

إيجاد المحلات الهندسية للخضوع لصفائح الألمنيوم (Al-2%Cu)

عباس عبدالله أحمد*

تاريخ التسلم: 2008/8/31

تاريخ القبول: 2009/6/4

تم في هذا البحث دراسة سلوك صفائح الألمنيوم (Al-2%Cu) تحت تأثير إجهادات الشد المختلفة من الشد البسيط والاجهادات السطحية والىجهاد المتزن في مستوي واحد وذلك يرسم المحلات الهندسية العملية لمعايير الخضوع لبيان سلوكها تحت شروط الاجهادات باتجاهين ، وكذلك مقارنة النتائج العملية مع نظريتي (Hill) القديمة والحديثة ، وقد وجد إن النظرية القديمة لا تطابق السلوك الحقيقي لصفائح الألمنيوم بينما النظرية الحديثة تكون أكثر ملائمة لسلوكها وذلك بتحديد المعامل (M) لها والذي وجد إن قيمته تساوي (M=1.85).
الرموز :-

K, M ثوابت في نظرية (Hill) ، t = سمك الصفيحة ، Y = إجهاد الخضوع
 R = محصلة معامل التباين بالاتجاهات، (R_{90}, R_{45}, R_0) .
 de_t = الانفعال المتزايد باتجاه السمك للعينات المختبرة .
 de_w = الانفعال المتزايد باتجاه العرض للعينات المختبرة .
 Z = زاوية مبل معيار الخضوع للاجهادات الرئيسية (S_3, S_2, S_1) .
 $t \max$ = اكبر إجهاد قصي .

Determination of Yield Loci for (Al-2%Cu) sheets

Abstract

This study concerns on the plastic behaviour of (Al-2%Cu) sheets under simple tension, plane strain tension and balanced biaxial tension. Experimental yield loci were extracted based on the constant strain energy theory, comparisons with the proposed two yield criterion after R. Hill , showed that the experimental yield loci does not follow very well the old yield criterion, but it can be fitted better with the new yield criterion. The determined value of "M" in the new yield criterion were ($m = 1.85$).

المقدمة:

التشكيل الميكانيكي وبيان تأثير معايير الخضوع على توزيع الانفعالات وذلك من أجل تحسين الصفائح المعدنية وتطوير تقنيات الكبس والتي تعتبر من العمليات الأكثر شيوعاً في عمليات تشكيل الصفائح . ولقد تم في هذا البحث الدراسة العملية والنظرية لسلوك الصفائح تحت تأثير التشكيل اللدن حيث طور الباحثون (Jackson) وآخرون [1] و (Hill) [2,3] و (Dorn) [4] كلا على حدة نظريات اللدونة بصورة مستقلة معتمدين على معيار (von

إن نظرية اللدونة (Theory of Plasticity) مبنية على دراسة الاجهادات والانفعالات في المواد التي تتعرض إلى تشكيل لدن منطلقة من نقاط تجريبية لتصرفات الأجسام الصلبة القابلة للتشكيل تحت تأثير الاجهادات المركبة من أجل إيجاد الحلول الرياضية لمعرفة الاجهادات والانفعالات في الأجسام المعرضة لها والتي توافق سلوك هذه المواد وذلك من أجل فهم ووصف القواعد الأساسية في عمليات

$$[s_1 - s_2]^2 + [s_2 - s_3]^2 + [s_3 - s_1]^2 = 2Y^2 \quad \dots(2)$$

أما الباحث (Hill) [3,2] فقد افترض نظريته المسماة :-
(A theory of anisotropic metals)
yielding and plastic flow of
والتي تكتب بالصيغة الآتية :-

$$s_1^2 + s_2^2 + s_1 s_2 \left[\frac{2R}{1+R} \right] = Y^2 \quad \dots(3)$$

أو تكتب بالشكل التالي :-

$$\frac{s_x^2}{x^2} - \left[\frac{2R_0}{1+R_0} \right] \frac{s_x}{x} \cdot \frac{s_y}{x} + R_0 [1+R_0] \cdot \frac{s_y}{x^2} = 1 \quad \dots(4)$$

حيث إن R_0, R_{90} معاملات التباين بالاتجاه (90, 0) مع اتجاه الدرفلة .
وقد فرض الباحث (Hill) نظرية أكثر شمولية من نظريته السابقة (3,2) . والتي تكتب بالصيغة التالية

$$2(1+R)Y^m = (1+2R)[s_1 - s_2]^m + [s_1 + s_2]^m \quad \dots(5)$$

حيث إن :-

M = معامل يحدد عمليا من تجارب السحب البسيط والإجهاد الممتز وتكون قيمة محصورة بين
($1 \leq M \leq 2$) .

3. 2 الجانب العملي :-

أجريت التجارب على صفائح من الألمنيوم (Al) بسبك (2) mm والتي تحتوي على (2%Cu) .
3.2.1 الاختبارات الميكانيكية :-

نقاط خضوع المحلات الهندسية في الربع الأول قد اختبرت عمليا باستخدام الشد البسيط وضغط الانفعال السطحي والضغط البسيط ومن ثم رسم المحلات الهندسية للخضوع (Yield Locus) لنفس الشغل المنجز لوحدة الحجم. وقد أجريت تجارب الشد البسيط على عينات تم

Mises [5] . ويعتبر معيار (Hill) [3,2] أكثرها استخداما من المعايير الأخرى مفترضا إن التباين متمائل بالقيمة والاتجاه في كل نقطة من نقاط التشكيل بانعدام ظاهرة (Bauschinger) وان الضغط الهيدروستاتيكي لا يؤثر على الخضوع فيها ولكن نظرية (Hill) القديمة لا تعطي تطابق في كل تطبيقات عمليات التشكيل [7,6] لذا افترض (Hill) [8] معيار جديدا أكثر عمومية من النظرية القديمة [3,2] وذلك بافراضه معاملا مرنا (M) والذي تكون قيمته $(1 \leq M \leq 2)$ في عمليات التشكيل الميكانيكي. ولقد أجريت أبحاث كثيرة على صفائح الألمنيوم [9,10,11,12,13] والتي أثبتت التطابق القوي بين الجزء النظري والعملي لمعرفة الاجهادات والانفعالات عند تشكيلها وذلك للأهمية هذه الصفائح التي أخذت تستخدم في الصناعات المهمة مثل الطائرات والسيارات وذلك من اجل تحسين عمليات التشكيل وتطوير الماكينات والعدد.

3. الخلفيات النظرية والاختبارات العملية:- Theoretical and experimental methods

3.1 الخلفيات النظرية عن معايير الخضوع:-

أولى نظريات الخضوع التي فرضت تنص على أن الخضوع يحصل عندما يصل أكبر إجهاد للقص إلى قيمة معينة (Tresca) [14] وكما هو مذكور في العلاقة التالية:-

$$t \max = \frac{s_1 - s_2}{2} = 0.5Y \quad (1)$$

حيث إن Y = إجهاد الخضوع في الشد البسيط

s_1, s_2, s_3 = الاجهادات الرئيسية عندما تكون $s_3 \leq s_2 \leq s_1$

وقد افترض الباحث (von Mises) [5] نظريته للمواد المتجانسة وتكتب بالشكل الآتي :-

باستخدام عدد (Tools) كيس مصلدة ومتوازية وذلك لتحقيق شرط الانفعال السطحي ($de_w = 0$) وتكون نسبة

$$\left(\frac{w}{b} \geq 6\right) \text{ و } \left(\frac{b}{t} = 2-4\right) \quad (9)$$

[18]

حيث إن: $b =$ عرض القالب ، $t =$ سمك العينة ، $w =$ عرض العينة . وتم إجراء الانفعال السطحي باستخدام مادة التفلون (P.T.F.E) المزيتة بسمك (0.025) mm وذلك لتقليل الاحتكاك بين سطحي العينة والقالب وتم الكبس مرحليا (Incremental) مع تجديد مادة التزيت لزيادة فاعليتها، ويتم قياس التناقص بالسمك باستخدام مايكرو متر يدوي على شكل حرف (V) دقته (1) مايكروميتر وتم إجراء التجارب على ماكينة الانسترون سعة (50) طن طراز (1197) وبسرعة راسية (0.2) mm/min بمعدل متوسط للانفعال مقدارها ($2.7 \cdot 10^{-3}$) mm/sec وتم إجراء الاختبارات باتجاهات ثلاث ($de_x = 0, de_y = 0$) باستخدام ثلاث

عينات من كل اتجاه وكان عرض القالب (b) mm = 4) المستخدم بعملية الكبس. أما بالنسبة للاجهادات المتزنة (biaxial tension) في مستوى واحد فقد استخدمت تقنيات الضغط البسيط لتحقيق شرط تساوي الاجهادات في الشد في مستوي واحد ($S_1 = S_2$) وهذه الطريقة استخدمت من قبل (Tozawa) [19] و (Shiria & Tozawa) [20] و (Lee & Backofen) [16] ، حيث تمت التجارب على ماكينة الانسترون بسرعة راسية (0.5) mm/min بمعدل متوسط للانفعال ($1.1 \cdot 10^{-3}$) mm/sec، وكانت النسبة بين الارتفاع

والقطر ($\frac{h}{d} = 1-1.5$) وذلك لمنع اعوجاج العينات أثناء الاختبار. ولقد تم القياس لتغيرات القطر والارتفاع باستخدام مايكروميتر دقته (1) مايكرون.

4. النتائج والمناقشة - Results & Discussion

تحضيرها من صفيحة الألمنيوم باتجاهات (90,45,0) مع الدرفلة بإبعاد (200*20*2) mm ، حيث تم تشكيل العينات على ماكينة التقريز الأفقيه وكان ضبط التوازي للعينات (± 40) مايكرون ، ويبلغ طول مدلول القياس للعينة (50) mm شكل (1) . ولقد تم سحب العينات على ماكينة الانسترون طراز (1196) سعة (10) طن بسرعة راسية (20) mm/min وبمعدل متوسط للانفعال مقدارها ($10 \cdot 10^{-3}$) mm/sec. وقد تم اختبار ثلاث عينات من كل اتجاه. وبنفس خطوات تحضير عينات السحب تم تحضير عينات لقياس معامل التباين (Anisotropy) باستثناء تلميع (Polishing) سطوحها لتسهيل قياس إبعادها باستخدام مايكروسكوب القياس العام بدقة (1) مايكرون وتحدد قيمته التباين من المعادلة الآتية:

$$\bar{R} = \frac{de_w}{de_t} \dots (6)$$

حيث أن :-

$$de_w = \text{الانفعال العرضي}$$

$$de_t = \text{الانفعال باتجاه السمك}$$

ويتم تحديد ميل المماس للمحل الهندسي للخضوع عند النقاط (0,Y), (X,0) من المعادلة الآتية

$$\tan z = \frac{de_w}{de_t} = \left[\frac{1}{R} + 1 \right] \quad (7)$$

حيث إن :-

$$R = \text{معامل التباين}$$

(8)

$$R = \frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{4}$$

أما طريقة قياس الانفعالات السطحية فقد استخدمت في هذا البحث نفس طريقة قياس لانفعال السطحي المستخدمة من قبل (Ford) [15] و (Lee&Backofen) [16] و (Taghvaipour & Mellor) [17] وذلك

البحث انه يخالف النظرية القديمة للباحث (Hill) ويتوافق مع النظرية الحديثة له. 2. يتوافق النتائج العملية التي تم الحصول عليها من البحث للمحلات الهندسية لمعايير الخضوع مع المحلات الهندسية النظرية لمعايير الخضوع المحسوبة باستخدام النظرية الحديثة للباحث (Hill) وذلك باستخدام المعامل (M=1.85).

References

- [1] Jackson, L. R., Smith, K. F and Lankford "Plastic flow in anisotropic sheet metal", metal, Tech. Pub., 2440(1948).
- [2] Hill, R., "The mathematical theory of plasticity", Oxford University press chapter 2, 12(1950).
- [3] Hill, R., "A theory of yielding and plastic flow of anisotropic metals", Proc. Roy. Soc., A193, 281(1948).
- [4] Dorn, J., "stress-strain relations for anisotropic plastic flow", J. appl. Phys., 20, 15(1949).
- [5] Von Mises, R., Gottinger Nachrichten, Math. Phys. Klass, 852(1913).
- [6] Hill, R., "On discontinuous plastic states with special reference to localized necking in thin sheet", J. M. Phys. Solids., 1, 19 (1952).
- [7] Hill, R., "A new method for determining criterion plastic potential of ductile metals", J. Mech. Phys. Solids., 1, 271(1953).
- [8] Hill, R., "Theoretical plasticity of textured aggregates", Math. Proc. Proc. Com. Phil. Soc., 85, 179 (1979).
- [9] Kuwabara, T., Van Bael, "Measurement and analysis of yield locus of sheet aluminum alloy 6XXX", In. Proc. Numis

يبين الشكل (2) المحلات الهندسية للخضوع لصفائح الألمنيوم عند طاقات مختلفة من الشغل المنجز لوحدة الحجم لتعطي مؤشرا واضحا عن خاصية التصليد بالانفعال (Strain hardening characteristic) حيث نلاحظ من الشكل (2) إن المحل الهندسي للخضوع عند قيم قليلة من الشغل المنجز لوحدة الحجم يكون على شكل بيضوي ولكن مع زيادة الشغل المنجز عند زيادة الانفعالات يتحول إلى أشكال مربعة نتيجة فقدان المعدن لمطوليته نتيجة تعرضه إلى الاجهادات باتجاهين (Biaxial stresses) ويبين الشكل إن اجهادات الخضوع لضغط الانفعال السطحي باستخدام نظرية (Hill) :-

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{R}{R+1} \quad (10)$$

لا تمثل التصرفات الحقيقية ولكنها تتمثل بنقاط اقرب إلى مناطق الاجهادات المتزنة في الشد في مستوى واحد ($S_1 = S_2$) ولكن ينطبق مع النظرية الحديثة له :-

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{k-1}{k+1}, k = (1+2R)^{\frac{1}{m-1}} \quad (11)$$

4.1. مقارنة المحلات الهندسية للخضوع مع نظريتي (Hill) القديمة والحديثة :-

يبين الشكل (2) مقارنة المحلات الهندسية العملية للخضوع بنظريتي (Hill) القديمة والحديثة حيث يتبين من الشكل إن استخدام نظرية (Hill) الحديثة باستخدام المعامل (M=1.85) يعطي تطابقا جيدا، أما باستخدام نظريته القديمة فان الحيود واضح وخصوصا في مناطق الإجهاد المتزن في الشد في مستوى واحد ($S_1 = S_2$).

5. الاستنتاجات :-

1. الطرق الميكانيكية للتشكيل في عمليات الدرفلة تعتمد في تصرفاتها على المحلات الهندسية لمعايير الخضوع، حيث تبين من

- WEET99, eds, G.G. Gellman and P. Dicart, Besancon, 85-90 (1999).
- [10] Kuwabara, T., Kuroda, M., Tvergaard, V and Nomura, K., "Use of abrupt strain path change for determining subsequent yield surface experimental study with metal sheet", *Acta Mater*, 48, 2071-2079 (2000).
- [11] Banabic, D., Aretz, H., Comsa, D and Paraianu, L., "An improved analytical description of orthotropic in metallic sheet", *I. J. Plasticity*, 21(3), 493-512 (2005).
- [12] Chung, et al., "Spring back evaluation of automotive sheet base on isotropic kinematic hardening laws and non - quadratic anisotropic yield function", part 1, theory and formulation *I. J. Plasticity*, 21(5), 861-882 (2005).
- [13] A.A. Zadpoor., J. Sink., R. Benedictus., "Comparative study at the formability prediction models for high - strength Aluminum Alloys " ICTP 2008 (The 9th international conference on technology of plasticity).
- [14] Tresca, H., *Comptes Rendus Acad, Sci., Paris*, 59, 754 (1864).
- [15] Ford, H., "Researches into the deformation of metal by cold rolling", *Proc. Inst. Mech. Engrs*, 159, 115 (1948).
- [16] Lee, D and Backofen, W, T., "An experimental deformation of the yield locus for titanium and titanium alloy", *Trans. Metall. Soc. AIME.*, 236 (1966).
- [17] Taghvaipour, M and Mellor, P, B., "Plain strain compression of anisotropic sheet metal", *Proc. Inst. Mech. Engrs.*, 1959, 593 (1971).
- [18] Nadai, A., "Plasticity", McGraw-Hill, New York and London., p251 (1931).
- [19] Tozawa, Y., "Plastic deformation behavior under conditions of combined stress", *Mechanic of sheet metal forming*. New York, plenum pressing., 81 (1978).
- [20] Shari, H and Tozawa, Y., "Yield surface of prestrained initial anisotropy materials- plastic deformation behavior of prestrained materials", *J. Japan Soc. Technology of plasticity*. 916.16.645 (1975).

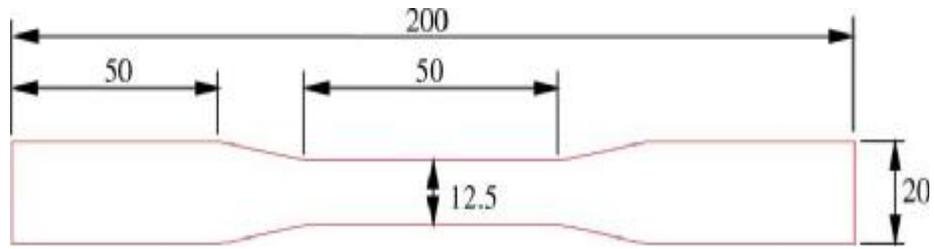
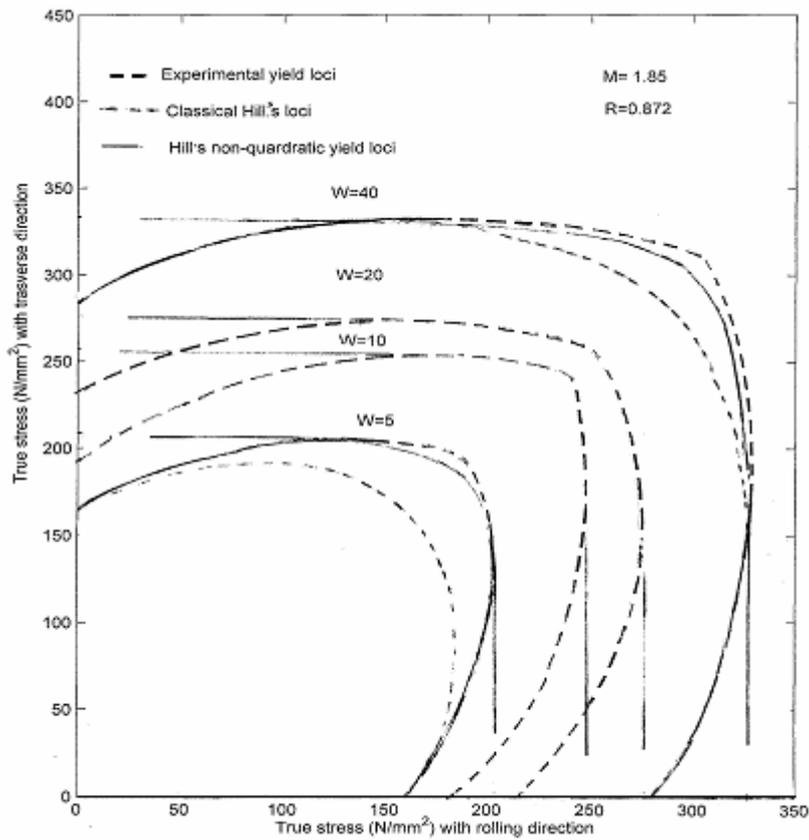


Fig (1):- Rectangular tension test specimen, ASTM-EB. All dimensions in mm.



Fig(2):- Experimental yield loci for Al-Sheet at different work done compared with Hill's yield loci .