

دراسة تأثير الانفعالات المسبقة في الشد أحادي المحور على مخطط حد التشكيل لصفائح من سبيكة الألمنيوم (T3 2024)

د.وليد جلال علي
ثائر فائز احمد
قسم الهندسة الميكانيكية - جامعة الموصل

الخلاصة

قد يتغير مسار الانفعال للصفائح المعدنية عند التشكيل مما قد يؤثر على منحنى حد التشكيل (FLC). في هذا البحث تم تعيين منحنى حد التشكيل قبل وبعد استخدام الانفعالات المسبقة في الشد أحادي المحور لصفائح من سبيكة الألمنيوم (T3 2024) لدراسة تأثير هذا النوع من الانفعالات و بمقادير مختلفة على منحنى حد التشكيل. اختبرت هذه السبيكة لكثرة استخدامها وخاصة في هياكل الطائرات. تبين أن استخدام مسار الانفعال المسبق في الشد أحادي المحور يؤثر على منحنى حد التشكيل. حيث يزداد الانفعال الرئيسي في الجهة اليمنى، مع زيادة الانفعال المسبق، بينما التأثير يكون قليلا في الجهة اليسرى.

الكلمات الدالة: مخطط حد التشكيل، انفعال مسبق، الشد أحادي المحور.

المقدمة

دون حدوث تخرس أو كسر ولكي يسيطر على هذه العملية دون حدوث فشل يتم استخدام مخطط يبين فيه مناطق التشكيل المقبولة ومناطق الفشل، والمناطق الحرجة، والذي يدعى مخطط حد التشكيل { (FLD) Forming Limit Diagram } ويعرف على أنه رسم أثر لخليط من الانفعالات التي تقود إلى الفشل. أنشأ مخطط حد التشكيل أول مرة العالم (keeler). حيث أن كل من الانفعالات الرئيسية والثانوية القصوى يمكن وصفها مع بعض وتوضيحها وذلك عن طريق مخطط حد التشكيل. وهذا المخطط يكثر استخدامه في صناعة تشكيل الصفائح لحساب قابلية التشكيل خاصة في صناعة الطائرات والسيارات. إن مخططات حد التشكيل قادرة لإثبات أي تشويه يمكن أن يقود إلى الفشل لعدة

تعد عمليات تشكيل المعادن بشكل عام من العمليات المهمة والأساسية في مجال الصناعة العالمية حيث أنها تستخدم التشويه اللدن لتغيير شكل القطعة المعدنية. وأن من بين عمليات التشكيل هذه تشكل عمليات تشكيل الصفائح المعدنية نسبة تزيد عن نصف مجموع عمليات تشكيل المعادن [1]. أن من الفوائد الحقيقية للتكنولوجيا في القرن العشرين القابلية على إنتاج أشكال مختلفة من الصفائح المعدنية المستوية للمعادن وبمعدلات إنتاج عالية [2]. غالبا ما يكون الهدف الأساسي في تشكيل الصفائح هو ما إذا كان التشكيل المطلوب يمكن أن نحصل عليه بدون فشل معدن الشغلة، حيث تعرف قابلية تشكيل الصفائح على أنها قابلية المعدن على تحمل التشويه اللدن (التشكيل بالمط أو السحب) أي تغيير شكل الصفيحة إلى شكل مرغوب فيه

القوالب بالإضافة إلى التوقع الصحيح للمشاكل في خط التشكيل باستخدام خرامة مسطحة ، ونتيجة لذلك أكمل رسم المنحني (الجهة اليمنى والجهة اليسرى) للصلب الكربوني وأصبح يسمى منحني (Keeler-Goodwin) أو منحني حد التشكيل .

بالنسبة للدراسات الحديثة قام الباحثان (Shakeri and Dariani 2000) [9] بالتشكيل باستخدام خرامة نصف كروية (Hemispherical Punch) بقطر (90mm) لصفائح الصلب منخفض الكربون والصلب المقاوم للصدأ والنماذج التي استخدمت هي دائرية ومستطيلة وذلك لتعيين منحني حد التشكيل عمليا مع استخدام عامل التزريب، حيث وجد الباحثان تقارب النتائج للصلب والصلب المقاوم للصدأ (Stainless Steel) ، وكذلك قام الباحث (Kim et.al 2003) [10] بأجراء عملية التشكيل بالملط باستخدام خرامة نصف كروية (Hemispherical Punch) بقطر (50mm)

كما استخدم نماذج لها نفس الطول (100mm) ولكن مختلفة العرض ، قام الباحث بأجراء التشكيل لنماذج من صفيحة سبائك الألمنيوم ومقارنته مع صفيحة تتكون من الألمنيوم والبوليمر (Sandwich) فقد وجد الباحث أن صفيحة (Sandwich AL-Poly-AL) تعطي منحني حد التشكيل أفضل من منحني سبائك الألمنيوم ، حيث تم استخدام نفس قطر الخرامة في هذه الدراسة. خلال الفترة الماضية تم تطوير طرق عديدة لدراسة تأثير مسارات الانفعال (Strain Paths) على مخططات منحني التشكيل (FLDs) في الصفائح المعدنية ، والمساهمة الرئيسية في هذا الاتجاه تمت من قبل الباحثين [14-11] حيث قاموا بإجراء عدة بحوث في تأثير مسارات الانفعال على مخططات حد التشكيل (FLDs)

مسارات انفعال مختلفة ويعتبر أداة مهمة في تصميم الإنتاج^[3]، معظم مخططات حد التشكيل في البحوث والمختبرات الصناعية معتمد حصولها بالملط فوق خرامة نصف كروية^[4].

غالبا ما تحتوي أجزاء الصفيحة المعدنية المشكلة على تغيرات في مسار الانفعال خلال عمليات التشكيل و أن تأثيرات تغيرات مسار الانفعال على قابلية التشكيل للصفيحة تكون مهمة ومعلومة لدى مهندسي التشكيل (Stamping Engineers) وقد يتغير مسار الانفعال (Strain Path) عند تشكيل صفيحة ما للحصول على الشكل النهائي الذي يحمل المواصفات المطلوب^[5].

تم اكتشاف تأثير تغيير مسارات الانفعال من خلال المشاهدات في عدد من البحوث التي كانت فيها حدود الانفعال مرتفعة أو منخفضة معتمدة بذلك على طبيعة تغيير مسار الانفعال^[4]. مع مرور الوقت تم تطوير طرائق عديدة لحساب حد التشكيل في الصفائح المعدنية ، والمساهمة الرئيسة في هذا الاتجاه تمت من قبل الباحثين (Keeler & Backofen 1963) [6] حيث قام الباحثان بتعيين حدود الانفعال في الجهة اليمنى من منحني حد التشكيل عمليا أي أن (الانفعال الرئيسي موجب والانفعال الثانوي موجب أيضا) وذلك عند استخدام تقنية التشكيل باستخدام خرامة (Punch) ذات أشكال مختلفة، ويعتبر (Keeler) [7] أول من أستخدم تقنية رسم الدوائر على الصفائح المعدنية وبطريقة كهروكيميائية (electrochemically) حيث قام برسم دوائر بقطر (2.5mm) وذلك لحساب الانفعال على سطح الصفيحة . بعدها قام الباحث (Goodwin 1968) [8] بحساب حدود الانفعال في الجهة اليسرى من منحني حد التشكيل عمليا (الانفعال الثانوي سالب)، حيث استخدم تقنية

عليه ، حيث تم دراسة تأثير الشد أحادي المحور إلى مستويات ثلاثة على مخطط حد التشكيل .
الصفحة المعدنية المستخدمة وتحليلها الكيميائي: أن الشبكة المستخدمة هي من نوع (AL 2024T3) ذات سمك (1.2mm) حيث تم تحليل هذه الشبكة كيميائياً بواسطة جهاز التحليل الكيميائي (Spectroscopy) بمختبر فحص المواد في جامعة حلب والجدول (1) يبين التحليل الكيميائي لهذه الشبكة.

الجانب العملي

صفائح سبيكة الألمنيوم (2024 AL T3) اجري عليها انفعال مسبق في الشد أحادي المحور ولعدة مستويات من الانفعال . بعد ذلك تقطع النماذج من الصفائح نفسها التي اجري عليها انفعال مسبق لإجراء عملية التشكيل حيث تشكل بخراطة نصف كروية للحصول على مخططات حد التشكيل .

تعتبر عملية التشكيل بواسطة خراطة نصف كروية من العمليات المهمة والأساسية والنهائية في تشكيل الصفائح المعدنية أستخدم في هذه العملية خراطة نصف كروية (Hemispherical Punch) وقالب (Die) ومثبت الخامة (Blank Holder) ، حيث توضع الصفائح المعدنية على القالب ثم تكبس بالخراطة أي عملية تشكيل المادة فوق الخراطة بحيث تأخذ شكل الخراطة [15] .

في الجانب العملي تم استخدام خراطة قطرها (50mm) كما في الشكل (1) من الصلب ذي صلادة (50 HRC) مع قالب من الصلب صلادته (40 HRC) . وكذلك مثبت الخامة لتثبيت الصفائح من نفس معدن القالب كما في الأشكال (2) و(3) وهذه الأجزاء تم وضعها على جهاز فحص الشد بعد

لصفائح الفولاذ قليل الكربون. بالنسبة للدراسات التي تناولت سبائك الألمنيوم ، حيث قام الباحثان (A.Graf&W.F. Hosford 1993) [4] بدراسة تأثيرات تغيرات مسار الانفعال (Strain-Path) (Changes) المفاجئة على مخططات حد التشكيل لسبيكة الألمنيوم 2008T4. ثم قام نفس الباحثين (A.Graf&W.F. Hosford 1994) [5] بدراسة تأثيرات تغيرات مسار الانفعال (Strain-Path) (Changes) على مخططات حد التشكيل لسبيكة الألمنيوم (6111T4) ، فقد وجد الباحثان أنه عند تغيير مسار الانفعال من مسار الشد أحادي المحور إلى مسار الانفعال المستوي يؤدي إلى رفع منحنى حد التشكيل عن المنحنى الأصلي ، أما عند تغيير مسار الانفعال باتجاه مسار المط ثنائي المحور المتساوي من المنحنى فان ذلك يؤدي إلى زيادة منحنى حد التشكيل عن المنحنى الأصلي في المط ثنائي المحور و الانفعال المستوي بالتتابع.

أن اختيار سبائك الألمنيوم للدراسة في الفترة الأخيرة جاءت نتيجة استخدام سبائك الألمنيوم في عملية تشكيل الصفائح المعدنية التي تشمل صناعة الطائرات وخاصة في الجسم والجناح و الهيكل الخارجي للسيارات (الأبواب و غطاء المحرك و الواقيات) و العلب و دعائم السيارات و كذلك أغطية الكثير من المكائن [15,2] ولكون أن هذه السبائك تمتاز بقلّة (نسبة وزنها إلى المقاومة) و سهولة تشكيلها، هذا بالإضافة إلى إمكانية تحسين خواصها الميكانيكية عن طريق المعاملات الحرارية [16] . في هذا البحث تم دراسة قابلية تشكيل صفائح سبيكة الألمنيوم (2024T3) والتي يكثر استخدامها في إنتاج الهياكل الخارجية للطائرات [2] من خلال دراسة منحنى التشكيل وتأثير الانفعالات المسبقة

(uniaxial tension Path) إلى مسار المط ثنائي المحور المتساويين (equibiaxial stretching Path) مرورا بمسار الانفعال المستوي (plain strain Path) لكي تمثل منحنى حد التشكيل كاملا أي من (مسار الشد أحادي المحور) إلى (مسار المط ثنائي المحور المتساوي) [20]. بعد تقطيع النماذج بواسطة مكائن التشغيل، تم تنعيم وصقل أطراف النماذج لكي تكون صقيلة ولا تحتوي على نتوءات وذلك لتجنب ظهور إجهادات مركزة تسبب الكسر المبكر في تلك المنطقة [2].

ج - تشكيل النماذج ورسم منحنى حد التشكيل: تم إجراء عملية كبس النماذج (1 إلى 8 كما في الشكل (6)) بواسطة الخرامة نصف كروية (Hemispherical Punch) باستخدام جهاز فحص الشد بعد تحويله إلى جهاز كبس كما في الشكل (4) وتم وضع النموذج على القالب حيث ربط بأحكام داخل القالب ووضعت الأجزاء (الخرامة والقالب وماسك الخرامة) على جهاز فحص الشد ثم يبدأ بتشكيل النماذج بواسطة حركة الخرامة إلى داخل القالب بمعدل (20mm/min) ونلاحظ ارتفاع الحمل المسلط تدريجيا مع الاستطالة، ويستمر إلى أن يصل الحمل إلى الحد الأقصى ثم ينخفض، وفي لحظة الحمل يبدأ بالانخفاض ويتم إيقاف الخرامة حين يكون تعرض النموذج إلى التخصر أو الكسر، نلاحظ تغير أشكال النماذج بعد التشكيل كما في الشكل (6). تعاد عملية الكبس بحيث يتم تشكيل ثلاثة نماذج لكل مسار من المسارات المذكورة. وبعد الانتهاء من عملية التشكيل، تتغير الدوائر المطبوعة على النموذج إلى أشكال اهليلجية (Elliptic) أو دوائر ذات أقطار أكبر وحسب النموذج كما في الشكل (7). يلاحظ في مسار الشد أحادي المحور (uniaxial tension) أن شكل الاهليلج يزداد

استخدامه كجهاز كبس كما في الشكل (4). لغرض الحصول على طرق انفعال تمتد بين مسار الشد أحادي المحور (Uniaxial Tension Path) ومسار المط ثنائي المحور المتساوي (Equibiaxial Stretching Path)، فقد تم اختيار أشكال النماذج للمعادن لتعطي رسماً كاملاً للمنحنى متبعين الطريقة المستخدمة من قبل [18, 17] التي أعطت نتائج جيدة والتي استخدمت في عدد كبير من البحوث [9,10&18] وهي ثمانية نماذج لها نفس الطول ومختلفة العرض مع وجود أقواس وفي هذه الدراسة تم طبع شبكة من الدوائر بقطر (2mm) على سطح الصفيحة المعدنية لقياس الانفعال الحقيقي بعد التشكيل. يوضع النموذج من (الصفيحة المعدنية) على القالب، ويثبت بأحكام بواسطة مثبت الخرامة لمنع حركة النموذج، ثم يتم الكبس بقوة تتراوح (38-5 KN). تم قياس الانفعال من خلال التشكيل الذي حدث بالدوائر المرسومة على المعدن باستخدام مجهر متقل (Traveling Microscope) مخصص لقياس الأبعاد الدقيقة بدقة (0.01mm).

أ- الانفعال المسبق أحادي المحور: الصفائح التي يجري عليها انفعال مسبق يجب أن تكون مستطيلة واسعة (105 ملم * 550 ملم) و التي من هذه الصفائح تقطع النماذج في الشكل (5)، حيث سحبت هذه الصفائح إلى مستوى انفعالات رئيسية مختلفة كما في الجدول (2).

ب - تحضير النماذج المستخدمة في بناء منحنى حد التشكيل: بعد أن تم سحب الصفائح باتجاه الشد أحادي المحور إلى ثلاث مستويات من الانفعال تم تقطيع هذه الصفائح المعدنية إلى ثمانية نماذج، لها نفس الطول (100mm)، ومختلفة العرض (بعضها يحتوي على أقواس) لغرض الحصول على مسارات انفعال (Strain Paths) (أي من مسار الشد أحادي المحور)

$$\varepsilon_1 = \ln \frac{d_1}{d_0} \dots \dots \dots (1)$$

$$\varepsilon_2 = \ln \frac{d_2}{d_0} \dots \dots \dots (2)$$

د - قياس الانفعال: الانفعالات يمكن قياسها من تشوه الدوائر المطبوعة على شكل شبكة بقطر (2mm) على سطح النماذج المعدنية من جهة واحدة وذلك لحساب الانفعال الحاصل بسطح النموذج بعد التشكيل. و التقنية المستخدمة على نحو واسع لقياس التغير في البعد الذي حصل بالدوائر المشكلة التي استخدمت في الكثير من البحوث وفي هذه الدراسة تم استخدام المجهر المتنقل [22,23&24] لقياس أقطار الدوائر أو الاهليلج، وهذه الطريقة أدق من الطرائق السابقة، حيث تبلغ دقتها (0.01mm). وتطبع الشبكة قبل إجراء الانفعال المسبق ومرة ثانية قبل الانفعال النهائي .

النتائج ومناقشتها

بعد إجراء عملية التشكيل تم تعيين حد التشكيل في كل نموذج من نماذج الصفحة المعدنية المستخدمة باستخدام طريقة (Hecker) [21] ، ومن جميع النماذج تم رسم منحنى حد التشكيل لصفائح سبيكة الألمنيوم وكما في الشكل (10) يتبين من هذا الشكل وجود قيم مختلفة للانفعالات ناتجة من عملية التشكيل حيث نلاحظ أن أعلى قيمة للانفعال الرئيسي ظهرت باتجاه مسار الشد أحادي المحور (Uniaxial Tension path)، وأقل قيمة له تقع باتجاه مسار الانفعال المستوي (Plain Strain path) الذي يمثل المسار الحرج في منحنى حد التشكيل ، بينما ظهرت له قيمة متوسطة باتجاه مسار المط ثنائي المحور (biaxial Stretching path) ، مما يدل على أن حدود الانفعال الرئيس باتجاه مسار الشد أحادي المحور ذات مدى أعلى من كل المسارات ، أما بالنسبة

بالطول ويقل بالعرض وكما في الشكل (8.a) والشكل (8.b) أستخدم لرسم مسار الانفعال قرب مسار الانفعال المستوي (Plane strain) أما في الشكل (8.c) لتعيين مسار الانفعال قرب مسار المط ثنائي المحور المتساويين (Equibiaxial Stretching) فان الشكل يكون دائرياً أي الزيادة في الطول والعرض .

تم الاعتماد على تحديد حد الانفعال في المناطق القريبة من عدم الاستقرار (التخسر) باستخدام طريقة (Hecker 1972) [21] حيث ميز الباحث ثلاثة أنواع من الدوائر المشكلة ، النوع الأول اهليلج (Ellipse) متعرض إلى كسر (Fracture) ، والنوع الثاني تعرض إلى تخسر (Necking) أو قريب من الكسر والنوع الثالث اهليلج مقبول (Accepted Ellipse) بعيد عن منطقة الكسر أو التخسر، عند رسم خط يفصل بين النوع (الأول والثاني) من النوع (الثالث) فان هذا الخط يمثل منحنى حد التشكيل عملياً أي أن النقاط أسفل الخط مقبولة (النوع الثالث)، أما النقاط أعلى الخط تمثل الفشل (النوع الأول والثاني) حيث أن هذا المنحنى يفصل بين منطقة الفشل ومنطقة القبول، والشكل (9) يبين تحليل الأشكال الاهليلجية (Elliptical) للنموذج الحقيقي مع رسم جزء من منحنى حد التشكيل وحسب طريقة (Hecker) . كذلك تم قياس الانفعال الرئيسي (اتجاه الدرفلة) والانفعال الثانوي (عمودي على اتجاه الدرفلة) الذي حدث بالدوائر نتيجة التشكيل بجهاز قياس الإحداثيات بعد تكبيرها باستخدام مجهر متنقل (Traveling microscope) ذي دقة (0.01mm) ، واختيار الدوائر التي حدث بها كسر و تخسر والمقبولة في النموذج. وبعد استخراج النتائج نستخدم العلاقات (1)&(2) [10] لحساب الانفعالين الحقيقي الرئيس والثانوي ولكل المسارات، وباستخدام تحليل (Hecker) وذلك لرسم منحنى حد التشكيل عملياً.

المحور حيث يقل الانفعال الثانوي عند (مسار الانفعال المستوي) بهذه الزيادة (أي يتحرك إلى اليسار)

الاستنتاجات

من خلال هذه الدراسة يمكن الخروج بالاستنتاجات الآتية :

- 1 - كفاءة التشكيل التي ظهرت باستخدام خرامة نصف كروية ذات قطر (50mm) واستخدام ثمانية أشكال من النماذج ، حيث تم الحصول على مسارات انفعال اقرب إلى مسار الشد ثنائي المحور مقارنة بالبحوث السابقة .
- 2- التغيرات في مسار الانفعال خلال التشكيل يمكن أن تنتج تغيرات مؤثرة في حدود التشكيل .
- 3- الانفعال المسبق في الشد أحادي المحور يزيد حدود التشكيل في المط ثنائي المحور و الانفعال المستوي بالتتابع.
- 4- يتأثر مقدار ارتفاع منحنيات حد التشكيل في الجهة اليمنى من منحنى حد التشكيل باتجاه مسار المط ثنائي المحور بمقدار الانفعال المسبق، حيث كلما زاد الانفعال المسبق ارتفع حد التشكيل .

المصادر

1. Groover.M.P., " Fundamentals of Modern Manufacturing", John Wily & Sons, 2002.
2. Dieter,G.E., Mechanical Metallurgy, Second Edition ,McGraw-Hill Kogakusha,1981.
- 3.Campos. H. B., Butuc M. C., Grácio J.J., Rocha J.E. , Duarte J.M. F. ,"

للانفعال الثانوي (Minor Strain) فقد ظهرت أعلى قيمة باتجاه مسار المط ثنائي المحور وأقل قيمة باتجاه مسار الشد أحادي المحور. ويعتبر الانفعال المسبق أحد العوامل المهمة المستخدمة في عمليات تشكيل الصفائح المعدنية ، حيث بعد إجراء عملية الانفعال المسبق للصفائح المعدنية المستخدمة ، تم تشكيل النماذج للصفائح المستخدمة وتعيين منحنى حد التشكيل للصفائح . عند إجراء عملية التشكيل للصفائح المعدنية التي اجري عليها الانفعال المسبق فان منحنى حد التشكيل سوف يكون منخفضاً تتحسن قابلية التشكيل بعد إجراء عملية الانفعال المسبق في الشد أحادي المحور أي تصبح الصفائح ذات مواصفات تشكيل مرتفعة. في هذه الدراسة الانفعال الأكبر، كان يوازي اتجاه الدرفلة خلال إجراء الانفعال المسبق وبعد ذلك عمودي على اتجاه الدرفلة في اختيار مخطط حد التشكيل . تم تحديد منحنيات حد التشكيل عملياً بعد إجراء عملية الانفعال المسبق في الشد أحادي المحور للصفائح المعدنية المستخدمة ومقارنته مع المنحنى الأصلي (كما مستلم) وكما في الأشكال (11) و (12) و(13). تبين بصورة عامة أن منحنيات حد التشكيل لكل الصفائح قد ارتفعت، نتيجة الانفعال المسبق ، في الجهة اليمنى من المنحنى باتجاه مسار المط ثنائي المحور بينما لا تتغير في الجهة اليسرى من المنحنى باتجاه مسار الشد أحادي المحور. لقد لوحظ أن الانفعال الرئيسي يرتفع بمقدار 1% و 3% و 4.5% للأشكال (11,12&13) أي عند الانفعالات المسبقة (0.04,0.06&0.08) على التوالي . لذلك الزيادة في الانفعال الرئيسي تعتمد على مقدار الانفعالات المسبقة كما في الشكل (14) بالإضافة إلى ذلك تبين أن اقل انفعال رئيسي في منحنى حد التشكيل يتأثر بازدياد الانفعال المسبق في الشد أحادي

- an Al-Fe-Si alloy sheet". Journal of Materials Processing Technology 169, 38-43 (2005).
10. Kim.K.J.,et al," Formability of AA5182j/polypropylene/AA5182,sandwi sheets",J.Mat.Proc.Tech.139,1-7(2003).
 - 11.Muschenborn W.& Sonee H.M., Influence of the strain path on the forming limits of sheet metal. Arch. Eisenhutt. 46,597(1975).
 - 12.Laukois.J.V.&Ghosh,A.K., anisotropic strain localization in tensile prestrained sheet steel. Met. Trans. 9A, 1849(1978).
 - 13.Ranta-Escola A.J., Effect of loading path on stress -strain relationships of steel sheet and brass.Mater. Technol. 45, (1980).
 - 14.Schmittj Raphael-E.Raush J.H. & Marten P., Plastic instability of Prestrained material, Computational Methods for predicting Materials Processing Defects, p.309. Elsevier, Amsterdam(1987).
 15. Marciniak, Z. ; Duncan, J.L., "Mechanics of Sheet Metal Forming", Butter worth-Heinemann ,2002.
 16. Hosford.W.F.,Caddell.R.M., "Metal Forming Mechanics and Metallurgy" Theoretical and experimental determination of the forming limit diagram for the AISI 304 stainless steel". Journal of Materials Processing Technology 179 ,56-60(2006).
 - 4.Graf.A&Hosford.W.F, Effect of changing paths on forming limit diagrams of Al 2008-T4,Met. Trans.24A,2503 (1993).
 - 5.Graf.A&Hosford.W.F, The influence of strain path changes on forming limit diagrams of Al 6111T4. Int.J.Mech. Vol. 36, No. 10, pp. 897-910, 1994.
 - 6 .Keeler S.P. and Backofen W.A., Plastic Instability and Fracture in Sheets Stretched Over Rigid Punches, Transactions of The ASM,Vol.56,25-48 (1963) .
 - 7.Keeler.S.P, Circular Grid System", A Valuable Aid For Evaluating Sheet Metal Formability," Society of Automotive Engineers Technical Paper ,no.680093 (1968).
 - 8.Goodwin, G.M., Application of Strain Analysis to Sheet Metal Forming Problems in the Press Shop, Society of Automotive Engineers, technical paper no. 680093 (1968) .
 9. Aghaie-Khafri.M , Mahmudib.R," The effect of preheating on the formability of

24. Gupta.A.K, Kumar.D.R, "Formability of galvanized interstitial-free steel sheets"Journal of Materials Processing Technology 172, 225–237(2006).
- .Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey,1983.
- 17.Hitchcock,Manthey,LLC.<http://www.surfacestrain.com> , USA.
18. Junior.E.H ,www.pdfactory.com .
19. Chow CL, Jie M. Forming limits of Al 6022 sheets with material damage consideration , theory and experimental validation. Int.J.Mech Sci.46,99-122(2005).
- 20.Wagoner.R.H., Chan.K.S, Keeler.S.P, "Forming limit Diagrams: Concepts , Methods ,and Applications", Minerals, Metals and Materials Society 420 Commonwealth Drive , Warrendale , Pennsylvania 15086,(412)776-9024,1989.
21. Hecker, S.S., "Simple Technique for Determining Forming Limit Curves,Sheet Metal Industries, pp. 671-676, 1972.
- 22.Narayanasamy.R , C. S.Narayanan , "Evaluation of limiting strains and strain distribution for interstitial free steel sheets while forming under different strain conditions", Materials and Design 28,1555–1576 (2007).
- 23.Date.P.P,Padmanabhan.K.A,"Deformation behavior of sheets of three aerospace Ai-alloys", J.Mat.Proc.Tech.139, 68-77(2001).

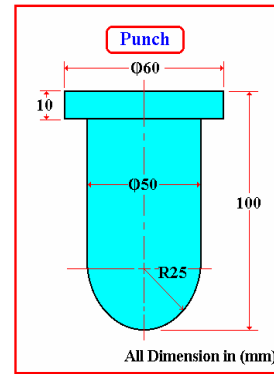
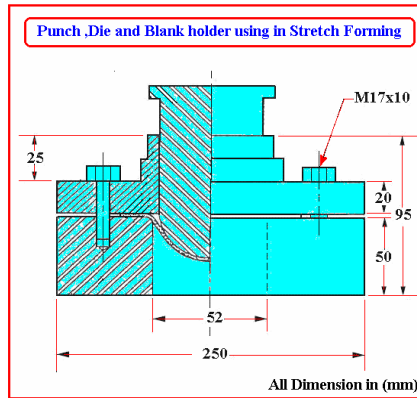
الجدول (1) التحليل الكيميائي لسبيكة الألمنيوم

(2024 AL T3)

العنصر	Cr	V	Ni	Ti	Zn
النسبة المئوية	0.0099	0.0104	0.0117	0.0242	0.205
العنصر	Fe	Mn	Mg	Cu	Al
النسبة المئوية	0.279	0.565	1.62	4.79	92.3

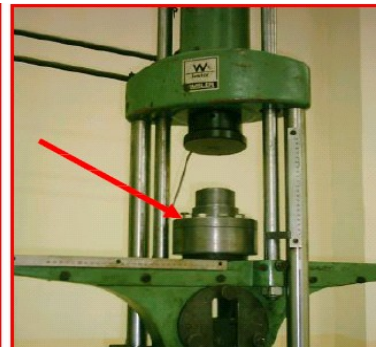
الجدول (2) يبين قيم الانفعالات المسبقة في هذا البحث

مستوى الانفعال	الانفعال الرئيسي (ϵ_1) (Major Strain)
1	0.04
2	0.06
3	0.08



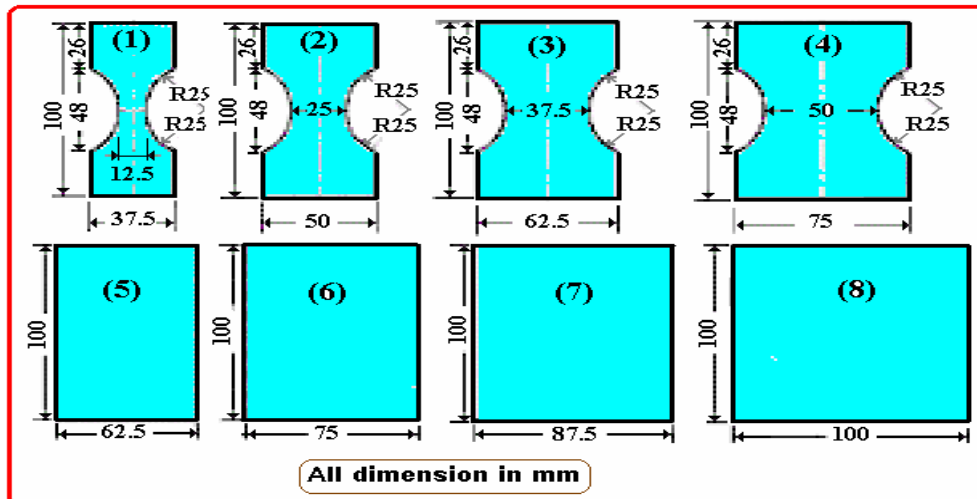
الشكل (1) الخرامة المستخدمة في التشكيل

الشكل (2) يمثل رسما تجميعيا للخرامة والقالب ومثبت النموذج

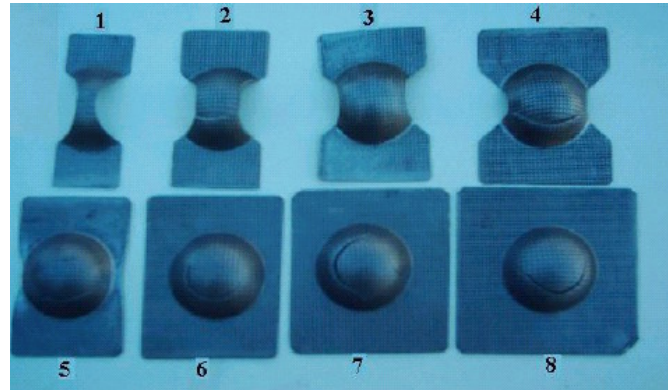


الشكل (4) يبين جهاز فحص الشد

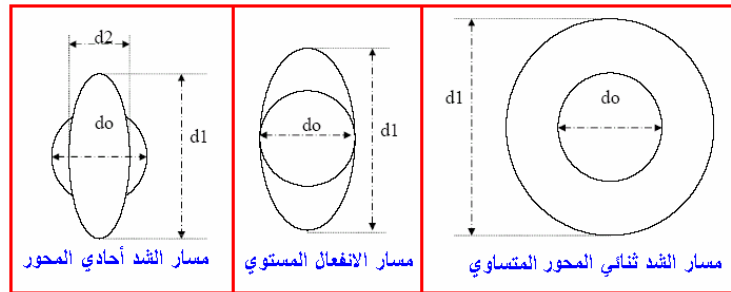
الشكل (3) صورة للخرامة والقالب مثبت



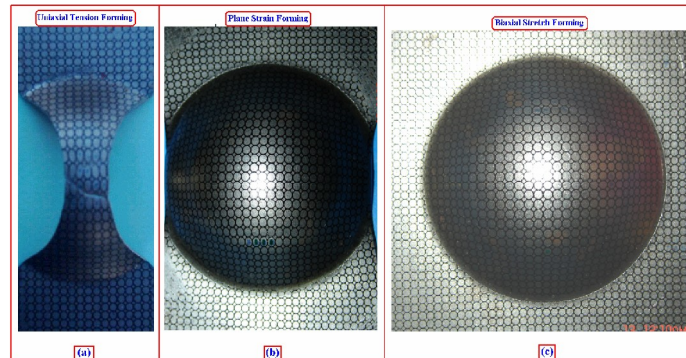
شكل (5) أشكال وأبعاد النماذج المستخدمة بالتشكيل لتعيين منحنى حد التشكيل



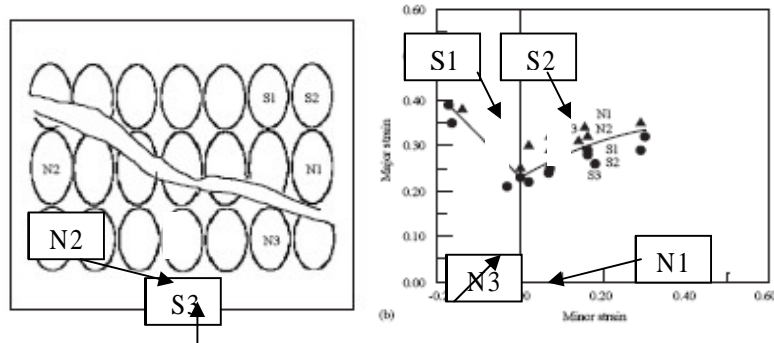
الشكل (6) صورة النماذج بعد التشكيل



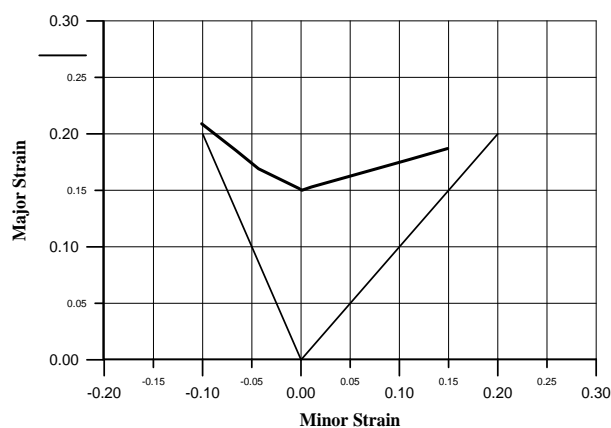
شكل (7) أشكال الدوائر و الأهلج المرسومة على الصفيحة قبل وبعد التشكيل ولكل المسارات



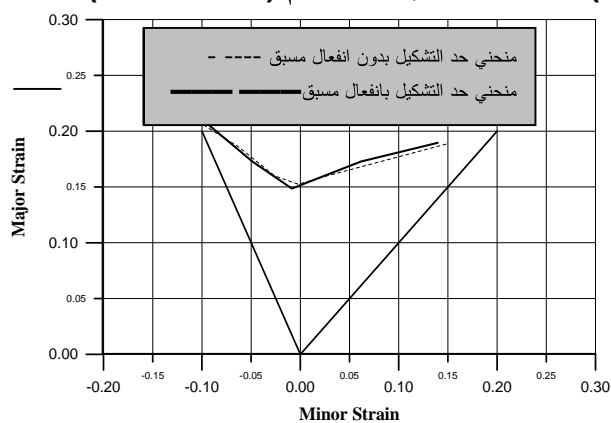
شكل (8) صور للنماذج (5,1 8) بعد تشكيلها ولكل المسارات التشكيل



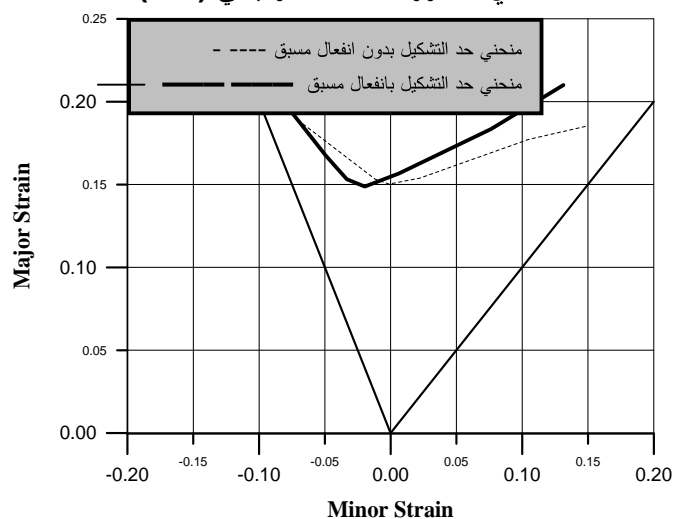
شكل (9) تحليل أشكال الاهلج بعد التشكيل مع رسم جزء من منحنى حد التشكيل بطريقة (Hecker) [10]



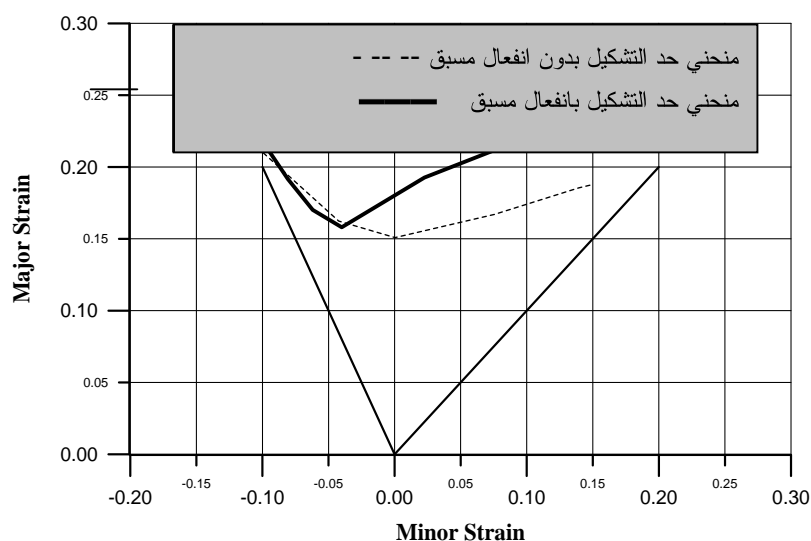
الشكل (10) مخطط حد التشكيل كما مستلم (AS-Received)



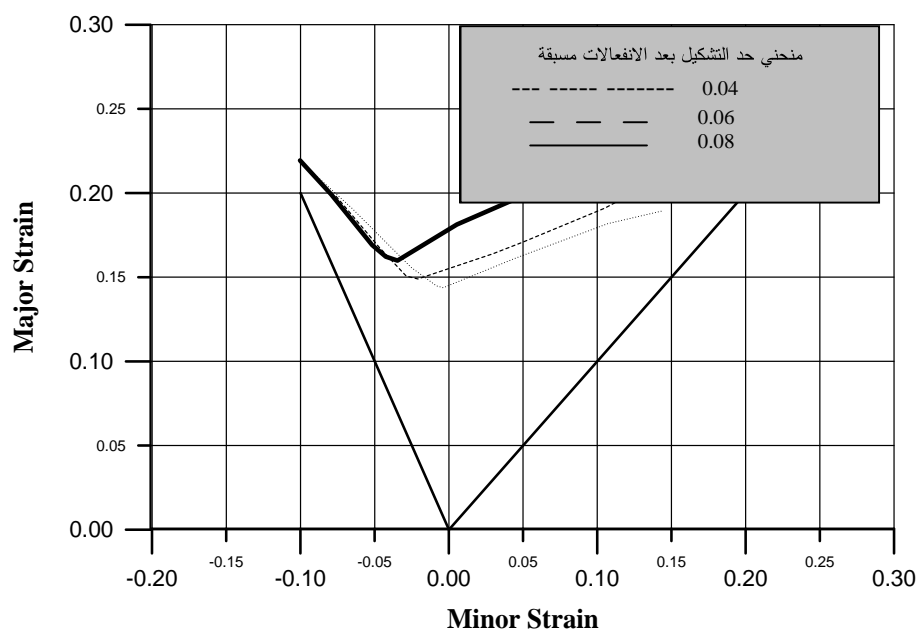
الشكل (11) يوضح المقارنة بين منحنى حد التشكيل الأول كما مستلم والآخر اجري عليه انفعال مسبق في الشد أحادي المحور عند انفعال رئيسي (4%).



الشكل (12) يوضح المقارنة بين منحنى حد التشكيل الأول كما مستلم والآخر اجري عليه انفعال مسبق في الشد أحادي المحور عند انفعال رئيسي (6%).



الشكل (13) يوضح المقارنة بين منحنى حد التشكيل الأول كما مستلم والآخر اجري عليه انفعال مسبق في الشد أحادي المحور عند انفعال رئيسي (8%).



الشكل (14) يوضح المقارنة بين منحنى حد التشكيل التي اجري انفعالات مسبقة

STUDY THE EFFECTS OF PRESTRAINS IN UNIAXIAL TENSION ON THE FORMING LIMIT DIAGRAM OF ALUMINUM ALLOY SHEETS(2024 T3)

Dr. W. J. Ali

T. F. Sultan

**Mechanical Eng. Dept.
Mosul University**

ABSTRACT

The strain path for sheet metal may be changed during forming , this may be affect the forming limit curve (FLC) . In this work the FLC before and after prestraining was determined for aluminum alloy (2024 T3) to study the effect of this type of prestraining and in different values on the FLC. This alloy was chosen because it is used widely , specially in aircraft structures .It was shown that the using of uniaxial tension prestrain affects the FLC . The major strain in right side is increased with the increasing in the prestrain , while in the left side the effect is small .

KEYWORDS

Forming limit Diagram, Prestrain , Uniaxial Tension.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.