

KEUTUHAN PERMUKAAN AISI H13 KELULI TERKERAS DALAM PROSES PEMESINAN NYAHCAS ELEKTRIK (EDM)

(Date received: 19.2.2008)

Jaharah A. Ghani¹, Goh Geok Yong², Che Hassan Che Haron³, Ahmad Rasdan Ismail⁴, dan Baba Md. Deros⁵

Jabatan Kejuruteraan Mekanik and Bahan

Fakulti Kejuruteraan, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor.

Email: ¹jaharah@eng.ukm.my

ABSTRAK

Pemesinan nyahcas elektrik (EDM) ialah proses terma senyap yang menghasilkan beribu-ribu nyahcas elektrik dalam satu saat bagi menghakis keluar isipadu tertentu sesuatu logam. Proses ini digunakan secara meluas dalam situasi untuk memesin bentuk kompleks dan rumit bagi bahan yang sangat keras seperti keluli terkeras. Tetapi, proses ini menghasilkan sifat permukaan yang kurang memuaskan seperti tegangan tegasan baki yang tinggi, kekasaran permukaan yang tinggi, kewujudan retakan dan retakan mikro. Tujuan kajian ini dilakukan adalah untuk mengkaji kesan proses EDM ke atas keutuhan permukaan bagi keluli terkeras AISI H13 dengan menggunakan elektrod grafit dan kuprum. Kesan pelbagai parameter EDM ke atas keutuhan permukaan telah dikaji. Parameter EDM yang diambil kira ialah arus puncak (1, 2 dan 4 A), selang masa ON (3, 6 dan 12 μ s), selang masa OFF (1, 2 dan 4 μ s) dan jenis elektrod (grafit dan kuprum). Daripada topografi permukaan yang diperolehi, selang masa-ON, selang masa-OFF dan arus puncak yang semakin meningkat menyebabkan permukaan EDM menjadi semakin kasar iaitu lebih banyak puncak atau bucu yang terbentuk di permukaan EDM. Juga didapati proses EDM telah menyebabkan pembentukan tiga lapisan iaitu lapisan putih, lapisan sepuhlindap martensit dan lapisan bahan pukal. Keputusan ujian kekerasan mikro bagi elektrod grafit dan kuprum, mendapati kekerasan paling tinggi di lapisan putih iaitu 1130 Hv. Kekerasan bagi lapisan sepuhlindap adalah 543 Hv iaitu lebih rendah daripada lapisan pukal iaitu 550 Hv.

Kata Kunci: AISI H13, Keutuhan Permukaan, Lapisan Putih, Pemesinan Nyahcas Elektrik (EDM)

ABSTRACT

Electrical discharge machining (EDM) is a quite thermal process and produces thousands of electrical discharge in one second to remove certain volume of specific metal. This process is widely used in machining complex and intricate shapes for very hard metal such as harden steel. But this process will produce unsatisfactory finishing such as high tensile residual stress, coarser surface roughness, existence of crack and micro crack. The aim of this study is to investigate the effect of EDM process on the surface integrity of AISI H13 using graphite and copper electrodes. The effect of various EDM parameters on the surface integrity was studied. These parameters were peak current (1, 2 and 4 A), pulse-ON time (3, 6 and 12 μ s), pulse-OFF time (1, 2 and 4 μ s) and types of electrode (graphite and copper). It was found that the EDM process caused the formation of three layers namely white layer, quenched martensite layer, and bulk material layer. A maximum of 1130 HV was measured directly underneath the generated surface of white layer. The microhardness on the quenched martensite was 543 HV, i.e. lower than the bulk material of 550 HV.

Keywords: AISI H13, Electrical Discharge Machining, Surface Integrity, White Layer

1.0 PENGENALAN

Secara umumnya, aplikasi EDM tidak dipengaruhi oleh kekerasan dan kekuatan bahan. Dengan kata lain, proses EDM digunakan oleh semua bahan yang boleh mengkonduksikan elektrik. Satu daripada kebaikan proses EDM ialah proses ini tidak memerlukan persentuhan antara mata alat dan bahan kerja semasa pemesinan.

Oleh itu, tiada deformasi berlaku walaupun bahan kerja adalah nipis. Disebabkan oleh proses ini melibatkan pemanasan dan penyejukan yang sangat cepat, maka akan terbentuk satu lapisan kesan terma di atas permukaan bahan kerja. Struktur bagi lapisan ini agak berlainan daripada bahan asal. Walaupun ia sangat berguna dalam aspek meningkatkan rintangan terhadap kehausan dan kakisan, tetapi kewujudan seperti retakan mikro, lekukan

serta tegasan baki boleh memburukkan lagi sifat mekanik bahan tersebut [1,2]. Kajian tentang keutuhan permukaan melibatkan perubahan yang berlaku bagi semua lapisan permukaan selepas proses pembuatan dan kesannya kepada sifat bahan tersebut serta kelakuannya apabila digunakan.

Kekasaran permukaan dipengaruhi oleh taburan lekukan yang wujud di permukaan yang disebabkan oleh percikan elektrik pada frekuensi tinggi [3]. Lapisan putih pula merujuk kepada lapisan yang sukar dipunar dan kelihatan putih di bawah mikroskop optik. Lapisan ini disebabkan oleh pemejalan semula bahan kerja ketika nyahcas dilakukan [2]. Sejurus selepas lapisan putih, terbentuk pula lapisan perantara, iaitu zon kesan haba iaitu haba yang tidak mencukupi untuk mencairkan logam tetapi cukup tinggi untuk mengubah struktur mikro bahan tersebut. Kawasan penyepuhlingdapan yang memanans dan menyejuk lebih perlahan berbanding lapisan putih ini lebih lembut daripada bahan pukal. Seterusnya, lapisan bahan pukal iaitu struktur asal bahan keluli. Di lapisan ini, struktur dan sifat asal bahan kerja tidak berubah dan tidak dipengaruhi oleh proses EDM [4].

Kini, terdapat penyelidik-penyelidik yang cuba untuk mereka bentuk gabungan proses EDM dengan proses lain bagi meningkatkan produktiviti di samping dapat memperoleh keutuhan permukaan yang optimum. Contohnya Masuzawa *et al.* [5] mengabungkan operasi EDM dan pemesinan kimia elektrik (ECM) yang berusaha untuk memperbaiki kemas permukaan dan mengurangkan kesan yang tidak diinginkan (*detrimental effect*) dalam proses EDM. Penyelidik lain pula, menjalankan pemesinan ultrasonik dan diikuti proses EDM. Objektif mereka

hanya untuk membuang atau mengelakkan daripada lapisan putih terbentuk seterusnya dapat mengekalkan sifat asas bahan kerja yang diinginkan [5].

Keluli Terkeras AISI H13 merupakan aloi yang dikerja panas dan mempunyai rintangan terhadap haba tanpa perubahan sifat mekanik terutamanya pada suhu tinggi [6]. Gabungan pelbagai proses rawatan haba yang telah dijalankan menyebabkan keluli ini mempunyai ketegangan dan kekerasan yang tinggi, rintangan kehausan serta kelasakan terhadap daya impak dan sesuai untuk acuan dalam proses tempaan panas. Elektrod grafit digunakan kerana ia merupakan elektrod yang mempunyai rintangan kehausan yang paling tinggi dengan suhu leburnya mencecah sehingga 3000°C [12-13]. Manakala kuprum merupakan konduksi elektrik yang paling baik dan bahan yang stabil pada keadaan percikan. Jika dibandingkan dengan elektrod lain, elektrod kuprum mampu menghasilkan permukaan yang lebih halus [12-13].

Tujuan kajian ini dilakukan adalah untuk mengenalpasti lapisan-lapisan permukaan yang wujud pada bahan kerja Keluli Terkeras AISI H13 yang telah menjalani proses EDM dengan elektrod grafit dan kuprum.

2.0 KAEDAH EKSPERIMEN

Bahan kerja untuk ujikaji ini adalah keluli terkeras AISI H13(±53 HRC) yang telah menjalani proses EDM menggunakan mesin EDM Mitsubishi model M35J. Elektrolit yang digunakan ialah parafin. Jadual 1 yang ditunjukkan di bawah merupakan sampel yang dipilih dengan parameter pemesinannya. Manakala Jadual 2 menunjukkan komposisi keluli terkeras AISI H13.

Jadual 1: Senarai sampel ujian dengan parameter pemesinan yang berlainan akan dikaji keutuhan permukaannya.

Bilangan Sampel	Arus Puncak I_p (A)	Selang Masa-ON T_i (µs)	Selang Masa-OFF T_o (µs)	Bahan Elektrod
1	1.0	3.0	1.0	Cu
2	1.0	6.0	2.0	C
3	1.0	12.0	4.0	Cu
4	2.0	3.0	2.0	Cu
5	2.0	6.0	4.0	Cu
6	2.0	12.0	1.0	C
7	3.0	3.0	4.0	C
8	3.0	6.0	1.0	Cu
9	3.0	12.0	2.0	Cu

Jadual 2: Komposisi Keluli Terkeras AISI H13

Elemen	Peratus (%)
Karbon	0.32 – 0.40
Silicon	1.00
Mangan	0.40
Kromium	5.13 – 5.24
Vanadium	1.00
Molibdenum	1.33 – 1.40

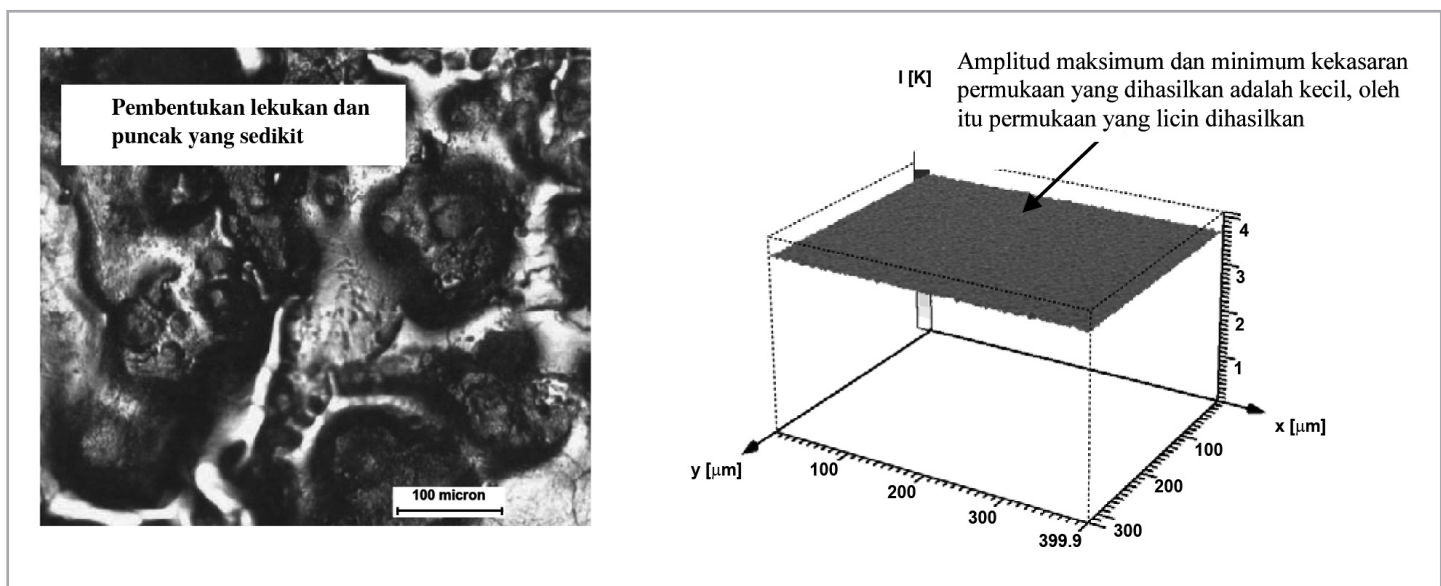
Bahan kerja keluli terkeras AISI H13 yang telah menjalani proses EDM diperhatikan topografi permukaan atasnya di bawah mikroskop konfokal Leica dalam bentuk 3-dimensi. Selepas itu, sampel dikerat secara melintang iaitu berserenjang dengan permukaan EDM dengan menggunakan mesin pemotong kepersisan Automatik Siri Minitom. Sampel metalografi disediakan dengan kaedah piawai iaitu dari proses pencanaian, penggilapan dan akhirnya proses punar. Setelah selesai, sampel akan jelas kelihatan mikrostrukturnya di bawah pembesaran sehingga 100x oleh mikroskop optik. Sampel dicanai menggunakan kertas pasir bermula daripada saiz grid yang kasar sehingga saiz grid halus iaitu P320, P400, P600, P800, P1000 dan P1200. Penyejuk atau pelincir yang digunakan adalah air. Akhirnya, sampel akan dikaji kekerasannya dengan pengukur kekerasan Vickers model HMV-2000 merentasi kedalaman permukaan EDM. Kekerasan mikro diambil selang $3\mu\text{m}$ daripada permukaan luar benda kerja sehingga $30\mu\text{m}$ kedalamannya.

3.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

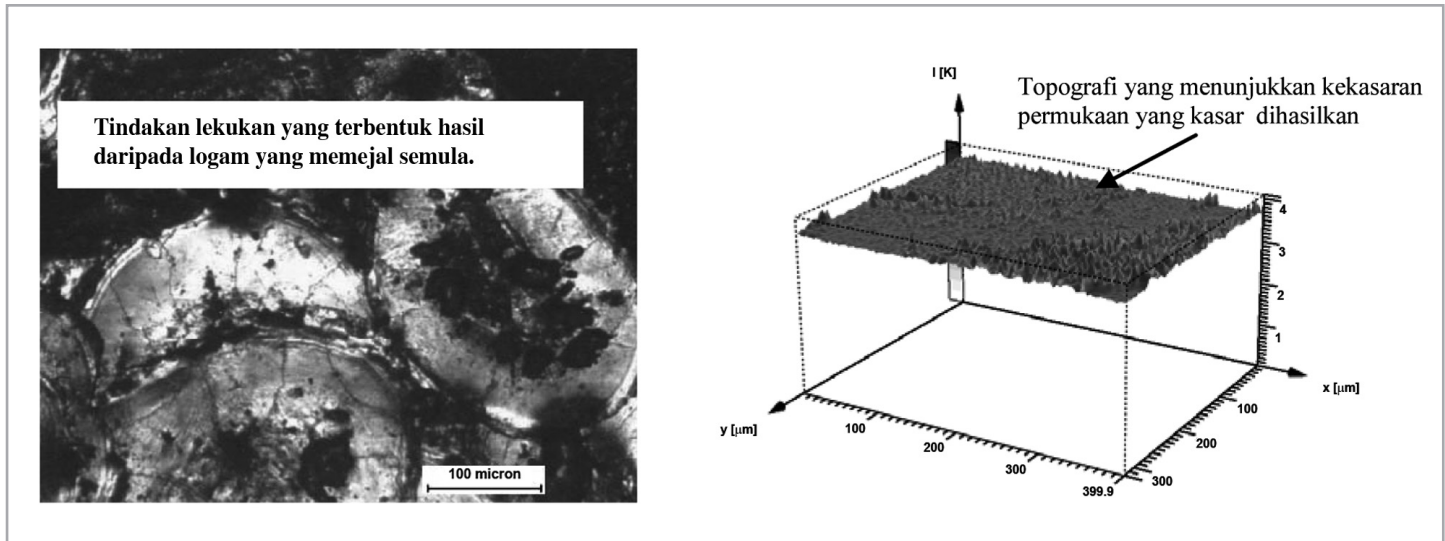
Topografi Permukaan

Keputusan ujikaji keutuhan permukaan keluli terkeras H13 dilihat dari segi topografi permukaan, mikrostruktur dan kekerasan mikro merentasi benda kerja yang telah menjalani proses EDM dengan parameter pemesinan yang berbeza-beza dari segi elektrod, arus puncak (I_p), selang masa-ON (T_i) dan selang masa-OFF (T_o).

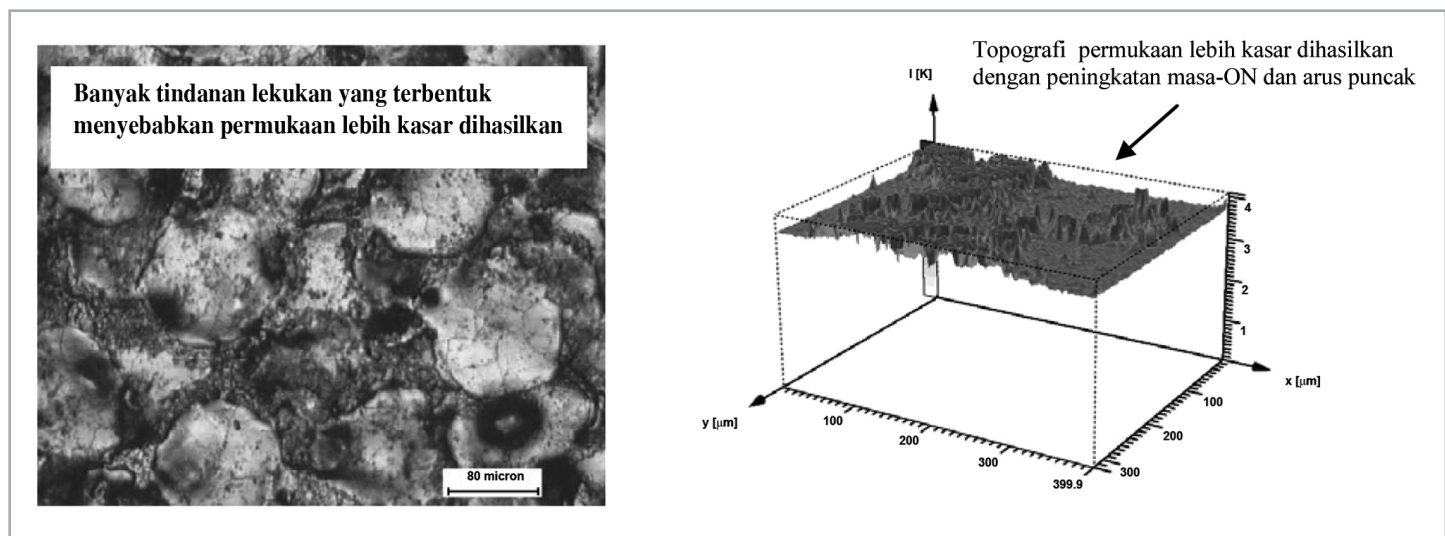
Rajah 1-3 menunjukkan contoh morfologi bagi permukaan yang telah menjalani proses nyahcas elektrik (EDM). Semasa proses EDM, terdapat banyak haba yang dijanakan, menyebabkan permukaan benda kerja mula cair dan mengewap. Dielektrik seterusnya akan mengalir keluar serpihan cecair ini dan pada masa yang sama permukaan benda kerja disejukan dengan cepat. Kadar pemanasan dan penyejukan yang tinggi ini menyebabkan kesan EDM terhadap struktur bahan kerja seperti kewujudan lekukan, kelompok logam, retakan, serpihan logam yang memejal semula dan juga mempunyai lompong [1, 6].



Rajah 1 : Tekstur permukaan keluli terkeras H13 bagi proses EDM yang menggunakan elektrod kuprum dan keadaan pemotongan, $I_p = 1\text{A}$, $T_i = 3\mu\text{s}$, $T_o = 1\mu\text{s}$



Rajah 2 Topografi permukaan keluli terkeras H13 bagi proses EDM yang menggunakan elektrod grafit dan keadaan pemotongan, $I_p = 1A$, $T_i = 6\mu s$, $T_o = 2\mu s$



Rajah 3 : Topografi permukaan keluli terkeras H13 bagi proses EDM yang menggunakan elektrod grafit dan keadaan pemotongan, $I_p = 2A$, $T_i = 12\mu s$, $T_o = 1\mu s$

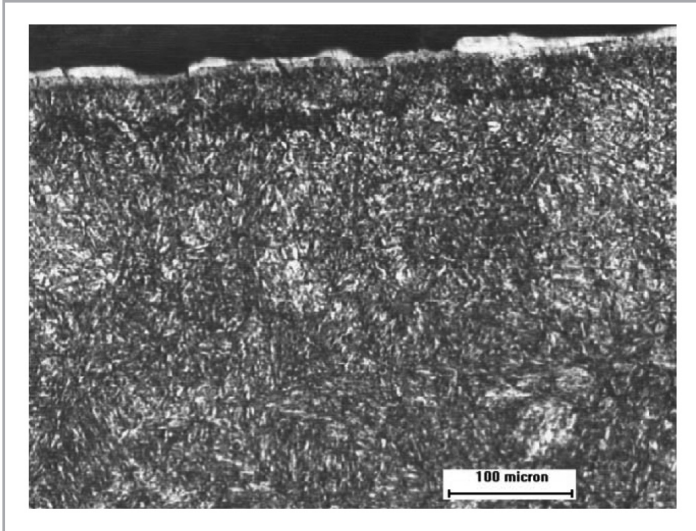
Topografi permukaan menunjukkan tekstur permukaan yang terdiri daripada di atas permukaan kerja. Topografi bagi setiap sampel yang telah menjalani proses EDM dengan menggunakan mikroskop konfokal bertujuan untuk melihat kesan parameter pemesinan iaitu arus puncak, selang masa-ON, selang masa-OFF dan bahan elektrod, terhadap permukaan keluli terkeras H13 yang terbentuk.

Topografi Rajah 1-3 menunjukkan topografi apabila arus puncak ditetapkan pada 1A dan 2A, selang masa-ON yang semakin meningkat iaitu daripada $3\mu s$, $6\mu s$ dan $12\mu s$ serta selang masa-OFF yang semakin meningkat iaitu $1\mu s$, dan $2\mu s$. Permukaan bahan kerja yang diperolehi semakin merosot iaitu kewujudan lekukan dan puncak yang semakin banyak.

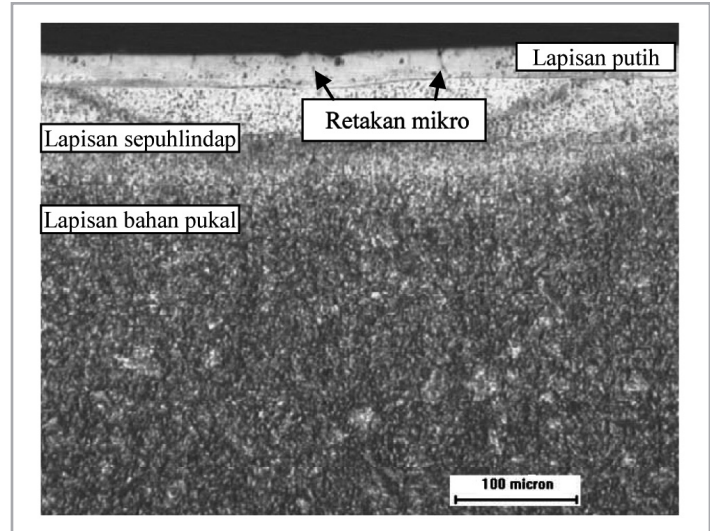
Seterusnya kekasaran permukaan bahan kerja menjadi semakin kasar. Ini disebabkan oleh pertambahan selang masa-ON akan menyebabkan lebih banyak bahan kerja dileburkan dan juga peningkatan arus puncak seperti dalam Rajah 3. Sekiranya bahan kerja yang dileburkan ini tidak dialir keluar

oleh dielektrik, maka ia akan memejal semula dan membentuk lapisan putih di atas permukaan benda kerja. Kesan lapisan putih meningkatkan kekasaran permukaan benda kerja. Kajian yang dijalankan oleh Puertas *et al* [7] menunjukkan arus puncak ialah faktor ketara yang mengawal nilai kekasaran permukaan. Kerja –kerja yang dilakukan oleh Guu *et al* [8] dan, Lee dan Tai [1] juga menunjukkan keputusan yang sama. Mereka mendapati dengan menaikkan arus puncak dan selang masa-ON akan menyebabkan kemerosotan kekemasan permukaan. Tambahan pula selang masa-ON yang panjang akan membenarkan lebih haba dikeluarkan daripada permukaan elektrod [9].

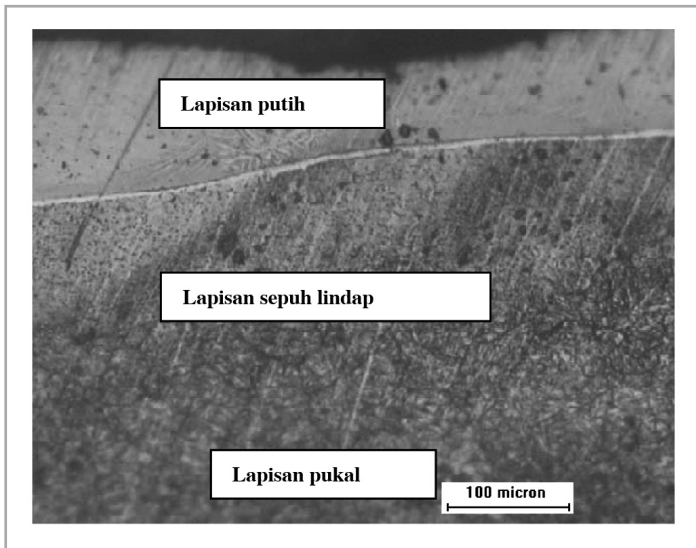
Secara keseluruhan, untuk memperoleh permukaan yang kemas. Gabungan arus puncak yang rendah, selang masa-ON yang pendek, dan selang masa-OFF yang pendek digunakan. Arus puncak yang rendah memberikan jumlah tenaga yang dibebaskan adalah rendah. Selang masa-ON yang pendek pula dapat mengurangkan pembentukan lekukan dan kawah yang terbentuk dengan kadar pembuangan yang rendah. Akhirnya, selang masa-



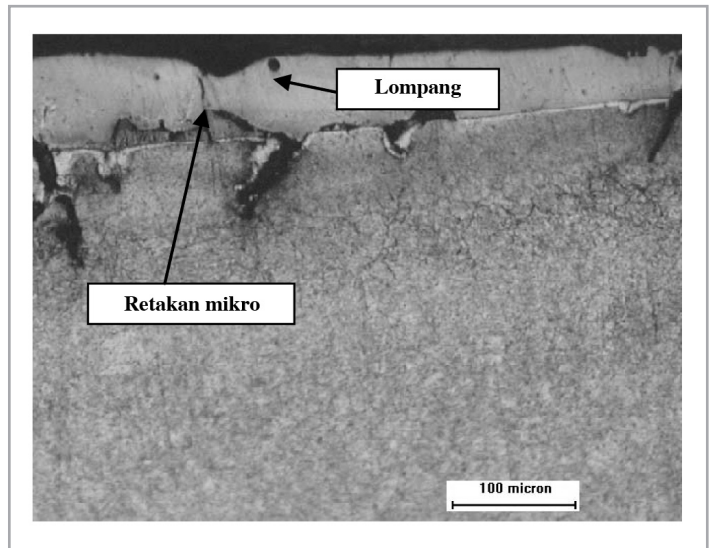
Rajah 5: Mikrostruktur permukaan keluli terkeras H13 bagi proses EDM yang menggunakan elektrod kuprum dan keadaan pemotongan, $I_p = 1A$, $T_i = 6\mu s$, $T_o = 2\mu s$



Rajah 6: Mikrostruktur permukaan keluli terkeras H13 bagi proses EDM yang menggunakan elektrod grafit dan keadaan pemotongan, $I_p = 1A$, $T_i = 6\mu s$, $T_o = 2\mu s$



Rajah 7: Mikrostruktur permukaan keluli terkeras H13 bagi proses EDM yang menggunakan elektrod kuprum dan keadaan pemotongan, $I_p = 4A$, $T_i = 12\mu s$, $T_o = 2\mu s$



Rajah 8: Kewujudan retakan mikro dan lompang di lapisan keluli terkeras H13 bagi proses EDM yang menggunakan elektrod kuprum dan keadaan pemotongan, $I_p = 4A$, $T_i = 12\mu s$, $T_o = 2\mu s$

OFF yang pendek digunakan tetapi perlu mengelakkan daripada menggunakan masa-OFF yang terlalu singkat. Selang masa-OFF semakin pendek, semakin cepat proses pembuangan logam.

Perubahan Mikrostruktur di Bawah Permukaan yang di Mesin

Semua sampel yang dimesin dengan proses EDM mempunyai lapisan putih di atas permukaannya. Terdapat tiga lapisan yang terbentuk di bawah permukaan EDM iaitu lapisan putih, lapisan sepuhlindap dan lapisan bahan pukal. Rajah 5-6 menunjukkan mikrostruktur bagi sampel metalografi keluli terkeras H13 yang diperhatikan di bawah mikroskop optik. Terdapat lapisan putih yang wujud di atas permukaan setiap sampel tersebut. Ketebalan bagi lapisan ini adalah berbeza-beza bagi parameter proses EDM yang berlainan. Lapisan putih, dalam fasa dendrit berada pada permukaan benda kerja. Pembentukan lapisan putih disebabkan oleh pemejalan semula leburan logam yang tidak dialir keluar

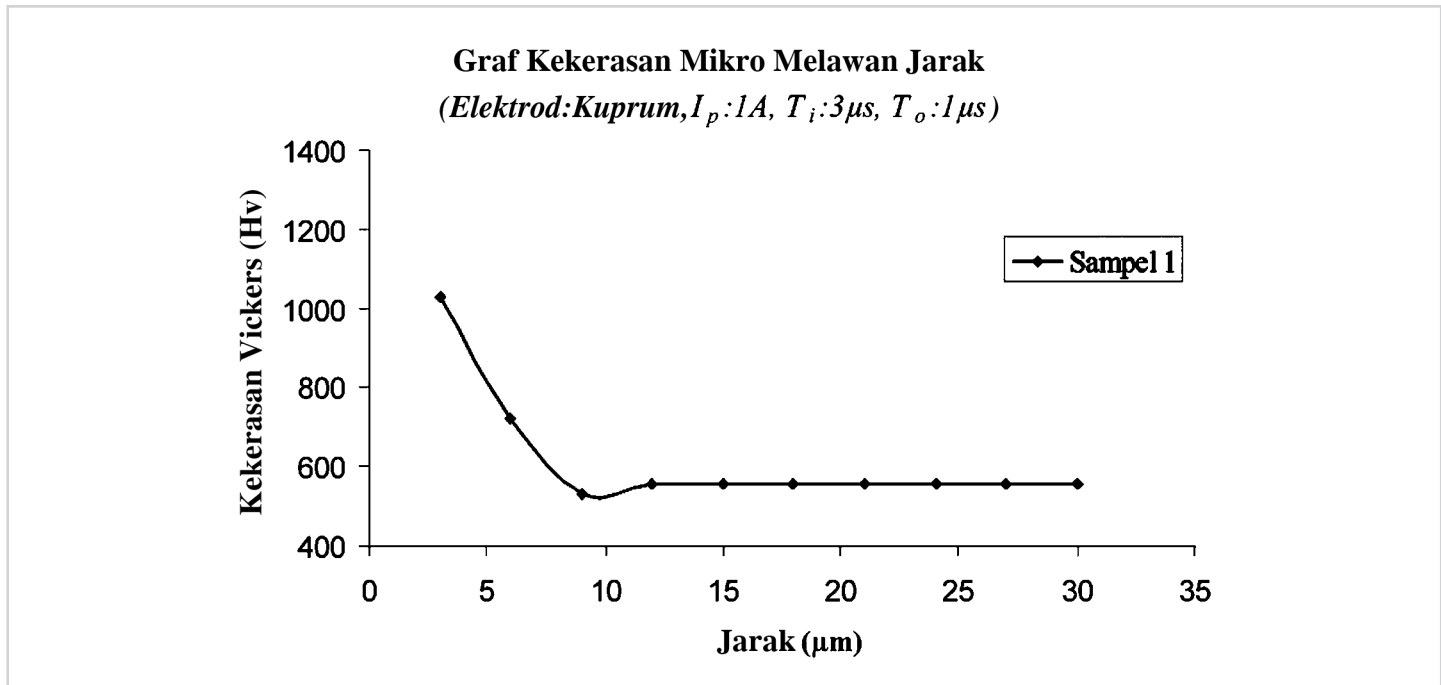
oleh dielektrik ketika penyejukan. Lapisan ini terdiri daripada martensit dan austenit yang dikekalkan serta mengandungi karbon yang diresap ketika nyahcas elektrik [1]. Disebabkan oleh resapan karbon dan struktur yang berlainan daripada bahan pukal, kekerasan lapisan ini adalah jauh lebih tinggi daripada bahan pukal.

Secarakeseluruhan, semakin tinggi selang masa-ON, semakin tebal lapisan putih yang terbentuk [1]. Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5 dan 6, di mana arus puncak dikekalkan pada 1A, selang masa-ON dinaikan daripada $3\mu s$, kepada $6\mu s$. Selang masa-ON yang semakin meningkat, menyebabkan masa untuk meleburkan logam semakin bertambah walaupun menggunakan elektrod yang berbeza. Dengan kadar pengaliran dielektrik yang malar, lebih banyak logam tidak dapat disingkirkan. Maka ia akan disejukan oleh dielektrik dan memejal semula di atas permukaan benda kerja. Terdapat banyak retakan mikro yang wujud di lapisan putih seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 6.

Ini sejajar dengan kajian yang dilakukan oleh Lee and Tai [1]. Mereka mengatakan bahawa retakan yang wujud di lapisan putih jarang merentasi lapisan sepuhlindap kecuali tenaga puncak (*pulse energy*) yang cukup tinggi. Kandungan karbon yang tinggi dalam bahan kerja juga memberi kesan kepada pembentukan retakan mikro [6]. Lapisan ini terdiri daripada martensit dan austenit yang dikekalkan serta mengandungi karbon yang diresap ketika nyahcas elektrik [1]. Disebabkan oleh resapan karbon dan

struktur yang berlainan daripada bahan pukal, kekerasan lapisan ini adalah jauh lebih tinggi daripada bahan pukal.

Menurut Ghanem et al [10], lapisan sepuhlindap dipengaruhi oleh jenis, tahap pengerasan keluli serta parameter pemesinan. Secara umumnya, ketebalan lapisan sepuhlindap semakin meningkat apabila nyahcas elektrik semakin meningkat iaitu semakin banyak haba dikenakan pada zarah di bawah permukaan benda kerja.



Rajah 9: Graf kekerasan mikro melawan jarak, keluli terkeras H13 bagi proses EDM yang menggunakan elektrod kuprum dan keadaan pemotongan, $I_p = 1A$, $T_i = 6\mu s$, $T_o = 2\mu s$

Akhirnya, kehadiran lapisan putih dan sepuhlindap mempengaruhi sifat mekanikal benda kerja. Sebagai contoh, retakan pada permukaan boleh menyebabkan bahan tersebut gagal sebelum takat alahnya.

Ujian Kekerasan Mikro Vickers

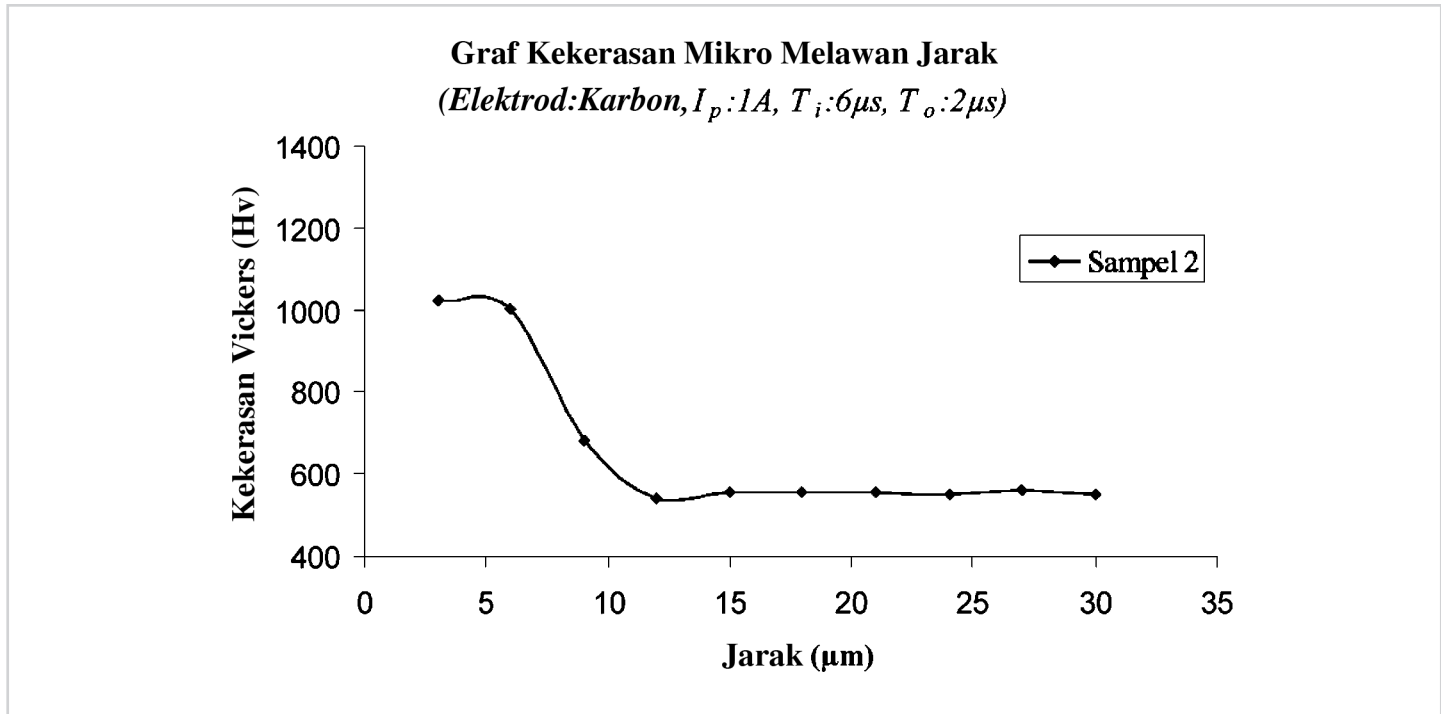
Kekerasan mikro untuk setiap sampel keluli terkeras H13 diuji dengan menggunakan alat pengukur kekerasan Vickers. Beban sebanyak 200g dikenakan pada permukaan sampel selama 10saat bermula dari jarak di atas permukaan luar lapisan putih sehingga ke bahan pukal iaitu lebih kurang daripada permukaan yang dimesin. Rajah 9 menunjukkan contoh graf kekerasan mikro melawan jarak daripada permukaan yang dimesin.

Daripada graf yang diperolehi, didapati bahawa lapisan luar untuk setiap sampel adalah lebih keras berbanding bahan pukal. Kekerasan yang tinggi ini disebabkan oleh kewujudan lapisan putih di permukaan benda kerja. Ketebalan lapisan putih bergantung kepada parameter pemesinan yang digunakan. Semakin tinggi selang masa-ON, semakin tebal lapisan putih yang terbentuk. Begitu juga dengan kenaikan arus puncak yang menambahkan ketebalan lapisan putih.

Sejurus selepas lapisan putih, terdapat kekerasan yang lebih rendah daripada bahan pukal. Ini disebabkan oleh lapisan

sepuhlindap terbentuk yang mana mikrostruktur benda kerja dikenakan haba di bawah takat lebur semasa nyahcas elektrik terbentuk. Tambahan pula lapisan ini disejukkan dengan perlahan oleh dielektrik proses EDM. Maka kekerasan di lapisan ini adalah lebih rendah berbanding bahan pukal. Keputusan yang sama juga diperoleh oleh penyelidik Ahmet and Ulas [6] iaitu kekerasan yang paling tinggi di lapisan putih diikuti kekerasan yang lebih rendah daripada bahan pukal di lapisan sepuhlindap dan seterusnya lapisan bahan pukal.

Secara keseluruhan, kekerasan keluli terkeras H13 yang dijalan proses EDM mempunyai kekerasan yang paling tinggi di permukaan luar benda kerja iaitu sebanyak 1130 Hv, diikuti dengan penurunan kekerasan mikro pada lapisan pertengahan iaitu 543 Hv dan seterusnya kekerasan bahan pukal di sekitar 550 Hv. Keputusan yang diperolehi adalah untuk kedua-dua jenis elektrod yang digunakan. Penyelidik lain juga mendapati kekerasan benda kerja berubah merentasi kedalaman benda kerja. Lapisan putih menunjukkan kekerasan dua kali ganda jauh lebih besar daripada bahan pukal, manakala lapisan sepuhlindap mempunyai kekerasan yang lebih rendah daripada bahan pukal [1].



Rajah 10 : Graf kekerasan mikro melawan jarak, keluli terkeras H13 bagi proses EDM yang menggunakan elektrod grafit dan keadaan pemotongan, $I_p = 1A$, $T_i = 6\mu s$, $T_o = 2\mu s$

4.0 KESIMPULAN

Kesimpulan yang boleh dibuat berdasarkan ujikaji yang dijalankan adalah seperti berikut:

1. Daripada topografi permukaan yang diperoleh, selang masa-ON, selang masa-OFF dan arus puncak yang semakin meningkat boleh menyebabkan permukaan EDM menjadi semakin kasar iaitu lebih banyak puncak atau bucu yang terbentuk di permukaan EDM.
2. Ketebalan lapisan putih bergantung kepada parameter pemesinan. Semakin tinggi selang masa-ON dan arus puncak, semakin tebal lapisan putih yang terbentuk. Tetapi pengaruh arus puncak terhadap ketebalan lapisan putih yang terbentuk adalah tidak ketara kerana arus puncak yang kecil digunakan.
3. Kekerasan keluli terkeras H13 yang menjalani proses EDM mempunyai kekerasan yang paling tinggi di permukaan luar benda kerja atau lapisan putih iaitu sekitar 1130 Hv, diikuti dengan penurunan kekerasan mikro pada lapisan pertengahan atau lapisan sepuhlindung iaitu 543 Hv dan seterusnya kekerasan lapisan bahan pukal di sekitar 550 Hv. ■

RUJUKAN

- [1] Lee, H.T., Tai, T.Y. 2003. Relationship between EDM parameter and surface crack formation. *Journal of Materials Processing Technology* 142: pp. 676-683.
- [2] Lee, Hwa-Teng, Hsu, Fu-Chuan, Tai, Tzu-Yao. 2004. Study of surface integrity using the small area EDM process with a copper-tungsten electrode. *Materials Science and Engineering A364*: pp. 346-356.
- [3] Yusuf Keskin, Selcuk Halkaci, H., Mevlut Kizil. 2006. An experimental study for determination of the effects of machining parameters on surface roughness in electrical discharge machining (EDM). *Journal of Materials Processing Technology* 28: pp. 1118-1121.
- [4] Masuzawa T. Sakai S., and Ito S., ECM finishing of surface products by EDM. Proceedings of ISEM9, 1989, pp. 155-158.
- [5] Ramasawmy, H. and Blunt, L. 2004. Effect of EDM process parameters on 3D surface topography. *Journal of Materials Processing Technology* 148: pp. 155-164.
- [6] Ahmet Hascalyk and Ulas Caydas. 2004. Experiment study of wire electrical discharge machining of AISI D5 tool steel. *Journal of Materials Processing Technology* 148: pp. 362-367.
- [7] Puertas, I., Luis, C.J. and Alvarez, L. 2004, Analysis of the Influence of EDM parameters on Surface Quality, MRR and ER of WC-Co. *Journal of Material Processing Technology* 153-154: pp. 1026-1032

- [8] Guu, Y.H., Hocheng, H., Chou, C.Y., Deng, S.C., 2003. Effect of EDM on Surface Characteristics and Machining Damage of AISI D2 Tool Steel. *Material Science and Engineering A358*: pp. 37-43.
- [9] Wong, C.C., Yan, B. H. 2000. Blind hole drilling of / 6061 Al composites using rotary EDM. *Journal of Materials Processing Technology* 90-102.
- [10] Ghanem, F., Braham, C., Sidhom, H. 2003. Influence of steel type on electrical discharge machined surface integrity. *Journal of Materials Processing Technology* 142: pp. 163-173.
- [11] Tanpa pengarang. H13 tool steel material information (atas talian). <http://www.windsorsteel.com/grades/h-13.htm> (22 September 2006).
- [12] Kalpakjian, S. and Schmid, S. R. 2001. *Manufacturing Engineering and Technology*. Ed ke-4. United States of America: Prentice Hall International.
- [13] McGeough, J. A. 1988. *Advanced Methods of Machining*. Ed. Ke-2. Prentice Hall International, Inc.

PROFILES



JAHARAH A. GHANI

A.G. Jaharah is a BEng and an MSc in Manufacturing Engineering from Leeds Metro University and Warwick University, UK, respectively. She received a PhD in Manufacturing Engineering from Universiti Malaya, Malaysia. Her current research interests are machining technology of tool steels, cast iron and aerospace materials.



ENGR. AHMAD RASDAN ISMAIL

Engr. Ahmad Rasdan Ismail is a professional engineer registered with the Board of Engineers Malaysia BEM, and holds a BEng. (Hons) (UKM), as well as a Masters of Science in Manufacturing Systems Engineering (UPM). He has been working in the engineering field including as a design engineer at R&D PROTON and also as a consultant for many projects under UKM. Ahmad Rasdan is currently a lecturer in manufacturing engineering at the UKM.



ENGR. HAJI BABA MD DEROS

Engr. Haji Baba Md Deros is a graduate member of IEM and holds BSc (Hons) in Mechanical Engineering from University of Glamorgan, United Kingdom, Master of Science in Manufacturing Systems Engineering from University of Warwick, United Kingdom and PhD in Manufacturing Management. He has been working as a lecturer in several Polytechnics and currently as an Associate Professor in the Department of Mechanical and Materials Engineering, Faculty of Engineering, UKM.