

تأثير تدعيم سبيكة الأساس (Al-Cu-Mg) بحبيبات سيراميكية في قيم الصلادة ومقاومة الكلال

سهامة عيسى صالح، و صاحب مهدي الصفار، وسرمد عماد إبراهيم

قسم هندسة المواد - الجامعة التكنولوجية - بغداد - العراق

المستخلص. تناول البحث الحالي تحضير قضبان طولها ١٣ سم وقطرها ١,٥ سم من مواد متراكبة ذات أساس معدني متمثل بسبيكة (Al-Cu-Mg) مدعمة بدقائق الزركونيا (ZrO_2) من جهة ودقائق الألومينا (Al_2O_3) من جهة أخرى بنسب وزنية مختارة هي: ١:٣،٤،٥،٦٪.

حضرت سبيكة الأساس والمواد المتراكبة بطريقة السبابة باستخدام تقنية الدوامة (Vortex Technique) لتشتيت دقائق التقوية في أرضية سبيكة الأساس ، وقد تم تحضير مجموعتين رئيسيتين من المواد المتراكبة الأولى مادة متراكبة مقواة بدقائق الزركونيا والمتمثلة بالأحجام الحبيبية ($0.05\mu m < p.size < 25\mu m$) بينما تضمنت الثانية مادة متراكبة مقواة بدقائق الألومينا والمتمثلة بالأحجام الحبيبية ($30\mu m < p.size < 0.1\mu m$). وتضمنت الدراسة تأثير المعاملة الحرارية المحلولية عند درجة ٤٩٥°م وعملية التشكيل اللاحقة.

بينت 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 أن هناك زيادة ملحوظة في قيم مقاومة الكلال والصلادة بالنسبة للمادة المتراكبة

المقواة بدقائق الألومينا مقارنة مع المادة المترابطة المقواة بدقائق الزركونيا والتي اكتسبت قيمة أعلى مما هي عليه في السبيكة الأساس.

الكلمات الدالة : مترابك ذات أساس ألمنيوم، دقائق الزركونية والألومينا، مقاومة الكلال، الصلادة.

١ . المقدمة

أجريت تحسينات كثيرة على طرق تصنيع المواد المترابطة ذات الأساس المعدني (Metal Matrix Composite) منها تقنية السباكة الميكانيكية (Mechanical Alloying)^[١] في تحضير مادة مترابطة ذات أساس من الألمنيوم المقوى بالسمنتيت (Fe_3C) وقد أنجزت تحت ظروف تحضير مختلفة (طحن المساحيق، والمعالجة الحرارية للمساحيق، وزمن ودرجة حرارة الكبس الساخن)، وأظهرت نتائج الفحص التوافق الممتاز ما بين مادة الأساس ومواد التقوية المتمثلة بالدقائق. كما واستخدم الباحث (Sanna) وجماعته^[٢] تقنية ميتالورجيا المساحيق (Metallurgy Powder) عند تحضير مادة مترابطة من فولاذ العدة (Tool steel) كمادة أساس مقواة بدقائق NbC، (Wc) بهدف السيطرة على التوزيع المنتظم للدقائق ذات الكسور الحجمية العالية داخل مادة الأساس. واستخدمت تقنية الترشيح بالعصر (Infiltration Squeeze) من قبل الباحث (Mortensen)^[٣] وذلك من أجل الوصول إلى أفضل تغلغل للسائل المعدني في الفراغات البينية لمجموعة من الألياف القصيرة وزيادة تبلل الألياف لمادة الأساس مما أكسب المادة المترابطة خواص أفضل. كما اتجهت البحوث الحديثة إلى دراسة تأثير عناصر السبك ومواد التقوية المضافة إليها، وتضاربت النتائج حول تأثير حجم وشكل مواد التقوية المضافة في آلية التصليد بالتشيت لهذه الدقائق، فقسم من الباحثين يشير إلى أن إضافة مواد التقوية تؤدي إلى تحسين قابلية الإصلاذ بالتعتيق، بينما يشير البعض الآخر إلى عدم تأثير هذه المواد في آلية تصليد هذه

السبائك^[٤]. كما تناولت الدراسات طبيعة السطح البيني، فقد درس (Lou) وجماعته^[٥] التفاعل الحاصل بين دقائق كاربيد التتكتستن (Wc) ومادة الأساس في منطقة السطح البيني، وقد لاحظوا أن سبيكة الأساس المعدنية تتغلغل بين دقائق كاربيد التتكتستن وتتفاعل مع الدقائق خلال عملية التصنيع، وأن خواص منطقة السطح البيني تعتمد على الخواص الفيزيائية والكيميائية لمادة الأساس ودقائق التدعيم الصلدة. وفيما يخص البنية المجهرية فقد درس (Mandal) وجماعته^[٦] تأثير الكسر الوزني لمادة التقوية (TiB_2) على مدى التوزيع الإبري لعنصر السبك (Si) في داخل مادة الأساس (Al-7Si).

وقد لاحظوا أن زيادة الكسر الوزني لدقائق التقوية تؤدي إلى نقصان في النمو للحجم الإبري للسليكون، وقد نسبوا ذلك إلى أن مادة التقوية تعمل على تقليل النمو الإبري للسليكون. وفي مجال المواد المترابطة النانوية (Nano Material Composite) فقد استطاع (Carvalho) وجماعته^[٧] من إنتاج مادة مترابطة نانوية (Cu-FeC) من خلال تحضير مادة مترابطة بطريقة السبك الميكانيكي للعناصر، Fe، (Cu الكرافيت) والمعالجة الحرارية اللاحقة. وشملت الدراسات إمكانية فصل مكونات المادة المترابطة، فقد استطاع (Ravi) وجماعته^[٨] فصل مادة الأساس الألمنيوم عن مادة التقوية (SiC) من مواد الخردة (Scrap) للمترابك (Al-SiC) وذلك بإضافة عامل صهر مساعد ملحي إلى منصهر السبيكة.

وفيما يخص خواص الكلال للألمنيوم وسبائكه والمواد المترابطة، فقد لوحظ أن سلوك الكلال يعتمد على طرق تصنيع المواد وعلى عوامل أخرى منها حالة السطح، و نوع مادة الأساس، و مواد التدعيم ، والكسر الحجمي والحجم الحبيبي لدقائق التدعيم وكيفية توزيعها داخل مادة الأساس، وكذلك المعاملة الحرارية اللاحقة. ففي دراسة حول نمو شقوق الكلال على طول حدود الحبيبات لسبيكة (Al-Mg-Cu) فقد بينت الدراسة أن معدل نمو شق الكلال يقل

بزيادة زمن التعتيق (Aged Time) حيث يترسب المغنيسيوم وينعزل على حدود الحبيبات ويزداد تركيز الهيدروجين عند قمة الشق^[٩]. كما وتمت دراسة معدل نمو شق الكلال لسبيكة (Al 2024-T3) قبل وبعد المعاملة الحرارية الطويلة عند درجة ١٣٠م^{١٠} ولمدة ١٠٠ و ١٠٠٠ ساعة^[١٠] وقد وجد أن معدل نمو شق الكلال يعتمد على اتجاه الفحص ضمن شروط " Cold Worked after Solutionizing and Natural Aging " (T3) ويزول تأثير الاتجاه بعد المعاملة الحرارية الطويلة عند درجة ١٣٠م^{١١}. وفي دراسة حول تأثير المعالجة السطحية في خواص الكلال^[١١] لسبيكة (Al 2024-T3) وسبيكة (Al 7075-T6) لوحظ أن سلوك الكلال متماثل لكلا السبكتين فيما إذا عولجت أو لم تعالج حرارياً. وهناك عدد من الدراسات اهتمت بخواص الكلال للمادة المترابطة ذات اساس من سبائك الألمنيوم اعتمدت على الكسر الحجمي لدقائق التدعيم واغلبها مدعمة بدقائق (SiC)^[١٢-١٤]. وفي دراسة حديثة حول تأثير الكسر الحجمي لدقائق (SiC) على دورات الفشل لسبيكة (2124\Al-Si-Cu) المحضرة بتقنية ميتالورجية المساحيق وسبيكة (AS7G\Al-Si-Mg) المحضرة بتقنية السباكة^[١٥] فقد لوحظ انخفاض مقاومة الكلال للمادة المترابطة ذات الأساس (AS7G) بالمقارنة مع مقاومة الكلال للمادة المترابطة ذات الأساس (٢١٢٤). ومن خلال الفحص المجهرى للعينات بالمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) فقد لوحظ أن بدايات تكون شقوق الكلال للمادة المترابطة ذات الأساس (AS7G) تحدث عند السطح البيني (SiC \ matrix)، كما لوحظ أن هناك أعداداً كبيرة من السطوح البينية تفتقر إلى الارتباط (Debonding) ما بين مادة الأساس (AS7G) ودقائق التقوية (SiC)، وقد عُوْزي هذا إلى الانخفاض الحاصل في مقاومة الكلال للمادة المترابطة ذات الأساس AS7G.

أما البحث الحالي فقد تناول دراسة تأثير إضافة دقائق الألومينا (Al_2O_3) من جهة ودقائق الزركونيا (ZrO_2) من جهة أخرى وبحجوم حبيبية دقيقة إلى

سبيكة الأساس (Al-Cu-Mg) ذات التطبيقات الواسعة^[١٦] ودراسة تأثير الكسر الوزني لكل من دقائق الألومينا والزركونيا في مقاومة الكلال والصلادة للمادة المترابطة والمحضرة بتقنية السباكة بالمزج، علاوة على ذلك تضمنت الدراسة تأثير المعالجة الحرارية المزدوجة على قيم الصلادة لكل من سبيكة الأساس والمادة المترابطة.

٢. الجزء النظري

في دراسة حول تأثير تدعيم الألمنيوم وسبائكه بالحبيبات السيراميكية وتأثيرها في إمكانية تصليد سبيكة (Al-4%Cu) بأكثر من آلية، وذلك بدمج آليتي التصليد بالتشيت والتصليد بالترسيب^[١٧] وباستخدام دقائق الألومينا كمادة تقوية ودقائق المغنيسيا كمادة معززة للتبلل وبنسب ثابتة، فقد لوحظ أن الصلادة المايكروية تزداد مع زيادة نسبة الألومينا لتصل إلى أعلى قيمها البالغة (١٣٦) للسبيكة المدعمة بدقائق الألومينا ذات الحجم الحبيبي (0.5um) وبنسبة وزنية ٥,٠% والمعتقة عند درجة حرارة ١٦٠م°، كما لوحظ أن قيم الصلادة تقل مع زيادة الحجم الحبيبي للدقائق. وفي دراسة أخرى لمادة مترابطة ذات أساس (Cu-1.5%MgAl-4.5%) محضرة بتقنية السباكة^[١٨]، وذلك بتشيت دقائق الألومينا فيها ومن ثم إجراء معالجة حرارية محلولية فقد استنتج أن إضافة الألومينا يؤدي إلى زيادة الصلادة ونقصان معدلات البلى. وفي دراسة أخرى لنفس المادة المترابطة السابقة ولكن بتشيت دقائق من مادة الزركونيا (ZrO₂) وبكسر وزني وحجم حبيبي مختلفين^[١٩] فقد تبين أن ازدياد قيم كل من الصلادة ومقاومة الشد مع زيادة نسبة الزركونيا المضافة قد وصلت إلى أعلى قيمها عند نسبة ٣,٥% وبالغلة (M Pa 255, 557) على التوالي.

كما استخدمت تقنية السباكة في تحضير مادة مترابطة ذي أساس (2219 Al) وذلك بتشيت نسب وزنية مختلفة من دقائق (SiC) فيها^[٢٠]، وتمت دراسة

سلوك البلى الانزلاقي الجاف، وأظهرت النتائج أن معدلات البلى للمادة المترابطة هي أقل من سبيكة الأساس، وتتناقص هذه المعدلات مع زيادة دقائق (SiC). ومن خلال دراسة تأثير التدعيم بدقائق الزركونيا ذات الحجم الحبيبي (0.17um,) في مقاومة الكلال لمادة مترابطة ذات أساس (2124\Al-Si-Cu) وأخرى ذات أساس (AS7G\Al-Si-Mg) فقد لوحظ انخفاض مقاومة الكلال للمادة المترابطة ذات الأساس (AS7G\Al-Si-Mg) إلى (95Mpa) عند دورات الفشل البالغة (10^6) في حين بلغت مقاومة الكلال للمترابطة ذات الأساس (2124\Al-Si-Cu) إلى (363Mpa) عند نفس دورات الفشل، كما لوحظ أن زيادة الحجم الحبيبي لدقائق (SiC) أدى إلى انخفاض في مقاومة الكلال^[١٥].

٣. الجزء العملي

تم تحضير السبيكة الأساس والمكونة من (Al-Cu-Mg) وذلك بصهر قطع من الألمنيوم ذات نقاوة ٩٩,٨% معلومة الوزن، داخل بوتقة من الكرافيت، إلى درجة حرارة ٧٥٠°م، ثم أضيف رايش من النحاس النقي بنسبة وزنية ٤,٥% المحضر مسبقا محفوظا داخل رقائق من الألمنيوم، وبعد ذلك تمت إضافة رايش من المغنيسيوم النقي بنسبة وزنية ١,٥% إلى منصهر السبيكة مع التحريك المستمر، ومن ثم سكب المنصهر في داخل قوالب أسطوانية الشكل مصنوعة من الحديد الصلب و مسخنة مسبقا عند درجة حرارة ٢٥٠°م، ويبين الجدول ١ مكونات السبيكة الأساس.

الجدول ١. التحليل الكيميائي للسبيكة الأساس.

Ti	Zn	Mg	Mn	Cu	Fe	Si	Metal
٠,٠٠٤	٠,٠١٨	١,٤١	٠,٠٠٨	٤,٣٧	٠,١٥	٠,٥٦	Wt%
	Al	Sb	Sn	Pb	Ni	Cr	Metal
	Rem%	٠,٠٢١٨٢	٠,٠٠٤	٠,٠٠١٢٢	٠,٠١	٠,٠٠٢	Wt%

أما المواد المترابطة فقد حضرت بمجموعتين بالاعتماد على مواد التقوية:

أ- المجموعة الأولى (A): مواد مترابطة متكونة من (Al-Cu-Mg) مقواة بدقائق الزركونيا (Zirconia) ذات نقاوة ٩٩,٩٪ ذات أحجام حبيبية مختلفة تتراوح بين ($25\mu\text{m} > \text{Particle Size} \geq 0.05\mu\text{m}$) وبنسب وزنية مختارة (1,3,4,5,6)٪.

ب- المجموعة الثانية (B): مواد مترابطة متكونة من (Al-Cu-Mg) مقواة بدقائق الألومينا (Alumina) ذات نقاوة ٩٩,٩٪ وذات أحجام حبيبية مختلفة تتراوح بين ($30\mu\text{m} > \text{particle size} \geq 0.1\mu\text{m}$) وبنسب وزنية مختارة (1,3,4,5,6)٪.

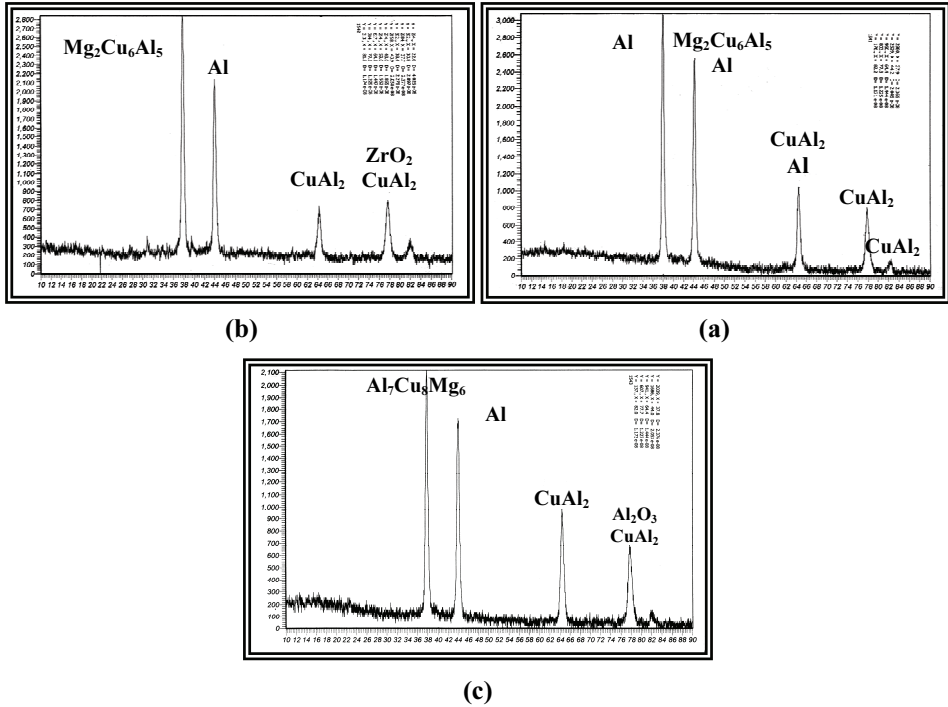
قطعت العينات بطول ١-١,٥ سم كنماذج لاختبار الصلادة والفحص المجهرى و حيود الأشعة السينية واستخدم الباقي من النماذج في تحضير عينات اختبار كل من الكلال و الشد، ولغرض التجانس الحرارى والتخلص من بعض عيوب السباكة كالانعزال ولضمان توزيع الأطوار بشكل متجانس في الصبة فقد أجريت المعاملة الحرارية للنماذج المحضرة لكل من السبيكة الأساس والمواد المترابطة المنتجة وقد تم إجراء المعاملة المحلولية بدرجة حرارة ٤٩٥ °م لمدة أربع ساعات ثم الإخماد بالماء البارد تتبعها بعد ذلك عملية تعتيق صناعي للعينات المخصصة لفحص الصلادة بدرجة حرارة ١٥٠ °م ولمدة ساعتين، ومن ثم تعتيق صناعي بدرجة حرارة ١٧٠ °م والإبقاء فترات زمنية مختلفة ما بين ٠,٥ - ٥ ساعة. وقد فحصت مقاومة الشد القصوى للمادة الأساس وكانت مساوية إلى ٢٦٩,٤ نيوتن/مم^٢.

تم إجراء فحص الحيود الأشعة السينية لمعرفة الأطوار التي تضمنتها السبيكة الأساس والمواد المترابطة بعد إجراء المعاملة الحرارية المحلولية والتعتيق.

٤ . النتائج والمناقشة

٤-١ نتائج فحص حيود الأشعة السينية

من أنماط حيود الأشعة السينية عند درجة حرارة الغرفة لسبيكة الأساس والسبائك المدعمة بدقائق الزركونيا من جهة ودقائق الألومينا من جهة أخرى بعد المعاملة المحلولية والتعتيق والمبينة في الشكل ١ (abc) على التوالي.



شكل ١. أنماط حيود الأشعة السينية بعد المعاملة المحلولية والتشكيل والتعتيق: (a) سبيكة الأساس، (b) المادة المترابطة المقواة بدقائق الزركونيا، (c) المادة المترابطة المقواة بدقائق الألومينا.

ومن الجداول (٢-٤) تتضح الأطوار المتكونة في هذه العينات على التوالي. المترابطة، فضلا عن ظهور دقائق كل من الألومينا والزركونيا. والمتمثلة بالطور الثاني (CuAl_2) والتي توضحها الجداول الثلاث وحسب زوايا

ظهورها، كما يوضح الجدول (٣) ظهور طور الزركونيا عند زاوية (٧٧,٥) و طور الألومينا في الجدول (٤) عند الزاوية (٧٧,٧) كذلك.

الجدول ٢. نتائج فحص حيود الأشعة السينية للسبيكة الأساس (Al-Cu-Mg) بعد السبابة والمعاملة المحلولية والتشكيل والتعتيق عند زمن قدره ساعتين.

2θ	dm (A°)	ds (A°)	Phase	I/I ₀
37.9	2.36	2.34	Al	100
44.2	2.04	2.02	Al	47
44.2	2.04	2.02	Mg ₂ Cu ₆ Al ₅	40
64.4	1.44	1.43	Al	22
64.4	1.44	1.41	CuAl ₂	7
77.8	1.22	1.23	CuAl ₂	16
82.2	1.17	1.17	CuAl ₂	3

الجدول ٣. نتائج فحص حيود الأشعة السينية للمادة المتراكبة التي أساسها سبيكة البحث الحالي (Al-Cu-Mg) والمقواة بدقائق الزركونيا بعد السبابة والمعاملة المحلولية والتشكيل والتعتيق عند زمن قدره ساعتين.

2θ	dm (A°)	ds (A°)	Phase	I/I ₀
37.7	2.37	2.36	Al ₇ Cu ₈ Mg ₆	100
43.9	2.05	2.02	Al	47
64.2	1.44	1.41	CuAl ₂	7
77.5	1.22	1.23	CuAl ₂	16
77.5	1.22	1.26	ZrO ₂	10
81.9	1.17	1.17	CuAl ₂	3

الجدول ٤. نتائج فحص حيود الأشعة السينية للمادة المترابطة التي أساسها سبيكة البحث الحالي (Al-Cu-Mg) والمقواة بدقائق الألومينا بعد السباكة والمعاملة المحلولية والتعتيق عند زمن قدره ساعتين.

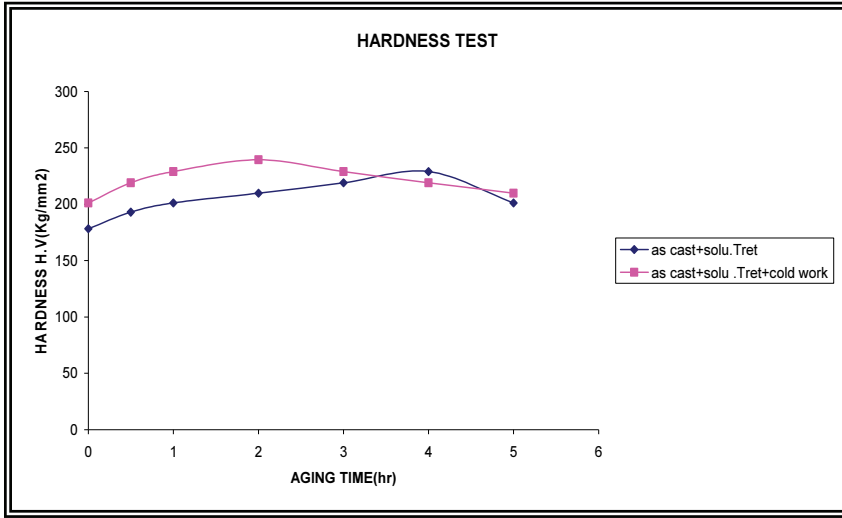
2θ	dm (A°)	ds (A°)	Phase	I/I _o
37.7	2.37	2.36	Al ₇ Cu ₈ Mg ₆	100
44.0	2.05	2.02	Al	47
64.4	1.44	1.41	CuAl ₂	7
77.7	1.22	1.23	CuAl ₂	16
77.7	1.22	1.21	Al ₂ O ₃	10
82.0	1.17	1.17	CuAl ₂	3

٤-٢ نتائج فحص الصلادة للسبيكة الأساس

من خلال الشكل ٣، والذي يوضح تأثير مدة التعتيق في قيم الصلادة للسبيكة الأساس (Al-Cu-Mg) بعد إجراء المعاملة المحلولية عند درجة حرارة (٤٩٥°م) والتعتيق عند درجة حرارة ١٥٠°م ولمدة ساعتين ومن ثم تعتيق لاحق عند درجة حرارة ١٧٠°م، وخلال فترات زمنية تتراوح بين ٠,٥ - ٥ ساعة.

يلاحظ أن صلادة سبيكة الأساس بعد الصب والمعاملة المحلولية تزداد مع زيادة زمن التعتيق لتصل إلى أعلى قيمة لها عند زمن تعتيق مقداره ٤ ساعات ويعود سبب ذلك إلى ترسب دقائق صغيرة جدا من الطور (CuAl₂) حيث تعمل هذه الدقائق على إعاقة حركة الانخلاعات مما يؤدي إلى تصليد السبيكة وزيادة مقاومتها تدريجياً، وعند زيادة مدة التعتيق إلى أكثر من (٤) ساعات يلاحظ انخفاض قيم الصلادة ويعود سبب هذا إلى تجمع الدقائق المترسبة وتكوين جسيمات أكبر حجماً فضلاً عن فقدان انفعالات التطابق بين الأرضية والدقائق المترسبة^[٢١]، علاوة على أن المعاملة الحرارية تعمل على تكوين أطوار وسطية ناتجة عن العمليات الانتشارية لعناصر السبك (النحاس والمغنيسيوم)، وهذا ما

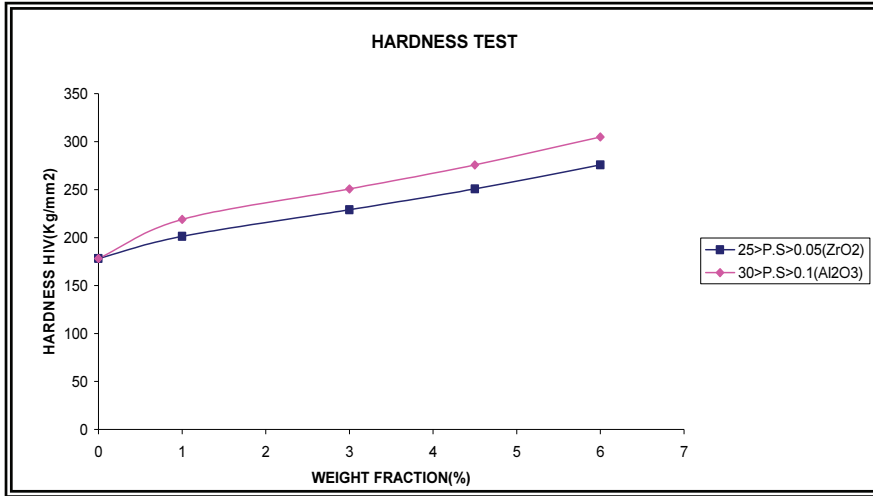
توقعه نتائج فحص حيود الأشعة السينية في الجدول ٣، إذ يلاحظ ظهور الطور (Mg₂Cu₆Al₅) والذي يعمل على تأخير عملية ترسيب الطور (CuAl₂) وبالتالي انخفاض في معدل تشكيل عوائق لحركة الانخلاعات مما يؤدي إلى انخفاض قيم الصلادة.



شكل ٢. تأثير مدة التعتيق في قيم الصلادة للسبيكة الأساس.

أما بعد إجراء عملية التشكيل بعد المعاملة المحلولية نلاحظ زيادة قيم الصلادة للسبيكة الأساس عما كانت عليه قبل التشكيل وانخفاض المدة المطلوبة للوصول إلى قيم الصلادة العظمى، ويعود السبب في ذلك إلى أن عملية التشكيل على البارد تؤدي إلى زيادة عدد عيوب البلورية، مما يزيد من قيم مقاومة الشد وانخفاض اللدونة، كما أن التشكيل على البارد يزيد من سرعة التعتيق بسبب تكون فراغات كثيرة تساهم في سرعة انتشار الأطوار المترسبة أي زيادة سرعة عمليات التحول في البنية التركيبية للسبيكة^[٢١].

أما الشكل ٣ فيبين تأثير النسبة الوزنية لدقائق كل من الزركونيا (ZrO_2) والألومينا (Al_2O_3) المضافة إلى سبيكة الأساس في قيم الصلادة للمواد المترابطة المحضرة والمتمثلة بمجموعتين (A)، (B) بعد إجراء المعاملة المحلولية لها عند درجة حرارة $495^{\circ}C$ ، إذ يلاحظ من الشكل أن قيم الصلادة لسبيكة الأساس تزداد مع زيادة نسب الإضافة لدقائق الألومينا أو الزركونيا لها. إذ تعمل الدقائق التي يزيد حجمها على مايكرون واحد كعوائق لتشويه سبيكة الأساس، وذلك بسبب صلابتها العالية^[٢١]، و تلك التي حجمها أقل من ٠,١ مايكرون والمتشتتة داخل بنية سبيكة الأساس سوف تعمل على إعاقة حركة الانخلاعات المتكونة في مادة الأساس.



شكل ٣. تأثير النسبة الوزنية لدقائق كل من الزركونيا والألومينا المضافة للسبيكة الأساس في قيم الصلادة.

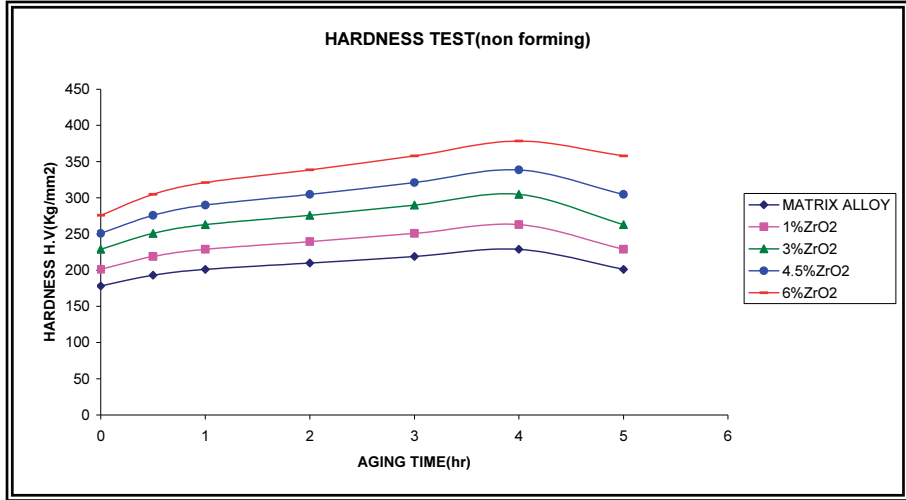
كما أن معدل الزيادة في قيم الصلادة لسبيكة الأساس تزداد مع زيادة نسب الإضافة لكل من دقائق الألومينا والزركونيا، ويمكن توضيح ذلك بأن هذه الدقائق عند توغلها في البنية الأساس وبنسب وزنية وأحجام مختلفة سوف يؤدي إلى تغيير بعض العوامل ومن ضمنها المسافة بين الدقائق .

ويلاحظ من الشكل ٣ أن معدل الزيادة في قيم الصلادة متناظرا في كلا المجموعتين بالرغم من أن قيم الصلادة للمجموعة (B) تزيد قليلا عما هي عليه في المجموعة (A) ويعود سبب ذلك إلى الخواص الميكانيكية العالية لمادة الألومينا مقارنة مع مادة الزركونيا إذ تبلغ مقاومة الشد القصوى (U.T.S) للألومينا 250-550 Mpa وللزركونيا 700-100 MPa على التوالي بينما يبلغ معامل يونك (Young Modulus) للألومينا 392-285 GPa وللزركونيا 160-241 GPa على التوالي^[٢٢].

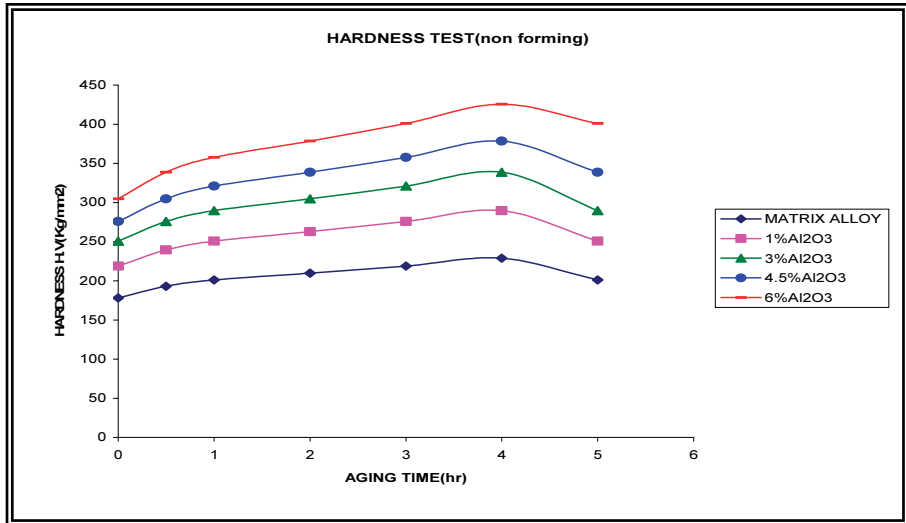
يبين الشكل ٤ أن إضافة دقائق التقوية لا يؤثر في مراحل التعتيق. إذ إن قيم الصلادة لكافة السبائك تزداد مع زيادة مدة التعتيق لتصل إلى قيمها العظمى عند مدة تعتيق مقدارها ٤ ساعات، ويعود السبب في ذلك إلى تفكك المحلول الجامد المفرط التشبع في السبيكة أثناء مراحل التعتيق وظهور الأطوار المستقرة مثل الطور (CuAl₂) والتي تؤدي إلى عرقلة حركة الانخلاء، وبالتالي إلى زيادة قيم الصلادة.

٤-٣ نتائج فحص الكلال Result of Fatigue Test

يبين الشكل ٥ نتائج فحص الكلال للسبيكة الأساس ويلاحظ عند سعة الإجهاد العالية يكون عدد دورات الفشل قليلا نتيجة التشوه المرن - اللدن ("E.P.F.M. Elastic-Plastic-Fracture Mechanism")، الذي يحدث على سطح المعدن وهذا يؤدي إلى نمو الشق الذي يؤدي إلى الفشل، أما عندما تكون سعة الإجهاد منخفضة فإن عدد الدورات المؤدية إلى الفشل تكون عالية نتيجة الفشل المرن المعروف بميكانيكية الكسر الخطي المرن (Linear Elastic Fracture Mechanism "L.E.F.M.") .

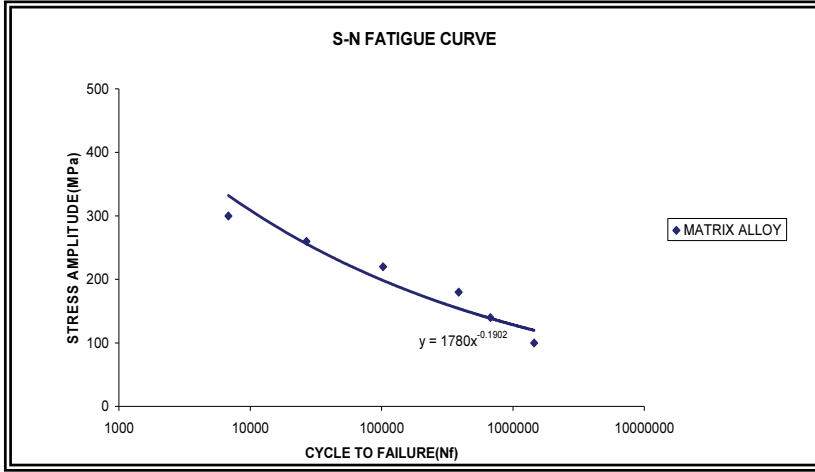


(a)



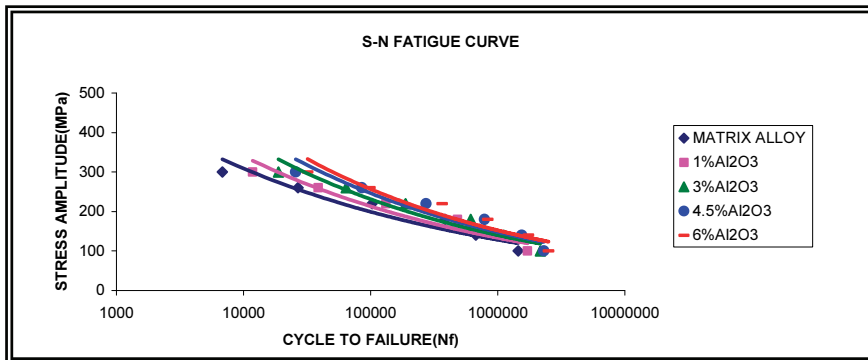
(b)

شكل (٤). تأثير مدة التعتيق الاصطناعي في قيم الصلادة للسبيكة الأساس المقفوة بدقائق الزركونيا (a) والألومينا (b).

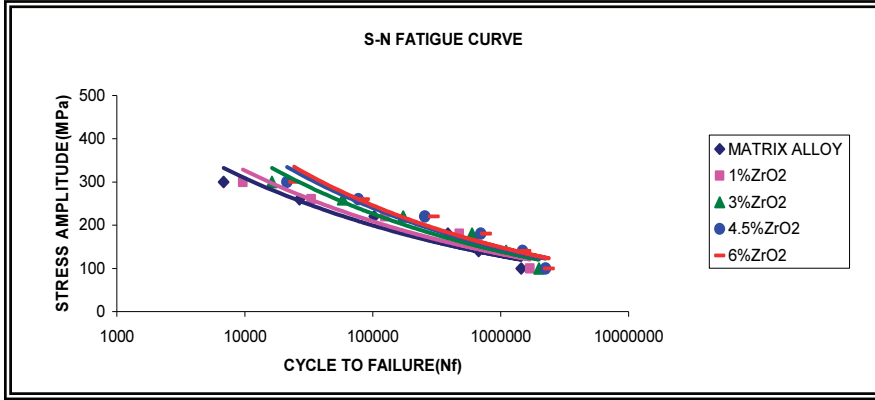


شكل ٥. العلاقة بين سعة الإجهاد وعدد دورات الفشل لسبيكة الأساس (Al-Cu-Mg).

من الشكلين ٦ و٧ لسبيكة الأساس والسباتك المقواة بدقائق الألومينا من جهة ودقائق الزركونيا من جهة أخرى على الترتيب، يلاحظ أن تقوية سبيكة الأساس بدقائق الألومينا أو الزركونيا أدت إلى زيادة مقاومة الكلال عما هي عليه في سبيكة الأساس، وأن معدل الزيادة يزداد مع زيادة النسب الوزنية للدقائق المضافة، هذه الزيادة في قيم مقاومة الكلال تعود إلى طبيعة هذه الدقائق الصلدة والموزعة في سبيكة الأساس بأحجام جزيئية مختلفة، والتي تعمل على زيادة متانة السبيكة خلال آلية الإصلاح بالتشتيت، مما أدى إلى تزايد عدد دورات الفشل للسباتك المقواة بهذه الدقائق.

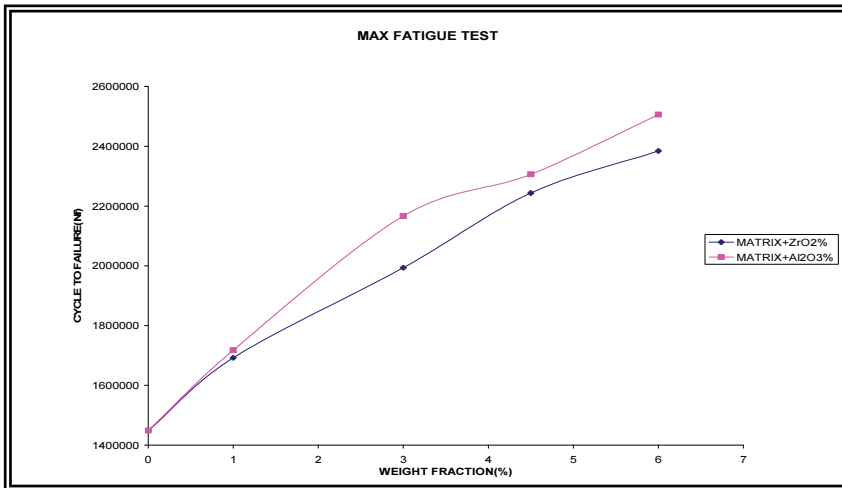


شكل ٦. العلاقة بين سعة الإجهاد وعدد دورات الفشل لكل من السبيكة والسباتك المقواة بدقائق الألومينا وبنسب وزنية (١، ٣، ٤، ٥، ٦) %.

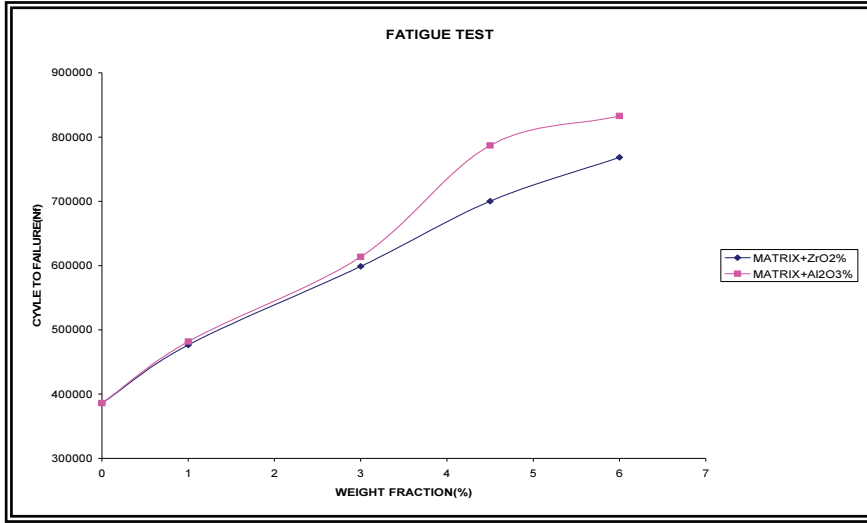


شكل ٧. العلاقة بين سعة الإجهاد وعدد دورات الفشل لكل من السبيكة الأساس والسبائك المقواة بدقائق الزركونيا وبنسب وزنية ١، ٣، ٥، ٤، ٦٪.

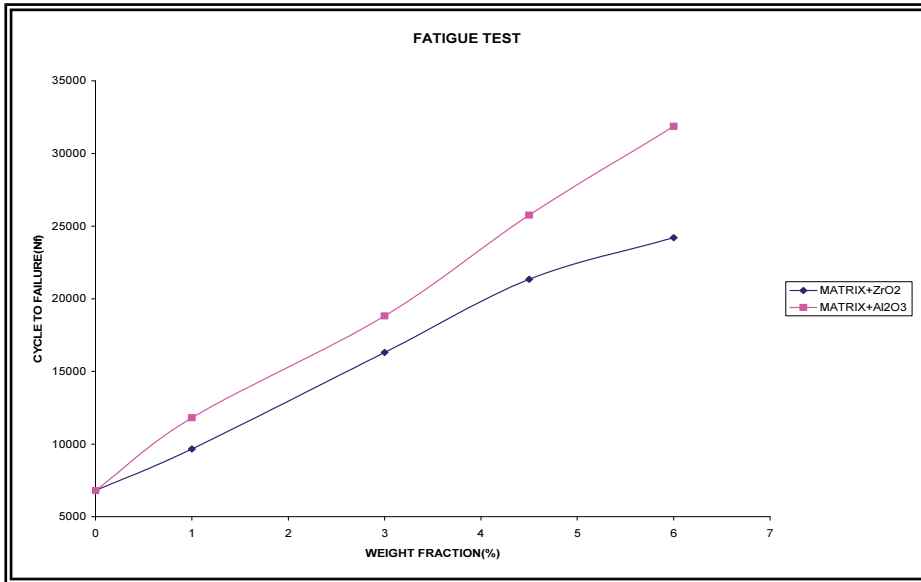
ولتوضيح دراسة تأثير النسب الوزنية المضافة من دقائق التقوية في دورات الفشل للسبائك المحضرة تم إنشاء العلاقة البيانية بين عدد دورات الفشل والنسب الوزنية المضافة لدقائق التقوية بثبوت الإجهاد المسلط والبالغ (100، 180، 300) MPa والمتمثلة بالأشكال ٨-١٠ على الترتيب.



شكل ٨. العلاقة البيانية بين عدد دورات الفشل والنسبة المئوية لدقائق التقوية المضافة بثبوت الإجهاد المسلط والبالغ 100 MPa .



شكل ٩. العلاقة البيانية بين عدد دورات الفشل والنسبة المئوية لدقائق التقوية المضافة بثبوت الإجهاد المسلط والبالغ 180 MPa .



شكل ١٠. العلاقة البيانية بين عدد دورات الفشل والنسبة المئوية لدقائق التقوية المضافة بثبوت الإجهاد المسلط والبالغ 300 MPa .

حيث نلاحظ من هذه الأشكال أن معدل الزيادة في قيم مقاومة الكلال متناظرة في كلتا المجموعتين (A & B) سوى فارق زيادة قليلة في عدد دورات الفشل (Nf) بالنسبة للمجموعة (B) المدعمة بدقائق الألومينا مقارنة مع المجموعة (A) المدعمة بدقائق الزركونيا ويعود سبب ذلك إلى الخواص الميكانيكية العالية التي تتمتع بها دقائق الألومينا مقارنة مع دقائق الزركونيا^[٢٢].

إن الزيادة في الصلادة وعدد دورات الفشل عند فحص الكلال يمكن أن ينسب إلى وجود دقائق الألومينا أو الزركونيا في سبيكة الأساس بنسب وزنية مختلفة تعمل على تغيير المسافة بين لدقائق علاوة على تغيير معدل المسار الحر (m.f.p) والذي يتناسب عكسيا مع الكسر الحجمي للدقائق المضافة وطبقا للعلاقة الآتية^[٢١]:

$$(١) \quad m.f.p = \frac{2d}{3V_p}(1 - V_p)$$

حيث إن:

d: حجم الدقائق (مايكرون).

V_p: الكسر الحجمي للدقائق المضافة.

إن وجود مثل هذه الدقائق ستعمل على إعاقة حركة الانخلاعة، وسوف يكون معدل الإعاقة أكبر عند زيادة النسب الوزنية للدقائق المضافة. ولكي تمر الانخلاعة خلال الدقائق المشتتة في طور سبيكة الأساس لا بد أن يكون الإجهاد المسلط كافيا لحني الانخلاعة. وهذا الإجهاد (T_i) يتناسب عكسيا مع المسافة بين الدقائق (D_p) وحسب العلاقة الآتية^[٢١]:

$$(٢) \quad T_i = \frac{G_m * b'}{D_p}$$

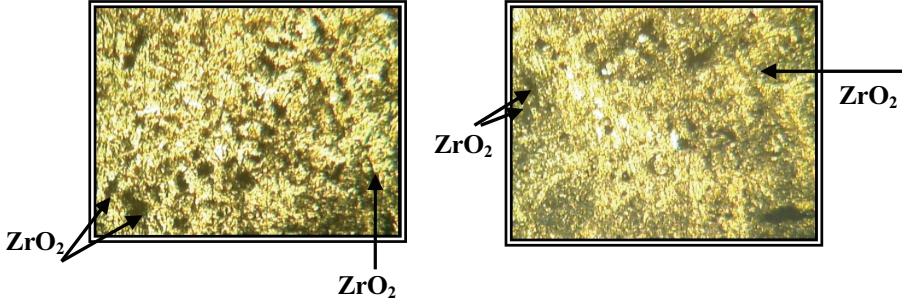
G_m: معامل القص للمادة الأساس.

b': متجه بيرجر.

ويتبين من هذه العلاقة انه عند التشييت المتجانس لدقائق التقوية سوف تقل المسافة بين الدقائق (Dp) مع زيادة نسبة الدقائق المضافة، وعليه سوف يحتاج إلى إجهاد أكبر لمرور الانخلاء خلال هذه الدقائق وبالتالي إلى زيادة قيم كل من الصلادة ومقاومة الكلال.

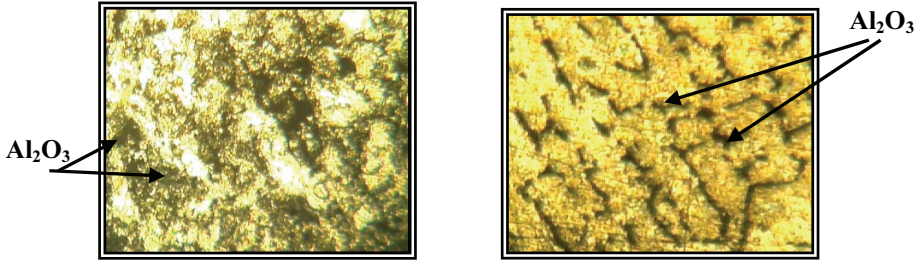
٤-٤ نتائج الفحص المجهرى Result of Microstructure Test

إن البنية المجهرية للسبيكة الأساس (Al-Cu-Mg) قبل وبعد المعاملة المحلولية والتعتيق، عبارة عن محلول جامد (Solid Solution) متكون من النحاس في الألمنيوم وقد لوحظ كبر الحبيبات ووجود عيوب السباكة كالفجوات والانعزال، أما بعد المعاملة فوجد أن السبيكة الأساس عبارة عن حبيبات ناعمة ومتجانسة نوعا ما. فالشكلان (١١) و (١٢) يبينان البنية المجهرية للمادة المترابطة المقواة بدقائق الزركونيا من جهة ودقائق الألومينا من جهة أخرى على التوالي قبل وبعد المعاملة المحلولية والتعتيق، إذ يلاحظ توزيع دقائق التقوية في أرضية مادة الأساس وترسبها على الحدود البلورية وضمن الحبيبات وهذا ما تؤكد نتائج حيود الأشعة السينية بظهور الأطوار المتمثلة بالزركونيا والمبينة في الشكل (1b) والجدول (٣) عند الزوايا (٧٧،٥) وكذلك الأطوار المتمثلة بالألومينا والمبينة في الشكل (1c) يبينها الجدول (٤) عند الزاوية (٧٧،٧)، وكذلك الطور المترسب وتوزيعها بشكل متجانس والذي تؤكد نتائج فحص الأشعة السينية شكل (abc1) والتي تبينها الجداول ٢-٤، التابعة لحيود الأشعة السينية بظهور الطور الثاني (CuAl₂) في سبيكة الأساس والمادة المترابطة، كما يلاحظ أيضا أن دقائق التقوية قد تداخلت ما بين هذه الأطوار.



(a) مادة متراكبة مضافاً إليها (6%) (ZrO_2) قبل المعاملة (b) مادة متراكبة مضافاً إليها (6%) (ZrO_2) بعد المعاملة

شكل ١١. البنية المجهرية للمادة المتراكبة (b,a) المقواة بدقائق الزركونيا قبل وبعد إجراء المعاملة المحلولية. قوة التكبير (320X).



(a) مادة متراكبة مضافاً إليها (6%) (Al_2O_3) قبل المعاملة (b) مادة متراكبة مضافاً إليها (6%) (Al_2O_3) بعد المعاملة

شكل ١٢. البنية المجهرية للمادة المتراكبة (b,a) المقواة بدقائق الألومينا قبل وبعد إجراء المعاملة المحلولية. قوة التكبير (320X)

٥. الاستنتاجات

١- أدت عملية التشكيل والمعاملة الحرارية إلى تقليل مدة التعتيق المطلوبة للوصول إلى قيم الصلادة العظمى لسبيكة الأساس والمادة المتراكبة المنتجة.

٢- إن إضافة دقائق الألومينا (Al_2O_3) من جهة ودقائق الزركونيا (ZrO_2) من جهة أخرى وتشتيتها في بنية السبيكة الأساس أدت إلى زيادة قيم الصلادة وأن نسبة الزيادة تزداد بزيادة نسبة الدقائق المضافة.

٣- التعتيق لمدة مقدارها (٤) ساعات أدى إلى الحصول على قيم الصلادة العظمى لكافة السبائك المحضرة والمدعمة بدقائق الألومينا أو الزركونيا.

٤- إن قيم مقاومة الكلال والصلادة للمادة المترابطة المنتجة أعلى مما هي عليه في السبيكة الأساس، كما تزداد هذه القيم مع زيادة النسب الوزنية لدقائق التقوية المضافة لسبيكة الأساس.

٥- إن قيم مقاومة الكلال والصلادة بالنسبة للمادة المترابطة المقواة بدقائق الألومينا هي أعلى من قيم مقاومة الكلال والصلادة للمادة المترابطة المقواة بدقائق الزركونيا، ولكن في كلتا الحالتين تكون ذات خواص ميكانيكية أعلى مما هي عليه في السبيكة الأساس.

٦- أثبتت نتائج الفحص بحيود الأشعة السينية ظهور دقائق الطور الثاني ($CuAl_2$) في السبيكة الأساس والمادة المترابطة، فضلا عن ظهور دقائق كل من الألومينا والزركونيا.

البحوث المستقبلية

هناك عمل جار بدراسة مقاومة الكلال ومقاومة الشد والصلادة عند درجات استخدام عالية، ودراسة أخرى في نفس المجال باستخدام دقائق الألومينا والزركونيا النانوية. بالإضافة إلى دراسة المعالجة الحرارية المزدوجة على خواص الكلال.

الرموز المستخدمة

(T_i): الإجهاد

V_p : الكسر الحجمي للدقائق المضافة

(D_p): المسافة بين الدقائق

d: حجم الدقائق (مايكرون)

b': متجه بيرجر

(m.f.p): معدل المسار الحر

G_m: معامل القص للمادة الأساس

المراجع

- Chatterjee, U.K. and Dhindaw B.K.**, "Synthesis of Aluminum- Cementite Metal matrix composite by mechanical alloying". *International Conference on Advances in Materials and Materials Processing (ICAMMP-2006)*, 3-5 February (2006) 79-85. [١]
- Ala- Kleme, S., Kivikyto- Reponen, P., Liimatainen, J., Hellman, J. and Hannula, S.**, "Abrasive wear properties of metal matrix composites produced by hot isostatic pressing", *Estonian Acad. Sci. Eng.*, **12**: 445-454(2006). [٢]
- Mortensen, A.**, "Melt Infiltration of metal matrix composites, in comprehensive composite materials", *Metal Matrix Composites*, T.W. Clym (ed.), Elsevier, 3 pp: 521-54 (2000). [٣]
- Massardier, V. and Merle, P.**, "Mechanisms of Interaction Controlling the Kinetics of Zone Formation in MMC" *Materials Science and Eng.*, **A249**: 109-120 (1998). [٤]
- Lou, D., Hellman, J., Luhnlima, D., Liimatainen, J. and Lindroos, V.K.**, "Interaction between tungsten carbide (WC) particulates and metal matrix in WC- reinforced composites", *Mater. Sci. Eng.*, **A340**: 155-162(2003). [٥]
- Maindal, A., Chakraborty, M. and Murty, B.S.**, " Microstructural Evolution of Al-Si Based Composites Reinforced with In – Situ TiB₂ Particles", *International Symposium of research students on Material Science and Engineering (ISRS- 2004) December*, pp:20-22 (2004) chennat. [٦]
- Carvalho, P.A., Fonseca, I., Marque, M.T., Correia, J.B., Almeida, A. and Vilar, R.**, "Characterization of Copper- Cementite nano composite produced by Mechanical Alloying", *Acta Materialia.*, **53**: 967-976(2005). [٧]
- Ravi, K.R., Pillai, R.M., Pai, B.C. and Chakraborty, M.**, " Seperation of matrix alloy and reinforcement from Aluminum metal matrix composites scrap by salt flux addition", *Bull. Mater. Sci.*:**30** 393-398(2007). [٨]
- Tseng, M.K., Jin, Z.H. and Sun, F.C.**, " Effect of Magnisium Segregation To Grain Boundary on Corrosion Fatigue Crack Growth In An Al-Mg-Cu Alloy" *Fatigue 90*, ol.III, *Proceeding of the Fourth International Conference on Fatigue and Fatigue Thresholds, Honolulu, July* (1990). [٩]
- Sarioglu, F. and Orhaner, F.O.** "Effect of prolonged heating at 130⁰C on fatigue crack propagation of 2024 Al alloy in three orientation", *Materials Science and Engineering, A* **248**: 115-119 (1998). [١٠]
- Bystritskii, V., Garate, E., Earthman, J., Lavemia E., Peng, X. and Kharlov, A.**, "Fatigue properties of 2024-T₃And 7075-T₆ aluminium alloys modified using plasma enhanced ion beams", *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, **32**: 47-53(1999). [١١]
- Fouret, C. and Degallaix, S.** "Experimental and numerical study of the low-cycle fatigue behavior of a cast metal Matrix composite Al-SiCp", *International journal of Fatigue*, **24** : 223-232(2002). [١٢]

- [١٣] **Chen, Z.Z. and Tokaji, K.**, "Effect of particle size on fatigueCrack initiation and Small crack growth inCParticulate-reinforced aluminum alloy composite, *Materials Letters*, **58/17-18** :2314-2321(2004).
- [١٤] **Ozdemir, I. andOnel, K.**، "Thermal Cycling behavior of An extruded aluminium alloy /SiCp composite", *Composites*, B35: 379-384(2004).
- [١٥] **Bayraktor, E., Masounave, J., Caplain, R. and Bathias C.**, "Manufacturing and damage mechanisms in metalMatrix composites", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, **31/2**: 294-300(2008).
- [١٦] Norton R.L., "*Machine Design An integrated Approach*" Prentice Hall, USA, 1998 .
- [١٧] عيسى صالح، سهامة، تصليد سبائك الألمنيوم بأكثر من آلية، الهندسة والتكنولوجيا، المجلد الثاني (١٩) :٧-١٨ (١٩٩٣).
- [١٨] الجرجري، عدنان إبراهيم، "تأثير إضافة الألومينا على قابلية الإصلاح بالتشيت لسبيكة الألمنيوم- نحاس"، رسالة ماجستير، هندسة الإنتاج والمعادن، الجامعة التكنولوجية (٢٠٠١).
- [١٩] الجنابي، ميرفت مهدي، "دراسة الخواص الميكانيكية لمتراكبات ذات اساس سبيكة (Al-Cu-Mg)"، رسالة ماجستير، قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية (٢٠٠٥).
- [٢٠] **Basavarajappa, S., Chandramohan, G., Subramanian, R. and Chandrasekar, A.**, "Dry Sliding Wear behaviour of Al 2219/SiC metal matrix Composites" *Material Science Poland*, **24** : 357-363(2006).
- [٢١] **Porter, D.A. and Easterling, K.E.**, "*Phase Transformations in Metals and Alloys*" 2nd.ed.Champan and Hall India(1992).
- [٢٢] **Michael, F. A., David, R. and Jones., H.**, "*Engineering Materials*", Third Edition, Published Elsevier Ltd. Press, Hungary (2005).

Effect of Ceramic Particles Addition on the Hardness and Fatigue Values of the Composite Metal Matrix (Al-Cu Mg)

Sahama E. Salih, Sahib.M.Al-Saffar, and Sarmad I. Ibrahim
*University of Technology- Materials Engineering Department,
Baghdad, Iraq*

Abstract. This research had present the preparation of bars with length of about (13cm) and a diameter of (1.5) cm of composite material with metal matrix represented by (Al-Cu-Mg) cast reinforced by (ZrO_2) or (Al_2O_3) particles with chosen weight percentages (1, 3, 4.5, 6) wt %.

The reference alloy and the composite material were prepared by casting method and using vortex technique in order to disperse reinforced particles homogeneously in the reference alloy. In addition, two main groups of composite materials were prepared depending on the type of reinforced materials, the first group included composite material reinforced by (ZrO_2) particles of Particles size ($25\mu m > p.size \geq 0.05\mu m$), while the second group included composite material reinforced by (Al_2O_3) particles of particles size ($30\mu m > p.size \geq 0.1\mu m$).

The study focused on the effect of solution heat treatment at ($495^\circ C$) and the following forming process. Results of fatigue and hardness tests revealed an increase in fatigue resistance and hardness by addition of reinforced particles.

The effect of type of reinforced particles on the mechanical properties was clearly noted. An increase in fatigue resistance and hardness of composite material reinforced by (Al_2O_3) particles was higher compared to the reinforced by (ZrO_2) particles. Their values were more than in the reference alloy.

Keywords : Aluminum alloys matrix composite, (ZrO_2) and (Al_2O_3) particles, Fatigue strength, hardness.