

Kesan Bentuk Hujung Elektrod Terhadap Kimpalan Rintangan Bintik Mikro Sambungan Titanium-Nikel

Hussain Zuhailawati*, Emee Marina Salleh, Alaa Muhsin Saeed

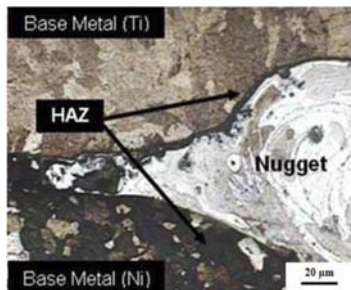
Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral, Kampus Kejuruteraan, Universiti Sains Malaysia, 14300 Nibong Tebal, Pulau Pinang

*Corresponding author: zuhaila@usm.my

Article history

Received :21 March 2013
Received in revised form :
17 April 2014
Accepted :15 June 2014

Graphical abstract



Abstract

Micro resistance spot welding of dissimilar materials is more challenging than that of similar materials due to differences in physical and chemical properties of the base metals. Fortunately, the incorporation of filler alloys at the interfaces of the two overlapped dissimilar metals can successfully overcome this difficulty. This study evaluated the mechanical behavior and microstructural characteristics of titanium-to-nickel spot-welded with and without the incorporation of 71Ag-28Cu-1Mg using round, rectangular and ring-shaped tip electrodes. Results showed that the round electrode gave the joints with the highest failure load and microhardness values since its highest current density produced a smaller contact area with the workpieces, causing the deepest penetration of the welded nugget. Addition of Ag-Cu-Mg alloy filler during spot welding improved weldability over that of joints made without filler.

Keywords: Micro resistance spot welding; dissimilar material; Ti-Ni joints; electrode shape

Abstrak

Kimpalan rintangan bintik mikro bagi bahan yang berbeza adalah lebih mencabar berbanding kimpalan bahan yang sama disebabkan perbezaan sifat-sifat fizikal dan kimia logam dasar. Namun, penggunaan aloi pengisi di antaramuka dua bahan yang berbeza ini boleh mengatasi masalah tersebut. Kajian ini mengkaji kelakuan mekanikal dan ciri-ciri mikrostruktur kimpalan bintik titanium-nikel dengan aloi pengisi 71Ag-28Cu-1Mg dan juga tanpa aloi pengisi menggunakan elektrod berhujung bulat, segiempat dan cincin. Sambungan dari elektrod berhujung bulat memberikan beban kegagalan dan kekerasan mikro yang tertinggi kerana ia menghasilkan ketumpatan arus yang tinggi pada kawasan sentuhan yang kecil pada bahan kerja. Kawasan sentuhan yang kecil menyebabkan penembusan nuget terkimpal yang dalam yang menguatkan sambungan. Penambahan aloi pengisi Ag-Cu-Mg semasa kimpalan bintik telah menambahbaik kebolehkimpalan berbanding dengan sambungan tanpa pengisi.

Kata kunci: Kimpalan rintangan bintik mikro; bahan berbeza; sambungan Ti-Ni; bentuk elektrod

© 2014 Penerbit UTM Press. All rights reserved.

1.0 PENGENALAN

Dalam kimpalan rintangan bintik mikro, kimpalan terbentuk di antara dua bahan kerja melalui peleburan setempat melalui pemanasan rintangan yang dihasilkan oleh arus elektrik yang mengalir menerusi bahan kerja yang ditekan bersama di antara dua elektrod. Kimpalan bintik mikro telah diperkenalkan untuk memenuhi keperluan industri bagi menghasilkan kimpalan yang kecil terutamanya di bahagian-bahagian yang sangat kecil dan rumit tetapi memerlukan kekuatan yang tinggi terutamanya dalam industri automotif, elektronik, komponen telekomunikasi serta alat-alat perubatan. Oleh itu, proses kimpalan bintik memerlukan parameter pemprosesan yang optimum bagi membolehkan penghasilan sambungan yang berkualiti. Parameter optimum

mengambil kira jumlah dan tempoh arus elektrik, bentuk dan sifat bahan elektrod dan keadaan permukaan bahan kerja [1].

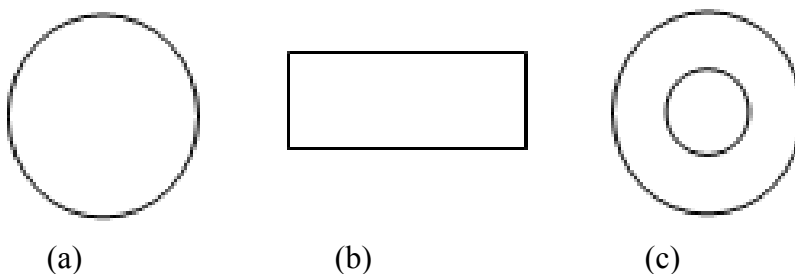
Di samping itu, pengimpalan bahan-bahan yang berbeza adalah lebih sukar kerana perbezaan pengembangan haba yang besar antara komponen sambungan [2] yang disebabkan oleh perbezaan sifat-sifat fizikal dan kimia logam dasar. Perbezaan ini boleh membawa kepada kemerosotan kualiti sambungan terkimpal yang disebabkan oleh masalah peledingan dan herotan. Dalam kajian ini, penggunaan logam pengisi telah diperkenalkan ketika proses kimpalan bagi mengurangkan masalah-masalah ini berdasarkan idea bahawa kekuatan pengisi logam adalah mencukupi untuk menghalang patah dan herotan logam dasar semasa penyeyjukan [3]. Kimpalan logam yang berlainan dengan sifat-sifat fizikal yang berbeza dengan ketara selalunya boleh

dikurangkan dengan memilih aloi pengisi dan kitaran kimpalan yang betul.

Satu teknik baru telah diperkenalkan untuk menyambung dua logam yang berlainan iaitu kimpalan rintangan bintang yang melibatkan kerajang logam pengisi ditempatkan di antaramuka bahan kerja [4]. Kimpalan rintangan bintang dengan pengisi boleh dilaksanakan menggunakan mesin kimpalan bintang biasa supaya bahan kerja dan logam pengisi membentuk litar elektrik. Tekanan diperlukan untuk mencapai aliran elektrik yang baik di antara dua elektrod dan aloi pengisi diletakkan di antara dua logam dasar sebelum proses kimpalan bermula. Dalam proses ini, hanya kawasan kecil setempat pada bahagian antaramuka mencapai suhu kimpalan berpengisi yang diperlukan. Oleh itu, kawasan sambungan adalah kecil tetapi mempamerkan kekuatan mekanikal yang tinggi. Maka, teknik ini sesuai untuk menyambung komponen elektronik atau logam elektro-mekanikal yang kecil yang bersifat

tidak seimbang haba dan elektrik [5]. Kimpalan rintangan berpengisi memerlukan logam pengisi bukan ferus dengan takat lebur melebihi 427°C , tetapi di bawah takat lebur logam dasar yang digunakan. Semasa lebur, cecair logam pengisi bercampur dengan leburan logam dasar di kawasan sambungan menerusi tindakan kapilari antara logam dasar serta proses pembauran. Elektrod dengan rekabentuk yang sesuai diperlukan untuk mengelakkan aloi pengisi atau logam dasar menjadi terlalu panas.

Penyelidikan ini mengkaji kesan hujung elektrod yang berbeza bentuk terhadap kimpalan bintang kepingan titanium-nikel yang menggunakan kerajang aloi pengisi 71Ag-28Cu-1Mg kerana ketumpatan arus dijangkakan berbeza untuk geometri yang berlainan. Sifat mekanikal dan ciri-ciri mikrostruktur sambungan yang terkimpal bintang dengan pengisi dibandingkan dengan sambungan kimpalan bintang tanpa logam pengisi.



Rajah 1 Tiga bentuk hujung elektrod yang dikaji

Jadual 1 Dimensi tiga bentuk elektrod

Geometri	Dimensi Elektrod
Bulat	D 5mm (D: Diameter Luar)
Segiempat	L 6 mm x W 4 mm (Length x Width)
Cincin	D 6 mm – d 2.5 mm (D: Diameter Luar, d: Diameter Dalam)

2.0 KAEDAH PENYELIDIKAN

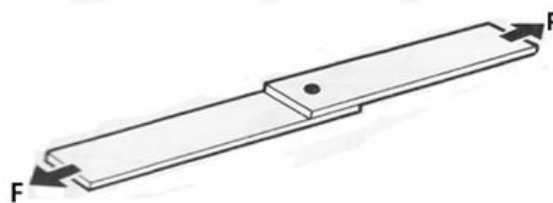
Kepingan komersil titanium (Ti) dan nikel (Ni) tulen berketebalan 0.5 mm digunakan sebagai logam dasar. Kepingan-kepingan tersebut dipotong menjadi segiempat tepat berukuran 5 mm x 40 mm. Sampel yang dipotong digilap menggunakan kertas silikon karbida dan kemudiannya dibersihkan dalam ultrasonik menggunakan etanol sebagai medium pembersihan sebelum kimpalan dilaksanakan. Kerajang 71Ag 28Cu-1Mg (% berat) dengan ketebalan 100 μm digunakan sebagai pengisi aloi kimpalan bintang. Proses kimpalan rintangan bintang dengan pengisi dan tanpa pengisi telah dijalankan menggunakan elektrod aloi Cu-Cr dengan tiga bentuk hujung, iaitu bulat, segiempat tepat dan cincin, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1. Dimensi elektrod ditunjukkan dalam Jadual 1.

Proses kimpalan bintang dengan pengisi dijalankan dengan menindih kepingan Ti ke atas kepingan Ni dan aloi pengisi diapit di antara kedua-duanya bagi menghasilkan sambungan Ti/Ni terkimpal bintang.

Proses kimpalan bintang mikro telah dijalankan menggunakan mesin kimpalan rintangan bintang mikro (SEIWA model SIW-608AD) dengan arus kimpalan 4 kA untuk semua bentuk hujung elektrod. Masa dan tekanan kimpalan dimalarkan pada 50 N dan 50 ms. Sebagai perbandingan kajian, kimpalan bintang juga telah dilakukan terhadap sambungan Ti/Ni tanpa memasukkan aloi

pengisi aloi. Sambungan ini dinamakan sebagai sambungan Ti/Ni terkimpal bintang tanpa pengisi.

Kekuatan mekanikal bagi setiap sambungan ditentukan dengan ujian tegangan ricih menggunakan mesin ujian tegangan Instron dengan kadar 1 mm per min. Dalam ujian ini, sampel sambungan diberikan beban ricih untuk menentukan kapasiti menanggung beban tegangan ricih maksimum (Rajah 2). Kemudian, ujian kekerasan Vickers dilakukan dengan mesin penguji kekerasan mikro (Shimadzu) untuk menentukan kekerasan di zon-zon kimpalan pada sambungan. Lekukan berbentuk piramid dilakukan dengan beban sebanyak 500 gf selama 8 saat. Tujuh bacaan diambil dari setiap sambungan untuk mendapatkan nilai purata. Untuk pencirian mikrostruktur, sampel disapu selama 15 hingga 30 saat dengan larutan punaran campuran 10 ml asid hidrofluorik (HF), 25 ml asid nitrik (HNO_3) dan 150 ml air suling. Mikrostruktur sampel diperhatikan di bawah mikroskop metalurgi dengan kamera digital (Olympus model BX51M). Tenaga Serakan Sinar-X (EDX) analisis dijalankan menggunakan instrumen SUPRA 35VP FESEM untuk menentukan komposisi kimia di kawasan terkimpal.



Rajah 2 Ilustrasi sambungan bertindih tunggal dan beban ricih yang digunakan dalam pengukuran kekuatan ricih

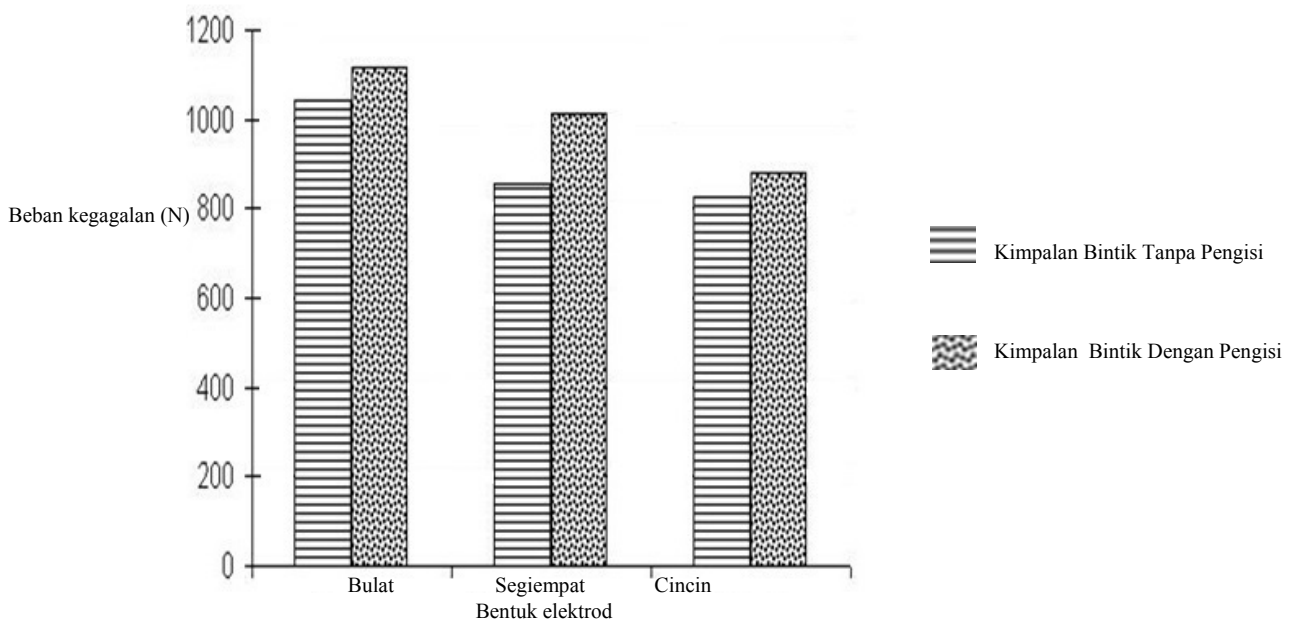
3.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

3.1 Ujian Tegasan Ricih

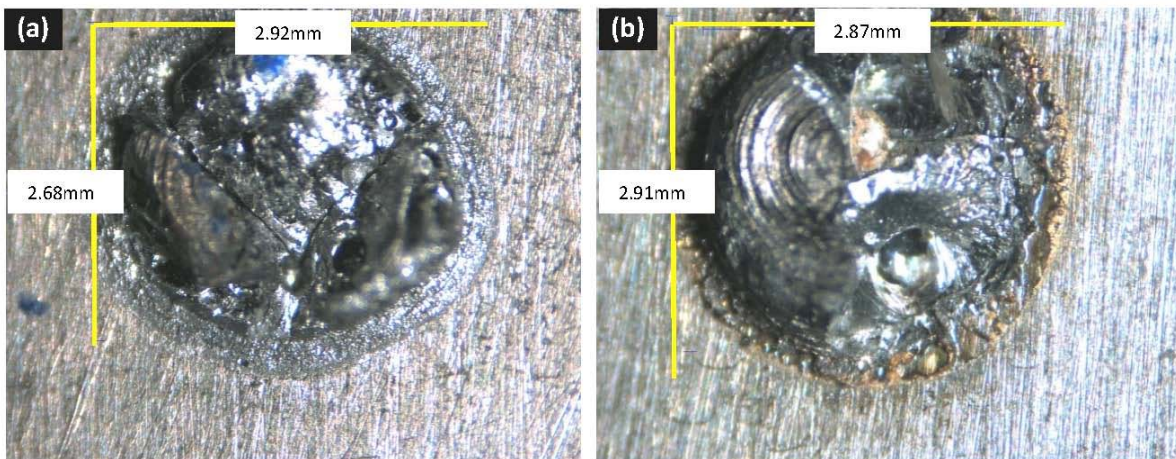
Rajah 3 menunjukkan nilai beban kegagalan sambungan kimpalan bintik dengan pengisi adalah lebih tinggi berbanding sambungan kimpalan bintik tanpa pengisi bagi kesemua bentuk elektrod. Pemeriksaan makroskopik mendapati saiz zon terkesan haba (HAZ) bagi sampel terkimpal bintik tanpa pengisi adalah lebih besar daripada sampel terkimpal bintik dengan pengisi (Rajah 4). Keadaan ini tidak dikehendaki kerana HAZ adalah kawasan paling lemah dalam sambungan kimpalan bintik yang kemudian menjadi tapak awal untuk berlakunya kegagalan. Pelembutan HAZ biasanya berpunca daripada pengasaran ira yang disebabkan oleh kenaikan suhu semasa kimpalan rintangan yang seterusnya mengakibatkan penurunan kekuatan mekanikal [6]. Saiz kawasan HAZ bagi sambungan kimpalan bintik dengan pengisi yang sedikit kecil berbanding rintangan bintik

mengakibatkan kekuatan tegangan ricih yang lebih tinggi dan seterusnya membolehkan sambungan tersebut menampung beban kegagalan yang tinggi.

Tetsui [7] melaporkan kawasan sambungan dalam proses kimpalan biasanya mempunyai rintangan elektrik yang tinggi pada awalnya supaya pemanasan rintangan menjadi setempat dan kuat. Liaw dan Shiue [8] turut menegaskan sambungan kimpalan dengan pengisi adalah lebih kuat berbanding kimpalan tanpa pengisi kerana perleburan logam pengisi. Keputusan kajian ini mencadangkan perleburan logam pengisi dapat menghasilkan sambungan yang kuat kerana cecair logam pengisi dapat menutupi liang yang lazimnya terdapat di bahagian sambungan. Selain itu, saiz nuget sambungan kimpalan bintik dengan pengisi bagi ketiga-tiga geometri elektrod adalah sedikit besar daripada sambungan kimpalan bintik tanpa pengisi (Jadual 2). Kejadian ini berlaku kerana keratan rentas pembawa beban yang lebih luas membolehkan sambungan mengekalkan beban yang lebih tinggi sebelum pecah.



Rajah 3 Kekuatan tegangan ricih untuk setiap bentuk elektrod bagi sambungan kimpalan bintik tanpa pengisi dan kimpalan bintik dengan pengisi



Rajah 4 Sampel HAZ (a) kimpalan bintik tanpa pengisi dan (b) kimpalan bintik dengan pengisi menggunakan elektrod berhujung bulat

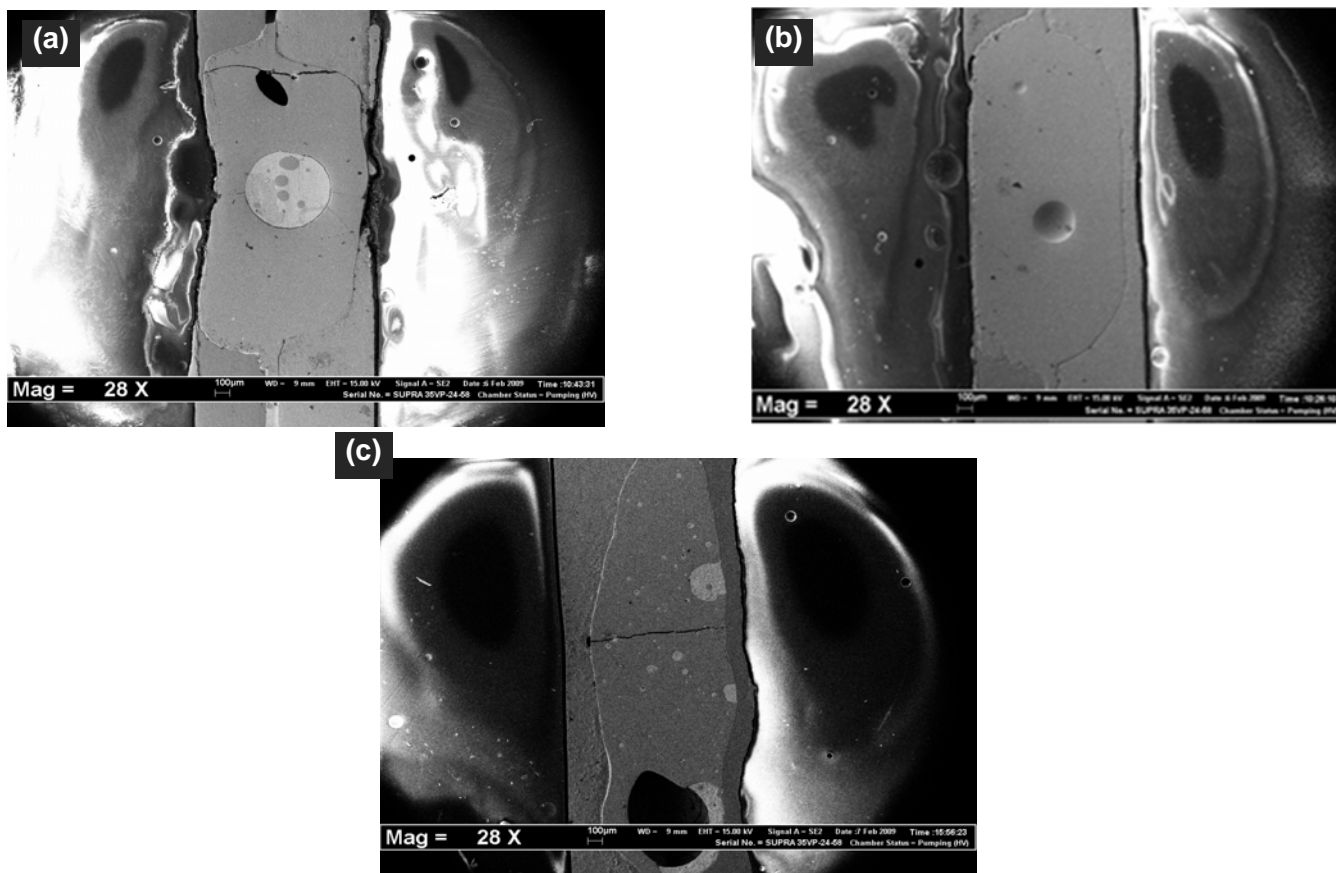
Geometri elektrod berhujung bulat memberi beban kegagalan tertinggi bagi kedua-dua sambungan kimpalan bintik tanpa pengisi dan kimpalan bintik dengan pengisi, diikuti oleh geometri segi empat tepat dan cincin. Bagi rintangan kimpalan bintik mikro, ketumpatan arus memberikan kesan yang paling berpengaruh dalam pembentukan nuget dan pertumbuhannya [9]. Bentuk hujung elektrod yang pelbagai menghasilkan kawasan sentuhan yang juga berbeza saiz. Ini secara tidak langsungnya mengubah ketumpatan arus purata di antaramuka sentuhan dan mengakibatkan perubahan kadar penjanaan haba di antaramuka.

Dalam kajian ini, elektrod berhujung bulat memberikan kawasan sentuhan terkecil di antaramuka elektrod dan bahan kerja. Semakin kecil kawasan sentuhan semakin tinggi ketumpatan arus yang terhasil. Gabungan kawasan sentuhan hujung yang kecil dan ketumpatan arus yang tinggi membawa kepada kadar pemanasan yang lebih cepat dan suhu akhir yang lebih tinggi pada antaramuka Ti/Ni. Akibatnya sambungan menjadi lebih kuat. Ketumpatan arus yang lebih tinggi meningkatkan penembusan nuget (iaitu penusukan nuget ke dalam ketebalan kepingan bahan kerja) yang sekali gus meningkatkan kekuatan sambungan. Oleh itu, sambungan yang

dikimpal menggunakan hujung elektrod bulat menghasilkan penembusan nuget yang dalam dan kekuatan sambungan yang lebih baik, diikuti oleh elektrod berhujung segiempat dan akhir sekali elektrod berbentuk cincin (Rajah 5). Apabila sambungan berkesan meningkat disebabkan oleh penembusan yang dalam, kekuatan sambungan tidak lagi terlalu bergantung kepada saiz luaran nuget kimpalan [10].

Jadual 2 Diameter nuget bagi sambungan kimpalan bintik tanpa dan dengan logam pengisi

Geometri	Teknik Sambungan	Diameter Nuget (mm)
Bulat	Kimpalan bintik	2.80
	Kimpalan bintik dengan pengisi	2.89
Segiempat	Kimpalan bintik	2.76
	Kimpalan bintik dengan pengisi	2.80
Cincin	Kimpalan bintik	2.71
	Kimpalan bintik dengan pengisi	2.73



Rajah 5 Penembusan nuget kimpalan dengan elektrod berhujung (a) bulat, (b) segiempat dan (c) bentuk cincin

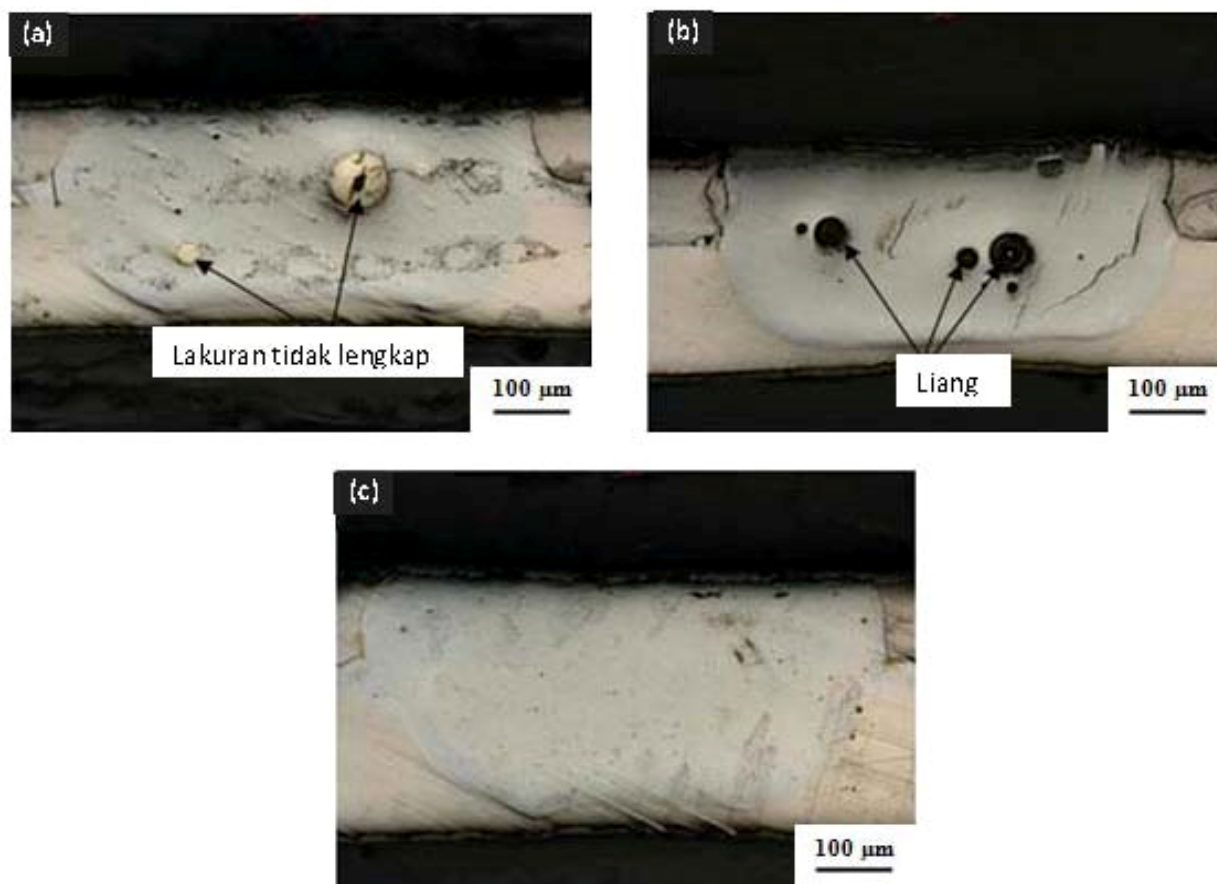
Pemeriksaan visual mendapati nuget dalam sambungan dikimpal dengan elektrod berhujung bulat hampir menembusi sepenuhnya kepingan logam dasar Ti dan Ni. Manakala nuget untuk elektrod berhujung segiempat menembusi hanya sekitar 3/4 daripada ketebalan kepingan nikel. Kedalaman penembusan adalah lebih tinggi pada kepingan titanium. Antara ketiga-tiga bentuk hujung elektrod, nuget yang dikimpal dengan elektrod hujung berbentuk cincin mempamerkan kedalaman penembusan

terendah dalam kepingan Ti dan Ni. Oleh itu, kimpalan bintik bagi elektrod hujung berbentuk cincin memberikan beban kegagalan yang paling rendah kerana elektrod ini menyerupai elektrod berlubang yang menyebabkan arus hanya diagihkan di bahagian cincin. Untuk elektrod cincin, arus kimpalan tidak lagi mengalir di bahagian teras pada permukaan elektrod-bahan kerja. Walaupun teras permukaan elektrod dan bahan kerja masih dalam keadaan bersentuhan, arus hanya boleh mengalir melalui

bahagian cincin sahaja. Maka ketumpatan arus pada bahagian tengah elektrod-bahan kerja adalah agak kecil. Fenomena ini berlaku untuk kedua-dua sambungan kimpalan bintik tanpa pengisi dan kimpalan bintik dengan pengisi. Apabila ketumpatan arus adalah rendah di bahagian teras, haba yang dijana di tengah-tengah nuget juga menjadi rendah.

Di samping itu, tekanan kimpalan di bahagian teras elektrod cincin adalah paling rendah. Keadaan ini menyebabkan pembentukan nuget yang lemah di kawasan sambungan. Oleh itu, elektrod berbentuk cincin tidak dapat menyediakan kawasan sentuhan dan laluan aliran arus elektrik yang seragam pada antaramuka elektrod ke bahan kerja. Situasi menjadi lebih buruk bagi sambungan kimpalan bintik tanpa pengisi yang menggunakan elektrod berbentuk cincin kerana pembentukan

liang besar dan lakuran yang tidak lengkap di kawasan nuget sambungan kimpalan bintik (Rajah 6 (a) dan (b)). Kecacatan sedemikian tidak wujud di dalam nuget kimpalan bintik dengan pengisi (Rajah 6 (c)) kerana kehadiran aloi pengisi Ag-Cu-Mg dengan takat lebur jauh lebih rendah berbanding logam dasar Ti dan Ni. Leburan logam pengisi ini dapat meningkatkan sifat kebolehasahan antara logam dasar Ti dan Ni yang dapat membantu logam dasar melebur dan meresap sepenuhnya bagi membentuk ikatan semasa proses kimpalan. Tambahan pula, penambahan 1% berat magnesium dalam komposisi aloi pengisi menyumbang terhadap peningkatan kadar lakuran logam dan kebolehasahan pada antaramuka Ti/Ni [11]. Akibatnya, kadar pelakuran yang tinggi berlaku dan kimpalan yang bagus tanpa kecacatan telah berjaya dihasilkan.

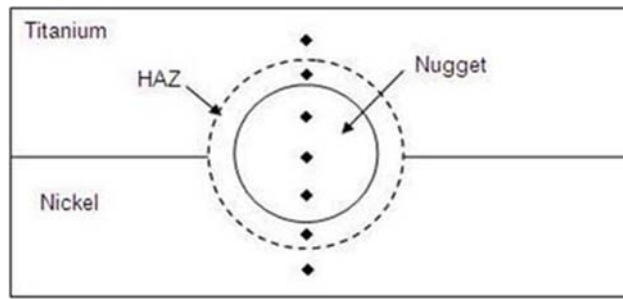


Rajah 6 Pembentukan (a) gabungan yang tidak lengkap, (b) liang di kawasan nuget bagi sambungan kimpalan bintik tanpa pengisi menggunakan elektrod berbentuk cincin dan (c) sambungan yang bebas kecacatan di kawasan nuget kimpalan bintik dengan pengisi menggunakan elektrod berbentuk cincin

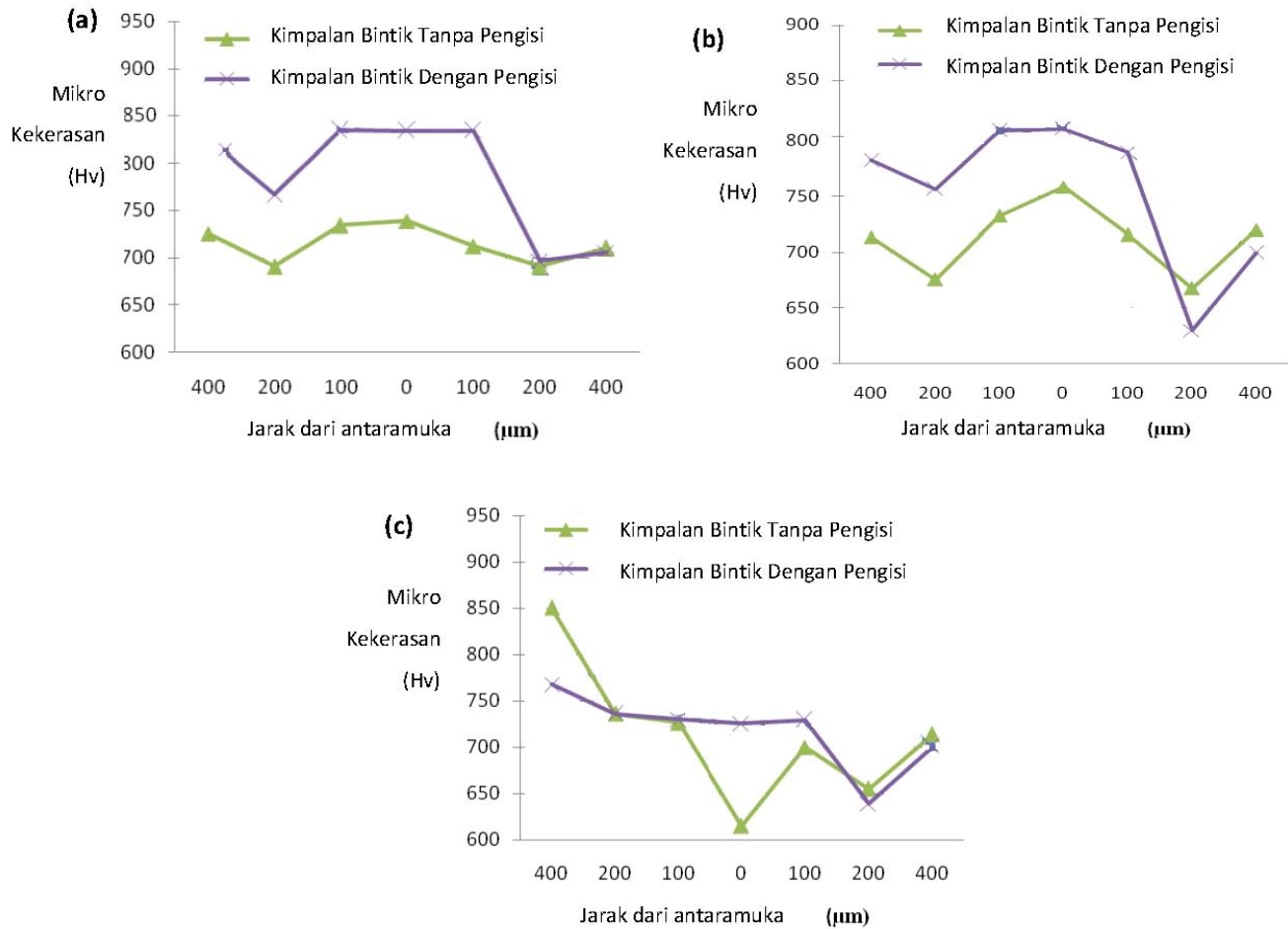
3.2 Kekerasan Mikro Vickers

Ukuran kekerasan mikro Vickers telah dijalankan pada semua sambungan kimpalan rintangan bintik tanpa pengisi dan kimpalan rintangan bintik dengan pengisi. Tiga titik telah diuji dalam kawasan nuget, dua titik dalam HAZ bagi kawasan Ti dan Ni dan dua titik lain dalam logam dasar Ti and Ni dengan sela 200 µm pada setiap titik (Rajah.7). Ujian kekerasan mikro adalah ujian pengukuran setempat, dan dengan jelas menunjukkan kekerasan yang berbeza dengan lokasi lekukan. Kekerasan nuget kimpalan didapati lebih tinggi daripada kekerasan di kawasan HAZ dan logam dasar untuk semua sambungan kimpalan bintik tanpa pengisi dan kimpalan bintik dengan pengisi yang diperolehi

menggunakan elektrod berhujung bulat dan segi empat tepat (Rajah 8). Kajian [12] turut melaporkan pemerhatian yang sama iaitu nuget kimpalan rintangan bintik bagi kepingan titanium memberikan nilai kekerasan yang tertinggi untuk semua sambungan yang dihasilkan menggunakan parameter dan persekitaran yang berbeza. Oleh itu, pemerhatian dalam kajian ini merumuskan bahawa masukan haba dan tekanan yang dikenakan semasa kimpalan meningkatkan kekerasan di zon sambungan disebabkan oleh pembentukan mikrostruktur yang halus dalam nuget.



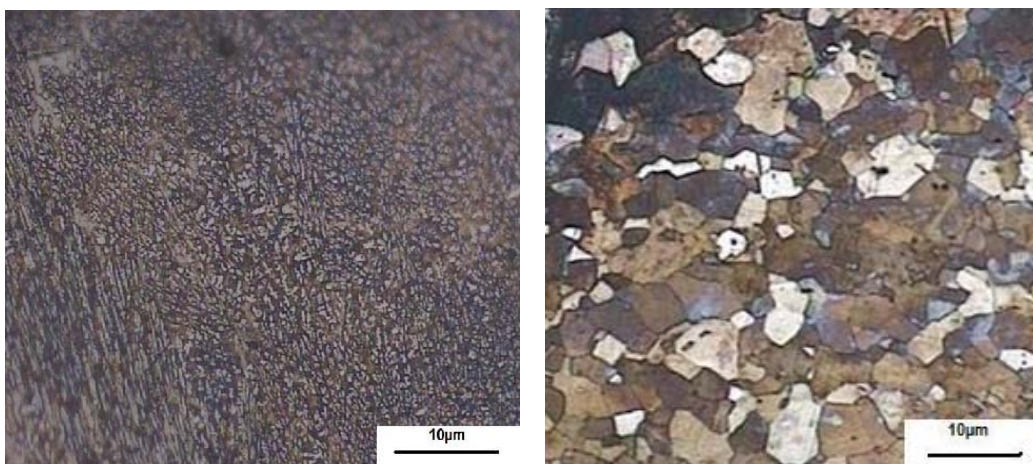
Rajah 7 Lokasi lekukan bagi ujian kekerasan mikro Vickers



Rajah 8 Kekerasan mikro melawan jarak bagi sampel yang disambung dengan elektrod berhujung (a) bulat, (b) segiempat dan (c) berbentuk cincin

Tambahan pula, didapati pembentukan mikrostruktur yang berbeza pada logam dasar, HAZ dan nugget kimpalan menyebabkan taburan nilai kekerasan yang berbeza. Variasi kekerasan di sepanjang zon kimpalan berkait rapat dengan mikrostruktur. Mikrostruktur nugget kimpalan terdiri daripada ira

yang sangat halus dan mikrostruktur di HAZ menunjukkan ira yang lebih kasar daripada ira logam dasar (Rajah 9). Hasilnya, nugget kimpalan dengan ira yang halus mempunyai kekerasan tertinggi manakala ira yang kasar dalam HAZ mengakibatkan nilai kekerasannya menjadi paling rendah.



Rajah 9 Mikrograf optik bagi mikrostruktur (a) nugget kimpalan dan (b) HAZ di bahagian Ni selepas kimpalan bintik dengan pengisi menggunakan elektrod berhujung bulat

Berbeza dengan hasil kimpalan menggunakan elektrod berhujung bulat dan segi empat tepat, elektrod dengan hujung berbentuk cincin memberikan kekerasan terendah di teras nuget bagi kedua-dua sambungan kimpalan bintik tanpa dan dengan pengisi. Hal ini terjadi kerana lubang di teras elektrod menyebabkan kawasan antara elektrod dan kepingan logam di kawasan teras saling tidak bersentuhan. Oleh itu, hanya sedikit arus mengalir melalui logam dasar, yang membawa kepada kawasan yang lemah di teras nuget disebabkan haba yang terjana tidak mencukupi. Tambahan pula, tekanan kimpalan yang rendah pada teras elektrod berongga mengakibatkan pembentukan liang dalam nuget.

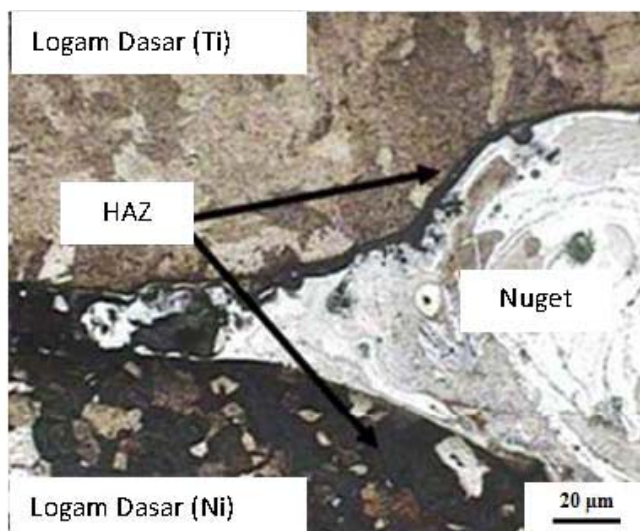
Kekerasan mikro bagi sambungan kimpalan bintik dengan pengisi adalah lebih tinggi daripada sambungan kimpalan bintik tanpa pengisi bagi ketiga-tiga elektrod berlainan bentuk. Sambungan yang terhasil menggunakan elektrod berhujung bulat turut mempunyai nilai kekerasan mikro yang lebih tinggi berbanding dengan sambungan yang menggunakan elektrod berhujung segi empat tepat dan berbentuk cincin. Keadaan ini berlaku kerana elektrod berhujung bulat menghasilkan ketumpatan arus yang tertinggi pada kawasan sambungan dan menyebabkan pembentukan saiz ira yang halus.

Pemerhatian yang serupa dilaporkan oleh Zhou *et al.* [13] yang melaporkan kekerasan Vickers filem kuprum meningkat dengan peningkatan ketumpatan arus disebabkan oleh penghalusan ira yang berpunca daripada peningkatan kadar penukleusan ketika pemejalan. Semakin tinggi kadar penukleusan, semakin halus butiran yang terbentuk. Oleh itu, penghalusan ira adalah berkadar terus dengan peningkatan kekerasan dan ketumpatan arus. Keputusan ujian kekerasan ini adalah konsisten dengan keputusan ujian tegangan ricih yang juga mempamerkan beban kegagalan sambungan yang dikimpal oleh elektrod berhujung bulat adalah lebih tinggi daripada sambungan yang terhasil dari elektrod berhujung segi empat tepat dan cincin.

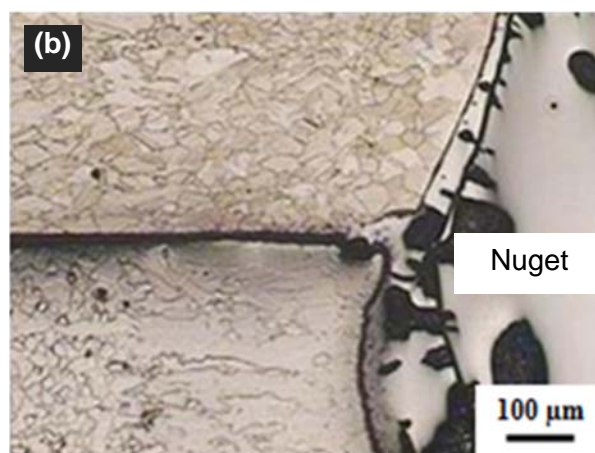
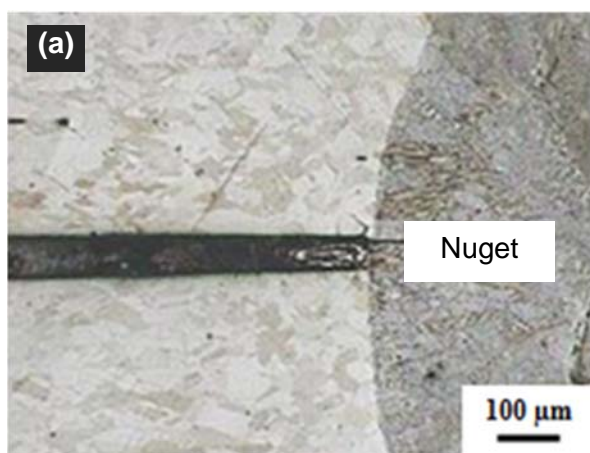
3.3 Pemerhatian Mikrostruktur

Rajah 10 menunjukkan keratan rentas secara makro bagi sambungan kimpalan rintangan bintik Ti-Ni selepas dipunarkan terdiri daripada nuget kimpalan dan zon terkesan haba (HAZ) di sekeliling nuget. Mikrostruktur zon-zon ini jauh berbeza daripada kawasan logam dasar yang asal. Pemerhatian di bawah mikroskop optik mendedahkan bahawa ira logam dasar yang kasar menjadi semakin halus di kawasan nuget kimpalan. Nuget mempunyai ira yang sangat halus yang terhasil oleh penghabluran semula dinamik yang disebabkan oleh haba yang terjana oleh rintangan semasa proses kimpalan. Penghalusan ira ini menyebabkan peningkatan kekerasan pada zon nuget berbanding dengan logam dasar. Namun, ira HAZ menjadi lebih besar daripada saiz ira logam dasar Ti dan Ni (Rajah 11). Hal ini berlaku kerana pertumbuhan butiran HAZ yang dibantu oleh pemanasan dari zon nuget semasa proses kimpalan.

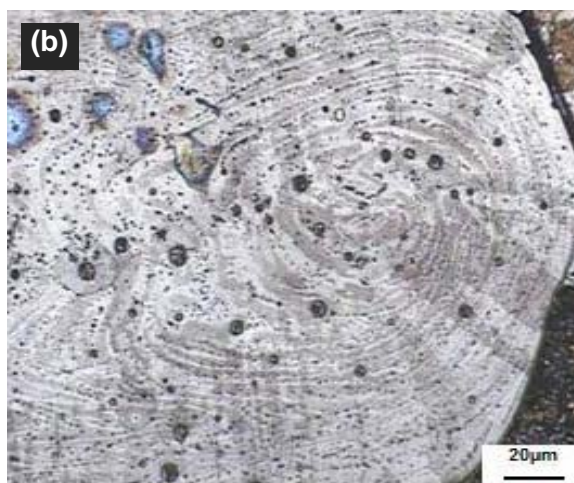
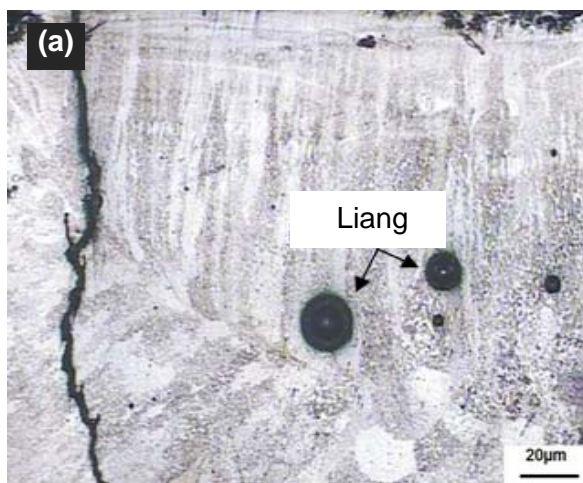
Dalam kes kimpalan rintangan bintik dengan pengisi pula, pembentukan corak aliran bawang-cincin dapat diperhatikan dalam semua sambungan bagi kesemua bentuk elektrod [Rajah. 12 (b)]. Corak ini berlaku disebabkan logam pengisi berasaskan Ag yang mengalir setelah mencair semasa proses kimpalan. Apabila suhu eutektik telah dicapai, proses pencairan pengisi Ag-Cu-Mg aloi bermula dan menembusi kepingan Ti dan Ni melalui tindakan kapilari. Apabila aloi pengisi telah cair, atom perak (Ag), kuprum (Cu) dan magnesium (Mg) mula meresap ke dalam zon terkimpal. Memandangkan Cu mempunyai saiz terkecil daripada ketiga-tiga atom tersebut, ia boleh meresap dengan mudah ke dalam sambungan dan dibaurkan secara seragam. Sebaliknya, disebabkan saiz atom Ag yang lebih besar pembauran Ag adalah lebih rendah daripada Cu. Maka, kebanyakan atom Ag kekal di lokasi asal antaramuka Ti/Ni yang menghasilkan peratusan berat tertinggi dalam nuget kimpalan berbanding unsur-unsur lain (Rajah.13).



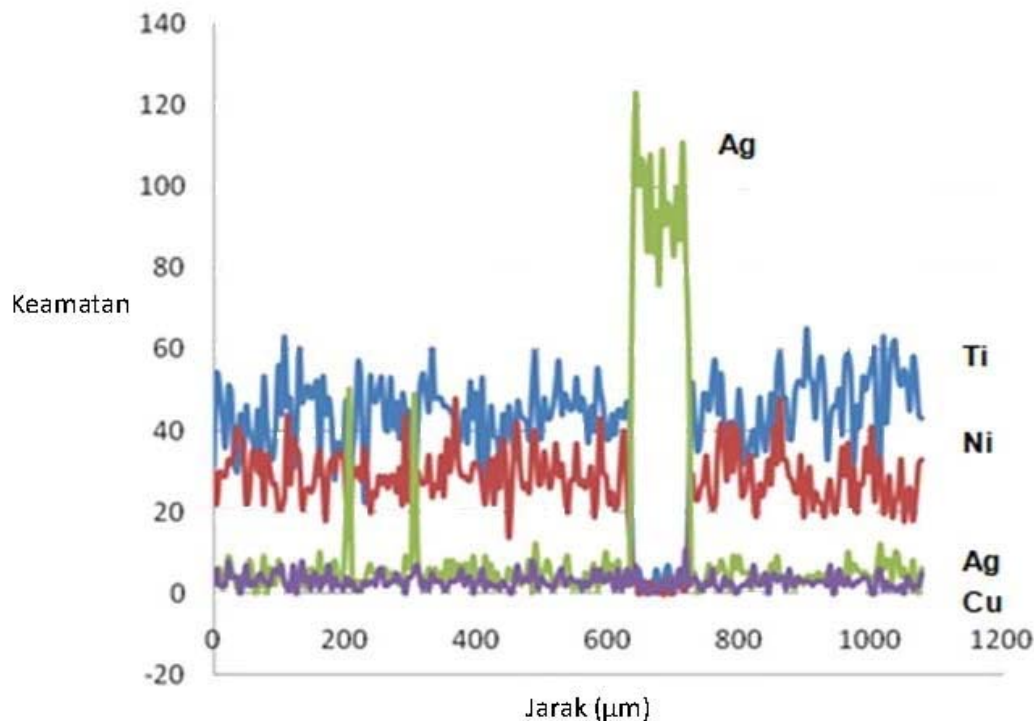
Rajah 10 Mikrograf optik sambungan kimpalan bintang selepas punaran



Rajah 11 Mikrostruktur optik bagi (a) sambungan kimpalan bintang Ti/Ni tanpa pengisi dan (b) sambungan kimpalan bintang Ti/Ni dengan aloi pengisi 71Ag-28Cu-1Mg



Rajah 12 Mikrograf optik mikrostruktur nuget bagi sambungan (a) kimpalan bintang tanpa pengisi dan (b) kimpalan bintang dengan pengisi menggunakan elektrod berhujung segiempat



Rajah 13 Profil keamatan EDX bagi Ni, Ti, Ag, Cu dan Mg pada kawsasan antara muka titanium dan nikel bagi nuget kimpalan bintik dengan pengisi menggunakan elektrod berhujung segiempat

Ti menunjukkan keamatan tertinggi, diikuti oleh Ni, Ag dan Cu. Pembauran Ti yang lebih tinggi di bahagian nuget adalah disebabkan oleh aktiviti dan keterlarutan Ti yang tinggi dalam logam pengisi pada suhu kimpalan. Manakala taburan Ag menunjukkan keamatan tertinggi pada jarak 600-800 μm daripada lokasi pada antaramuka kepingan logam dasar Ti dan Ni iaitu lokasi logam pengisi telah ditempatkan pada saat proses kimpalan dimulakan. Fenomena yang sama juga boleh diperhatikan dalam sampel yang telah dikimpal bintik dengan pengisi menggunakan elektrod berhujung bulat dan berbentuk cincin.

4.0 KESIMPULAN

Kimpalan rintangan bintik mikro bagi kepingan Ti-Ni yang ditambah dengan aloi pengisi 71Ag-28Cu-1 M telah dikaji dan dibanding dengan sambungan kimpalan rintangan bintik mikro tanpa aloi pengisi. Beban kegagalan sebelum patah dan kekerasan mikro yang tinggi bagi kawasan nuget telah dicapai dengan penambahan pengisi aloi berasaskan perak ini. Keadaan ini terjadi kerana pembesaran saiz zon nuget yang terhasil daripada peleburan aloi pengisi. Kesan bentuk hujung elektrod pada kekuatan sambungan dan kekerasan kimpalan bintik dengan logam pengisi juga disiasat. Elektrod berhujung bulat memberi nilai kegagalan beban tertinggi bagi kedua-dua sambungan kimpalan bintik tanpa pengisi dan kimpalan bintik dengan pengisi, diikuti oleh elektrod berhujung segiempat dan seterusnya elektrod berbentuk cincin. Pemerhatian ini boleh dikaitkan dengan kawasan sentuhan hujung elektrod dengan permukaan bahan kerja. Semakin kecil kawasan sentuhan, semakin tinggi ketumpatan arus yang menyumbang kepada pembentukan sambungan yang lebih baik dan kuat. Peningkatan ketumpatan arus juga menyebabkan pembentukan ira halus yang diikuti

dengan peningkatan kekerasan. Disebabkan elektrod berhujung bulat memberikan kawasan sentuhan terkecil, maka ketumpatan arus yang paling tinggi telah terhasil dan seterusnya menyebabkan pembentukan sambungan yang paling kuat.

Penghargaan

Para penulis menghargai sokongan kewangan yang disediakan oleh geran USM-RU-PRGS 8041001, AUN-SEED/Net dan skim biasiswa Universiti Sains Malaysia.

Rujukan

- [1] Kearns W. H. 1980. *Welding Handbook: Resistance and Solid State Welding and Other Joining Processes*. London: American Welding Society.
- [2] Hasanbasoglu A., R. Kacar. A. Hasanbasoglu. and R.Kacar. 2007. Resistance Spot Weldability of Dissimilar Materials (AISI 316L-DIN EN 10130-99 steels). *Materials & Design*. 28(6): 1794–1800.
- [3] Elrefaey, M., A. Ahmed W. Tillmann. 2007. Microstructure and Mechanical Properties of Brazed Titanium/Steel Joint. *Interface Science*. 42: 9553–9558.
- [4] Zuhailawati H., Saeed A.M., Ismail A.B., Samad, Z. Ariga, T. Spot Resistance Brazing of Titanium/Nickel Joint with Metal Filler. *Welding Journal*. 89(5): 101–104S.
- [5] Kocabekir B., R. Kacar, S. Gunduz, F. Hayat. 2008. An Effect of Heat Input, Weld Atmosphere and Weld Cooling Conditions on the Resistance Spot Weldability of 316L Austenitic Stainless Steel. *Journal of Materials Processing Technology*. 195: 327–335.
- [6] Vural M. and A. Akkus. 2004. On the Resistance Spot Weldability of Galvanized Interstitial Free Steel Sheets with Austenitic Stainless Steel Sheets. *Journal of Materials Processing Technology*. 153–154: 1–6.
- [7] Tetsui, T. 2001. Effects of Brazing Filler on Properties of Brazed Joints between TiAl and Metallic Materials. *Intermetallics*. 9: 253–260.
- [8] Liaw, D. W. and R. K. Shiue. 2005. Brazing of Ti-6Al-4V and Niobium Using Three Silver-Base Braze Alloys. *Metallurgical and Materials Transactions*. 36A: 2415–2427.

- [9] Ozyurek, D. 2008. An Effect of Weld Current and Weld Atmosphere on the Resistance Spot Weldability of 304L Austenitic Stainless Steel. *Materials & Design*. 29: 597–603.
- [10] Dursun O. 2008. An Effect of Weld Current and Weld Atmosphere on the Resistance Spot Weldability of 304L Austenitic Stainless Steel. *Journal of Materials and Design*. 29: 597–603.
- [11] Saeed A. M., Z. Hussain, A. Badri, T. Ariga. 2010. The Effects of Welding Parameters on the Weldability of Different Materials using Brazing Alloy Fillers. *Materials & Design*. 31: 3339.
- [12] Kahraman, N. 2007. The Influence of Welding Parameters on the Joint Strength of Resistance Spot Welded Titanium Sheets. *Materials & Design*. 28: 420–427.
- [13] Zhou, Y., P. Gorman., W.Tan. and Ely, K. J. 2000. Weldability of Thin Sheet Metals During Small-Scale Resistance Spot Welding Using an Alternating-Current Power Supply. *Journal of Electronic Materials*. 29: 1090–1099.