

## تأثير متغيرات المعالجة بالنتردة في قيم حد التعب للفلوآذ السبائكي (34CrNiMo6) الخاضع لتأثير إجهادات دورية عالية القيم<sup>1</sup>

المهندس جمال محمد حمد<sup>2</sup> الأستاذ الدكتور محمد علي سلامة<sup>3</sup>

الأستاذ الدكتور حسين جاسم العلكاوي<sup>4</sup>

### الملخص

هدف هذا البحث إلى رفع قيم حد التعب (fatigue limit) للفلوآذ السبائكي من النوع (34CrNiMo6) باستخدام طريقة النتردة السائلة (Salt bath nitriding)، وذلك لما لهذه الخاصية من أهمية في إطالة أعمار الخلائط الفولاذية، ولاسيما تلك الخلائط العاملة تحت تأثير الاهتزازات المستمرة. أجريت الاختبارات جميعها على التعب قبل عملية النتردة وبعدها ضمن ظروف الاتحناء الدوراني، حيث تم تسليط إجهادات ثابتة ومتغيرة السعة. وأجريت عملية النتردة في درجة حرارة (550°C) وبأزمان مختلفة وهي على التوالي (1,2,3) ساعة حيث كان عمق الطبقة المصددة (0.24,0.37,0.5). ملم على التوالي.

<sup>1</sup> أعد البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندس جمال محمد حمد بإشراف الأستاذ الدكتور محمد علي سلامة ومشاركة الأستاذ الدكتور حسين جاسم العلكاوي.

<sup>2</sup> مركز بحوث الطاقة والوقود - قسم الهندسة الكهروميكانيكية - الجامعة التكنولوجية - بغداد - العراق.

<sup>3</sup> أستاذ - قسم هندسة التصميم الميكانيكي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

<sup>4</sup> أستاذ - قسم الهندسة الكهروميكانيكية - الجامعة التكنولوجية - بغداد - العراق.

بعد ذلك أُجريت عملية النتردة على عينات أخرى ضمن المدد الزمنية أنفة الذكر نفسها ولكن بدرجة حرارة (600°C)، وكان عمق الطبقة هذه المرة هو (0.28,0.41,0.55) ملم، وتكونت على السطح الخارجي أطوار لنتريد الحديد مع طبقة من نتريدات الكروم الصلدة، وتساعد هذه الطبقات النتريدية على إيقاف نمو الشقوق وانتشارها، فضلاً عن توليد إجهادات ضغطية متبقية على السطح تسهم في تأخير تقدم شقوق التعب. بينت الدراسة أن عملية النتردة تؤدي إلى زيادة حد التعب، إذ تتناسب هذه الزيادة تناسباً طردياً مع زمن عملية النتردة بسبب زيادة عمق الطبقة المصلدة، حيث تتكون الحواجز التي تمنع تقدم الشقوق. أدى ارتفاع درجة حرارة النتردة إلى (600°C) إلى انخفاض قيم حد التعب للفلواز المختبر بسبب تكون أطوار هشة على الرغم من زيادة عمق الطبقة المصلدة.

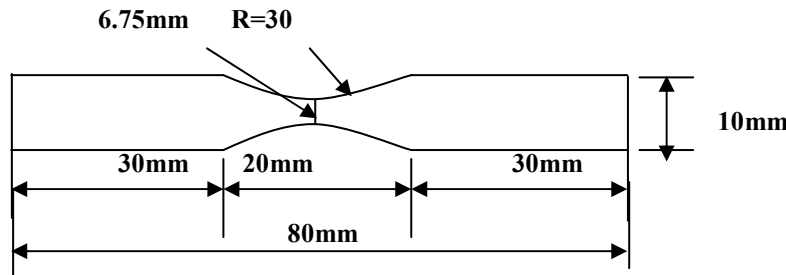
**1 . المقدمة:**

هناك العديد من الطرائق لتحسين الخواص الميكانيكية للخلائط المعدنية ومن هذه الطرائق عمليات التصليد السطحي (surface hardening) وتشمل الأخيرة كلاً من الكربنة carburizing والنتردة nitriding والكربونتردة carbo-nitriding والتصليد باللهب. ومن الخواص الميكانيكية المهمة التي يتم تحسينها بهذه الطرائق هي حد التعب (fatigue limit) للسطح المصلد، إذ يؤدي هذا الأخير دوراً مهماً في تحديد عمر التعب الذي يتعلق بدوره بكل من آلية تولد الشقوق التعبية ونموها. وتؤدي عمليات التصليد السطحي إلى إعاقة تولد الشقوق ونموها، مما يزيد في عمر القطعة المعدنية، ولاسيماً تلك التي تتعرض إلى اهتزازات وقوى إيروديناميكية بشكل مستمر، أي القطع التي تستخدم في صناعة الطائرات والأقمار الاصطناعية. وقد دُرِسَ في هذا البحث عينات من الفولاذ السبائكي (34CrNiMo6) ويستخدم هذا الأخير في صناعة أجزاء المحركات للطائرات مثل أعمدة الدوران (crank shafts) والتروس gears التي تتحمل إجهادات عالية القيم في أثناء عملها، مما يتطلب زيادة الصلادة السطحية لها مع الاحتفاظ بقلب متين لرفع كفاءة الأداء لها. وقد أجريت العديد من البحوث في هذا الموضوع، فقد تمت دراسة تصليد سطح الخليطة (42CrMo4)<sup>[1]</sup> باستخدام فحوصات التعب من نوع الانحناء الدوراني وبينت هذه الدراسة زيادة حد التعب بعد عملية النتردة. وقد أوضحت دراسة أخرى تأثير عمق الطبقة المنتردة للفولاذ (AISI4140) في حد التعب، إذ ازدادت قيم هذا الحد مع زيادة عمق تلك الطبقة<sup>[3]</sup>. أما الفولاذ (En413) فقد أشارت الدراسة التي أجريت عليه إلى زيادة عمق الطبقة المنتردة وصلادتها بشكل خطي مع ازدياد زمن النتردة<sup>[2]</sup>.

## 2. الجانب العملي:

### 1-2 العينات:

إن الخليطة المستخدمة في هذه الدراسة هي فولاذ سبائكي متوسط الكربون medium carbon steel alloy، وكانت الخليطة على شكل قضبان بأطوال وأقطار مختلفة، وقد شُغلت على مخرطة مبرمجة (CNC) بهدف الحصول على دقة عالية، وبعد ذلك تم تنعيم سطوح العينات للتخلص من مناطق تركيز الإجهادات ويبين (الشكل- 1) الأبعاد القياسية للعيينة المستخدمة في فحوصات الانحناء الدوراني.



(شكل - 1) أبعاد العينة المستخدمة

وكان التركيب الكيميائي للعينة كما هو مبين في الجدول (1)

(جدول - 1) التركيب الكيميائي للخليطة

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0.34	0.35	0.56	0.033	0.037	1.65	0.25	1.5

أما الخواص الميكانيكية لهذه الخليطة فيبينها الجدول (2)

(جدول - 2) الخواص الميكانيكية للخليطة موضوع البحث

Hardness HB	C%	R <sub>e</sub> N/mm <sup>2</sup>	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>
353	11.6	790	1180

وقد أُجْرِي كل من التحليل الكيميائي والفحوصات الميكانيكية في المعهد المتخصص للصناعات الهندسية في بغداد - العراق.

## 2-2 الأجهزة المستخدمة:

### 1-2-2 جهاز اختبار التعب:

استُخدِمَ جهاز اختبار التعب من نوع (Avery 7305) الذي يسلط إجهادات من نوع الانحناء الدوراني (Rotary bending) وهي عبارة عن إجهادات شد وضغط وغالباً ما تكون قريبة من الواقع العملي.

### 2-2-2 أجهزة قياس الصلادة:

- الصلادة الماكروية macro hardness

استخدم جهاز قياس Hardness Brinell لقياس الصلادة على السطح ، حيث تم أخذ خمس قراءات واستنتج المعدل الوسطي لهذه القراءات الخمس.

الصلادة الميكروية micro hardness

لقياس الصلادة المجهرية على أعماق متتالية من سطح العينة استخدم جهاز القياس من نوع prufmas chinen 3030 rating.

وأجريت على العينات جميعها عمليات التنعيم grinding والصلقل polishing قبل عملية الفحص للحصول على نتائج دقيقة.

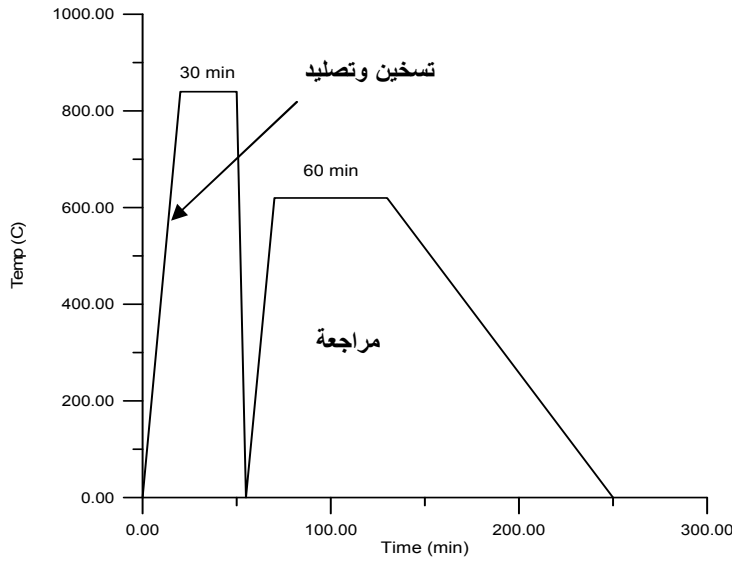
## 3. عمليات النتردة: Nitriding processes

### 1-3 المعالجات الحرارية:

أُجْرِيَتِ المعالجة الحرارية على العينات موضوع البحث بهدف الحصول على قلب متين وسطح قاس، حيث تضمنت هذه المعالجة الحرارية ما يأتي:

- تسخين العينات إلى درجة حرارة  $840\text{ C}^{\circ}$  وثبيتها عند هذه الدرجة مدة 30 دقيقة.
- التبريد بالزيت

المراجعة عند درجة حرارة  $620\text{ C}^{\circ}$  مدة 60 دقيقة ثم التبريد بالهواء (شكل - 2).



(شكل - 2) المعالجة الحرارية للعينات قبل عملية النتردة

### 2-3 النتردة:

أُجريت عملية النتردة السائلة في حمامات ملحية منصهرة باستخدام خليط من سيانيد الصوديوم NaCN وسيانيد البوتاسيوم KCN، إذ تتوفر مستلزمات هذه الخليطة ولا حاجة لاستخدام نظم معقدة لتحضيرها. وتم وضع العينات في أفران بدرجة حرارة (120°C) بغرض التخلص من الأوساخ والدهون، ثم وضعت العينات بعد التنظيف في أوعية خاصة ووضعت داخل الأفران المخصصة للنتردة، وذلك بعد أن رُفعت درجة حرارة الفرن إلى 550° ومدة 1 ساعة. أعيدت عملية المعالجة أنفة الذكر على عينات أخرى من الفولاذ نفسه ولكن مدة 2 ساعة ثم مدة 3 ساعات. أخرجت العينات من الفرن وبردت بالهواء. بعد ذلك أُجريت المعالجة الحرارية بالنتردة على عينات أخرى وبالمدد الزمنية السابقة نفسها ولكن عند درجة حرارة (600°C).

#### 4. الاختبارات والنتائج:

##### 1-4 فحص الصلادة:

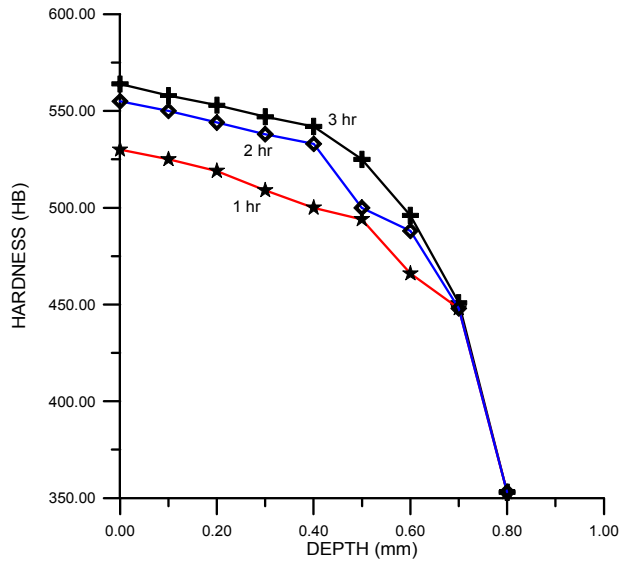
أُجْرِيَ فحص الصلادة للعينات المنتردة بعد التتعيم والصلقل، وكانت النتائج كما هي مبينة في الجدول (3).

(جدول - 3) نتائج فحص الصلادة (HB)

زمن التتردة (ساعة) عند 550°C			عمق الطبقة المصلدة (mm)
3	2	1	
564	555	530	0.00
558	550	525	0.1
553	544	519	0.2
547	538	509	0.3
542	533	500	0.4
525	500	494	0.5
496	488	466	0.6
451	448	448	0.7
353	353	353	0.8

فيما يوضح (شكل-3) العلاقة بين عمق الطبقة المصلدة وقيمة الصلادة عند درجة حرارة التتردة المساوية 550°C .

تأثير متغيرات المعالجة بالتردد في قيم حد التعب للفولاذ السبائكي (34CrNiMo6) الخاضع لتأثير إجهادات دورية عالية القيم



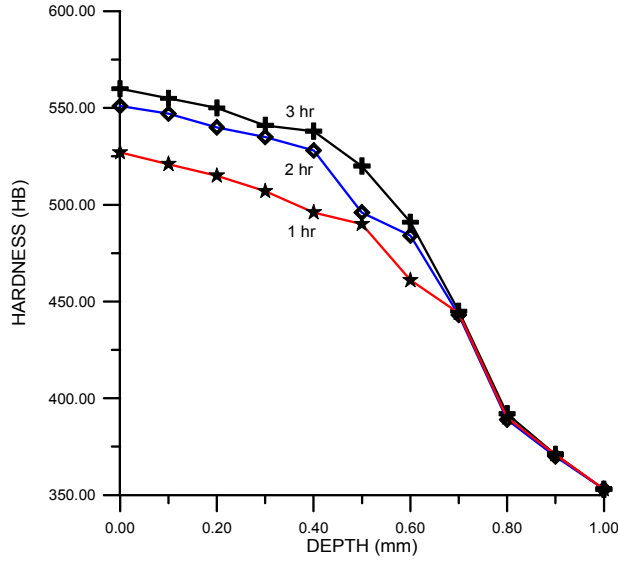
(شكل - 3) تغير قيم القساوة على عمق الطبقة المقساة في العينات المنترد سطحها عند درجة حرارة 550°C

ويبين الجدول (4) نتائج فحص الصلادة (HB) للعينات الفولاذية المنتردة بدرجة حرارة 600°C

(جدول - 4) نتائج فحص الصلادة (HB)

زمن التردد (ساعة) عند 600°C			عمق الطبقة المصلدة (mm)
3	2	1	
560	551	527	0.0
555	547	521	0.1
550	540	515	0.2
541	535	507	0.3
538	528	496	0.4
520	496	490	0.5
491	484	461	0.6
445	443	444	0.7
392	389	390	0.8
371	370	371	0.9
353	353	353	1.0





(شكل - 4) تغير قيم القساوة على عمق الطبقة المقاسة في العينات المنترد سطحها عند درجة حرارة 600°C

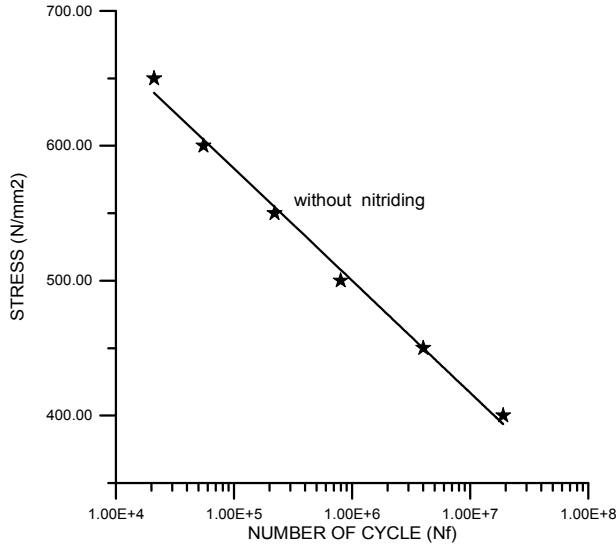
4-2 فحص التعب:

4-2-1 ثابت السعة:

أُجْرِيَ اختبار التعب وبناء منحنى الإجهاد - عدد الدورات (S - N) curve لعينات دون نتردة، وكانت النتائج كما هو مبين في الجدول (5).

(جدول - 5) قيم الإجهاد - عدد الدورات للعينات الفولاذية دون إخضاعها لعملية النتردة

$\sigma$	$N_f$
650	$2.1 \times 10^4$
600	$5.5 \times 10^4$
550	$2.2 \times 10^5$
500	$8 \times 10^5$
450	$4 \times 10^6$
400	$1.9 \times 10^7$



(شكل- 5) العلاقة بين الإجهاد وعدد التحميل للعينات الفولاذية قبل إخضاعها لعملية التردد

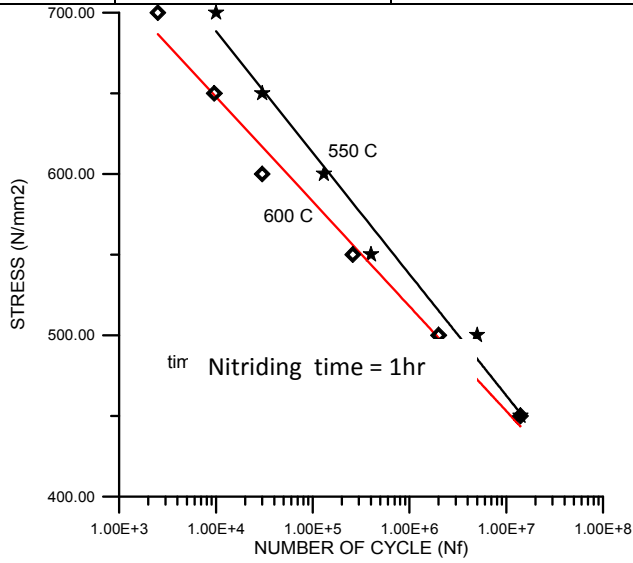
وباستخدام نتائج اختبار التعب أنفة الذكر على العينات الفولاذية التي لم تخضع لعمليات تردد سطحية تم الحصول على العلاقة التجريبية التي تبين علاقة قيم الإجهاد بعدد دورات التحميل للعيينة المختبرة حتى لحظة انكسار الأخيرة، وتبدو هذه العلاقة كما يأتي:

$$\sigma = 1302 N^{-0.07} \text{ ----- (1)}$$

ويمكن من خلال هذه العلاقة تحديد حد التعب لهذا النوع من الفولاذ موضوع البحث وكانت قيمته تساوي  $495 \text{ N/mm}^2$  أما اختبارات التعب للعينات المنتردة فكانت كما يأتي:

(جدول- 6) الإجهاد المسلط وعدد الدورات عند زمن نتردة 1 ساعة

$\sigma$	$N_f (550 C^\circ)$	$N_f (600 C^\circ)$
700	$1 \times 10^4$	$2.5 \times 10^3$
650	$3 \times 10^4$	$9.6 \times 10^3$
600	$1.3 \times 10^5$	$3 \times 10^4$
550	$4 \times 10^5$	$2.6 \times 10^5$
500	$2.5 \times 10^6$	$2 \times 10^6$
450	$1.4 \times 10^7$	$1.4 \times 10^7$



(شكل- 6) العلاقة بين الإجهاد وعدد دورات التحميل للعينات المنتردة خلال زمن قدره ساعة واحدة

- العلاقة الرياضية المستنتجة لتخمين أعمار العينات المنتردة عند درجة حرارة  $550C^\circ$  هي

$$\sigma = 1220 N^{-0.0604} \quad (2)$$

وكان حد التعب يساوي  $530 N/mm^2$

- أمّا المنتردة عند درجة حرارة  $600 C^\circ$  فكانت العلاقة هي

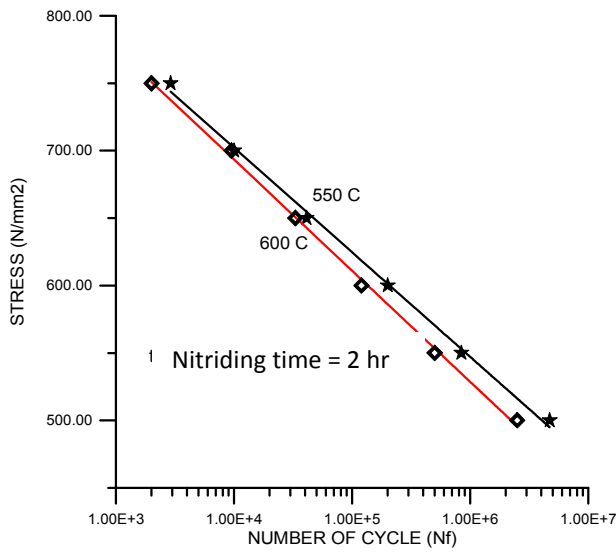
تأثير متغيرات المعالجة بالتردد في قيم حد التعب للفولاذ السبائكي (34CrNiMo6) الخاضع لتأثير إجهادات دورية عالية القيم

$$\sigma = 1030 N^{-0.0503} \text{ ----- (3)}$$

وكان حد التعب يساوي  $514 \text{ N/mm}^2$

(جدول-7) الإجهاد المسلط وعدد دورات التحميل للعينات المنتردة خلال زمن قدره 2 ساعة

$\sigma$	$N_f (550 \text{ C}^\circ)$	$N_f (600 \text{ C}^\circ)$
750	$2.9 \times 10^3$	$2 \times 10^3$
700	$1 \times 10^4$	$9.5 \times 10^3$
650	$4.1 \times 10^4$	$3.3 \times 10^4$
600	$2 \times 10^5$	$1.2 \times 10^5$
550	$8.4 \times 10^5$	$5. \times 10^5$
500	$4.7 \times 10^6$	$2.5 \times 10^6$



(شكل-7) العلاقة بين الإجهاد وعدد دورات التحميل للعينات المنتردة خلال زمن قدره 2 ساعة

العلاقة الرياضية للعينات المنتردة عند درجة حرارة  $550 \text{ C}^\circ$  هي

$$\sigma = 1165 N^{-0.055} \text{ ----- (4)}$$

أما حد التعب فيساوي  $545 \text{ N/mm}^2$

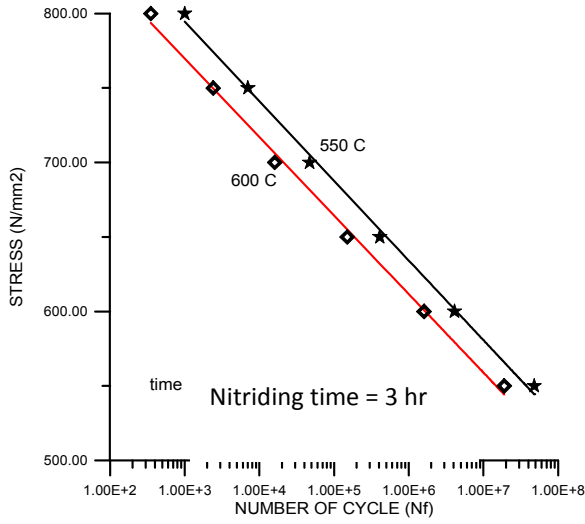
أما المنتردة عند درجة حرارة  $600^{\circ}\text{C}$  فهي

$$\sigma = 1220 \text{ N} - 0.0606 \text{ } \text{-----} (5)$$

وحد التعب قيمته  $528 \text{ N/mm}^2$

(جدول- 8) الإجهاد المسلط وعدد دورات التحميل للعينات المنتردة خلال زمن قدره 3 ساعة

$\sigma$	$N_f (550 \text{ C}^{\circ})$	$N_f (600 \text{ C}^{\circ})$
800	$1. \times 10^3$	$3.5 \times 10^2$
750	$7 \times 10^3$	$2.4 \times 10^3$
700	$4.7 \times 10^4$	$1.6 \times 10^4$
650	$4.1 \times 10^5$	$1.5 \times 10^5$
600	$4.1 \times 10^6$	$1.6 \times 10^6$
550	$4.8 \times 10^7$	$1.9 \times 10^7$



(شكل- 8) العلاقة بين الإجهاد وعدد دورات التحميل للعينات المنتردة خلال زمن قدره 3 ساعة

كانت العلاقة الرياضية للعينات المنتردة عند درجة حرارة  $550^{\circ}\text{C}$  كما يأتي:

$$\sigma = 1022 \text{ N} - 0.035 \text{ } \text{-----} (6)$$

تأثير متغيرات المعالجة بالنتردة في قيم حد التعب للفولاذ السبائكي (34CrNiMo6) الخاضع لتأثير إجهادات دورية عالية القيم

وحد التعب هو  $630 \text{ N/mm}^2$

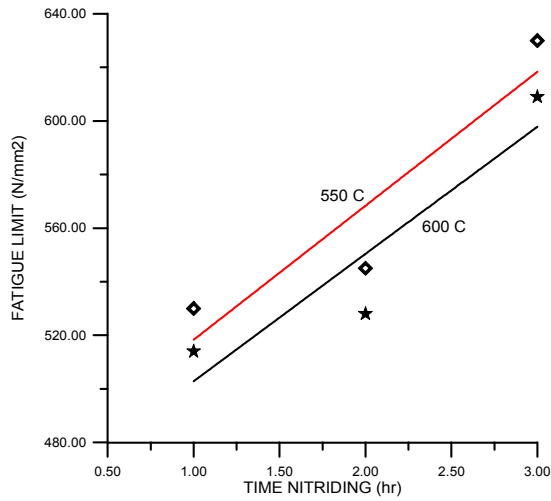
أمَّا المنتردة عند درجة حرارة  $600^\circ \text{ C}$  فكانت العلاقة هي

$$\sigma = 980 \text{ N}^{-0.0344} \quad \text{----- (7)}$$

وحد التعب هو  $609 \text{ N/mm}^2$

(جدول-9) العلاقة بين حد التعب وزمن النتردة

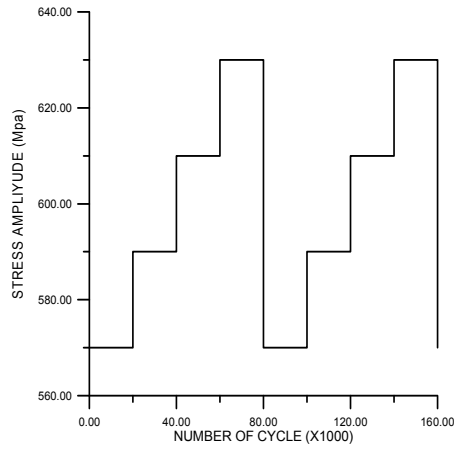
حد التعب (نيوتن/ملم <sup>2</sup> )		زمن النتردة (ساعة)
$600\text{C}^0$	$550\text{C}^0$	
514	530	1
528	545	2
609	630	3



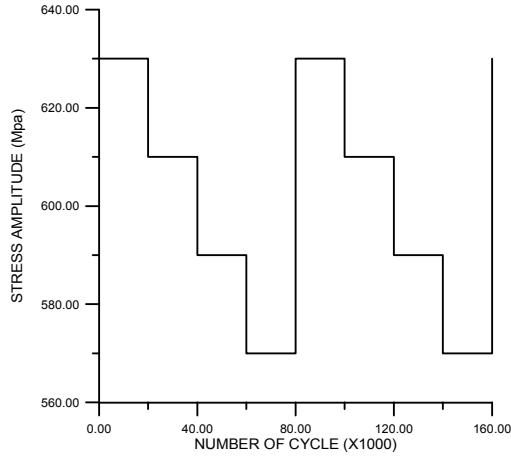
(شكل-9) العلاقة بين حد التعب وزمن النتردة

2-2-4 دراسة تأثير تغير سعة الإجهاد التعبى في عمر العينات متباينة زمن النتردة:  
(جدول- 10 ) نتائج فحص الضرر المتراكم في العينات التي تمت نتردتها بأزمان نتردة مختلفة

N <sub>s</sub>	N <sub>f</sub>	الإجهاد المسلط (N/mm <sup>2</sup> )	برنامج التحميل
دون نتردة			
20000	165000	570-630	L - H
20000	265000	630-570	H - L
نتردة بزمن 1 ساعة			
20000	795300	570-630	L - H
20000	1114542	630-570	H - L
نتردة بزمن 2 ساعة			
20000	995830	570-630	L - H
20000	1439900	630-570	H - L
نتردة بزمن 3 ساعة			
20000	1441430	570-630	L - H
20000	1886500	630-570	H - L



(شكل - 10a) برنامج التحميل (منخفض-عال) عند مستوى إجهاد (570-630)Mpa وعدد دورات  
N<sub>s</sub>= 20000



(شكل- 10b) برنامج التحميل (عالٍ-منخفض) عند مستوى إجهاد (630-570)Mpa وعدد دورات  $N_s = 20000$

يوضح الشكلان (10a,10b) برنامج التحميل (منخفض- عالٍ-منخفض) إذ تبين أن عملية التردد أدت إلى زيادة أعمار العينات إلى أربعة، وخمسة، وسبعة أضعاف على التوالي عند أزمان نتردة (1,2,3) ساعة عند التحميل (منخفض- عالٍ). أما عند التحميل (عالٍ- منخفض)، فإن زيادة الأعمار كانت ثلاثة، وأربعة، وستة أضعاف على التوالي عند أزمان نتردة (1,2,3) ساعة ويعود السبب في ذلك إلى أن الشقوق تنمو وتظهر بشكل أسرع عند التحميل (عالٍ- منخفض).

#### 5. المناقشة:

1- من خلال النتائج التي حصلنا عليها تبين أن عمق الطبقة المنتردة يتناسب طردياً مع المدة الزمنية لعملية التردد مع ثبوت درجة الحرارة، وقد كان العمق (mm) (0.24, 0.37, 0.5) على التوالي وحسب الفترات الزمنية لعملية التردد (1, 2, 3) ساعة وعند درجة حرارة  $550^0 C$  علماً أن سرعة انتشار ذرات النيتروجين تتناقص لوغاريتمياً مع ازدياد العمق مما يجعل تجاوز عمق (1) ملم عملية طويلة وغير مجدية.



2- عند إجراء عملية التبردة بدرجة حرارة  $600^{\circ}\text{C}$  بالمدد الزمنية السابقة نفسها تبين ازدياد عمق الطبقة المصلدة حيث أصبحت على التوالي (0.28, 0.41, 0.5) mm ولكن قيمة الصلادة انخفضت بسبب زيادة الطور الهش من نوع (Epsilon) ( $\epsilon$ ) وهذا واضح من خلال مخطط التوازن القياسي (حديد - نيتروجين) وهذا جاء متطابقاً مع الباحثين (Yousra , Terent , Limo) [1,3,4]. إن عملية المعالجة الحرارية التي سبقت عملية التبردة أنتجت سطحاً صلباً وقلباً متيناً يتكون من (البيرلايت + الفيرايت) وهذا الطور بقي كما هو بعد عملية التبردة وكما موضح في مخطط (حديد - كربون) وما أكده الباحث [1] فضلاً عن أن العناصر السبائكية الموجودة في الفولاذ تميل إلى تكوين تبريدات صلدة بدل الأطوار الهشة، لكن ذلك لا يمنع من تكون الأطوار الهشة وخاصة عند وجود عناصر سبائكية في الفولاذ مثل الكبريت والفسفور وبكميات أكبر.

3- إن عمليات التبردة التي تجرى على الفولاذ تكون في مدى درجات حرارية تتراوح  $^{\circ}\text{C}$  (480 - 650)، وهذا يعتمد على نوع عملية التبردة (صلبة، سائلة، غازية) [1, 10, 11]. وتشير معظم الدراسات إلى أن أفضل درجة حرارة تبردة بالطريقة السائلة والمستخدمة في هذا البحث هي  $^{\circ}\text{C}$  (550 - 570) [1,2,3,4,5].

4- زيادة قيم الصلادة عند السطح بسبب تكون طبقة من نيتريدات الكروم الصلدة وقد بلغت نسبة الزيادة نحو 60% مقارنة بما هو عليه قبل عملية التبردة وقد ازدادت قيم الصلادة هذه مع زيادة المدة الزمنية لعملية التبردة، ولكنها انخفضت مع زيادة درجة الحرارة.

5- أدت عملية التبردة إلى زيادة حد التعب للفولاذ السبائكي وبتناسب هذه الزيادة مع زيادة زمن التبردة حيث يزداد عمق الطبقة المصلدة بسبب تكون حواجز تعيق تقدم الشقوق على السطح.

6- عند التحميل بإجهادات دورية متغيرة السعة من نوع (منخفض - عالٍ)، (عالٍ - منخفض) تبين ارتفاع أعمار التعب من نوع (عالٍ - منخفض) مقارنةً بالتحميل من

تأثير متغيرات المعالجة بالتردد في قيم حد التعب للفولاذ السبائكي (34CrNiMo6) الخاضع لتأثير إجهادات دورية عالية القيم

نوع (منخفض - عالٍ) بسبب اتساع المنطقة اللدنة عند قمة الشق مما يعيق نمو الشقوق عند الانتقال إلى إجهاد منخفض.

7 - عند التحميل بإجهادات متغيرة السعة للعينات المنتردة تبين ارتفاع أعمار التعب عند التحميل من نوع (عالي - منخفض) للمدد الزمنية المختلفة للتردد مقارنة بالتحميل من نوع (منخفض - عالٍ) بسبب وجود المناطق الصلدة وتتناسب هذه الأعمار تناسباً طردياً مع المدة الزمنية للتردد.

#### 6- الاستنتاجات:

1. أدت عملية التردد إلى زيادة حد التعب.
2. تتناسب الزيادة في حد التعب للفولاذ المنترد طردياً مع زيادة المدة الزمنية لعملية التردد، ويزداد عمق الطبقة المنتردة بزيادة الفترة الزمنية لعملية التردد أيضاً.
3. لا يمكن الاعتماد على زيادة درجة الحرارة إلى أكثر من (600°C) لتحسين حد التعب بل يعتمد على زيادة الفترة الزمنية لتحقيق هذه الغاية.
4. كانت أعمار التعب عند التحميل (عالٍ - منخفض)، أكبر من التحميل (منخفض - عالٍ)، وهذا ما يسمح باستخدام هذا النوع من الفولاذ في الأغراض التي تتطلب ظروف استخدامها تحملها إجهادات ديناميكية عالية القيم.

### المراجع

1. Yousra. T .A "Study the effect of nitriding process on the fatigue strength for alloy steel (42CrMo<sub>4</sub>)" Msc thesis, university of technology. Iraq. Baghdad. 2003.
2. J .W.Martin and Jones "Residual stress distribution in nitride En413 steel as function of case depth" university of oxford, metal technology.
3. V .F.Terent "The effect of nitriding on fatigue strength of structural alloys" Russian academy of science, 2007.
4. N .Limo din, Y .Verreman "Axial fatigue of gas nitride quenched and tempered AISI 4140 steel: effect of nitriding depth" fatigue and fracture of engineering materials, vole 26, 2003.
5. M. Fastow, W. Bamberger, "Laser nitriding of AISI 4340 "Dep. of materials Eng Technion institute of technology in U.S.A 1987.
6. Akira Yoshida, Komei "Effect of standard pressure angle on the fatigue strength of nitride gears" international journal, vole 31, 1988.
7. Jack D. H, "Effect of process variables on the fatigue resistance of nitride steel" Heat treatment proceeding of an international conference, 1989.
8. J .G .Byrne, "Improvement of fatigue life of 1080 steel by thermo mechanical processing" university of Utah, UT84112.
9. J .A.collins, "Failure of materials in mechanical design, analysis prediction, prevention" John Wiley and sons, 1981.
10. أ. د. عبد الرزاق اسماعيل خضر "فيزياء المعادن" الجامعة التكنولوجية. بغداد. 1983 .
11. ماليشيف. نيكولايف. شوفالوف "تكنولوجيا المعادن" دار مير للطباعة والنشر. الاتحاد السوفيتي. 1973 .

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق: 2009/1/14.