دراسة تأثير الانفعال المسبق على تحديد المحلات الهندسية للخضوع لصفائح الصلب منخفض الكاربون[+]

STUDYING THE EFFECT OF THE PRE-STRAIN ON THE YIELD LOCI FOR LOW CARBON STEEL SHEET

محمد حميد جعفر[*]

المستخلص

تم في هذا البحث دراسة سلوك الخضوع الحقيقي للصفائح المعدنية من الصلب منخفض الكاربون ، وذلك بتعريضها إلى تأثير اجهادات مختلفة والمتمثلة في اجهادات الشد والإجهاد المتزن للشد في مستوي واحد $(sx = sy)$ وضغط الانفعال المستوي . أعلى قيمة لاجهاد الخضوع كان عند حالة ضغط الانفعال المستوي واقل قيمة له كان في حالة الشد. كذلك تم أيجاد المحل الهندسي للخضوع عملياً للصلب منخفض الكاربون باختلاف قيم الانفعال المسبق والذي وجد فيه أن المحل الهندسي يزداد مع زيادة قيم الانفعال المسبق. وعند مقارنة المحل الهندسي للخضوع العملي مع المحلات الهندسية باستخدام نظريتي (Hill) القديمة والحديثة للخضوع كانت نظرية (Hill) الحديثة تعطي تقارب جيد مع الجانب العملي عند معامل معيار (Hill) للخضوع (m=1.9).

Abstract

In this research a real behaviour of metal sheets of low carbon steel has been studied by using different stresses , which are represented by a simple tension balanced biaxial tension and plan-strain compression . The result showed that the yield stress in plan-strain compression were higher than yield stresses in balanced biaxial tension and simple tension . Moreover the increase volume of yield loci with increasing of pre-strain was found . Also comparison between the experimental yield loci with original and new Hill's theories, from this comparison found the new Hill theory gave a good approach at (m=1.9) .

الجانب النظري

التركيب الدقيق للصلب منخفض الكاربون يتكون من حبيبات كبيرة من الفرايت مع كاربيدات الحديد التي تعرف بـــ(السمنتايت) وجزء حجمي صغير من البرلايت على الحدود البلورية ، وتستخدم هذه الصفائح بشكل واسع في الصناعة مثل صناعة ابدان السيارات[1] .

[+] تاريخ استلام البحث في ٢٠٠٣/٩/١٧ ، تاريخ قبول النشر في ٢٠٠٤/٢/٢٤

[*] مدرس / المعهد التقني - الكوفة

يعرف معيار الخضوع بانه القانون الذي يحدد حد المرونة تحت تأثير الاجهادات المركبة (combined stress) .

لقد قام [2] باعطاء وصف كامل لسلوك الخضوع للمعادن المتوحدة الخواص ، عن طريق حساب الحمل المطلوب عند بثق المعادن واستنتجا بان التشكيل اللدن يحدث عندما يصل اجهاد القص (T_{max}) في المعدن الى قيمة معينة باستخدام معيار (Tresca) .

$$T_{\max} = \frac{s_1 - s_3}{2} = Cons\ \tan t = \frac{y}{2} \ldots\ldots\ldots .(1)$$

اما الباحث [3] فقد اعتمد على معيار (Von mises) للخضوع في بحثه للمعادن الموحدة الخواص والذي يكتب بالشكل الآتي :

$$(s_1 - s_2)^2 + (s_2 - s_3)^2 + (s_3 - s_1)^2 = Cons \tan t = 2y^2 \ldots(2)$$

وقام الباحث [4] بايجاد نظريته الجديدة لمعيار الخضوع للمعادن المتباينة ، وهذه النظرية اكثر عمومية وهي امتداد لنظرية (Von mises) وتعتمد بشكل اساس على الافتراضات الآتية ، التباين يتمثل بتصرفات المعدن على ثلاثة مستويات متعامدة ومتماثلة في نقطة ويكوّن تقاطعها مع بعضها المحاور الرئيسة والتي تكون باتجاه الدلفنة والاتجاه العرضي وباتجاه السمك .

$$2(1+R)y^m = (1+2R)\left|s_1 - s_2\right|^m + \left|s_1 + s_2\right|^m \ldots\ldots(3)$$

اما الباحث [5] فقام بتحوير نظرية (Hill) ووضح تأثير التباين بالخواص (R) على شكل المحلات الهندسية للخضوع وقد وجد ان زيادة التباين بالخواص تعطي زيادة في امتداد المحل الهندسي للخضوع وكما في المعادلة الآتية :

$$s_1^2 + s_2^2 - s_1 s_2 [2R/1+R] = y^2 \ldots\ldots(4)$$

وقام الباحث [6] بدراسة انسياب المعادن بانفعال كبير والذي يكون مهم لمهندسي التصميم لتعلقه بعمليات التشكيل التي تتضمن تشويه لدن عالي .

ان استنتاج معادلات المحلات الهندسية للخضوع باستخدام معادلة (Hill) باتجاه الدلفنة والاتجاه العمودي عليه ، ويتم من تحديد قيمة الاجهادات في ضغط الانفعال المستوي باستخدام العلاقة التالية (4):

$$\frac{s_2}{s_1} = \frac{K-1}{K+1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

$$K = (1+2\bar{R})^{1/m-1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

حيث ان : S_3 ، S_2 ، S_1 = الاجهادات الرئيسية وتكون $s_3 \mathbf{p} s_2 \mathbf{p} s_1$

$\bar{R}$ = القيمة المتوسطة للتباين بالخواص = $\frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{4}$

m = دليل معيار Hill الحديث للخضوع ويمكن تحديده تجريبياً $[2 \geq m \geq 1]$.

اما استنتاج المحلات الهندسية النظرية للخضوع باستخدام نظرية (Hill)[7] القديمة تحت ظروف الاجهاد في مستوى الصفائح أي $[s_z = 0]$ فتكون

$$\frac{s^2x}{X^2} - \left(\frac{2R_0}{1+R_0}\right)\frac{sx}{X}\frac{sy}{X} + \frac{R_0}{R_{90}}\left(\frac{1+R_{90}}{1+R_0}\right)\left(\frac{sy}{X}\right)^2 = 1 \quad .....(7)$$

حيث : X = اجهاد الخضوع باتجاه الدلفنة .

Y = إجهاد الخضوع باتجاه عمودي على الدلفنة .

R_0 = التباين بالخواص العمودي باتجاه الدلفنة .

R_{90}= التباين بالخواص العمودي بالاتجاه العمودي على الدلفنة .

$$\frac{R_0(1+R_0)}{R_0(1+R_{90})}\left(\frac{sx}{Y}\right)^2 - \frac{2R_{90}}{1+R_{90}}\frac{sx}{Y}\frac{sy}{Y} + \left(\frac{sy}{Y}\right)^2 = 1 \quad .....(8)$$

ويمكن تمثيل المعادلتين (8,7) عند قيم التباين بالخواص باتجاهات مختلفة من سطح العينة على النحو الآتي :

$$s^2x + s^2y - \frac{2\overline{R}}{1+\overline{R}}sxsy = x^2 \quad ..... (9)$$

اما ايجاد المحلات الهندسية باستخدام نظرية (Hill) الحديثة يمكن استنتاجها بتعريض اجهاد الخضوع للشد في المعادلة رقم (٣) ويمكن حساب قيمة دليل معيار(Hill) للخضوع (m) وذلك من اختبار الشد البسيط عن طريق السمك في مستوى واحد $[sx = sy]$ باستخدام المعادلة مصدر [8] :

$$m = \frac{\ln[2(1+\overline{R})]}{\ln(2B/y)} \quad ..... (10)$$

حيث : B = اجهاد الخضوع لاختبار الضغط البسيط .

Y= اجهاد الخضوع لاختبار الشد البسيط .

الجانب العملي

1- المعدن المستخدم

اجريت الاختبارات في هذا البحث على الصلب منخفض الكاربون بسمك (١,٥ملم) والذي يظهر تركيبه الكيمياوي في الجدول رقم (١) .

جدول رقم (١): التحليل الكيمياوي للمعدن الاساس المستخدم في البحث

– تم التحليل في المعهد المتخصص للصناعات الهندسية

%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Mo	%V	%Fe
0.1095	0.4122	0.1647	0.0199	0.0152	0.0604	0.0046	0.002	REM.

٢ - <u>اختبار الضغط البسيط</u>

تم تحضير عينات هذا الاختبار من المعدن الاساس المستخدم في هذا البحث حيث تم تقطيع هذه الصفائح على شكل اقراص دائرية بقطر (١٠ملم) [9] وذلك باستخدام ماكنة تخريم الصفائح المعدنية الخاصة بقطع الاقراص .

ثم تجميع هذه الاقراص على شكل اسطوانة باستخدام مادة لاصقة (Supper Glue) بوضع طبقة رقيقة جداً بين الاقراص وبعد جفافها تعاد خراطتها الى ان تصل الى نسبة (h/d=1.3) [9]. ثم توضع هذه العينات في قالب الضغط البسيط الذي يظهر في شكل رقم (١) وجميع اجزاء هذا القالب مصنوعة من الصلب (DIN CK 45). لايجاد منحنيات الاجهادات الحقيقية – الانفعالات الحقيقية تحت شروط الاجهاد المتزن للشد في مستوى واحد $sx = sy$.اجري الاختبار بوضع القالب مع العينة بين فكي جهاز الشد الذي يتحرك بسرعة رأسية مقدارها (٠,٢ملم\دقيقة) ليعطي معدل انفعال (٦,٦٧×١٠$^{-٥}$) ثا$^{-١}$.

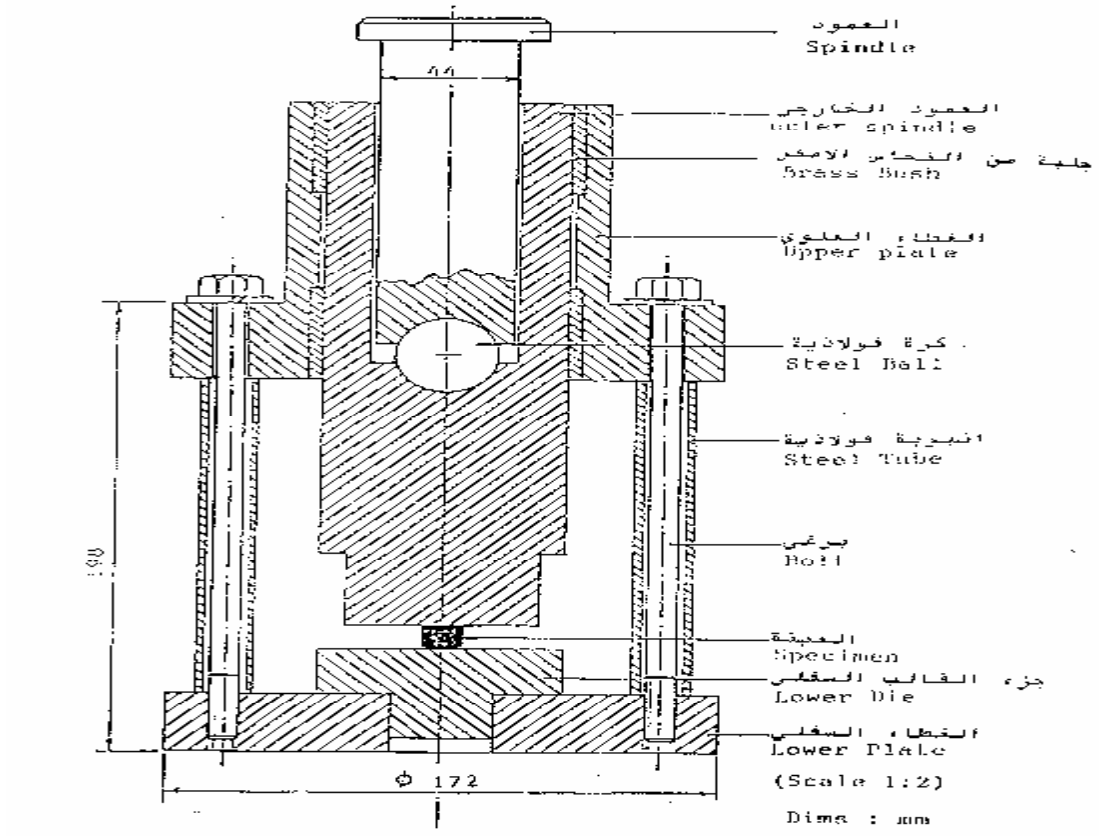
وبعد ان تتحول العينة الى منطقة التشكيل اللدن يرفع الحمل وتسجل قيمته ثم قياس قطر العينة وارتفاعها بعد التشكيل ويحسب الاجهاد من قسمة الحمل على المساحة الجديدة للعينة بعد الضغط . اما الانفعال بالسمك فيتم حسابه من العلاقة الآتية :

$$E\,t = -\ln \frac{h_0}{H}$$

Et = الانفعال باتجاه السمك .

h_0= ارتفاع العينة قبل الضغط .

h = ارتفاع العينة بعد الضغط .



شكل رقم (١) : مقطع في قالب الضغط البسيط

٣ - <u>اختبار ضغط الانفعال المستوي</u>

لغرض اجراء هذا الاختبار تم تقطيع المعدن بالابعاد (٣٦×٥٠) ملم باتجاه الدلفنة والاتجاه العمودي للدلفنة وبما ان عرض القالب (٦ ملم) لكون سمك المعدن (١,٥ ملم) حيث النسبة (t/b=1/4) [10] وكذلك عرض الصفيحة يكون اكبر (٦) مرات من عرض القالب ($w/b \geq 6$) لذا يصبح عرض الصفيحة (٣٦ملم). ثم توضع هذه العينة في قالب ضغط الانفعال المستوي والذي يظهر في الشكل (٢) .

ويقاس سمك العينة باستخدام مايكروميتر في أكثر من نقطة على الاثر ويؤخذ متوسط القراءات ، ويحسب الاجهاد من العلاقة :

$$S = \frac{F}{A}$$

حيث S = اجهاد الضغط .

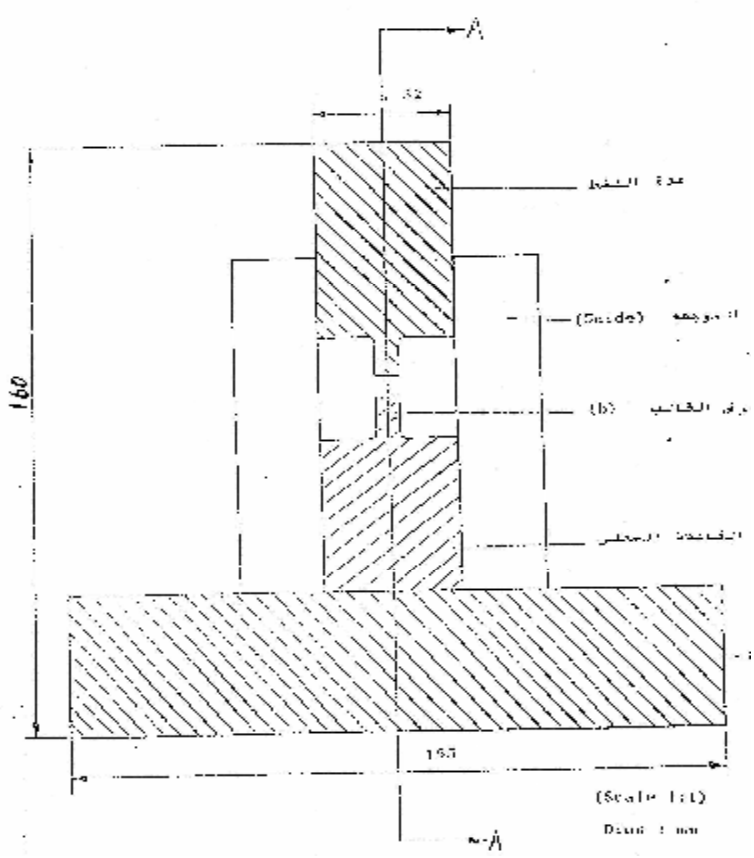
F = الحمل .

A = المساحة المعرضة للضغط (w×b) .

اما الانفعال باتجاه السمك فيحسب من العلاقة التالية :-

$$E\,t = -\ln \frac{t_0}{t}$$

t_0 = السمك قبل الكبس . t = السمك بعد الكبس .



شكل رقم (٢) : مقطع في قالب ضغط الانفعال المستوي

4- <u>اختبار الشد البسيط</u>

لغرض اجراء هذا الاختبار اخذت عينات بالمواصفات القياسية البريطانية (B.S. 18) وبالاتجاهات موازي (٠)° ومائل بزاوية (٤٥)° وعمودي (٩٠)° بالنسبة لاتجاه الدلفنة . ثم اجريت الاختبارات على جهاز الشد بمعدل انفعال (٦,٦٧× ١٠ $^{-٥}$) ثا$^{-١}$ ، أي عند سرعة لرأس الجهاز (٠,٢ ملم/دقيقة) حيث تحمل العينات لغاية الكسر، وذلك لغرض حساب مقاومة الشد القصوى ومقاومة الخضوع ودليل الاصلاد الانفعالي (n) . اما التباين بالخواص (R) للاتجاهات الثلاث فيتم بقياس السمك والعرض بواسطة مجهر القياس العام ذو دقة (٠,٠٠١ ملم) وذلك بتحميل العينات باجهاد يزيد على اجهاد الخضوع بنسبة (٢٥%) ثم يرفع الحمل لاجراء القياسات .

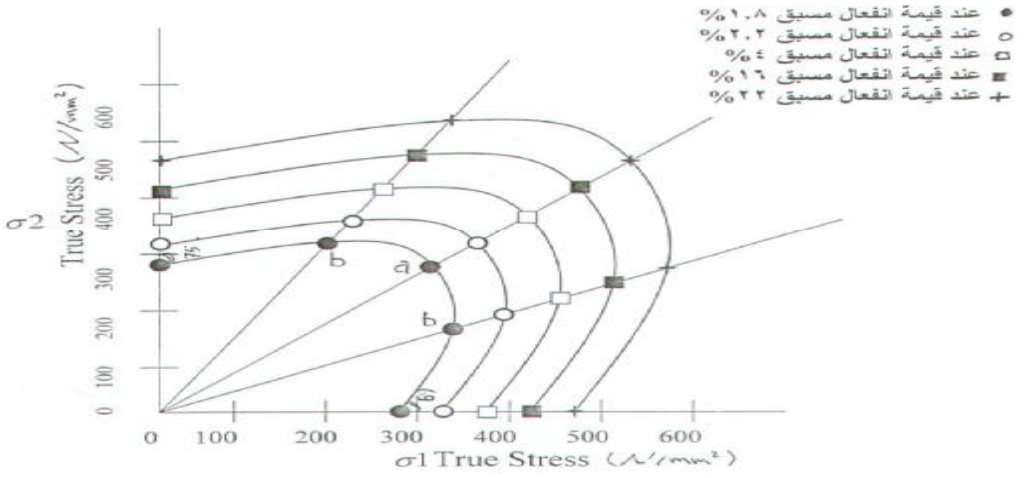
١- <u>اختبار الانفعال المسبق</u>

اجريت عملية الانفعال المسبق بشد العينات التي تظهر في الشكل (٣) على جهاز الشد حيث حملت احدى العينات لغاية الكسر وذلك لتحديد نقطة الخضوع ونقطة اقصى مقاومة شد ثم اخذ قيمتين قبل الخضوع وقيمتين بعد الخضوع .

شكل رقم (٣) : عملية الانفعال المسبق

المناقشة

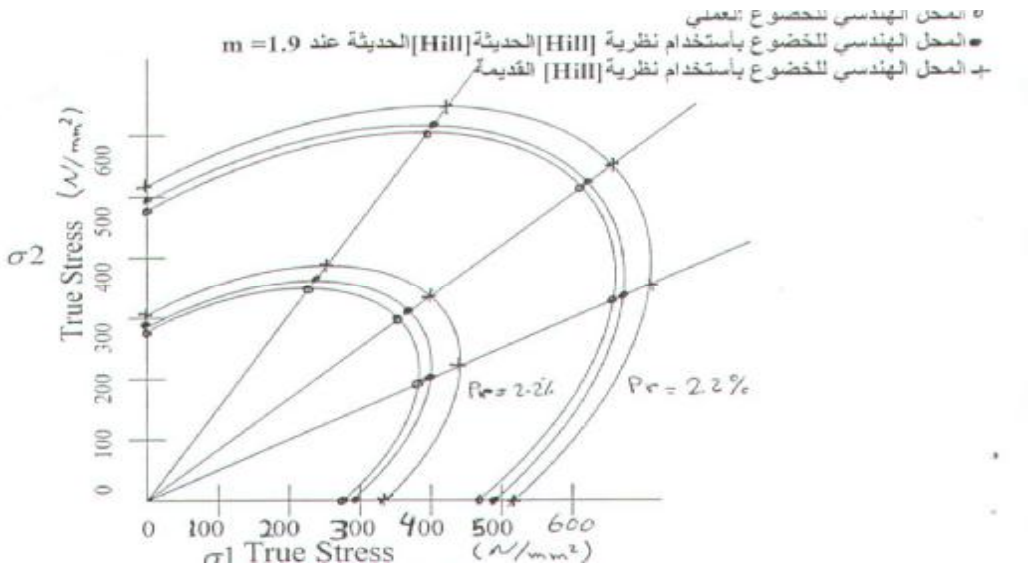
يُظهر الشكل (٤) المحلات الهندسية العملية للصلب منخفض الكاربون عند قيم انفعال مسبق مختلفة حيث نلاحظ ان المحلات الهندسية تكون على شكل بيضوي ناعم (Smooth) وتستمر بالتوسع مع زيادة قيم الانفعال المسبق ، بعد ذلك يؤخذ الشكل الهندسي للخضوع بالتغيير نتيجة فقدان المعدن مطيليته [11] .



شكل رقم (٤) : المحلات الهندسية العملية للخضوع بأختلاف قيم الانفعال المسبق

اما الشكل (٥) يظهر مقارنة نتائج المحلات الهندسية العملية للخضوع للصلب منخفض الكاربون مع قيم نظريتي (Hill) القديمة والحديثة . حيث تبين ان نظرية (Hill) القديمة تنطبق في مناطق الشد البسيط فقط عند اتجاه موازي (٠)° للدلفنة بينما تأخذ بالابتعاد في المناطق المحصورة بين ضغط الانفعال المستوي والاجهاد المتزن للشد في مستوي واحد $[sx = sy]$ ومناطق الشد البسيط بالاتجاه العمودي للدلفنة وهذا التفسير صحيح عند قيم انفعال مسبق (٢,٢%) اما عند قيم الانفعال المسبق العالية (٢٢%) فتأخذ هذه النظرية بالتطابق في مناطق الشد البسيط في الاتجاه الموازي والعمودي للدلفنة بينما تأخذ بالابتعاد وعدم التطابق في مناطق الاجهاد المتزن للشد في مستوي واحد $(sx = sy)$ وضغط الانفعال المستوي .

اما عند تطبيق نظرية (Hill) الحديثة فيكون التطابق جيد مع استخدام المعامل (m=1.9) عند جميع قيم الانفعال المسبق . مما سبق نستنتج ان نظرية [(Hill) الحديثة تكون اكثر ملائمة للسلوك الحقيقي للصفائح المعدنية من نظريته القديمة .



شكل رقم (٥) مقارنة المحلات الهندسية العملية للخضوع مع نظريتي [Hill] القديمة والحديثة

الاستنتاجات

١- منحنيات الاجهاد - الانفعال الحقيقي لحالة ضغط الانفعال المستوي اعلى من مثيلاتها في حالتي الشد البسيط والضغط البسيط .

٢- تكون المحلات الهندسية العملية للخضوع لصفائح الصلب منخفض الكاربون ذات شكل بيضوي ناعم .

٣- يزداد المحل الهندسي العملي للخضوع بالتوسع مع زيادة نسب الانفعال المسبق .

٤- كون منحني الاجهاد – الانفعال الحقيقي في الانفعال المستوي بالاتجاه العمودي على الدلفنة (dEy=0) اعلى منه للاتجاه الموازي للدلفنة (dEx=0) .

٥- عدم تطابق نظرية (Hill) القديمة مع المحلات الهندسية العملية للخضوع بينما التطابق يكون جيد مع نظرية(Hill) الحديثة (m=1.9) .

المصادر

1- M.S-Rashid "High Strength Low Alloy Steels" , Metal Sci. , Vol. 208, pp. 24-28 , 23 May, 1980.

2- B. Dodd and K. Naruse "Limitation on Isotropic Yield Criteria" *Int. J. Mach. Sci.* , Vol. 3 No. 7, pp. 511-515 , 1989 .

3- G. Rowe *"Principle Industrial Metal Working Processes*" chapter3, 1986 .

4- R. Hill "Theortical Plasticity of Texured Aggregates" *Math. Proc. Camp. Phil. Soc* , Vol. 85, pp. 79-84 , 1979.

5- P.B. Mellor "Sheet Metal Forming" *Int. Met. Rev* , No. 1, pp. 1-18 , 1981.

6- J. Mukhopadhyay , A.K. Mukerjee and A.K. Mallik" Correlation of Uniaxial Data with Forming Limit Curves of Al- Mg Alloy Deformed at Ambient and High Temperatures" *J. Mat. Sci* , Vol. 25, pp. 977-982 , 1990.

7- R. Hill *The Mathematical Theory of Plasticity* Oxford University Press , Chapter 2 , 1950 .

8-S. Kobayashi "Examination of Hill's Latest Yield Criterion Using Expreimental data for Various Anisotropic Sheet Metals" *Int. J. Mech.* Sci , Vol. 27 , No. 7, pp. 509-517 , 1985 .

9- B. W. Parvell "Uniaxial Compression Test and the Validity of Indirect Tensile Strength" *J. Mat. Sci.* , 25, pp. 757-780 , 1990 .

10- W. Johnson and P.B. Mellor *Engineering Plasticity* Printed in Britain , chapter 6, pp 114-118 , 1980.

11- D. Zhou and J. Lina "Application of Hill's New Yield Theory to Sheet Metal Forming - part II" *IntMech. Sci.* , Vol. 31, No. 4, pp. 249-263, 1989.