تأثير عناصر السبك (البورون ، التيتانيوم) والمعاملة الحرارية على خاصية الصلادة الدقيقة لسبيكة (ألمنيوم – نحاس – مغنيسيوم)

عبد العزيز عبيد موسى قيس موجد شياع

جامعة بابل / كلية العلوم / قسم الفيزياء

جاسم محمد سلمان

جامعة بابل / كلية هندسة المواد / قسم هندسة المعادن

الخلاصة

تعد سبيكة (الألمنيوم– نحاس– مغنيسيوم) إحدى السبائك المهمة التي تعود إلى سلسلة (2xxx) حيث النحاس عنصر السبك الأساسي فيها ويمثل بالرقم (٢)، اعتمدت الدراسة الحالية تقنيات عدة لتحسين أداء السبيكة الأساس (Al–Cu–Mg) شملت إضافة عناصر السبك مثل البورون (B) والتيتانيوم (Ti) وتحضير أربعة أنواع من السبائك اعتمادا على التكوين الكيميائي ومن ثم استخدام المعاملات الحرارية مثل عملية المجانسة وعملية التعتيق الاصطناعي حيث تم اختيار ثلاث درجات حرارية (150 ºC, 175 ºC, 200 ºC) عند فترات زمنيه مختلفة.

وقد أظهرت النتائج إن إضافة (Ti 1.0%) للسبيكة الأساس تحسنت صلادة فيكرز بنسبة (82.12%) بدرجة حرارة تعتيق(200 ºC) مقارنة مع السبيكة الأساس، وان إضافة (B 0.1%) مع (Ti 1.0%) للسبيكة الأساس تحسنت صلادة فيكرز بنسبة (65.91%) بدرجة حرارة تعتيق (200 ºC)، أما إضافة (B 0.1%) للسبيكة الأساس فوجدنا أنها تقلل من صلادة السبيكة الأساس في كافة درجات حرارة التعتيق المستخدمة، أما دراسة البنية المجهرية فقد تم من خلال التصوير بالمجهر الضوئي للسبائك بعد عملية السباكة وبعد عملية المجانسة وبعد عمليات التعتيق الاصطناعي وتم مشاهدة التغير بالبنية المجهرية خلال المراحل المختلفة بظهور أطوار جديدة في بنية السبائك ، وقد تم مقارنة كافة نتائج الاختبارات السابقة مع بعض القيم القياسية .

Abstract

Alloy (Al-Cu-Mg) is one of these importance alloys and it is one of (2xxx) series where Copper is the major alloying element act number (2) , several techniques were adopted to improve properties of the base alloy (Al – Cu – Mg) using alloying elements such as (B) and (Ti), was prepard four different types of alloys based and using heat treatments such as homogenizing treatment and artificial ageing achieved with various temperatures on the chemical composition (150ºC,175ºC,200ºC) andwith different periods of time .

Results showed that the addition of (1.0% Ti) to base alloy improve Vickers hardness by (٨٢.12%) at artificial ageing (200 ºC) compared with base alloy. The addition of (0.1% B) and (1.0% Ti) to base alloy improve Vickers hardness by (65.91%) at artificial ageing (200 ºC) . The addition of (0.1% B) to base alloy effect on the Vickers hardness of all cases of ageing , either the study of microstructure has been through the optical microscope for alloys after casting and after homogenization and after all the operations of artificial ageing was view microscopic structure change during the early stages mentioned and see the emergence of new phases in the structure of alloys , and has been compared all results of last tests with some of standard values.

١.المقدمة : Introduction

يحتل الألمنيوم وسبائكه مكانة واسعة في مجال صناعات الفضاء وذلك بسبب امتلاكه خصائص فيزيائية جيدة وامتلاكه قيمة عالية من (المقاومة / الوزن) حيث تعد هذه المقادير مقياساً ملائما لاختيار المواد المناسبة لصناعات الفضاء.

تتغير خواص الألمنيوم سواء سلبيا أم ايجابيا بشكل بالغ عند إضافة عناصر سبك معينة إليه، ويستهلك حوالي ثلاثة أخماس الألمنيوم المنتج في العالم لصناعة سبائك الألمنيوم، وذلك لسد الحاجة إلى خواص معينة في هذا المعدن، وتحتوي معظم سبائك الألمنيوم على مالا يقل عن(٨٧%) من الألمنيوم ، واهم عناصر

السبك المضافة إلى الألمنيوم هي النحاس ، الخارصين ، المغنيسيوم ، السيليكون ، الليثيوم ، المنغنيز وغيرها[الخزرجي ، 1992].

درس الباحث [Macchi *et. al.* , 2009] ثلاثة من عمليات التعتيق في سبيكة (ألمنيوم–نحاس–مغنيسيوم) مع نسب مختلفة من نحاس/ مغنيسيوم بأستخدام صلادة فيكرز كدالة لزمن التعتيق الصناعي عند درجة حرارة (١٧٥°C) ، وجدوا المعلومات المتممة على متسلسلة التحلل بواطة مسعر المسح التفاضلي(DSC)، كما وجدوا ان صلادة فيكرز تزداد مع زيادة زمن التعتيق وان أعظم صلادة كانت للسبائك التي تمتلك نسبة نحاس أعلى من نسبة المغنيسيوم .

ودرس الباحث [سهامه عيسى صالح ، ٢٠١٠] وجماعته تأثير تدعيم سبيكة الأساس (Al–Cu–Mg) بحبيبات سيراميكية مستخدمين دقائق الزركونيا (ZrO_2) من جهة ودقائق الالومينا (Al_2O_3) من جهة أخرى بنسب وزنيه مختارة هي (1,3,4,5,6%) وبينت النتائج ازدياد قيم كل من مقاومة الكلال والصلادة مع زيادة نسب دقائق التقوية المضافة أما تأثير نوعية دقائق التقوية المضافة في الخواص الميكانيكية فقد لوحظ ان هناك زيادة في قيم مقاومة الكلال والصلادة بالنسبة للمادة المتراكبة المقواة بدقائق الالومينا مقارنة مع المادة المتراكبة المقواة بدقائق الزركونيا والتي اكتسبت قيما أعلى مما هي علية في السبيكة الأساس.

درس الباحث [Raza *et. al.*, 2011] تطوير وتقوية سبيكة ألمنيوم (٢٢١٩) بوساطة التشكيل والمعاملة الحرارية ، طورت السبيكة باستخدام فرن الحث يتبعه التشكيل والدرفلة لتحسين الخواص ،تصهر السبيكة عند درجة حرارة (٥٣٥°C) لمدة (٤٨) دقيقة بعدها تبرد بواسطة إمرارها بالماء ، ثم تعتق عند °C (٢١٠ ، ٢٣٠ ، ٢٤٠) ولفترات زمنية مختلفة ، ثم حددوا أعظم شد وصلادة عند كل درجة حرارة ووجدوا أن أعظم صلادة للسبيكة هي عند درجة حرارة تعتيق(°C 210) وزمن (.hrs 4) .

وقام الباحث [Cooke *et. al.*, 2012] بتطوير سبيكة (Al–Cu–Mg) بنسب مختلفة من (Cu/Mg) باستخدام تقنية ميتالوروجيا المساحيق ، وكانت النسبة الاكبر التي تم اكتشافها لغرض تطوير السبيكة هي (Al –2.3Cu – 1.6Mg) وبينت النتائج استجابة السبائك استجابة طبيعية للضغط باتجاه أحادي المحور مع الأداء الذي يتماشى مع السبائك التجارية ، كما تم حساب الكثافة للسبائك المحضرة ووجدوا أنها مساوية للقيم النظرية ،كما أظهرت السبائك استجابة للمعاملة الحرارية (T6) ، وبينت النتائج ان أعلى قيمة للصلادة تكون عند درجة حرارة تعتيق (200ºC) ولمدة (.hrs 20) .

في هذا البحث تم اعتماد عنصري البورون (B) والتيتانيوم (Ti) لغرض تحسين صلادة فيكرز لسبيكة ذات أساس (ألمنيوم– نحاس– مغنيسيوم) (Al–Cu–Mg).

إن الهدف من الدراسة هو قياس الصلادة الدقيقة بطريقة فيكرز للسبائك المحضرة وتصوير البنية المجهرية باستخدام المجهر الضوئي ودراسة تأثير إضافة عناصر السبك والمعاملة الحرارية مثل عملية المجانسة والتعتيق الأصطناعي على قيم الصلادة الدقيقة والبنية المجهرية وذلك للاهمية الكبيرة لخاصية الصلادة في سبائك الالمنيوم في المجالات التطبيقية والصناعية.

٢. الجزء العملي : Experimental Part

يتضمن هذا الجزء مجموعة من الفقرات العملية المتتالية وهي كما يلي :

1.2. تحضير السبائك :Preparation of Alloys

وزنت قطع من الألمنيوم وحسبت الكميات المقابلة لها من عناصر السبك للحصول على النسب الوزنية المطلوبة مع الأخذ بنظر الاعتبار حالة التأكسد التي تحصل للعناصر أثناء السبك لذا فقد أضيفت كمية إضافية من العناصر ذات قابلية التأكسد الأكبر(المغنسيوم).

وقد تم استخدام بودقه سيراميكيه لغرض وضع مكونات السبائك فيها اثناء عملية الصهر بالفرن الكهربائي ، أما التكوين الكيمياوي للسبائك المستخدمة في البحث الحالي فمبينة في الجدول (١).

الجدول (١) التكوين الكيمياوي للسبائك المستخدمة في البحث

Composition / Alloy Code	Al wt %	Cu wt %	Mg wt %	B wt %	Ti wt %
A	96	2	2	–	–
B	95.9	2	2	0.1	–
C	95	2	2	–	1.0
D	94.9	2	2	0.1	1.0

جرت عملية الصهر والسباكة كالآتي:-

1- صهر قطع من الألمنيوم النقي ذي النقاوة (99.96%) وحسب التحليل الكيمياوي عند درجة حرارة (750°C) .

2- إضافة عناصر السبك والتي تكون ملفوفة برقائق الألمنيوم لمنع تأكسدها عند تماسها مع المنصهر ، حيث تضاف كالأتي :

يتم إضافة النحاس ذي النقاوة(99.99%) على شكل رايش إلى الألمنيوم المنصهر مع التحريك المستمر بقضيب سيراميكي لتلافي تلوث المنصهر بأي عنصر غير العناصر المطلوبة ولضمان ذوبان جميع النحاس في الألمنيوم المنصهر ، وبعد ذلك تم إضافة رقائق المغنسيوم ذات النقاوة (99.5%) مع استمرار تحريك المنصهر لضمان حصول التجانس .

وتكرر العملية نفسها بالنسبة إلى البورون والتيتانيوم، تستمر عملية التحريك لمدة ملائمة حسب كمية المادة المسبوكة (4 – 5) دقائق في هذه الحالة للحصول على أفضل تجانس للمنصهر.

3- يسكب المنصهر في القالب المعد سلفاً وهو على شكل اسطوانة فولاذية قطر القالب بحدود (15mm) بعد تسخينه إلى درجة حرارة (300 – 400 ºC) لتلافي انجماد المنصهر قبل دخوله القالب وتقليل عيوب السباكة.

٢,٢. معاملة المجانسة: Homogenizing Treatment

جرت هذه المعاملة بوضع المسبوكات في فرن نوع (LINDBERG) يعمل في مجال درجات حرارة عالية تصل الى (1200°C) إذ تستخدم درجة حرارة مقدارها (500°C) بزمن مكوث ثلاث ساعات ، بعدها تبرّد تبريداً بطيئاً في الفرن إلى درجة حرارة الغرفة . والجدول (٢) يبين ظروف معاملة المجانسة للسبائك .

الجدول (٢) ظروف معاملة المجانسة للسبائك

Alloy Code	Condition
A, B, C, D	Homg. at 500°C for ٣ hrs. + Slow Cooling to R.T.

Homg. = Homogenization

R.T. = Room Temperature

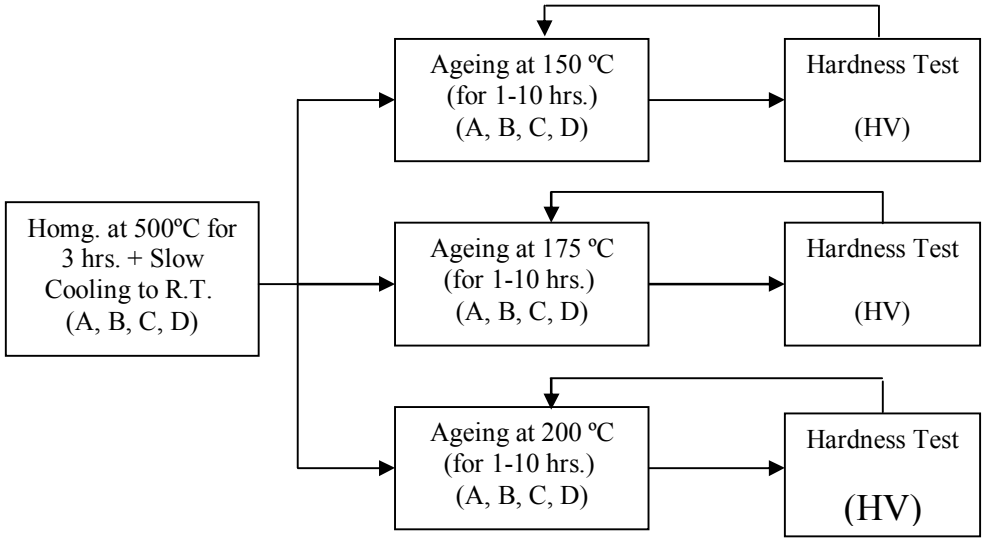
٣,٢. تحضير العينات : Specimens Preparation

بعد المجانسة قطعت المسبوكات إلى عينات ذات أبعاد تعتمد على الاختبار المطلوب حيث كانت أبعادالعينة المستخدمة لاختبارات الصلادة ذات قطر (15mm) وسمك (7mm).

ولغرض إجراء عمليات قياس الصلادة الدقيقة فقد أجريت عملية تهيئة العينات ، وبدأت بعملية التنعيم باستخدام ورق تنعيم من كاربيد السيليكون ذي تدرجات (180 ,400,600,800,1000,1200,1500,2000) ، بعدها أجريت عملية الصقل باستخدام جهاز الصقل الميكانيكي نوع (HERGON) واستخدم في العملية مسحوق الالومينا والماء، كما أجريت عملية الغسل والتجفيف بالهواء الساخن بين كل عملية تنعيم أو صقل وأخرى .

٤.2. معاملة التعتيق الاصطناعي : Artificial Ageing Treatment

أجريت معاملة التعتيق الاصطناعي للسبائك (A,B,C,D) في درجات حرارية مختلفة هي (200ºC, 175 ºC, 150 ºC) ثم قيست صلادة العينات بصورة دورية أثناء إجراء المعاملة الحرارية ورسمت العلاقة بين الصلادة الدقيقة وزمن التعتيق،إن خطوات معاملة التعتيق الاصطناعي موضحة بالشكل رقم (١) الذي يمثل مخطط لعملية التعتيق الاصطناعي مع قياس الصلادة .



شكل (١) مخطط عملية التعتيق الاصطناعي مع قياس الصلادة .

٢,٥. اختبار الصلادة الدقيقة : Microhardness Test

اجري اختبار الصلادة ليكون مؤشراً للتغيرات الحاصلة في الخواص الميكانيكية للعينات، حيث قيست الصلادة للعينات بعد عملية السباكة وبعد عملية التعتيق حيث قيست الصلادة بشكل دوري مع عملية التعتيق بعد كل ساعة ولمدة عشرة ساعات وبدرجات حرارية مختلفة .

الطريقة التي استخدمت في قياس الصلادة هي طريقة (فيكرز) لقياس الصلادة الدقيقة (Vickers Microhardness) وتمثل كل نقطة على مخططات العلاقة بين الصلادة والزمن معدلاً لثلاث قراءات على الاقل لمناطق مختلفة من العينة ، وكان الحمل المسلط (100g) وزمن تحميل مقداره (10 s) .

٢,٦. فحص البنية المجهرية: Microstructure Test

تم استخدام المجهر الضوئي نوع (union ME-3154) وبقوة تكبير (100Xº) لغرض دراسة البنية المجهرية للسبائك .

حضرت العينات بإجراء عمليتي التنعيم والصقل باستخدام جهاز الصقل الميكانيكي نوع (HERGON)،وقد اجري تصوير البنية المجهرية للعينات بعد عملية السباكة وبعد عملية المجانسة وبعد عملية التعتيق الاصطناعي .

وقد استخدم للإظهار محلول (Keller's Reagent) ذو التركيب الكيميائي الاتي : ($1cm^3$ HF , $1.5cm^3$ HCl , $2.5cm^3$ HNO_3, $95cm^3$ H_2O) وكان زمن الإظهار يتراوح بين (10 – 20 s) .

٣. النتائج والمناقشة: Results and Discussion

يتضمن هذاالجزء عرض النتائج ومناقشة الاختبارات العملية لحساب قيم الصلادة الدقيقة للسبائك متزامنة مع عملية التعتيق الاصطناعي في درجات حرارة (200ºC,175ºC,150ºC) .

٣,١.صلادة السبائك: Microhardness of Alloys

تمّ قياس صلادة السبائك بحالتها المسبوكة (As Cast) قبل إجراء المعاملات الحرارية ، وتبين أن السبيكة (C) تمتلك أعلى صلادة مقارنة مع نظيرتيها السبائك (A) و (B) و(D) ، ويرجع السبب في ذلك إلى الدور الإصلادي لعنصر السبك التيتانيوم (Ti) في السبيكة المتفوقة ، وكما مبين في الجدول (٣).

الجدول (٣) صلادة السبائك قبل إجراء المعاملات الحرارية

Alloy code	Condition	HV (Kg/mm^2)
A	As cast	٨٠,٥٤
B	As cast	٧٣,٩٤
C	As cast	٨٤,٦٧
D	As cast	٨٠,٩٨

كذلك قيست الصلادة بعد إجراء معاملة المجانسة بدرجة حرارة (500ºC) ولمدة ثلاث ساعات وكذلك أظهرت السبيكة (C) أعلى قيمة للصلادة مقارنة مع بقية السبائك ويرجع السبب لوجود عنصر التيتانيوم (Ti) في السبيكة والجدول (٤) يبين قيم الصلادة للسبائك بعد عملية المجانسة.

الجدول (٤) صلادة السبائك بعد إجراء عملية المجانسة.

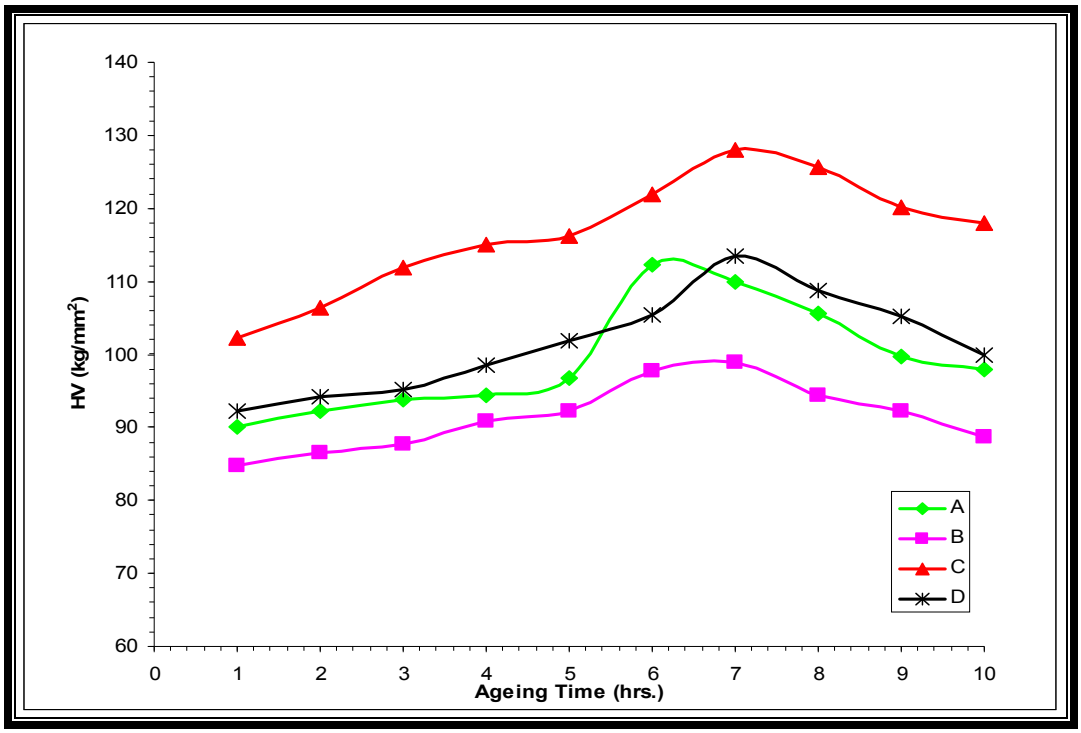
Alloy code	Condition	HV (Kg/mm^2)
A	Homogenizing	٨٤,٣٧
B	Homogenizing	٧٩,٦٤
C	Homogenizing	٨٨,٨٨
D	Homogenizing	٨٣,٩٨

ويلاحظ من الجدولين السابقين إن جميع القيم قد ازدادت بشكل ملحوظ بعد عملية المجانسة (الجدول(4)) ويعود السبب في ذلك إلى دور عملية المجانسة في انتشار عناصر السبك وظهور أطوار جديدة.

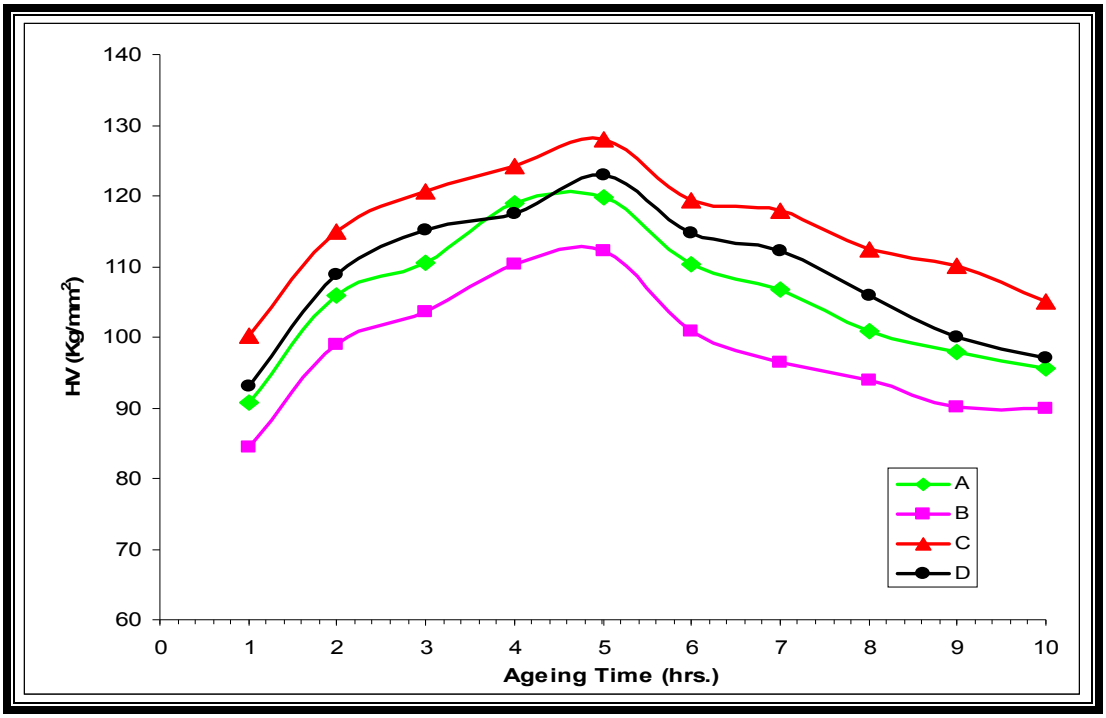
٢,٣. تأثير التعتيق الاصطناعي على الصلادة: Effect of Artificial Ageing on Hardness

أما تأثير التعتيق الاصطناعي على الصلادة الدقيقة بالنسبة للسبائك (A,B,C,D) عند درجة حرارة تعتيق (150ºC) موضح بالشكل (٢) أما الأشكال (٣)،(٤) فتوضح تأثير التعتيق على السبائك عند درجات حرارة تعتيق(200ºC,175ºC) على التوالي إذ أظهرت السبيكة (C) مرة أخرى ارتفاعاً مستمراً في قيم الصلادة أما السبيكة (B) فإننا نلاحظ إن قيم الصلادة تنخفض عما هو عليه في السبيكة الاساس ، ويرجع السبب في ارتفاع قيم الصلادة في السبيكة (C) لاحتوائها على عنصر التيتانيوم (Ti) الذي يظهر تغيرا في الطور عند درجات الحرارة العالية(800ºC) حيث يتحول من طور (α) ذو الشبيكة الحيزية السداسية الى الطور (β) ذو الشبكة الحيزية المكعبة المتمركزة الجسم ويحدث هذا التغير عند التبريد[الخزرجي ، 1989].

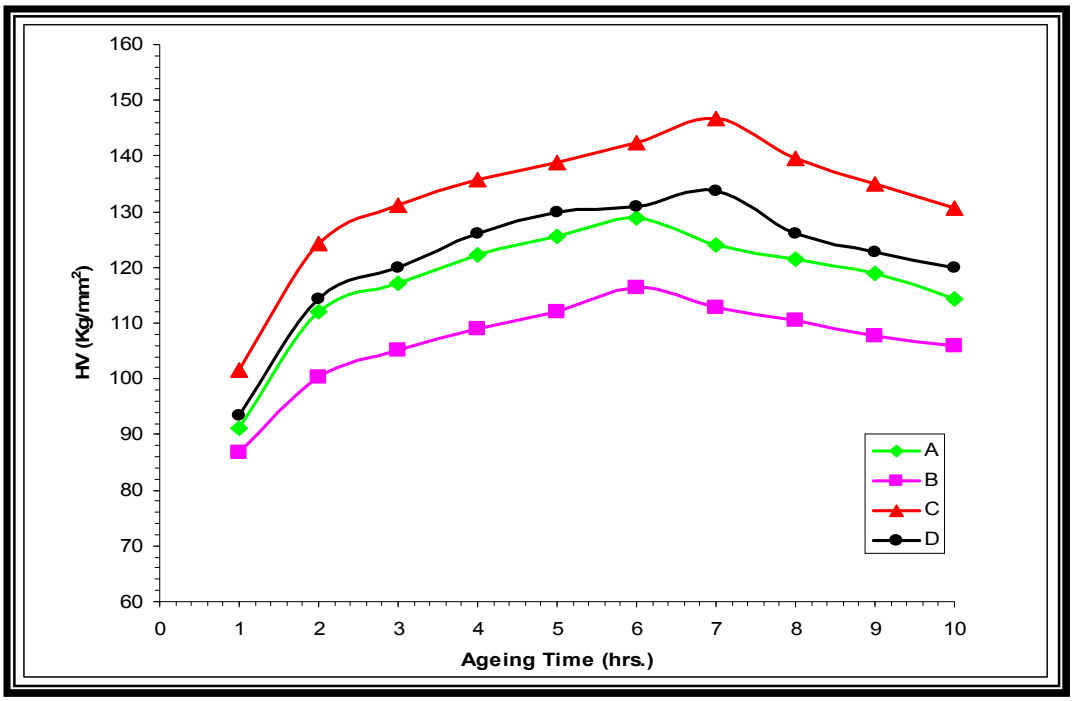
استقرارية هذه السبائك ثابتة ضمن فترات الاختبار ، وتعد هذه السمة ميزه غاية في الأهمية، وإنّ سبب التفاوت في قيم الصلادة للسبائك عند فترات التعتيق يرجع إلى أن عملية التعتيق تعتمد أساسا على التكوين الكيمياوي والبنية المجهرية والتعتيق عملية انتشار(Diffusion Process) ، ويتحكم بهذه العملية درجة الحرارة والزمن في التخليق والنمو (Nucleation and Growth) ، وبما أن التعتيق تم بدرجات حرارة مرتفعة لذا تكون عملية الانتشار سريعة والوصول إلى القيم القصوى يستغرق فترة قصيرة، وهذا يشابه ما أشار إليه باحثون آخرون [2005,Durbin *et.* ؛2006,Sigworth *et. al.*؛2000,Hutchinson *et. al.* . [*al.*



الشكل (٢) العلاقة بين الصلادة الدقيقة و زمن التعتيق الاصطناعي للسبائك (A,B,C,D) عند درجة حرارة تعتيق(150°C).



الشكل (٣) العلاقة بين الصلادة الدقيقة و زمن التعتيق الاصطناعي للسبائك (A,B,C,D) عند درجة حرارة تعتيق (175°C) .



الشكل (4) العلاقة بين الصلادة الدقيقة وزمن التعتيق الاصطناعي للسبائك (A,B,C,D) عند درجة حرارة تعتيق (200°C) .

جرت دراسات عديدة لمعرفة أسباب هذا السلوك الخاص في الاصلاد بالتعتيق فالمرحلة الاولى ترتبط بتكوين مناطق(GPB)،(Guinier – Preston Bagaryatsky) والمرحلة الثانية تعزى الى ترسب طور (S) ، هذا حسب ما توصل اليه الباحث (Silcok) في سنة (1960) .اما الباحث (Ringer) وجماعته فقد استخدم المجهر السابر للذرات بالمجال الآيوني (Atom Probe Field Ion Microscopy) سنة (1997) واقترح ان الاصلاد الاولي السريع ينتج عن تعنقد القليل من ذرات النحاس و المغنسيوم . والمرحلة الثانية سببها تكون مناطق (GPB) . من جانب آخر فان الباحث (Zahra) (1998) أرجع الاصلاد السريع الابتدائي الى ترسيب (GPB) الا انه لم يبرهن من حيث البنية المجهرية على وجود هذه المناطق . اما الباحث (Ratchive ١٩٩٨) وجماعته فقد عزا الاصلاد السريع الى تكوين طور S على الانخلاعات مما يمنع حركتها [1999,Reich *at. al.*] من جانب آخر فان بعض البحوث افترضت تفسيراً مغايراً لسبب الاصلاد في هذه السبائك [2000,Ringer *at. al.*؛ 1999,Reich *at. al.*] حيث افترضت تضمن عملية توليد التركيب المجهري خلال التعتيق بعد المعاملة الحرارية للعمليات التالية :

1- يحدث اندماج سريع لفجوات الإخماد (Quench in – Vacancies) مباشرة بعد الإخماد مسبباً تكثيف الفجوات وتكوين عدد كبير من حلقات الأنخلاعات.

2- يحدث تفاعل الاصلاد السريع بعد مرور بضع ثواني في درجة حرارة عالية ،ومن المعتقد ان هذا يحصل بسبب التوزيع الدقيق للمذاب من خلال تجاذب تفضيلي (Preferred Interaction) بين المغنسيوم والنحاس مع الانخلاعات.

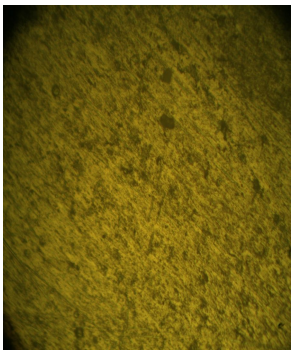
3- انتشار ذرات المغنسيوم باتجاه حلقات ولوالب الانخلاعات مما يؤدي الى ترسيب عشوائي على الطور S على هذه العيوب.

4- يحدث ترسيب لمناطق (GPB) ناعمة ومنتظمة قرب نهاية المنطقة المستقرة للصلادة مسببة زيادة ثانية في الصلادة.

5- يحدث الافراط في التعتيق عندما تستبدل مناطق (GPB) بالتدريج بترسيب طور (S) الذي ينمو ليصبح اخشن.

٣,٣. نتائج الفحص المجهري: Metallography Results

تم تصوير العينات للسبائك قبل إجراء المعاملات الحرارية أي بعد السباكة والصب مباشرة (As Cast) وبعد معاملة المجانسة ومعاملة التعتيق الاصطناعي لفحص البنية المجهرية للسبائك، وبشكل عام نلاحظ بعض الترسبات في البنية المجهرية للسبائك كافة وذات كثافة كبيرة نسبيا بسبب معاملة التعتيق الاصطناعي ، كما نلاحظ أيضا استطالة الحبيبات لبعض السبائك والأشكال الآتية توضح صور السبائك الأربعة بعد إجراء المعاملات الحرارية المجانسة والتعتيق الاصطناعي بدرجات حرارة (150ºC,175ºC,200ºC) .



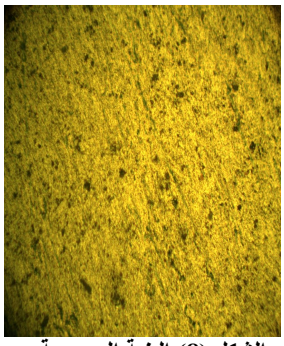
الشكل (5) البنية المجهرية للسبيكة (A) بعد المجانسة.



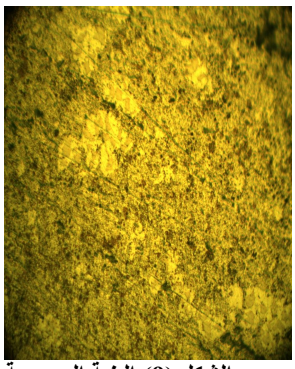
الشكل (٦) البنية المجهرية للسبيكة (B) بعد المجانسة.



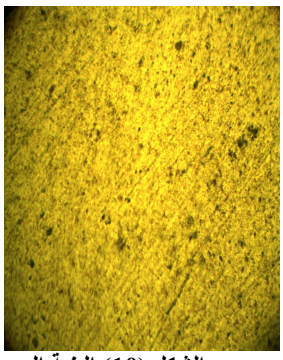
الشكل (7) البنية المجهرية للسبيكة (D) بعد المجانسة.



الشكل (8) البنية المجهرية للسبيكة (A) بعد التعتيق بدرجة حرارة (150 ºC) .



الشكل (9) البنية المجهرية للسبيكة (C) بعد التعتيق بدرجة حرارة (175 ºC) .



الشكل (10) البنية المجهرية للسبيكة (D) بعد التعتيق بدرجة حرارة (200 ºC) .

وبصورة عامة عند مقارنة الأشكال مع بعضها نلاحظ أن البنية المجهرية للسبائك تتكون من شكل وحجم وتوزيع منتظم للحبيبات وعلى العموم فإن أثر التعتيق على السبائك لايظهر بالمجهر الضوئي بسبب قدرة التكبير(Magnification) والقابلية على التحليل(Resolution) التي تعد غير كافية لتصوير وتحليل النتائج .

٤. الاستنتاجات : Conclusions

١. اختيار عنصر التيتانيوم (Ti) أحدث نقلة بارزة في قيم الصلادة الدقيقة التي تعزى لتنعيم الحبيبات والأطوار المترسبة وذلك واضحا من قيم الصلادة للسبيكة (C) (Al–Cu–Mg–Ti) حيث اظهرت أعلى قيم صلادة من بقية السبائك .

٢. ان اضافة عنصر البورون بنسبة (0.1%B) يقلل من قيم الصلادة للسبيكة الاساس (Al–Cu–Mg) وذلك لان عنصر البورون شبه فلز يعمل على زيادة مطيلية السبيكة الاساس .

٣. عند المقارنة بالمعاملات الحرارية التي جرت للسبائك تبين أن معاملة التعتيق الاصطناعي أظهرت زيادة في تحسّن صلادة السبائك مقارنة بمعاملة المجانسة وان التعتيق بدرجة حرارة (200 ºC) وبزمن (7 hrs.) أكثر استقرارية حرارية من درجات التعتيق الأخرى (150 ºC , 175 ºC).

٤. من خلال دراسة البنية المجهرية للسبائك تم ملاحظة التوزيع المنتظم للحبيبات نتيجة المعاملة الحرارية ووجود تجانس في حجم الحبيبات لما له اثر في التخلص من العيوب البلورية .

٥. مما متوفر بين أيدينا من نتائج مختلفة للسبائك المحضرة ، يمكن فتح رؤية مستقبلية ونقلة نوعية لأفاق صناعية ذات مسلك تكنولوجي واقتصادي لاختبار المنتوج كمواد مناسبة في مجال صناعات الفضاء والسيارات والسفن أو متحسسات الكترونية للأجهزة المختلفة والتي تتطلب في طبيعتها مواصفات بالغة الدقة والتي توفرت في السبائك المحضرة .

٥. المصادر:

الخزرجي، قحطان خلف محمد ، "الألمنيوم وسبائكه" ،جامعة بابل ،(١٩٩٢).

الخزرجي، قحطان خلف محمد "المعاملات الحرارية للمعادن والسبائك الحديدية واللاحديدية" ،جامعة بغداد،(١٩٨٩).

سهامه عيسى صالح، صاحب مهدي الصفار، سرمد عماد إبراهيم "تأثير تدعيم سبيكة الأساس–Al–Cu) Mg)بحبيبات سيراميكية في قيم الصلادة ومقاومة الكلال "مجلة العلوم الهندسية ،المجلد٢١، العدد ٢، (٢٠١٠).(2721-2733), (2000).

References

Cooke R.W., R.L. Hexemer, I.W. Donaldson and D.P. Bishop, " Metallurgy Processing of (Al-Cu-Mg) Alloy with low (Cu/Mg) ratio" Powder Metallurgy, Vol. 55, No. 1,pp. (29-35), (2012) .

Durbin, T. "Modeling Dissolution in Aluminum Alloys", Thesis, Georgia Institute of Technology, (2005).

Hutchinson R. and P. Ringer, "Precipitation Processes in Al-Cu-Mg Alloys Microalloyed with Si", Metallurgical and Materials Transaction, A 31, pp.

Macchi C. , A. Somoza , R. Ferragut , A. Dupasquier , and I. Polmear "Ageing processes in (Al-Cu-Mg) alloys with different Cu/Mg ratios "Phys. Status Solidi , pp. (1-4), (2009).

Reich, L. S.P.Ringer and K.Hono: "Origin of Initial Rapid Age- Hardening in an (Al-1.7Mg-1.1Cu) alloy", Philosophical Magazine Letters, 79(9):6840(1999). M.Raza, F.Ahmad, N.Ikram, R.Ahmad and A.Salam "Development and Strenthening of 2219 Aluminium Alloy by Mechanical Working and Heat Tretment " Journal of Applied Sciences, Vol. 11, No. 10 ,pp. (18571861),(2011).

Ringer S.P. and K.Hono: "Microstructure Evolution and Age Hardening in Aluminium Alloys: Atom Prob Field-Ion Microscopy and Transmission Electron Microscopy Studies", Material Characterization, Vol. 44, pp.(101-131) (2000).

Sigworth, K. H. Howell, O. Rios and M. Kaufman, "Heat Treatment of Natural AgeingAluminum Casting Alloys", AFS Transaction, American Foundry Society, pp.(1-12), (2006).