

O USO DE FERRAMENTAS DE METAL DURO NO TORNEAMENTO DO NYLON

Karen Juliana Vanat ¹

Aldo Braghini Junior ²

Resumo

No mercado de ferramentas de corte não se encontram ferramentas específicas para a usinagem de polímeros, onde a maior dificuldade está no controle dos cavacos. As ferramentas de corte disponíveis são apenas para a usinagem de metais. Neste estudo, foram realizados ensaios de torneamento de nylon, com a utilização de ferramentas de metal duro padronizadas, com a finalidade de identificar geometrias de ferramenta e parâmetros de corte capazes de realizar a usinagem do referido material controlando o cavaco da melhor forma possível. O critério de comparação utilizado foi a formação de cavacos; uma vez que normalmente para o nylon, ocorre em fita. As ferramentas que obtiveram os melhores resultados foram a TNMG 160408-PF, utilizada para a usinagem de aços, com os seguintes parâmetros de corte: velocidade de corte de 450 m/min, profundidade de usinagem de 2,0 mm e avanço de 0,35 mm/rot., cujo cavaco formou-se tubular longo emaranhado, e a ferramenta CCGT 120408-BAL, para a usinagem de alumínio, com os mesmos parâmetros de profundidade e avanço mencionados, porém com velocidades de 600 m/min e 750 m/min, proporcionando a formação de cavacos fragmentados.

Palavras-chave: Nylon; Ferramentas de corte; Parâmetros de corte; Formação de cavaco.

THE USE OF THE HARD METAL TOOLS ON THE BAR TURNING OF THE NYLON

Abstract

In the market for cutting tools there are not specific tools for machining polymers, where the main difficulty is chip control. Cutting tools are only available for machining metals. In this study, tests were performed turning nylon, with the use of standard carbide tools, in order to identify tool geometries and cutting parameters able to perform the machining of the material, controlling the chip in the best way possible. The comparison criterion used was the chips formation, since usually for nylon, occurs on continuous tape. The tools that have the best results were the TNMG 160408-PF, used for machining steel with the following cutting parameters: cutting speed of 450 m/min, depth of cut of 2.0 mm and advancement of 0.35 mm/rev; whose chip formed long tubular long tangle, and the tool CCGT-120408 BAL, for the machining of aluminum, with the same depth and advancement parameters, but with cutting speeds of 600 m/min and 750 m/min, providing chip formation of fragmented.

Keywords: Nylon; Cutting tools; Parameters of cutting; Chip formation.

I INTRODUÇÃO

As poliamidas ou nylons pertencem a uma classe de polímeros adequada para aplicações em engenharia, devido à combinação de propriedades como: estabilidade dimensional, boa resistência ao impacto e excelente resistência química [1]. O nylon é muito utilizado na indústria-metal mecânica na fabricação de: engrenagens, mancais, buchas, rosca-sem-fim, perfis, guias, cremalheiras, polias, entre outros componentes que não exigem alto desempenho mecânico [2].

Informações sobre a usinagem do nylon, não são facilmente encontradas, porém a usinagem não difere,

em sua essência, da realizada com metais e suas ligas, podendo ser utilizadas as mesmas máquinas-ferramentas, permitindo todos os tipos de operações [3,4]. As poucas recomendações encontradas simplesmente dizem que as ferramentas de usinagem selecionadas para o nylon devem possuir ângulos de saída negativos ou nulos, devem ser bem afiadas e fabricadas em aço rápido [2].

A experiência adquirida com a usinagem dos metais, não pode ser utilizada diretamente para os polímeros, uma vez que estes apresentam características diferentes [5]. A formação de cavacos dos metais ferrosos e não ferrosos

¹Acadêmica de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Ponta Grossa, PR, Brasil. E-mail: k_a_juli@yahoo.com.br

²Engenheiro Mecânico, Dr., Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Ponta Grossa, PR, Brasil. E-mail: aldo@utfpr.edu.br

já é bem conhecida, como também a influência de alguns parâmetros de corte (velocidade de corte, avanço, profundidade de usinagem e ângulos da ferramenta) na formação do cavaco dos metais. Como os polímeros são menos resistentes que os metais à aplicação de cargas pontuais, este material não segue a mesma regra de formação de cavaco. Durante a usinagem do nylon em um processo de corte contínuo (por exemplo, o torneamento), o cavaco normalmente forma uma fita contínua que não se rompe. Este rompimento ocorre quando o cavaco enrola na peça ou em alguma parte da máquina ferramenta, tornando a formação de cavaco um grande problema para a usinagem deste polímero. A condição ideal de formação de cavacos de Nylon seria em forma tubular ou helicoidal.

O objetivo deste trabalho é estudar o desempenho, quanto a formação de cavacos, de ferramentas de metal duro padronizadas para usinagem de materiais metálicos, no torneamento de nylon 6. Assim, buscam-se opções de ferramentas de corte que permitam realizar a usinagem com maior controle sobre a formação do cavaco.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o Nylon 6 como matéria prima para os corpos de prova.

Estes foram preparados em torno mecânico convencional, com as dimensões apresentadas na Figura 1. Alguns conceitos de usinagem foram utilizados conforme a norma NBR 6162 [6].

A preparação dos corpos de prova foi realizada com uma ferramenta para alumínio (TNUX 160408-R), e para o encaixe do contraponto, foi efetuado um furo de centro com uma broca de centro, cujo ângulo de ponta é de 60° e diâmetro de corte 5 mm.

Os ensaios foram realizados em um torno CNC ROMI, modelo Galaxy 15S, comando MACH 9. Toda a experimentação foi realizada com aplicação de fluido de corte (emulsão de base vegetal). As ferramentas utilizadas estão descritas na Tabela 1.

A seleção dessas ferramentas foi realizada com base nas geometrias mais utilizadas no mercado para operações de acabamento. Buscou-se utilizar diferentes geometrias e micro-geometrias de quebra-cavaco, os quais requerem

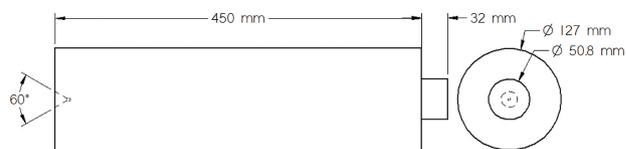


Figura 1. Dimensões do corpo de prova.

Tabela 1. Ferramentas padronizadas selecionadas para os ensaios

Ferramenta	Código ISO	Descrição	Classe
	Inserto: CCGT 120408-BAL Suporte: SCLCR 2525 M12	Rômbica 80°, positiva para acabamento de alumínio	LW610 K10
	Inserto: CCMT 120408-BSM Suporte: SCLCR 2525 M12	Rômbica 80°, positiva, de usinagem média de aço	LC235C P35
	Inserto: TNMG 160408-PA Suporte: MTJNR 2525 M16	Triangular 60°, negativa, semi-acabamento de aço	STN25 P15-30
	Inserto: TNMG 160408-PF Suporte: MTJNR 2525 M16	Triangular 60°, negativa, para acabamento de aço	SPA15MC P05-25
	Inserto: TNUX 160408-R Suporte: MTJNR 2525 M16	Triangular 60°, negativa, semi-acabamento	LT10 Classe indicada para todos os materiais
	Inserto: VCMT 110304-PS4 Suporte: PVJBR 2525 M11	Rômbica 35°, positiva, acabamento de aço	WAP20 P20

atenção especial. Segundo Stemmer [7] os quebra-cavacos também têm o objetivo de guiar os cavacos e consistem de uma ranhura integrada na ferramenta ou de uma obstrução integrada ou postíça.

Na parte inicial dos experimentos, os passes foram realizados até a metade do corpo de prova, em um comprimento de 225 mm. Posteriormente, foi usinada a outra metade. Adotou-se este procedimento, uma vez que este comprimento foi suficiente para estabilizar a formação de cavacos e permitir a análise do cavaco gerado. A Figura 2 mostra o procedimento adotado, com as dimensões em mm e a seta representando a ferramenta de corte.

O planeamento experimental foi realizado considerando três velocidades de corte, (v_c) 150 m/min, 300 m/min e 450 m/min, três profundidades de usinagem (a_p) 0,5 mm; 1,0 mm e 2,0 mm e três avanços (f_n) 0,15 mm/rot; 0,25 mm/rot e 0,35 mm/rot. Foi feito um planeamento experimental fatorial completo de 3^3 . Como

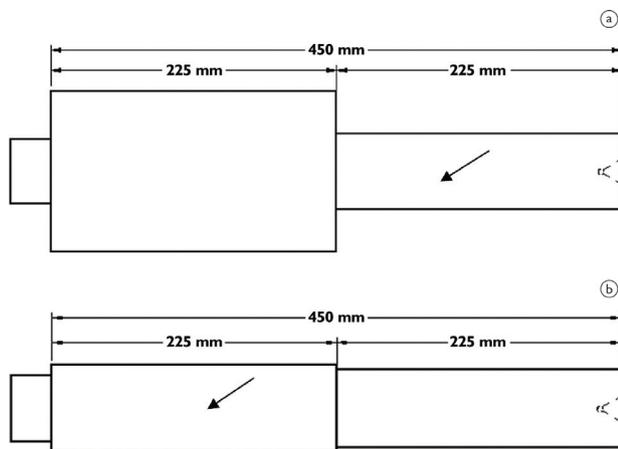


Figura 2. Procedimento de usinagem adotado. (a) Primeira parte; (b) segunda parte.

experimentos complementares, utilizou-se $v_c = 600$ m/min e $v_c = 750$ m/min. Foram realizados também experimentos sem o uso do fluido de corte para verificar a influência deste na formação de cavacos.

Em cada ensaio, foram recolhidos os cavacos do passe, para posterior análise visual e comparação com a Figura 3. A Figura 3 apresenta a classificação detalhada, segundo a norma ISO 3685 [8], quanto à forma de cavacos para metais. Foi utilizada esta referência, pois não há uma norma específica para a classificação de cavacos de polímeros. Foi verificado também se o cavaco enrolou ou não no corpo de prova/máquina e a ocorrência do rompimento do mesmo.

3 RESULTADOS

Serão apresentados a seguir apenas os resultados representativos, devido ao grande número de ensaios realizados.

Para a ferramenta TNMG I60408-PF os melhores resultados foram obtidos com os parâmetros de corte: $v_c = 450$ m/min, $a_p = 2,0$ mm e $f_n = 0,35$ mm/rot. A formação dos cavacos é tubular emaranhada, sendo o cavaco mais largo e espesso. Não houve rompimento durante o passe, e os cavacos não enrolaram no corpo de prova. A Figura 4 ilustra este resultado.

A ferramenta TNMG I60408-PA produziu cavacos que não enrolaram no corpo de prova (Figura 5) com o uso dos parâmetros de corte $v_c = 450$ m/min, $a_p = 2,0$ mm e $f_n = 0,35$ mm/rot, o cavaco formou-se em fita emaranhada e não se rompeu.

Usinando-se com a ferramenta CCMT I20408-BSM, os cavacos formados foram em espiral plano e fita emaranhada, e não romperam durante o passe, com

1 - Cavaco em fita	2 - Cavaco tubular	3 - Cavaco espiral	4 - Cavaco hel. tipo arruela	5 - Cavaco hel. cônico	6 - Cavaco em arco	7 - Cavaco fragmentado	8 - Cavaco tipo agulha
1-1- Longo	2-1- Longo	3-1- Plano	4-1- Longo	5-1- Longo	6-1- Conect.		
1-2- Curto	2-2- Curto	3-2- Cônico	4-2- Curto	5-2- Curto	6-2- Solto		
1-3 - Emaranhado	2-3 - Emaranhado		4-3 - Emaranhado	5-3 - Emaranhado			

Figura 3. Classificação detalhada da forma dos cavacos segundo a norma ISO 3685 [8].

espessura e largura semelhantes à Figura 4. Os parâmetros de corte utilizados foram $v_c = 450$ m/min, $a_p = 2,0$ mm e $f_n = 0,35$ mm/rot. O resultado é apresentado na Figura 6.

Com utilização de $a_p = 2,0$ mm e $f_n = 0,35$ mm/rot e $v_c = 450$ m/min, a ferramenta CCGT 120408-BAL produziu cavacos na forma de espiral plano e hélice emaranhada, com dimensões semelhantes ao apresen-

tado da Figura 4, conforme demonstrado na Figura 7. Não houve rompimento.

A ferramenta TNUX 160408-R produziu uma formação de cavacos em fita emaranhada, largos e espessos, não sofrendo rompimento durante o passe. A Figura 8 mostra os cavacos formados com parâmetros $v_c = 450$ m/min, $a_p = 2,0$ mm e $f_n = 0,35$ mm/rot.



Figura 4. Cavaco em formato tubular emaranhado, (a) Volume total; (b) ampliação de 5x.

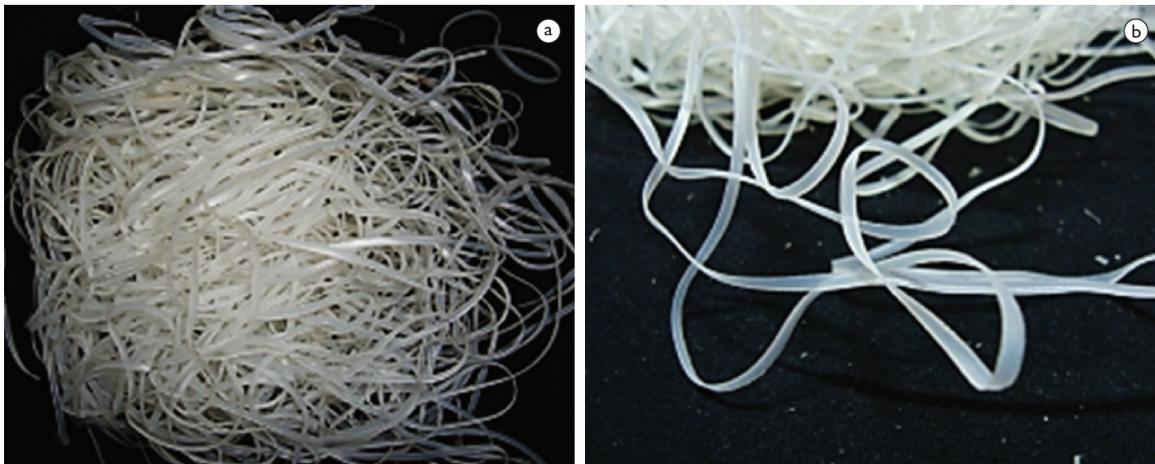


Figura 5. Cavaco com formato de fita emaranhada, (a) Volume total; (b) ampliação de 5x.



Figura 6. Cavaco em espiral plano e fita emaranhada, (a) Volume total; (b) ampliação de 5x.

A ferramenta VCMT 110304-PS4, utilizando $v_c = 450$ m/min, $a_p = 2,0$ mm e $f_n = 0,35$ mm/rot, produziu cavacos sem que enrolassem no corpo de prova. A Figura 9 apresenta a formação de cavacos em fita emaranhada, largos e espessos.

Na experimentação com os demais parâmetros de corte (v_c de 150 m/min e 300 m/min, a_p de 0,5 mm e 1,0 mm e f_n de 0,15 mm/rot e 0,25 mm/rot) a formação

ocorreu em fita longa emaranhada, Figura 10, finos e estreitos de forma inversa ao ocorrido na Figura 4, sendo semelhantes para todas as ferramentas combinadas a estes parâmetros.

3.1 Influência da Velocidade de Corte

Para verificar se valores mais elevados de velocidade de corte poderiam influenciar a formação de cavaco



Figura 7. Cavaco em espiral plano e hélice emaranhada, (a) Volume total; (b) ampliação de 5x.

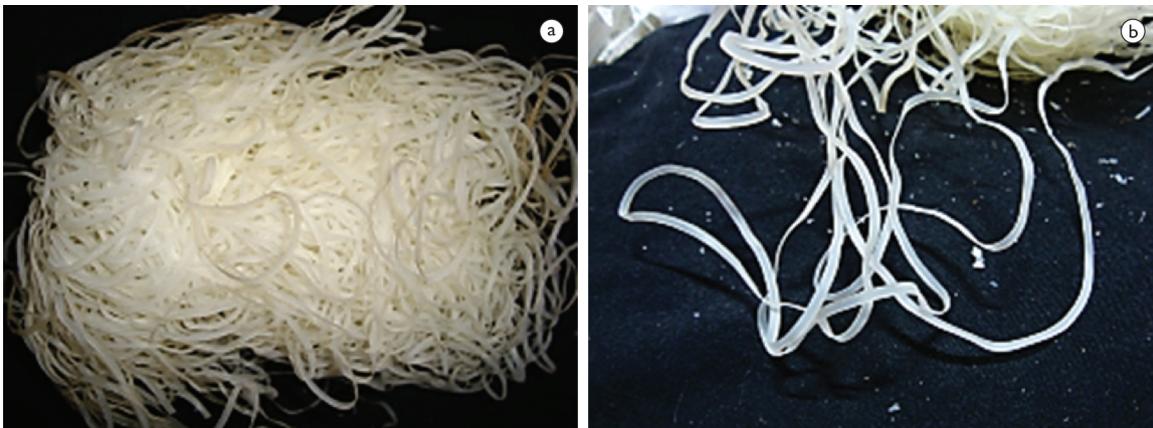


Figura 8. Cavaco com formato de fita emaranhada, (a) Volume total; (b) ampliação de 5x.

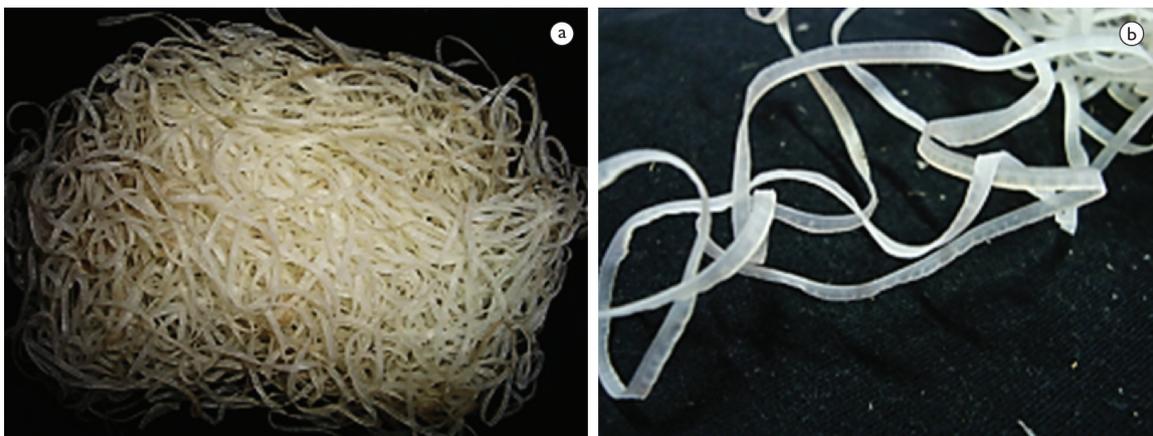


Figura 9. Cavaco em forma de fita emaranhada, (a) Volume total; (b) ampliação de 5x.

foram realizados ensaios adicionais com as ferramentas de corte apresentadas na Tabela 1. Nestes ensaios, foram utilizadas velocidades de corte de 600 m/min e 750 m/min, combinadas com profundidade de usinagem de 2,0 mm e avanço de 0,35 mm/rot. A ferramenta CCGT I20408-BAL, destacou-se com uma formação de cavacos inesperada, pois o cavaco apresentou-se fragmentado, conforme a classificação utilizada (Figura 3). Nestas condi-

ções o cavaco gerado não enrola no corpo de prova ou na máquina, conforme evidenciado nas Figuras 11 e 12. Para as ferramentas CCMT I20408-BSM, TNMG I60408-PA, TNMG I60408-PF, TNUX I60408-R e VCMT I10304-PS4, a alta velocidade de corte propiciava o lançamento dos cavacos para longe do corpo de prova, com isso, mesmo em forma de fita contínua, os cavacos não enrolaram na máquina ou no corpo de prova.

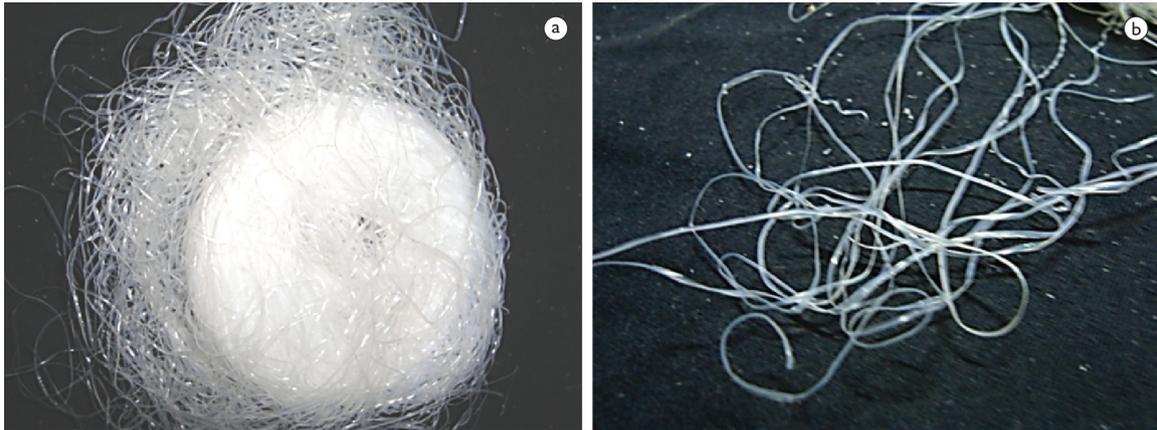


Figura 10. Cavaco em fita longa e emaranhada. (a) Volume total; (b) ampliação de 5x.



Figura 11. Cavaco fragmentado e em arco solto. (a) Volume total; (b) ampliação de 5x.

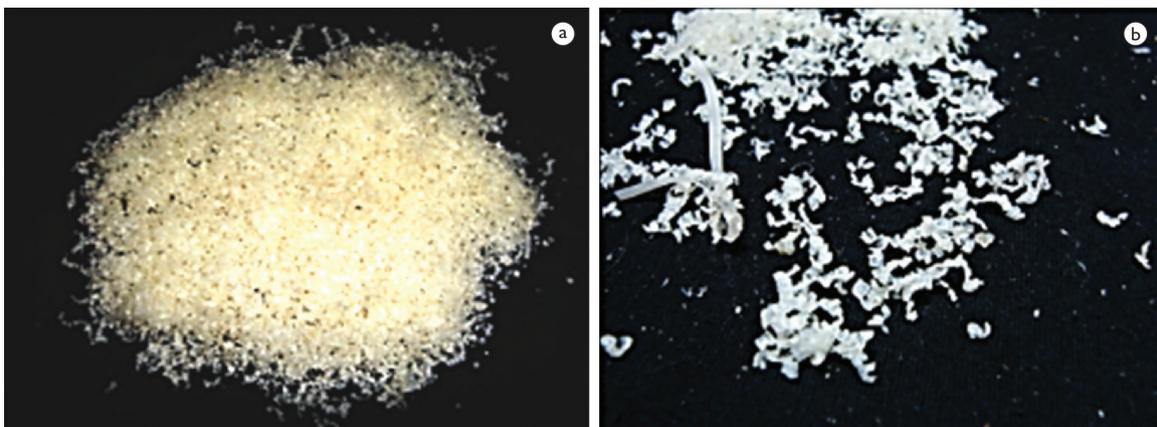


Figura 12. Cavaco fragmentado e em arco solto. (a) Volume total; (b) ampliação de 5x.



Figura 13. Ferramenta CCGT 120408-BAL. (a) Com uso de fluido de corte, formando cavaco helicoidal emaranhado; (b) sem fluido de corte, com formação de cavaco em fita emaranhada.



Figura 14. Ferramenta TNMG 160408-PF. (a) Com fluido de corte, formando cavacos tubulares e emaranhados; (b) sem fluido de corte, com formação de cavacos em fita longa.

3.2 Influência do Fluido de Corte

Para verificar a influência do fluido de corte, foram realizados quatro ensaios, dois ensaios com a ferramenta CCGT 120408-BAL e dois com a ferramenta TNMG 160408-PF, sem a utilização do fluido.

De forma comparativa, nas Figuras 13 e 14 pode-se observar como foi o resultado, antes de utilizar o fluido e depois, com utilização do fluido, para ambas as ferramentas, utilizando os parâmetros $v_c = 450$ m/min, $a_p = 2,0$ mm, $f_n = 0,35$ mm/rot.

Na Figura 13b, obteve-se a formação de cavacos em fita emaranhada, e conforme a Figura 14b, a formação foi em fita longa. Com estes resultados, foi possível observar que o fluido de corte é indispensável para melhorar o controle do cavaco, pois promoveu o seu encurvamento favorecendo a formação do cavaco tubular.

4 DISCUSSÃO

A profundidade de usinagem mais elevada (2 mm) produz um cavaco mais largo, e o valor mais alto do avanço

(0,35 mm/rot), produz um cavaco mais espesso. Este resultado é importante, pois somando esses dois fatores com a alta velocidade de corte e utilização de fluido de corte, a formação de cavacos se torna mais controlada, ou seja, a formação de cavaco é tubular, o que aumenta seu peso por unidade de comprimento (quando comparado com o cavaco em fita), contribuindo o direcionamento do cavaco para a bandeja de coleta do torno.

A utilização do fluido de corte é importante para obter o encurvamento do cavaco, sendo mais significativa quando combinada aos parâmetros de corte mais elevados de $v_c = 450$ m/min, $a_p = 2$ mm e $f_n = 0,35$ mm/rot. Utilizando a combinação destes parâmetros, o cavaco forma-se mais espesso e mais largo, e a alta velocidade faz com que sua temperatura aumente, com isso, ao encontrar o fluido de corte com uma temperatura mais baixa, a superfície do cavaco exposta ao fluido, sofre uma contração promovendo o encurvamento do cavaco.

A velocidade de corte influencia dentro da faixa de 150 m/min a 450 m/min, e de forma mais significativa quando utilizada com valores de 600 m/min e 750 m/min, pois através do aumento da velocidade

tangencial, o cavaco é lançado para longe do corpo de prova, evitando assim que o cavaco enrole no corpo de prova/máquina.

O desempenho das ferramentas de corte é melhor quando os parâmetros de corte combinados (velocidade de corte, profundidade de usinagem e avanço), são os de valores mais elevados, principalmente a velocidade de corte, que conforme observado para a ferramenta CCGT I20408-BAL, com 600 m/min e 750 m/min, produziu cavacos fragmentados. Este fato também foi observado por Waack [9], que recomenda a utilização da velocidade de corte o mais alta possível, para a usinagem de Nylon.

Na utilização dos parâmetros nas faixas inferiores e intermediárias (v_c de 150 m/min e 300 m/min, a_p de 0,5 mm e 1,0 mm e f_n de 0,15 mm/rot e 0,25 mm/rot) a formação de cavacos ocorreu em fita longa emaranhada, pois a espessura e a largura do cavaco diminuíram com a redução da profundidade de usinagem e do avanço.

Para velocidade de corte de 150 m/min, o cavaco acabou enrolando no corpo de prova/máquina. Quando foi utilizada a velocidade de corte de 300 m/min, os cavacos foram lançados longe e não enrolaram na máquina.

REFERÊNCIAS

- 1 Kohan MI. Nylon Plastics. New York: John Wiley & Sons; 1973.
- 2 Vick. Boletim técnico: Nylon 6.0, corte e usinagem. [acesso em: 26 fev. 2013]. Disponível em: <http://www.vick.com.br/vick/novo/datasheets/datasheet-nylon60-nit.pdf>.
- 3 Albuquerque JAC. Planeta plástico: tudo o que você precisa saber sobre plásticos. Porto Alegre: Ed. Sagra Luzzatto; 2000. PMCID:PMC1421220.
- 4 Blass A. Processamento de polímeros. 2. ed. Florianópolis: Ed. UFSC; 1988.
- 5 Michaeli W, Greif H, Kaufmann H, Vossebüeger FJ. Tecnologia dos plásticos. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda; 2000.
- 6 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6162: Movimentos e relações geométricas na usinagem dos metais. Rio de Janeiro; 1989.
- 7 Stemmer CE. Ferramentas de corte I. 3. ed. Florianópolis: Ed. UFSC; 1993.
- 8 International Organization for Standardization. ISO 3685: Tool life testing with single point turning. Geneva; 1993.
- 9 Waak G. Machining nylon and acetal parts from stock shapes. The Plastics Distributor and Fabricator. maio/junho 2006 [acesso em 20 fev. 2013]. Disponível em: <http://www.plasticmag.com/features.asp>.

Recebido em: 22/10/2013

Aceito em: 14/02/2014

5 CONCLUSÃO

A velocidade de corte influencia na distância a qual os cavacos são lançados.

A aplicação do fluido de corte influencia de forma positiva na formação dos cavacos.

As ferramentas de corte que tiveram melhor controle dos cavacos foram a TNMG I60408-PF (usinagem para acabamento de aços) produzindo cavacos tubulares longos, sem enrolar no corpo de prova/máquina, e a CCGT I20408-BAL (usinagem para acabamento de alumínio), que conseguiu fragmentar o cavaco de Nylon utilizando velocidades de corte de 600 m/min e 750 m/min.

Ao utilizar-se parâmetros de corte nas faixas inferiores e intermediárias médios e baixos, a formação de cavacos é semelhante para todas as ferramentas utilizadas no trabalho, fita longa e emaranhada.

Agradecimentos

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa, pela disponibilização da estrutura de pesquisa.