تاثير تركيز الاجهاد على مقاومة الكلال لفولاذ مكربن[+]

THE EFFECT OF STRESS CONCENTRATION ON FATIGUE STRENGTH OF CARBURIZED STEEL

خيرية سلمان حسن [*]

المستخلص

تناول البحث تأثير مركزات الاجهاد على مقاومة الكلال لفولاذ منخفض الكربون (0.16%C) تم اجراء عملية كربنة غازية له.

تم عمل حز بشكل حرف (V) بعمق (0.1, 0.3) ملم لكل من المعدن الاساس والمكربن لدراسة تاثير تركيز الاجهاد. اجري اختبار الكلال (نوع الانحناء الدوار) على العينات عند اجهاد ثابت السعة ونسبة اجهاد (R= -1).

ظهر ان زيادة نسبة الكربون بطريقة الكربنة الغازية على سطح المعدن الى حد (0.7%C) تؤدي الى تحسين مقاومة الكلال كما تبين ان عمل الحز للعينات المكربنة يؤدي الى انخفاض مقاومة الكلال. تم حساب مقدار الانخفاض في مقاومة الكلال من ايجاد معامل الكلال الحزي (Kf).

Abstract:

In this paper the effect of stress concentration on fatigue resistance is studied for low carbon steel (0.16%C) carburized by gas method (V) notch with depth of (0.1, 0.3) mm was made in the basic and carburized metals, to investigae the effect of stress concentration. Fatigue test (rotating bending) was carried out on the specimens at constant stress amplitude and stress ratio (R= -1).

The results show that the increasing of carbon on the surface material up to (0.7%C) leads to improve fatigue strength. Also the notch on carburized specimens leads to a decrease in fatigue resistance.

The decrease in fatigue strength was found through calculating (Kf).

المقدمة :

يحصل تركيز الاجهاد عند مواقع معينة في الجزء الهندسي مثل حز او ثقب. تتعرض اجزاء المكائن كالدشالي والعمود المرفق والاجزاء الدوارة الاخرى اثناء الخدمة الى فشل الكلال لاحتوائها على مثل هذه المواقع التي تسبب تركيز الاجهاد كالحزوز (Fillets) مجرى الخابور (key way) واسنان اللوالب (Screw thread) وتوافقات الكبس (Press fits)، والثقوب (holes) تتخذ عدة طرق لتحسين مقاومة الكلال في مثل هذه الاجزاء ومنها:[1, 2, 3]

١ - تقليل مركزات الاجهاد اذ يمكن تفاديها من خلال التصميم المثالي [4, 5].

[+] تاريخ استلام البحث ٢٠٠٤/٥/١١ ، تاريخ قبول النشر ٢٠٠٥/٦/٢٩

[*] مدرس مساعد/ معهد تكنولوجيا – بغداد

٢- تجنب مركزات الاجهاد التي تحدث عن طريق التشغيل كالخشونة السطحية (Surface Rouphness).

٣- الحد من العيوب المجهرية، والمسامية الدقيقة Micro porosity والشوائب inclussion وغيرها.

٤- الحد من التسخين الموقعي الناتج من عملية التجليخ وفقدان الكاربون Decarburisation.

٥- المعاملات الحرارية الكيميائية السطحية كالكربنة والنتردة وكاربونتردة وتكوين طبقة صلدة [5, 6].

ومن الدراسات والبحوث التي قام بها الباحثان مثل الباحث (V.M.J. Sharma, V. Diwaker) [7] اللذان درسا تاثير الاجهاد على مقاومة الشد لسبيكة من الالمنيوم (7020) بعد عمل حز شكل (V) بعمق (0.25 mm) على سطح عينة الشد وقد وجدا انخفاضاً في مقاومة الشد بنسبة (30%) عن المعدن بدون حز اذ ان انخفاض مقاومة الشد يؤدي الى انخفاض مقاومة الكلال فقد وجدوا ان تاثير تركيز الاجهاد على مقاومة الكلال من خلال فحص عينات الكلال بعد عمل حز بشكل حرف (V) او حز دائري (U) عند تحميل احادي المحور اذ يؤدي الى:

١. زيادة في تركيز الاجهاد عند حافة الحز.
٢. حدوث انحدار الاجهادات من حافة الحز باتجاه مركز العينة اذ ان تاثير الحزوز على مقاومة الكلال يعين من خلال منحنيات (S, N) للعينات المحززة وغير المحززة ويتعين معامل الكلال الحزي (Kf) الذي يمثل النسبة بين حد الكلال للعينات غير المحززة وحد الكلال للعينات المحززة وان قيمتها متغيرة مع:
   أ. خطوة الحز.
   ب. نوعه.
   ج. نوع التحميل. [3, 7, 8]

الجانب العملي :

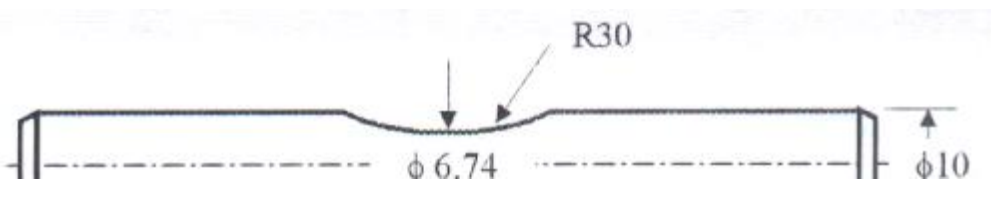
المعدن المختار Metal Select

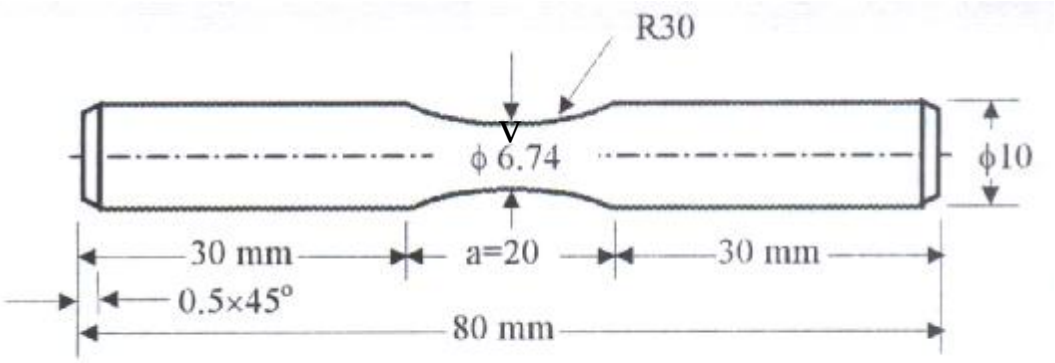
١- تم اختيار فولاذ منخفض الكربون C_{15} وفق DIN وان تركيبه الكيميائي موضح في الجدول (1) ادناه.

جدول ١. التركيب الكيمياوي لفولاذ منخفض الكربون AISI C15

العنصر	C %	Si %	Mn%	P %	S %	Ni %	Cr %	Mo%	V%	Cu%	Zn %
القيمة الفعلية	0.163	0.201	0.504	0.016	0.023	0.113	0.089	0.01	0.002	0.031	0.002

٢- تصنيع العينات: تم تصنيع عينات اختبار الكلال وفق الاختبار الخاص بالانحناء الدوار Rotary Bending وأن شكل العينة موضح بالشكل رقم (1) وفق ASTM.





الشكل 1 . يوضح ابعاد عينة الكلال

٣- تصنيف العينات: صنفت العينات الى مجاميع كما في الجدول رقم (٢)

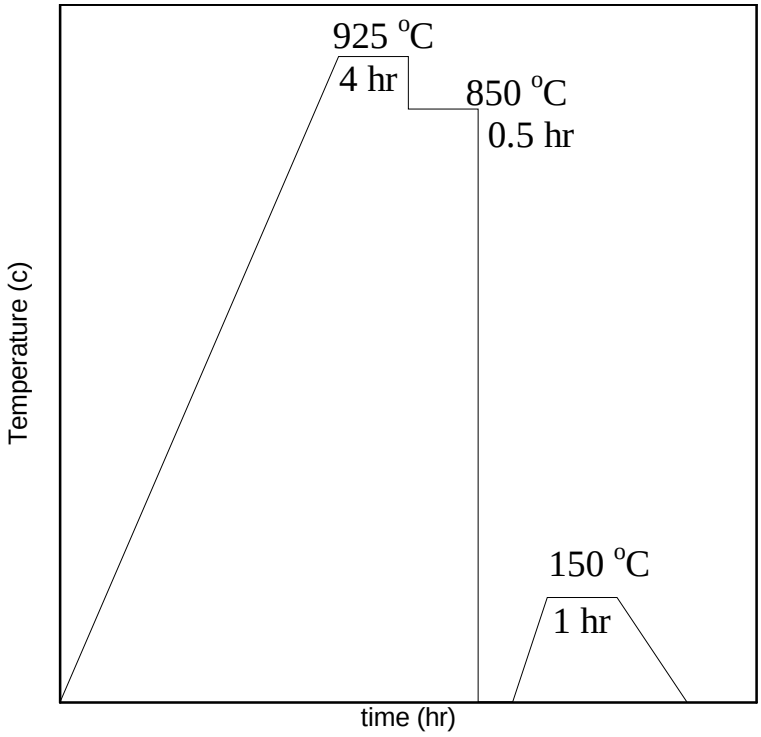
جدول ٢ . يوضح تصنيف عينات اختبار الكلال

No.	رمز العينة	نوع التعامل
1	A	المعدن الاساس (بدون تعامل) as received
2	B	بدون تعامل مع حز 0.1 ملم
3	C	مكربن كربنة غازية بدون حز لمدة 4 ساعة
4	D	مكربنة وبها حز بعمق 0.1 ملم
5	E	مكربنة وبها حز 0.3 ملم

٤ - المعاملات الحرارية Heat treatment

تم اجراء كربنة غازية Gas Carburizing على عينات اختبار الكلال لمدة 4 ساعة عند درجة حرارة 925 C^o باستخدام النفط الابيض Armatics Kerosene Cl2-C18 لتوليد الكاربون الذري اللازم للأنتشار.

أجريت عملية تقسية مباشرة وقد خفضت درجة حرارة الفرن الى C^o 850 وتم الحفظ لمدة نصف ساعة بعدها بردت بالماء ثم اجريت عملية مراجعة عند درجة حرارة C^o 150 لمدة ساعة لازالة الاجهادات الداخلية.

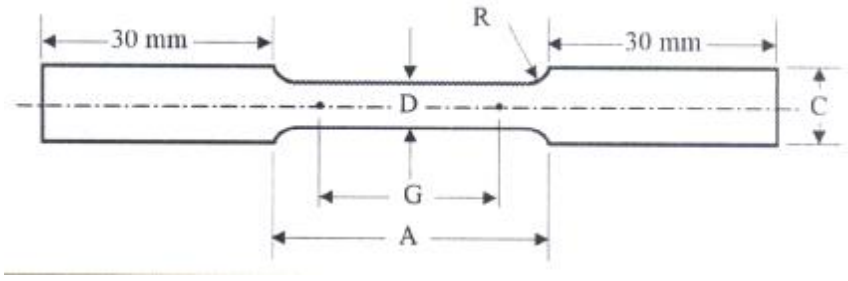


شكل ٢. المعاملات الحرارية للفولاذ المكربن DIN C15

٥-الفحوصات والاختبارات

أ- اختبار الشد

من اجل معرفة مقاومة الشد ونقطة الخضوع للفولاذ تم اجراء اختبار الشد على عينات صـــنعت وفــق المواصـــفة القياسية DIN 50125 وتم الاختبار على جهاز Instron . وان عينة الشد موضحة في الشكل رقم (3) إذ أجريت لهـــا معاملات حرارية كالتي أجريت على عينات الكلال في الجدول (2). وأن نتائج اختبار الشد موضحة في الجدول رقم ٣



الشكل ٣ . يوضح ابعاد عينة الشد

$G = 30 \pm 0.1$ $A = 36$ mm
$D = 6$ mm $C = 10$ mm
$R = 6$ mm $L = 100$ mm

جدول ٣. نتائج اختبار الشد والصلادة

Properties	su Mpa	sy Mpa	HV kg/mm^2
As received	580	435	200
Carburized	1050	720	650

ب- اختبار الخشونة Roughness Inspection

اجري فحص خشونة السطح للجزء المقوس من عينات اختبار الكلال للمعدن الاساس والمعدن المكربن بـــدون حز من أجل تحديد درجة الخشونة وتأثيرها في تركيز الاجهاد باستخدام جهاز قيـــاس الخـــشونة S6P Perthometer وأن النتائج موضحة في الجدول رقم (٤):

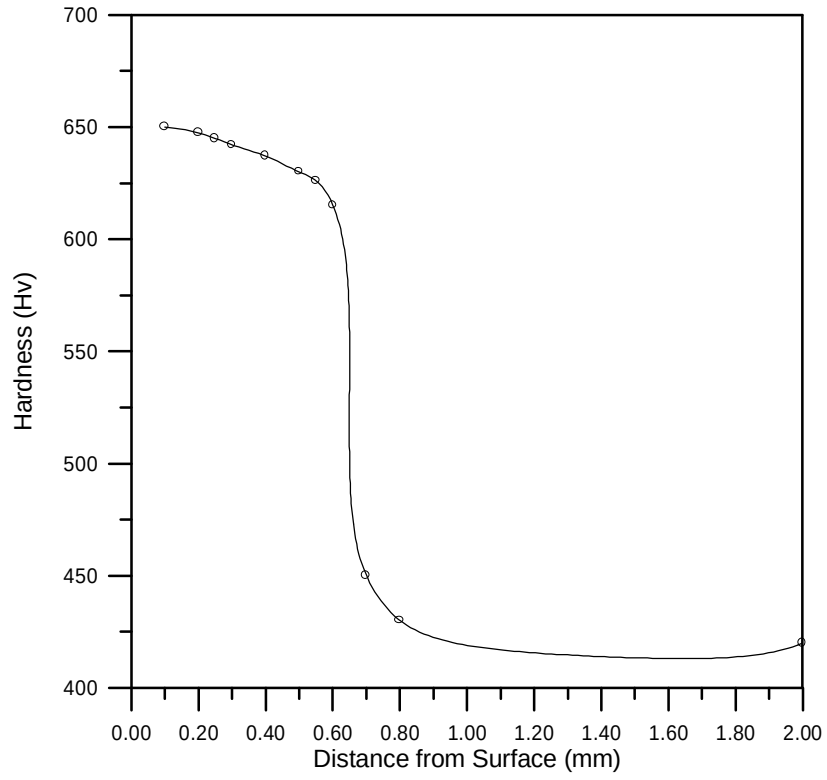
جدول ٤ . يبين نتائج اختبار الخشونة السطحية

No	Specimen	Ra average µm	Rt m Max.
1	A	0.16	1.8
2	C	0.14	1.75

Ra (Roughness average)
Rt (Roughness Total)

ج- اختبار الصلادة الدقيقة Micro Hardness

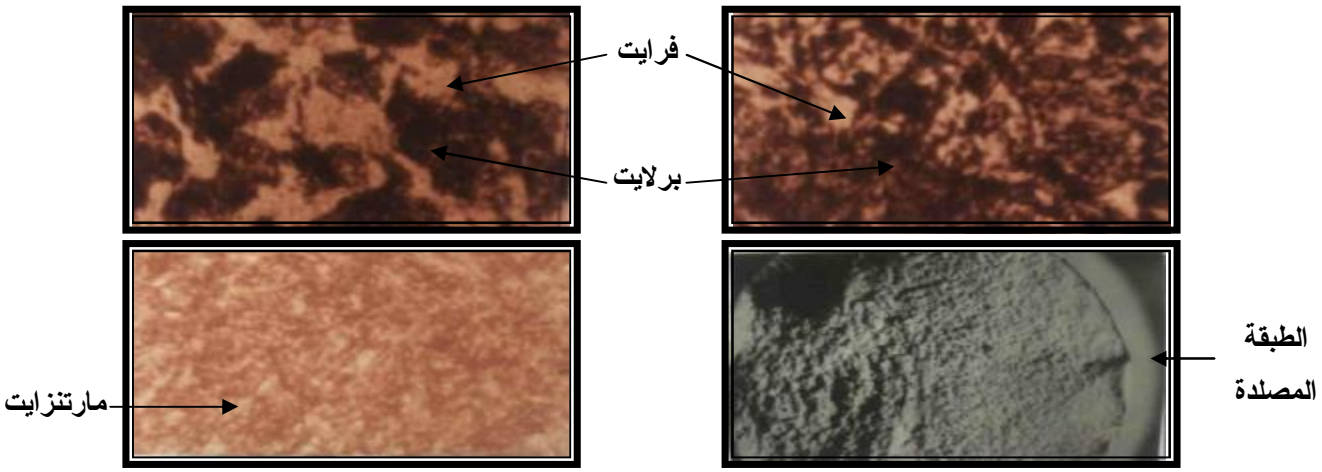
تم فحص الصلادة المجهرية على أعماق متتالية من سطح مقطع العينة للحصول على توزيع الصلادة من السطح الى القلب للفولاذ المكربن شكل رقم(٤) يوضح ذلك.



شكل ٤ . توزيع الصلادة الدقيقة للفولاذ المكربن

د - البنية المجهرية Micro structure

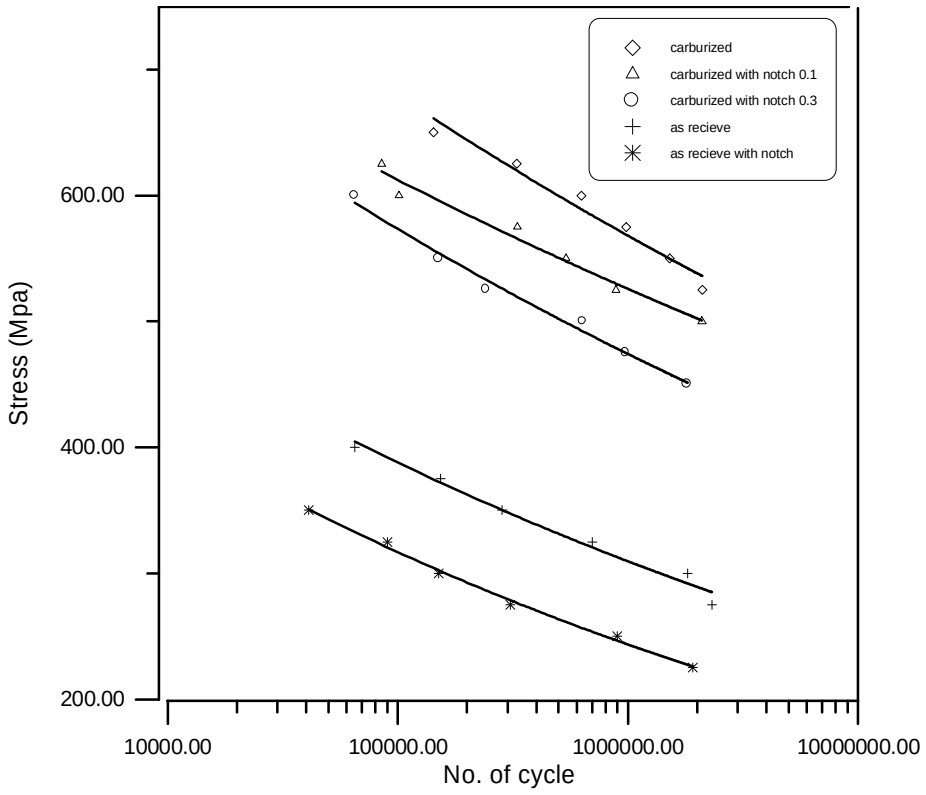
تم فحص البنية المجهرية للفولاذ قبل وبعد الكربنة وجد أن الطور السائد هو الفرايت والبرلايت للمعدن الاساس والمارتنسيت على السطح أما القلب فهو البرلايت وفرايت بعد الكربنة وأن صور المجهر الضوئي موضحة في الشكل (٥).



الشكل ٥ . يوضح البنية المجهرية للفولاذ

هـ - اختبار الكلال Fatigue test

١ - تم ايجاد (S-N Curve) لمجاميع العينات في الجدول (2) بعد فحصها بطريقة الكلل الناتج من تسليط اجهادات دورية (Rotating Bending) وايجاد حد الكلل لكل منحني كما في الشكل (6).



الشكل ٦ . يبين منحنيات الاجهاد – عدد الدورات لكافة مجاميع الكلال

٢-من خلال منحنيات الاجهاد – عدد الدورات وبعد ايجاد حد الكلال لكل مجموعة تم ايجاد معامل الكلال الحزي (Kf) الذي يمثل النسبة بين حد الكلال للعينات غير المحززة الى حد الكلال للعينات المحززة وان النتائج موضحة في الجدول (٥).

جدول ٥ . يبين معامل الكلال الحزي

No.	Specimen	Kf
1	As received / with notch	1.25
2	Carburized / with notch 0.1 mm	1.17
3	Carburized / with notch 0.3 mm	1.05

المناقشة:

عند اجراء المقارنة بين العينات المكربنة والعينات غير المكربنة (بدون حز) نلاحظ ارتفاع مقاومة الكلال للعينات المكربنة ($\sigma_{F.L}$ = 500 Mpa) بينما كانت بالمعدن الاساس ($\sigma_{F.L}$ = 250 Mpa) شكل (6) وهذا يعزى الى دور طبقة الكربنة في زيادة الصلادة السطحية وتكوين اطوار صلدة وهي طور المارتنزايت المراجع وكاربيد الحديد Fe_3c وكذلك تكوين اجهادات ضغطية متبقية والتي من شانها تحسين مقاومة الكلال وهذا يعزى الى دور الطبقة المكربنة (المصلدة) والاجهادات الضغطية المتولدة في اعاقة تقدم الشق اذ ينشأ الشق تحت هذه الطبقة المصلدة [6] وهذا ما اكدته الدراسات والبحوث [8, 9, 10].

وعند اجراء المقارنة بين العينات المكربنة تحتوي على حز (0.1 و 0.3) وجد انخفاض في مقاومة الكلال عن العينات المكربنة بدون حز مما يؤكد دور الحز في انخفاض مقاومة الكلال من خلال ازالة الكربون Decarburization وتقليل عمق الطبقة المصلدة عند منطقة الحز. [11]

ولوحظ ان العينات التي تحتوي على حز (0.1) ملم افضل من العينات الحاوية على حز بعمق (0.3) ملم وهذا يعود الى ان ازدياد عمق الحز في الطبقة المصلدة سوف يؤدي الى ازالة الطبقة المصلدة وتقليل الاجهادات الضغطية المتبقية [5, 11, 13].

لذا يفضل تحسين مقاومة الكلال للاشكال والاجزاء الحاوية على مراكز اجهادات (كالحزوز، الثقوب، ... الخ) واجراء معاملات حرارية كيمياوية كالكربنة لمساهمتها بمقدار محدود في تحسين مقاومة الكلال وزيادة عمر الجزء.

الاستنتاجات:

١- أدت عملية الكربنة الغازية عند ($925\ C^o$) وزمن (4 hr) الى تحسين مقاومة الكلال للفولاذ بنسبة (54%) مقارنة بالمعدن الاساس.

٢- ان معامل الكلال الحزي (Kf) يتناسب مع عمق الحز.

٣- ساهمت عملية الكربنة الغازية في تقليل معامل الكلال الحزي بمقدار (12%) عند عمق حز مقداره (0.1 mm).

المصادر

1- Duggen T.V. and Byrne J., "*Fatigue as Design Criterion*", Revised edition, The Macmillan press Ltd., 1979.

2- Bolton W., "*Engineering Materials Technology*", 3rd edition, Better worth, pp.415-429, 1998.

٣- ج.اي.ديتر "*الميتالوجيا الميكانيكية*" ترجمة عبد الرزاق اسماعيل وعبد الوهاب محمد عبد الله. ١٩٩٤.

4- charac ferization of the effect of alloy compositin and particular geometry on carbon distribution in the steel, project 8, 1999 robert foley, rajentra M.Kelkar, internet /Geogle.

5- Effect of heat treatment on fatigue strength C.W. Tuck M.A. BMPTA Technical publications, 1999.

6- Lazaridis N., Worzala F.J. and Sandor B.I., "*Fractography of fatigue Fractures in Carburized Steel: Materials Science and Engineering*", 1977.

7- V.M.J. Sharma, V. Diwaker, S. Arumugham and T. S. Laksmana, "*Residual Strength Of Aluminum Alloy*", Afnor, 7020, 2001.

8- Jon a. Lutz, "*Temperature Considerations in Gas Carburizing*", Manager of Engineering as Published in the June 1997, Issue of ASM, Heat Treading Progress.

9- Averback B.L., Person B-U fair child R.E. and Bamberger E.N., "*Fatigue Crack Propagation in Carburizing Alloy Steels*", Metallurgical Transaction, Vol. 16A, 1985.

10- Hertzbeng R.W., "*Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials*", 4th Edition, John Wiley and Sons Inc., Canada, 1996.

11- H.C. Child. B.S.C.Eng. F.I.M., "*Surface Hardening of Steel*", Engineering Design Guides, 37, 1980.

12- Khairia A. Hassan, M.Sc.Theses, Dept. of Production Engineering and Metallurgy, University of Technology, 2001.

13. Cameron T.B., "*A Perspective on the Performance of Carburizing Gear Steel*", Society of Automatic Engineers, 1977.