

استخدام الصلب الثنائي الطور في عملية السحب العميق

د. عبد الوهاب محمد المشهداني

Abdulwahab M. AL- Mushehdany

قسم هندسة الإنتاج والمعادن/ الجامعة التكنولوجية

Received on: 15/12/2002

Accepted on: 06/03/2003

الخلاصة :-

اجريت عملية السحب العميق لاغفال دائرية بسمك (0.6 ملم) من الصلب الواطئ الكاربون (0.076%) كاربون والصلب ثنائي الطور باستخدام قالب مخروطي ذو زاوية تصفية مقدار هل (20 °) وعنق (13.8 ملم) مع خرامة بقطر (12 ملم) وقد استخدم مسحوق الكرافيت المخلوط مع زيت معدني للتزييت من النتائج العملية وجد ان نسبة السحب المحددة للصلب الواطئ الكاربون كانت (2.97) قطر غفل يساوي (33.5 ملم) وكان حد التشكيل هو الفشل بالكسر في منحنى تقوس القدر عند قطر غفل يساوي (34 ملم) بينما كانت نسبة السحب المحددة للصلب الثنائي الطور اقل وتساوي (2.33) عند قطر غفل يساوي (28 ملم) وكان حد التشكيل هو الفشل بالانطواء في شفة الغفل الذي قطره يساوي (28.5 ملم) .

كذلك وجد ان الحمولة القصوى للسحب العميق للصلب الثنائي الطور هي اعلى من الحمولة القصوى للسحب العميق للصلب الواطئ الكاربون ولجميع نسب السحب الناجحة .

Application of Dual - Phase Steel in Deep - Drawing Process

Abstract:

Deep drawing was carried out on circular blanks having a Thickness of (0.6 mm) from low carbon steel (0.07% C) & dual phase steel using a conical die having die semi - angle of (20 °) and throat diameter of (13.8mm) with punch of (12 mm) diameter . Mixture of graphite powder & mineral oil was used as a lubricant It was found that the limiting drawing ratio (L. D. R) for low carbon steel is (2.79) at the blank diameter of (33.5 mm) and deep drawing was limited by fracture in the cups curvature at blank diameter of (34 mm) while the limiting drawing ratio for the dual phase steel was (2.33) at the blank diameter of (28 mm) and deep drawing was limited by wrinkling in the flange of the cup . It was also found that the maximum drawing load for dual phase steel is greater than that for low carbon steel for all drawing ratios.

لأهمية الصلب الثنائي الطور في الصناعة ولقلة المصادر والمعلومات المتوفرة في مجال استخدامه في عملية السحب العميق ، يهدف البحث الحالي الى دراسة سلوك الصلب ثنائي الطور في عملية السحب العميق ومقارنة النتائج مع نتائج الصلب الواطئ الكاربون الذي تم تحضير الصلب الثنائي الطور منه من خلال ايجاد نسبة السحب المحددة (L. D. R) والحمولة القصوى (Pmax) باستخدام قالب مخروطي (Conical die).

نبذة تاريخية عن الصلب ثنائي الطور:-

التركيب الاساس للصلب ثنائي الطور عبارة عن مزيج من ارضية الفرايت ومنتشرة خلاله جزر او الياف من المارتنزيت وان سلوك منحنى الاجهاد - الانفعال لهذا الصلب يختلف عن ذلك للصلب الواطئ الكاربون وكذلك عن ذلك للصلب (H . S . L) . (2) . L)

المقدمة:-

عرف الصلب ثنائي الطور (Dual phase steel) بعد عام (1970 م) لما يمتاز به من قابلية تشكيل جيدة مقارنة بالصلب الواطئ الكاربون (Low carbon steel) والصلب عالي المقاومة منخفض السبيكي (H. S. L. A) ، ان قابلية التشكيل الجيدة له مع الاحتفاظ بقابلية الانحناء ومقاومة التآكل الميكانيكية العالية المشابه للصلب الواطئ الكاربون اسهمت في ادخاله في صناعة ابدان السيارات واجزاء اخرى استجابة للاتجاه الاقتصادي من خلال تقليل الوزن دون التضحية بالمقاومة (1)

يمتاز الصلب الثنائي الطور بالخضوع المستمر ونسبة مقاومة الخضوع / مقاومة الشد واطنه ودليل تصليد انفعالي عالي مما يؤدي الى تاخر الفشل مقارنة بالصلب الواطئ الكاربون . ونظرا

$$\sigma = 1.1\gamma(1 + \frac{1}{\gamma \cdot \cot \alpha})(1 - \{\frac{Dp}{De}\}^{\mu \cdot \cot \alpha}) \dots (2)$$

حيث أن :

$$P_{max} = \text{الحمولة القصوى للخزامة}$$

$$Dp = \text{قطر الخزامة}$$

$$Tp = \text{سمك الغفل}$$

$$\sigma = \text{أجهاد السحب}$$

$$\alpha = \text{زاوية نصف القالب}$$

$$De = \text{قطر حافة الغفل}$$

$$\mu = \text{معامل الاحتكاك ، وتم اختياره على أساس بحث swift (9) وتساوي (\mu=0.04)}$$

$$Y = \text{أجهاد الخضوع}$$

ولحساب دليل التصليد (n) ومعامل المقاومة (k) تم حسابه من معادلة (Holoman)

$$\sigma = K \cdot \epsilon^n \dots (3)$$

وبعد تطبيقها على المعطيات المأخوذة من منحنى الاجهاد- الانفعال (الحقيقي) الذي يتم الحصول عليها من اختبار الشد أحادي المحور حيث أن :-

$$\sigma = \text{الاجهاد الحقيقي}$$

$$\epsilon = \text{الانفعال الحقيقي}$$

أما قيمة التباين العمودي (R) والتباين السطحي (ΔR) فتم حسابه من المعادلات التالية :-

$$R = \frac{\ln(W0/Wf)}{\ln(Lf \cdot Wf / L0 \cdot W0)} \dots (4)$$

$$\Delta R = \frac{RO + R90 - 2R45}{2} \dots (5)$$

حيث أن :-

Wf , wo العرض الاصلي والنهائي للعينة على التوالي

Tf , to السمك الاصلي والنهائي لعينة الاختبار على التوالي

لقد ظهرت الحاجة الى الصلب ثنائي الطور استجابة مع الاتجاه الاقتصادي في مجال صناعة السيارات من خلال تقليل الوزن وزيادة اقتصاديات الوقود وزيادة الحمل الفعال ويتم تقليل الوزن بتقليل حجم واسطة النقل او من خلال زيادة نسبة المقلومة / الوزن حيث ان العامل الاخير هو الممكن لغرض المحافظة على حجم واسطة النقل . (31)

لقد بدأ في عام (1960 م) استحداث الصلب الفريتي- المارتنازي في المملكة المتحدة فقد كانت الشركة البريطانية (B. I. S. R. A) تهدف الى تطوير الصلب للحصول على مقاومة شد تساوي (500 Mpa) عن طريق تطوير عملية التلدين اذ تم تسخين الصلب الواطئ الكاربون الى المدى الحرج ومن ثم تقسيته بالماء وبعد ذلك المراجعة عند درجة حرارة منخفضة في وسط ملحي (4) .

اما جهود شركة (Inland) الأمريكية فكانت باتجاه الحصول على مقاومة شد تساوي (1000 Mpa) عن طريق التقسية لغرض انتاج تركيب مارتنازي كلي ولكن مع هذا لم تفلح الشركتان في تحسين قابلية التشكيل للصلب ثنائي الطور (4) .

ان تسمية الصلب بالثنائي الطور تسمية غير دقيقة لان هذا الصلب يحتوي على أكثر من طورين فعلاوة على طوري الفريتي والمارتنازي الاساسيين فانه يحتوي على البايانيت السفلي والاوستنايت العائد (Return Austenite) ، (5 ، 6) .

لقد بدء التنافس في صناعة السيارات في الولايات المتحدة عام (1970 م) من اجل الاختصار في الوزن والحصول على نسبة عالية من المقاومة / الوزن اذ يمتاز هذا الصلب بمطيلية وقابلية تشكيل عاليتين وامكانية استخدامه في انتاج اجزاء السيارات ذات الاشكال المعقدة (3) .

الجانب النظري :-

لقد تم استخدام المعادلة الجبرية التي حصل عليها (لازم) ، (7) لتحديد الحمولة القصوى النظرية حيث استفاد (لازم) من التحليل النظري الذي طرحه (Johnson & Mellor) ، (8) ؛ الخاص بعملية سحب الانابيب خلال قالب مخروطي من خلال التشابه القائم بين عمليتي السحب العميق وسحب الانابيب خلال قالب مخروطي عند بداية الدخول الى عنق القالب حيث يتعرض (Element) الى نفس الاجهادات في العمليتين والفرق الاساس بينهما هجت و ان قطر التماس سطح القالب في سحب الانابيب هو قطر ثابت يساوي القطر الاصلي للانبوب قبل السحب اما في السحب العميق فان قطر حافة التماس هو قطر متغير .

$$P_{max} = Dp \times tb \cos \alpha \times \sigma \dots (1)$$

L_f, l_0 الطول الاصلي والنهائي لعينة الاختبار على التوالي

R90, R45, R0 مقدار التباين باتجاه $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ على اتجاه الدلفنه.

الخرامة والقالب :-

الشكل (1) يمثل تفاصيل الخرامة (Punch) والقالب (Die) الذي استخدم في هذا البحث حيث كانت نسبة السمك (D_p / t_b) تساوي (20) وكان قطر الخرامة (D_p) يساوي (12 ملم) وسمك الصفيحة المستخدمة (t_b) يساوي (0.6 ملم) والزاوية النصفية للقالب تساوي (20°) اما نصف قطر تقوس القالب (Die profile) ونصف قطر تقوس الخرامة (Punch profile) ثم اختيارهما على اساس مقترحات (Kumpulainen) (11) (10) الذي يقترح ان يكون نصف قطر القالب مساويا الى ($D_p 67.0$) في حين يكون نصف قطر تقوس الخرامة اصغر من ($D_p 0.1$) .

الجانب العملي :-

لقد تم قطع عينات شد قياسية وفق المواصفات البريطانية (B . 18 S .) وبواقع ثلاث عينات للاتجاهات (صفر , 45° , 90°) مع اتجاه الدلفنة للمعدن كما استلم بعد المعاملة الحرارية لتحديد بعض المؤشرات عن الخواص الميكانيكية للمعدنين وكذلك تم قطع اغفال دائرية بالخرامة وبالاقطار (22 , 24 , 26 , 28 , 30.5 , 32 , 33 , 34 , 35 و 36 ملم) . والتي تعطي نسب السحب (DR 2.83 , 2.75 , 2.7 , 2.54 , 2.33 , 2.17 , 2 , 1.83) (و 3.00) على التوالي وكلما المعدنين . تم اجراء المعاملة الحرارية عند درجة حرارة (760 م .) لمدة (15) دقيقة ثم التقسية بالماء حيث وجد ان الماء هو وسط التقسية المناسب مقارنة باوساط التقسية الاخرى (الزيت ، المحلول الملحي) . (12) .

لقد اجريت جميع التجارب على جهاز الانسترون ذات حمولة (10 طن ، Instron 1195) وبالنسبة لتجارب السحب العميق تم استخدام مكبس ثانوي (sub press) ملائم لجهاز الاختبار من اجل ضبط حركة الخرامة مع القالب .

• التزيت :

لقد تم استخدام الكرافيت المضاف الى الزيت المعدني الذي لزوجته (CS 40) (بنسبة 2-) (3) ، على التوالي وقد سبق ان اعطى هذا النوع من التزيت نتائج جيدة في بحث لازم (7) وجاسم (13) وقد تم تزيت السطح الفاصل بين الغفل والقالب فقط .

• النتائج والمناقشة :

الجدول (1) يبين الخواص الميكانيكية للمعدنين حيث يلاحظ ان متوسط قيم (n) للصلب الثنائي الطور اكبر من متوسط قيم (n)

للصلب الواطئ الكربون وان متوسط التباين العمودي (R) للصلب الثنائي الطور اقل من متوسط (R) للصلب الواطئ الكربون ويعود السبب في ذلك هو التقليل من الاجهادات الداخلية الناتجة عن التشويه الحاصل للشبكة البلورية بحيث يسمح للانخلاعات بالحركة بحرية اكثر نتيجة انخفاض الاعاقه لحركتها وبالتالي تزداد قابلية التشكيل للصلب وهذا يعني الزيادة في قيم دليل التصليد الانفعالي ونقصان في قيم التباين العمودي للصلب الثنائي الطور . وكذلك يلاحظ ان نسبة مقاومة الخضوع / مقاومة الشد ثنائي الطور هي اقل من تلك التي للصلب الواطئ الكربون ويعود السبب الى زيادة مقاومة الشد للصلب الثنائي الطور بسبب التأثير الواضح لطور القاسي (المارتنايت) على هذه الخاصية . وكذلك يلاحظ من الجدول (1) ومن منحنيات الاجهاد - الانفعال (شكل 2) ، ان الاستطالة للصلب الثنائي الطور اقل من تلك التي للصلب الواطئ الكربون والسبب هو زيادة طور الحجم القاسي (مارتنايت) على حساب الفريت الذي يكون داله للمطيلية (14) .

من الشكلين (3) و (4) يلاحظ ان الفشل يتحدد بالكسر عند منحني تقوس القذح للصلب الواطئ الكربون عندما تتجاوز نسبة السحب المحددة وهذا يعود الى القيم العالية للتباين في الخواص الميكانيكية والفشل بالانطواء في شفة القذح للصلب الثنائي الطور وهذا يعود الى تأثير التصليد الانفعالي (15) (16) .

ان نتائج البحث الحالي تتفق مع نتائج Almahdawi & Mellor (15) ، و (Kumpulainen) (10) ، من حيث زيادة (L. D.) عند استخدام زاوية صغيرة عند نسبة سمك صغيرة (اغ سميكه) وتتفق النتائج مع نتائج (Sowrby) واخرون (17) من حيث زيادة نسبة السحب المحدده بنقصان نسبة السمك وتؤكد النتائج ان الصلب ثنائي الطور من المعادن التي يظهر فيها الفشل بالانطواء كما في الشكل (4) حيث ظهرت الانطواءات في بداية عملية السحب بسبب مقاومة المعدن للانحناء ، وتحصل الانطواءات تحت تأثير الاجهادات الحلقية الضاغطة المتولدة عند حافة الغفل .

الجدول (1) الخواص الميكانيكية للمعدنين

المعدن	الاتجاه	اجهاد الخضوع مقاومة شد mpa	مقاومة مقاومة شد مقاومة شد mpa	مقاومة الخضوع مقاومة شد التنطاقة %	N	R	ΔR	K
Low Carbon	0°	226.66	336.66	0.673	36.8	0.2289	0.946	583.43
	45°	240	350	0.685	33.4	0.23	0.942	611
Steel	90°	246.6	363.66	0.678	36.4	0.2245	1.064	622
	المعدل	238	350	0.679	35.53	0.2283	0.974	606.8
Dual Phase	0°	243.33	476.66	0.5	22	0.3096	0.951	972
	45°	246.66	486.66	0.517	22.4	0.3168	0.936	956.4
Steel	90°	253.3	500	0.507	23.2	0.2962	0.959	891.1
	المعدل	247	487	0.508	22.53	0.311	0.946	944.1

$$K = \frac{KO + 2K45 + K90}{4}$$

$$n = \frac{nO + 2n45 + n90}{4}$$

4- أظهر المعدنان وجود تباين في الخواص (Anisotropy) في الاتجاهات المختلفة مع اتجاه الدلفنة مما أدى ظهور التأخر (Earing) في جميع الأقداح المنتجة .

References: -

- 1- Furukawa et al , : " Method for Producing A, Dual - Phase steel sheet inventors Patent No. 4394186 , July . 19 , (1983) , Nippon steel corp . JP .
- 2- J. Ruzzante C. Carfi , J. Tormo and A. M. Hey : " Deformation Behaviour of Ferrite structure " Strength of Metals and Alloys , 16-20 August 1982 , 9 - 66 Austenite Volume (1) .
- 3- M. Y. Demeri: "The formability of dual phase steel " , Met - Trans , Vol 12A, July . (1981) , P. 1187 .
- 4- M. S. Rashid : " Dual Phase steel " , Ann . Rev. Mater . Sci . , (1) P. 245 , 1981 .
- 5- Luis , F. Ramos , David K. Matlock : " On the deformation behaviour of dual phase steel " , Met . Trans . Vol . 10A, February 1979 , P. 259 . 6- J. D. Embury and J. L. Duncan : " Formability of dual - phase steel " , J. of metals , March 1982 , P. 24.
- 6- J.D. Embury and Duncan: " Formability of dual – phase steel " , J. of metals , March 1982 , p.24 .
- 7- دريد عبد الأمير لأزم : " دراسة تجريبية للسحب العميق لأغفال دائرية سميكة باستخدام قالب مخروطي " ، رسالة ماجستير ، قسم هندسة المكائن والمعدات الجامعة التكنولوجية (1993) .
- 8- Johnson W. and Mellor P. B.: "Engineering Plasticity", Van Nostrand Reinhold, New York) 1973).
- 9- Swift H. W : Plastic bending under tension " , Enginerring , Vol . 166 , P. 333 (1948) .
- 10- Kumpulainen , J. O .: " Deep drawing of circular blanks through a conical die " 12 " biennial congress , IDDRG , S. Margherita Ligure , Italy , Associazione Italiana Di metallurgia , P. 5 (1982) .
- 11- Gupta , Manufac . Tech . Cup Drawing P. 284 (2001) .
- 12- محمد حميد : " قابلية التشكيل للصلب ثنائي الطور " رسالة ماجستير ، قسم هندسة الإنتاج والمعادن ، الجامعة التكنولوجية ، 1989 .
- 13 - عبد القاسم محمد جاسم : " السحب العميق والكي المشترك لأغفال سميكة باستخدام قالب مخروطي " ،

الشكلان (5) ، (6) يوضحان زيادة الحمولة القصوى بزيادة قطر الغفل للصلب الواطئ الكاربون والصلب ثنائي الطور على التوالي حيث يلاحظ وجود تشابه في الاتجاه العام للمنحنيات من حيث زيادة الحمل ونقصانه وان زيادة الحمل تكون في المراحل الأولى من التشكيل حتى الوصول الى حمل السحب الأقصى Pmax . ان زيادة الحمل في عملية السحب العميق تعود الى الريح الميكانيكي الناتج من الفعل المفصلي (Toggle action) بين حمل الخرامة والاجهادات الطولية في الغفل ، كذلك فان زيادة الحمل تكون مرتبطة ايضا بزيادة الاحتكاك الناتج عن تحول حافة الغفل المتماسة مع سطح القالب الى سطح تماس عند تقدم الخرامة بالاضافة الى تأثير التصليد الانفعالي وتأثير الانحناء على نصف قطر تقوس القالب والخرامة . اما هبوط الحمل بعد الحمولة القصوى يلاحظ انه كان سريعا على الرغم من حدوث التقسية الانفعالية حيث يتم ادخال المخروط الى الجزء الاسطواني للقالب وانتاج القذح .

الاشكال من (7) الى (10) تبين مقارنة علاقة حمولة الخرامة العملية مع ازاحتها للصلب الواطئ الكاربون مع الصلب ثنائي الطور لنسبة السحب (1.83 , 2 , 2.17 , 2.33) على التوالي .

الجدول (2) يبين مقارنة القيم العملية مع القيم النظرية للحمولة القصوى للسحب العميق وقد وجد بان الاغفال ذات القطر الاقل تعطي نسبة مئوية للفرق سالبة (أي ان قيم الحمولة القصوى نظريا تكون اعلى من القيم العملية) اما عند استخدام اغفال ذات اقطار كبيرة يكون الفرق موجبا (أي ان القيم العملية تكون اعلى من القيم النظرية) وان زيادة قطر الغفل تؤدي الى زيادة قيم الحمولة نظريا وعمليا . والجدول (3) يبين مقارنة نتائج عملية السحب العميق للمعدنيين .

الاستنتاجات :-

من نتائج البحث الحالي وجد:

- 1- أن (L. D. R) للصلب ثنائي الطور كانت (2.33) عند قطر للغفل يساوي (28 ملم) وان (L. D. R) للصلب الواطئ الكاربون كانت (2.79) عند قطر غفل يساوي (5 33 ملم) .
- 2- ان تشكيل الصلب ثنائي الطور يتحدد بلانطواء (Wrinklin) في شفة الغفل ويبدأ في مرحلة مبكرة من التشكيل قبل حصول الحمولة القصوى عند نسبة تتجاوز (L. D. R) عند قطر غفل يساوي (28.5 ملم) وان تشكيل الصلب الواطئ الكاربون كان يتحدد بالكسر (Fracture) عند نسبة سحب تتجاوز نسبة السحب المحددة عند قطر غفل يساوي (34 ملم) .
- 3- الحمولة القصوى للسحب العميق للصلب ثنائي الطور هي اعلى ولجميع نسب السحب من الحمولة القصوى للصلب الواطئ الكاربون .

17 - Karma M. and Chakravarti P. C .: Wrinkling without blank holder ; some experimental results", J. Mech . Working Technology, Vol. 6 , P. 35 (1982).

رسالة ماجستير ، قسم هندسة المكين والمعدات ، الجامعة التكنولوجية (1994).

14- D. K. Matlock , D. L. Steinbrunner and C. Krauss : Void formation during tensile of dual - phase steel " , Met . Trans . Vol . 19A , March , 1988 , P. 579.

15 - AL Mahdawie A. H. M. and Mellor P. B .: The effect of deep drawing through a conical die . J. Mech . Working technology , Vol . 13 , P. 317 (1986) .

16 - Quasim Mhelhel . Effect of die geometry in deep drocess of low Carbon steel . M. SC . Thesis , Mech . Eng. Dept. Military College of Engineering (2001)

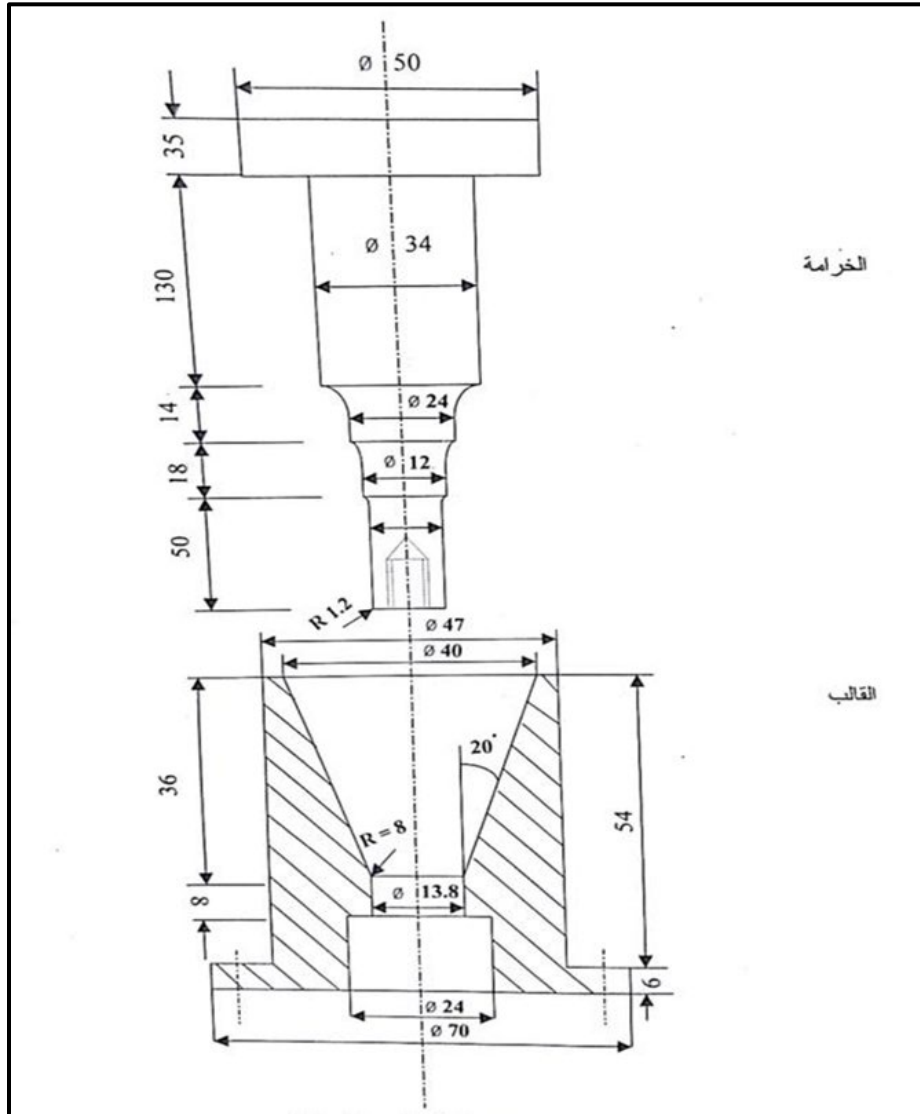
الجدول (2) مقارنة القيم العملية مع القيم النظرية للحمولة القصوى للسحب العميق للمعدنين

Low Carbon Steel				Dual Phase Steel			
النسبة المئوية للاختلاف بين القيم العملية والنظرية	القيمة العملية KN	القيمة النظرية KN	نسبة السحب DR	النسبة المئوية للاختلاف بين القيم العملية والنظرية	القيمة العملية KN	القيمة النظرية KN	نسبة السحب DR
-15.600	3.20	3.699	1.83	-16.123	2.40	2.787	1.83
8.000	5.00	4.599	2.00	7.240	3.70	3.432	2.00
15.600	6.50	5.486	2.17	9,900	4.45	4.057	2.17
20.530	8.00	6.357	2.33	12.37	5.35	4.688	2.33

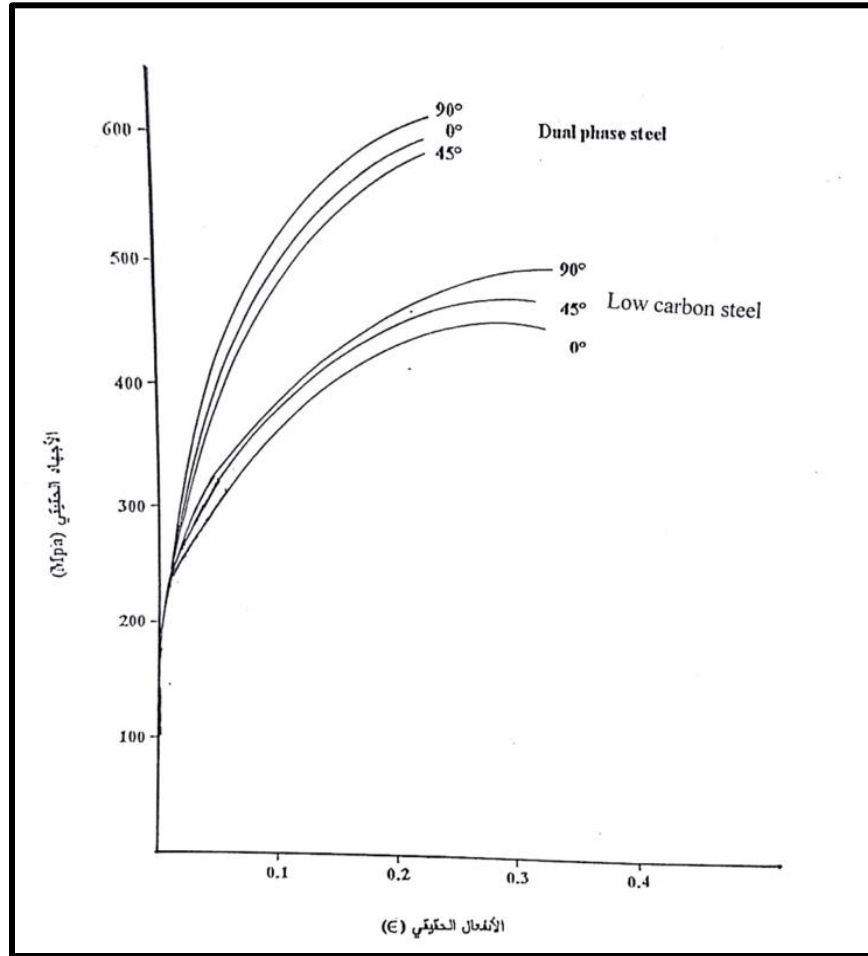
$$\frac{\text{القيمة العملية} - \text{القيمة النظرية}}{\text{القيمة العملية}} = \text{النسبة المئوية للاختلاف}$$

الجدول (3) المقارنة بين نتائج عملية السحب العميق للمعدنين

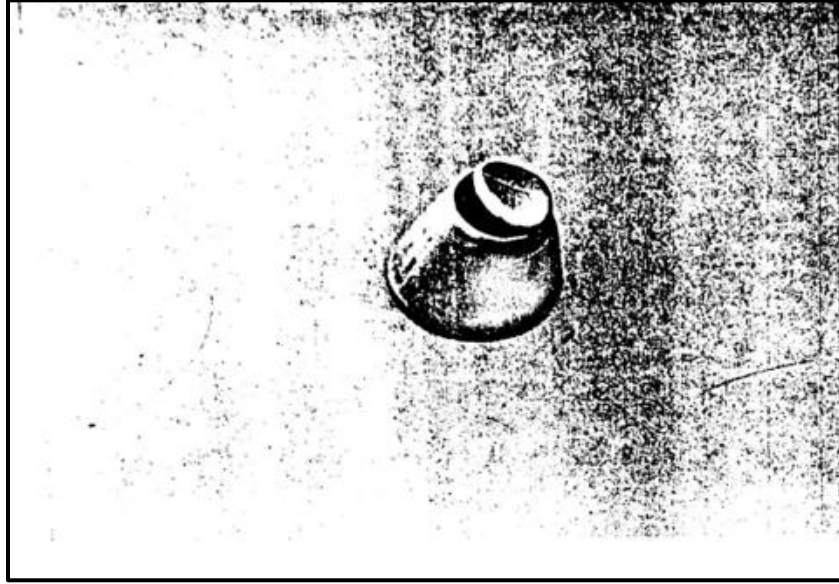
نوع الفشل	الحمولة القصوى عند L.D.R.	نسبة السحب المحدد L.D.R. المحددة	نوع المعدن
الكسر عند تقوس الخزامة (fracture)	8.25	2.79	Low carbon Steel
الانطواء في الشفة (Wrinkling)	8.00	2.33	Dual Phase Steel



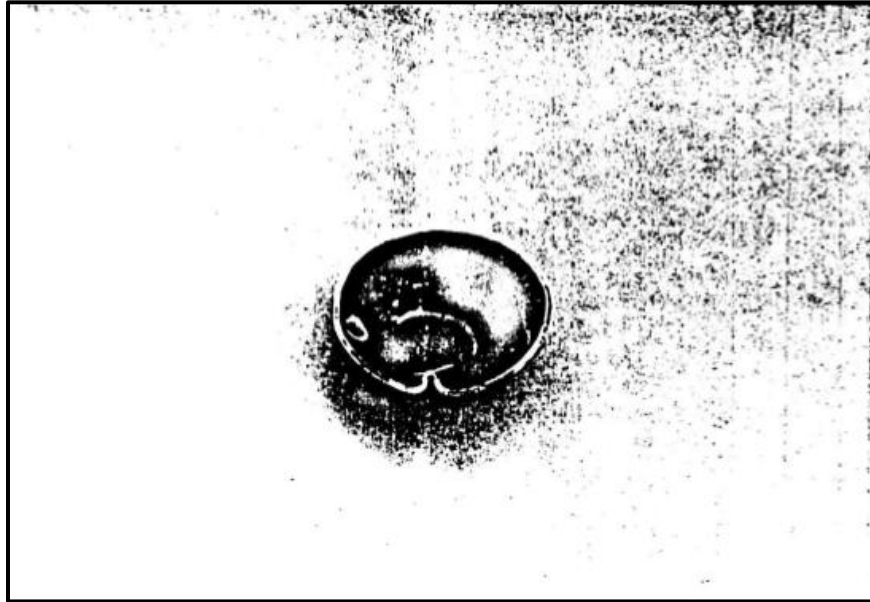
شكل (1) تفاصيل ابعاد الخرامة والقالب (كافة الابعاد بالملم)



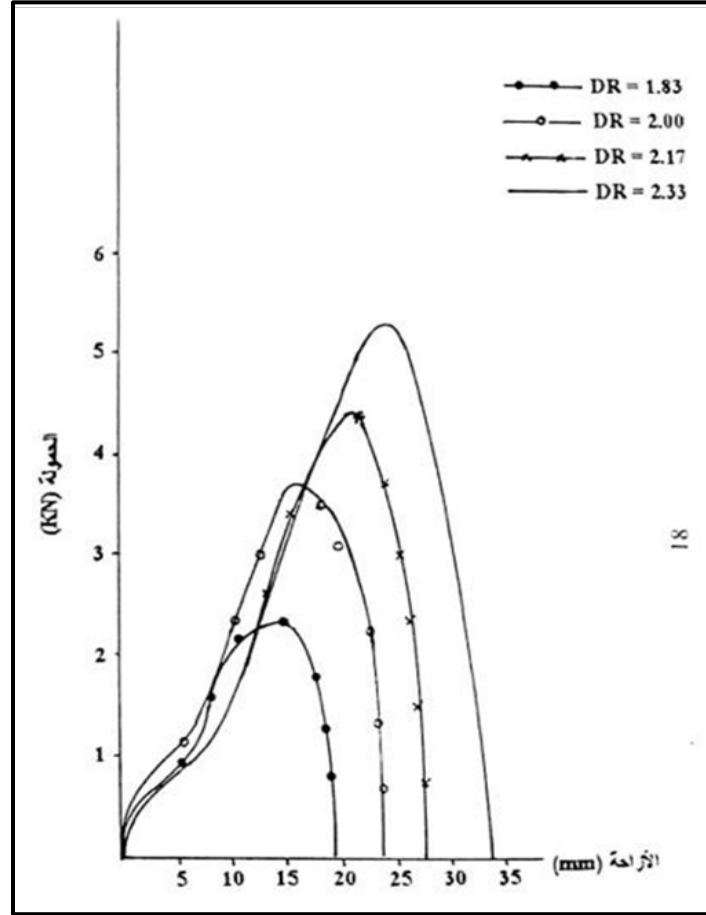
شكل (2) مقارنة منحنيات الاجهاد - الانفعال الحقيقي للصلب الواطيء الكاربون مع منحنيات الاجهاد - الانفعال الحقيقي للصلب ثنائي الطور.



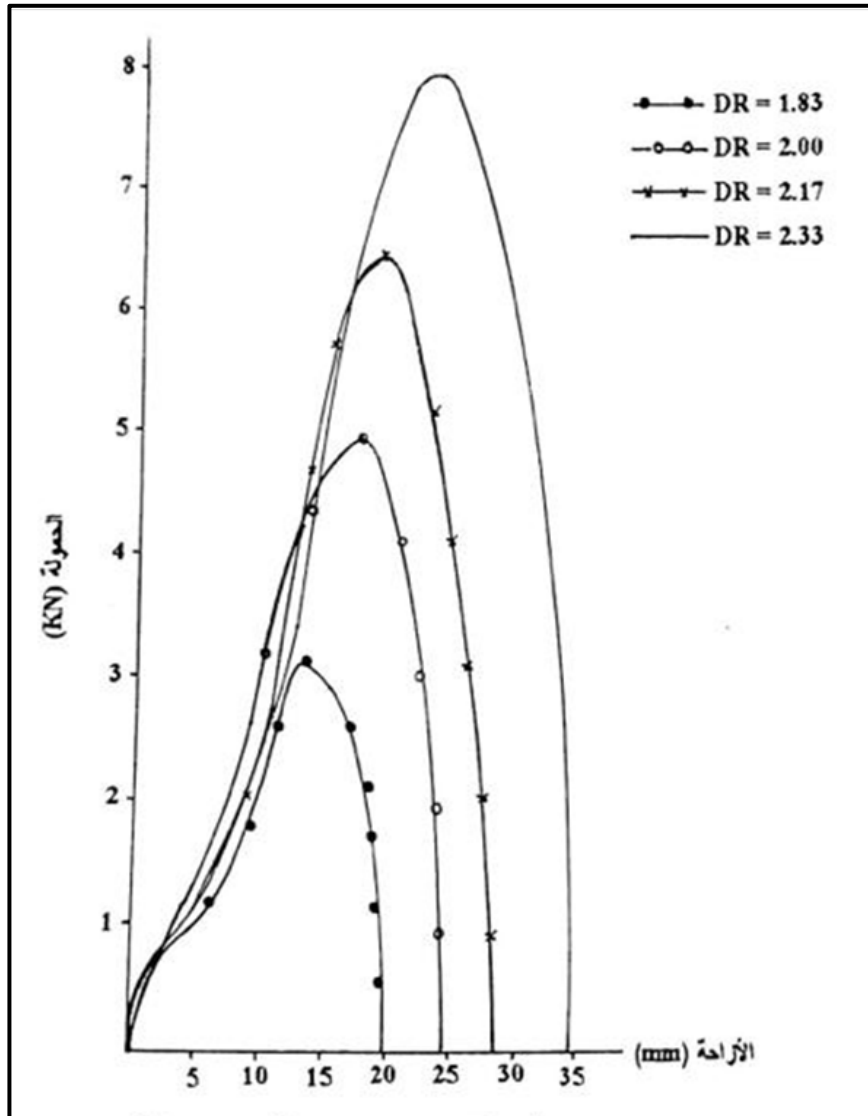
شكل (3) الفشل بالكسر (Fracture)



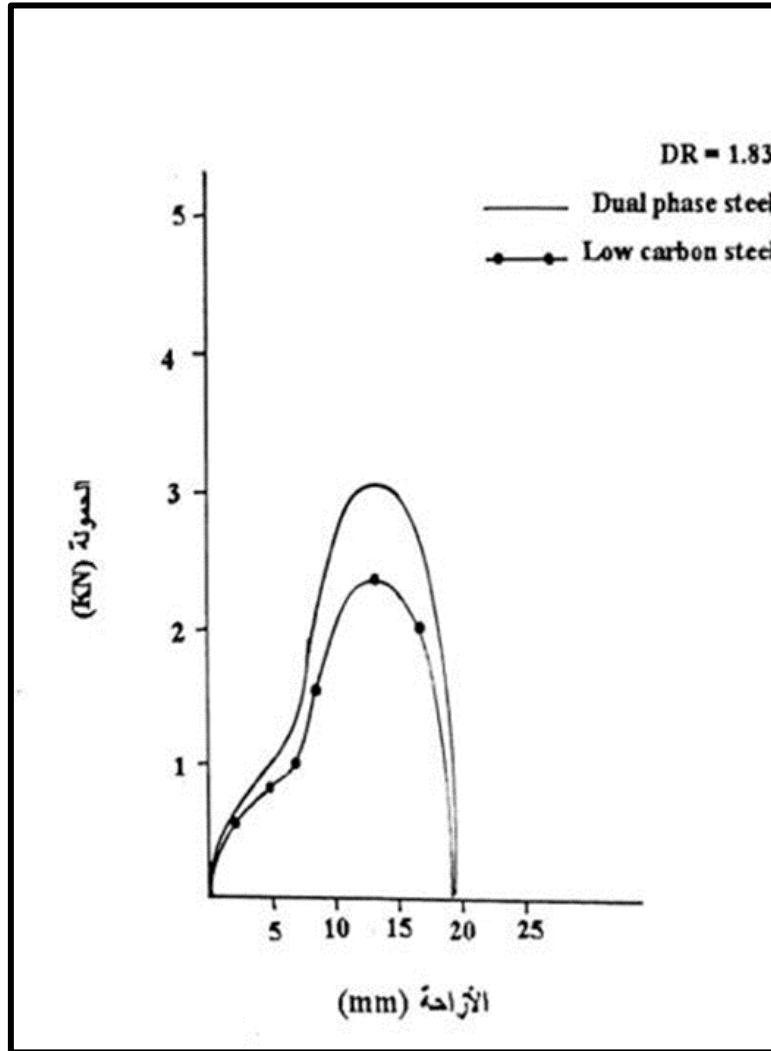
شكل (4) الفشل بالانطواء (Wrinkling)



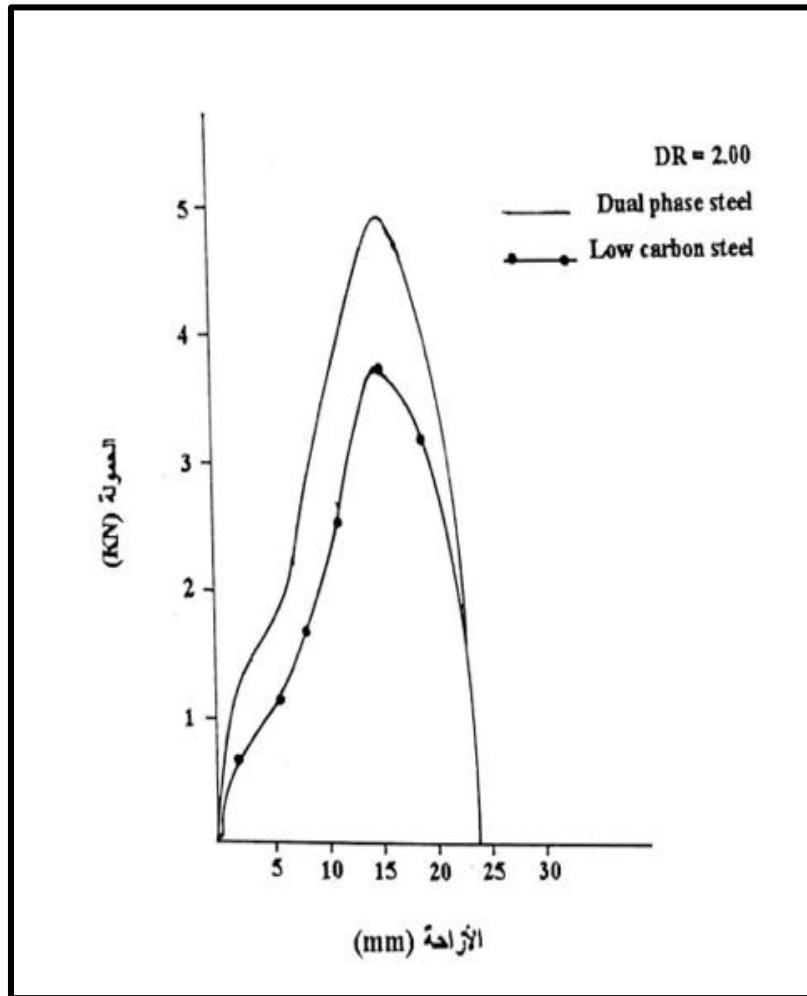
شكل (5) تأثير قطر العغل على العلاقة بين حمولة الخرامة العملية وازاحتها للصلب الواطيء الكاربون



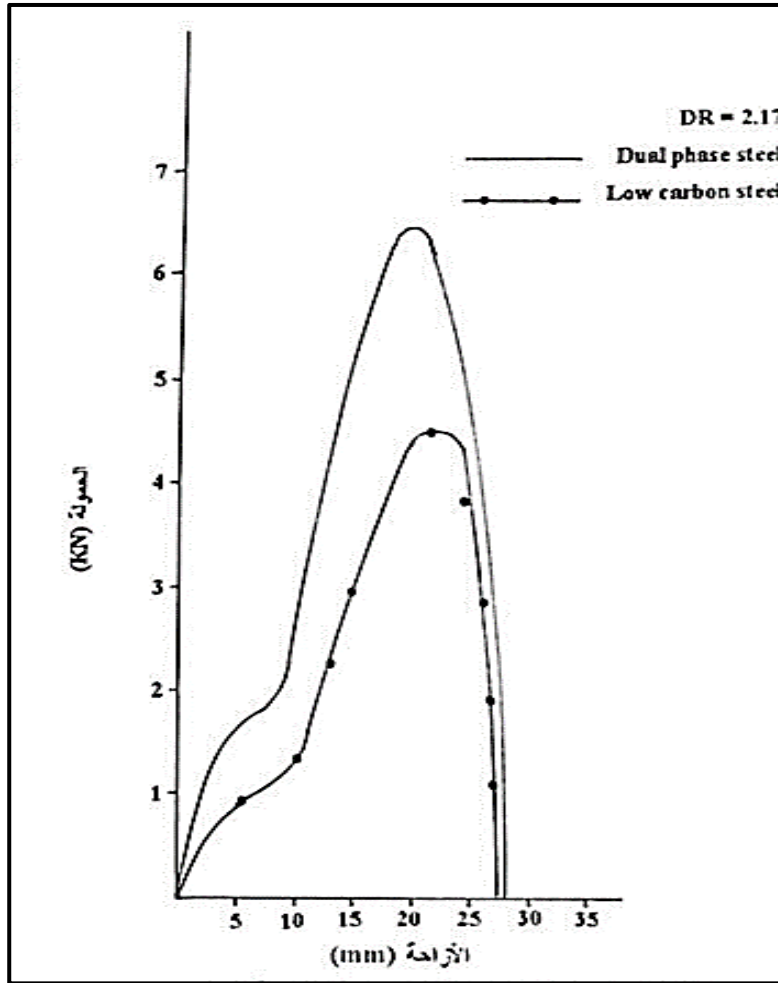
شكل (6) تأثير قطر الغفل على العلاقة بين حمولة الخرامة العملية وازاحتها للصلب ثنائي الطور



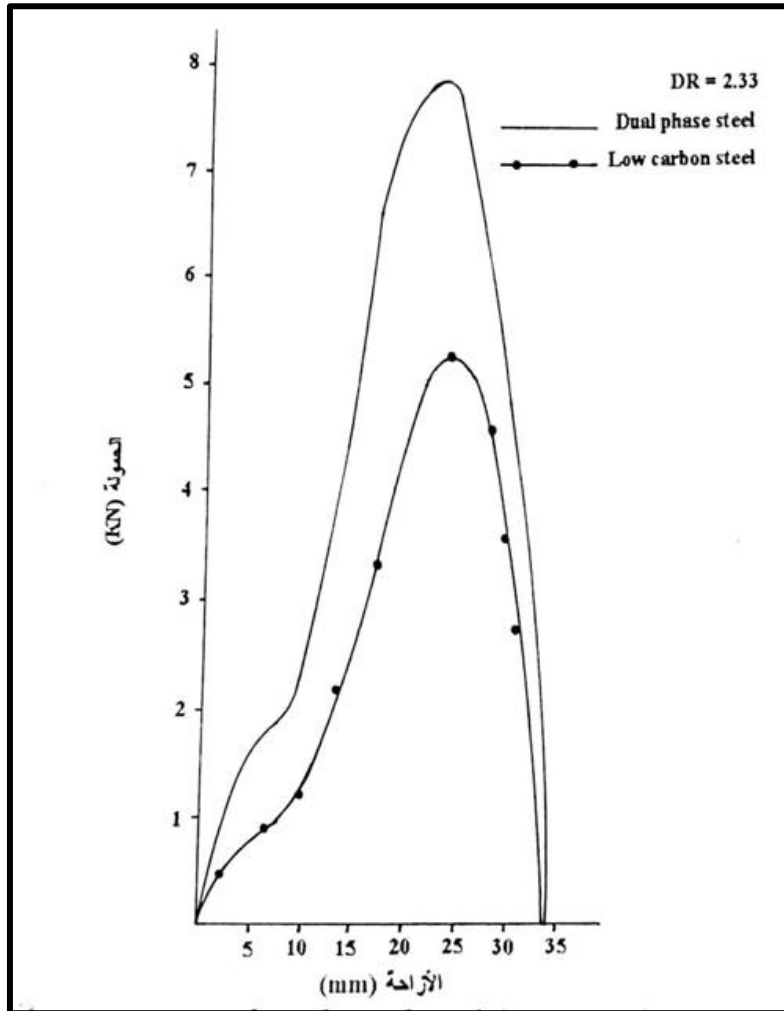
شكل (7) علاقة حمولة الخرامة العملية مع ازاحتها باختلاف المعدنين



شكل (8) علاقة حمولة الخرامة العملية مع ازاحتها باختلاف المعدنين



شكل (9) علاقة حمولة الخرامة العملية مع ازاحتها باختلاف المعدنين



شكل (10) علاقة حمولة الخرامة العملية مع ازاحتها باختلاف المعدنين