تأثير عناصر السبك ودرجة الحرارة على متانة الصدمة للسبائك (المنيوم – خارصين – مغنسيوم)

جميل حبيب غازي

التعليم المهني – تربية بابل

الخلاصة

احتلت سبائك الألمنيوم ذات الأساس (ألمنيوم – خارصين – مغنسيوم) مكانة متميزة في التطبيقات الفضائية لما تمتلكه من خواص ميكانيكية وفيزيائية جيدة .

البحث الحالي تمت فيه دراسة ومقارنة متانة الصدمة لأربع سبائك ثلاثية (ألمنيوم – خارصين – مغنسيوم) مع سبيكتين ثنائيتين (ألمنيوم – خارصين) ومعدن الألمنيوم التجاري عند سبع درجات حرارية مختلفة (-5 ، 0 ، 25 ، 100 ، 200 ، 300 ، 400) درجة مئوية، وذلك لتقييم دور عناصر السبك ودرجة الحرارة على المتانة .

وأظهرت النتائج تأثيراً واضحاً لعناصر السبك أكثر من درجات الحرارة في تقليل المتانة .

Abstract

(Al – Zn – Mg) alloys are widely used in aerospace applications, for their good mechanical and physical properties.

The present research represents a study and comparison of impact toughness of four ternary alloys (Al – Zn – Mg) with two binary alloys (Al – Zn) and one commercially pure Aluminum at seven different temperatures (-5, 0 , 25 , 100 , 200 , 300 , 400 C°) in order to evaluate the role alloying elements and the temperature on toughness .

The findings of the present research yield a tangible effect of alloying elements in reducing the toughness more than temperatures .

1. المقدمة

تشكل السبائك (ألمنيوم – خارصين – مغنسيوم) مجموعة مهمة من بين سبائك الألمنيوم القابلة للاصلاد بالترسيب المستخدمة في تطبيقات الفضاء [Rollason 1973 , Plomear 1995 , Hatch 1984] وتمتلك هذه السبائك مقاومة نوعية عالية (المقاومة / الوزن) ومقاومة تآكل جهدي وافية [Fontana 1987 , Rajan et al 1992 , Smith 1993].

تعد طريقة شاربي لقياس متانة الصدمة من الطرائق المبسطة لتخمين قابلية السبائك على مقاومة أحمال الصدمة [Avner 1974 , Dieter and Bacon 1988 , Reedhill and Reza 1994] والتي تتضمن حركة البندول بسرعة عالية (5 meter / second). أما العينة فتعرض إلى حالة جهد الشد ثلاثية المحاور ومعدلات انفعال عالية (10^{-3} S^{-1}) وتركيز إجهادات موضعية عند الحز. إن طريقة شاربي تعطي مؤشراً عن قصافة ومطيلية ومتانة السبيكة أو المعدن التي تعتمد على درجة الحرارة ونوع الإجهاد ووسط الاستخدام [Courtney 1990 , Meyers and Chawla 1999] .

تضمن البحث الحالي دراسة تأثير درجة الحرارة ومكونات السبيكة على متانة السبائك الثلاثية (Al – Zn – Mg)، علماً بان السبائك المستخدمة هي بحالتها المسبوكة والمجانسة .

2. طريقة العمل

حضرت مجلة جامعة بابل / العلوم الصرفة والتطبيقية / العدد (1) / المجلد (18) : 2010

السبائك (ألمنيوم – خارصين – مغنسيوم) سباكةً في قوالب معدنية ثم بردت في الهواء ، وقطعت إلى عينات بأبعاد (60 × 15 × 15 mm) وشغلت العينات استناداً للمواصفات القياسية لفحص الصدمة بطريقة شاربي بأبعاد (55 × 10 × 10 mm) وحز على شكل حرف (V) بزاوية (45°) وعمق (2 mm) ونصف قطر

(0.25 mm) لقاع الحز، ومن ثم جونست العينات عند درجة حرارة (500C^o) لمدة خمس ساعات وتركت بالفرن لتبرد ببطء لكي نحصل على طور متوازن من ($\alpha + \theta$) .

أما اختبار الصدمة فنفذ في درجات حرارية مختلفة(−5، 0، 25، 100، 200، 300 ، 400) درجة مئوية وبفترة مكوث ساعتين عند كل درجة ، إذ أنجزت درجات الحرارة الواطئة (−5 ، 0) درجة مئوية باستخدام ثلج مع مزيج ملحي وقيست درجة الحرارة بواسطة محرار زئبقي، ودرجات الحرارة (100 ، 200، 300 ، 400) درجة مئوية نفذت بفرن كهربائي، وتم استخدام ماء بدرجة حرارة (25) درجة مئوية .

أجريت الاختبارات على الألمنيوم النقي تجارياً والسبيكتين الثنائيتين (Al–5Zn) و (Al–10Zn) للمقارنة مع أربع سبائك ثلاثية(Al – 5Zn – 0.5Mg) و (Al – 5Zn – 1 Mg) و (Al – 10Zn – 0.5 Mg) و(Al–10 Zn–1 Mg).

3. النتائج

يبين الجدول (1) قيم الصلادة الفيكرزية عند درجة حرارة الغرفة للعينات المستخدمة في البحث .

أما الشكل (1) فيبين الطاقة الممتصة عند درجات حرارية مختلفة لسبعة تراكيب كيمياوية. إذ إن الشكل يوضح انخفاض الطاقة الممتصة تدريجياً مع نقصان درجة حرارة الاختبار. ويبدي الألمنيوم النقي تجارياً أعلى متانة عند درجات الحرارة المعطاة، بينما السبيكة (Al – 10Zn – 1Mg) تبدي اوطا متانة. كذلك يظهر الشكل بوضوح انخفاض متانة الصدمة بزيادة محتوى السبائك.

يملك الألمنيوم النقي تجارياً متانة صدمة (40 Joule) عند درجة حرارة (400 C^o) بينما السبيكة (Al – 10Zn – 1Mg) تملك متانة صدمة (13 J) عند نفس درجة الحرارة، وذلك الانخفاض الذي مقداره (27 J) في متانة الصدمة ناشيء عن عناصر السبك. أما عند درجة حرارة (5 - C^o) فبلغت متانة الصدمة للألمنيوم النقي تجارياً (29.5 J) و (11.5 J) للسبيكة (Al – 10Zn – 1 Mg) ، إذ بلغ الانخفاض (18 J) في متانة الصدمة .

إن التغيرات في درجة الحرارة للسبيكة الثلاثية (Al – 10Zn – 1 Mg) من (400 C^o) إلى (5 - C^o) سببت تغيرات في متانة الصدمة من (13 J) إلى (11.5 J) على التوالي، والانخفاض بالمتانة مقداره (1.5 J). أما الألمنيوم النقي تجارياً فامتلك متانة صدمة (40 J) و (29.5 J) عند التغير في درجة الحرارة من (400 C^o) إلى (5- C^o) وبمقدار (10.5 J) هبوط في متانة الصدمة. إن تأثير عناصر السبك أكثر وضوحاً من درجة الحرارة على متانة الصدمة. أما السبائك الثنائية فتاتي قيم متانة الصدمة وسطاً بين قيم المتانة للسبائك الثلاثية وقيمها للألمنيوم النقي تجارياً .

إن سطوح الكسر للعينات تكون باهتة رمادية وهذا مؤشر على السلوك المطيلي، إذ إن بعض العينات لا تتكسر إلى قطعتين .

4. المناقشة

فسر العالم (Cottrell) في عام 1958 السلوك المطيلي للسبيكة أو المعدن بالعلاقة الرياضية الآتية :

$$(\tau_i D^{1/2} + K_ó) K_ó = G\gamma_s\beta \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث τ_i : مقاومة الشبكة لحركة الانخلاعات .

D : حجم الحبيبات .

$K_{\acute{o}}$: معامل يتعلق بالطاقة المتحررة من تجمع الانخلاعات .

γ_s : الطاقة السطحية الفعلية المتضمنة طاقة التشكيل اللدن .

β : النسبة بين جهد القص والجهد الاسمي، وقيمته تساوي واحد عند اللي، ونصف عند الشد وثلث للحز .

G : معامل القص .

وتسري المعادلة لمختلف معدلات الانفعال التي تؤثر على (τ_i). وتعبر المعادلة عن الحالة النهائية لاتساع (انتشار) الشق الناتج من انزلاقات الانخلاعات المكدسة، فإذا كان الطرف الأيسر اقل من الطرف الأيمن فان شقوقاً مجهرية سوف تتكون لكنها لا تنمو ولا تنتشر. أما إذا كانت قيمة الطرف الأيسر من المعادلة (1) اكبر من قيمة الطرف الأيمن فان الشق ينتشر وينمو عندما جهد القص يساوي جهد الخضوع. أما إذا كانت قيمة ($K_{\acute{o}}$) عالية فان السبيكة أو المعدن تنزع إلى الكسر الهش وذلك للتغلب على الانخلاعات المقفلة (المبسمرة)، لذا فان عدد الانخلاعات المتحركة وأنظمة الانزلاق تلعب دوراً مهماً في كبح آلية نمو وتقدم الشق . [Dieter and Bacon 1988 , Reedhill and Reza 1994 , Meyers and Chawla 1999]

إن كمية الانخلاعات المتحركة تكون اقل في المعادن (BCC)، أما المعادن (HCP) فتملك ثلاثة مستويات انزلاق، لكن المعادن (FCC) لها عدد انخلاعات وأنظمة انزلاق أكثر من (BCC) و (HCP) . وبناءً على ذلك فان المعادن والسبائك (FCC) لا يكون مألوفاً تعرضها للكسر الهش. إن متانة الصدمة تكون معتدلة الارتفاع لكل درجات حرارة الاختبار للتراكيب التي تملك بنية بلورية (FCC). أما تأثير البنية البلورية ودرجة الحرارة فتكون الأقل للبحث الحالي في تخفيض المتانة لكن تأثير عناصر السبك يكون صريحاً جداً .

تحدث التقوية بالمحلول الجامد بسبب عناصر السبك والتي تفضي إلى إعاقة حركة الانخلاعات، ومن ثم إقفال حركة الانخلاعات وبالتالي تخفيض المتانة، وهذا يحصل للسبيكة (Al – 10Zn – 1Mg) التي تملك اقل متانة من بين العينات السبع المختبرة بالبحث، كذلك بعض الترسبات قد تتكون والتي تؤثر من ناحية ثانية على حركة الانخلاعات وهذا التأثير غير متوقع لان العينات لم تصلد بالترسيب الاصطناعي أو الطبيعي بل فحصت وهي بحالتها المسبوكة والمجانسة الحرارية، إذ ثبتت درجة الحرارة تحت خط الذوبانية بالبنية المتوازنة المؤلفة من ($\alpha + \theta$) حيث θ تمثل ($MgZn_2$) في السبائك الثلاثية وعند درجات الحرارة الأعلى من (200 ، 300 ، 400) درجة مئوية فوق درجة حرارة الذوبانية تتكون البنية المتوازنة من طور(α) فقط، إذن يمكن توقع تأثير البنية المجهرية أحادية الطور (α) أو ثنائية الطور ($\alpha + \theta$) على المتانة إذ إن الترسبات المتوازنة (θ) تكون غير متطابقة مع (α) كذلك عدد وحجم والمسافات بين الترسبات سببت تخفيض المتانة .

بصرف النظر عن القياسات المنجزة عند أية درجة حرارة مفترضة، المتانة تبقى نفسها بسبب المكونات الدقيقة فبزيادة درجة حرارة الاختبار فان حجم الطور الثاني سوف يتناقص وفوق خط الذوبانية يصبح حجم الطور الثاني صفراً، وبالمحصلة المتانة تزداد بزيادة درجة الحرارة وان تكن قليلة بسبب البنية البلورية (α أو $\theta + \alpha$) المؤلفة من نسب مختلفة من α و θ .

إن زيادة المتانة بسبب تأثير البنية المجهرية ليست المهيمنة مقارنة مع تأثير زيادة درجة الحرارة لكل سبيكة، فبدرجات الحرارة العالية عدد الانخلاعات المتحررة أكثر وبناءً على ذلك فان درجة الحرارة أكثر نفوذاً من المعامل ($K_{\acute{o}}$) و (τ_i) في معادلة كوتريل (Cottrel) وان قيمتهما تكون قليلة بدرجات الحرارة العالية .

إن نتائج البحث الحالي تتوافق مع ما توصل إليه باحثون آخرون [Deschamps et al 1999 , Senkov et al 2005 , Elmas 2002] الذين درسوا تأثير عناصر السبك وطرق التصنيع على الخواص الميكانيكية للسبيكة ذات الأساس (ألمنيوم – خارصين – مغنسيوم) .

5. الاستنتاجات

تم التوصل في البحث الحالي إلى الاستنتاجات الآتية :

1. متانة الصدمة تقل مع انخفاض درجة حرارة الاختبار لكافة التراكيب الكيمياوية السبعة ولو بصورة ضئيلة .
2. تقل متانة الصدمة بزيادة محتوى السبيكة بثبوت درجة الحرارة، إن اقل قيمة للمتانة حصلنا عليها من السبيكة (Al – 10 Zn – 1 Mg) إذ بلغت (13 J) وأعلى قيمة لها (40 J) للألمنيوم النقي تجارياً (بدون عناصر سبك) .
3. لا يحدث تحول من الكسر المطيلي إلى الهش بدرجة الحرارة (DBTT) لكل التراكيب السبعة في البحث ناشئ عن التركيب البلوري (FCC) وبرغم ذلك على انفراد يكون الألمنيوم (FCC)، الخارصين والمغنسيوم (HCP) .
4. تأثير محتوى السبائك في تخفيض المتانة أكثر وضوحاً من التخفيض بسبب درجة الحرارة .

6. المصادر

Avner S. H. (1974): Introduction to Physical Metallurgy, McGraw Hill, Auckland.

Courtney T.H. (1990): Mechanical Behaviour of Materials, McGraw Hill, New York, pp. (461 – 468).

Deschamps A. ; Brechet Y. and Livet F. (1999): Influence of Copper Addition on Precipitation Kinetics and Hardening in Al-Zn-Mg Alloy, Materials Science & Technology, Volume 15 (9), pp. (993 – 1000).

Dieter G.E. and Bacon D. (1988): Mechanical Metallurgy, McGraw Hill, London.

Elmas Salamci (2002): Mechanical Properties of Spray Cast 7xxx Series Aluminium Alloys, Turkish Journal of Engineering and Environment Science, Volume 26, pp. (345 – 352).

Fontana M.G. (1987): Corrosion Engineering, Second Edition, McGraw Hill, New York.

Hatch J.E. (1984): Aluminium, ASM, Ohio.

Meyers M.A. and Chawla K.K. (1999): Mechanical Behaviour of Materials, Prentice Hall Inc., New Jersey.

Plomear I.J. (1995): Light Alloys, Edward Arnold Publisher Ltd., London.

Rajan T.V. , Sharma C.P. and Ashok Sharma (1992): Heat Treatment, Prentice Hall of India , New Delhi.

Reedhill R.E. and Reza Abbaschian (1994): Physical Metallurgy Principles, PWS Publisher Company , Boston.

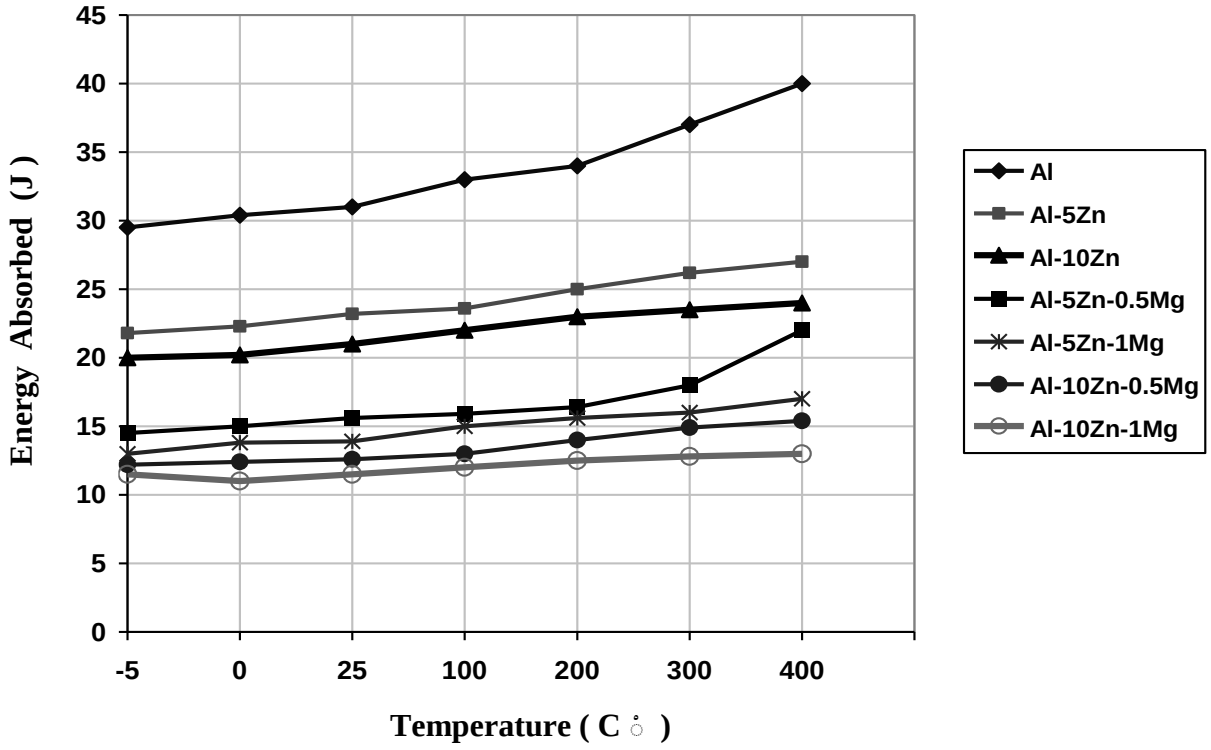
Rollason E.C. (1973): Metallurgy for Engineers, Fourth Edition, Edward Arnold publisher Ltd. , London.

Senkov O.N. ; Bhat R.B. ; Senkova S.V. and Schloz J.D. (2005): Microstructure and Properties of Cast Ingots of Al-Zn-Mg-Cu Alloys Modified with Sc and Zr, Metallurgical Materials Transactions A, Volume 36A, pp. 2115.

Smith W.F. (1993): Structure and Properties of Engineering Alloys, McGraw Hill, New York.

جدول (1) قيم الصلادة الفيكرزية عند درجة حرارة الغرفة لعينات البحث

Material (% wt)	Vickers Hardness (Kg/mm^2)
Al	20
Al – 5% Zn	26
Al – 10% Zn	30
Al – 5% Zn – 0.5%Mg	32
Al – 5% Zn – 1% Mg	48
Al – 10% Zn – 0.5% Mg	45
Al – 10% Zn – 1% Mg	50



شكل (1) العلاقة بين الطاقة الممتصة ودرجة الحرارة لعينات البحث