

دراسة سلوك التعب لخليطتي الألمنيوم 2219 و 1050A بعد قذفهما بالكرات المعدنية

المهندس جمال محمد حمد*

الأستاذ الدكتور حسين جاسم العلكاوي***

الأستاذ الدكتور محمد علي سلامة**

الملخص

يعدُّ التصليد السطحي بواسطة القذف بالكرات المعدنية (S-P) هو أحد الطرائق المستخدمة بشكل واسع لزيادة صلادة السطوح لخلات الألمنيوم والتي تؤدي بدورها إلى زيادة مقاومة التعب لتلك الخلطات وذلك بتوليد إجهادات ضغط متبقية على السطح تعيق نشوء الشق وحركته، ولكن في بعض الحالات يحدث العكس حيث تنخفض مقاومة التعب بسبب تولد شقوق صغيرة على السطح. أجريت الدراسة على نوعين من خلطات الألمنيوم 1050A و 2219، حيث تم الحصول على منحنى ويلر (S-N) في حالة التصليد ودونها ولكل من الخلطات أعلاه. كذلك وضعت برامج تحميل (منخفض - عال، عال - منخفض). بينت الدراسة انخفاض عمر التعب بنسبة (23%) وذلك للخليطة 1050A بسبب حدوث خشونة سطحية تؤدي إلى تكون إجهادات موضعية عالية تساعد في نشوء الشقوق وتقدمها. أما الخليطة 2219 فقد ازداد عمر التعب لها بنسبة (38%) بسبب حدوث إجهادات ضغطية متبقية تعيق حركة الشقوق.

الرموز والمصطلحات:

رموز	المصطلحات
S-N curve	منحنى الإجهاد - عدد دورات التحميل
σ_u	الإجهاد الأعظم N/mm^2
σ_y	إجهاد الخضوع N/mm^2
HB	صلادة برينل
CNC	مخرطة مبرمجة
R_a	درجة قياس خشونة السطح
N_f	عدد دورات التحميل اللازمة لكسر العينة العيارية (دون تصليد سطحيها)
N_{fp}	عدد دورات التحميل اللازمة لكسر العينة المصاد سطحيها
F.L	حد التعب Fatigue Limit
N_s	عدد دورات التحميل لكل مستوى إجهاد
L - H	تحميل (منخفض - عال)
H - L	تحميل (عال - منخفض)
S - P	تصليد سطحي بواسطة القذف بالكرات المعدنية

* أعد هذا البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندس جمال محمد حمد (العراق) بإشراف الأستاذ الدكتور محمد علي سلامة والأستاذ الدكتور حسين جاسم العلكاوي

** أستاذ - رئيس قسم هندسة التصميم الميكانيكي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق

*** أستاذ-قسم هندسة الكهروميكانيكية - الجامعة التكنولوجية - بغداد - العراق

1. المقدمة:

الميزات التي تتحلى بها هذه الخلائط (خفة الوزن، مقاومة جيدة للتآكل الكيميائي).

2. الجانب العملي:

1-2 التحليل الكيميائي

يبين (جدول-1) التحليل الكيميائي للخلائط المستخدمة في البحث، وقد أجري في المعهد المتخصص للصناعات الهندسية في بغداد.

(جدول-1) التركيب الكيميائي لخلائط الألمنيوم

موضوع البحث (%)

العنصر	الخليطة 1050A	الخليطة 2219
نحاس	0.06	5.7
مغنيسيوم	0.05	0.021
سيلكون	0.23	0.18
ثيتانيوم	0.05	0.02
حديد	0.42	0.28
منغنيز	0.04	0.21
زركونيوم	---	0.17
المنيوم	أساس	أساس

2-2 الخواص الميكانيكية لخلائط الألمنيوم موضوع البحث:

فُحصت خمس عينات على جهاز فحص الشد نوع INSTRON (225) سعة 150 KN وأخذ المعدل الوسطي. كما فحصت الصلادة على جهاز Brinell hardness machine، إذا أخذت عشر قراءات واستخرج المعدل لكل خليطة.

(جدول - 2) الخواص الميكانيكية لخلائط الألمنيوم

موضوع البحث

الخواص الميكانيكية	الخليطة 1050A	الخليطة 2219
الإجهاد الأعظمي (σ_u (N/mm ²))	98	352
إجهاد الخضوع (σ_y (N/mm ²))	50	243
الاستطالة النسبية %	7	12
الصلادة HB	27	73

3-2 تحضير العينات: استلم المعدن على شكل قضبان دائرية غير مصلدة بقياس (3x50)cm وذلك من شركة صناعة مقاطع الألمنيوم، قطعت هذه القضبان وتم

هناك العديد من الطرق لتصليد السطوح أهمها الكربنة carburizing والنتردة Nitriding التي تستخدم لخلائط الفولاذ، والقذف بالكراوات المعدنية لخلائط الألمنيوم المستخدمة في هذا البحث، إذ تعتمد الأخيرة على العديد من المتغيرات كسرعة القذف والزمن المستغرق لعملية التصليد وأبعاد الكراوات المستخدمة في عملية التصليد وشكلها. ويؤدي السطح دوراً مهماً في عمر الأجزاء المعدنية وخاصة عمر التعب، الذي يتعلق بتولد الشقوق ونموها، على السطح لذلك تؤدي عملية تصليد السطح دوراً فعالاً في إعاقة تولد الشقوق ونموها مما يؤدي إلى زيادة عمرها. وهذا ما يتطلب العديد من الخلائط التي تتعرض إلى عمليات اهتزاز وقوى أيروديناميكية بشكل مستمر وخاصة تلك المستخدمة في صناعة الطائرات والصواريخ والأقمار الاصطناعية. أجريت العديد من الدراسات حول هذا الموضوع فقد درس تصليد سطح الخليطة -7075 (T6) باستخدام فحوصات التعب من نوع الإنحناء المتعكس وأشارت الدراسة إلى زيادة مقاومة التعب مقارنة بالعينات غير المصلدة [4]. وأشارت دراسة أخرى إلى زيادة مقاومة التعب لخليطة الألمنيوم عالية المقاومة بعد قذفها بالكراوات المعدنية [3]. بينت الدراسة المجهرية لبعض خلائط الألمنيوم المصلدة وغير المصلدة أن هنالك مناطق تشوه لدن تسبب خشونة عالية للسطح وتؤدي إلى تركيز الإجهادات على السطح. أمّا في العينات غير المصلدة فإن مناطق التشوه اللدن صغيرة جداً ولا تؤدي إلى خشونة سطحية. مما تقدم يتضح مدى أهمية استخدام خلائط الألمنيوم في مجالات حيوية للاقتصاد والأمن الوطني. سنتناول في هذا البحث دراسة خلائط الألمنيوم (1050A,2219) التي تستخدم في صناعة خزانات الوقود للطائرات وكذلك في صناعة شبكات الأنابيب الناقلة للوقود داخل الطائرة، وذلك نظراً إلى

2-4-4 اختبار العينات:

2-4-4-1 تم استخدام جهاز القذف بالكرات المعدنية من نوع (Shot Tumbblast control panel model STB-OB, machine no 03008*05) لغرض تصليد سطوح العينات، وذلك وفق الشروط التالية (نوع الكرات cast steel، قطر الكرة 0.6mm، صلادة الكرة 50HRC، الضغط المستخدم 12bars، سرعة قذف الكرات 40m/s، المسافة بين العينات ومخرج الكرات 10mm، إن زمن التصليد لجميع العينات كان مقداره (5min) لأن أي زيادة للوقت أكثر من ذلك وكما أشارت إليه العديد من البحوث يعطي نتائج عكسية حيث تبدأ الشقوق بالظهور مما يؤدي إلى نقصان الأعمار. القذف تم إنجازه بعد ربط العينة على مخروطية وهي تدور بسرعة بطيئة وتم ضرب العينات بالكرات لضمان تصليد كامل السطح، هذا وقد تم تصليد 18 عينة لكل خليطة من الخلائط المستخدمة في البحث.

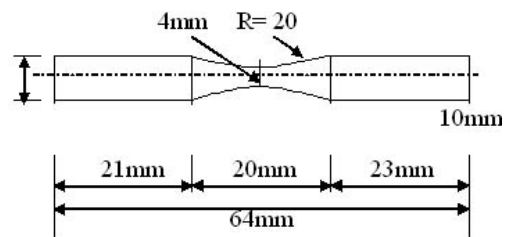
2-4-4-2 تم استخدام جهاز اختبار التعب الدوراني من نوع (Schenck pun rotary bending machine) بسرعة 1420rpm وذلك لاختبار العينات الغير مصلدة وكذلك المصلد والخليطتين 2219 و 1050A، علماً أنه تم اختبار 3 عينات لكل مستوي إجهاد واستخراج المعدل وذلك للتخلص من التناثر الذي يحدث في اختبار التعب، وهذا هو السياق المتعارف عليه في اختبارات التعب.

3. النتائج والمناقشة:

1-3-1 التعب تحت مطال إجهاد ثابت:

أجريت فحوصات الانحناء الدوراني لعينات من الخليطتين دون تصليد ومع التصليد وكانت النتائج كما

تشغيلها على مخروطية مبرمجة (CNC) بهدف الحصول على دقة عالية، وبعد ذلك تم تنعيمها بورق تنعيم ذي درجات نعومة متدرجة بغية تقليل خشونة السطحية وبالتالي تقليل الإجهادات على السطح. ويمثل الشكل التالي أبعاد العينة المستخدمة في الاختبار على التعب حسب المواصفة القياسية الأمريكية (ASTM).



(شكل-1) أبعاد وصورة العينة المستخدمة في اختبار التعب قيست خشونة السطوح بواسطة جهاز قياس الخشونة نوع (Talysurf) لست عينات حيث تم أخذ أربع قراءات واستخرج المعدل.

(جدول - 3) معدل الخشونة للعينات المعدة للاختبار

على التعب

رقم العينة	معدل الخشونة للخلائط ($R_a(\mu m)$)	معدل الخشونة للخلائط ($R_a(\mu m)$)
	2219	1050A
1	0.24	0.35
2	0.22	0.32
3	0.24	0.37
4	0.27	0.31
5	0.21	0.32
6	0.23	0.35

يأتي :

(جدول- 4) العلاقة بين الإجهاد وعدد الدورات

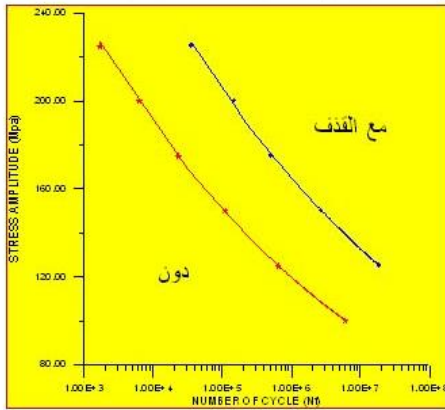
للخليطة 1050A

مع N_{fp} التصليد (دورة)	دون N_f تصليد (دورة)	الإجهاد (N/mm^2)
8.1×10^3	2.7×10^4	110
1.7×10^4	5.1×10^4	95
3.7×10^4	1.4×10^5	80
1.5×10^5	3.4×10^5	65
3×10^5	1×10^6	50
2.1×10^6	7×10^6	35

(جدول - 5) العلاقة بين الإجهاد وعدد الدورات

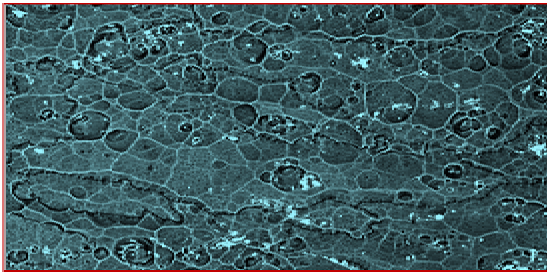
للخليطة 2219

مع N_{fp} التصليد (دورة)	دون N_f تصليد (دورة)	الإجهاد (N/mm^2)
3.6×10^4	1.7×10^3	225
1.5×10^5	6.3×10^3	200
5.1×10^5	2.3×10^4	175
2.7×10^6	1.1×10^5	150
1.9×10^7	6.4×10^5	125
لم تقشل	6×10^6	100

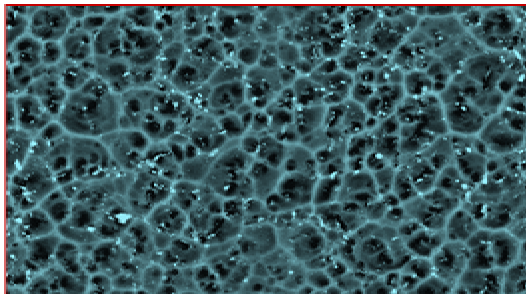


(شكل- 3) العلاقة بين الإجهاد وعدد دورات التحميل

للخليطة 2219



(شكل- 4) تأثير القذف بالكرات على الخليطة 1050A



(شكل- 5) تأثير القذف بالكرات على الخليطة 2219

وقد تم التوصل لمعادلة منحنى العمر للنتائج في شكل(2,3) باستخدام طريقة أفضل منحنى يمر بمعظم النقاط (Best curve fitting) بتطبيق البرنامج الحاسوبي (Grapher) الذي يعطي معادلة المنحنى مباشرة وكانت المعادلات كما يأتي:

للخليطة 1050A

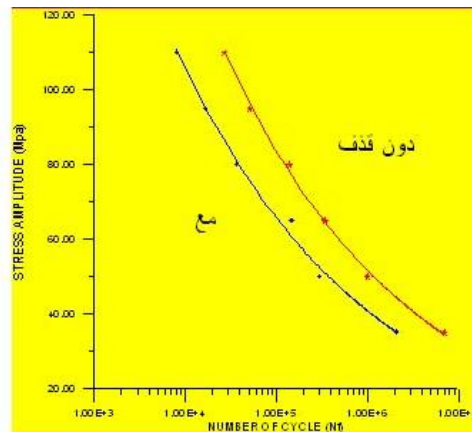
دون تصليد (1) ----- $\sigma = 876 N_f^{-0.204}$

مع التصليد (2) ----- $\sigma = 731 N_f^{-0.21}$

للخليطة 2219

دون تصليد (3) ----- $\sigma = 483 N_f^{-0.101}$

رسمت العلاقة بين إجهاد الفشل وعدد الدورات (S-N) curve للحصول على منحنى العمر حسب النتائج المبينة في الجداول السابقة وكما موضح في الأشكال أدناه (3,2)



(شكل-2) العلاقة بين الإجهاد وعدد دورات التحميل

للخليطة 1050A

(جدول - 8) نتائج اختبار التعب للخليطة 2219

برنامج التحميل	الإجهاد المسلط Mpa	N_f	N_s	زمن التصليد
دون تصليد				
منخفض - عال	70-200	282000	5000	----
عال - منخفض	200-70	211500	5000	----
مع التصليد				
منخفض - عال	70-200	780500	5000	5دقيقة
عال - منخفض	200-70	445000	5000	5دقيقة

يوضح (الشكل - 4a) برنامج التحميل (منخفض-عال) بينما يوضح (الشكل - 4b) برنامج التحميل (عال - منخفض) للخليطة 1050A وذلك دون تصليد. في حين يوضح الشكل (5a,5b) برنامج التحميل (منخفض- عال، عال - منخفض) مع التصليد. وبيّن (جدول-7) أن عملية التصليد أدت إلى نقصان أعمار العينات بنسبة (30%) عند التحميل (منخفض - عال) أمّا عند التحميل (عال - منخفض) فإن أعمار العينات تقل بنسبة (70%). إن السبب الرئيسي لانخفاض الأعمار يعود الى حدوث الخشونة السطحية العالية (جدول-3) مما يؤدي الى وجود مناطق تركيز إجهاد عالية. أما سبب الاختلاف في نسبة الانخفاض 70%, 30% فيعود إلى أن الشق المتولد عند الأحمال العالية يستطيع أن يستمر وينمو عند نقصان الأحمال ولكن في الحالة المعاكسة عند الأحمال القليلة هناك صعوبة في أن يتولد أساساً، والسبب الآخر يعود إلى أن دورات الإجهاد الواطئة تسبب أصلاً انفعالي عند قمة الشق مما يؤدي إلى تأخر في معدل نموه عند تسليط دورات الإجهاد العالية.

مع التصليد (4) ----- $\sigma = 613 N_f^{-0.095}$
يوضح (الشكل - 2) انخفاض مقاومة التعب للخليطة (1050A) بعد إجراء عملية التصليد وأن هذا الانخفاض ليس ثابتاً على طول قيم الإجهاد المختلفة. ولدت عملية التصليد مناطق تشوه لدنة كثيرة وهذه ساعدت على نمو أكثر من شق وتقدمه بأكثر من اتجاه، مما أدى إلى انخفاض حد التعب بنسبة 23% عما هو عليه دون تصليد وكما موضح في (شكل-4). أما الخليطة 2219 فقد أدت عملية التصليد لها إلى زيادة مقاومتها للتعب بنسبة 38% عما هو عليه قبل عملية التصليد بسبب خلق إجهادات ضغط متبقية على السطح الخارجي أدت إلى عرقلة نشوء الشقوق وتقدمها كما موضح في (شكل-3) و (شكل-5) وهذا ما أكده المصدر [3]. من خلال المعادلات (4,3,2,1) نستطيع الحصول على حد التعب للخليط قبل عملية التصليد وبعدها.

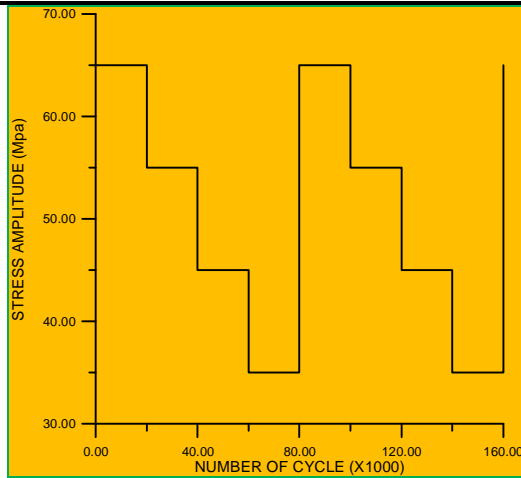
(جدول - 6) حد التعب قبل عملية التصليد وبعدها**لخليط الألمنيوم**

الخليطة	حد التعب N/mm^2 F.L		التغير
	قبل التصليد	بعد التصليد	
1050A	52.3	40	23% نقصان
2219	119	165	38% زيادة

2-3- التعب تحت مطال إجهاد متغير باستمرار:

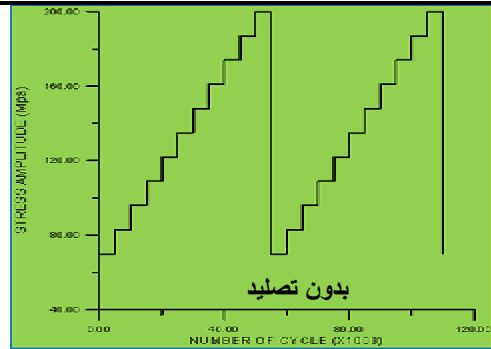
(جدول - 7) نتائج اختبار التعب للخليطة 1050A

برنامج التحميل	الإجهاد المسلط Mpa	N_f	N_s	زمن التصليد
دون تصليد				
منخفض - عال	70-200	282000	5000	---
عال - منخفض	200-70	211500	5000	---
مع التصليد				
منخفض - عال	35-65	200000	20000	5دقيقة
عال - منخفض	65-35	64000	20000	5دقيقة

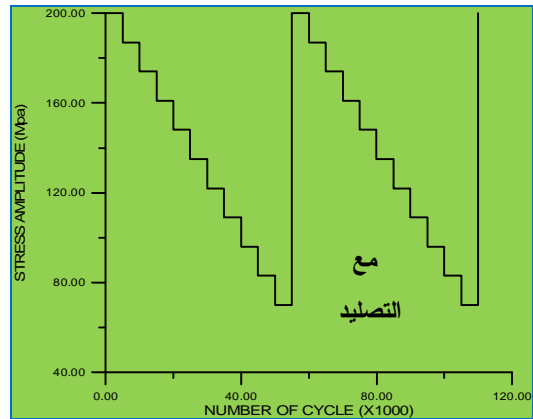


(شكل - 5b) برنامج التحميل (عالٍ - منخفض) عند مستوى إجهاد Mpa (35 - 65) وعدد دورات $N_s=20000$ للخليطة 1050A

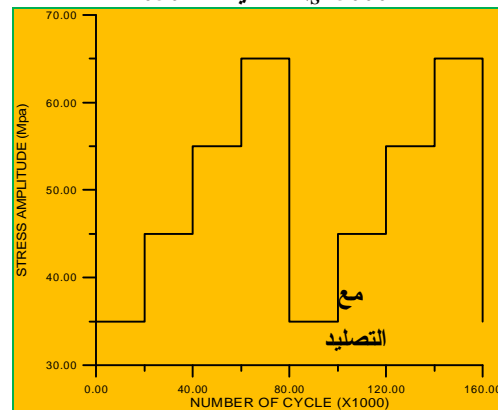
يكون برنامج التحميل للخليطة 2219 مشابهاً من حيث التوزيع للخليطة أعلاه، والذي يبين أن عملية التصليد أدت إلى زيادة أعمار العينات بشكل عام بسبب تولد إجهادات ضغطية على السطح تعيق نشوء الشقوق وتقدمها. أما تلك الزيادة فكانت ثلاثة أضعاف تقريباً عند التحميل من منخفض - عالٍ بينما عند التحميل من عالٍ - منخفض فإن العمر ازداد إلى الضعفين والسبب يعود إلى أن الشقوق في كلتا الحالتين دون التصليد ومعه في حالة الإجهاد عالي - منخفض تظهر بشكل أسرع وبإمكانها الاستمرار بالتقدم أمّا في حالة الإجهاد منخفض - عالٍ فهناك صعوبة في تولد الشق، لذا فإن العمر يكون في الحالة الأولى أكبر وهذا ما جاء مطابقاً لما توصل إليه المصدر [6].



(شكل- 4a) برنامج التحميل (منخفض- عالٍ) عند مستوى إجهاد Mpa (70 - 200) وعدد دورات $N_s=5000$ للخليطة 1050A



(شكل- 4b) برنامج التحميل (عالٍ - منخفض) عند مستوى إجهاد Mpa (70 - 200) وعدد دورات $N_s=5000$ للخليطة 1050A



(شكل- 5a) برنامج التحميل (منخفض-عالٍ) عند مستوى إجهاد Mpa (35- 65) وعدد دورات $N_s=20000$ للخليطة 1050A

4. الاستنتاجات:

1- عمر خليطة الألمنيوم 1050A يقل مع عملية التصليد في حالتها التحميل الثابت ومتغير السعة بسبب أن عملية التصليد تولد خشونة سطحية عالية، وهذه تؤدي إلى تمركز إجهاد عالٍ يساعد على نشوء الشقوق ونموها.

2- عمر الخليطة 2219 يزداد مع عملية التصليد في حالتها التحميل الثابت والمتغير السعة بسبب خلق إجهادات ضغط متبقية على السطح تعيق تقدم الشقوق.

3 - إن وجود نسبة جيدة من النحاس له دور كبير في زيادة عمر الخليطة من خلال تكوين الطور $\alpha + \theta(\text{CuAl}_2)$ الذي يتميز بمتانته، ولكن متانة مثل هذه الخلائط تعتمد على الظروف المحيطة للعمل ولاسيما إذا كانت حاوية على الأمونيا أو أملاح الكلوريدات، وقد تبين من الدراسات السابقة بأن أفضل نسبة للنحاس التي تعطي أفضل مقاومة تعب تتراوح ما بين % (4-5) [9].

4 - لا يمكن الاعتماد على طريقة القذف بالكراوات المعدنية لتصليد خلائط الألمنيوم كلها لأن ذلك قد يعطي نتائج عكسية كما بينا، ويمكن استخدام طرائق أخرى في التصليد كالمعالجات الحرارية والليزر وغيرها من الطرائق الأخرى.

المراجع

1. Hatamleh.O "Laser and shot peening effects on fatigue crack growth in friction stir welded 7075 – T₇₃₅₁ aluminum alloy joints". International journal of fatigue, Vol,29. 2007
2. Masaki. Kiyotaka "Influence of shot peening treatment on high – cycle fatigue properties of degassing processed AC4CH aluminum alloy". Journal of the society of materials science, japan. 2005
3. Campbell.J "Effects of shot peening processing on the fatigue behavior of three aluminum alloys and Ti – Al – 4V". National Technical information service, 2001
4. G.S.Was. et al "Effect of shot peening method on the fatigue behavior of aluminum alloy 7075 – T6"(ICSP-I) Paris,France.
5. Mohamed Faycal Ameer "shot peening effect in particular aircraft aluminum alloys", MSC Thesis Mech.Eng.Dep. University of echnology, 2002.
6. Wail Rasheed Al Naimy "Cumulative multiaxial fatigue damage on A/C alloys 2024 – T4 under complex loading ", MSC Thesis. Mech. Eng. Dep. University of Technology, 1997.
7. R. Wong, et al "Relationship between shot peening surface strain layer and the fatigue strength of high strength Al-alloys" 4th conf. on shot peening (ICSP-4) Germany,1987.
8. R. Clausen, J. stang enberg "Roughness of shot peened surface" 7th conf. on shot peening (ICSP-7)Warsaw,Poland, 1999.
- 9.Temel, Murat "Fatigue behavior of monotectoid –based Zn-Al-Cu alloys in 3.5%Nacl and 1%Hcl solusions" Karadenis technical university, Turkey, 2004.