

FABRIKASI DAN PRESTASI PEMESINAN SERAMIK ALUMINA DIPERKUAT ZIRKONIA

Mohd Hadzley Abu Bakar
Andanastuti Muchtar
Che Hassan Che Haron

Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi

ABSTRAK

Kertas kerja ini membentangkan hasil kajian fabrikasi dan ujian pemesinan komposit seramik alumina diperkuat zirkonia. Melalui kaedah penuangan buburan, serbuk seramik alumina (77% isipadu) dan zirkonia (23% isipadu) diproses secara berkoloid dan dibentuk mengikut piawaian ISO SNGN 120412. Jasad hijau yang terhasil dikeringkan dan disinter pada suhu 1400°C selama 2 jam sebelum digunakan untuk melarik keluli AISI D2 (25 HRC) menggunakan mesin larik berkomputer. Ujikaji dilakukan tanpa bendalir pemesinan dengan halaju pemesinan 350 m/min, 400 m/min, 450 m/min, 500 m/min, 550 m/min dan 600 m/min. Kadar suapan dan kedalaman pemesinan ditetapkan malar sebanyak 0.25 mm/putaran dan 1 mm masing-masing. Analisis prestasi haus pada permukaan mata alat dilakukan dengan menggunakan mikroskop imbasan laser. Keputusan menunjukkan haus rusuk meningkat pada halaju yang lebih tinggi dengan haus purata maksimum sebanyak 0.49 mm. Kaedah pemprosesan berkoloid dan teknik pengukuhan seperti yang dilakukan dalam kajian ini didapati mampu menghasilkan sisipan mata alat yang sesuai digunakan bagi pemesinan logam.

Kata kunci : Alumina diperkuat zirkonia, pemprosesan berkoloid, penuangan buburan, mata alat pemotong, pemesinan.

1.0 PENGENALAN

Proses pemesinan adalah salah satu operasi terpenting dalam industri pembuatan. Ia merangkumi penggunaan pelbagai jenis sisipan mata alat seperti karbida, alumina, kubik boron nitrida, dan keluli halaju tinggi. Beberapa kajian sebelum ini telahpun dilakukan dalam usaha untuk meningkatkan kecekapan operasi pemesinan dari segi bahan, masa, kos, peralatan, penyelenggaraan dan sebagainya [1-5].

Penggunaan mata alat pemotong yang sesuai amat penting untuk menghasilkan produk yang mempunyai kejituan dimensi yang tinggi serta penyudahan permukaan yang berkualiti. Sifat sisipan mata alat seperti alumina (Al_2O_3) yang keras, berkerintangan tinggi terhadap lelasan dan stabil terhadap bahan kimia dikatakan berpotensi sebagai mata alat pemotong yang efektif untuk pemesinan berhalaju tinggi dengan bahan kerja yang keras [1-2,6-8]. Penambahan zirkonia (ZrO_2) pada matriks alumina pula akan meningkatkan lagi sifat rintangan haus

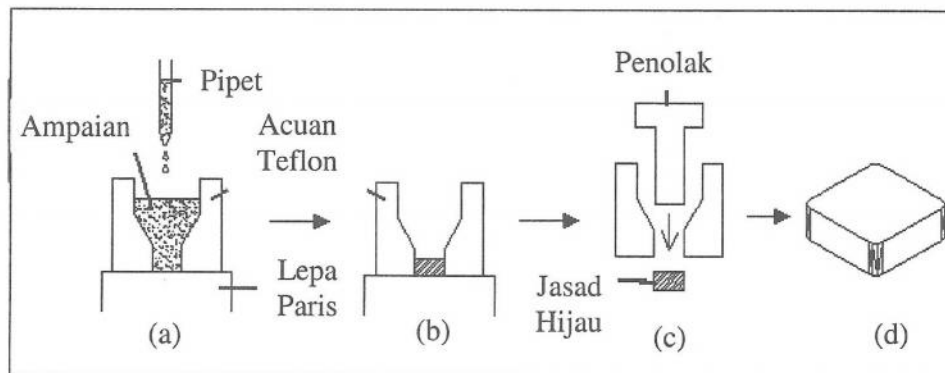
dan mengurangkan risiko kewujudan dan pembentukan retak tanpa mengubah kekerasannya dengan ketara [1-2].

Penghasilan bahan seramik termaju melalui teknik pemprosesan berkoloid telahpun dilakukan oleh Goh et al. [4], Muchtar dan Lim [9], Suzuki et al. [10] dan Lim et al. [11]. Mereka menyimpulkan bahawa teknik pemprosesan berkoloid berpotensi untuk menghasilkan seramik yang homogen dan berprestasi tinggi. Oleh itu, kajian ini lebih tertumpu kepada aplikasi pemprosesan berkoloid dengan penuangan buburan bagi menghasilkan sisipan mata alat pemotong alumina diperkuat zirkonia yang mempunyai mikrostruktur dan sifat mekanik yang baik. Sisipan mata alat tersebut kemudiannya diuji melalui ujikaji pemesinan bagi mendapatkan prestasi haus mata alat.

2.0 METODOLOGI

Fabrikasi sisipan mata alat bermula dengan 77% isi padu serbuk alumina dengan ketulenan 99.99% (TM-DAR, Taimei Chemicals Co. Ltd) dicampurkan dengan 23% isi padu serbuk zirkonia berketulenan 99.95% (Strem Chemical Inc.) dan diproses secara berkoloid dengan pembebanan pepejal 10%.

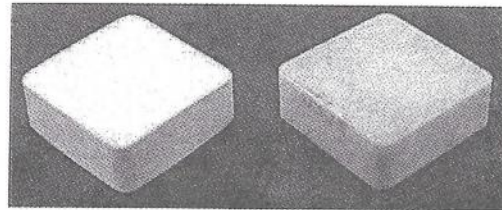
Untuk mengelakkan berlakunya penggumpalan serbuk, ampaian distabilkan pada pH 1 dengan penambahan asid hidroklorik. Ampaian kemudiannya dimasukkan ke dalam kebuk ultrasonik (Elma T 570/H) untuk proses pemeraian ultrasonik selama 10 minit sebelum dikacau menggunakan pengacau magnetik selama 2 jam. Ini diikuti dengan penuangan ampaian ke dalam acuan Teflon yang diletakkan di atas blok Lepa Paris. Lebihan air akan diserap oleh blok Lepa Paris untuk menghasilkan jasad hijau komposit yang berbentuk sisipan mata alat komersial pada dasar acuan Teflon. Proses ini dikenali sebagai proses penuangan buburan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.



Rajah 1 Ilustrasi proses penuangan buburan; (a) Ampaian dituang ke dalam acuan Teflon yang diletakkan di atas blok Lepa Paris, (b) pembentukan jasad hijau dalam acuan, (c) jasad hijau ditolak keluar dan (d) bentuk jasad hijau yang diperolehi

Setelah proses penuangan selesai, sampel dikeluarkan daripada acuan Teflon dan dikeringkan pada suhu 110°C sekurang-kurangnya 24 jam sebelum dipra-sinter pada suhu 800° selama 45 minit. Pinggir mata alat kemudiannya disurih menggunakan kertas pasir yang halus bagi memastikan bentuk dan saiznya menepati piawai ISO SNGN 120412. Selepas itu, sampel disinter pada suhu 1400°C selama 2 jam.

Untuk tujuan pencirian sampel, sampel dicanai dan akhirnya digilap secara berturut-turut dengan pes intan 9 μm , 3 μm dan 1 μm . Akhir sekali, sampel digilap dengan ampaiian gilapan berkoloid silika tak berkristal (Mastermet 2, Buehler) bagi menghasilkan permukaan sampel yang licin seperti cermin. Dalam kajian ini, teknik mikro-pelekukan dipilih bagi mendapatkan sifat kekerasan sampel. Selain merupakan kaedah piawai dalam menjana nilai kekerasan sampel, kaedah mikro-pelekukan dengan beban pelekukan 2 kgf ke bawah juga merupakan kaedah yang terbukti efektif dalam menjana nilai ketiadaan patah bahan rapuh [9, 12]. Rajah 2 menunjukkan contoh sisipan mata alat yang dihasilkan dalam kajian ini di samping sisipan mata alat alumina komersial.



(a)

(b)

Rajah 2 (a) Contoh sisipan mata alat yang telah siap disinter
(b) Contoh sisipan mata alat komersial

Seterusnya, ujian pemesinan dilakukan terhadap mata alat yang terhasil dengan melarik keluli AISI D2 pada pelbagai halaju dan masa mengikut piawaian ISO 3685 (1993) [13]. Operasi pemesinan dijalankan pada mesin larik CNC Avenger 200T tanpa bendalir pemesinan. Sifat bahan kerja dan perincian parameter pemesinan ditunjukkan dalam Jadual 1 dan 2. Pemesinan laju tinggi dijalankan pada bahan kerja dengan laju pemesinan 350 m/min, 400 m/min, 450 m/min, 500 m/min, 550 m/min dan 600 m/min. Kadar suapan dan kedalaman pemesinan ditetapkan malar iaitu masing-masing 0.254 mm/putaran dan 1 mm. Masa pemesinan bagi setiap laju pemesinan adalah 1- 4 minit. Setiap sisipan mata alat yang digunakan untuk operasi pemesinan pada laju dan masa pemesinan yang dinyatakan di atas tidak digunakan semula untuk operasi pemesinan seterusnya tetapi akan disimpan untuk analisis haus rusuk. Mata alat pemotong yang telah dimesin dicuci dengan asid hidroklorik untuk membuang serpihan keluli yang melekat. Maklumat tentang haus mata alat dan prestasinya diperolehi melalui pemerhatian menggunakan mikroskop laser (LEICA Confocal ICM 1000).

Jadual 1 Sifat bahan kerja untuk ujikaji pemesinan

Kekerasan :	25 HRC
Saiz :	80 mm diameter, 250 mm panjang
Komposisi :	C (1.55 %), V (0.9 %), Si (0.3 %), Mn (0.5 %), Cr (12.0 %), Mo (0.8 %), selebihnya Fe

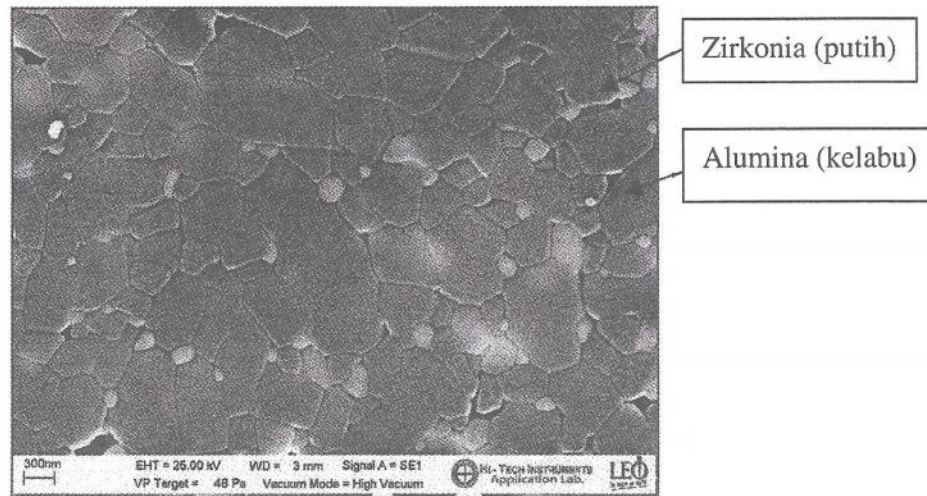
Jadual 2 Parameter pemesinan

Mata alat pemotong :	Alumina diperkuat zirkonia
Pemegang mata alat :	CSSNL2525M1H3 (-6, -6, 6, 6, 45, 45)
Halaju pemesinan (m/min) :	350, 400, 450, 500, 550, 600
Masa Pemesinan (minit) :	1, 2, 3, 4
Kadar Suapan (mm/putaran) :	0.254
Kedalaman Pemesinan (mm) :	1

3.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

3.1 Mikrostruktur, Ketumpatan dan Sifat Mekanik

Rajah 3 menunjukkan mikrostruktur sampel di bawah pemerhatian mikroskop imbasan elektron (SEM).



Rajah 3 Mikrostruktur sampel diambil menggunakan SEM

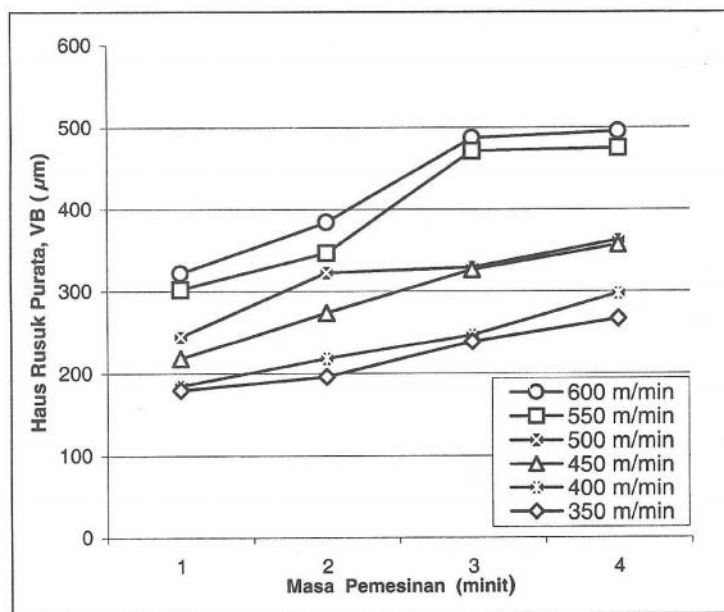
Sampel didapati mempunyai kehomogenan yang baik di mana taburan partikel-partikel zirkonia (berwarna putih) dalam fasa alumina (berwarna kelabu) yang seragam. Secara purata, sampel mempunyai saiz ira alumina dalam lingkungan submikron. Ujikaji ketumpatan menggunakan *Mercury Porosimeter Pascal 440*

pula menunjukkan sampel mempunyai ketumpatan 3.38 g/cm^3 . Selain itu, nilai kekerasan dan keliatan patah sampel didapati masing-masing (1700 Hv) dan $7.5 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$.

Komposit matriks seramik alumina diperkuat zirkonia seperti yang telah dihasilkan dalam kajian ini didapati mempunyai sifat mekanik yang lebih baik berbanding dengan seramik monolit, contohnya alumina tulen yang rata-rata memiliki kekerasan dalam julat 18.5 – 20 GPa dan keliatan patah dalam julat 3 – 5 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ [9]. Penambahan zirkonia dalam seramik alumina membantu menghalang perambatan retak bila mana berlakunya transformasi partikel zirkonia daripada fasa tetragonal ke monoklinik sewaktu pembebanan [14,15].

3.2 Ujikaji Pemesinan

Rajah 4 menunjukkan kesan masa pemesinan terhadap haus rusuk purata mata alat. Seperti yang dijangkakan, haus rusuk menjadi semakin tinggi apabila masa pemesinan ditingkatkan. Sekiranya haus purata maksimum 0.3 mm diambil kira [13], masa pemesinan yang paling lama dicatatkan adalah 4 minit pada halaju 350 m/minit dan 400 m/minit. Masa pemesinan paling pendek pula adalah 1 minit iaitu pada halaju 500 m/min dan 550 m/min. Pada halaju 600 m/min, kesemua mata alat mencatatkan bacaan haus rusuk purata, VB melebihi 0.3 mm.

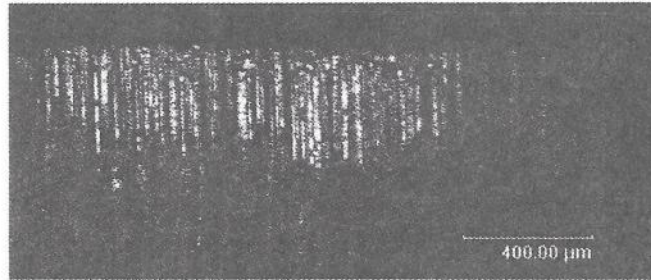


Rajah 4 Kesan masa pemesinan terhadap haus rusuk purata mata alat

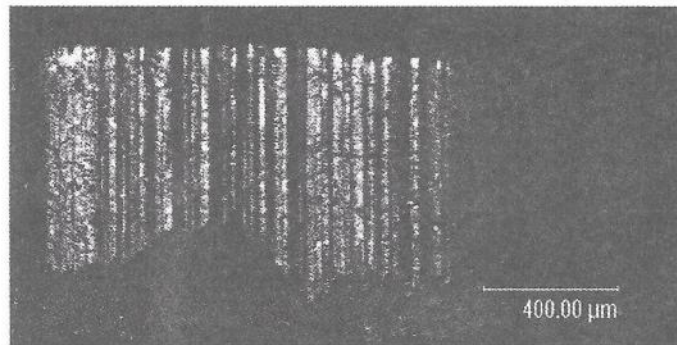
Rajah 5 menunjukkan imej haus rusuk mata alat yang diperolehi daripada mikroskop laser.



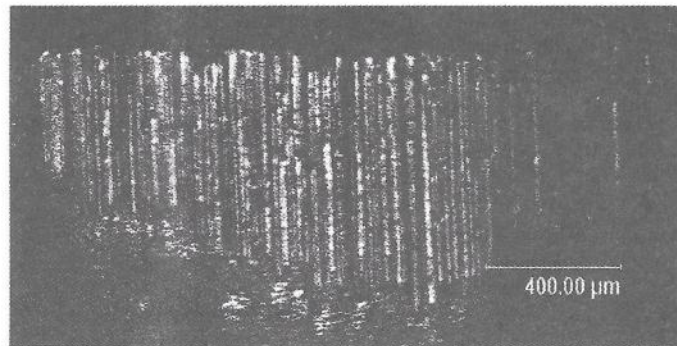
450 m/min (1 minit)



500 m/min (2 minit)



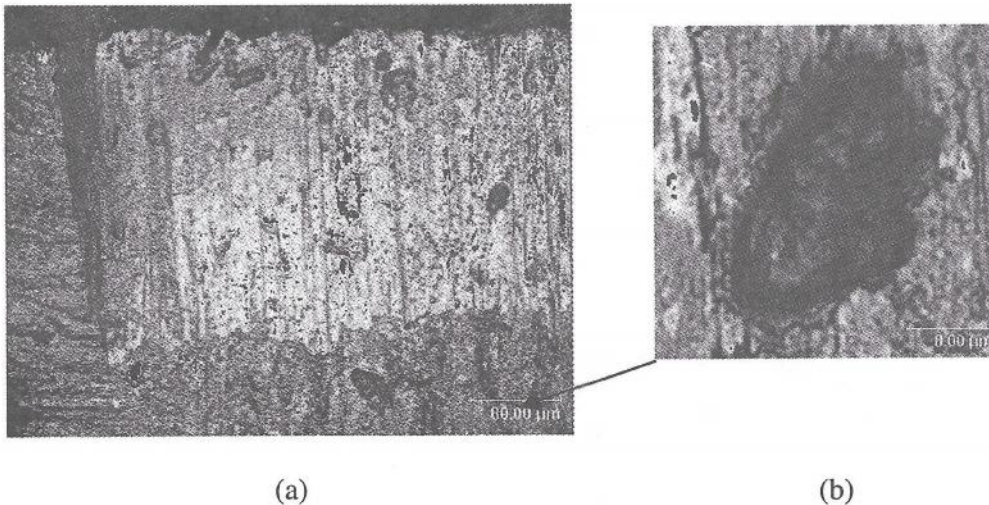
550 m/min (3 minit)



600 m/min (4 minit)

Rajah 5 Imej haus rusuk pada halaju dan masa tertentu diambil menggunakan mikroskopi imbasan laser

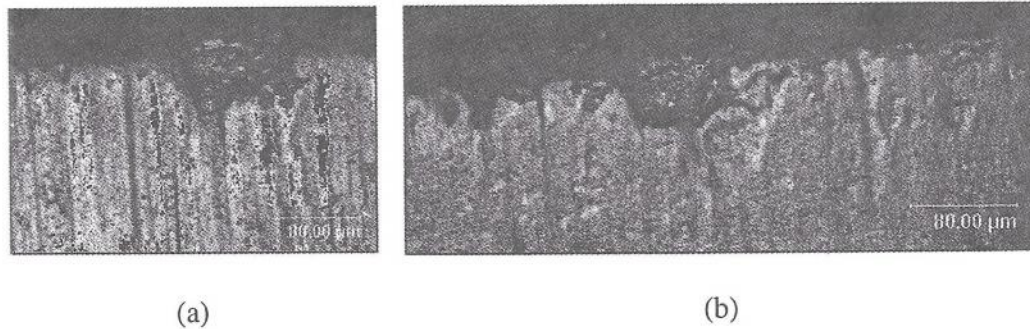
Didapati, kesemua mata alat menghasilkan alur dan batas yang selari di sepanjang kawasan haus. Ia dipercayai terhasil daripada deformasi dan penyerpihan ira melalui geseran mata alat dengan bahan kerja. Semasa pemesinan, geseran yang berlaku pada kawasan sentuhan antara mata alat pemotong dan bahan kerja menyebabkan struktur ira pada mata alat pemotong terpecah dan menyerpih sedikit demi sedikit. Ira-ira yang terpecah ini akan dibawa keluar bersama-sama serpihan bahan kerja yang terhasil. Apabila masa dan halaju pemesinan ditingkatkan, kehilangan ira-ira seramik akan menjadi lebih kerap menyebabkan kehilangan isi padu yang banyak pada muka rusuk. Seterusnya, alur dan batas yang panjang dan selari berlaku selari dengan arah pergerakan serpihan. Geseran yang berterusan memudahkan lagi penyerpihan ira kerana penjana aliran tegasan ricih di sepanjang muka alur. Ia ditambah dengan penjana haba pada zon pemesinan [3-5, 16]. Mekanisma haus seperti yang berlaku dalam kajian ini iaitu semasa pemesinan keluli mata alat menggunakan sisipan mata alat alumina zirkonia yang difabrikasi sendiri kini masih sedang dalam tahap analisis. Walau bagaimanapun, di antara faktor yang mempengaruhi prestasi mata alat ialah mikrostruktur, kecacatan dan keliangan pada mata alat. Rajah 6 menunjukkan imej kawasan haus rusuk apabila mata alat dimesin pada halaju 550 m/min selama 2 minit. Jelas, terdapat beberapa kesan rongga, keliangan dan kecacatan pada kawasan haus rusuk.



Rajah 6 (a) Imej kawasan haus rusuk apabila dimesin pada halaju pemesinan 550 m/min selama 2 minit.
(b) Imej dekat keliangan yang wujud pada kawasan haus rusuk.

Rajah 7 pula menunjukkan beberapa kesan penyerpihan pada pinggir mata alat. Penyerpihan adalah salah satu kecacatan yang paling mudah diperolehi untuk

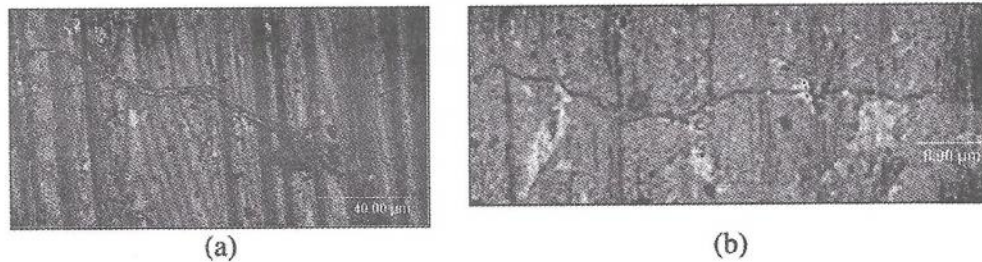
bahan yang bersifat rapuh seperti seramik. Punca utama berlakunya penyerpihan adalah kejutan akibat hentakan mata alat yang terlalu kuat ataupun getaran di awal pemesinan. Mata alat masih lagi boleh digunakan selagi saiz penyerpihan tidak melebihi saiz maksimum haus piawai [16].



Rajah 7 Penyerpihan pada pinggir mata alat apabila pemesinan dijalankan pada (a) halaju 600 m/min selama 4 minit (b) dan 600 m/min selama 1 minit.

Seterusnya pemerhatian pada Rajah 8 mendapati wujud keretakan mikro yang merentasi kawasan haus rusuk secara melintang. Retak sebegini biasanya berlaku pada halaju atau masa pemesinan yang tinggi kerana ketika ini, daya hentaman mata alat terhadap bahan kerja adalah tinggi. Ditambah dengan kombinasi geseran, tegasan, pengembangan terma dan daya pemesinan yang tidak seragam, keretakan mikro lebih mudah berlaku dan ia merendahkan hayat mata alat [5].

Walaupun mata alat mengalami beberapa kecacatan yang menghadkan prestasinya, ia masih mampu menjalankan operasi pemesinan tanpa mengalami kegagalan patah ataupun pecah. Ini menunjukkan mata alat mempunyai ketahanan yang tinggi dan masih berpotensi untuk dibangunkan sebagai mata alat pemotong komersial.



Rajah 8 (a) Keretakan mikro pada kawasan haus rusuk pada halaju pemesinan 600 m/min selama 4 minit (b) 550 m/min selama 2 minit

3.3 Kajian Lanjut

Umumnya, sisipan mata alat yang digunakan dalam kajian ini masih mempunyai ruang untuk dibaiki agar prestasi pemesinan dapat ditingkatkan. Mengikut kajian selari yang telah dilakukan [17], sampel dijangka akan memberikan prestasi pemesinan yang lebih baik sekiranya sampel disinter pada suhu yang lebih tinggi. Dalam kajian tersebut [17], sampel yang sama tetapi disinter pada suhu 1500°C boleh memiliki keliatan patah 12 MPa√m masing-masing. Kajian lanjut kini sedang dijalankan dalam usaha mendapatkan sisipan mata alat alumina zirkonia yang lebih baik dari segi prestasi pemesinannya.

4.0 KESIMPULAN

1. Fabrikasi mata alat pemotong seramik alumina diperkuat zirkonia telah dilakukan dengan menggunakan teknik pemprosesan berkoloid. Keputusan menunjukkan haus mata alat meningkat apabila halaju dan masa pemesinan dinaikkan. Analisis mendapati bahawa faktor utama yang mempengaruhi prestasi sisipan semasa pemesinan adalah mikrostruktur mata alat.
2. Secara keseluruhannya, mata alat pemotong seramik yang digunakan mampu menjalankan operasi pemesinan tanpa mengalami kegagalan katastropik. Ini menunjukkan bahawa kaedah pemprosesan berkoloid berpotensi menghasilkan mata alat pemotong seramik alumina diperkuat zirkonia yang berprestasi tinggi. Sisipan seramik yang mampu melakukan operasi pemesinan dengan halaju sederhana tinggi dan tinggi telah berjaya difabrikasi.

PENGHARGAAN

Pihak penulis ingin merakam setinggi-tinggi penghargaan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia dan Kerajaan Malaysia di atas pembiayaan penyelidikan ini melalui geran IRPA 03-02-02-0047.

RUJUKAN

1. Li, X.S. dan Low, I.M., 1993, "Evaluation of Zirconia-toughened Alumina Tool Inserts During Machining of High-strength Steel", *Journal Of Material Science Letters*, Jld. 12, ms 1916-1919.
2. Li, X.S. dan Low, I.M., 1994, "Evaluation Of Advanced Alumina-Based Ceramic Tool Inserts When Machining High Tensile-Steel", *Journal Of Material Science*, Jld. 29, ms 3121-3127.
3. Goh, G.K.L., Lim, L.C., Rahman, M., dan Lim, S.C., 1996, "Transition in Wear Mechanisms of Alumina Cutting Tools", *Wear*, 210, ms 199-208.

4. Goh, G.K.L., Lim, L.C., Rahman, M., dan Lim, S.C., 1997, "Effect of Grain Size on Wear Behaviour of Alumina Cutting Tools", *Wear* 206, ms 24-32.
5. Barry, J. dan Byrne, G., 2001, "Cutting Tool Wear in the Machining of Hardened Steels Part 1 : Alumina/Tic Cutting Tool Wear", *Wear*, 247, ms 139-151.
6. Abu Bakar, M.H., Muchtar, A. dan Che Haron, C.H., 2001, "Keutuhan Permukaan Keluli Yang Dimesin Menggunakan Mata alat Sisipan Berasaskan Alumina", *Prosiding Penyelidikan dan Pengembangan 2001*, Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan, Fakulti Kejuruteraan, UKM. ms 18-23. ms 69-74.
7. Muchtar, A, Che Haron, C.H, Hassan, A, A-Karim, M.R.F dan A-Bakar, M.H., 2001, "Surface Finish Evaluations in High-Speed Machining of Tool Steel with Ceramic Cutting Tools", In *Advances in Manufacturing Technology – XV, D T Pham, S S Dimov and V O'Hagan (eds)*, Professional Engineering Publishing Limited, UK., ms 125 – 130.
8. Abd Karim, M.R.F., Muchtar, A. dan Che Haron, C.H., 2001. Kajian Haus Rusuk Sisipan Mata alat Seramik Berasaskan Alumina, *Prosiding Penyelidikan dan Pengembangan 2001*, Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan, Fakulti Kejuruteraan, UKM. ms 18-23.
9. Muchtar, A. dan Lim, L.C., 1998, "Indentation Fracture Toughness of High Purity Submicron Alumina", *Acta Mater*, Jld. 46 (5), ms 1683 – 1690.
10. Suzuki, T.S, Sakka, Y, Nakano, K., dan Hiraga, K., 1998, "Effect of Ultrasonication on Colloidal Dispersion of Al_2O_3 and ZrO_2 Powders in pH Controlled Suspension", *Materials Transactions, JIM*, 39(6), ms 689-692.
11. Lim L.C., Wong, P.M. dan Ma . J., 1997, "Colloidal Processing of Sub-micron Alumina Powder Compact", *Journal of Materials Processing Technology*, 67, ms 137-142.
12. Lim, L.C. dan Muchtar, A., 2002, "Micro and Macro-Indentation Fracture Toughness of Alumina", *Journal of Materials Science Letters*, Jld. 21, ms 1145-1147.
13. ISO 3685, 1993, *Tool-life Testing With Single-Point Turning Tools*, International Organization for Standardization.
14. Evans, A.G. dan Cannon, R.M., 1986, "Toughening of Brittle Solids by Martensitic Transformation", *Acta Metall.*, Jld. 34, No. 5, ms. 761- 800.
15. Ramesh, S., Siah, L.F. dan Nor Azmah, A.K., 2000, "Sintering Behaviour of Slip-Cast Al_2O_3 -Y-TZP Composites", *J. Materials Science*, Vol 35, ms. 21-24.
16. Xing, A. dan Zhaoqian, L., 1994, "Characteristics of Ceramic Tool Fracture", *Key Engineering Materials*, 96, ms 165-196.
17. Muchtar, A., Che Haron, C. H. dan Azhari, C.H., 2003, "Penghasilan Komposit Alumina diperkuat zirkonia Secara Penuangan Buburan", *Prosiding Seminar IRPA RMK-7 2003*, Jilid 2, 17-19 Januari 2003, Melaka, ms. 48-52.