

## مقارنة بعض الخواص الفيزيائية للخليطتين $\text{Sn93Sb5Zn2}$ , $\text{Sn93Sb5Bi2}$ المحضرتين بالتبريد السريع

### تيسير الزامل

أستاذ مشارك، الفيزياء، جامعة حلب في المناطق المحررة، سوريا  
ztrtmama@gmail.com

### الملخص

قمنا بتحضير الخليطتين المعدنيتين  $\text{Sn93Sb5Zn2}$ ,  $\text{Sn93Sb5Bi2}$  بطريقة التبريد السريع للمصهور، ثم قمنا بدراسة بعض الخواص الفيزيائية لهما، حيث تم حساب الكثافة وحجم وحدة الخلية، كما قمنا بقياس المقاومة الكهربائية ومن ثم تحديد المقاومة النوعية الكهربائية ومعامل درجة الحرارة للمقاومة النوعية الكهربائية، حسبنا بعدها معاملات فيرمي. استخدمنا التحليل الحراري التفاضلي لدراسة الخواص الحرارية، واستخدمنا طريقة تردد التجاوب لحساب المعاملات الميكانيكية، وقسنا القساوة استخدام جهاز فيكرز لتحديد القساوة.

أظهرت النتائج أن الخليطة  $\text{Sn93Sb5Zn2}$  تتمتع بمقاومة نوعية كهربائية أكبر من المقاومة النوعية الكهربائية للخليطة  $\text{Sn93Sb5Bi2}$  وبالتالي فإن الناقلية الكهربائية للخليطة  $\text{Sn93Sb5Bi2}$  أفضل وكذلك خواصها الإلكترونية. أما الخواص الحرارية فأظهرت النتائج أن خليطة الزنك تتمتع بدرجة حرارة انصهار وحرارة نوعية وناقلية حرارية أصغر، أما الانتشارية الحرارية والانتالبية فكانت أكبر مقارنة مع خليطة البزموت. ومن النتائج الميكانيكية تبين لنا أن خليطة الزنك تتمتع بقساوة أكبر ومعامل يونغ أكبر وباحتكاك داخلي أقل وبالتالي خواص ميكانيكية أفضل من خليطة البزموت.

**الكلمات المفتاحية:** الخلائط، التبريد السريع، القساوة، معاملات فيرمي.

## Comparing some physical properties of Sn<sub>93</sub>Sb<sub>5</sub>Zn<sub>2</sub>, Sn<sub>93</sub>Sb<sub>5</sub>Bi<sub>2</sub> rapidly solidified alloys

**Teysir Alzamil**

Assoc. Prof, Physics, Aleppo University in the Liberated Areas, Syria  
ztrtmama@gmail.com

### Abstract

We prepared two of metallic alloys Sn<sub>93</sub>Sb<sub>5</sub>Zn<sub>2</sub> and Sn<sub>93</sub>Sb<sub>5</sub>Bi<sub>2</sub> by rapid solidification method. Then, we studied some of their physical properties, including density and unit cell volume. We measured their electrical resistance, from which we determined their electrical resistivity and the temperature coefficient of resistivity. Additionally, we calculated the Fermi parameters. Thermal properties were studied using differential thermal analysis, and mechanical properties were evaluated using the resonance frequency method. We measured the hardness using a Vickers microhardness tester.

The results showed that the Sn<sub>93</sub>Sb<sub>5</sub>Zn<sub>2</sub> alloy has a higher electrical resistivity than Sn<sub>93</sub>Sb<sub>5</sub>Bi<sub>2</sub> alloy, indicating that Sn<sub>93</sub>Sb<sub>5</sub>Bi<sub>2</sub> has better electrical conductivity and electronic properties. Regarding thermal properties, the results indicated that the zinc alloy has lower melting temperature, specific heat capacity, and thermal conductivity, but higher thermal diffusivity and enthalpy compared to the bismuth alloy. As for mechanical properties, it was found that the zinc alloy exhibits greater hardness, higher Young's modulus, and lower internal friction, thus possessing better mechanical properties than the bismuth alloy.

**Keywords:** Alloy, Rapid solidification, Hardness, Fermi Parameters.

### المقدمة

يطلق على العملية التي تتشكل فيها الحبيبات أثناء تبريد المصهور المعدني اسم عملية التبلور (Crystallization) وتستمر هذه العملية طالما أن هناك فرق في الطاقة الحرة (AG) ناتج عن أن الطاقة

الحرارة للمعدن في الحالة الصلبة أقل من الطاقة الحرة للمعدن في الحالة المنصهرة، مع الإشارة إلى أنه أثناء عملية التبلور تتكون نويات ذات أحجام مختلفة وليست جميعها قادرة على النمو لأن الطاقة الحرة للمجموعة تتغير أثناء عملية التبلور، حيث تتناقص نتيجة تحول جزء من المعدن من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة.

يعتمد حجم الحبيبات المتشكلة أثناء عملية التبلور على درجة حرارة المصهور، ودرجة حرارة البوتقة التي يصب فيها المصهور وعلى درجة نقاوة المصهور وتركيبه الكيميائي، كما يعتمد بشكل رئيسي على معدل تبريد المصهور، حيث يتناقص حجم الحبيبات المتشكلة كلما زاد معدل تبريد المصهور وذلك لأن الزمن اللازم لتشكيل الحبيبات قد نقص. أي أن معدل تبريد المصهور يلعب دوراً هاماً في تحديد حجم الحبيبات المكونة للتركيب البلوري للخلائط المعدنية (ليو وآخرون، 2015، 890).

عرفت الخلائط منذ آلاف السنين والدليل على ذلك أن هناك حقبة زمنية في حياة الإنسان يطلق عليها اسم العصر البرونزي والذي كانت تصنع فيه الأدوات التي يستخدمها الإنسان من البرونز، وكما نعلم فإن البرونز هو عبارة عن خليطة من القصدير والنحاس.

يتم تحضير الخلائط بعدة طرائق، منها طريقة الخلط الميكانيكي، حيث توضع مساحيق العناصر مع بعضها البعض وتخلط جيداً ثم تضغط حتى ضغط معين تتداخل عنده يمكن جزيئات العناصر مع بعضها البعض وتشكل خليطة جديدة، وتعطي هذه الطريقة خلائط جيدة وبمواصفات مميزة.

أما الطريقة الأكثر انتشاراً فهي الطريقة الحرارية، حيث توضع العناصر المكونة للخليطة في وعاء يتحمل درجات حرارة مرتفعة، ويتم التسخين إلى درجة حرارة معينة كافية لصهر جميع العناصر، ثم تختلط العناصر مع بعضها البعض وهي في الحالة السائلة ثم تترك لتبرد مع الزمن وتتحول إلى خليطة في الحالة الصلبة (فشت وبريزكو، 1989، 785).

للحصول على خلائط معدنية بمواصفات جديدة فإننا نقوم بتبريد المصهور بسرعة كبيرة، ويطلق على هذه الطريقة اسم التبريد السريع للمصهور (فوغت وفرومير، 1985، 63)، وهناك عدة تقنيات لذلك نذكر منها تقانة الصهر المغزلي التي تعتمد على سكب المصهور على دولاب معدني يدور بسرعة كبيرة بحيث يمتص حرارة المصهور بسرعة ويتحول إلى الحالة الصلبة، ومن أهم فوائد استخدام هذه التقانة هو الحصول على خلائط ذات حجم حبيبي صغير جداً من مرتبة النانومتر تقريباً (سودرجم وماندال، 1985، 107).

يمتاز القصدير الأبيض النقي بليونته عظيمة تكسبه قابلية للطرق والسحب والتصفيح، ولا يتأثر القصدير بالهواء أو بالماء في درجة الحرارة العادية، ويتمتع بدرجة حرارة انصهار منخفضة نسبياً مقارنة مع بقية

المعادن، لذلك يستخدم القصدير في تشكيل الخلائط سهلة الانصهار وخلائط المحامل والبرونز والنحاس الأصفر وفي حشوات الأسنان واستخدامات كثيرة أخرى (الأشرم، 2002،).

عند إضافة عناصر أخرى للقصدير وتشكيل خلائط معدنية فإن درجة حرارة انصهار الخليطة تنخفض، وأكثر العناصر المستخدمة لإنتاج خلائط معدنية مع القصدير هو الرصاص، وبسبب تأثير الرصاص على جسم الإنسان يتم استبداله بعناصر أخرى مثل الزنك، البزموت، الكاديوم، الفضة والانتيمون (تاناكا وآخرون، 1999، 1216).

يعتبر الانتيمون ناقل ضعيف للكهرباء ويتصف بأنه أكثر سمية من بعض العناصر. عند دراسة خليطة القصدير مع الانتيمون، تبين أن الخليطة ذات التركيب  $\text{Sn95Sb5}$  بالمئة وزناً تتمتع بأصغر درجة حرارة انصهار ( $\text{Co } 232$ ) (ماهيدهارا وآخرون، 1994، 1387).

أما الزنك فهو معدن أبيض مزرق لَمَاع، يكون هش في درجات الحرارة العادية، ولكنه قابل للطرق في درجات الحرارة ( $\text{Co } 100-150$ )، ويظهر لدونة فائقة. يستخدم في إنتاج النحاس الأصفر ويعتبر من العناصر رخيصة الثمن. إن أصغر درجة حرارة انصهار لخليطة هذين العنصرين هي ( $\text{Co } 198.5$ ). إن انحلالية القصدير والزنك ببعضهما البعض تكون ضعيفة والتركيب الصلب لهما عبارة عن مزيج للقصدير النقي والزنك النقي، ويتألف التركيب الدقيق عندها من صفائح زنك ضمن قالب القصدير (ناكامورا وآخرون، 1998، 10). وهناك دراسة قام بها ليوناردو وآخرون لتطوير الخصائص الميكانيكية لبعض خلائط القصدير مع الزنك المستخدمة كخلائط لحام (ليوناردو وآخرون، 2010، 212).

أما البزموت فهو معدن هش يوجد بمفرده، يتمتع بناقلية حرارية أقل من أي معدن آخر باستثناء الزئبق. مقاومته النوعية الكهربائية مرتفعة. يشكل خلائط ذات درجات حرارة انصهار منخفضة مع القصدير، الكاديوم والرصاص، وتستخدم خلائطه مع الرصاص في الوقاية الإشعاعية بشكل كبير. أما أصغر درجة حرارة انصهار لخلائط القصدير مع البزموت فتساوي ( $\text{Co } 138$ ) وتكون للتركيب  $\text{Bi58Sn42}$  (كمال وآخرون، 1997، 164). وهناك دراسة أجريت على خليطة القصدير مع البزموت، حيث قاموا بإضافة القصدير بكميات صغيرة إلى البزموت ولاحظوا زيادة في المقاومة النوعية الكهربائية بشكل كبير (كمال والأشرم، 2008، 91). وفي دراسة أخرى قام الباحثون بإضافة الزنك إلى خليطة القصدير مع البزموت وذلك بهدف تحسين الخصائص الميكانيكية للخليطة (فنجي وآخرون، 2022، 17745).

هناك دراسات عديدة أجريت على خلائط القصدير مع الانتيمون، فعلى سبيل المثال هناك دراسة قام بها الباحثون بإضافة الفضة أو الذهب بنسب صغيرة إلى خليطة القصدير مع الانتيمون، وذلك من أجل

دراسة خصائصها الميكانيكية (الدالي وحمام، 98، 2009). سنقوم نحن بهذه الدراسة بتحضير خليطتين وذلك بإضافة الزنك أو البزموت إلى خليطة القصدير مع الأنتيموان ونقارن بين خصائصهما الفيزيائية.

### الهدف من البحث

اخترنا خليطة القصدير مع الانتيموان ذات التركيب Sn95Sb5 بالمئة وزناً الذي يتمتع بأخفض درجة حرارة انصهار، وأضفنا لها عنصر الزنك أو عنصر البزموت، وسنقوم بدراسة معظم الخصائص الفيزيائية التي يمكننا دراستها. بعد ذلك سنقوم بمقارنة الخصائص المدروسة لهذه الخلائط، ومعرفة تأثير هذه الإضافات على هذه الخليطة، مما يساعد في تحديد مجال استخدام هذه الخلائط، التي من المتوقع أن يتم استخدامها كخلائط لحام.

### طريقة العمل والحسابات النظرية

قمنا باستخدام عناصر نقية من القصدير، الانتيموان، الزنك والبزموت من أجل تحضير العينات، حيث وزنت وفق التركيب (Sn93Sb5X2) بالمئة وزناً وصهرت ضمن مرمدة، ثم بردت باستخدام تقانة الصهر المغزلي بالدولاب المفرد، فنتجت شرائط بأطوال وسماكات مختلفة، ثم تم تجهيز العينات حتى تكون مناسبة لإجراء الاختبارات.

هناك طريقة لدراسة الخصائص الميكانيكية تسمى التجاوب الحركي بحيث نطبق على العينة المدروسة ترددات ونقيس سعة اهتزاز العينة، ومنها نستطيع حساب تردد التجاوب، ثم نستطيع حساب الاحتكاك الداخلي والانتشارية الحرارية (كمال وآخرون، 1993، 1)، ومن ثم حساب معامل يونغ ومعامل القص ومعامل الكتلة، وباستخدام جهاز فيكرز نستطيع قياس قساوة الخليطة بتطبيق حمولة معينة وقياس عمق الأثر ومتوسط أقطار رأس الهرم (ماسامي وماساهيسا، 2001، 319).

تعطى القساوة المقاسة باستخدام جهاز فيكرز بالعلاقة:

$$H_v = \frac{2P \sin\left(\frac{\phi}{2}\right)}{d^2} \dots \dots \dots (1)$$

حيث:  $H_v$  القساوة،  $\phi$  زاوية رأس الهرم،  $p$  الحمولة،  $d$  متوسط قطر الثلم. ثم نحسب قيمة عمق الثلم الذي يتركه رأس الهرم باستخدام العلاقة:

$$h = \frac{d}{2 \tan \theta} \dots \dots \dots (2)$$

حيث:  $h$  عمق الثلم،  $\theta$  نصف زاوية رأس الهرم ( $\theta=68^\circ$ ). كما يمكننا حساب الانفعال الذي ينتجه هذا

الاختبار باستخدام العلاقة:

$$\varepsilon = \frac{H_0}{H} - 1 \dots \dots \dots (3)$$

حيث:  $H_0$  قيمة القساوة عند زمن تحديد أصغري،  $H$  قيمة القساوة عند زمن تحديد أكبر من زمن التحديد الأصغري.

بعد قياس تردد التجاوب للعينة المدروسة نستطيع حساب معامل يونغ للمرونة باستخدام العلاقة التالية (شلي وآخرون، 2016، 4440):

$$E = \frac{38.32DL^4 f_0^2}{t^2} \dots \dots \dots (4)$$

حيث:  $f_0$  تردد التجاوب،  $L$  طول العينة،  $t$  سماكة العينة،  $D$  كثافة العينة،  $E$  معامل يونغ للمرونة.

وبعد قياس القساوة نستطيع حساب نسبة بواسون  $\nu$  من العلاقة التالية:

$$E = \frac{2\pi \tan \theta}{1.8544} H(1 - \nu^2) \dots (5)$$

تعتبر الخصائص البنيوية للخلائط من الخصائص الهامة لتحديد الأطوار الموجودة ضمن الخليطة حيث يلعب الطور الرئيسي في الخليطة الدور الأهم في تحديد صفاتها. لذلك من المهم معرفة كثافة الخليطة وحجم وحدة الخلية للبنية البلورية للخلائط (لينيسكي، 2023، 3019).

أما بالنسبة للخواص الكهربائية فهناك عدة طرق لقياس المقاومة الكهربائية للخليطة وأشهر هذه الطرق التي تستطيع قياس المقاومات الكهربائية الصغيرة جداً وبدقة عالية هي طريقة الجسر الكهربائي المضاعف (رامالي، 1960، 267). ونستطيع إعداد التجربة بحيث نستخدم فرن لتسخين الخليطة وقياس المقاومة الكهربائية عند درجات حرارة مختلفة، ومن ثم حساب المقاومة النوعية الكهربائية باستخدام العلاقة:

$$\rho = \frac{R.W.t}{L} \dots \dots \dots (6)$$

حيث:  $t$  سماكة العينة،  $W$  عرض العينة،  $L$  طول العينة،  $R$  المقاومة الكهربائية للعينة.

ويحسب معامل درجة الحرارة للمقاومة النوعية الكهربائية باستخدام العلاقة:

$$R_T = R_0(1 + \alpha T) \dots \dots \dots (7)$$

حيث:  $T$  درجة الحرارة،  $R_0$  المقاومة الكهربائية عند درجة الحرارة صفر سلسيوس،  $R_T$  المقاومة

الكهربائية عند درجة الحرارة T.

بعد ذلك نستطيع حساب الناقلية الكهربائية وبالتالي نستطيع حساب تركيز الإلكترونات باستخدام العلاقة:

$$n = \frac{\sigma \cdot m}{e^2 \cdot \tau} \dots \dots \dots (8)$$

حيث: n عدد الإلكترونات بوحدة الحجم، e شحنة الإلكترون، m كتلة الإلكترون،  $\tau$  زمن الإسترخاء،  $\sigma$  الناقلية الكهربائية.

يفيدنا حساب تركيز الإلكترونات في حساب معاملات فيرمي بحيث نستخدم العلاقة التالية لحساب المتجه الموجي ليفرمي (كمال وآخرون، 2012، 179):

$$K_F = (3\pi^2 n)^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (9)$$

ثم حساب بقية معاملات فيرمي مثل طاقة فيرمي، درجة حرارة فيرمي، سرعة فيرمي.

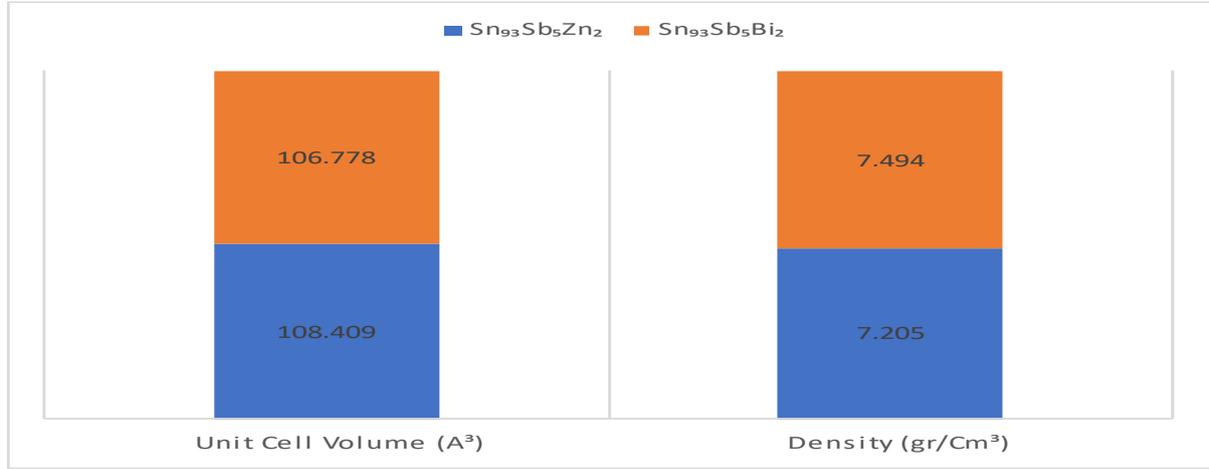
لدراسة الخصائص الحرارية للخليطة استخدمنا جهاز التحليل الحراري التفاضلي (Mettler Toledo FP99). حيث تم تسخين العينة بمعدل (10 K0/Min) وذلك حتى درجة الحرارة (500 K<sup>0</sup>). ومن مخطط التحليل الناتج نستطيع قياس كمية الطاقة الممتصة وحساب انتالبية التفاعل، درجة حرارة السيوالة، درجة حرارة التصلب، وتحديد درجة حرارة الانصهار (بورتر واسترلنغ، 1993، 1).

هناك علاقة تربط الحرارة النوعية C<sub>p</sub> مع الناقلية الحرارية K والانتشارية الحرارية D<sub>th</sub> والكثافة  $\rho$  تعطى بالشكل (زونغ، 2016، 111):

$$K = \rho \cdot C_p \cdot D_{th} \dots \dots \dots (10)$$

### النتائج والمناقشة

يظهر الشكل (1) قيم الكثافة وحجم وحدة الخلية للخليطتين، ونلاحظ من الشكل أن حجم وحدة الخلية لخليطة الزنك أكبر وبالتالي كانت كثافتها أصغر. وربما يعود ذلك إلى تغلغل ذرات الزنك ضمن البنية البلورية لطور القصدير وذلك لأن ذرات الزنك أصغر. أما ذرات البزموت فتحل مكان ذرات القصدير ضمن البنية البلورية. جميع النتائج التي حصلنا عليها للخصائص البنيوية للخليطتين موجودة في الجدول (1).

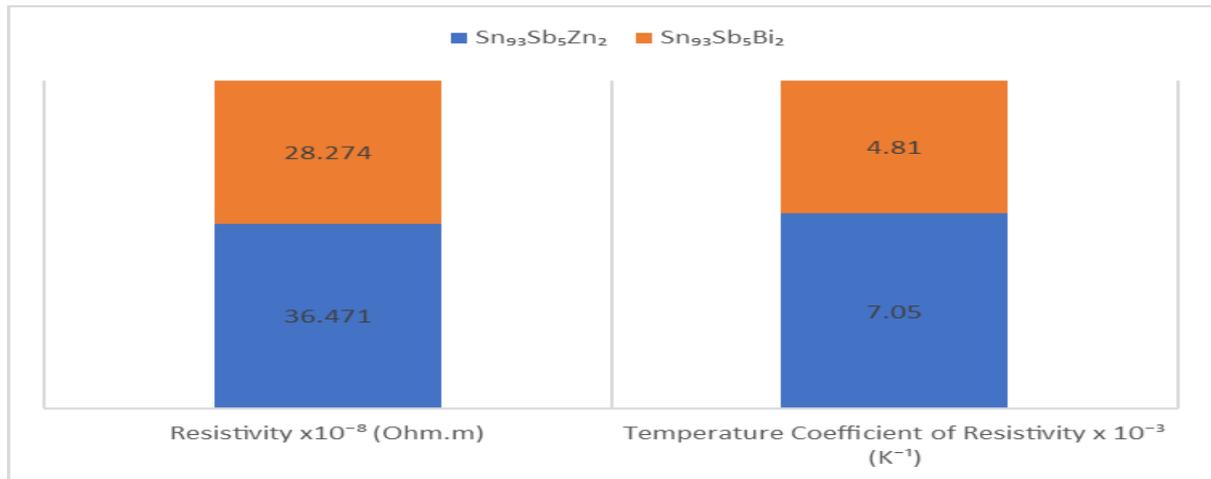


الشكل (1) الكثافة وحجم وحدة الخلية

الجدول (1): الخصائص البنوية

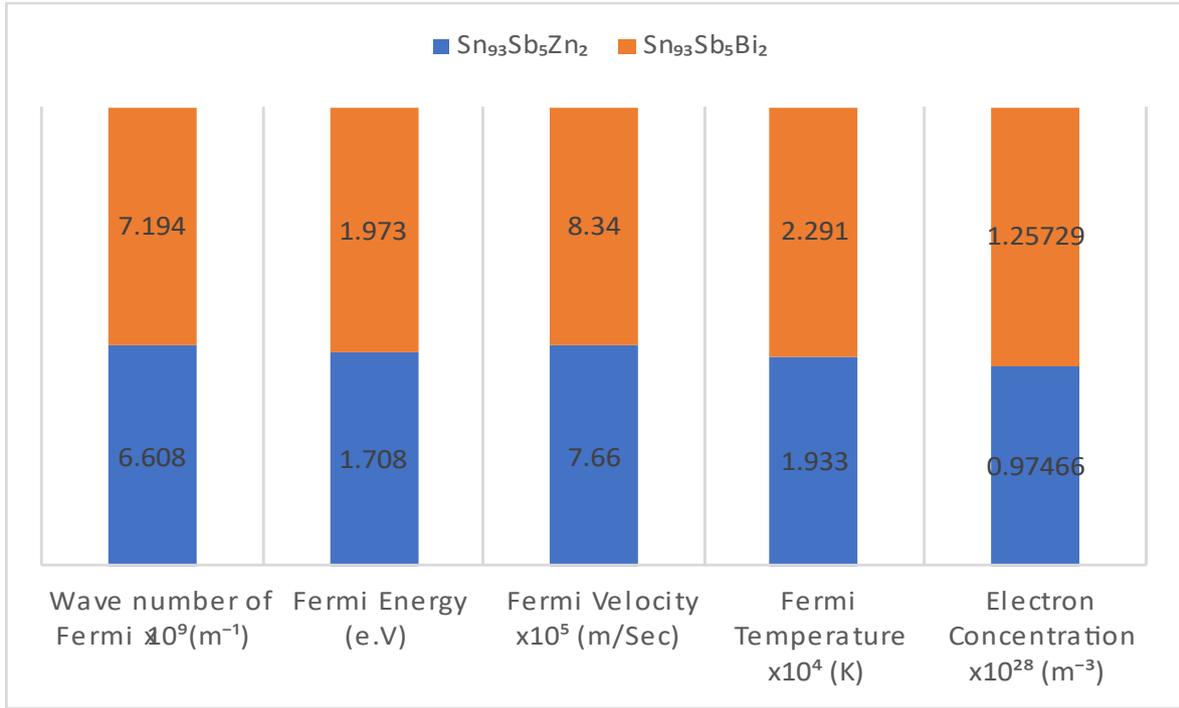
الخليطة	Sn <sub>93</sub> Sb <sub>5</sub> Zn <sub>2</sub>	Sn <sub>93</sub> Sb <sub>5</sub> Bi <sub>2</sub>
حجم وحدة الخلية (A <sup>3</sup> )	108.409	106.778
الكثافة (gr/Cm <sup>3</sup> )	7.205	7.494

أما الخصائص الكهربائية فيوضح الشكل (2) المقاومة النوعية الكهربائية ومعامل درجة الحرارة للمقاومة النوعية الكهربائية، حيث نلاحظ أن المقاومة النوعية الكهربائية لخليطة الزنك أكبر من المقاومة النوعية الكهربائية للزيموت، وربما يعود ذلك إلى تشكل مركب بينمعدني SnZn في خليطة الزنك. أما معامل درجة الحرارة للمقاومة النوعية الكهربائية فهو أصغر مقارنة بخليطة الزيموت.



الشكل (2): المقاومة النوعية الكهربائية ومعامل درجة الحرارة للمقاومة النوعية الكهربائية

عند حساب عدد الالكترونات في واحدة الحجم تبين لنا أن تركيز الالكترونات في خليطة البزموت أكبر منه لخليطة الزنك، وهذا بدوره يظهر أن خليطة البزموت تتمتع بمعاملات فيرمي أكبر من خليطة الزنك لأن هذه المعاملات تتناسب طردياً مع تركيز الالكترونات. جميع النتائج التي حصلنا عليها للخصائص الكهربائية ومعاملات فيرمي للخليطتين موجودة في الجدول (2).

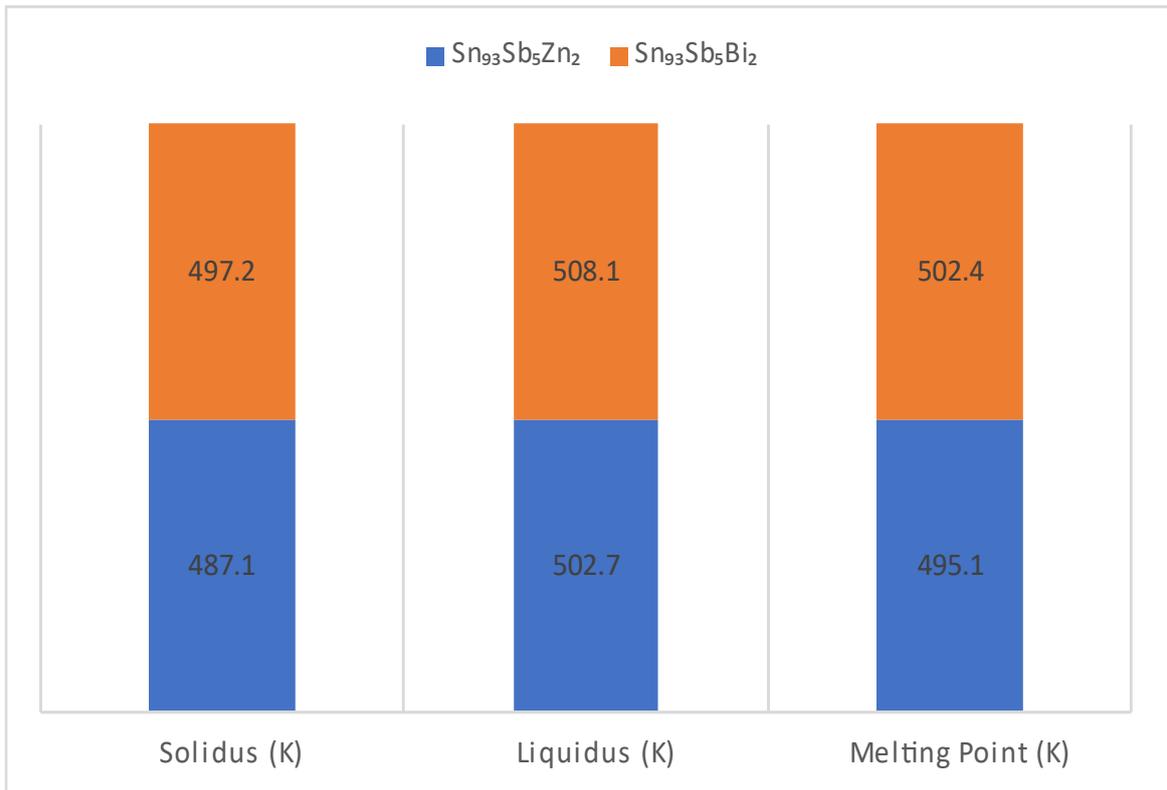


الشكل (3): تركيز الالكترونات ومعاملات فيرمي

الجدول (2): الخصائص الكهربائية ومعاملات فيرمي

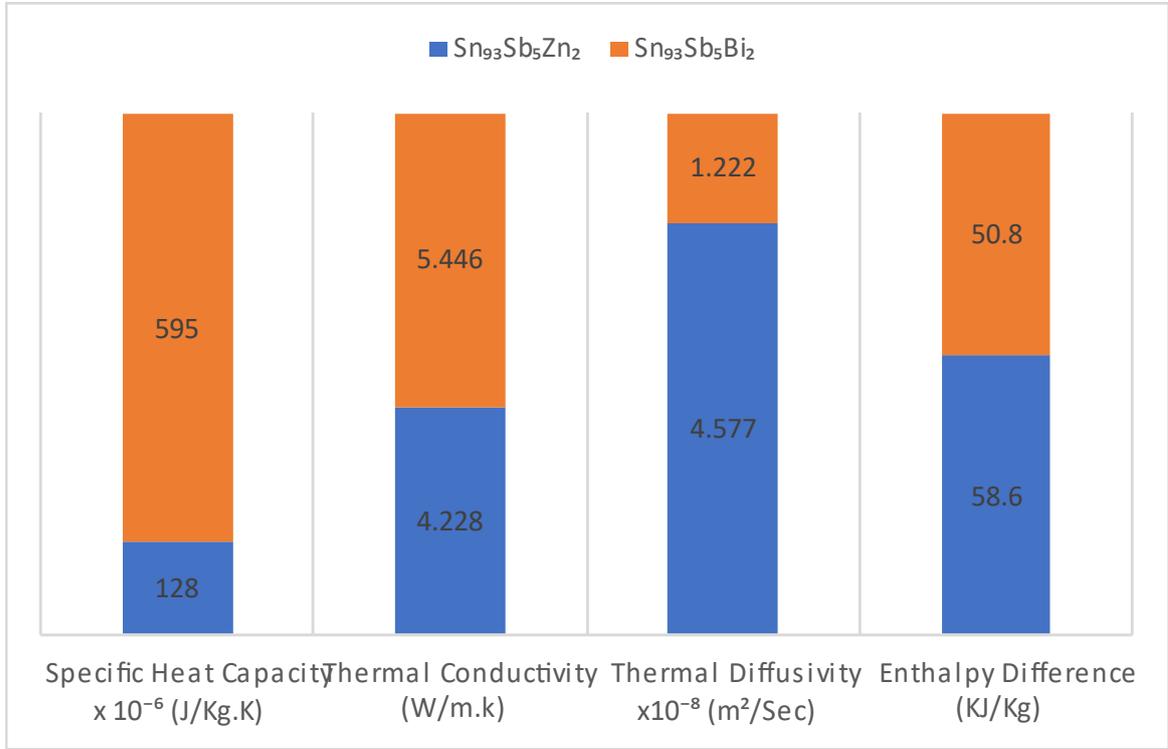
الخليطة	Sn <sub>93</sub> Sb <sub>5</sub> Zn <sub>2</sub>	Sn <sub>93</sub> Sb <sub>5</sub> Bi <sub>2</sub>
المقاومة النوعية الكهربائية (Ohm.m) x10 <sup>-8</sup>	36.471	28.274
معامل درجة الحرارة للمقاومة النوعية الكهربائية (K <sup>-1</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>	7.05	4.81
العدد الموجي (m <sup>-1</sup> ) x10 <sup>9</sup>	6.608	7.194
طاقة فيرمي (e.V)	1.708	1.973
سرعة فيرمي (m/Sec) x10 <sup>5</sup>	7.66	8.34
درجة حرارة فيرمي (K) x10 <sup>4</sup>	1.933	2.291
عدد الالكترونات في وحدة الحجم (m <sup>-3</sup> ) x10 <sup>28</sup>	0.97466	1.25729

يظهر الشكل (4) النتائج التي حصلنا عليها لكل من درجة حرارة السيولة، درجة حرارة التصلب ودرجة حرارة الانصهار للخليطتين، ونلاحظ من الشكل أن الخليطة المضاف لها الزنك لها أصغر قيمة لدرجة حرارة السيولة، درجة حرارة التصلب ودرجة حرارة الانصهار.



الشكل (4): درجة حرارة السيولة، درجة حرارة التصلب ودرجة حرارة الانصهار

ونلاحظ في الشكل (5) أن الحرارة النوعية للخليطة المضاف لها البزموت أكبر بحوالي خمس مرات من الحرارة النوعية للخليطة المضاف لها الزنك، والناقلية الحرارية لخليطة البزموت أكبر أيضاً. أما الانتالبية والانتشارية الحرارية فتكون أصغر من أجل الخليطة المضاف لها البزموت. النتائج التي حصلنا عليها للخصائص الحرارية مندرجة حرارة السيولة، درجة حرارة التصلب، درجة حرارة الانصهار، الحرارة النوعية، الناقلية الحرارية، الانتشارية الحرارية والانتالبية للخليطتين موجودة في الجدول (3).

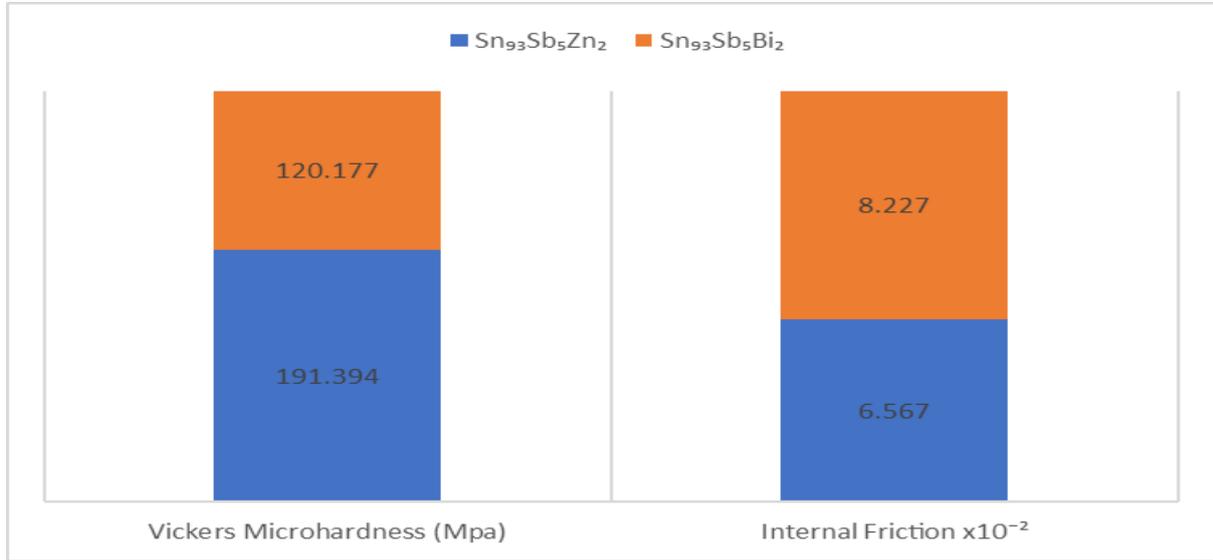


الشكل (5): الحرارة النوعية، الناقلية الحرارية، الانتشارية الحرارية والانتالبية

الجدول (3): الخصائص الحرارية

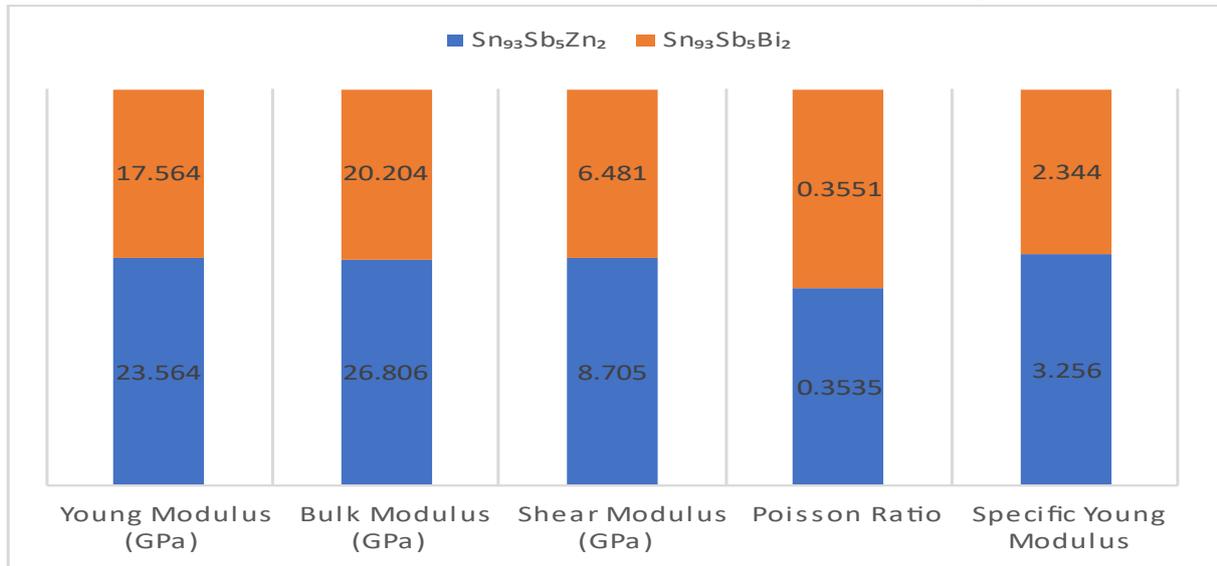
الخليطة	Sn <sub>93</sub> Sb <sub>5</sub> Zn <sub>2</sub>	Sn <sub>93</sub> Sb <sub>5</sub> Bi <sub>2</sub>
السعة الحرارية النوعية (J/Kg.K <sup>0</sup> ) x 10 <sup>-6</sup>	128	595
الناقلية الحرارية (W/m.k)	4.228	5.446
الانتشارية الحرارية (m <sup>2</sup> /Sec) x10 <sup>-8</sup>	4.577	1.222
تغير الانتالبية (KJ/Kg)	58.6	50.8
درجة حرارة التصلب (K <sup>0</sup> )	487.1	497.2
درجة حرارة السيولة (K <sup>0</sup> )	502.7	508.1
درجة حرارة الانصهار (K <sup>0</sup> )	495.1	502.4

الشكل (6) يظهر القساوة والاحتكاك الداخلي، حيث نلاحظ من الشكل أن إضافة عنصر الزنك أدت إلى زيادة في قيمة القساوة أكبر منها في حال إضافة البزموت، وربما يعود ذلك إلى تشكل المركب البينمعدني للقصدير مع الزنك SnZn. أما الاحتكاك الداخلي فقيمته بالنسبة لخليطة البزموت أكبر منها لخليطة الزنك.



الشكل (6): القساوة والاحتكاك الداخلي

أما الشكل (7) فيوضح بقية المعاملات الميكانيكية، ونلاحظ من الشكل أن الخليطة المضاف لها الزنك لها قيم أكبر لجميع المعاملات باستثناء نسبة بواسون حيث تكون قيمتها أصغر. وربما يعود ذلك إلى تشكل المركب البينمعدني SnZn كما ذكرنا سابقاً. جميع النتائج التي حصلنا عليها للخصائص الميكانيكية للخليطتين موجودة في الجدول (4).



الشكل (7): معامل يونغ، القص، الكتلة، نسبة بواسون ومعامل يونغ الخاص

الجدول (4): الخصائص الميكانيكية

الخليطة	Sn <sub>93</sub> Sb <sub>5</sub> Zn <sub>2</sub>	Sn <sub>93</sub> Sb <sub>5</sub> Bi <sub>2</sub>
قساوة فيكرز (Mpa)	191.394	120.177
الاحتكاك الداخلي $\times 10^{-2}$	6.567	8.227
معامل يونغ (GPa)	23.564	17.564
معامل الكتلة (GPa)	26.806	20.204
معامل القص (GPa)	8.705	6.481
نسبة بواسون	0.3535	0.3551
معامل المرونة النوعي	3.256	2.344

### الاستنتاجات

من النتائج التي حصلنا عليها من خلال هذه الدراسة فإننا نستنتج أن الخليطة Sn<sub>93</sub>Sb<sub>5</sub>Zn<sub>2</sub> تتمتع بمقاومة نوعية كهربائية أكبر من المقاومة النوعية الكهربائية للخليطة Sn<sub>93</sub>Sb<sub>5</sub>Bi<sub>2</sub> وبالتالي فإن الناقلية الكهربائية للخليطة Sn<sub>93</sub>Sb<sub>5</sub>Bi<sub>2</sub> أفضل، وكذلك لاحظنا أن خصائصها الإلكترونية أفضل. أما الخصائص الحرارية فأظهرت النتائج أن خليطة الزنك تتمتع بدرجة حرارة انصهار وحرارة نوعية وناقلية حرارية أصغر، أما الانتشارية الحرارية والانتالبية فكانت أكبر مقارنة مع خليطة البزموت. ومن النتائج الميكانيكية تبين لنا أن خليطة الزنك تتمتع بقساوة أكبر ومعامل يونغ أكبر وباحثكاك داخلي أقل وبالتالي خصائص ميكانيكية أفضل من خليطة البزموت. أي أنه يمكننا القول أن خليطة البزموت تكون مناسبة للاستخدام في المجالات الكهربائية، أما خليطة الزنك فهي مناسبة أكثر في المجالات الميكانيكية.

### المراجع

- A.A. El-Daly, Y. Swilem, A.E. Hammad, 2009-Creep properties of Sn–Sb based lead-free solder alloys, Journal of Alloys and Compounds, Vol: 471, PP: 98–104.
- El-Ashram T.N., 2002-PH.D. of science Thesis (Metal physics), University of Mansoura, Faculty of Science, Physics department.
- Fecht. H. J, Perepezko. J.H., 1989-Metastable phase equilibria in the Pb-Sn alloy system, Metallurgical Transactions, Vol.20, PP:785-794.
- Fengyi Wang, Xinjie Wang, Kexin Xu, Jintao Wang, Weiwei Zhang, Chunjin Hang, Hongtao Chen, and Mingyu Li, 2022-Microstructure and mechanical properties of Sn–Bi solder joints reinforced with Zn@Sn core–shell particles, Journal of Materials Science: Materials in Electronics, PP:17745-17756, DOI: 10.1007/s10854-022-08637-4.
- Kamal. M, El-Ashram.T, 2008-Zero and negative temperature Coefficients of resistivity of rapidly solidified Bi–Sn alloys using melt- spinning technique, Journal of Materials Science: Materials in Electronics Vol:19, PP:91–96.

- Kamal. M, Karman .M, El bediwi A.,1997-The Structure and Properties of Rapidly quenched Bi-Pb-Sn-Cd fusible Alloys. U. Scientist Phy1. Vol:9, No:2, PP:164-171.
- Kamal .M, El-Tonsy .M.M, Fouda .I.M, Radwan .M, Hosny. H.M. 1993-Mans. Sci. Bull, at sci, Vol: 20, No:1.
- Kamal. M, El-Bediwi. A, El-Ashram. T, Dorgham.M,2012-The Role of Valence Electron Concentration on the Structure and Properties of Rapidly Solidified Sn-Ag Binary Alloys, Materials Sciences and Applications, Vol: 3, PP:179-184.
- Leonardo R. Garcia, Wislei R. Osório, Leandro C. Peixoto, Amauri Garcia, 2010-Mechanical properties of Sn–Zn lead-free solder alloys based on the microstructure array, Materials characterization, Vol: 61, PP: 2 1 2 – 2 2 0.
- Lipiński T. Quality, Microstructure and Properties of Metal Alloys. Materi Als (Basel). 2023 Apr 11;16(8):3019. doi: 10.3390/ma16083019. PMID: 371 09855; PMCID: PMC10144834.
- Mahidhara. R. K Sastry. S. M. L Jerina. K. L, Turlik. I, Murty. K. L, 1994-Room temperature tensile properties of Sn-5%Sb solder, Journal of Materials science letters, Vol.13, PP:1387-1389.
- Masami Fujiwara.; Masahisa Otsuka., 2001- Indentation Creep Of  $\beta$ -Sn and Sn-Pb eutectic alloy., Materials Science and Engineering, A, 929, PP:319-321.
- Nakamura. Y, Sakakibara. Y, Watanabe. Y, Amamoto.Y,1998-Microstructure of solder joints with electronic components in Lead-Free solders, Soldering and Surface mount Technology, Vol :10, No:1, PP:10-12.
- Porter. D. A, Easterling. K. E.,1993-Phase transformations in Metals and Alloys, Published by Chapman and Hall, Ch, P:1-57.
- Ramaley.D,1960-A Method of Link Circuit Controlling the Effect of the Thomson or of Resistance in the Kelvin Double Bridge, JO URNAL OF RESEARCH of the Nationa l Bureau of Standards- C. Engineering and Instrumentation, reau of Standards- C. Engineering and Instrumentation Vol. 64C, No.4, PP:267-270.
- Rosenfeld. A, Ilani.S,Dvorachek.M,1997-Bronze Alloys from Canaan During the Middle Bronze Age, Journal of Archaeological Science, Vol: 24, (9), Pp: 857-864.
- Shalaby. R, Kamal .M and Waqlan.A,2016-Influence of rapid solidification and lithium additions on microstructure and mechanical properties of aluminum-based alloys, Journal of advances in physics, Vol:12, PP:4440-4450.
- Soderhjelm. H, Mandal. L., 1985-On the possibilities of making multiple layer ribbons by single roller melt spinning, Elsevier science publishers. Rapidly Quenching Metals S.Steeb, H. Warlimont (cds)P: 107-110.
- Tanaka. H, Tanimoto. M, Matsuda. A, Uno. T, Kurihara. M, Shiga. S., 1999- Pb-Free surface-Finishing on electronic components Terminal for Pb-Free soldering Assembly, journal of Electronic Materials, Vol:28, No:1, P: 1216.
- Vogt. E, Frommeyer.G.,1985-The influence of process parameters on the cooling rate of

the melt spinning process. Rapidly Quenched Metals, pp:63-66.

- Zong-Xian Zhang, 2016-Rock Fracture and Blasting, Theory and Applications, ISBN:978-0-12-802688-5, Pages 111-133.
- Z. Liu, D. Qiu, F. Wang, J. A. Taylor and M. Zhang, 2015-Crystallography of grain refinement in cast zinc-copper alloys, J. Appl. Cryst., Vol:48, PP:890-900.