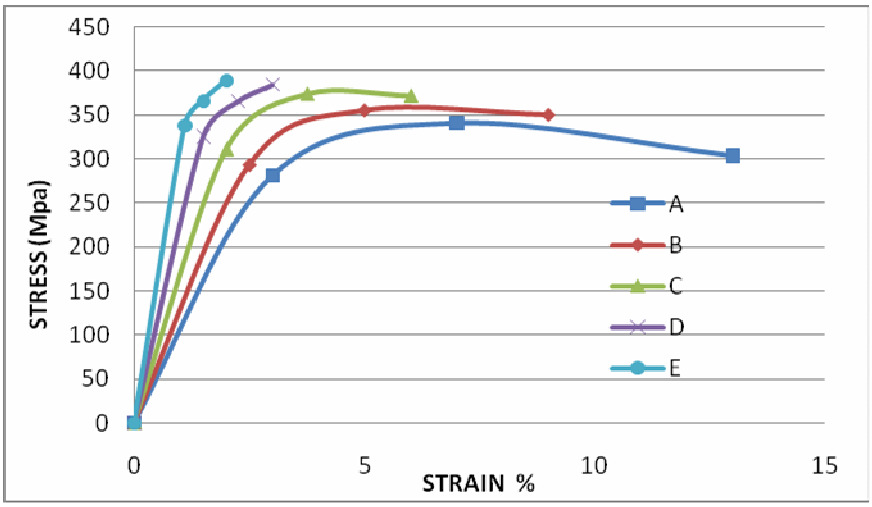


(E) نسبة تشكيل((20%).

شكل رقم (7) يوضح صورا" للعينات المدرفلة وحسب نسب التشكيل كما في الجدول رقم (2).

الجدول رقم (5) يبين نتائج اختبار الشد.

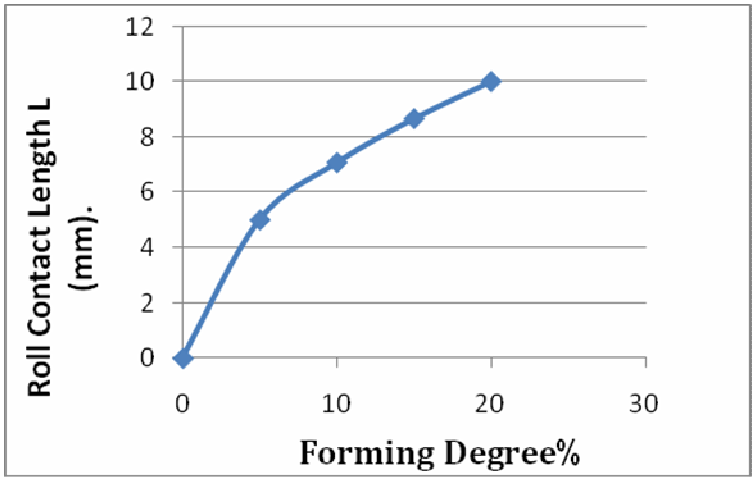
رمز العينة	درجة التشكيل %	HB kg/mm^2	σ_y Mpa	σ_{tm} Mpa	σ_{fr} Mpa	σ_u Mpa
A	0	100	333.8	0	304.36	345
B	5	101	336.6	343.53	350.72	353.78
C	10	103	343.7	348.65	372.54	374.35
D	15	106	359.4	366.43	389.21	389.21
E	20	106	353.3	359.82	384.32	384.32



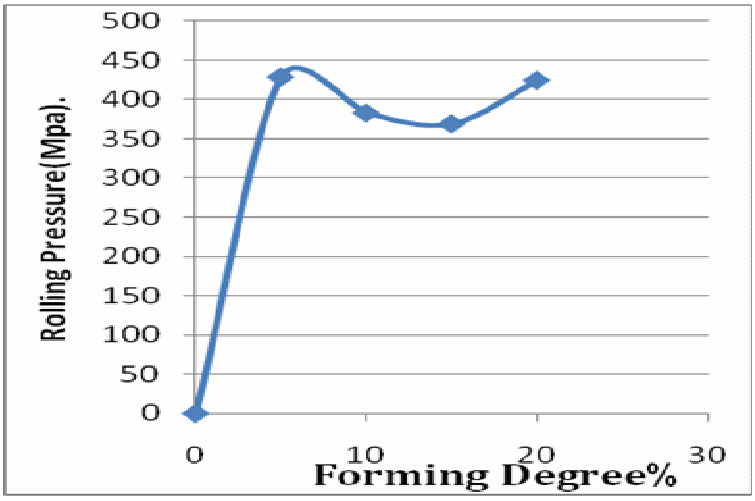
شكل رقم (8) يوضح العلاقة بين الاجهاد والانفعال للعينات المبينة في الجدول رقم (2).

الجدول رقم (6) يبين قيم الضغوط والقوى على الدرفيل .

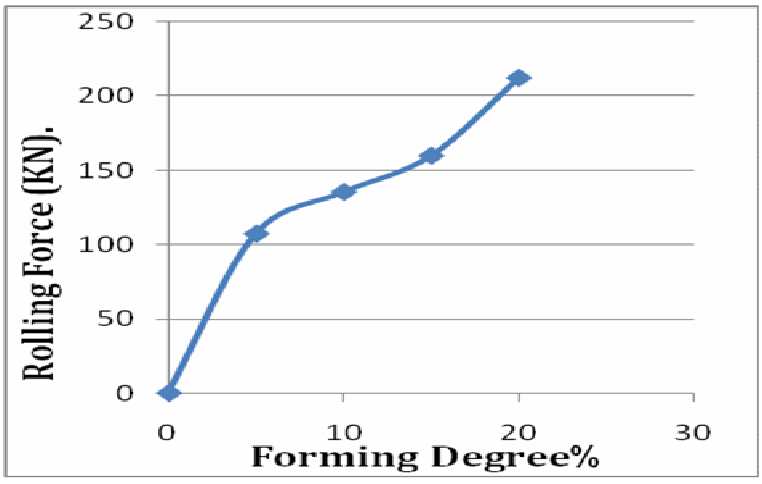
رمز العينة	درجة التشكيل %	HB kg/mm^2	W(mm)	L(mm)	Q_p	Q_i	Mpa P_r	KN F_r
A	0	100	50	0	-	-	0	0
B	5	101	50	5	-	1.25	429.41	107.2
C	10	103	50	7.07	-	1.1	383.51	135.57
D	15	106	50	8.66	1	1	359.82	155.8
E	20	106	50	10	1.1	-	403.07	201.53



شكل رقم (9) يوضح العلاقة بين درجة التشكيل وطول منطقة التماس بين الصفيحة والدرفيل(L).



شكل رقم (10) يوضح العلاقة بين درجة التشكيل وضغط الدرفيل.



شكل رقم (11) يوضح العلاقة بين درجة التشكيل وقوة الدرفيل.

REFERENCES

D. Wang, Z.Y. Ma , Z.M. Gao" Effects of severe cold rolling on tensile properties and stress corrosion cracking of 7050 aluminum alloy" Materials Chemistry and Physics, Volume 117, Issue 1, 15 September 2009, Pages 228–233.

G. R. Nagpal, “Metal Forming Processes”, Published by: Romesh Chander Khanna, First Edition 1998.

G.W.Rowe, “Principles Of Industrial Metalworking Processes”, Edward Arnold,1977.

H. Ahmed, M.A. Wells, D.M. Maijer, B.J. Howes, M.R. Van Der Winden " Modeling Of Microstructure Evolution During Hot Rolling Of AA5083 Using An Internal State Variable Approach Integrated Into an FE Model" Mater. Sci. Eng. Volume 390, Issues 1–2, 15 January 2005, Pages 278–290.

H. Yuan, Q.F. Wang, J.W. Zhang, W.C. Liu, Y.K. Gao "Effect Of Grain Shape On The Texture Evolution During Cold Rolling Of Al–Mg Alloys" Journal Of Alloys And Compounds 509 (2011) 922–928.

J. Beddoes, M. J. Bibby, “Principles Of Metal Manufacturing Processes”, J. Beddoes And M.J.Bibby,1999.

Jiantao Liu, James G Morris "Macro-, Micro- And Mesotexture Evolutions Of Continuous Cast And Direct Chill Cast AA 3105 Aluminum Alloy During Cold Rolling" Mater. Sci. Eng. AVolume 357, Issues 1–2, 25 September 2003,

Jurij J. Sidor, Roumen H. Petrov, Leo A.I. Kestens " Microstructural and texture changes in severely deformed aluminum alloys" Materials Characterization, Volume 62, Issue 2, February 2011, Pages 228–236.

Kuo-Tsung Huang, Truan-Sheng Lui, Li-Hui Chen "Vibration Fracture Resistance Of 5052H112 Aluminum Alloy Processed By Cold Rolling And Friction Stirring" Journal Of Alloys And Compounds. Volume 470, Issues 1–2, 20 February 2009, Pages 278–284.

N.H. Lee, J.H. Chen, P.W. Kao, T.Y. Tseng, J.R. Su " Anisotropic Tensile Properties Of Recovery Annealed Aluminum Alloy Sheet" Mater. Sci. Eng. AVolume 528, Issues 4–5, 25 February 2011, Pages 1979–1986.

R.A.Higgins ,"Engineering Metallurgy Part II " ,Second Edittion,1974.

Waldemar A. Monteiro, Iara M. Espósito, Ricardo B. Ferrari, Sidnei J. Buso "Microstructural And Mechanical Characterization After Thermomechanical Treatments In 6063 Aluminum Alloy" Materials Sciences and Applications, 2011, 2, 1529-1541.