مجلة التربية والعلم - المجلد (23)، العدد (4)، لسنة 2010

تحضير ودراسة الخواص الفيزيائية والميكانيكية للسبيكة الثلاثية Pb-Sn-Zn عند تركيز اليوتكتك

سهام يونس مصطفى رعد احمد رسول

قسم الفيزياء / كلية التربية

جامعة الموصل

الاستلام 2009 / 10 / 12

القبول 2009 / 11 / 02

Abstract

In this research, we prepared a eutectic ternary alloy from (Pb-Sn-Zn) metals under normal pressure. We investigated some of the physical properties of the alloy and their elements, which are thermal properties (melting point by using a thermal analysis system, specific heat by using mixed method, thermal expansion by using a system made in our laboroutary, mechanical properties (hardness test by using Rockwell manner depending on (E18-84) standard from ASTM ,fatigue strength by using (BS 3518) standard, also we examined specific gravity depending on (C20-83) standard from ASTM. the result of alloy melting point are approximately similar to that issued in the literary with a little difference because of the alloy suffering from high cooling rate in the thermal analysis system. The result of specific heat is high somewhat because of the many problems in the mixing method. The result of thermal expansion is approximately identical to the standard value in the literary because of the high resolution of the system which are (1 μm). The result of mechanical properties showed the hardness value similar to binary eutectic alloy(Pb-Sn),and increases in the hardness value after the heat treatment in the (57-90) ℃ and decreases with increasing heat treatment duration and temperature. The result of fatigue strength showed the absence of fatigue limits and we can't get a precise result because of synergistic many variables in the test which are geometrical shape of the specimen, frequency and the residual stress.

specific gravity results show approximately identical with standard value in the literary which lead to the perfect alloy casting and absence of casting defect.

الخلاصة:

في هذا البحث تم تحضير سبيكة ثلاثية من العناصر (Pb-Sn-Zn) عند تركيز اليوتكتك تحت الضغط الجوي الاعتيادي، وتم فحص الخواص الفيزيائية للسبيكة فضلاً عن العناصر المكونة والتي تضمنت كلا من الخواص الحرارية (درجة حرارة الانصهار) باستخدام منظومة للتحليل الحراري، والسعة الحرارية باستخدام طريقة المزج، وفحص معامل التمدد الحراري باستخدام منظومة مصنعة من قبلنا. وكذلك تم فحص الخواص الميكانيكية والتي تضمنت كلا من فحص الصلادة باستخدام طريقة روكويل وحسب الطريقة القياسية (E18-84) والمعتمدة لدى (ASTM)، وفحص الكلال الذي أجري على وفق المواصفة البريطانية (BS 3518)، كما تم فحص الوزن النوعي طبقا للطريقة القياسية (C20-83) المعتمدة لدى (ASTM)، كانت نتائج فحص درجة حرارة الانصهار مقاربة كثيراً لما تم نشره في دراسات سابقة مع فارق بسيط بسبب معدلات التبريد العالية التي تعانيها العينات داخل المنظومة الحرارية. إما نتائج فحص السعة الحرارية التي كانت عالية نوعا ما مقارنة مع القيم المنشورة بسبب المشاكل التي تعانيها طريقة المزج، أما نتائج فحص معامل التمدد الحراري فكانت مطابقة للقيم القياسية للمعادن وذلك لدقة المنظومة المصنعة والتي بلغت (1 µm)، أما نتائج الفحوصات الميكانيكية فقد أظهرت فحوصات الصلادة قيم مقاربة للسبيكة اليوتكتيكية (Pb-Sn) وبعد إجراء المعالجة الحرارية للسبيكة الثلاثية أظهرت زيادة في قيمة الصلادة في درجات الحرارة ^{o}C (57-90) ثم بدأت بالتناقص تدريجيا مع زيادة الفترة الزمنية للمعالجة ودرجة الحرارة، أما نتائج فحص مقاومة الكلال أظهرت عدم وجود حد للكلال (Fatigue limits) فضلاً عن عدم الحصول على نتائج دقيقة بسبب تداخل متغيرات عديدة منها الشكل الهندسي لعينة التردد أو عدد الدورات الاجهادية التي تتعرض لها العينة في الدقيقة الواحدة وعدم إزالة الاجهادات المتولدة فيها أثناء عملية الصب، إن نتائج فحص الكثافة أظهرت قيم مقاربة مما يدل على مثالية العينات المصبوبة وخلوها من عيوب الصب.

المقدمـــة :

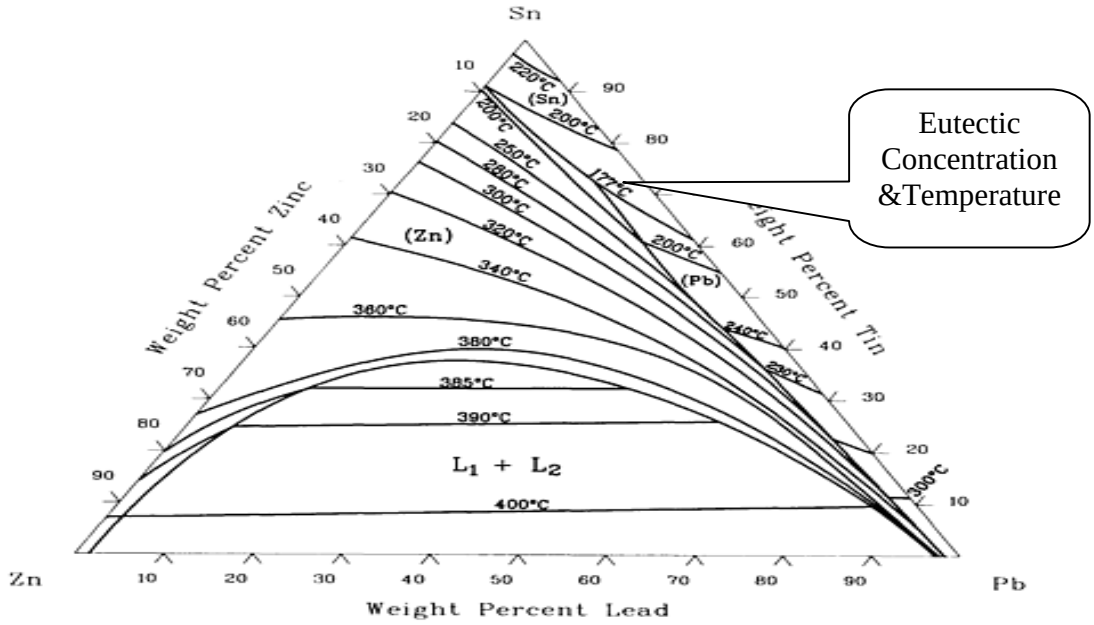
احتلت المعادن والسبائك على وجه الخصوص أهمية كبيرة في مختلف نواحي الحياة وزادت الحاجة إليها مع تطور المجتمعات، ودفعت صناعة السبائك إلى إحداث ثورة في عالم

المواصلات والاتصالات والتصنيع، ساهمت في تقدم البشرية ودخلت السبائك في جميع الصناعات الخفيفة والثقيلة [1]. تعد سبائك اللحام (solder) العنصر الأساسي الذي لايمكن الاستغناء عنة في ربط القطع الالكترونية في البطاقات الالكترونية المطبوعة (PCB)، أما في الوقت الحاضر فأن كثيراً من الوحدات الكهربائية والالكترونية أصبحت محمولة على السيارات وهي تختلف عن القطع الاليكترونية الموجودة في الأماكن الداخلية (indoors) إذ أن مفاصل اللحام الموجودة في السيارات تستخدم تحت ظروف حادة من درجات الحرارة والتي تتراوح مابين (-30 ºC to 176 ºC)، ولضمان الاعتماد على مفصل اللحام فأن الخواص الفيزيائية ومن ضمنها الخواص الميكانيكية لهذه الأنواع من سبائك اللحام يجب أن تكون معروفة [2]، إذ أن العديد من البحوث والأعمال قد أنجزت حول مقاومة الكلال لسبائك اللحام [3,4]. إن سبائك الرصاص والقصدير تظهر اللادونة الفائقة أثناء التحول الطوري من خلال الدراسات الأخيرة التي أجريت على النسب الحساسة للتشوه اللدن فضلاً عن اللادونة الفائقة في سبائك الرصاص والقصدير [5]. كما أظهرت النتائج إرتفاعاً في معدل اللادونة الفائقة للسبيكة اليوتكتيكية الثلاثية المكونة من (Pb-Sn-Zn) مقارنة مع السبيكة اليوتكتيكية الثنائية (Pb-Sn) نتيجة لانخفاض درجة انصهارها أولاً، فضلاً عن تعدد أنواع الحدود البلورية مابين الأطوار فيها والذي قد يؤدي إلى تحسن عملية الانتشار في السبيكة اليوتكتيكية الثلاثية [6]. من المشاكل الشائعة والمكلفة في مجال الصناعات الالكترونية الدقيقة هو فشل اللحام في البطاقات الالكترونية (circuit board) بسبب الحرارة أو الكلال الحراري الميكانيكي لوصلات اللحام، إذ أن تلك الأجهزة تكون معرضة إلى دورة أحمال حرارية تتولد في الدائرة عندما تكون في مرحلة الغلق أو الفتح، إذ أن سبائك اللحام (solder) تعد من ضمن المواد التي لها خاصية الزحف (creep) الواضحة التي تزداد بزيادة درجة الحرارة[7]. كما أن الاختلاف في معاملات التمدد الحراري للمواد يؤدي إلى تحولها في النهاية إلى دورة انفعال (strain cycle) يسهل عندها حصول كلال الدورة البطيئة (low-cycle fatigue) لوصلات اللحام [8]. وقد أجريت دراسة معاملات التمدد الحراري لكثير من سبائك اللحام (solder) لما لها من أهمية في التطبيقات الالكترونية خاصة عند حدوث تباين في معاملات التمدد الحراري لسبيكة اللحام والقطعة لالكترونية والطبقة الوسطية المتولدة (intermetalic compound layers) والذي يؤدي بالنتيجة إلى تعرض سلامة وصلة اللحام الميكانيكية إلى أضرار مؤذية [9 , 10].

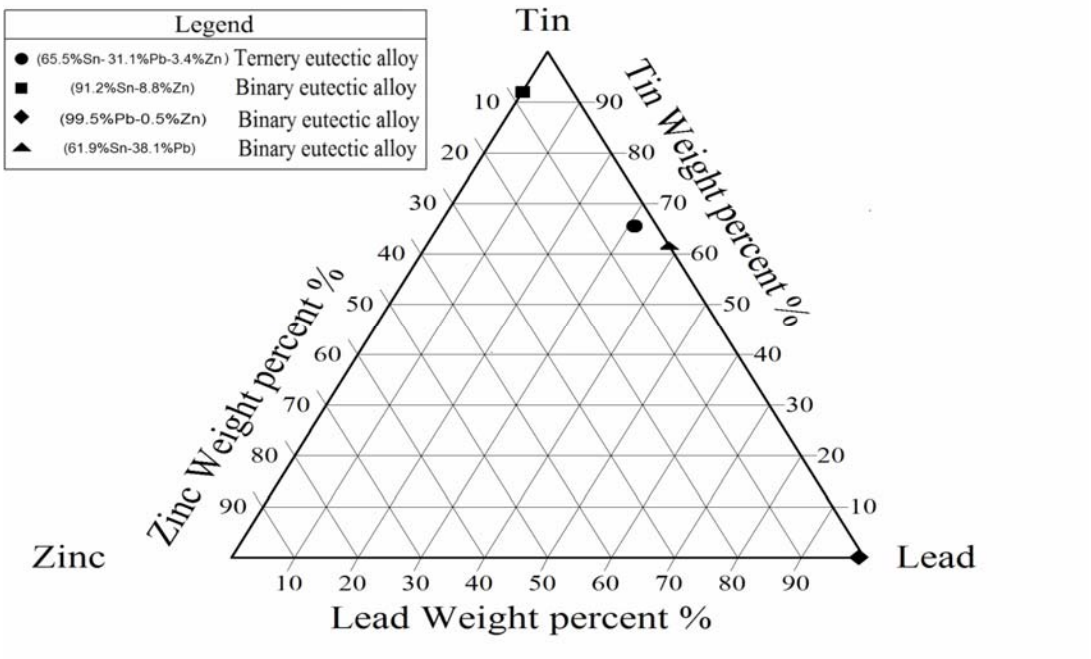
الجزء العملي:

تحضير السبيكة: Alloy Preparation

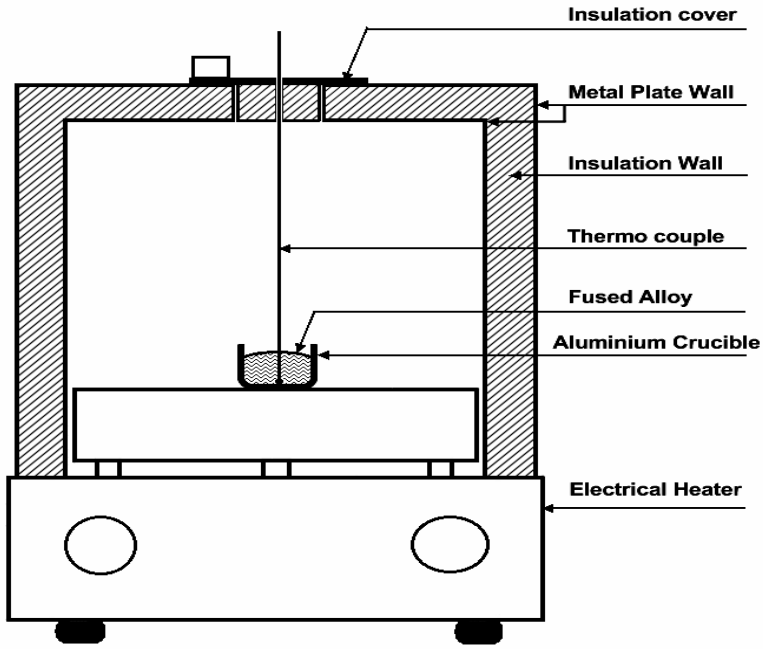
حضرت السبيكة الثلاثية المكونة من النسب الوزنية للعناصر الآتيـة: (Sn 31.1% - 65.5 % Zn 3.4% Pb) بالاعتماد على المخطط الطوري الثلاثي للسبيكة وكما مبـين فـي الـشكل (1) [19, 6]، إذ تم تمثيل التراكيز اليوتكتيكية للسبائك الثنائية والثلاثية وكما مبين فـي الـشكل (2) ويظهر فيه درجة حرارة اليوتكتيك والتي بلغت (177^oC) لزيادة التوضيح، و باسـتخدام ميـزان الكتروني ذي حساسية (0.001 gm) تم وزن نسب السبيكة الثلاثية، بعدها تمت عمليـة صـهر مكونات السبيكة مع بعضها باستخدام بوادق من الألمنيوم واستخدم لهذا الغرض منظومة تـسخين حرارية معزولة حرارياً ومزودة بمنظم لدرجة الحرارة [11] وكما مبين في الشكل (3).



شكل (1): المخطط الطوري للسبيكة الثلاثية (Zn-Pb-Sn)



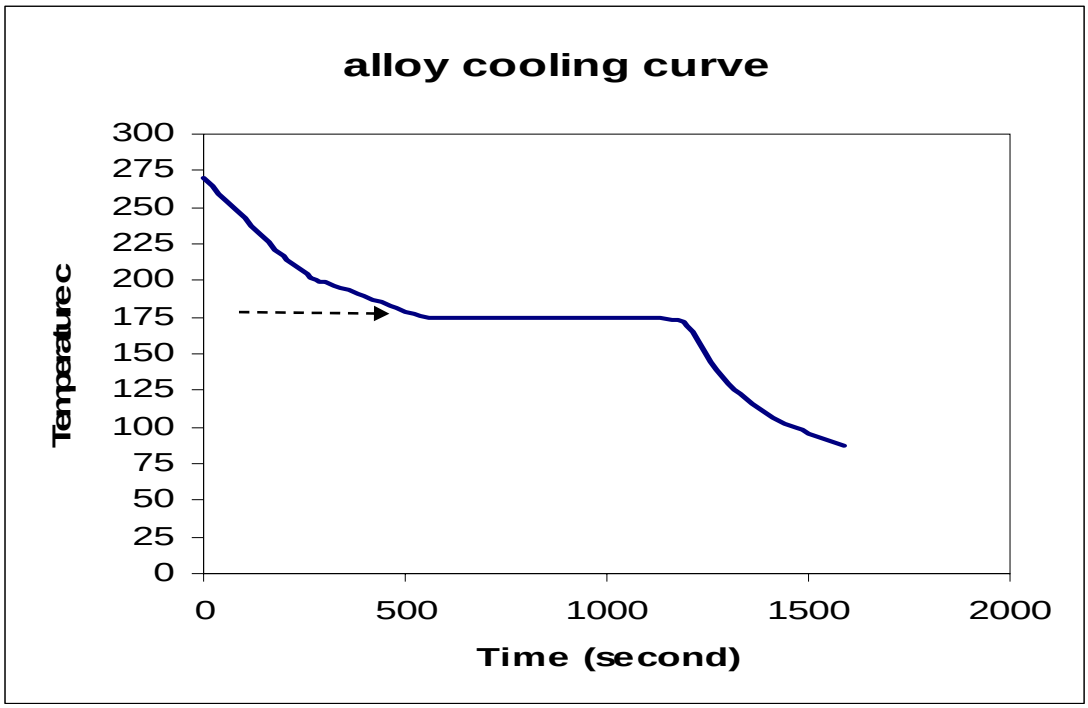
شكل (2): تركيز السبائك اليوتكتيكية



شكل (3): منظومة تسخين مزودة بمنظم لدرجة الحرارة

فحص التحاليل الحرارية : Thermal Analysis: Test

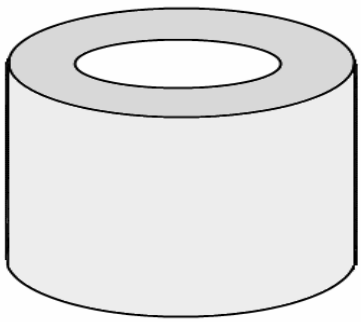
لقد أجريت قياسات درجة حرارة التحـول مـن الحالـة الـسائلة إلـى الحالـة الـصلبة (phase transition temperature) أو مايسمى بدرجة الانصهار عن طريق استخدام مـسخن كهربائي مجهز بمنظم لدرجة حرارة التسخين. إذ ترفع درجة حرارة السبيكة إلى ($50\ ^oC$) فـوق درجة الانصهار ومن ثم رصد التغير في درجة الحرارة مع الزمن أثناء عملية التبريـد وبمعـدل قراءة لكل (20 Sec). تم استخدام مقياس الكتروني لدرجة الحرارة بدقة ($0.1\ ^oC$) وساعة توقيت لإجراء عملية الرصد. ولتقليل معدلات التبريد التي تعانيها العينة أثناء تنفيذ الاختبار تـم تغليـف المسخن الكهربائي بغلاف معدني مزدوج مبطن من الداخل بمادة الصوف الزجاجي العازلة كمـا يحتوي الغلاف المعدني على فتحة صغيرة من الأعلى لتسهيل إدخال نماذج الفحص وإخراجهـا، فضلاً عن المزدوج الحراري الخاص بالقياس وكما مبين في الشكل (2)، بعدها تم رسـم علاقـة بيانية ما بين درجة الحرارة على المحور Y-axis والزمن على المحور X -axis أو ما يسمى بمنحني التبريد cooling curve، من هذا المنحني حددت درجة الحرارة والتي بلغت (176^oC) التي حدث عندها التحول من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة وكما مبين في الشكل (4).



شكل (4): منحني التبريد الذي يوضح التحول من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة

فحص الصلادة : Hardness Test

أجري فحص الصلادة على السبيكة المحضرة فضلاً عن إلى العناصر المكونة لها باستخدام طريقة روكويل وحسب الطريقة القياسية (E18-84) المعتمدة لدى (ASTM) ووفقا لهذه المواصفة استخدم المقياس (R) الذي يستخدم كرة فولاذية بقطر (12.7 mm) وبحمل رئيس (60 Kgf) قسم إلى (10 Kgf) حمل ابتدائي و(50 Kgf) حمل ثانوي وكانت العينة بشكل اسطواني بأبعاد(h=15 mm , D=15 mm) واستخدم لعملية الصب قالب حديدي وكما مبين في الشكل (5)، تم فحص ثلاث عينات من السبيكة المحضرة، وبعد صب السبائك داخل القالب الحديدي أجريت عملية التلدين الحراري على السبائك وبدرجات حرارية مختلفة وهي (57,90,140)^{o}C ولفترات زمنية مختلفة وكانت النتائج كما مبين في الجداول (1) و (2).



شكل (5): قالب صب حديدي

جدول (1): قيم الصلادة للسبيكة الثنائية والثلاثية عند اليوتكتيك وعناصرهما

The Sample kind	Hardness
Pure(Pb)	HR66.5R
Pure (Sn)	-
Pure (Zn)	HR101R
Pb-Sn (eutectic)	HR96R
Pb-Sn-Zn (eutectic)	HR97R

جدول (2) : قيم صلادة السبيكة الثلاثية اليوتكتيكية معاملة بدرجات حرارية مختلفة

Annealing time (hour)	Hardness annealing temp. 57 ^{o}C	Hardness annealing temp. 90 ^{o}C	Hardness annealing temp. 140 ^{o}C
0	HR97R	HR97R	HR97R
3	HR99R	HR99R	HR96R
12	HR98R	HR95R	HR94R
24	HR94R	HR93R	HR92R

فحص الوزن النوعي : Specific Weight Test

حسبت كثافة السبيكة وكذلك للعناصر المكونة لها بطريقتين: الطريقة الأولى باستخدام قاعدة أرخميدس وهي طبقا للطريقة القياسية (C20-83) المعتمدة لدى (ASTM)، وبهذه الطريقة تم وزن العينة في الهواء (W1) ثم وزن العينة داخل الماء المقطر (W2) وبتطبيق القانون (1) يستخرج الوزن النوعي للعينة بشكل مباشر، أما الطريقة الثانية فهي تطبيق لقانون الكثافة العام وكما في المعادلة (2) إذ (A) مساحة القاعدة و (L) طول العينة و(ρ) كثافة العينة وكانت النتائج مبينة كما في الجدول (3).

$$SG = \frac{W1}{W1 - W2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

إذ SG - تمثل الوزن النوعي السبيكة

$$\rho = \frac{W1}{A \times L} \quad \frac{gm}{cm^3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

جدول (3) : الوزن النوعي للسبيكة الثلاثية والثنائية عند اليوتكتيك وعناصرهما القياسية والمقاسة

The Sample kind	Standard specific weight	Measured specific weight	Measured Density gm/cm^3
pure (Pb)	11.3	11.29	11.24
pure (Sn)	7.17	7.16	7.29
Pure (Zn)	7.14	7.14	7.11
Pb-Sn (eutectic)	8.52	8.38	8.23
Pb-Sn-Zn (eutectic)	-	8.14	8.11

فحص السعة الحرارية : Specific Heat Test

تم أجراء فحص السعة الحرارية للسبيكة المحضرة فضلاً عن إلى العناصر المكونة لها وذالك بطريقة المزج [13]، إذ استخدم مسعر المزج من النحاس مع غطاء خشبي فيه فتحتان الأولى لإدخال المقياس الحراري الزجاجي والأخرى لإدخال محرك المزج والمسعر مغلف من الخارج بمادة الصوف الزجاجي لضمان العزل الحراري للمسعر، واستخرجت السعة الحرارية وفق القانون الآتي:

$$S_s = \frac{m_1 \times S_C \times (t_m - t_1) + m_3 \times S_W \times (t_m - t_1)}{M \times (t_2 - t_m)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

إذ:

(m_1)- كتلة المسعر، (m_3)- كتلة الماء، (M)- كتلة العينة المراد فحصها.

(t_1)- درجة الحرارة الابتدائية للمسعر والماء، (t_2)- درجة حرارة العينة.

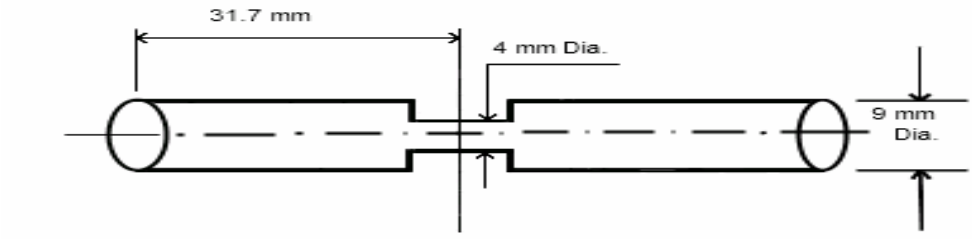
(t_m)- درجة حرارة المزيج النهائي، (S_c)- السعة الحرارية للمسعر، (S_w)- السعة الحرارية للماء، (S_s)- السعة الحرارية النوعية للعينة.

جدول (4) : قيم السعة الحرارية النوعية للسبيكة الثلاثية والثنائية عند اليوتكتيك وعناصرهما الفيلسية والمقاسة

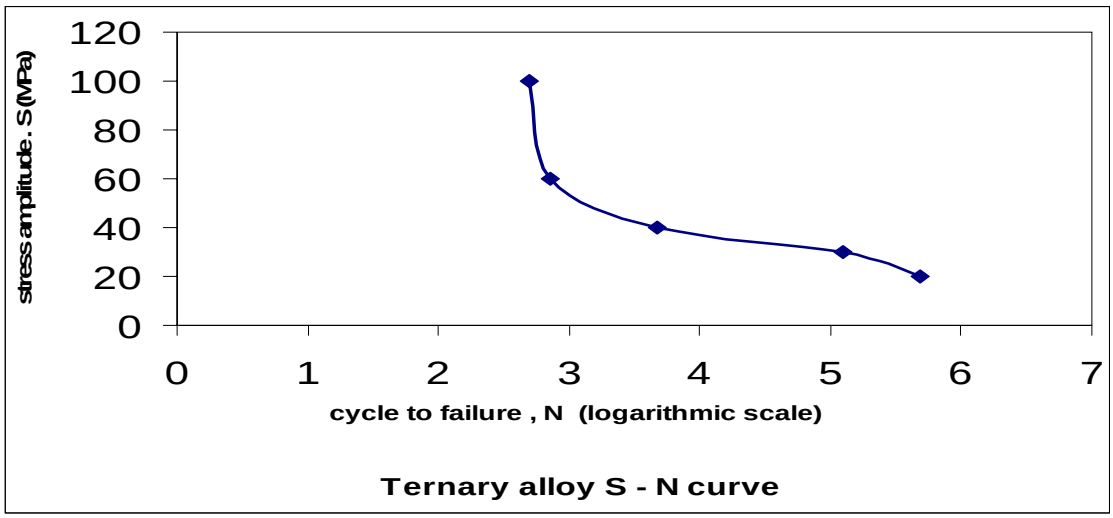
The Sample kind	Standard specific heat J/Kg.^{o}C	Measured specific heat J/ Kg.^{o}C
Pure(Pb)	130	138,4904
Pure(Sn)	222.1	226.313
Pure(Zn)	390	396.225
Pb-Sn(eutectic)	150	155.98
Pb-Sn-Zn(eutectic)	-	230.385

فحص الكلال : Fatigue test

تم أجراء فحص الكلال على السبيكة المحضرة على وفق المواصفة البريطانية (BS 3518) وأجري الفحص على جهاز من نوع (HSM19 mk3)، ومن مواصفات هذا الجهاز هو فحص العينات من طرف تحميل واحد (cantilever rotating bending)، وعدد الدورات كان بحدود (5000 rpm)، إذ تم صب السبائك داخل قوالب اسطوانية من معدن الألمنيوم، بعدها تم تشغيل الانموذج على ماكينة الخراطة للحصول على شكل الانموذج المطلوب للفحص وهو من نوع الحز المسبق (notched) وكما مبين في الشكل (6)، كما تم إجراء عملية التنعيم على سطح النماذج بأوراق تنعيم (500 و800) مايكرو على التوالي وذلك لضمان تقليل خشونة السطح، وقد تم تمثيل نتائج الفحص بيانياً لاستخراج مخطط (الإجهاد - عدد الدورات) وكما مبين في الشكل (7).



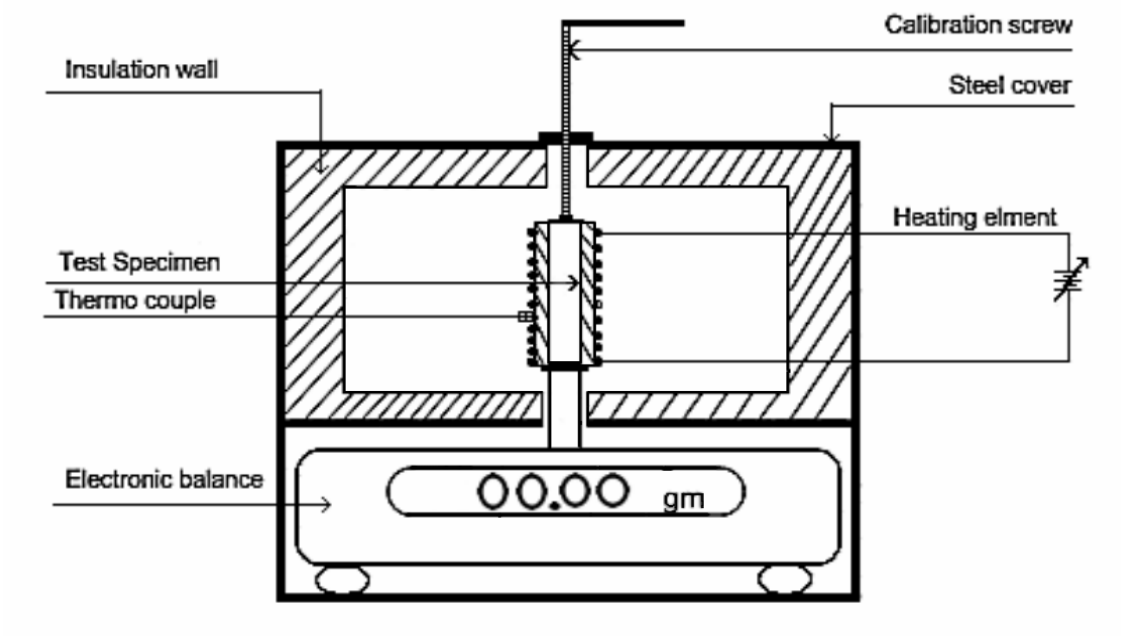
شكل (6): عينة فحص الكلال



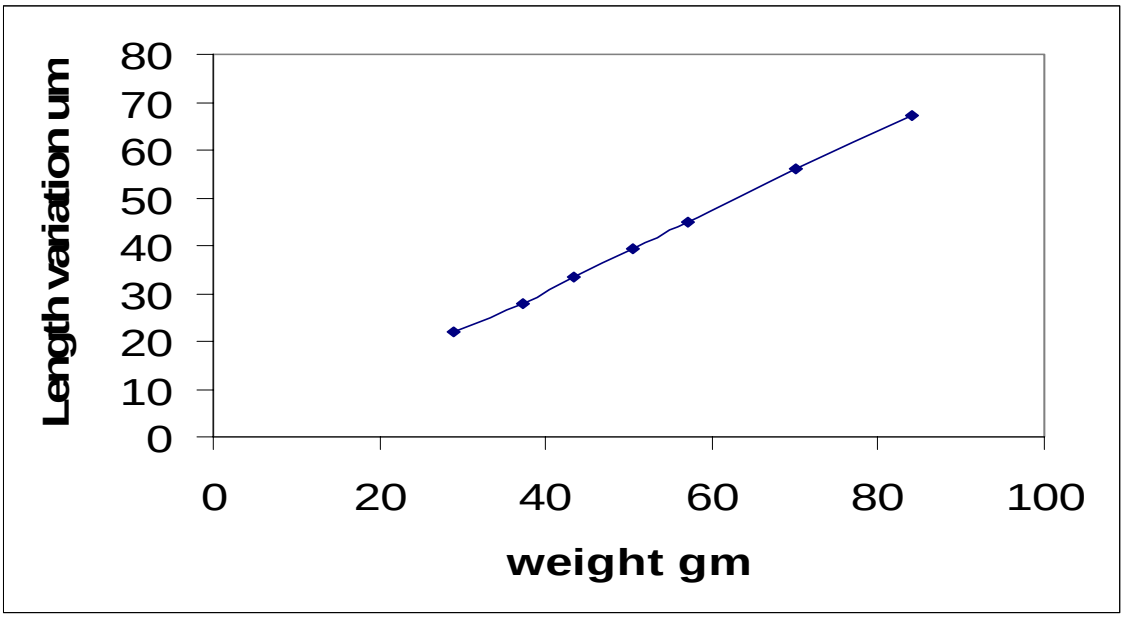
شكل (7) : منحني الإجهاد مع عدد الدورات

فحص التمدد الحراري : Thermal expansion test

تم قياس معامل التمدد الحراري للسبيكة المحضرة فضلاً عن إلى العناصر المكونة لها بواسطة جهاز تمدد حراري تم تصميمه وتنفيذه من قبلنا كما مبين في الشكل (8)، والجهاز مكون من ميزان الكتروني حساس (0.01 gm) محاط من الخارج بغلاف معدني سميك ومغلف من الداخل بجدار من مادة عازلة، إذ ثبتت العينة المراد فحصها في الداخل بين فك خلية الحمل للميزان (Load cell) وبين فك صامولة المعايرة وأحيطت العينة بسلك حراري مربوط إلى الخارج بمجهز قدرة ثابت، كما ربط إلى سطح العينة مزدوج حراري لقياس درجة الحرارة، تم معايرة الجهاز على أساس استخدام عينات قياسية ذات قيم تمدد حراري معلومة وهي (النحاس والألمنيوم والحديد) وذلك للحصول على قيمة التغير بالطول وما يقابلها من تغير في قراءة الميزان الحساس، ويبين الشكل (9) المحور العمودي الذي يمثل التغير بالطول للعينات القياسية عند درجات حرارية مختلفة والمستخرجة من قيم معاملات التمدد الحراري للعينات القياسية، أما المحور الأفقي فيمثل قراءات الميزان الحساس عند نفس قيم درجات الحرارة المستخدمة في قراءات المحور العمودي وان ميل هذه العلاقة البيانية كان (0.8 µm/gm). بعدها تم إجراء فحص التمدد الحراري على السبيكة المحضرة فضلاً عن إلى العناصر المكونة لها عند درجات حرارية مابين ^{o}C (25- 90)، وكما مبين في الجدول (5).



شكل (8): منظومة قياس معامل التمدد الحراري



شكل (9): منحني التغير في الطول مع ا لوزن للسبيكة الثلاثية

جدول (5): قيم التمدد الحراري للسبيكة الثلاثية والثنائية عند اليوتكتيك وعناصرهما

The Sample kind	Standard Thermal Expansion $10^{-6}(^{o}C)^{-1}$	Measured Thermal Expansion $10^{-6}(^{o}C)^{-1}$
Sn	23.8	23.6
Pb	29.3	29.1
Zn	23.0-32.5	-
Sn-Pb	24.0	23.9
Sn-Pb-Zn	-	24.5

المناقشة:

فحص التحاليل الحرارية

بينت النتائج التي حصلنا عليها في هذا البحث على درجات انصهار المعادن والسبيكة المحضرة باستخدام طريقة منحنيات التبريد المبينة في الشكل (4). ان هناك اختلافاً قليلاً في درجات انصهار السبيكة المحضرة فضلاً عن إلى المعادن المشتركة في تركيبها مقارنة مع درجات الانصهار القياسية لها.

إن أسباب هذا الاختلاف كثيرة ومتعددة منها أسلوب رصد درجة الحرارة الذي أجري باستخدام المزدوج الحراري، إذ أن تلك المزدوجات الحرارية تفتقر إلى الحساسية الدقيقة لدرجات الحرارة، فضلاً عن أن عزل منظومة الصهر المستخدمة كان ليس تاماً 100% لكي يتم رصد درجة حرارة التغير الطوري بشكل دقيق مما يؤدي إلى ارتفاع معدلات التبريد الذي تعانيه العينة ومن ثَم انخفاض في درجة حرارة التغير الطوري، وأن الأسباب الرئيسة الأخرى لهذا الاختلاف ترجع إلى نقاوة العناصر المعدنية ووجود الشوائب فيها والتي تؤدي إلى تغير في الطاقة الحرة للمحلول السبائكي الصلب و ومن ثَم انخفاض في درجة حرارة التغير الطوري [14 , 15].

فحص الصلادة

إن أغلب السبائك المنصهرة (fusible alloy) تعاني حالة الأصلاد بالتعتيق (age hardening) ضمن درجة حرارة الغرفة وتختلف قيم التصليد تبعاً لمكونات السبيكة والأطوار الموجودة فيها [17,16]. إن هذه السبائك ومن ضمنها السبيكة المحضرة يتحقق فيها شرط إزدياد قابلية الذوبان للعناصر المذابة في المذيب مع إزدياد درجات الحرارة طبقاً للمخططات الطورية لتلك السبائك وخاصة للمخطط الطوري (Pb-Sn) وكذلك (Sn-Zn) [19].

إن أحد شروط عملية الأصلاد بالتعتيق حدوث عملية الإفراط بالتبريد للسبيكة من هذا النوع إلـى درجة حرارة الغرفة وبزمن قصير ومن ثم أجراء عملية التعتيق لتلك السبائك لتترسـب أطـوار متناسقة (coherent) تنتشر بشكل دقيق ومنتظم خلال السبيكة، من تلك الأطوار تخلـق حولهـا حقول من طاقة انفعالية تعمل على إيقاف حركة الإنخلاعات فيها، عند حـدوث حالـة الإفـراط بالتعتيق تبدأ تلك الجسيمات المترسبة بالنمو وتبعاً لذلك تقل حقول الطاقة الإنفعالية وتكون أطواراً غير متناسقة (incoherent) مما يؤدي إلى هبوط في صلادة السبيكة [17]. الجدول (2) يبـين نتائج فحص الصلادة لثلاث عينات من السبيكة المحضرة لدرجات حرارية C° (90،57، 140). من الملاحظ أنه كلما قل زمن التلدين ودرجة حرارة التلدين أدى ذلك إلى زيادة في قيمة الصلادة عكس ما يحصل عند زيادة زمن التلدين ودرجة حرارة التلدين ويرجع السبب في الحالة الأولـى (زمن التلدين قليل) أن الأطوار المترسبة تبدأ بالنمو ولكن بشكل يضمن زيادة في حقول الطاقـة، وأما في الحالة الثانية (زمن التلدين أطول) فإن نمو الأطوار يكون على حساب هبوط في حقـول الطاقة الانفعالية فتبدأ الصلادة بالهبوط.

فحص الكثافة

بينت نتائج فحص الكثافة للسبيكة والعناصر المكونة لها بالطريقتين أن هناك اختلافات بسيطة بين قيم الكثافات المقاسة وبين القيم القياسية خاصة بالنسبة لطريقة قانون الكثافة العـام ويرجـع السبب إلى أن حجم العينة المقاس أكبر من حجمه الأصلي نتيجة الفجوات الداخليـة والخارجيـة الناتجة من عمليات سباكة العينات في القوالب ومن ثّم فان قيمة الكثافة ستكون واطئة مقارنة مـع نتائج قاعدة أرخميدس التي كانت قريبة من الكثافات القياسية للعناصر والسبائك المفحوصة، أمـا بالنسبة للسبيكة الثلاثية (Pb-Sn-Zn) فكانت قيمة كثافتها قريبة من قيمة كثافة السبيكة الثنائيـة (Pb-Sn) ويرجع ذلك لقلة النسب الوزنية لعنصر (Zn) داخل السبيكة الثلاثية.

نتائج فحص السعة الحرارية

أظهرت نتائج فحص السعة الحرارية للسبيكة و العناصر المفحوصة تبايناً واضحاً في القـيم المستحصلة مقارنة مع القيم القياسية بسبب الأخطاء والمشاكل التي تعانيها طريقة المـزج وهـي هبوط درجة الحرارة (t_2) للعينة المفحوصة إثناء إسقاطها داخل المسعر، عدم كفاءة عزل المسعر الحراري إذ لا يزال هناك تسريب للحرارة من غطاء المسعر بسبب تلامسه مع جـسم المـسعر المعدني هذا فضلاً عن إلى التسريب الحاصل من الهواء المحصور داخـل المـسعر والملامـس

لسطح الماء مع الهواء الخارجي، ملامسة المحرك باليد أثناء عملية المزج مما يؤدي تسرب الحرارة من المزيج إلى الخارج، كل تلك العوامل أدت إلى هذا التباين بين القيم المقاسة والقيم القياسية.

فحص التمدد الحراري

أظهرت نتائج فحص التمدد الحراري للسبيكة المحضرة وبعض العناصر المكونة لها نجاح المنظومة المصنعة ودقتها وذلك من خلال التوافق التقريبي لقيم التمدد الحراري للعناصر مع القيم التمدد الحراري القياسية، أما قيمة التمدد الحراري للسبيكة اليوتكتيكية الثلاثية المحضرة فكانت قريبة من قيم السبيكة اليوتكتيكية الثنائية وذلك بسبب نسبة عنصر الزنك والبالغة (3.4%) والتي لم تؤثر على قيمة معامل التمدد إلا بشكل قليل.

فحص مقاومة الكلال

أظهرت نتائج فحص مقاومة الكلال للسبيكة المحضرة والمبينة في الشكل (7)، إن منحني الناتج خالٍ من حد الكلال (fatigue limits) ولهذا فان تمثيل استجابة الكلال محدد بمقاومة أو بصلابة الكلال (fatigue strength) وهذا النمط من الاستجابة يكون خاصة للمعادن غير الحديدية [18]. إن دراسة مقاومة الكلال للسبيكة المحضرة على وفق المعايير والشروط المذكورة سابقاً أدى إلى تداخل أكثر من عامل أو متغير أثناء عملية الاختبار، من تلك العوامل التردد frequency إذ أن عدد الدورات التي دارت بها العينة كانت (5000 rpm)، وعند وصول عدد الدورات إلى هذا الحد فان ذلك سيؤدي بالطبع إلى رفع درجة حرارة العينة أعلى من القيمة المثبتة فيها بسبب التوهين الداخلي لحلقات الهسترة مما يؤدي إلى رفع درجة حرارة العينة واعطاء قيمة غير حقيقية لمقاومة الكلال للمادة [20 ,21]. أما العامل الثاني فهو الشكل الهندسي للعينة ذو الحز المسبق إذ أظهرت الدراسات التي قام بها Wohler أن قطر منطقة التحول بين الجزء الكبير والجزء الصغير من العينة يلعب دوراً مهماً في عمر مقاومة الكلال للمادة، إذ أنه كلما قل قطر منطقة التحول أدى ذلك إلى زيادة في معامل تمركز الإجهادات (Kt) والذي يمثل مقياساً لتضخم الاجهادات ومن ثَم حدوث شروخ الكلال وحصرها في منطقة التحول [20,18]. ويلاحظ من الشكل (6) أن الزاوية الحادة بين الحز المسبق بقطر (4mm) وانتقالاً إلى القطر الكبير (9mm) يجعل له قطر تقوس قليل جداً والذي يسبب في ارتفاع قيمة (Kt) وهبوط في قيمة مقاومة الكلال. فضلاً عن إلى ذلك فإن عملية الصب التي أجريت على السبيكة وما رافقها من تشغيل ميكانيكي على العينة للحصول على الشكل الهندسي لعينة اللكلال لم يتبعها عملية إزالة الاجهادات إذ تم الفحص مباشرة، وهذا ما أثر سلبياً على نتائج فحص الكلال.

المصادر:

1) K. A. Padmanabhan and G. J. Davies; "Superplasticity mechanical and structural aspects", Berlin Heidelberg New York, P. 44,74 (1980).

2) K. KAWASHIMA, T. ITO, M. SAKURAGI. Strain-rate and temperature-dependent stress-strain curves of Sn-Pb eutectic alloy. JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE 27 (1992) 6387-6390.

3) 1. R.N. WILD, *Weldin9 J. 51* (1972) 521s.

4) H.D. SOLOMON, in "Low-cycle Fatigue ASTM STP942", edited by H. D. Solomon, G. R. Halford, L. R. Kaisand and B. N. Leis (ASTM, Philadelphia, PA, 1988) p. 342.

5) H. E. Cline and T. H. Alden; Trans MIME, 239, 711 (1967).

6) A.A.El – Daly, A.M.Abdel – Daiem, and M. yousef Egypt. j. sol., vol. (23), No.(1), (2000).

7) Christopher Anjevik, Thesis project for the M.S.c. degree in Mechanical Engineering, Chalmers university of Technology, Sweden, 2001.

8) Kuan-Hsun Lu, Low-Cycle Fatigue Behavior of lead-Free Solder, EM388F, Fracture Mechanics, Final Term Paper, 2008.

9) Nan Jiang*, J. A. Clum*, R. R. Chromic** and E. J. Cotts**, THERMAL EXPANSION OF SEVERAL Sn-BASED INTERMETALIC COMPOUND, BINGHAMTON UNIVERSITY.

10) Y. S. Touloukian, Thermal expansion,metallic element and alloy (IFI/plenum, 1975).

11) سهام يونس مصطفى، تحضير ودراسة بعـض الخـواص الفيزيائيـة لـسبائك واطئـة الانصهار، أطروحة ماجستير، الفيزياء التطبيقية، الجامعة التكنولوجية.

12) د. فاضل جاسم، التحاليل الحرارية، جامعة بغداد، 1985.

13) E. Armitage, Practical physics. 6TH. Edition. Reprinted (1968).

14) خواص المواد الهندسية، د. صالح أمين، د. وليد محمد، د. طالب حسين. (1980).

15) د. عبد الواحد كاظم، د. مؤيد داود، التحولات الطورية في المعادن والـسبائك، الجامعـة التكنولوجية.

16) E.S. Hedges, Tin and its Alloy, Edward 129rnold, London (1960).

17) Alan Cottrell, An Introduction to metallurgy, 2nd. Edition, Edward Arnold LTO.

18) William D. Callister, jr, Material Science And Engineering An Introduction.

19) *Alloy Phase Diagrams* published in 1992 as Volume 3 of the ASM Handbook. The Volume was prepared under the direction of the ASM International Alloy Phase Diagram and the Handbook Committees.

20) Ralph I Stephenes, Ali Fatemi, Robert R.Stephens, Henry O.fuchs, METAL FATIGUE IN ENGINEERING, john wiley & sons, 2001

21) T.B. Adams, Cumulative Damage Of a Rpeated High Frequency Vibratory Loading, M.S. thesis, The University Of Iowa, 1991.