

Kesan Rawatan Termomekanik dengan Mampatan Tunggal terhadap Mikrostruktur dan Sifat Mikromekanik Aloi Pateri Sn-0.7Cu

(Effect of Thermomechanical Treatment with Single Compression on Microstructural and Micromechanical Properties of Sn-0.7Cu Solder Alloy)

FATEH AMERA MOHD YUSOFF¹, MARIA ABU BAKAR^{1,*} & AZMAN JALAR^{1,2}

¹*Institut Kejuruteraan Mikro dan Nanoelektronik (IMEN), Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

²*Jabatan Fizik Gunaan, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

Diserahkan: 14 Mac 2022/Diterima: 6 Julai 2022

ABSTRAK

Aloi pateri bebas plumbum telah digunakan secara meluas sebagai bahan antara sambungan bagi peranti elektronik yang memberikan sambungan elektrik bagi kebolehfungsian dan sokongan mekanik bagi integriti struktur. Rawatan termomekanik merupakan proses metalurgi yang melibatkan gabungan rawatan terma dan pembebanan mekanik. Kajian ini bertujuan untuk mengkaji kesan rawatan termomekanik dengan mampatan tunggal ke atas perubahan mikrostruktur dan sifat mikromekanik aloi pateri Sn-0.7Cu. Aloi pateri Sn-0.7Cu berbentuk bar dipotong kepada lapan sampel berbentuk kiub dengan ukuran 6 mm (p) × 6 mm (l) × 10 mm (t). Empat sampel yang pertama menjalani rawatan haba pada suhu 30 °C, 60 °C, 90 °C dan 120 °C selama 20 minit, diikuti dengan proses mampatan tunggal sebanyak 20% dan pelindapan di dalam medium air. Empat sampel yang berikutnya hanya didedahkan pada rawatan haba sahaja, diikuti pelindapan di dalam medium air digunakan sebagai sampel kawalan. Cerapan mikrostruktur menunjukkan butiran yang kecil dan seragam aloi pateri Sn-0.7Cu terbentuk dengan rawatan termomekanik mampatan tunggal pada suhu 120 °C akibat daripada penghabluran semula butiran. Keputusan kekerasan bagi aloi pateri Sn-0.7Cu selepas rawatan termomekanik mampatan tunggal pada suhu 120 °C telah menunjukkan perubahan yang sedikit iaitu sebanyak 19% berbanding sampel rawatan haba sebanyak 64%. Keputusan modulus berkurangan juga menunjukkan tren yang sama iaitu perubahan yang lebih rendah bagi sampel dengan rawatan termomekanik mampatan tunggal pada suhu 120 °C sebanyak 52% manakala sampel rawatan haba sebanyak 69%. Penemuan kajian ini menunjukkan bahawa kesan suhu dalam rawatan termomekanik mampatan tunggal berupaya untuk mengubah suai mikrostruktur dan memberikan kestabilan sifat mikromekanik aloi pateri Sn-0.7Cu berbanding dengan rawatan haba.

Kata kunci: Kekerasan; modulus berkurangan; penghabluran semula butiran; rawatan termomekanik mampatan tunggal; Sn-0.7Cu; ujian pelekukan nano

ABSTRACT

Lead-free solder alloys have been widely used as interconnection materials for electronic devices that provide electrical connections for functionality and mechanical support for structural integrity. Thermomechanical treatment is a metallurgical process that involves a combination of thermal treatment and mechanical loading. This study aimed to investigate the effect of thermomechanical treatment with single compression on the microstructural changes and micromechanical properties of the Sn-0.7Cu solder alloy. A bar-shaped Sn-0.7Cu solder alloy was cut up into eight samples cube-shaped with dimensions of 6 mm (l) × 6 mm (w) × 10 mm (h). The first four samples were subjected to heat treatment for 20 min at 30 °C, 60 °C, 90 °C, and 120 °C, followed by single compression of 20% and water medium. The next four samples were subjected to heat treatment only, followed by quenching in a water medium used as control samples. Microstructural observation shows that small and uniform grains of Sn-0.7Cu solder alloy was formed from thermomechanical treatment with single compression at 120 °C due to grain recrystallization. The hardness result for Sn-0.7Cu solder alloy after thermomechanical treatment with single compression at 120 °C has

shown tiny changes of 19% as compared to heat-treated samples with 64%. Reduced modulus results also showed the same trend whereby the lesser changes for the thermomechanical treatment sample were about 52% while the heat-treated sample was about 69%. The findings of this study indicate that the temperature in thermomechanical treatment with single compression has been able to alter the microstructure and give stability to the micromechanical properties of Sn-0.7Cu as opposed to heat treatment.

Keywords: Grain recrystallization; hardness; nanoindentation test; reduced modulus; single compression thermomechanical treatment; Sn-0.7Cu

PENDAHULUAN

Bahan pateri telah digunakan dengan meluas sebagai bahan penyambung komponen elektronik pada papan litar bercetak (PCB). Sambungan pateri dalam peranti elektronik bertujuan memberikan sambungan elektrik bagi kebolehfungsian peranti serta memberikan sokongan mekanik bagi integriti struktur. Walau bagaimanapun, prestasi bahan pateri sebagai bahan antarasambungan adalah bergantung kepada faktor jenis bahan pateri dan teknik pematerian yang digunakan (Nabihah & Nurulakmal 2019). Beberapa dekad yang lalu, pateri berasaskan plumbum, Sn-37Pb digunakan dengan meluas kerana mempunyai takat lebur (T_m) yang rendah iaitu 183 °C, sifat kebolehbasahan yang baik serta harga pasaran yang murah (Aamir et al. 2019; Fazal et al. 2019; Lee, Zee & Foo 2021; Sonawane, Bupesh Raja & Gupta 2021). Namun pada tahun 2006, sekatan bahan berbahaya (RoHS) dikeluarkan oleh Kesatuan Eropah telah mengehadkan penggunaan bahan berasaskan Pb di dalam komponen elektronik (Huang et al. 2020). Ini disebabkan oleh Pb merupakan logam berat dan bersifat toksik yang boleh menjejaskan kesihatan serta persekitaran (Lodo et al. 2018; Román-Ochoa et al. 2021). Sehubungan itu, pelbagai jenis bahan pateri berasaskan timah yang bebas Pb mula dihasilkan seperti Sn-Cu, Sn-Ag dan Sn-Ag-Cu sebagai alternatif untuk mengurangkan penggunaan bahan Pb dalam pateri (Raj et al. 2019; Sonawwanay & Raja 2019).

Integriti struktur sambungan pateri adalah sangat penting kerana ia memberikan sokongan mekanik yang berterusan kepada komponen elektronik (Jeong et al. 2022). Integriti struktur yang lemah menyebabkan berlakunya retak, kegagalan sambungan pateri dan seterusnya mengakibatkan peranti elektronik tidak dapat berfungsi (Depiver et al. 2021). Sambungan pateri dalam pakej elektronik terdedah kepada gabungan kesan elektrik, tekanan mekanik dan terma semasa proses pembuatan komponen elektronik, proses pematerian, pemasangan, perkhidmatan komponen elektronik

(Zhong et al. 2022). Rawatan haba diaplikasikan kepada sambungan pateri bagi tujuan pengubahsuaian mikrostruktur dan sifat mekanik bagi integriti struktur yang lebih baik (Morando & Fornaro 2021). Jalar et al. (2020) telah mengkaji kesan suhu penuaan ke atas perubahan sifat mikromekanik dari segi kekerasan dan modulus terkurang bagi sambungan pateri SAC0307. Hasil kajian tersebut menunjukkan semakin meningkat suhu penuaan, semakin menyusut nilai kekerasan dan modulus terkurang. Hal ini menunjukkan suhu memberikan kesan negatif dan mengakibatkan sifat integriti struktur sambungan pateri semakin menyusut. Justeru, adalah penting untuk memahami kesan proses terhadap integriti struktur sambungan pateri kerana ia menentukan kebolehharian sambungan pateri di dalam pempakejan elektronik.

Rawatan termomekanik merupakan gabungan antara rawatan terma dan pembebanan mekanik. Rawatan termomekanik ini telah digunakan dengan meluas untuk mengubah suai mikrostruktur dan sifat mekanik aloi (Mondol, Kumar & Chattopadhyay 2019). Tujuan utama rawatan termomekanik dilakukan ke atas aloi adalah untuk mengecilkan saiz butiran, memperbaiki tekstur mikrostruktur, meningkatkan kekuatan aloi, sifat elastik, kestabilan terma dan kekonduksian elektrik (Barkov et al. 2021; Joo et al. 2018; Kudryashova et al. 2020). Kajian oleh He et al. (2020) mendapati rawatan termomekanik telah meningkatkan sifat mekanik dan fizikal aloi Al-Cu dari segi kekuatan, pemanjangan, sifat tak-isotrop yang rendah serta penghasilan butiran yang lebih kecil. Lantaran itu, proses termomekanikal dilihat berpotensi untuk diaplikasikan ke atas bahan pateri Sn-0.7Cu bagi mengubah suai mikrostruktur dan menambahbaik sifat mekanik untuk integriti struktur sambungan pateri yang lebih baik.

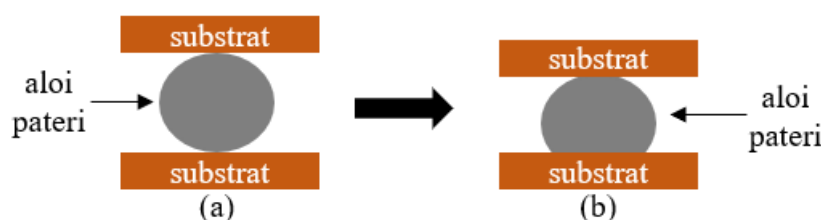
Dimensi ketinggian bahan pateri menyusut selepas proses pematerian kerana proses metalurgi pematerian yang melibatkan peleburan bahan pateri bagi pembentukan sambungan pateri pada substrat (Le

et al. 2019; Qin et al. 2015; Xu, Liu & Sun 2019). Rajah 1 menunjukkan ilustrasi perubahan dimensi ketinggian bahan pateri sebelum dan proses pematerian. Oleh kerana sambungan pateri terdedah dengan tekanan mekanik dan terma di dalam pakej elektronik, maka penyelidikan ini mengkaji kesan rawatan termomekanik terhadap integriti struktur bahan aloi pateri Sn-0.7Cu. Rawatan termomekanik mampatan tunggal dengan variasi suhu rawatan terma didedahkan kepada bahan pateri bagi mengkaji perubahan mikrostruktur dari segi bentuk dan saiz dan sifat mikromekanik setempat aloi pateri. Mampatan tunggal sebanyak 20% dipilih kerana nilai ini merupakan had tipikal perubahan dimensi bahan pateri selepas proses pematerian. Sifat mikromekanik setempat

aloi pateri dari segi kekerasan dan modulus terkurang aloi pateri dikaji dengan menggunakan pendekatan pelekukan nano. Kekerasan adalah pengukuran rintangan suatu bahan terhadap canggaaan plastik yang merupakan salah satu sifat mekanik yang penting dalam menentukan kekuatan bahan. Kaedah pelekukan nano ini merupakan satu kaedah yang mampu memberikan maklumat sifat mikromekanik setempat berskala nano berbanding dengan kaedah konvensional seperti Vickers yang hanya memberikan maklumat sifat mekanik secara pukal (Bakar et al. 2019).

BAHAN DAN KAEDAH

Aloi pateri Sn-0.7Cu diperoleh secara komersial dalam pasaran Malaysia dalam bentuk bar dengan kandungan



RAJAH 1. Ilustrasi perubahan dimensi bahan pateri (a) sebelum dan (b) selepas proses pematerian

bahan 99.3 bt. % Sn dan 0.7 bt. % Cu. Bar aloi pateri Sn-0.7Cu dipotong kepada saiz yang lebih kecil iaitu bentuk kiub dengan luas permukaan 360 mm^3 ($6 \text{ mm (p)} \times 6 \text{ mm (l)} \times 10 \text{ mm (t)}$) bagi memudahkan pengendalian sampel. Sampel dibahagi kepada dua kumpulan iaitu empat sampel melalui rawatan haba dan selebihnya melalui rawatan termomekanik. Pertama sekali, sampel didedahkan kepada haba selama 20 minit di dalam ketuhar pada suhu yang berbeza iaitu $30 \text{ }^\circ\text{C}$, $60 \text{ }^\circ\text{C}$, $90 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $120 \text{ }^\circ\text{C}$. Kemudian, sampel dikeluarkan daripada ketuhar dan dimampatkan dengan menggunakan tolok tolak tarik sehingga ketebalan asal sampel berkurang sebanyak 20% iaitu dari 10 mm kepada 8 mm. Seterusnya, sampel akan dilindap di dalam medium air. Sampel kawalan merupakan sampel yang terawat haba tanpa proses mampatan tunggal. Sampel kawalan ini dipanaskan selama 20 minit di dalam ketuhar pada suhu yang berbeza iaitu $30 \text{ }^\circ\text{C}$, $60 \text{ }^\circ\text{C}$, $90 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $120 \text{ }^\circ\text{C}$ dan dilindap di dalam medium air. Seterusnya, sampel disediakan dalam bentuk keratan rentas menggunakan teknik metalografi bagi pencerian sifat mikromekanik.

Untuk teknik metalografi, sampel dicagak dalam campuran resin epoksi dengan nisbah serbuk resin kepada cecair resin sebanyak 3:2. Kedua-dua bahan ini dicampur dalam cawan polisterin dan digaul selama 30 saat untuk menghasilkan larutan yang homogen. Larutan resin epoksi dituang ke dalam bekas acuan berisi sampel dan dibiarkan selama tiga hingga empat jam untuk mengeras pada suhu bilik. Sampel dikeluarkan daripada bekas acuan dan diikuti dengan proses lelasan. Proses ini dimulakan dengan gred kertas las silikon karbida (SiC) yang kasar kepada halus iaitu 800 grit, 1000 grit, 1200 grit, 2000 grit dan 4000 grit. Selesai proses lelasan, sampel digilap menggunakan kain penggilap jenis Dp-Nap (Struers) bersama dengan semburan berlian bersaiz $1 \text{ } \mu\text{m}$ dan diikuti dengan $0.25 \text{ } \mu\text{m}$. Sampel dicirikan melalui mikroskop fokus tak terhingga (IFM) untuk mencerap mikrostruktur aloi pateri Sn-0.7Cu selepas rawatan haba dan rawatan termomekanik mampatan tunggal. Analisis kualitatif dan kuantitatif mikrostruktur melibatkan analisis bentuk, saiz dan pengiraan luas butiran menggunakan perisian ImageJ. Ujian pelekukan

nano (Micro Materials, NanoTest™) digunakan untuk mencirikan sifat mikromekanik setempat dari segi kekerasan dan modulus terkurang. Parameter ujian pelekukan nano ialah beban maksimum sebanyak 10 mN dengan kadar pembebanan dan pelepasan beban sebanyak 0.5 mN/s dan masa inap selama 540 saat. Ujian pelekukan nano mengambil kira luas sentuhan (A_c) pada beban maksimum ($P_{maksimum}$) dalam menentukan nilai kekerasan (H) bagi bahan uji kaji seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (1).

$$H = \frac{P_{maksimum}}{A_c} \quad (1)$$

Selain itu, maklumat berkaitan modulus terkurang (E_r) juga dapat diperolehi melalui ujian ini seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (2). Berdasarkan persamaan tersebut, E_s dan V_s adalah modulus Young dan nisbah Poisson bagi sampel, manakala E_i dan V_i merupakan parameter yang sama tetapi untuk pelekuk. Pelekuk jenis Berkovich telah digunakan dalam kajian ini, maka nilai E_i dan V_i adalah 0.07 dan 1141 GPa.

$$E_r = \frac{(1 - V_s^2)}{E_s} + \frac{(1 - V_i^2)}{E_i} \quad (2)$$

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

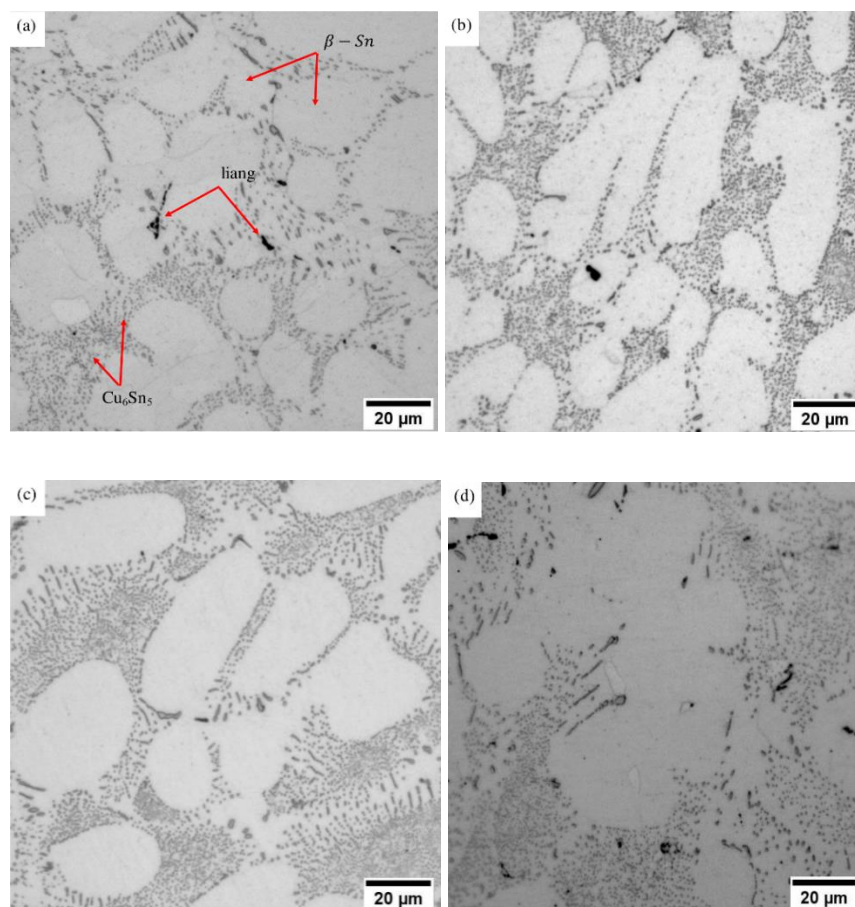
Rajah 2 menunjukkan mikrograf mikrostruktur yang dicerap bagi aloi pateri Sn-0.7Cu selepas rawatan haba dari suhu 30 °C - 120 °C. Mikrostruktur yang berwarna cerah merupakan butiran yang terdiri daripada fasa kaya timah atau lebih dikenali sebagai β -Sn, manakala butiran yang berwarna gelap ialah butiran bagi fasa eutektik, Cu_6Sn_5 (Baghdadi et al. 2019). Pada suhu 30 °C, bentuk butiran β -Sn kelihatan bulat dan jelas, diameter butiran sekitar 20 μm dan jarak antara fasa β -Sn dan Cu_6Sn_5 adalah jauh (Rajah 2(a)). Apabila suhu rawatan haba dinaikkan kepada 60 °C, butiran β -Sn telah bergabung dan bentuk menjadi semakin besar dan lebih jelas pada suhu rawatan haba 120 °C (Rajah 2(b)-2(d)). Sebelum rawatan haba, sampel Sn-0.7Cu mengandungi kecacatan seperti kehelan yang terbentuk secara rawak (Rajah 2(a)). Apabila sampel melalui rawatan haba pada suhu yang lebih tinggi (60 °C-120 °C), berlaku susunan semula kehelan dan sebahagian daripada butiran tersebut telah bergabung. Rawatan haba telah mengakibatkan saiz butiran semakin membesar akibat proses pengasaran. Hal ini adalah selari dengan kajian Morando dan Fornaro

(2021) yang mana berlaku pengasaran butiran fasa kaya timah (Sn) apabila suhu penuaan meningkat kepada 453K. Peningkatan suhu penuaan dari 350 °C kepada 550 °C ke atas kepingan titanium (Ti) selepas penggulangan sejuk juga telah mengakibatkan pengasaran butiran (Hu et al. 2022). Rajah 3 menunjukkan perubahan mikrostruktur bagi aloi pateri Sn-0.7Cu selepas rawatan termomekanik mampatan tunggal. Mikrostruktur aloi pateri dengan rawatan termomekanik mampatan tunggal pada suhu 30 °C menunjukkan bentuk fasa β -Sn kelihatan melonjong sejajar dengan arah mampatan (Rajah 3(a)). Jika dibandingkan dengan mikrostruktur aloi pateri Sn-0.7Cu selepas rawatan haba, adalah didapati pada suhu 30 °C, 60 °C dan 90 °C, terdapat pembentukan sub-butiran. Selain itu, rawatan termomekanik mampatan tunggal dengan variasi suhu rawatan haba ke atas aloi pateri Sn-0.7Cu telah mengakibatkan kehelan yang baru terbentuk dan terperangkap bersama kehelan yang sedia ada di dalam mikrostrukturnya, kesannya ketumpatan kehelan semakin bertambah dan sampel menjadi tidak stabil secara termodinamik (Rollett, Rohrer & Humphreys 2017). Butiran Cu_6Sn_5 , yang terbentuk secara rawak dalam mikro struktur aloi pateri bertindak sebagai penghalang kepada pergerakan kehelan, mengakibatkan berlakunya pengumpulan kehelan dan meningkatkan ketumpatan kehelan (Ismail et al. 2019). Rawatan termomekanik mampatan tunggal pada suhu yang rendah iaitu 30 °C telah menyebabkan kehelan yang berketumpatan tinggi mula bergerak dan menggelungsur antara satu sama lain untuk penyusunan semula, mengakibatkan pembentukan awal sempadan butiran sudut rendah (LAGB) dan sub-butiran seperti ditunjukkan dalam Rajah 3(a). Apabila suhu dinaikkan kepada 60 °C dan 120 °C semasa rawatan termomekanik mampatan tunggal, sempadan sub-butiran ini terencat oleh butiran Cu_6Sn_5 dan kehelan dimasukkan secara berterusan dalam sempadan butiran ini. Akhirnya, LAGB berubah menjadi sempadan butiran sudut tinggi (HAGB), iaitu pembentukan butiran terhablur semula yang baru (Rajah 3(b)-3(d)). Pembentukan butiran penghabluran semula ini telah menghasilkan mikrostruktur yang lebih kecil dan seragam. Selepas fasa pemulihan selesai, penukleusan berlaku pada sempadan butiran dan kemudian berlaku pertumbuhan butiran untuk membentuk struktur butiran yang baru (Liu & Ji 2019). Ini adalah selari dengan analisis kuantitatif yang menunjukkan purata luas butiran semakin rendah selepas rawatan termomekanik mampatan tunggal (Rajah 4). Adalah didapati bahawa purata luas butiran bagi aloi pateri dengan rawatan haba menunjukkan kenaikan saiz butiran daripada 460

μm^2 kepada $699 \mu\text{m}^2$. Manakala, saiz butiran aloi pateri selepas rawatan termomekanik mampatan tunggal dalam kajian ini telah menunjukkan pengecilan saiz butiran yang ketara iaitu dari $2307 \mu\text{m}^2$ pada suhu $30 \text{ }^\circ\text{C}$ kepada $46 \mu\text{m}^2$ pada suhu $120 \text{ }^\circ\text{C}$. Ini menunjukkan bahawa

suhu $120 \text{ }^\circ\text{C}$ dalam rawatan termomekanik mampatan tunggal kajian ini mampu mengubah suai mikrostruktur aloi pateri Sn-0.7Cu.

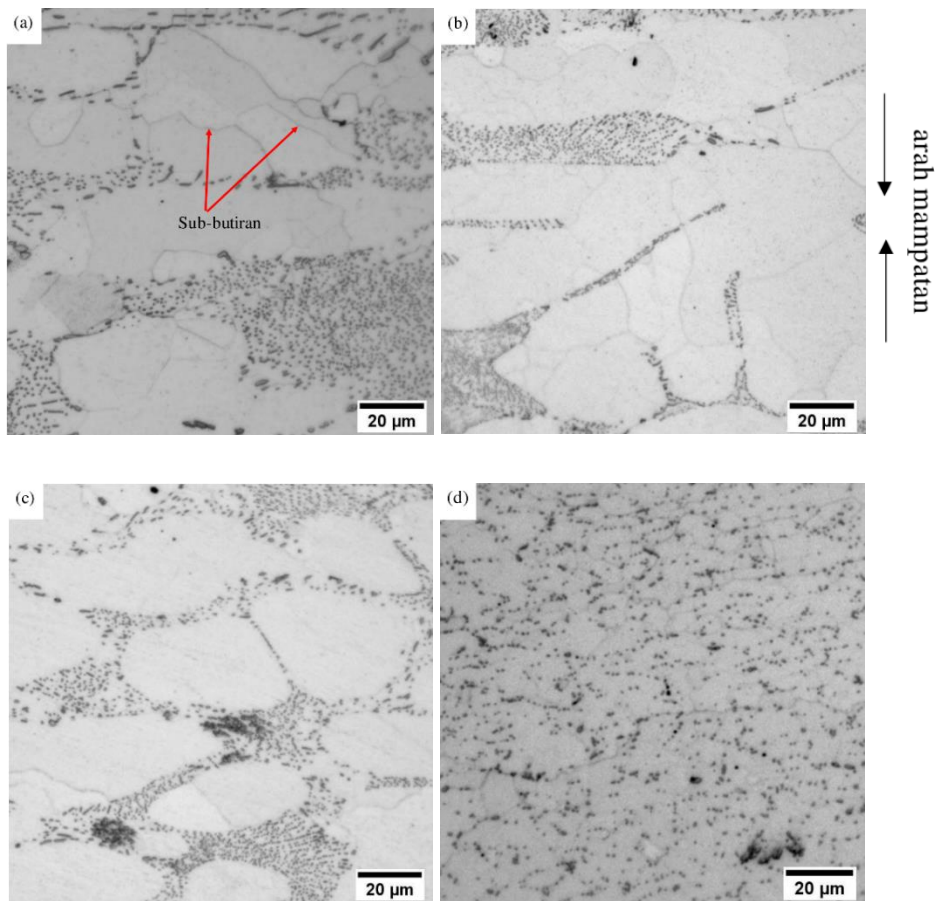
Lengkung beban (P) melawan kedalaman (h) bagi aloi pateri Sn-0.7Cu selepas rawatan haba dan



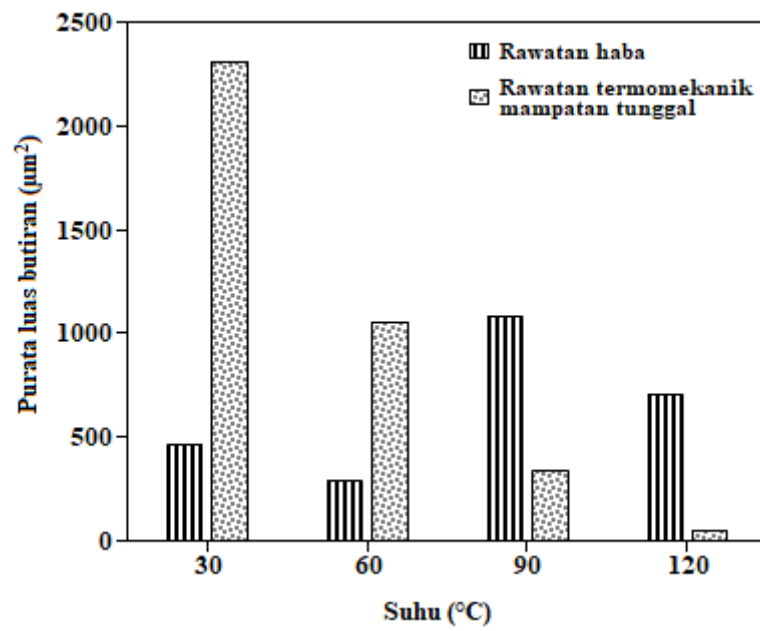
RAJAH 2. Mikrostruktur aloi pateri Sn-0.7Cu dengan rawatan haba pada suhu: (a) $30 \text{ }^\circ\text{C}$, (b) $60 \text{ }^\circ\text{C}$, (c) $90 \text{ }^\circ\text{C}$ dan (d) $120 \text{ }^\circ\text{C}$

termomekanik mampatan tunggal telah ditunjukkan dalam Rajah 5. Adalah didapati bahawa kedalaman sampel selepas rawatan haba meningkat seiring dengan peningkatan suhu rawatan haba dan menunjukkan julat kedalaman yang lebih besar dari 1200 nm ($30 \text{ }^\circ\text{C}$) hingga 2100 nm ($120 \text{ }^\circ\text{C}$) (Rajah 5(a)). Manakala bagi sampel dengan rawatan termomekanik mampatan tunggal menunjukkan julat kedalaman yang lebih rendah sekitar $1300\text{-}1500 \text{ nm}$ (Rajah 5(b)). Rajah 6 menunjukkan nilai kekerasan bagi aloi pateri Sn-0.7Cu selepas rawatan haba dan termomekanik mampatan tunggal.

Nilai kekerasan bagi sampel selepas rawatan haba telah menurun dengan peningkatan suhu iaitu 236 MPa ($30 \text{ }^\circ\text{C}$) kepada 195 MPa ($60 \text{ }^\circ\text{C}$), 149 MPa ($90 \text{ }^\circ\text{C}$) dan 87 MPa ($120 \text{ }^\circ\text{C}$). Ini menunjukkan kekerasan sampel terawat haba telah menyusut sebanyak 63%. Ini adalah selari dengan teori kekerasan bahan logam iaitu berlakunya kelakuan perlembutan, yang mana kekerasan logam akan mengalami penyusutan atau berkadar songsang dengan peningkatan suhu semasa rawatan (Ismail et al. 2018). Berbeza dengan sampel selepas rawatan termomekanik, mampatan tunggal menghasilkan jurang perbezaan



RAJAH 3. Mikrostruktur aloi pateri Sn-0.7Cu dengan rawatan termomekanik mampatan tunggal pada suhu: (a) 30 °C, (b) 60 °C, (c) 90 °C dan (d) 120 °C

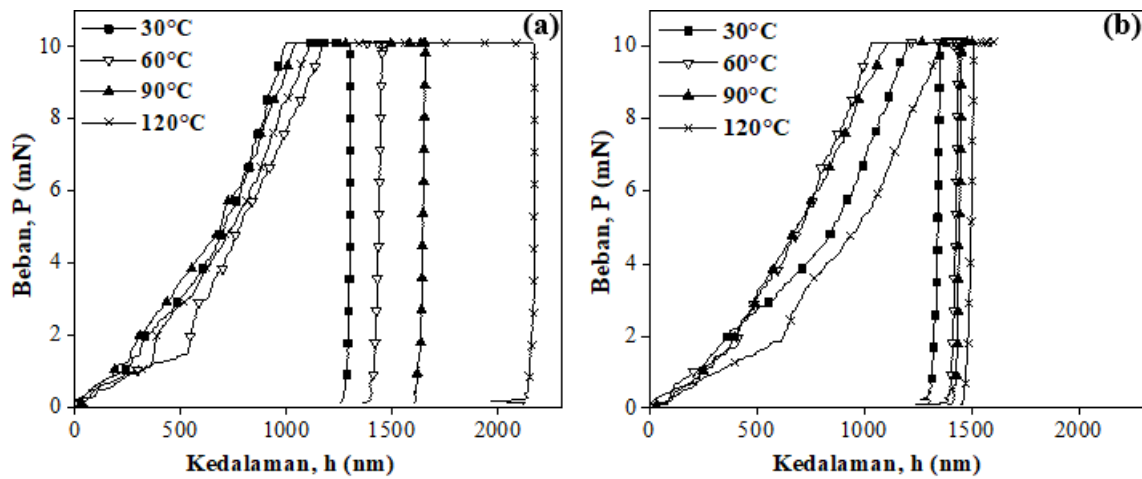


RAJAH 4. Purata luas butiran aloi pateri selepas rawatan haba dan rawatan termomekanik mampatan tunggal pada suhu 30 °C hingga 120 °C

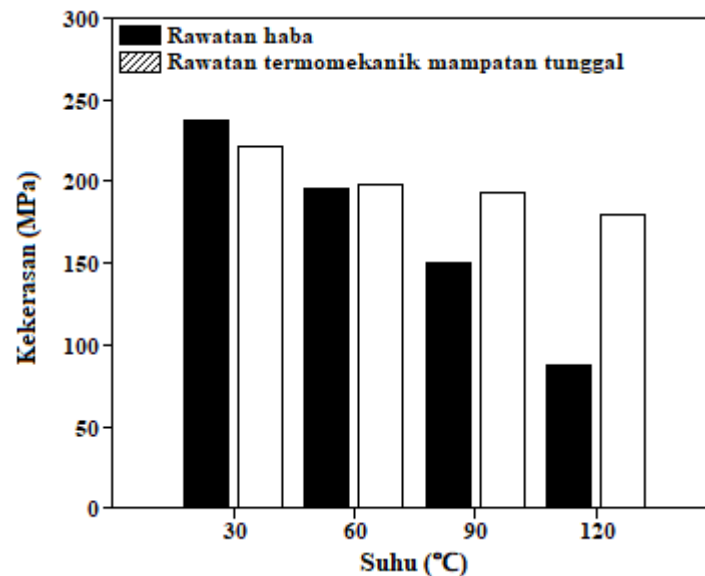
nilai kekerasan yang lebih rendah iaitu sekitar 19%. Nilai kekerasan sampel dengan rawatan termomekanik mampatan tunggal telah menyusut daripada 222 MPa pada suhu 30 °C kepada 197 MPa (60 °C), 192 MPa (90 °C) dan 179 MPa (120 °C). Rawatan termomekanik mampatan tunggal pada suhu 60 °C dan 90 °C memberikan nilai kekerasan yang hanya berbeza sebanyak 5 MPa.

Manakala jika dibandingkan perubahan nilai kekerasan pada suhu 60 °C dan 90 °C bagi sampel terawat haba, julat perbezaan nilai kekerasan menunjukkan perubahan yang lebih tinggi, hampir 10 kali ganda iaitu sekitar 46 MPa.

Rajah 7 menunjukkan nilai modulus terkurang bagi aloi pateri Sn-0.7Cu dengan rawatan haba dan termomekanik mampatan tunggal pada suhu yang



RAJAH 5. Lengkung beban, P melawan kedalaman, h bagi sampel aloi pateri Sn-0.7Cu selepas: (a) rawatan haba dan (b) rawatan termomekanik mampatan tunggal

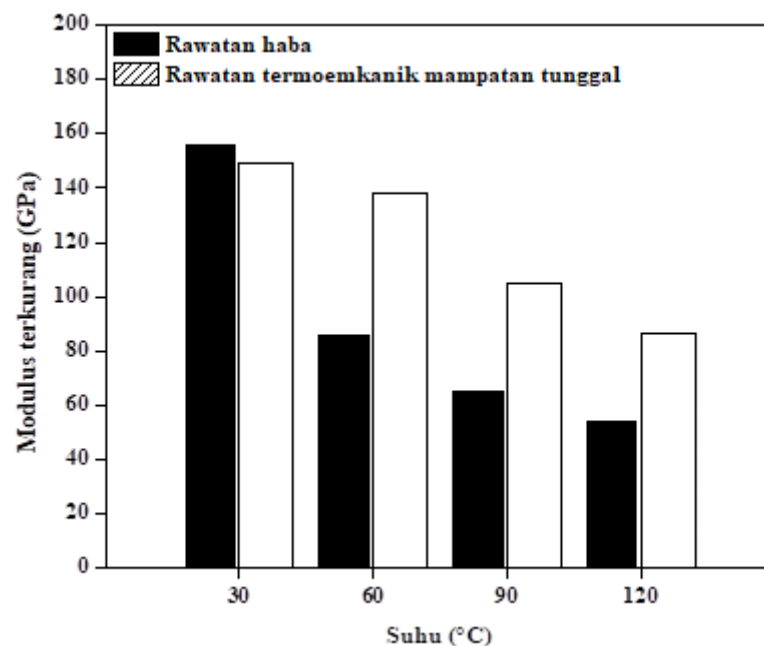


RAJAH 6. Kekerasan aloi pateri Sn-0.7Cu selepas rawatan haba dan rawatan termomekanik mampatan tunggal pada suhu yang berbeza

berbeza. Secara jelasnya, tren penurunan nilai modulus terkurang didapati bagi kedua-dua jenis rawatan. Modulus terkurang bagi sampel dengan rawatan haba pada suhu 30 °C ialah 156 GPa, menurun hampir 50% kepada 85 GPa pada suhu 60 °C dan seterusnya 65 GPa dan 48 GPa bagi suhu 90 °C dan 120 °C. Penyusutan nilai modulus terkurang selepas rawatan haba dari suhu 30 °C hingga 120 °C adalah sekitar 69%. Sampel dengan rawatan termomekanik mampatan tunggal juga menunjukkan penurunan nilai modulus terkurang daripada 149 GPa pada 30 °C kepada 138 GPa pada 60 °C. Perubahan modulus terkurang yang lebih besar berlaku apabila menganjak suhu 90 °C kepada 87 GPa melibatkan perubahan sebanyak 57 GPa. Nilai modulus terkurang bagi sampel terawat termomekanik mampatan

tunggal pada suhu 120 °C ialah 72 GPa. Ini menunjukkan perubahan modulus terkurang dari suhu 30 °C hingga 120 °C yang lebih rendah sebanyak 52% jika dibandingkan dengan sampel terawat haba sebanyak 69%. Berdasarkan pada kajian yang dijalankan oleh Abdullah et al. (2018), nilai modulus berkait rapat dengan sifat intrinsik bahan dan bukannya mikrostruktur. Perubahan nilai modulus yang signifikan bagi suatu bahan disebabkan oleh perubahan orientasi kristalografi yang mendadak. Perbincangan ini disokong oleh kajian daripada Sun et al. (2018) yang mana aloi entropi tinggi (HEA) membentuk fasa kubus berpusat muka (FCC) apabila nilai modulus terkurang menyusut secara mendadak.

Keputusan sifat mikromekanik kajian ini menunjukkan bahawa rawatan termomekanik



RAJAH 7. Modulus terkurang aloi pateri Sn-0.7Cu selepas rawatan haba dan termomekanik mampatan tunggal pada suhu yang berbeza

mampatan tunggal telah memberikan kestabilan sifat mikromekanik dari segi perubahan nilai kekerasan dan modulus terkurang yang lebih sedikit berbanding dengan sampel yang melalui rawatan haba. Kestabilan sifat mikromekanik dari segi kekerasan aloi pateri Sn-0.7Cu berjaya dicapai melalui rawatan termomekanik mampatan tunggal kerana mampatan atau pembebanan telah mengakibatkan pembebasan haba pada kadar yang

pantas yang kemudian membentuk butiran yang lebih kecil atau halus (Tang et al. 2020). Apabila berlaku pertumbuhan butiran, kehelan yang berkumpul di sempadan butiran yang baru terbentuk akan lenyap. Ini juga ditunjukkan oleh perubahan mikrostruktur seperti dalam Rajah 2 dan juga seiring dengan nilai kekerasan sampel Sn-0.7Cu berkurangan dengan ketara kepada 87 MPa pada 120 °C selepas rawatan haba (Rajah 6).

Ini adalah selari dengan kajian Zeng et al. (2021) yang melaporkan beban mampatan yang dikenakan untuk mengurangkan ketebalan bahan memberikan halangan yang lebih banyak kerana kepadatan kehelan yang tinggi pada mikrostruktur bahan seterusnya menunjukkan sifat kekerasan bagi Sn-Cu lebih stabil selepas rawatan termomekanik.

KESIMPULAN

Penyelidikan ini telah mengkaji tentang kesan suhu dalam rawatan termomekanik mampatan tunggal ke atas perubahan mikrostruktur dan sifat mikromekanik aloi pateri Sn-0.7Cu. Perbandingan sampel kawalan iaitu sampel dengan rawatan haba digunakan untuk mengenal pasti kesan suhu yang signifikan ke atas perubahan mikrostruktur dan sifat mikromekanik. Hasil kajian menunjukkan bentuk dan saiz butiran menjadi lebih besar dengan kenaikan suhu rawatan haba. Manakala mikrostruktur berbentuk butiran yang kecil dan seragam telah terhasil dengan rawatan termomekanik mampatan tunggal sebanyak 20% pada suhu 120 °C. Sifat mikromekanik aloi pateri dari segi kekerasan menunjukkan perubahan sebanyak 149 MPa selepas rawatan haba dan 43 MPa selepas rawatan termomekanik mampatan tunggal. Nilai modulus berkurang juga menunjukkan perubahan yang lebih tinggi iaitu 108 GPa bagi rawatan haba berbanding 77 GPa bagi rawatan termomekanik mampatan tunggal. Kajian ini menunjukkan rawatan termomekanik mampatan tunggal telah mampu mengubah suai mikrostruktur aloi pateri Sn-0.7Cu serta memberikan kestabilan sifat mikromekanik aloi pateri dari segi kekerasan dan modulus berkurang.

PENGHARGAAN

Penulis merakamkan penghargaan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia dan Kementerian Pengajian Tinggi (KPT) untuk geran penyelidikan FRGS/1/2019/STG07/UKM/03/1.

RUJUKAN

- Aamir, M., Muhammad, R., Tolouei-Rad, M., Giasin, K. & Silberschmidt, V.V. 2019. A review: Microstructure and properties of tin-silver-copper lead-free solder series for the applications of electronics. *Soldering & Surface Mount Technology* 32(2): 115-126.
- Abdullah, I., Zulkifli, M.N., Jalar, A. & Ismail, R. 2018. Deformation behavior relationship between tensile and nanoindentation tests of SAC305 lead-free solder wire. *Soldering and Surface Mount Technology* 30(3): 194-202.
- Bakar, M.A., Jalar, A., Wan Yusoff, W.Y., Safee, N.S., Ismail, A., Ismail, N., Salleh, E.M. & Ibrahim, N.S. 2019. Effect of shock wave on micromechanical properties of SAC 0307/ENiG solder joint using nanoindentation approach. *Sains Malaysiana* 48(6): 1273-1279.
- Baghdadi, A.H., Rajabi, A., Selamat, N.F.M., Sajuri, Z. & Omar, M.Z. 2019. Effect of post-weld heat treatment on the mechanical behavior and dislocation density of friction stir welded Al6061. *Materials Science and Engineering: A* 754: 728-734.
- Barkov, R.Y., Mikhaylovskaya, A.V., Yakovtseva, O.A., Loginova, I.S., Prosviryakov, A.S. & Pozdnyakov, A.V. 2021. Effects of thermomechanical treatment on the microstructure, precipitation strengthening, internal friction, and thermal stability of Al-Er-Yb-Sc alloys with good electrical conductivity. *Journal of Alloys and Compounds* 855: 157367.
- Depiver, J.A., Mallik, S. & Harmanto, D. 2021. Solder joint failures under thermo-mechanical loading conditions - A review. *Advances in Materials and Processing Technologies* 7(1): 1-26.
- Fazal, M.A., Liyana, N.K., Rubaiee, S. & Anas, A. 2019. A critical review on performance, microstructure and corrosion resistance of Pb-free solders. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* 134: 897-907.
- He, H., Yi, Y., Huang, S., Guo, W. & Zhang, Y. 2020. Effects of thermomechanical treatment on grain refinement, second-phase particle dissolution, and mechanical properties of 2219 Al alloy. *Journal of Materials Processing Technology* 278: 116506.
- Hu, X., Chai, L., Shen, J., Wu, H., Li, Y., Cheng, J., Luo, J. & Yao, L. 2022. Microstructure, texture, and hardness evolution of cold-rolled high-purity Ti sheet during annealing at 350 °C to 550 °C. *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science* 53(6): 2086-2098.
- Huang, C.M., Raj, A., Osterman, M. & Pecht, M. 2020. Assembly options and challenges for electronic products with lead-free exemption. *IEEE Access* 8: 134194-134208.
- Ismail, N., Jalar, A., Abu Bakar, M., Ismail, R., Safee, N.S., Ismail, A.G. & Ibrahim, N.S. 2019. Effect of isothermal aging on microhardness properties of Sn-Ag-Cu/CNT/Cu using nanoindentation. *Sains Malaysiana* 48(6): 1267-1272.
- Ismail, N., Jalar, A., Bakar, M.A. & Ismail, R. 2018. Effect of carbon nanotube addition on the growth of intermetallic layer of Sn-Ag-Cu solder system under thermal aging. *Sains Malaysiana* 47(7): 1585-1590.
- Jalar, A., Bakar, M.A. & Ismail, R. 2020. Temperature dependence of elastic-plastic properties of fine-pitch SAC 0307 solder joint using nanoindentation approach. *Metallurgical and Materials Transactions A* 51(3): 1221-1228.

- Jeong, M.S., Lee, D.H. & Yoon, J.W. 2022. Effect of temperature on shear properties of Sn-3.0Ag-0.5Cu and Sn-58Bi solder joints. *Journal of Alloys and Compounds* 903: 163987.
- Joo, H.S., Hwang, S.K. & Im, Y.T. 2018. Effect of thermomechanical treatment on mechanical and electrical properties of Cu-Cr-Zr alloy in continuous hybrid process. *Procedia Manufacturing* 15: 1525-1532.
- Kudryashova, A., Sheremetyev, V., Lukashevich, K., Cheverikin, V., Inaekyan, K., Galkin, S., Prokoshkin, S. & Brailovski, V. 2020. Effect of a combined thermomechanical treatment on the microstructure, texture and superelastic properties of Ti-18Zr-14Nb alloy for orthopedic implants. *Journal of Alloys and Compounds* 843: 156066.
- Le, W.K., Ning, X., Ke, C.B., Zhou, M.B. & Zhang, X.P. 2019. Current density dependent shear performance and fracture behavior of micro-scale BGA structure Cu/Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu joints under coupled electromechanical loads. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 30(16): 15184-15197.
- Lee, A., Zee, B. & Foo, F.J. 2021. Application of EBSD study of Cu-Sn IMCs in SAC305 and Sn0.7Cu solder joints to determine the suitability of Sn0.7Cu solder as alternative in mitigating ILD cracks/delamination. *2021 IEEE 23rd Electronics Packaging Technology Conference (EPTC)*. pp. 435-439.
- Liu, G. & Ji, S. 2019. Microstructure, dynamic restoration and recrystallization texture of Sn-Cu after rolling at room temperature. *Materials Characterization* 150(December 2018): 174-183.
- Lodo, K., Dalglish, C., Patel, M. & Veitch, M. 2018. A novel public health threat - high lead solder in stainless steel rainwater tanks in Tasmania. *Australian and New Zealand Journal of Public Health* 42(1): 77-82.
- Mondol, S., Kumar, S. & Chattopadhyay, K. 2019. Effect of thermo-mechanical treatment on microstructure and tensile properties of 2219ScMg alloy. *Materials Science and Engineering: A* 759: 583-593.
- Morando, C. & Fornaro, O. 2021. Influence of aging on microstructure and hardness of lead-free solder alloys. *Soldering and Surface Mount Technology* 33(1): 57-64.
- Nabihah, A. & Nurulakmal, M. 2019. Effect of In addition on microstructure, wettability and strength of SnCu solder. *Materials Today: Proceedings* 17: 803-809.
- Qin, H.B., Zhang, X.P., Zhou, M.B., Li, X.P. & Mai, Y.W. 2015. Geometry effect on mechanical performance and fracture behavior of micro-scale ball grid array structure Cu/Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu solder joints. *Microelectronics Reliability* 55(8): 1214-1225.
- Raj, R., Shrivastava, P., Jindal, N., Alam, S.N., Naithani, N., Padhy, M., Phani, A.S.D., Ramana, T.V.V. & Abbas, M.M. 2019. Development and characterization of eutectic Sn-Zn, Sn-Ag, Sn-Bi and Sn-Cu solder alloys. *International Journal of Materials Research* 110 (12): 1150-1159.
- Rollett, A., Rohrer, G.S. & Humphreys, J. 2017. *Recrystallization and Related Annealing Phenomena*. 3rd ed. Oxford: Elsevier.
- Román-Ochoa, Y., Choque Delgado, G.T., Tejada, T.R., Yucra, H.R., Durand, A.E. & Hamaker, B.R. 2021. Heavy metal contamination and health risk assessment in grains and grain-based processed food in Arequipa region of Peru. *Chemosphere* 2021: 129792.
- Sonawane, P.D., Bupesh Raja, V.K. & Gupta, M. 2021. Mechanical properties and corrosion analysis of lead-free Sn-0.7Cu solder CSI joints on Cu substrate. *Materials Today: Proceedings* 46: 1101-1105.
- Sonawwanay, P.D. & Raja, V.K.B. 2019. Advances in lead-free solders. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)* 10(2): 520-526.
- Sun, Y., Chen, P., Liu, L., Yan, M., Wu, X., Yu, C. & Liu, Z. 2018. Local mechanical properties of Al CoCrCuFeNi high entropy alloy characterized using nanoindentation. *Intermetallics* 93: 85-88.
- Tang, Z., Jiang, F., Long, M., Jiang, J., Liu, H. & Tong, M. 2020. Effect of annealing temperature on microstructure, mechanical properties and corrosion behavior of Al-Mg-Mn-Sc-Zr alloy. *Applied Surface Science* 514: 146081.
- Xu, R., Liu, Y. & Sun, F. 2019. Effect of isothermal aging on the microstructure, shear behavior and hardness of the Sn58Bi/Sn3.0Ag0.5Cu/Cu solder joints. *Results in Physics* 15: 102701.
- Zeng, H., Sui, H., Wu, S., Liu, J., Wang, H., Zhang, J. & Yang, B. 2021. Evolution of the microstructure and properties of a Cu-Cr-(Mg) alloy upon thermomechanical treatment. *Journal of Alloys and Compounds* 857: 157582.
- Zhong, S.J., Zhang, L., Li, M.L., Long, W.M. & Wang, F.J. 2022. Development of lead-free interconnection materials in electronic industry during the past decades: Structure and properties. *Materials and Design* 215: 110439.

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: maria@ukm.edu.my