النتردة كأسلوب لإطالة عمر الأجزاء المعرضة لتحميل كلال متغير

أمين دواي التميمي* و يسرى توما العمران

تاريخ التسليم:
تاريخ القبول:

الخلاصة

تهدف هذه **الدراسة** لمعرفة تأثير إحدى طرائق التصليد السطحي**(النتردة) على أعمار** الكلال لفولاذ سيانكي متوسط الكربون حيث أجريت جميع اختبارات الكلال للانحناء الدوار في ظروف المختبر الاعتيادية بمتوسط إجهاد (Mean Stress) قيمته صفر ونسبة إجهاد(R=-1) حيث تم تسليط اجهادات ثابتة السعة ومتغيرة السعة وذلك لمعرفة مدى مقاومة المعدن لهذه الاجهادات تحت تأثير الأحمال الديناميكية المختلفة وإعطاء عمر الأمان لهذا المعدن. تم إجراء عملية النتردة(السائلة والغازية) للمعدن والتي ساهمت في تحسين مقاومة الكلال واعتمد مقدار التحسن على عمق الطبقة المصلدة في الحالتين وإن حد الكلال يزداد مع زيادة عمق الطبقة المنتردة.

كما تم إجراء اختبارات الشد والصلادة الدقيقة لظروف المعاملة المستخدمة وذلك لكون هذه الاختبارات تعد معايير وترتبط ارتباطاً وثيقاً بنتائج اختبارات الكلال. كما أجري فحص للبنية الدقيقة قبل وبعد المعاملة فوجدت البنية الدقيقة قبل إجراء المعاملة(فرايت + برلايب) في حين لوحظ تكون أطوار نتروجينية عالية مع ترسب طبقة من نتريدات حديد كروم على السطح المعامل بالنتردة مما يؤكد دور النتردة في تكوين الحواجز البنيانية على السطح والتي تعمل على توقف نمو الشق.

لقد أظهرت صور المجهر الالكتروني الماسح (SEM) لسطح الكسر صور تتبع نمو شقوق الكلال وأن شق الكلال ينشأ تحت الطبقة السطحية المصلدة السميكة وينمو في المنطقة اللدنة أقل ووجد إن أعمار الكلال أكبر عند التحميل من (عالي- واطئ) في اختبارات الكلال المتغيرة السعة مما عليه في حالات(واطئ- عالي).

Abstract

This study has aimed to illustrate the effect of one surface hardening method(Nitriding) upon fatigue life time of medium carbon steel alloys . Therefore all tests. concerning round bending of fatigue ,have been conducted at ordinary laboratory circumstances , within amean stress , [value = 0&stress ratio ,R = -1], as stable and changing stress capacities , were forced in order to know the metal resistance to these stresses under the different dynamic loading .There by to give the safety life time of this metal , nitriding process (liquid & Gas) was carried out to the metal ,which contributed in improving the fatigue resistance , as the improvement amount was based on the hardened depth , and the fatigue boundary , increases with nitriding layer depth . strength tests, micro and hardening were carried out for the applied heat treatment circumstances ,because these tests are considered to be as criteria and connected with revelant correlation , concerning fatigue tests results .

https://doi.org/10.30684/ etj.26.12.13
University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq/2412-0758

Actually , micro structure examination has carried often before treatment , where as the micro structure was found before treatment [ferrit & perlite] while nitrogen phases were observed to be high with a layer of crome iron nitrides on the treated service with nitriding , that confirm the nitriding role in structural barriers formation on the service , that acts on stopping towards the crack..

Consequently, the images of (SEM) , regarding the fracture service , have declared a follow up images towards fatigue cracks . This crack is originated under the thick hardened serface.Layer and developes , is a lease plastic region , as it was detected that fatigue life time , increases when loading from (high – low) at the changing capacity of fatigue tests rather than(Low- High).

المقدمة:

يعتبر خضوع المعدن وتعرضه للفشل(الكلال) من أهم المشاكل التي تعانيها الصناعة عند تصنيع أجزاء ميكانيكية تتعرض إلى أحمال داينامية مختلفة. ومن المعادن الشائعة الاستخدام لتصنيع أجزاء تخصصية في الصناعة هو المعدن (42 Cr M04). إن هدف البحث هو الوصول إلى طريقة التعامل الحراري المناسبة لتحسين خواص المعدن من حيث زيادة صلادة سطحه والاحتفاظ بمتانة القلب وتعتبر النتردة بنوعيها، إحدى هذه الطرق لتحسين مقاومة الكلال إضافة إلى أنها تعتبر من الطرق الشائعة وذلك لتوفر متطلباتها وكفاءتها لان زيادة نسبة النيتروجين على السطح تؤدي الى تكوين نتريدات صلدة والتي لها دور في تحديد التركيب المجهري والخواص الميكانيكية للمعدن (1).

ويعرف الكلال: بأنه الانهيار الذي يحصل لمعدن بسبب تعرضه إلى أحمال متكررة والذي لو سلطت سكونياً لما سببت انهيار المعدن وإن هذه الأحمال قد تكون متناوبة أو متكررة أو منقلبة وقد يكون تكرار الإجهاد بشكل شد متكرر أو ضغط أو حني (Bending) ويسمى المتكرر في اجهادات الكلال بدورة الإجهاد (stress) يمثل العمر (life).

ويمكن تمييز نوعين من الكلال اعتمادا على نوع التحميل الدوري الذي يؤدي إلى الفشل هما:- (2).

أ- كلال الدورات العالية نتيجة تسليط اجهادات واطئة.

ب- كلال الدورات الواطئة نتيجة تسليط اجهادات عالية.

وتقسم اختبارات الكلال إلى قسمين:-

1. اختبارات الكلال ثابتة السعة: يتم من خلالها تعريض عدد من العينات من نفس المعدن إلى حمل ثابت السعة وتلاحظ عدد الدورات التي يحصل عندها الفشل.
2. اختبارات الكلال متغيرة السعة: وهي الأحمال التي تكرر نفس تتابع دورات الإجهاد وهذا التتابع يكون منتظماً أو محدداً.

أ- تسليط إجهاداً(عالي- واطئ) أو(واطئ- عالي).

ب- تسليط حمل عالي.

ج- تسليط أحمال على مراحل (Block).

1. الجزء النظري

تعتبر عملية النتردة احدى طرق التصلية السطحي(نوع من المعاملات الحرارية الكيمائية على السطح) وهي عملية تقسية الطبقة السطحية عن طريق إشباع سطح الصلب بعنصر النيتروجين الذري وإن سمك الطبقة المقساة التي نحصل عليها لا يتجاوز ملم واحد. تنجز هذه العملية في مدى من درجات حرارة الفرايت $^{\circ}$C650-480)

(وإن المتغيرات الأساسية في العملية هي نسبة الكروم في الفولاذ ومحتوى الأمونيا

للوسط وصلادة القلب المراجع(3) إن كل هذا له تأثير على الصلادة القصوى عند السطح والعمق الكلي لطبقة التصليد وتوزيع الصلادة مع العمق وتستخدم الأجزاء المنتردة لقطع القوالب (Die- blocks) ومحاور المدوران (Spindles) وأعمدة المضخات (Pump shafts).

2. الجزء العملي:

جدول رقم (1) التحليل الكيميائي للمعدن

	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Mo%	Ni%	Cu%	V%
القيمة الفعلية	0.439	0.368	0.810	0.025	0.02	0.99	0.231	0.33	0.16	0.02
القياسية	-0.38 0.45	0.40	-0.60 0.90	0.035	0.03	-0.90 1.2	-0.15 0.30	-	-	-

1-4 المعدن المستخدم في البحث هو فولاذ سبانكي متوسط الكربون (42 Cr M04) وقد تم إجراء التحليل الكيميائي لهذا المعدن في المعهد المتخصص للصناعات الهندسية باستخدام جهاز المطياف.

2-4 تم استلام المعدن بشكل قضبان وتقطيعه بنماذج نهائية ذات أقطار (10 mm) وبطول 80) (cm ومن ثم تصنيع هذه النماذج على ماكنة (CNC) المبرمجة في الجامعة التكنولوجية طبقاً للمواصفات القياسية الخاصة باختبار الكلال للانحناء الدوار وبعد الحصول على عينات ذات دقة عالية في الأبعاد وخاصة منطقة التقوس تم تنعيم هذه المنطقة (R30) وصقلها على القطر (6.74mm) وذلك باستخدام ماكنة خراطة عادية وباستخدام ورق كاربيد السليكون بدرجات نعومة (1000,800,500,320,220) حبيبة/ سم2 ومن ثم إجراء عملية الصقل باستخدام معجون الماس (Diamond).

3-4 تصـنيف عينـات اختبـار الكلال:

تم تصنيف عينات اختبار الكـلال إلى مجاميع وفقاً لنـوع المعاملـة الحرارية المستخدمة.

جدول رقم(2) مجاميع فحص العينات

نوع التعامل	رمز العينة	رمز المجموعة
بدون تعامل	-	A
نتردة سائلة بزمن 30 min	B1	B
نتردة سائلة بزمن90	B2	
نتردة غازية	-	C

4-4 إجراء المعاملـة الحراريـة(نتردة سائلة وغازية).

إن عملية النتردة يجب أن تكون مسبوقة بالمعاملات الحرارية الضرورية من تقسية ومراجعة والغاية منها الحصول على قلب متين وتتضمن تسخين المعدن إلى درجة حرارة) (860C° وتثبيته عند هذه الدرجة لمدة) (20min ومن ثم إجراء تقسية بالزيت وبعدها إجراء مراجعة عالية بدرجة) (600C° ولمدة ساعة وتبريده بالهواء.

أ- النتردة السائلة Liquid) : Nitriding)

وضعت مجموعة عينات (B) في فرن يحتوي على مصهور النتردة السائلة والمسخن إلى درجة حرارة (580C°)وقد استخدم مصهور ملحي من سيانيد الصوديوم NacN بنسبة (60-70%) من الوزن وسيانيد البوتاسيوم KCN وبنسبة -40%) (30% وبمساعدة عامل منشط) (REG1)(NH4Cl الذي يعجل من عملية تحرير النتروجين الذري، كررت العملية على عينات المجموعة (B) وبفترات زمنية مختلفة ثم سحبت من حوض النتردة السائلة بعد أن اكملت المدة المقررة وتم تبريدها بالهواء.

ب- النتردة الغازية (Gas Nitriding)

تم وضع العينات من مجموعة (C) بشكل معلق داخل بودقة تقاوم درجة الحرارة وتجري العملية في وسط من غاز الأمونيا NH3 ويتم تشغيل الفرن عند درجة حرارة 600C)°(ولمدة ثمانية وأربعون ساعة وينتج النيتروجين الذري الذي يخترق سطح المنتوج والناتج من تحلل غاز الأمونيا كما في المعادلة الآتية:

$$2NH_3 \rightarrow 2Nat + 3H_2 \ldots\ldots..(1).$$

حيث يتم طرد غاز الهيدروجين الذري مع جزء من غاز الأمونيا من خلال أنبوب السحب في البوابة لأن وجوده بشكل مستمر مع درجة الحرارة يسبب الانفجار.

5-4 الفحوصات والاختبارات:

4-5-1 فحـــص الخشـــونة Roughness inspection

اجري فحص الخشونة لسطح الجزء المقوس من عينات اختبار الكلال قبل وبعد المعاملة باستخدام جهاز قياس الخشونة في الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية والجدول يوضح مقدار الخشونة السطحية للعينات.

جدول رقم (3) معدل وأقصى خشونة لسطح العينات المختبرة

No.	Specimen	Ra(μ m)	Ri(μ m)
1.	A	0.13	0.96
2.	B1	0.15	1.88
3.	B2	0.16	1.97
4.	C	0.06	1.19

4-5-2اختبار الشد:

اجري اختبار الشد على جهاز شد نوع (Instron) الموجود في المعهد المتخصص للصناعات الهندسية.

جدول رقم(4) المواصفات الميكانيكية للمعدن قبل وبعد النتردة.

No.	Specimen	Time	Yield Strehgth MPa	Tensil Strength MPa
1.	A	As recived	1047	1089
2.	B1	30 min	-	1551
3.	B2	90min	-	1672
4.	C	2880min	-	1702

4-5-3 اختبار الصلادة:

أ- الصـــلادة العيانيـــة Macro) Hardness).

1. تم إجراء اختبار الصـلادة علـى جهاز قياس صلادة (Rockwell) رمـزه(Frank 147/N150 kg) لكافة المجاميع قبل وبعد المعاملـة, واستخدمت في الاختبار أداة غـرز موشورية ماسية وحمل مقـداره (150kg) وقد تم اخـذ القـراءات مباشرة من الجهاز حيـث اخـذت ثلاث قراءات واعتمد المعدل.

2. تم إجراء اختبار الصلادة بطريقة فيكرز باستخدام أداة غرز موشورية ماسية مربعة القاعدة وحمل (2kg) وأخذ ثلاث قراءات للأثر المتروك وأعتمد المعدل وتم حساب الصلادة من القانون الآتي:

$$Hv = 1.854 \frac{P}{d^2} \quad \text{.....2)}$$

حيث أن : p: القوة المسلطة/ كغم
d: معدل قطر الأثر/ ملم
Hv: صلادة فيكرز

وفيما يلي نتائج مجموعة نتائج العينات الموضحة في الجدول الآتي:

جدول(5) نتائج اختبار الصلادة

Specimen	A	B1	B2	C
HRC	22	48	50	52
H.V	237	486	522	538

ب- الصلادة الدقيقة Micro Hardness
تم فحص الصلادة المجهرية الدقيقة بعد أخذ مقطع عرضي من سطح العينة المعاملة(نتردة سائلة وغازية) ثم أجريت عمليات تنعيم وصقل واستخدام جهاز اختبار الصلادة (Prufmas chinen 3030 Rating + Messen) الموجود في المعهد المتخصص للصناعات الهندسية وسلط حمل مقداره (100gm) لقياس الصلادة المجهرية على أعماق متتالية من سطح مقطع العينة للحصول على توزيع الصلادة المايكروية بصورة متتالية ثم تم رسم علاقة بين قيم الصلادة المجهرية وعمق الطبقة المصلدة) (case depth كما موضحة في الشكل [B1,B2,C][2].

4-5-4 فحص التركيب المجهري (Micro structure examination)
أجريت عمليات تحضير للعينات لغرض فحص البنية المجهرية وتصوير العينات وذلك بأجراء الخطوات التالية:

أ- إجراء عمل تنعيم باستخدام أوراق تنعيم بدرجات (1000,800,500,320M220,120).

ب- إجراء عملية صقل (Polising) باستخدام قماش صقل مع محلول الألومينا (Alomin) ثم قماش صقل خاص مع معجون الماس ومع سائل تبريد خاص وثم غسل العينات بالماء والكحول بعد كل مرحلة من مراحل التنعيم والصقل ثم إجراء عملية إظهار (Etching) باستخدام محلول النيتال المكون من (2%) حامض نتريك مع (98%) كحول مثيلي. Hv Kg /mm^2

ج- استخدام المجهر الضوئي لمعرفة التركيب المجهري للعينات.

د- استخدام التصوير المجهري (Universal camera Microscope Reichert MeF2, Nr360974) والشكل (3) يبين البنية المجهرية للعينات المفحوصة.

5-5-4 الفحص بحيود الأشعة السينية:
تم إجراء الفحص بحيود الأشعة السينية للعينات لمعرفة الأطوار الناتجة باستخدام جهاز الأشعة السينية من نوع (X- Ray diffractometer) الموجود في الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين حيث أظهرت النتائج وجود أطوار نتروجينية حديدية عالية على السطح مع نسبة من نتريدات الكروم الصلدة على السطح, والشكل(4) يوضح تحديد الأطوار.

6-5-4 اختبار الكلال: Fatigue test
إن اختبار الكلال المستخدم في هذا البحث هو الكلال بالانحناء الدوار (Rotating Bending) والجهاز المستخدم من نوع (Scheneck Punn Rotating Bending) الموجود في قسم هندسة الإنتاج والمعادن.

تم إجراء اختبارات الكلال عند أحمال ثابتة السعة وبنسبة إجهاد (R=-1) وكذلك اختبارات متغيرة السعة حيث تتعرض قطعة الاختبار في هذا الجهاز إلى حمل يسلط من الجهة اليمنى الماسكة للقطعة بشكل عمودي على محور قطعة الاختبار وبذلك يتعرض سطح القطعة إلى إجهاد شد وضغط متعاقبين عند الدوران والجهاز مزود بعداد لتسجيل عدد دورات الإجهاد وبسرعة دورانية للجهاز مقدارها (6000 rpm) دورة في الدقيقة وتجري عملية تسليط الاجهاد باستخدام كتلة حديدية تنزلق على عتبة حديدية مدرجة طولها (30 cm) ومن حساب عزم الحناية تكون قيمة الإجهاد ممثلة بحركة الكتلة على العينة. إن أقصى حمل للجهاز مع استخدام الكتل الإضافية (900 MPa).

4-5-7 دراسة مقطع الكسر باستخدام المجهر الالكتروني الماسح.

تم دراسة سطح الكسر وبداية تكون الشق وانتشاره خلال سطح العينة وطبيعة الشقوق ومناطق تكوينها وانتشارها عند مساحة مقطع الكسر لعينات بعد الفشل باستخدام المجهر الالكتروني الماسح الموجود في قسم هندسة الإنتاج والمعادن والشكل(5) يوضح مقاطع سطح الكسر ونشوء الشق.

2-5-8 نتائج اختبارات الكلال

تم إجراء اختبارات الكلال على مجاميع العينات الموضحة في الجدول(2) لأحمال ثابتة السعة ومتغيرة السعة.

أولاً: اختبارات الكلال ثابتة السعة). (Constant Amplitude test)

نفذ هذا الاختبار على مجاميع العينات الموضحة في الجدول(2) للحصول على منحنى(S-N) لكل مجموعة ورسمت العلاقات ما بين الإجهاد – عدد الدورات. يوضح الشكل(6) منحنى الإجهاد- عدد الدورات (S-N) لكل المجاميع. A (,B1,B2,C)

تم إيجاد معادلة المنحنى وحد الكلال لكل مجموعة وكما موضح في الجدول(6):-

جدول(6) نتائج اختبار الكلال لكافة المجاميع(ثابتة السعة)

Specimen	S-N Curve	Fatigue Limit; σ_f(MPa)
A	$\sigma_f = 830N_f^{-0.03}$	450
B1	$\sigma_f = 1138N_f^{-0.053}$	480
B2	$\sigma_f = 1383N_f^{-0.053^2}$	575
C	$\sigma_f = 2124N_f^{-0.093}$	512

ثانياً: اختبارات متغيرة السعة (Variables Amplitude)

تم إجراء اختبارات الكلال متغيرة السعة على المجاميع (A,B,C) لغرض دراسة تراكم الضرر حيث تم تعريض عينتين إلى هذه الاختبارات الأولى تحميل من نوع تصاعدي (Block increasing) والثانية تحميل من نوع سلمي تنازلي (Block decreasing) حيث تم اختبار ثلاثة أحمال هي (515,530,575) وتم تثبيت عدد الدورات عند الجهد الأول (10000) دورة ثم الجهد الثاني (10000) تم الجهد الثالث(50000) دورة وكذا تكررت العملية حتى حدوث الفشل كما موضح في الشكل(6).

يوضح الجدولان(7) و(8) النتائج العملية للاختبارات متغيرة السعة للمجموعات

(A,B,C) وتم مقارنة النتائج العملية مع القيمة النظرية حسب نظرية الضرر الخطي لماينر (Mimer Linear Pamage Rule) وتؤكد النظرية إن التنبؤ بالفشل يحصل عندما يكون مجموع الضرر للأجزاء عند مستويات إجهاد مختلفة يساوي واحد.

D1 + D2 ….+ Di+1 +Di = 1…(3)

ويمكن كتابة المعادلة بالشكل التالي:

$$\sum_{i=`1}^{i=k} \frac{n_i}{N_i} = 1 \quad .....(\ 4\ )$$

k عدد مستويات الإجهاد المتغير في متوالية برنامج التحميل.

i مستوى إجهاد في برنامج التحميل.

ni عدد الدورات عند مستوى إجهاد i.

Ni عدد دورات الفشل عند مستوى الإجهاد والتي تحسب من معادلة منحنى العمر S-N.

جدول(7) النتائج العملية لاختيار متغير السعة

رقم العينة	نوع التحميل	σ1	n1	σ2	n2	σ3	n3	Nexp العملية	(عدد دورات الفشل النهائي)
A1	L-H	515	10000	530	10000	575	50000	150000	
A2	H-L	575	10000	530	10000	515	50000	240000	
B1	L-H	515	10000	530	10000	575	50000	723000	
B2	H-L	575	10000	530	10000	515	50000	1714000	
C1	L-H	700	10000	725	10000	750	50000	104000	
C2	H-L	750	10000	725	10000	700	50000	296000	

جدول(8) نتائج الضرر المتراكم حسب نظرية ماينر

	نوع التحميل L-H	Nexp القيمة العملية	القيمة النظرية للفشل N Miner	نسبة أعمار الكلال $\frac{\text{النظرية N}}{\text{العملية N}}$	تراكم الضرر D-Miner
A1	515-530-575	93000	7788	0.08	4.3
A2	575-530-515	240000	149316	0.58	1.2
B1	515-530-575	723000	187365	0.25	1.2
B2	575-530-515	1014000	1487539	1.4	0.7
C1	700-725-750	208701	39471	0.18	1.8
C2	750-725-700	898101	211660	0.23	21.5

مناقشة النتائج:

من خلال النتائج التي حصلنا عليها وهو ارتفاع في حد الكلال للفولاذ السبائكي (42CrM04) المستخدم بعد إجراء عملية التردة بنوعيها(السائلة والغازية) إلى($480N/mm^2$) بزمن (90min, 30min) نتردة سائلة ونتردة غازية ($512N/mm^2$) في حين كان حد الكلال قبل إجراء المعاملة 450 (N/mm^2) وهذا يؤكد تحسين مقاومة الكلال بعد النتردة بسبب تكون نيتريدات الكروم الصلادة والاجهادات الضغطية المتولدة بعد النتردة وهذا التأثير كان أكثر وضوحاً عند الفترات الزمنية لعملية النتردة السائلة حيث كان حد الكلال للفولاذ المنتردد بفترة زمنية 90min هو ($575N/mm^2$) أعلى من الفولاذ المنتردد بفترة زمنية 30min ,($450\ N/mm^2$) وهذا يؤكد بأن عدد الدورات اللازمة للفشل يزداد بزيادة زمن النتردة إضافة إلى زيادة عمق الطبقة المنتردة ونتيجة لوجود عناصر السبك المعروفة مثل الكروم والموليبديوم والتي تزيد من عملية انتشار النيتروجين على السطح[4]. ومن خلال نتائج قيم الصلادة والصلادة الدقيقة وجد ارتفاع في قيم الصلادة على السطح وبشكل عام لكافة المجاميع المعاملة بالنتردة, وهذا يتفق مع البـاحثين[5.6] وهذا يؤكد دور الطبقة

المصلدة في زيادة مقاومة الكـلال[7], إذ إن شق الكلال يبدأ بالتكون على السـطح ولكنـه يتوقف بسبب الطبقة المصـلدة والاجهـادات الضغطية المتولدة من النتردة ولكنه ينمو مـن المنطقة اللادنة وبزيادة الفترة الزمنية للنتـردة يزداد عمق الطبقة المنتردة كما لاحظنـا فـي النتردة السـائلة بـزمن min(30 ,90) مـن 0.3min إلى 0.5min, وهذا يتفق مع ما أجراه الباحثون [1, 3, 4, 5, 6, 8].

ومن ملاحظة نتائج اختبار الشـد وجـد ارتفاع في قيم الإجهاد الأقصى مـن (1089) N/mm2 للمعدن كما هو مستلم إلى (1551)(1672) (1702) بعد إجـراء النتـردة وهـذا الارتفاع في قيم الشد يزيد من حـد الكـلال, وهذا يتفق مع ما أجراه الباحثون [4,5,6,9].

ومن ملاحظة نتائج الاختبارات المتغيرة السعة والموضحة في الجدول(7) لمجـاميع (C,B,A) وجد ارتفاع في أعمار الكلال مـن نوع تحميل(عالي- واطئ) أكبر من أعمـار الكلال من نوع(واطـئ – عـالي) ويرجـع السبب في ذلك إلى كبر المنطقة اللادنـة عنـد فتحة الشق مما يؤدي إلى تأخر في نمو الشق عند الانتقال إلى مدى اجهادات أوطـأ وهـو يوضح دور المنطقة المصلدة ووجود الحواجز البنيانية في زيادة مقاومة الكـلال[5] وعنـد مقارنة نتائج الاختبارات المتغيرة السعة لهـذه المجاميع (A,B,C) مع المعدن كما مستلم عند تعريضه لهذا الاختبار نوع تحميـل(عـالي- واطئ) و(واطئ- عالي) أعطت جميع نتائج اختبار الكلال للفولاذ المنتـرد ارتفاعـا فـي أعمار الكلال عند التحميل من(عالي- واطئ) وهذا يؤكد دور الفولاذ السـبائكي للأحمـال العالية لذا يستخدم في الأغراض التي تتطلـب اجهادات عالية.

الاستنتاجات:

1. يزداد عمق الطبقـة المنتـردة بزيـادة الفتـرة الزمنيـة ومحتـوى النيتروجين الذري من أوساط النتـردة المختلفة(السائلة والغازية) بعلاقة من نوع $Y= K \sqrt{t}$.
2. من نتائج حدود الأشعة السنية وجـود نسبة من نتيريتدات الكـروم الصـلدة والتي لها دور كبير في زيادة الصلادة وتحسين مقاومة الكلال.
3. أدت النتردة إلى تحسـين الخـواص الميكانيكية(الصلادة- الشد).
4. أدت النتردة إلى تحسين مقاومة الكلال وهذا يؤكد دور الفترة الزمنيـة علـى عمق الطبقة المصلدة وبالتـالي علـى مقاومة الكلال.
5. يبدأ نمو الشق من السطح فـي حالـة الطبقة المصلدة القليلة السمك أما فـي الطبقة المصلدة الكبيرة فيكـون نمـو الشق تحت الطبقة المصـلدة بسـبب الحاجز البنياني لهذه الطبقة.
6. أعمار العينات المنتردة مـن عـالي واطئ أكبر من العينات واطئ عـالي وهذا يتفق مع الباحثين رقم(5, 6).

المصادر:

[1]ديفنز د.ج, ل, ل,أ, أويلمـان, " المعـادن بنيتها وخواصها ومعاملاتها الحرارية" ترجمة د. جعفر طاهر الحيدري وعدنان نعمة عبـود, الجامعة التكنولوجية, بغداد, 1989.

[2]Boyer, H.E and Gall T.L, "Metal Hand" Desk Edition ASM3rd edition, 1985.

[3]Jack DH; "Effect of Process Variables on the Fiting Resistance of Nitride Steel" Heat Treatment Proceeding of an International Conference p. 169-177,1979.

[4]مبادئ هندسة المعـادن والمـواد(د. حسين باقر رحمة الله) البصرة, 1985.

[5]دراسة تأثير طـرق الكربنـة علـى مقاومة الكلال للفولاذ(خيريـة سـلمان الجنابي- رسالة ماجستير2001- هندسة الإنتاج والمعادن- الجامعة التكنولوجية.

[6]سلوك كلال الصلب السبائكي تحـت تأثير الاجهادات المتبقية(عبـد الخـالق فوزي- رسالة ماجستير2002- العلـوم التطبيقية- الجامعة التكنولوجية.

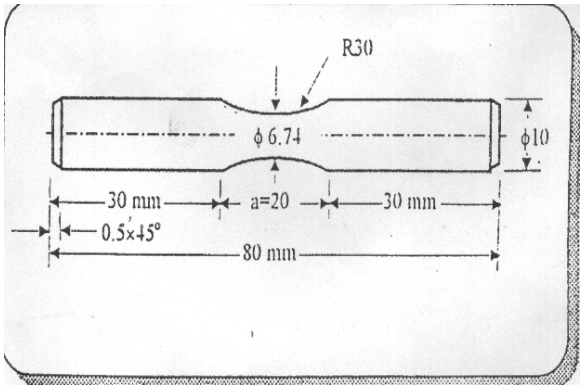
[7]Technology in the heat treatment of steel Prof. Dr. Inghabil, Dr .H.C Hans-Joachim, Internet 18-7.2002.

[8]Lakhtin Y, Engineering Physical Metarllurgy, 1977.

[9]Thetring K, Butter worths " Steel& Heat Treatment",1984.

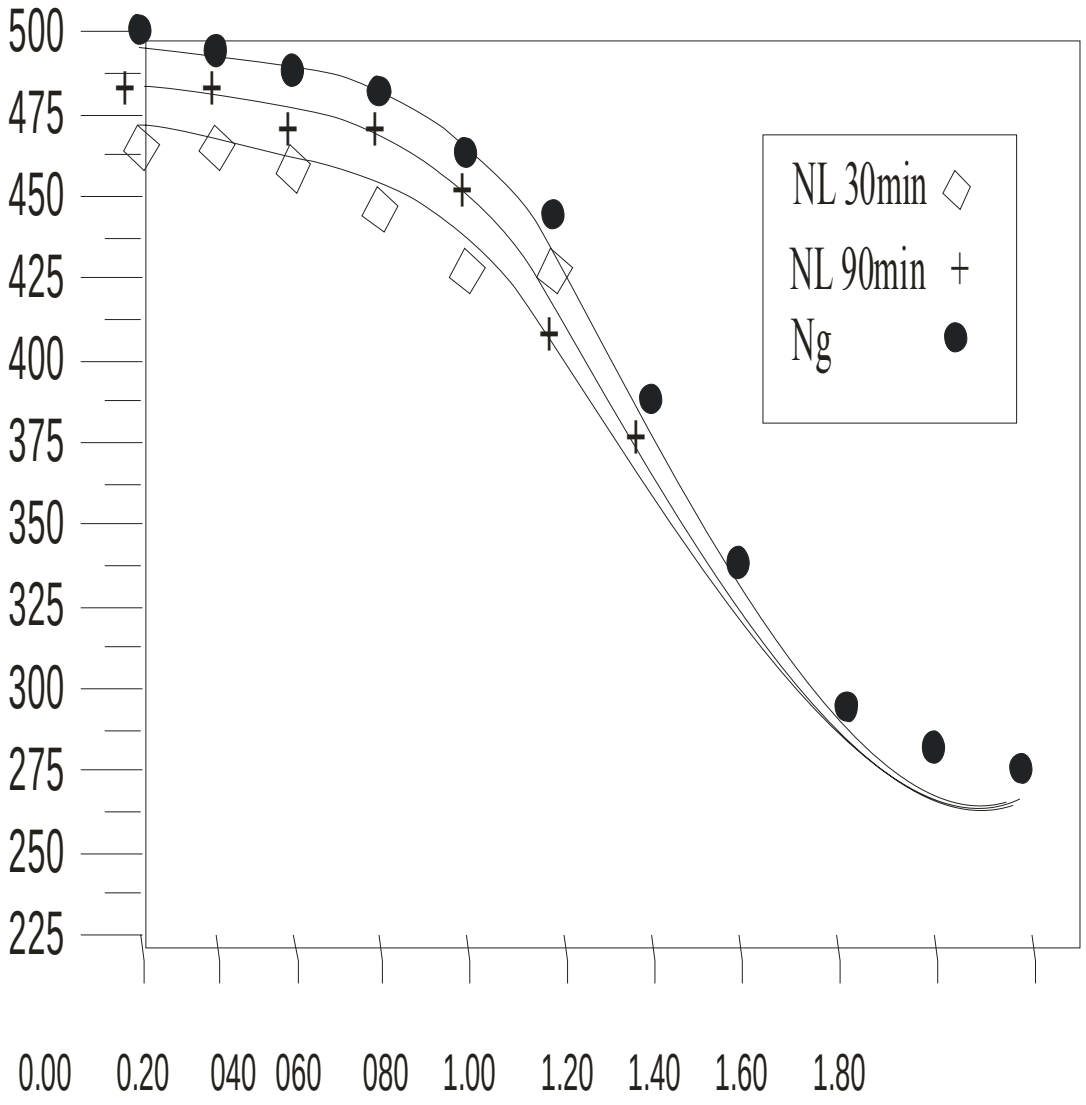
[10]Mik corite," Heat Treatment of Steel", 2004. Internet.

[11]J. W. Martin and Jones; " Residual stress Distribution in Nitrided En 413 steel as Function of case Depth," University of Oxford, Metal Technology.1999.

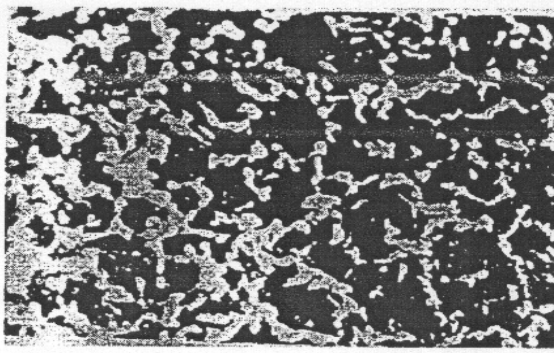


شكل رقم(1)

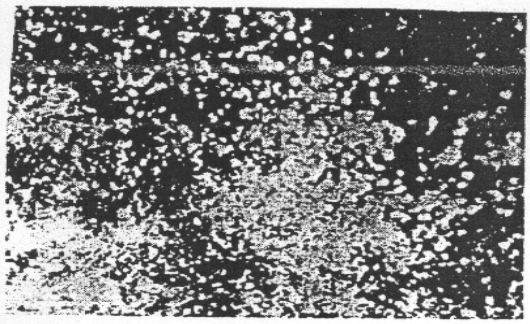
أبعاد عينة الكلال القياسية ذو المواصفة HSM,19Rotating Fatigue Machine



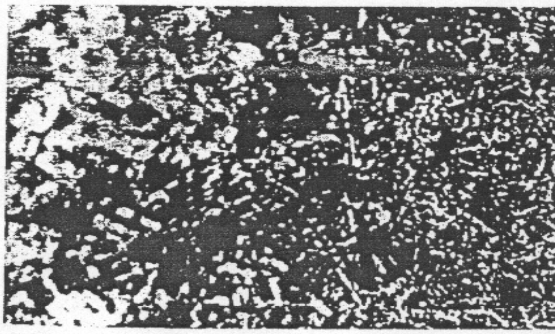
شكل رقم(2) العلاقة بين قيم الصلادة الدقيقة مع عمق الطبقة



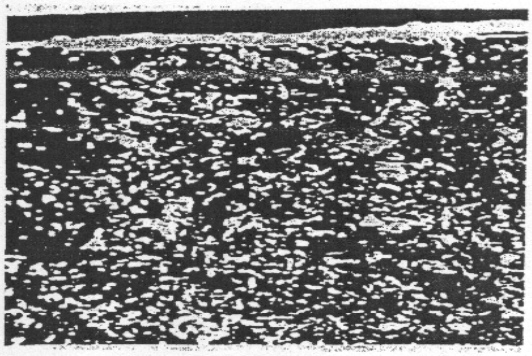
برلايت + فرايت قبل إجراء المعاملة
قوة التكبير 10×40



نتردة سائلة بين القلب و السطح
قوة التكبير 10×40

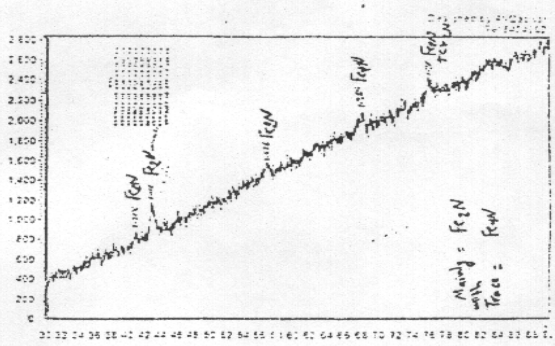


نتردة سائلة بفترة زمنية .90 Min
قوة التكبير 10×40

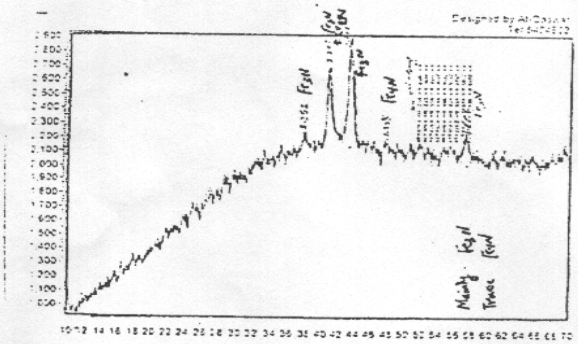


نتردة غازية
قوة التكبير 10×40

شكل رقم (3) يوضح التركيب المجهري للعينات قبل وبعد إجراء النتردة

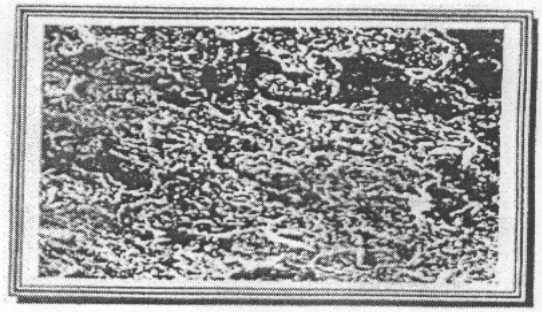


نتردة سائلة

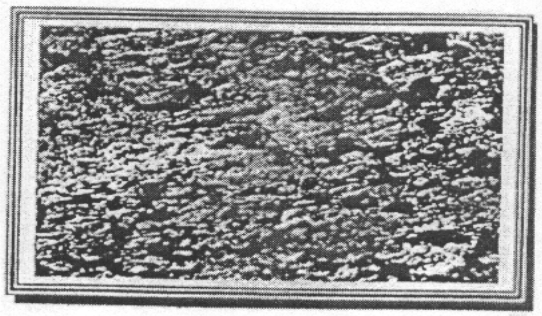


نتردة غازية

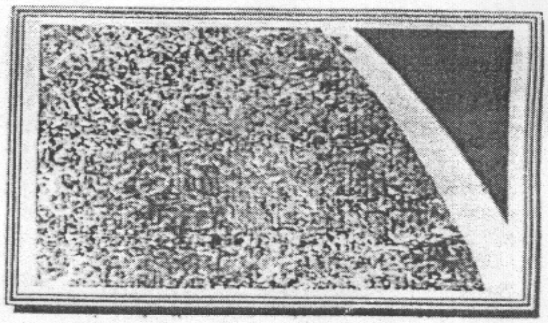
شكل رقم (4) يوضح مخطط تحديد الأطوار



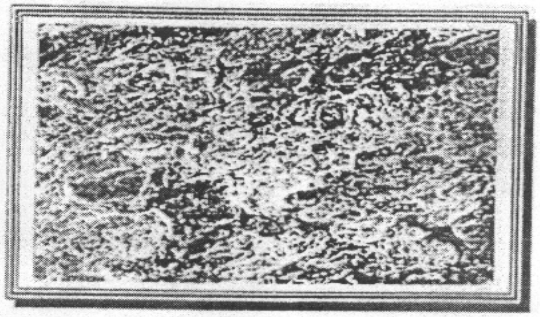
نتردة سائلة (الحمل عالي)



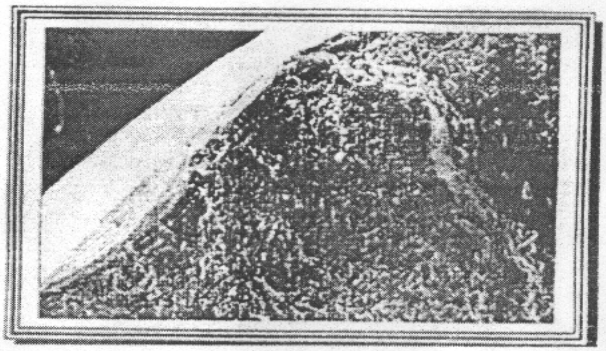
معدن بدون تعامل



نتردة سائلة (الحمل واطئ)

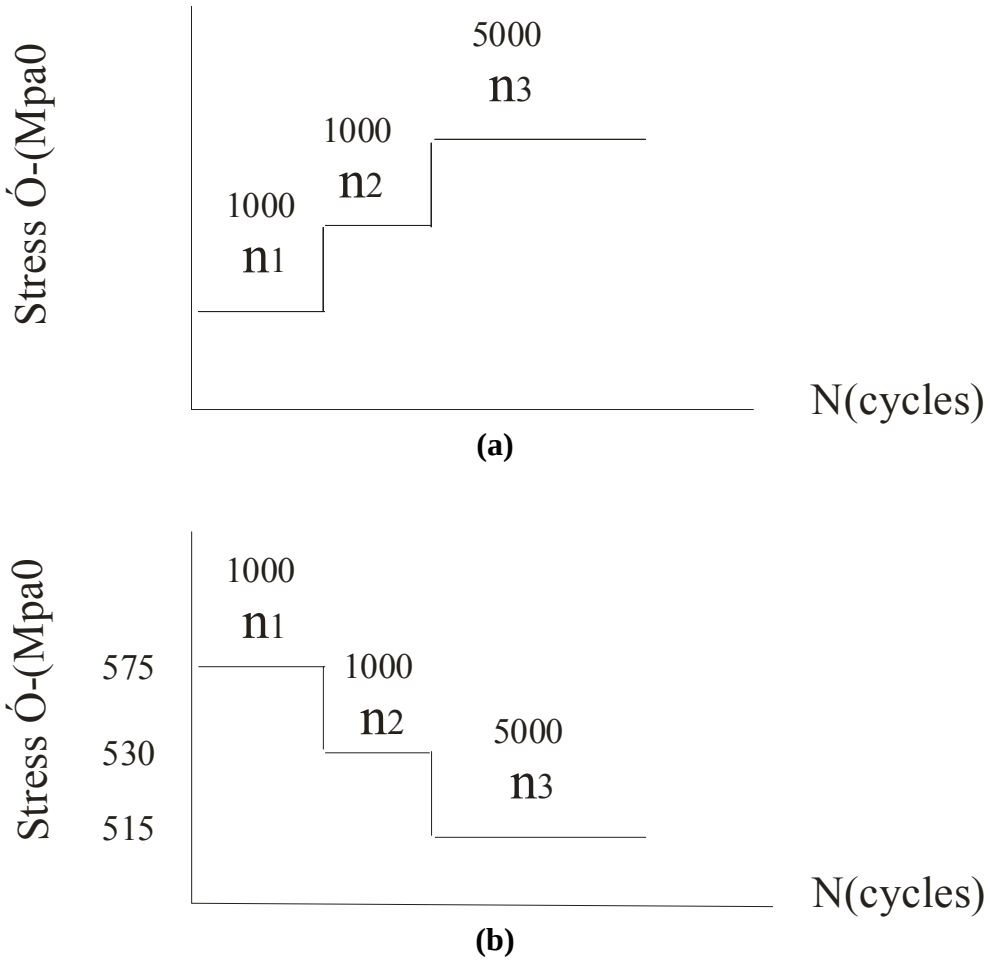


نتردة غازية (الحمل واطئ)

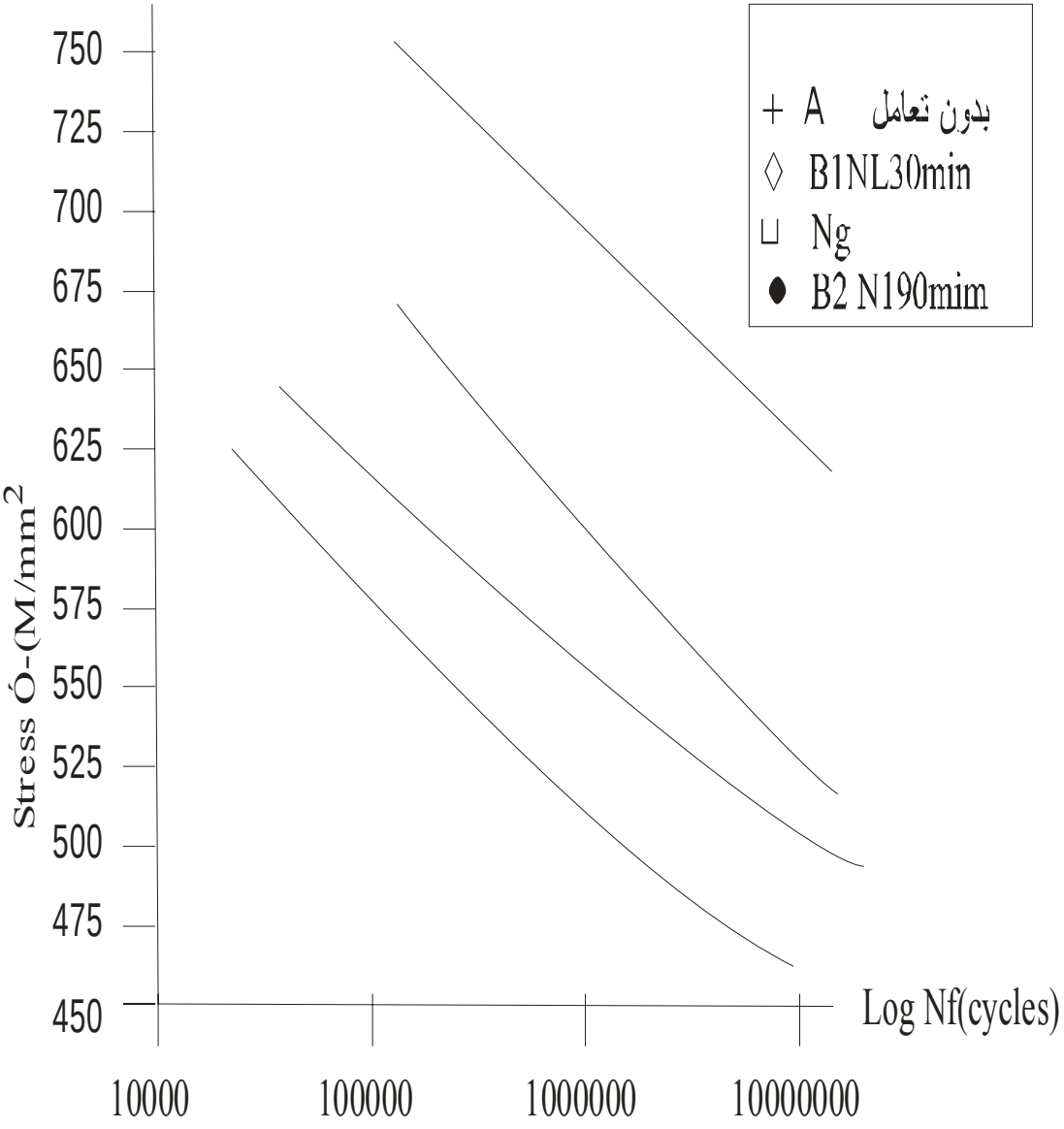


نتردة غازية (الحمل عالي)

شكل (5) يوضح مقاطع سطح الكسر ونشوء الشق.



شكل(6) الاختبارات متغيرة السعة (a) سلمي تصاعدي (b) سلمي تنازلي



شكل رقم(7) منحنى (S-N) لكافة المجاميع