

سلوك ضرر الكلال التراكمي لسبيكة الالمنيوم ٢٠٢٤ تحت تأثير زمن التصليد بالقذف بالكريات المعدنية

أ. د. حسين جاسم العلكاوي* د. كفاح حميد هاشم** هدى أكرم الصالحي*
تاريخ التسلم: ٢٠٠٥/٤/٢٤
تاريخ القبول: ٢٠٠٥/٩/٥

الخلاصة

تم بحث سلوك ضرر الكلال التراكمي لسبيكة الالمنيوم 2024 تحت تأثير تغير زمن التصليد بالقذف بالكريات المعدنية. وتمت دراسة أجهاد الضرر التراكمي من واطيء-عالي ومن عالي- واطيء باستخدام فحوصات الانحناء الدوارز تم تسليط زمن التصليد على العينات من 2-20 دقيقة.

الاستنتاجات التي تم الحصول عليها من البحث الحالي هي:

- ١-زيادة زمن التصليد لحد (6-8) دقيقة تؤدي الى زيادة عدد دورات الفشل بعد ذلك يتناقص عدد دورات الفشل.
- ٢-زمن التصليد يتناسب مع خشونة السطح.

Fatigue Damage Accumulation Behavior of 2024 Al-Alloy Under The Effect of Shot Peening Time

Abstract

Fatigue damage accumulation behavior of 2024 Al-alloy has been investigated under the effect of varying the time of shot peening. Damage accumulation from low-high and from high- low stresses has been studied using rotating bending tests. The time of shoot peening is in the range 2-20 min. The conclusions derived from this study are:

1. The number of cycles to failure increases as the shot peening time increases up to about (6-8) min. after that the number of cycles decreases.
2. Surface roughness (Ra) is approximately proportional to the time duration of shot peening.

ان ظاهرة عملية التصليد السطحي بواسطة القذف بكريات معدنية هي نوع من أنواع التشكيل على البارد (Cold Working) حيث يضرب جزء من السطح بكريات معدنية من الفولاذ او اي مادة اخرى بسرعة عالية وكل كرة صغيرة تولد منطقة تشويه مولدة اجهادات ضغطية متبقية (Residual compression stress) مع خشونة في السطح وهذا يجعل صلادة السطح اعلى وبالتالي فان اجهاد الخضوع (yield stress) سيزداد في اغلب المعادن الحديدية وغير الحديدية الصلدة (hard

المقدمة:

ان عملية التصليد بواسطة القذف بالكريات المعدنية اخذت انتشارا واسعا في تحسين المواصفات الميكانيكية السطحية والديناميكية للمعادن حيث تؤدي الى تصليد الطبقة الخارجية بعمق لا يتجاوز $5 \mu m$ وهذا يؤدي الى عرقلة نشوء الشقوق ونموها، ومن المعروف ان الشقوق تظهر على السطح لان السطح يمتاز بتركيز اجهادات عالية مقارنة مع الداخل ولذلك فان معظم الشقوق تظهر على السطح وتنمو وتتقدم الى حدوث الفشل [1] [2].

* قسم التعليم التكنولوجي / الجامعة التكنولوجية/ بغداد - العراق
** معهد النفط / بغداد

8090,7010 وتوصلت الدراسة الى ان العينات المقذوفة بالكريات المعدنية اي المصلدة ذات خشونة عالية مقارنة مع العينات غير المصلدة وهذا ما ولد تمركز للأجهادات مما أدى الى قصر أعمار العينات [7] .

ميكانيكية التصليد بالقذف بالكريات المعدنية
ان خشونة السطح عامل مهم في تقييم حد الكلال للأجزاء المعرضة الى الأحمال الدورية.

وان خشونة السطح الناتجة من عملية التصليد بالقذف تكون خشونة عشوائية كما في الشكل (1) . اذا كانت التغطية السطحية لعملية التصليد قريبة من 100% فان المناطق المتبقية الغير المصلدة تكون قليلة جدا , اما اذا كانت أقل من 100% فان المناطق المتبقية تكون ذات قيمة , ففي الحالة الأولى تكون طوبو غرافية السطح ذات شكل متجانس اما في الحالة الثانية فان الطوبو غرافية تكون أقل تجانسا وهذا ما يوضحه الشكل (2) , (3) ونتيجة لعملية القذف تتولد طبقة تشوهات لدنة على السطح والتي تخلق الاجهادات الضغطية المتبقية وان عمق هذه الطبقة يعتمد على أربعة عوامل هي [8] :

- 1- طبيعة الجسم المقذوف
- 2- سرعة الجسم المقذوف
- 3- حجم الجسم المقذوف
- 4- صلادة المادة التي تقذف

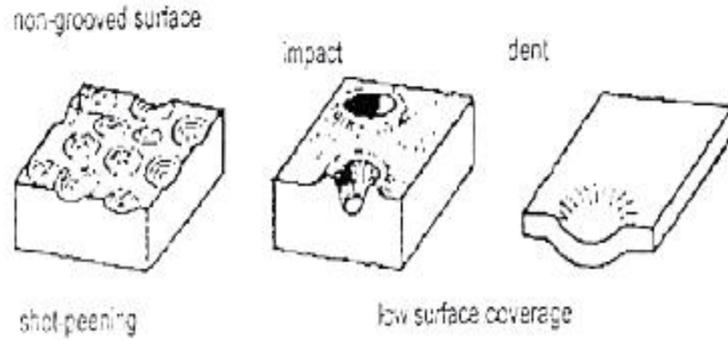
(metals) ذات اجهاد الخضوع اعلى من 250 MPa [3].

اما المعادن التي تكون لينة (soft metals) فان الضربات تؤدي الى نشوء خشونة عالية مولدة شقوق تنمو وتتقدم وتؤدي الى فشل المادة بسبب الاجهادات الواطئة المسلطة عليها وهذا ما ظهر في سبيكة الألمنيوم ذات الرمز 5052,1100 المذكورة في المصدر [4] ان هذه الدراسة تهدف الى توضيح مديات تأثير زمن التصليد السطحي بهذه الطريقة على تصرف الكلال لسبيكة الألمنيوم 2024

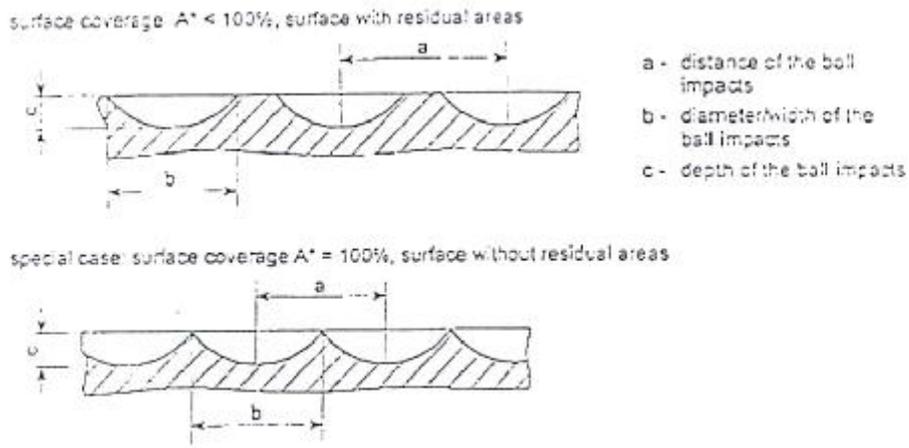
البحوث السابقة

جرت دراسة تصرف الكلال لسبيكة الألمنيوم 5052 تحت تأثير القصف بالكريات المعدنية وكانت النتائج ضعف في الخواص الكلالية لهذه السبيكة وفشلها أسرع مقارنة مع السبيكة بدون تأثير القذف [3]. دراسة اخرى جرت على الفولاذ عالي المقاومة بتسليط قصف بكريات فولاذية وتوصلت الى ان الاجهادات المتبقية الناتجة من التصليد السطحي بواسطة القذف كان العامل الاساسي والمهم في تحسين حد الكلال لهذا المعدن وبالتالي مقاومته للخدمة اكثر مما كان عليه قبل عملية القذف [5].

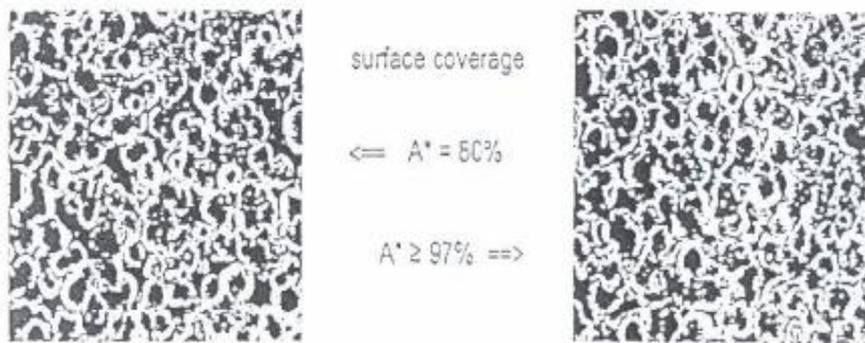
كذلك اجريت دراسة على سبيكة الألمنيوم 2024 تحت ظروف المختبر وتسليط احمال دورية من نوع الأنحاء الدوار حيث قورنت النتائج العملية للعينات المقذوفة اي المصلدة مع العينات غير المصلدة وكانت النتيجة ان العينات المصلدة ازدادت اعمارها حوالي 50% مقارنة مع العينات غير المصلدة [6]. دراسة اخرى اهتمت بنمو الشقوق وتقدمها على عينات من سبائك الألمنيوم ذات الرمز



شكل رقم (1) خواص السطح المقذوف [9]



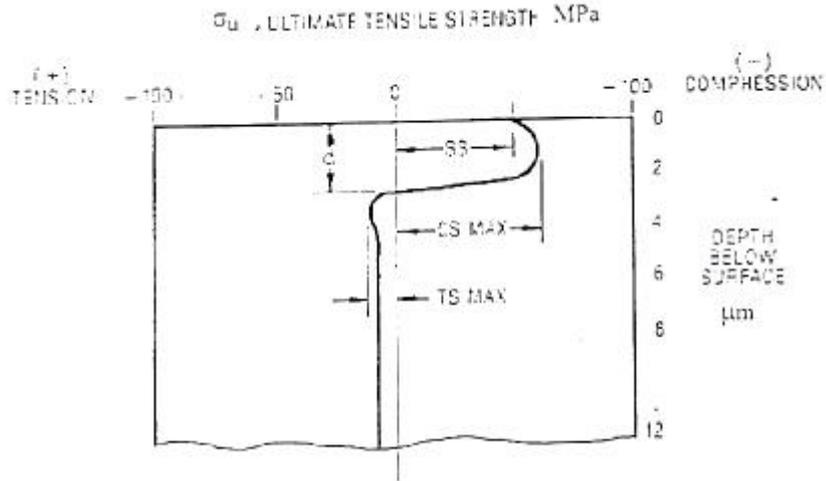
شكل رقم (٢) طوبوغرافية السطح المقذوف بالكريات المعدنية مع نسب مختلفة للتغطية
 [٩]



شكل رقم (3) طوبوغرافية السطح المصلد مع مساحة التغطية 80% وأكثر
 من 97% [9]

٤- أعظم اجهاد شدي ($T_{S_{max}}$) وهنا عادة تكون قيم $C_{S_{max}}$ متوازنة مع $T_{S_{max}}$ أما اذا زادت $T_{S_{max}}$ فان الفشل يحدث في داخل المادة وليس على السطح وهنا يجب ان نوضح انه كلما ازدادت $T_{S_{max}}$ وهذا ما يحدث للمواد اللينة (soft material) سوف تكون عملية التصليد مضررة وتعمل على تدني خواصها الميكانيكية السناتيكية والداينميكية اما اذا كانت أقل من $C_{S_{max}}$ وهذا ما يحدث في المواد الصلدة (hard material) فان الخواص الميكانيكية تتحسن نسبيا [9,10]

نتيجة لعملية القذف تتولد اجهادات ضغطية وشدية . تمتاز عملية التصليد بظهور أربعة عوامل مبينة في الشكل (4) والتي هي :-
١- اجهاد السطح (ss) المقاس على السطح
٢- أعظم اجهاد ضغطي ($C_{S_{max}}$) تكون تحت السطح وسمك طبقتها حوالي $5\mu m$
٣- عمق الطبقة الضغطية (d) التي تتولد فيها الاجهادات الضغطية وبعدها تصبح شدية.



شكل رقم (4) مخطط الاجهادات المتبقية الناتجة من عملية التصليد بالقذف [1]

الجانب العلمي**المعدن المستخدم :**

المعدن المستخدم هو سبيكة المنبوم 2024 ويسمى ديو المونيا وله تطبيقات واسعة في هندسة الطائرات ويمتاز بالموصفات الميكانيكية الجيدة إضافة إلى خفة الوزن

ولكن له مقاومة واطئة للتآكل الكيميائي بسبب احتوائه على عنصر النحاس بنسبة عالية وله متانة كسر جيدة ويستعمل في درجات الحرارة العالية تصل حوالي 120°C [11].

المواصفات الكيميائية:

الجدول رقم (1) يمثل المواصفات الكيميائية العملية

جدول رقم (1) التركيب الكيميائي لسبيكة الألمنيوم 2024 (wt%)

AL	Ni	Fe	Si	Zn	Mn	Mg	Cu	العملي
المتبقي	0.1	0.28	0.12	0.43	0.43	0.244	4	

المواصفات الميكانيكية

الجدول رقم (2) يبين المواصفات الميكانيكية القياسية والعملية

جدول رقم (2) المواصفات الميكانيكية لسبيكة الألمنيوم 2024

معامل المرونة E(GPa)	الصلادة HB	مقاومة الكلل	اجهاد القص	الاستطالة %	اجهاد الخصوع	الأجهاد الأقصى	
69-71	100-120	138	283	19	324	469	القياسي
70	117	141	269	17	332	477	العملي

العينات ونوع التحميل

شكل رقم (5) يمثل العينة وأبعادها بالمليتر. ولغرض تقادي الفروقات بين عينة وأخرى من حيث الأبعاد والاجهادات المتبقية اثناء عملية التصنيع تم استخدام ماكينة خراطة مبرمجة CNC وكتابة برنامج خاص لغرض الحصول على عينات ذات دقة جيدة وعدم وجود اختلاف في الأبعاد وللحصول على خشونة سطح جيدة و متساوية تقريبا للعينات جميعها.

أما نوع التحميل فهو انحناء دوار حيث يمكن حساب الاجهاد المسلط على العينة من المعادلة التالية:

$$s = [(125.7 * 32P) / (p * d^3)]. (1)$$

حيث أن:

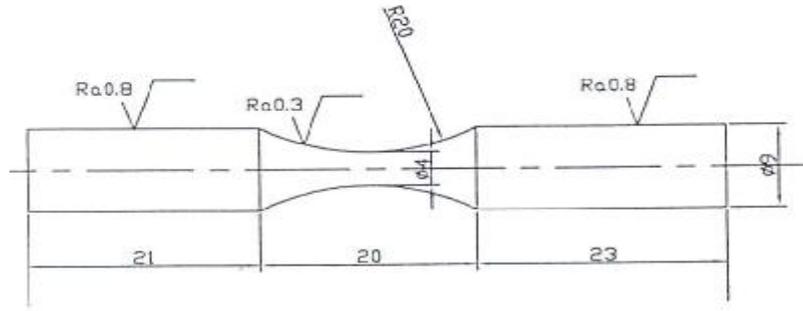
125,7 يمثل ذراع القوة (P) mm

P : الحمل المسلط N

d : أصغر قطر للعينة (4 mm)

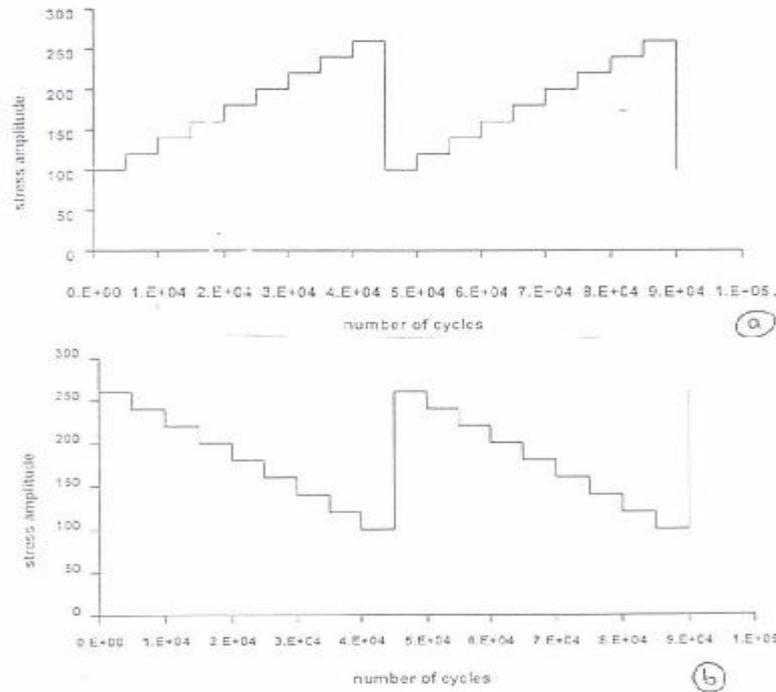
خطة العمل

تقسيم العينات إلى مجموعتين المجموعة الأولى اخذت تحميل تراكم ضرر باجهاد يتغير من واطئ -عالي وعالي واطئ بدون اي تصليد وان قيم الاجهاد الواطئ 100 MPa والعالي 260 MPa كما في الشكل رقم (6).



شكل رقم (٥) شكل وأبعاد العينة المستخدمة

تم



شكل رقم (6)

التحميل من نوع تراكم الضرر - عدد الدورات لكل مستوى إجهاد تمثل 5000 دورة .
a - واطئ - عالي
b - عالي - واطئ

كانت النتائج التي تم الحصول عليها بدون عمليات تصليد وتحت ظروف تراكم الضرر من واطئ - عالي والعكس كما مبينة في الجدول رقم (3)

اما المجموعة الثانية فاخذت نفس ظروف الفحوصات ما عدا وجود تصليد بالقذف بازمان مختلفة.

النتائج والمناقشة نتائج المجموعة الاولى

جدول رقم (3) نتائج الفحوصات لتراكم الضرر بدون تصليد

رقم العينة	نوع التحميل	عدد دورات الفشل
1	واطئ - عالي	302000

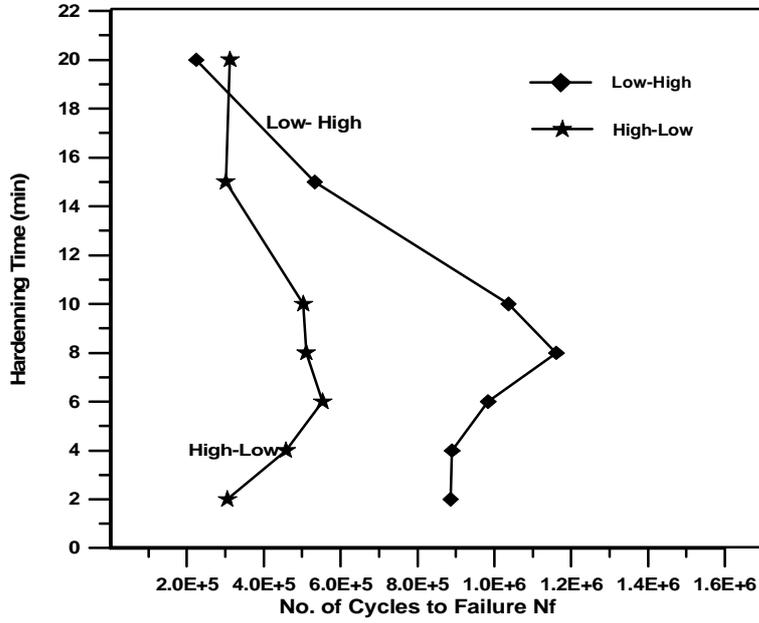
298000	واطيء - عالي	2
310700	واطيء - عالي	3
283000	واطيء - عالي	4
311000	واطيء - عالي	5
233500	عالي - واطيء	6
218000	عالي - واطيء	7
240000	عالي - واطيء	8
233000	عالي - واطيء	9
251000	عالي - واطيء	10

يساعد على نشوئه ويعمل على تقدمه وهذا ما يتفق مع البحوث السابقة [1,2,3].

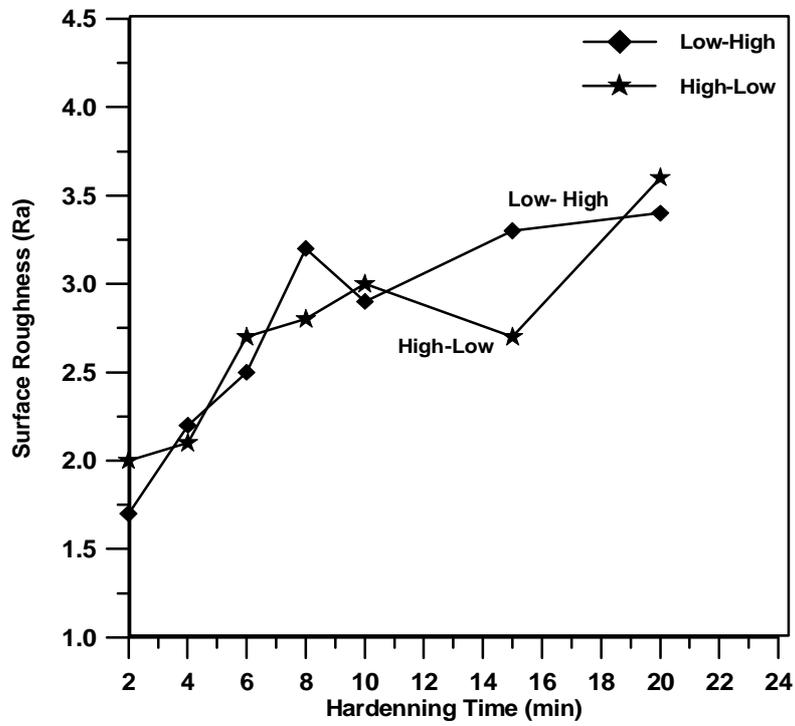
نتائج المجموعة الثانية

في هذه المجموعة تم تثبيت حالة الاجهادات وزيادة زمن التصليد بغية معرفة تأثيره على أعمار العينات والجدول رقم (4) يبين هذه النتائج.

يتضح من الجدول أعلاه ان أعمار العينات في برنامج الاجهادات من عالي الى واطيء اقل مقارنة مع برنامج الاجهادات من واطيء الى عالي وهذا يعود الى ان الاجهادات العالية تولد شقوق يسهل تقدمها تحت تأثير الاجهادات الواطئة مؤدية الى الفشل وعلى العكس من ذلك تحتاج الأجهادات الواطئة الى فترة كبيرة لخلق الشق وينتظر هذا الشق الى ان يزداد الاجهاد الذي بوسعه ان



شكل رقم (7) العلاقة بين أعمار العينات و زمن التصليد



شكل رقم (8) العلاقة بين زمن التصليد و خشونة السطح

جدول رقم (4) نتائج فحوصات تراكم الضرر مع عملية التصليد بأزمان مختلفة

رقم العينة	نوع التحميل	زمن التصليد دقيقة	عدد دورات الفشل	الخشونة Ra(μm)
11	واطئ - عالي	2	886300	1.7
12	واطئ - عالي	4	890400	2.2
13	واطئ - عالي	6	984400	2.5
14	واطئ - عالي	8	1161800	3.2
15	واطئ - عالي	10	1037300	2.9
16	واطئ - عالي	15	532500	3.3
17	واطئ - عالي	20	224500	3.4
18	عالي- واطئ	2	305200	2
19	عالي- واطئ	4	457600	2.1
20	عالي- واطئ	6	553100	2.7
21	عالي- واطئ	8	510300	2.8
22	عالي- واطئ	10	502800	3
23	عالي- واطئ	15	301300	2.7
24	عالي- واطئ	20	312100	3.6

دقيقة تقريبا لحالة التحميل نوع واطئ - عالي ونوع عالي - واطئ بالترتيب الحد الفاصل و بعدها يبدأ المعدن بتدني الخواص الميكانيكية والكلالية بنفس الوقت ويلاحظ ايضا في الشكل (8) تأثير زمن التصليد على الخشونة حيث تزداد الخشونة بزيادة زمن التصليد . وهذا يتفق مع المصدر [9].

الاستنتاجات

- 1- بزيادة زمن التصليد تزداد أعمار العينات وتحسن المواصفات الميكانيكية والكلالية لحد زمن تصليد معين تبدأ بعدها المواصفات بالتدني ونقل أعمار الكلال.
 - 2- تزداد خشونة السطح مع زيادة زمن التصليد.
- طريقة التصليد بالقذف بالكريات المعدنية تعتبر أفضل طريقة لتحسين المواصفات الميكانيكية لسبيكة الألمنيوم 2024 وزيادة عمر الأجزاء عند تعرضها لأحمال ديناميكية.

يتضح من الجدول أعلاه ان زيادة فترة التصليد تؤدي الى زيادة أعمار العينات ولكن عندما تصل الى حوالي 8 دقيقة فأكثر تبدأ الأعمار بالنقصان في حالة التحميل من واطئ الى عالي و نحصل تقريبا على نفس التأثير في حالة الاجهاد العالي - واطئ بعد فترة تصليد مقدارها

6 دقيقة تقريبا والسبب يعود الى ان عملية القذف بعد هذه الفترة تولد خشونة عالية وهذه الخشونة تكون مراكز اجهادات عالية لنشوء الشق وبالتالي تقدمه بحيث لو قمنا بالمقارنة بين العينات 11 و 12 مع العينات الاخيرة 16, 17 نلاحظ ان العمر يقل بشكل واضح ويصل الى حوالي الربع. ويلاحظ ايضا أن أعمار العينات مع التصليد من واطئ - عالي أكبر من عالي - واطئ وهذا ما تم مناقشته سابقا وهذا ما يتفق مع المصادر [4,5,6].

يوضح الشكل رقم (7) العلاقة بين أعمار العينات وزمن التصليد حيث تمثل فترة التصليد 6,8

- performance of 7010-651 Aluminum alloy plate" ICSP-6, San Francisco , USA (1996)
9. R. Clausen, J. Stangenberg" Roughness of shot-peened surface definition and measurement (ICSP-7) Warsaw, Poland (1999).
 10. Jack Champaigne" shot peening overview" Electronics Inc. 1428 W, M IN. 46544, USA (2000).
 11. Wail Rasheed Al- Naimy" Cumulative Multiaxial fatigue damage on A/C alloy 2024-T4 under complex loading" Msc Thesis Mech. Eng. Dept. U. of Technology (1997)
 12. Millere, K.J; Al-alkawi Mohamed, H.J; Brown, M.W.and De los Rios, E.R "Barriers to short fatigue crack propagation at low stress amplitudes in a banded ferrite-pearlite structure". TMS-AIMS. Santa Barbara USA (1986).
 13. De los Rios, E.R. Al-alkawi Mohamed, H.J. and Miller, K.J." A micromechanics analysis for short fatigue crack growth" Fatigue Fracture Mater. Structure, 8, 49-63(1985)
 14. Al-Kaisee, Rasha Husam" Effect of pre-stress on Aluminum-alloy structural fatigue life" PhD Thesis school of Technical Education, U. of Technology(2002).
 15. Mohamed Faysal Ameer" Shot peening effect in particular Aircraft Aluminum alloys" Msc. Thesis. Mech. Eng. Dept. U. of Technology 2002.
 16. Renzhi, W." Effect of residual stresses of shot peening on the fatigue behavior of high strength
- المصادر**
1. Millere, K.J; Al-alkawi Mohamed, H.J; Brown, M.W.and De los Rios, E.R "Barriers to short fatigue crack propagation at low stress amplitudes in a banded ferrite-pearlite structure". TMS-AIMS. Santa Barbara USA (1986).
 2. De los Rios, E.R. Al-alkawi Mohamed, H.J. and Miller, K.J." A micromechanics analysis for short fatigue crack growth" Fatigue Fracture Mater. Structure, 8, 49-63(1985)
 3. Al-Kaisee, Rasha Husam" Effect of pre-stress on Aluminum-alloy structural fatigue life" PhD Thesis school of Technical Education, U. of Technology(2002).
 4. Mohamed Faysal Ameer" Shot peening effect in particular Aircraft Aluminum alloys" Msc. Thesis. Mech. Eng. Dept. U. of Technology 2002.
 5. Renzhi, W." Effect of residual stresses of shot peening on the fatigue behavior of high strength steel" Fatigue of Eng. Mat. And structure vol. 2 (1980) pp174.
 ٦. العلكاوي، حسين جاسم" تأثير القذف بالكريات المعدنية على سلوك الكلال لبعض سبائك الالمنيوم المستخدمة في الطائرات" بحث مقدم الى المؤتمر العلمي التقني لهيئة المعاهد ٢٠٠٥.
 7. Mutoh, Y. et al" The effect of residual stresses induced by shot peening on fatigue crack propagation in two Aluminum alloys" Fatigue Eng. Mater. And Struct- vol.120 No. 4 (1987) pp218.
 8. Edwards Peter" A compression of the effect of peening using cut wire and cast steel of fatigue

- Aluminum alloy plate" ICSP-6, San Francisco , USA (1996)
20. R.Clausen,J. Stangenberg" Roughness of shot-peened surface definition and measurement (ICSP-7) Warsaw, Poland (1999).
21. Jack Champaigne" shot peening overview" Electronics Inc. 1428 W, M IN. 46544, USA (2000).
22. Wail Rasheed Al- Naimy" Cumulative Multiaxial fatigue damage on A/C alloy 2024-T4 under complex loading" Msc Thesis Mech. Eng. Dept. U. of Technology (1997).
- steel" Fatigue of Eng. Mat. And structure vol. 2 (1980) pp174.
١٧. العلكاوي، حسين جاسم" تأثير القذف بالكريات المعدنية على سلوك الكلال لبعض سبائك الالمنيوم المستخدمة في الطائرات" بحث مقدم الى المؤتمر العلمي التقني لهيئة المعاهد ٢٠٠٥ .
18. Mutoh, Y. et al" The effect of residual stresses induced by shot peening on fatigue crack propagation in two Aluminum alloys" Fatigue Eng. Mater. And Struct- vol.120 No. 4 (1987) pp218.
19. Edwards Peter" A compression of the effect of peening using cut wire and cast steel of fatigue performance of 7010-651