

KESAN PARAMETER PEMOTONGAN KE ATAS PEMBENTUKAN SERPIHAN PERKAKAS KELULI H13 MENGUNAKAN MATA ALAT BERSALUT KARBIDA

Jaharah A. Ghani* dan Sim See Yong

Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan, Fakulti Kejuruteraan,
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia

*Koresponden: jaharah@vlsi.eng.ukm.my

Abstrak: *Kertas kerja ini menerangkan kesan parameter pemesinan pada halaju tinggi ke atas pembentukan serpihan perkakas keluli H13 menggunakan mata alat bersalut karbida. Parameter yang dikaji ialah halaju pemotongan (V_c): 224 m/min–355 m/min, suapan (f): 0.1 mm/gigi–0.25 mm/gigi, dan kedalaman pemotongan radial: 0.3–0.8 mm. Manakala kedalaman pemotongan paksi dikekalkan malar pada 3 mm. Serpihan yang terhasil dianalisis secara terperinci menggunakan mikroskop imbasan elektron (SEM) untuk melihat kesan parameter pemotongan ke atas pembentukan serpihan tersebut. Didapati serpihan terputus-putus dengan pinggir bergerigi dihasilkan apabila menggunakan kadar suapan dan kedalaman pemotongan yang tinggi. Analisis tenaga serakan sinaran-X (EDX) menunjukkan serpihan yang terbentuk juga telah mengalami proses pengoksidaan yang disebabkan oleh penjanaan suhu semasa proses pemotongan dijalankan, terutamanya pada keadaan halaju pemotongan dan kadar suapan yang tinggi.*

Kata kunci: halaju tinggi, serpihan bergerigi, perkakas keluli H13, mata alat karbida bersalut

Abstract: *This paper describes the effect of machining parameters at high cutting speed applications on chip formation of H13 tool steel using coated carbide tool. The machining parameters investigated are cutting speed (V_c): 224–355 m/min, feed rate (f): 0.1–0.25 mm/tooth, and radial depth of cut: 0.3–0.8 mm. Axial depth of cut was kept constant at 3 mm. The effect of machining parameters on chip formation was studied in detailed using scanning electron microscope (SEM). It was observed that continuous chip with saw-tooth edge was formed at high feed rate and depth of cut. Energy Dispersive X-ray (EDX) analysis showed that the oxidation occurred due to the heat generation during the cutting process, especially at high feed rate and cutting speed.*

Keywords: high cutting speed, saw-tooth chip, H13 tool steel, coated carbide tool

1. PENGENALAN

Bentuk serpihan yang dihasilkan daripada proses pemesinan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi produktiviti dalam industri pemotongan logam [1] contohnya serpihan bergerigi merupakan penyebab utama kepada kegagalan mata alat yang boleh mengurangkan produktiviti dan meningkatkan kos pemesinan. Serpihan yang terbentuk mempunyai bentuk dan saiz yang berbeza-beza bergantung pada operasi pemotongan yang dijalankan. Jenis serpihan yang terbentuk banyak bergantung pada bahan benda kerja yang digunakan dan keadaan pemotongan yang dipilih. Barry dan Bryren [2] mengatakan bahawa had bentuk setiap jenis serpihan berkait rapat dengan ketebalan serpihan tak ubah bentuk minimum, iaitu nilai minimum ketebalan serpihan tak ubah bentuk bagi pembentukan sesuatu serpihan.

Pembentukan serpihan dalam pemesinan melibatkan pengaliran elastik-termavikoplastik lekat tak linear yang tinggi. Bentuk pengaliran adalah kompleks dan boleh berlaku dalam keadaan stabil atau pengayunan secara semula jadi. Bentuk pengaliran yang dijumpai adalah satu fungsi yang kuat dalam parameter pemesinan [3]. Mekanik asas dalam pembentukan serpihan ialah "ricihan adiabatik" pada pemotongan berkelajuan tinggi [4]. Semasa proses ubah bentuk, ketakserasian terikan plastik berlaku dan menyebabkan tekanan setempat tercapai. Jika kadar terikan adalah cukup tinggi, maka proses adalah adiabatik dan pemanasan lebih pada kawasan setempat yang sempit menyebabkan pelembutan setempat sehingga ricihan berlaku. Recht [5] mengatakan bahawa pada kelajuan pemotongan yang sangat rendah, permulaan retakan dalam kawasan ricih utama boleh dianggap lebih penting dalam ricihan setempat berbanding ketidakstabilan termoplastik. Kajian yang dijalankan oleh Lin et al. [6] pada logam komposit matriks juga mengaitkan pembentukan serpihan dengan permulaan retakan. Mekanisme utama pembentukan serpihan melibatkan permulaan retakan dari permukaan luar bebas serpihan yang disebabkan oleh tekanan ricihan yang tinggi.

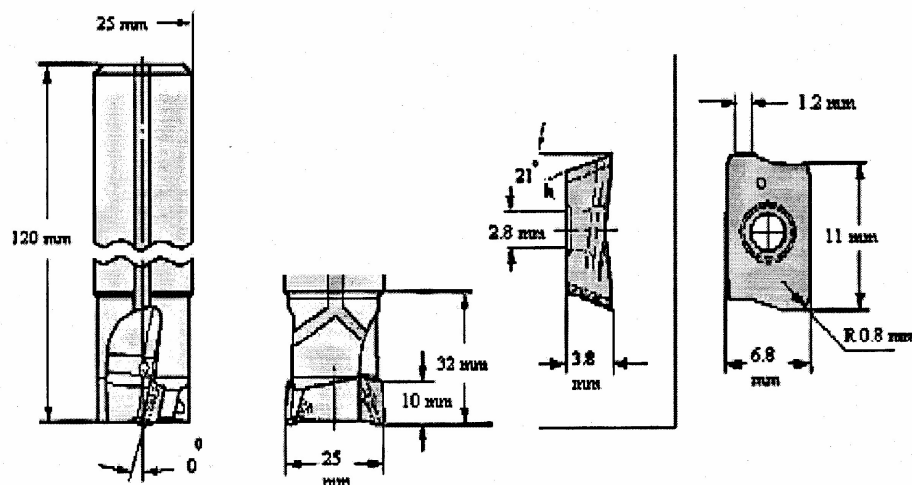
Serpihan yang dihasilkan boleh dibahagikan kepada dua kategori, iaitu serpihan boleh terima dan serpihan tak boleh terima. Serpihan yang boleh diterima tidak mengganggu kerja atau perkakas mesin dan tidak menimbulkan masalah pembuangan serpihan. Manakala serpihan tak boleh diterima akan mengganggu operasi pembuatan kerana kecenderungannya mengusut di sekitar perkakas dan bahan kerja serta menimbulkan masalah keselamatan kepada pekerja. Bentuk serpihan juga boleh menyebabkan permukaan yang dihasilkan tidak licin dan menyebabkan kegagalan mata alat seperti serpihan berbentuk gerigi. Komanduri dan Brown [7] telah mengkaji mekanik segmentasi pembentukan serpihan dan mendapati kejadian ini berlaku disebabkan oleh ketidakstabilan proses pemotongan dan ditambah dengan tindakan dinamik

sebahagian daripada struktur perkakas mesin. Fallbohmer et al. [8] mendapati serpihan berbentuk gerigi akan dihasilkan apabila bahan keras dimesin pada suapan yang tinggi. Serpihan ini boleh menyebabkan variasi kitaran kedua-dua daya pemotongan dan tunjang yang mempengaruhi hayat dan kegagalan mata alat.

Artikel ini akan membentangkan kajian yang dijalankan untuk melihat kesan parameter mengisar hujung mata alat bersalut karbida P10 ke atas pembentukan serpihan keluli terkeras AISI H13.

2. KAEDAH EKSPERIMEN

Proses pemesinan telah dilakukan menggunakan mesin Cincinnati Milacron Sabre 750 VMC dalam keadaan kering tanpa bendalir pemotong, seperti yang disarankan oleh pembekal mata alat untuk bahan kerja yang akan dikaji. Mata alat yang digunakan ialah jenis sisipan kisar hujung rata gred P10 karbida bersalut TiN. Geometri terperinci untuk mata alat kisar hujung rata dua flut dan pemasangannya ditunjukkan dalam Rajah 1. Jadual 1 ialah komposisi kimia mata alat karbida bersalut TiN dalam peratus isi padu. Bahan kerja ialah perkakas keluli AISI H13 yang telah dikeraskan kepada $HRC50\pm 3$. Jadual 2 menunjukkan komposisi kimia bahan kerja dalam peratus berat.



Rajah 1: Geometri terperinci mata alat kisar hujung rata dan pemasangannya

Jadual 1: Komposisi kimia mata alat sermet dalam peratus isi padu

Co	WC	TaC
16.4	82.6	1.1 % vol. Cr ₃ C ₂

Ketumpatan mata alat ialah 14.47 g/cm³ dan kekerasannya ialah HV 1600. Salutan TiN dikategorikan sebagai boleh dilihat.

Jadual 2: Komposisi kimia bahan kerja dalam peratus berat

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	V
0.37	0.9	0.46	0.014	0.02	0.11	5.34	0.4	1.25	1

Parameter pemesinan yang digunakan dalam uji kaji ini adalah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 3 untuk keadaan separa akhir dan akhir untuk bahan kerja apabila dimesin dalam julat halaju tinggi.

Jadual 3: Faktor dan aras yang digunakan dalam eksperimen

Faktor/ aras	0	1	2
A – (m/min)	224	280	355
B – (mm/gigi)	0.1	0.16	0.25
C – (mm)	0.3	0.5	0.8

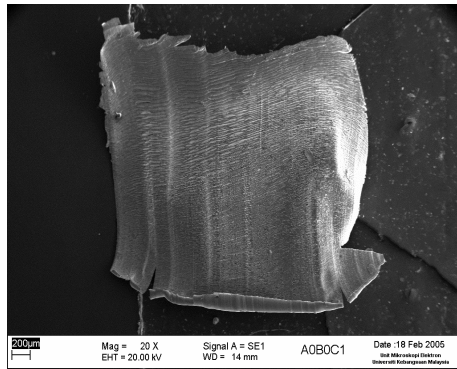
A – halaju, B – suapan, C – kedalaman pemotongan radial
Kedalaman pemotongan paksi ditetapkan malar pada 3 mm

Jadual 4: Eksperimen dan parameter pemotongan yang dijalankan

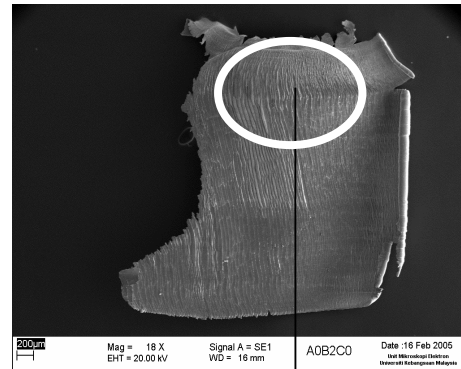
No. eksperimen	Parameter pemotongan
1	A ₂ B ₀ C ₀
2	A ₂ B ₁ C ₁
3	A ₂ B ₂ C ₂
4	A ₀ B ₀ C ₁
5	A ₀ B ₁ C ₂
6	A ₀ B ₂ C ₀
7	A ₁ B ₀ C ₂
8	A ₁ B ₁ C ₀
9	A ₁ B ₂ C ₁

3. PEMBENTUKAN SERPIHAN

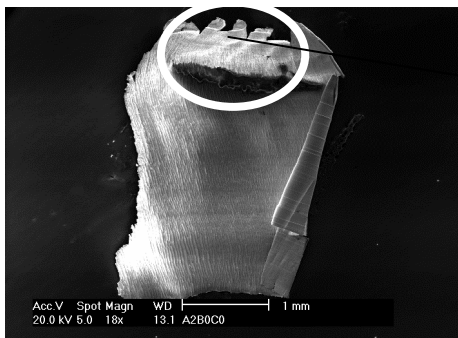
Serpihan yang dihasilkan semasa proses pemotongan H13 diperhatikan di bawah mikroskop imbasan elektron (SEM) dari pandangan permukaan bebas (*free surface*) dan permukaan ricih. Beberapa bentuk serpihan di bawah keadaan pemotongan yang berlainan diperhatikan seperti dalam Rajah 2.



(a) Laju pemotongan: 224 m/min,
suapan: 0.1 mm/gigi, dalam
radial: 0.5 mm



(b) Laju pemotongan: 224 m/min,
suapan: 0.25 mm/gigi, dalam
radial: 0.3 mm



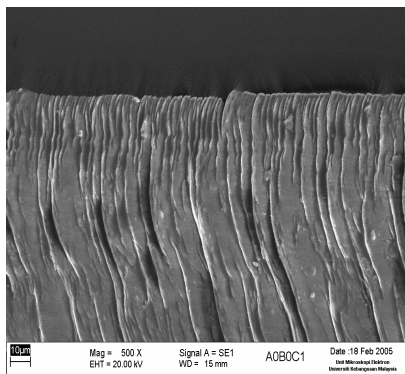
(c) Laju pemotongan: 335 m/min,
suapan: 0.1 mm/gigi, dalam
radial: 0.3 mm

Bentuk gergaji

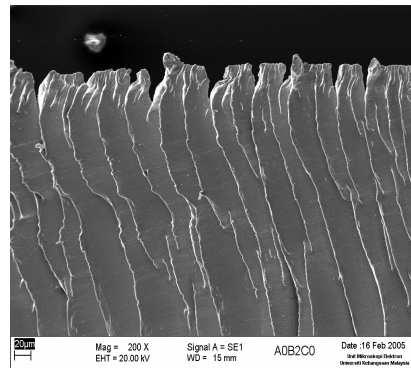
Rajah 2: Mikrograf SEM serpihan menunjukkan permukaan bebas (*free surface*)

Secara keseluruhannya, serpihan terputus-putus terbentuk di bawah keadaan pemotongan yang berlainan dalam pengisaran hujung. Serpihan terputus-putus juga terbentuk dalam kajian yang dijalankan oleh Ning [9], dan Albert et al. [10] dengan menggunakan pengisaran hujung. Serpihan berbentuk gergaji diperhatikan terbentuk pada suapan dan kelajuan tinggi seperti dalam Rajah 2(b) dan (c).

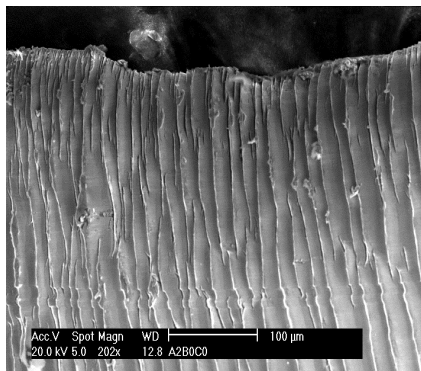
Pembesaran permukaan bebas pada Rajah 2 dapat diperhatikan dalam Rajah 3. Dalam Rajah 3, bentuk teruas diperhatikan pada permukaan bebas serpihan. Dengan kelajuan pemotongan yang sama pada sampel Rajah 3(a) dan (b), struktur teruas dapat diperhatikan dengan lebih jelas dengan penambahan kadar suapan. Jarak antara struktur teruas semakin hampir antara satu sama lain dengan penambahan kelajuan pemotongan seperti Rajah 3(c) pada kelajuan 355 m/min.



(a) Laju pemotongan: 224 m/min, suapan: 0.1 mm/gigi, dalam radial: 0.5 mm



(b) Laju pemotongan: 224 m/min, suapan: 0.25 mm/gigi, dalam radial: 0.3 mm



(c) Laju pemotongan: 355 m/min, suapan: 0.1 mm/gigi, dalam radial: 0.3 mm

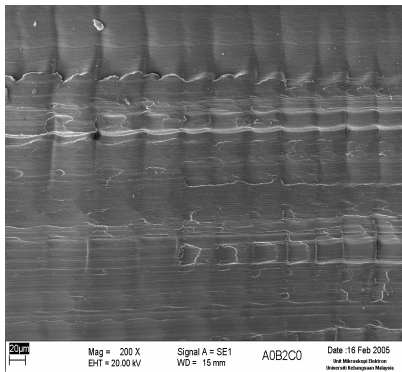
Rajah 3: Permukaan bebas yang dibesarkan daripada Rajah 2

Daripada pemerhatian, didapati bahawa dengan penambahan kadar suapan dan pengurangan kedalaman pemotongan, iaitu sampel $A_0B_0C_1$ dengan kadar suapan 0.1 mm/gigi dan dalam pemotongan radial 0.5 mm berbanding sampel $A_0B_2C_0$ dengan kadar suapan 0.25 mm/gigi dan dalam pemotongan radial 0.3 mm menunjukkan serpihan mengalami perubahan terputus-putus tanpa gerigi ($A_0B_0C_1$) kepada serpihan terputus-putus berbentuk gerigi ($A_0B_2C_0$). Manakala sampel $A_2B_0C_0$ dengan kelajuan pemotongan 355 m/min berbanding sampel $A_0B_0C_1$ dengan kelajuan pemotongan 224 m/min menunjukkan penambahan kelajuan pemotongan mempunyai pengaruh kepada perubahan bentuk serpihan bergerigi, iaitu struktur teruas adalah lebih jelas dan semakin hampir pada halaju yang lebih tinggi. Komanduri et al. [7] mendapati bahawa, pada halaju tinggi, penumpuan tenaga terma pada jalur yang kecil ini adalah disebabkan oleh masa yang terlalu singkat bagi pembuangan haba daripada jalur tersebut.

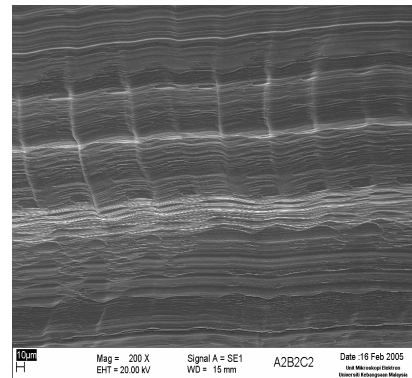
Barry et al. menyatakan bahawa perubahan struktur serpihan adalah dipengaruhi oleh penambahan kelajuan pemotongan, ketebalan serpihan tak ubah bentuk dan faktor lain seperti kekerasan bahan kerja. Kajian pemesinan Ti-6Al-4V yang dilakukan oleh Barry et al. membuktikan bahawa perubahan daripada serpihan tak bergerigi kepada serpihan bergerigi adalah dipengaruhi oleh kelajuan pemotongan dan suapan. Pembentukan serpihan bergerigi harus dielakkan kerana ia merupakan penyebab utama kepada gelatuk dan seterusnya menggagalkan mata alat. Ini merupakan penyebab kepada produktiviti yang rendah dan mengakibatkan kos pemesinan meningkat. Selain itu, dalam pemesinan keluli terkeras, penambahan ketebalan serpihan tak ubah bentuk juga akan mempengaruhi perubahan serpihan kepada serpihan bergerigi. Selain itu, beberapa kajian yang terdahulu turut membuktikan pengaruh kelajuan pemotongan dan kadar suapan dalam pembentukan serpihan bergerigi, misalnya Subramanian et al. [11] yang mengkaji aloi Fe-28.9Ni-0.1C terkeras dan Jasper dan Dautzenberg [12] yang mengkaji keluli AISI 1045 dan aluminium AA 6082-T6.

Subramanian et al. [11] mengaitkan kadar terikan dalam kawasan ricihan utama dengan pembentukan serpihan gerigi kerana kadar terikan dalam kawasan ricih utama bertambah dengan penambahan halaju pemotongan. Terikan ricih kritikal (*critical strain*) bagi ricihan setempat berkurang dengan penambahan kadar terikan. Terikan sebenar (*actual strain*) yang berlaku pada kawasan ricihan utama juga berkurangan dengan kadar terikan, dengan kadar pengurangannya kurang daripada terikan kritikal. Jika terikan sebenar melebihi terikan kritikal, ricihan setempat akan berlaku. Akibat daripada berlakunya ricihan setempat, maka serpihan gerigi akan terhasil.

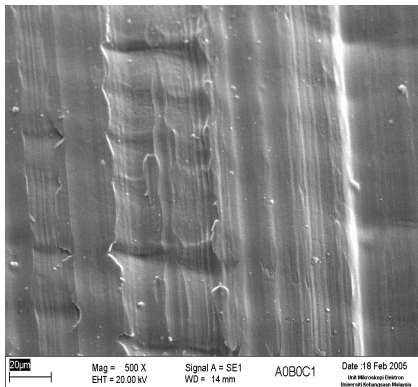
Rajah 4 menunjukkan garisan putih yang dapat diperhatikan pada permukaan ricih serpihan. Pada kelajuan pemotongan yang tinggi, iaitu 355 m/min dalam Rajah 4(b) dan (d), garisan putih lebih banyak bertaburan di permukaan ricih serpihan berbanding pada kelajuan 224 m/min, iaitu sampel $A_0B_0C_1$ dan $A_0B_2C_0$. Ini kerana pemotongan pada kelajuan dan kadar suapan yang tinggi menghasilkan penjanaan suhu pemotongan yang tinggi dan menyebabkan lebih pengoksidaan berlaku pada permukaan serpihan tersebut. Ning [9] juga menunjukkan bahawa lebih tinggi kelajuan pemotongan dan kadar suapan, taburan pengoksidaan pada serpihan bertambah kerana suhu pemotongan yang lebih tinggi.



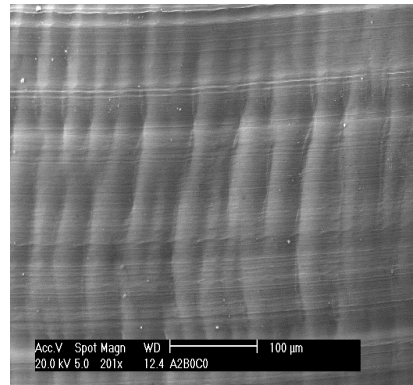
(a) laju pemotongan; 224 m/min,
suapan: 0.1 mm/gigi, dalam
radial: 0.5 mm



(b) laju pemotongan; 355 m/min,
suapan: 0.25 mm/gigi, dalam
radial: 0.8 mm



(c) laju pemotongan; 225 m/min,
suapan: 0.25 mm/gigi, dalam
radial: 0.3 mm



(d) laju pemotongan; 355 m/min,
suapan: 0.1 mm/gigi, dalam
radial: 0.3 mm

Rajah 4: Permukaan ricih pada sebelah belakang serpihan yang menunjukkan garisan putih

Analisis EDX yang dijalankan menunjukkan terdapat unsur oksigen pada serpihan yang dihasilkan. Kandungan oksigen sebanyak 3.81% di dalam sampel membuktikan terdapat pengoksidaan antara perkakas-serpihan dengan udara berlaku semasa pemotongan. Jadual 5 menunjukkan peratus komposisi bahan pada dua sampel serpihan. Dapat diperhatikan bahawa peratusan komposisinya berbeza daripada Jadual 2 yang menunjukkan peratus kandungan komposisi AISI H13. Terdapat pertambahan kandungan oksigen sebanyak 3.81% dan 4.74% untuk kedua-dua sampel tersebut. Ini menunjukkan bahawa terdapat perubahan peratusan komposisi dalam serpihan semasa pemesinan.

Jadual 5: Peratus komposisi serpihan sampel $A_2B_2C_2$ dan $A_2B_0C_0$

Elemen	Berat (%)	
	$A_2B_0C_0$	$A_2B_2C_2$
C K	3.9	3.84
O K	3.81	4.74
Si K	0.88	0.63
V K	0.95	1.11
Cr K	5.26	5.55
Fe K	85.19	84.12

4. KESIMPULAN

Pemerhatian serpihan di bawah SEM menunjukkan pembentukan serpihan sangat bergantung pada parameter pemesinan yang digunakan. Berikut adalah kesimpulan yang dapat dibuat berdasarkan pemerhatian terhadap pembentukan serpihan H13 apabila mengisar hujung dibuat menggunakan mata alat karbida.

1. Secara amnya, serpihan jenis terputus-putus telah dihasilkan pada julat pemesinan yang telah dijalankan.
2. Serpihan terputus-putus dengan pinggir bergerigi terbentuk pada halaju pemotongan yang tinggi (355 m/min – $A_2B_0C_0$) dan pada kadar suapan yang tinggi (0.25 mm/gigi – $A_0B_2C_0$). Manakala apabila laju dan kadar suapan rendah digunakan serpihan terputus-putus tanpa gigi gergaji dihasilkan.
3. Pada pembesaran yang lebih tinggi, didapati bahawa bahagian bergerigi mempunyai struktur teruas. Struktur teruas ini didapati lebih jelas dengan penambahan kadar suapan (0.25 mm/gigi) dan jarak antara struktur teruas semakin hampir antara satu sama lain dengan penambahan kelajuan pemotongan (355 m/min).

4. Proses pengoksidaan diperhatikan banyak bergantung pada halaju pemotongan dan kadar suapan yang digunakan. Kelajuan dan kadar suapan yang tinggi menyebabkan peningkatan suhu pemotongan yang menggalakkan proses pengoksidaan pada permukaan ricih serpihan.

5. PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan penghargaan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia atas peruntukan kewangan bagi projek KK-08-2003.

6. RUJUKAN

1. Varadarajan, A.S., Philip, P.K. & Ramamoorthy, B. (2002). Investigations on hard turning with minimal cutting fluid application (HTMF) and its comparison with dry and wet turning. *Pergamon*, 42, 193–200.
2. Barry, J., Byren, G. & Lennon, D. (2001). Observation on chip formation and acoustic emission in machining Ti-6Al-4V alloy. *Pergamon*, 41, 1055–1070.
3. Burn, T.J. & Davies, M.A. (2002). On repeated adiabatic shear band formation during high-speed machining. *Pergamon*, 18, 487–506.
4. Teonshoff, H.K. (1969). Chip formation at high cutting speed. *ASME Winter Meeting*.
5. Recht, R.F. (1964). Catastrophic thermoplastic shear. *ASME J. Appl. Mech.*, 31, 189–192.
6. Lin, T.J., Bhattacharyya, D. & Ferguson, W.G. (1997). Chip formation in the machining of SiC-Particle reinforce aluminium-matrix composites. *Elsevier*, 58, 285–291.
7. Komanduri, R. & Brown, R.H. (1981). On the mechanics of chip segmentation in machining. *Journal of Engineering for Industry, Transactions of ASME*, 103, 33–51.
8. Fallbohmer, P., Rodriguez, C.A., Ozel, T. & Altan, T. (2000). High speed machining of cast iron and alloy steels for die and mold manufacturing. *Journal of Materials Processing Technology*, 98, 104–115.
9. Ning, Y., Rahman, M. & Wong, Y.S. (2001). Investigation of chip formation in high speed end milling. *Elsevier*, 113, 360–367.
10. Shih, A.J., Lewis, M.A., Lo, J. & Strenkowski, J.S. (2004). Chip morphology and force in end milling of elastomers. *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 126, 124–130.

11. Subramanian, S.V., Gekonde, H.O., Zhang, X. & G, J. (1999). Design of steels for high speed machining. *Ironmaking & Steelmaking*, 26, 333–338.
12. Jasper, S.P.F.C. & Dautzenberg, J.H. (2002). Material behaviour in metal cutting: Strains, strain rates and temperatures in chip formation. *Elsevier*, 121, 123–135.