تأثير قطر كرة القذف على مقاومة الكلال لفولاذ سبائكي منخفض الكاربون[+]

THE EFFECT OF BALL DIAMETER SHOT PEEN ON FATIGUE STRENGTH FOR LOW ALLOY STEEL

خيرية سلمان حسن [*]

المستخلص

يهدف البحث الى دراسة تأثير قطر الكرة المستخدمة في عملية قذف بكرات فولاذية (shot peen) على مقاومة الكلال لفولاذ سبائكي منخفض الكربون(AISI 4135) ومقارنة النتائج مع طريقة تحسين مقاومة الكلال بطريقة النتردة السائلة للمعدن نفسه. اظهرت النتائج تحسنا في مقاومة الكلال للفولاذ المقذوف اذ اقترن التحسن بزيادة قطر الكرة المستخدمة في القذف وكذلك تحسنا في مقاومة الكلال للفولاذ المنترد واعتمد التحسن على عمق الطبقة المنتردة المصلدة اذ وجد انه 0.8 ملم ووجد هنالك زيادة في تحسن مقاومة الكلال للفولاذ المنترد بعد قذفه بكرة فولاذية بقطر 1.25 ملم، أجريت جميع اختبارات الكلال بالانحناء الدوار بمتوسط اجهاد مقداره صفر mean stress .

Abstract

This paper is aimed to study the effect of ball size employed in shot-peening operation on the fatigue strength of low carbon alloy steel. (4135-AISI) also show the comparison of fatigue strength to the same metal between specimen treated by surface hardening nitriding operation. The results indicate that the fatigue strength improving when the ball size used in the shote-peening increased also the fatigue strength increased in the specimen shot peened after nitriding operation by steel balls with diameter 1.25 mm. all fatigue test done by rotating bening at mean stress=0 .

المقدمة

من الأمور الواجب الاهتمام بها عند تعرض الاجزاء الميكانيكية الى احمال ديناميكية هو عمر هذه الأجزاء اي مدة خدمتها ومعرفة عمر الجزء مسبقا لتجنب الفشل المفاجيء . لذا اجريت عدة دراسات لتحسين مقاومة الكلال منها تحسين المقاومة من خلال القذف بالكرات (shot peen). وطرق التصليد السطحي

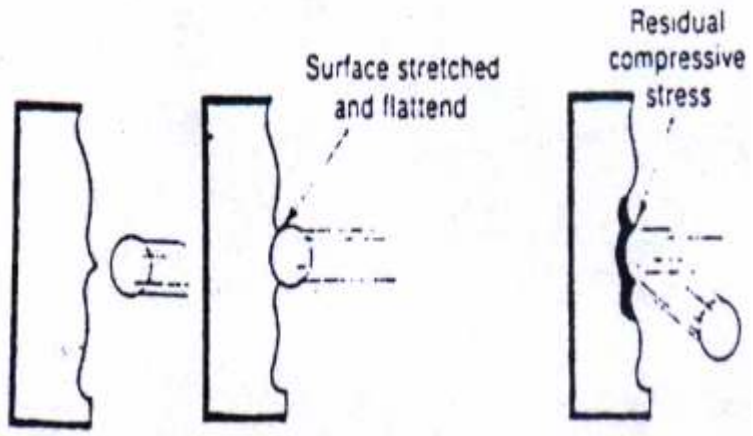
[+] تاريخ استلام البحث ٢٠٠٤/٥/٥ تاريخ قبول النشر ٢٠٠٥/٦/٢٢

[*] مدرس مساعد /معهد التكنولوجيا – بغداد

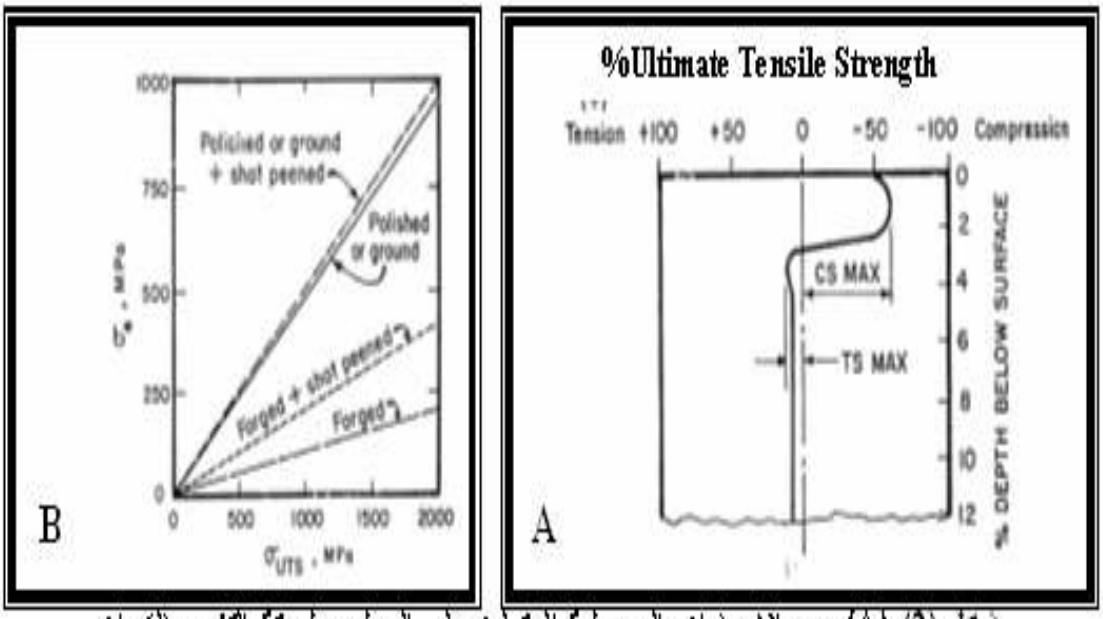
(Case Hardening) [1] ... الخ.

ان القذف بالكرات هو عملية تشكيل على البارد إذ إن سطح المعدن يهاجم بواسطة كرات صغيرة مصنوعة من الفولاذ او الزجاج [2, 3, 4].

ان تحسن مقاومة الكلال ناتج عن التشويه اللدن الحاصل نتيجة القذف الذي يؤدي الى زيادة في الصلادة السطحية بالإضافة إلى الاجهادات الضغطية المتبقية والمتولدة في المعدن بعد القذف والتي تساهم في تأخر تقدم شق الكلال على السطح مع الاحتفاظ بقلب متين ان الاجهادات الضغطية المتولدة بهذه الطريقة تصل قيمتها الى نصف اجهاد الخضوع او اكثر في طبقة سطحية عمقها (0.1 – 0.5mm) وان اعلى قيمة للاجهادات الضغطية تصل الى (50–60%) اقصى اجهاد شدي شكل (2) يبين الاجهادات الانضغاطية المتولدة بطريقة القذف بالكرات. [5, 6, 7] .



لشكل (1) طريقة القذف بالكرات [4]



شكل (2) (A) يبين الاجهادات الضغطية المتولدة على السطح بطريقة القذف بالكرات

(B) تاثير القذف بالكرات على مقاومة الكلال للفولاذ [5]

هنالك عدة عوامل تؤثر على عملية القذف منها:

*سرعة القذف *زمن القذف *قطر الكرة التي يتم بها القذف

الجانب العملي Experimental Side

١- المواد The Materials

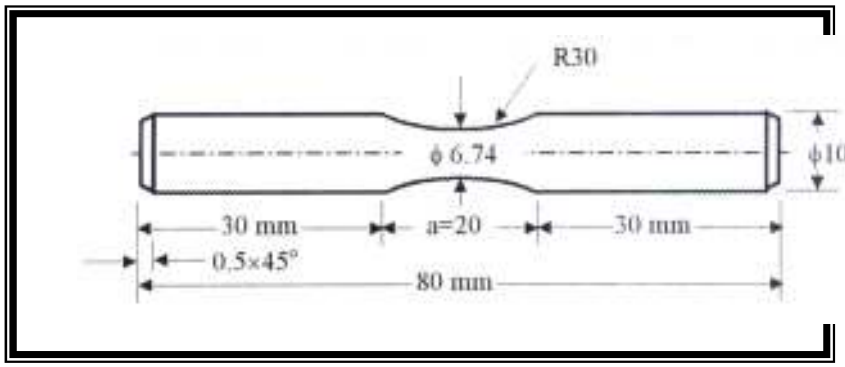
تم اختيار فولاذ سبائكي منخفض الكربون (4135) حسب المواصفة AISI وذلك لاستخدامه في التطبيقات الهندسية المعرضة إلى اجهادات دورية متكررة مثل التروس والأعمدة الدوارة. إن التركيب الكيمياوي للمعدن المستخدم موضح في الجدول رقم (١).

جدول رقم (1) التركيب الكيمياوي لفولاذ سبائكي منخفض الكربون AISI 4135

C%	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V
0.347	0.212	0.674	0.01	0.028	0.782	0.11	-	0.01

٢- تصنيع العينات

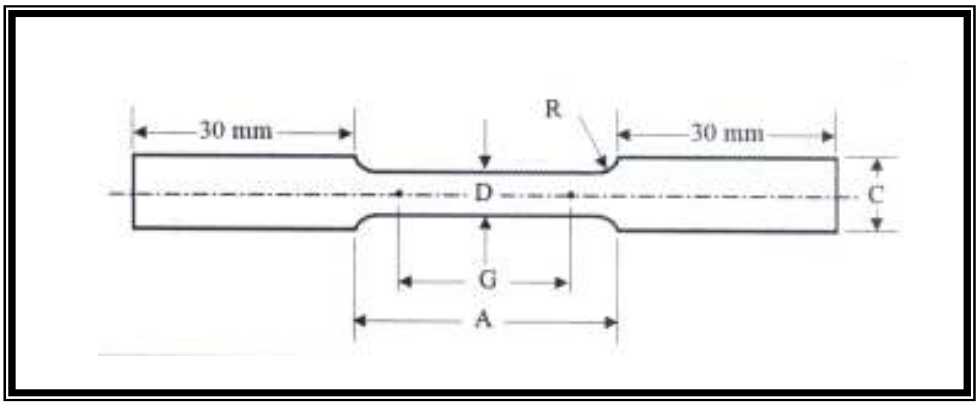
أ- صنعت عينات اختبار الكلال وفق المواصفة القياسية لفحصها على جهاز اختبار الكلال بالانحناء الدوار Rotating Bending وان عينة الكلال موضحة بالشكل رقم (3).



الشكل (3) ابعاد عينة الكلال وفق المواصفة القياسية ASTM

ب- عينات الشد:

صنعت عينات اختبار الشد وفق المواصفة القياسية DIN 50125 لفحصها على جهاز اختبار الشد (Instron 10 Ton) وان الشكل (4) يوضح ابعاد عينة الشد .



الشكل (4) أبعاد عينة الشد

G = 30 ± 0.1 A = 36 mm
D = 6 mm C = 10 mm
R = 6 mm L = 100 mm

١- ترميز العينات specimen classification

صنفت عينات الكلال الى مجاميع رئيسية لغرض اجراء الاختبار وكما في الجدول رقم (2).

الجدول رقم (2) ترميز عينات الكلال المستخدمة في الاختبار

رمز العينة	التعامل	
A	بدون تعامل	As received
B	قذف بقطر 1.25 ملم	Shot peen at diameter 1.25 mm
C	قذف بقطر 2.75 ملم	Shot peen at diameter 2.75 mm

D	قذف بقطر 3.75 ملم	Shot peen at diameter 3.75 mm
E	منتردة نتردة سائلة	Liquid Nitriding
F	منتردة مع قذف بقطر 1.25 ملم	Nitriding and shot peen at Diameter 1.25mm

٤- المعاملات Treated

١- عملية تصليد سطحي من خلال قذفها بكرات مختلفة الاقطار فقد استخدمت ثلاثة اقطار هـي (1.25 , 2.75, 3.75) ملم من مجموعات (B,C,D)على التوالي كل مجموعة تم قذفها بقطر لبيان تأثير قطر كرة القذف علىمقاومة الكلال للفولاذ. تم تثبيت زمن القذف لمدة عشرة دقائق لكل مجموعة.

٢- معاملة حرارية كيميائية هي النتردة السائلة على عينات الكلال في المجموعة E عند درجة حرارة 570° ولمدة ساعة في محلول ملحي و هو سيانيد الصوديوم وسيانيد البوتاسيوم بنسب مختلفة وبمساعدة عامل منشط [CNH_4Cl] الذي يعجل من عملية تحرير النيتروجين الذري.

٣- تم قذف عينات المجموعة F المنتردة نتردة سائلة بظروف نفسها عينات المجموعة E بواسطة الكرات الفولاذية بقطر 1.25 ملم وزمن عشرة دقائق من اجل المقارنة بين طرق التصليد السطحي.

٥- الفحوصات Testing

١- فحص الخشونة Roughness inspection

اجري فحص خشونة السطح للجزء المقوس من عينات اختبار الكلال للمجاميع في الجدول (٣) باستخدام جهاز قياس الخشونة Perthometer نوع SP_6 في الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية والجدول رقم (3) يوضح النتائج .

الجدول رقم (3): نتائج اختبار الخشونة السطحية

No	Specimen	Ra µm average	Rt µm max
1	A	0.15	1.8
2	B	2.2	2.4
3	C	1.4	3.1
4	D	1.1	3.5
5	E	0.18	1.6
6	F	2.0	2.2

حيــث:

Ra = Roughness average

Rt = Roughness total

٢- اختبارات الشد Tensile test

من اجل معرفة مقاومة الشد ومتانة الفولاذ تم اجراء اختبار الشد على عينات شد صنعت وتم معاملتها بنفس ظروف العينات نفسها في المجاميع التي تم تصنيفها في الجدول رقم(2) وان نتائج الاختبار موضحة في الجدول رقم(4)

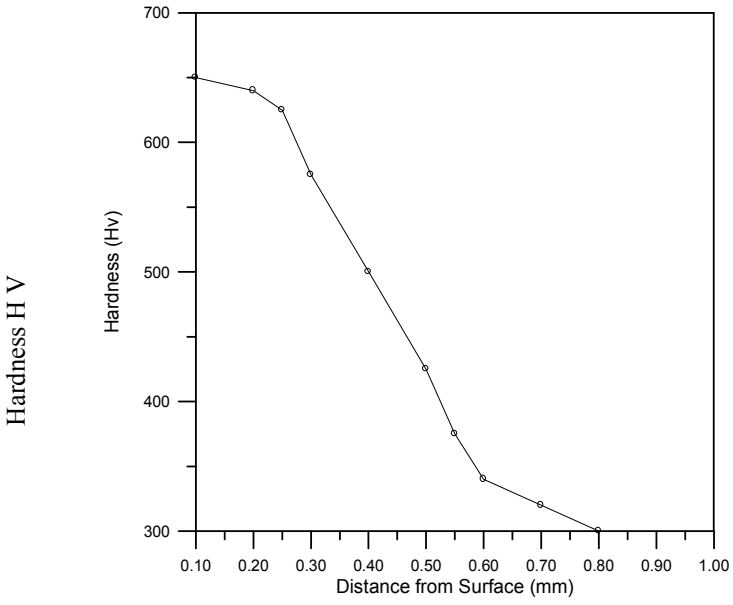
جدول رقم (٤) نتائج اختبار الشد والصلادة

No.	Specimen	Yield strength σ_y MP_a	Tensile σ_u Strength MP_a	Hardness Vickers Kg/mm^2
1	A	323	570	200
2	B	350	583	221
3	C	366	612	250
4	D	405	671	280
5	E	650	850	520
6	F	-	1000	600

٣- اختبار الصلادة Hardness Test

أ- الصلادة الخشنة Macro Hardness تم اجراء اختبار الصلادة لكافة العينات في الجدول [4] واخذت ثلاث قراءات لكل عينة واعتمد المتوسط بواسطة جهاز فيكرز لقياس الصلادة والنتائج موضحة في الجدول (٤).

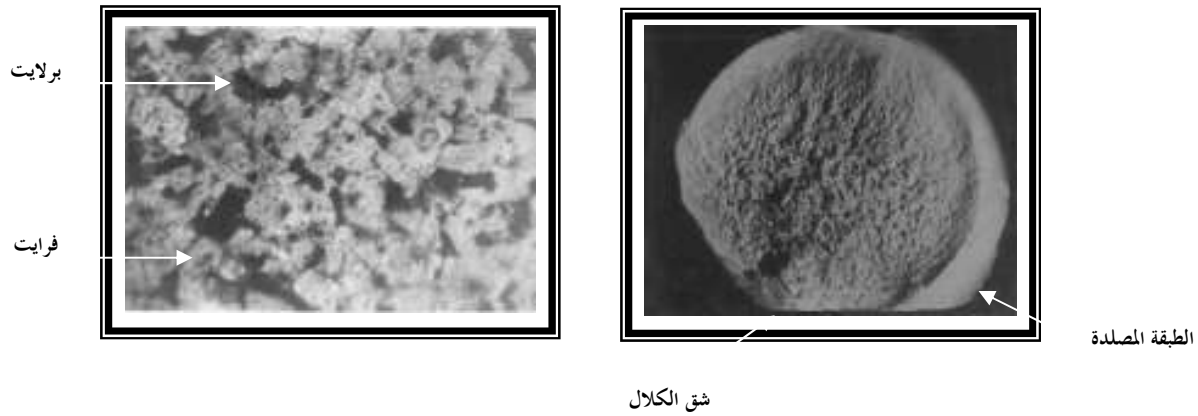
ب- الصلادة المجهرية Micro hardness تم قياس الصلادة المجهرية على اعماق متتالية من سطح مقطع العينة للحصول على توزيع للصلادة بصورة متتالية للعينات المنتردة ورسمت علاقة بين قيم الصلادة وعمق الطبقة الصلدة Casedepth كما في الشكل (5).



شكل (5) توزيع الصلادة المجهرية

٤- فحص البنية المجهرية Microstructure

تم الفحص باستخدام المجهر الضوئي عند تكبير 40X لتحديد البنية المجهرية وقد وجد ان الفرايت والبرلايت هو الطور السائد لعينات الكلال والنتريدات المتكونة Cr_2N , Fe_3N, Fe_4N بعد النتردة السائلة على السطح باستخدام حيود الاشعة السينية X-Ray Diffraction والشكل رقم (6) يوضح البنية المجهرية للفولاذ المنترد والمعدن الاساس.

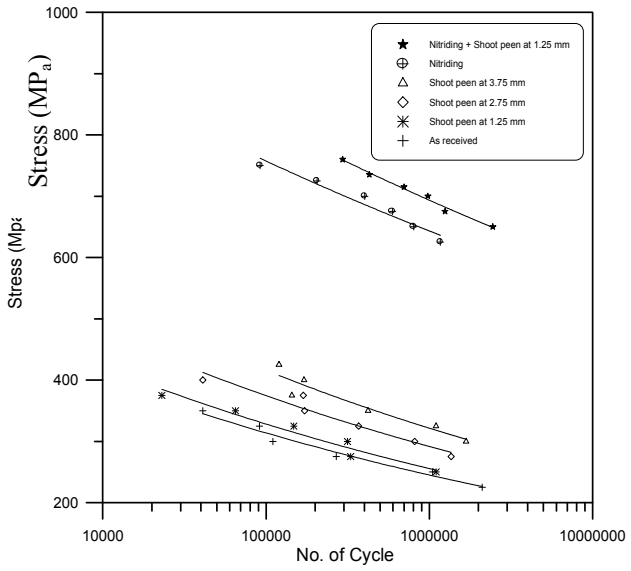


الشكل (6) البنية المجهرية للمعدن الاساس والمعدن المنترد

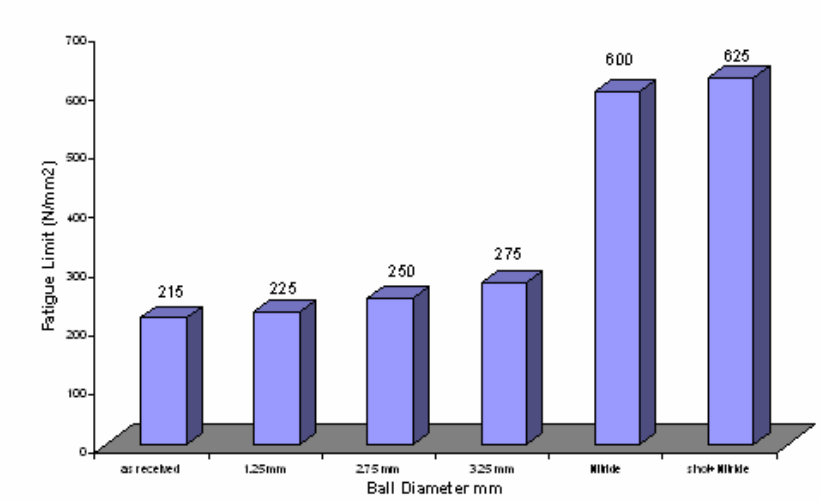
٥- اختبار الكلال Fatigue Test

١- اجري اختبار الكلال لعينات الكلال في المجموعات المصنفة في الجدول (٢) تحت اجهادات ثابتة السعة واستخرج منحنى العمر (S-N curve) للفولاذ اي العلاقة بين الاجهاد وعدد دورات الفشل. شكل (٧).

٢- رسمت العلاقة بين حد الكلال وحالة المعدن.



الشكل (7) العلاقة بين الاجهاد – عدد الدورات لمجاميع الفولاذ التي تم فحصها



الشكل (٨) العلاقة بين حد الكلال وقطر الكرة لمجاميع الفولاذ

المناقشة Discussion

من النتائج التي حصلنا عليها وجدنا

*تحسن مقاومة الكلال لمجاميع عينات الكلال (B.C.D.) في الجدول رقم (2) عند مقارنتها مع مقاومة الكلال لعينات المجموعة (A) والتي تمثل المعدن الاساس اذ يؤدي القذف الى تكوين انخلاعات بكثافة عالية وبالوقت نفسه سوف يؤدي الى تنعيم الحبيبات في الطبقة السطحية المنفعلة بعد القذف والتي تحسن من خواص الكلال بالاضافة الى ان التشويه اللدن الذي حدث نتيجة القذف بالكرات . ويؤدي القذف الى زيادة في الصلادة السطحية ايظا مع توليد اجهادات ضغطية تساهم في تاخر تقدم شق الكلال على السطح شكل (1, 2, 6).

* زيادة في تحسن مقاومة الكلال لعينات الكلال في المجموعة (D) التي قذفت بكرات فولاذية بقطر(3.75)ملم عند مقارنتها مع عينات الكلال في المجموعة (B.C) والمقذوفة بأقطار اقل وهذا يدل على تأثير القطر في زيادة الاجهادات الضغطية والصلادة السطحية وكذلك تأثير القطر على ابعاد العينة اذ يؤدي الى نقصان في قطر العينة وبالتالي نقصان المساحة السطحية لمقطع العينة علما ان الفترة الزمنية ثابتة لجميع العينات (عشر دقائق). [2, 3]

* ساهمت النتردة السائلة في تحسين مقاومة الكلال لعينات الكلال في المجموعة (E) عند مقارنتها مع

المجاميع اعلاه من خلال زيادة صلادة الطبقة السطحية المصلدة وجد انها تساوي(0.8)ملم اذ ان الطبقة المصلدة تعيق نشوء وتقدم شق الكلال ، و ان شق الكلال ينشأ وينمو تحتها في حالة كونها سميكة [4, 8].

* ان سبب زيادة صلادة الطبقة يعود الى تكون نتريدات العناصر السبائكية المتكونة على السطح واهمها نتريد الكروم Cr_2N Fe_4N Fe_3N, وهذا اكدته نتائج الفحص باشعة X (x-ray).[12, 11]

* زيادة في تحسن مقاومة الكلال لعينات الكلال في المجموعة (F) المنتردة نتردة سائلة والمقذوفة بقطر(1.25)ملم عند مقارنتها مع مقاومة الكلال لعينات المجموعة (E) والمنتردة فقط في الظروف نفسها وهذا دليل على زيادة في الاجهادات الضغطية المتولدة والصلادة السطحية مما ساهم في تحسن مقاومة الكلال. [14, 13]

* عند فحص البنية المجهرية لكافة عينات مجاميع الكلال في الجدول (2) وجد ان الطور السائد لكافة العينات المقذوفة هو البرلايت والفرايت والعينات المنتردة هو البرلايت الفرايت في القلب اما السطح فهو عبارة عن نتريدات الكروم والحديد وهذا يؤكد ان زيادة الصلادة ناتجة عن التشكيل اللدن والطبقة السطحية المصلدة . كما في الشكل (٧) و(2).

الاستنتاجات

١- زيادة مقاومة الكلال عند زيادة قطر الكرة المقذوف بها.

٢- ان الكرة التي قطرها(3.75)ملم اعطت اعلى مقاومة مع مقارنة المقاومة التي اعطتها الكرة التي بقطر اقل.

٣- مقاومة الكلال للفولاذالسبائكي المنخفض الكاربون تتحسن من خلال المعاملة الحرارية الكيمياويةالمنتردة ولكنها تكون افضل في حالة النتردة يتبعها قذف في الكرات.

المصادر

1- Mark D. Lawerenz, "*Shot Peening And Its Effect On Gearing*", Metal -improvement company, Inc Copyright, 1985.

2- M.N. Neelakantan, R.G. Green, S.H. Foo and Jogn, "*Measurement And Control Of Impact Finishing Processes*" proceedings of first international conference on shot peening, Paris, 14-17 September 1981.

3- Cheng Jia-Xiang and Ao Bing-Qui. "*The Effect Of Shot Peening On Contact Fatigue Of Carborized Steel*", Proceeding of first international foncerence on shot peening, Paris, 14-17 September, 1981.

4. Averbach B.L Person B.U. Fairchild R-E and Bamberger E-N "*Gatigue Grack Propagation In Carburized Alloy Bearing Steels*". Me Tallurgical Tran saction, Vol.16.A, 1982

5- Andre Meyers, “Mechanical Behavior of Materials”, P. 606, 1999.

6- Underwood, J.H. "*Residual Stress Effects At A Notch Root In A723 Steel To Extend Fatigue Life*", Experimental mechanics, Vol.35, No. L, PP.61-65, 1995.

7- Hammond, D.W., Meguid, S.A,m, "*Crack Propagation In The Presence Of Shot-Peening Residual Stresses*", Engineering fracture mechanics, Vol.37, No.2 PP.373-387, 1990.

8- يسرى توما "**دراسة تاثير عملية النتردة على مقاومة الكلال لفولاذ سبائكي**"، اطروحة ماجستير هندسة الانتاج والمعادن الجامعة التكنولوجية، ٢٠٠٣.

9- A. Niku, Lart. "Shot-Peening:, Proceedings Of First International Conference On Shot Peening", Paris, 14-17September, 1981.

10. خيرية سلمان "دراسة تاثير طرق الكربنة على مقاومة الكلال للفولاذ" اطروحة ماجستير قسم هندسة الانتاج والمعادن، الجامعة التكنولوجية، ٢٠٠١.

11. Ivan M., Newarez, Drew V.Nelson, "Robust Design For Fatigue Performance: Shot Peuning" proceeding of the 1996 ASME design engineering technical conferences and computers in engineering conference, August, 18-22, 1995, California.

12- Saleh – A.H, Hassan, K.S. "Effect Of Shot-Peening Time On The Fatigue Strength Of Low Carbon Steel".

13- Beghini, M.Bertini, L, Fitale, E., "Fatigue Crack. Growth in Residual Stress Fields; Experimentl Results and Modeling", Fatigue and Fracture of Engineering materials and structures, Vol. 17. No.12 PP.224-234, 1994.

14- Farrahi, G-H, Lebrun, J.L.o and Couratin, D. "Effect Of Shot Peening On Residual Stress And Fatigue Life Of Spring Steel", Fatigue and Fracture of Engineering materials and structures, Vol 18. No.2, PP.211-220, 1995.