

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO CAVACO NO TORNEAMENTO ORTOGONAL COM DIFERENTES CONDIÇÕES DE RESFRIAMENTO

Cleiber Luan de Almeida, cleiber-luan@hotmail.com¹

Thiago Castro Freitas, thiagocastrofreitas@hotmail.com¹

Sergio Luiz Moni Ribeiro Filho, sergiolmrf@gmail.com¹

Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufsj.edu.br¹

¹Universidade Federal de São João del Rei, Praça Frei Orlando, 170, São João del-Rei, Minas Gerais - Brasil

Resumo: Os processos de usinagem são amplamente utilizados e difundidos na indústria de fabricação de peças. Entre muitas operações de usinagem que são utilizadas na produção de componentes mecânicos, o corte ortogonal é um dos mais importantes, pois é responsável pela fabricação de regiões onde anéis elásticos e selos de borracha são fixados. Operações ortogonais têm uma grande área de contato entre a ferramenta e a peça usinada, geralmente, proporcionando um aumento da força de corte que pode acarretar na quebra da ferramenta. Este trabalho foi desenvolvido variando-se os parâmetros de corte e os sistemas de resfriamento, com o objetivo de verificar a melhor condição de usinagem. Foram avaliadas as forças de corte, o comportamento do cavaco, o grau de recalque e a curvatura do cavaco. O material usinado foi aço SAE 52100 sendo realizados cortes ortogonais em corpos de prova com formato tubular. Os resultados mostraram que o avanço foi o parâmetro mais importante e, em algumas situações, a força de corte e de avanço foram os principais parâmetros significativos. Além disso, o sistema MQL obteve resultados semelhantes em comparação com sistemas de lubrificação, mostrando que pode ser uma alternativa promissora para a questão de redução de fluidos de corte.

Palavras-chave: Torneamento, Cavaco, Grau de Recalque, Força de corte, MQL

1. INTRODUÇÃO

A usinagem é um processo de fabricação amplamente difundido nas indústrias de manufatura de peças no setor metal mecânico. Este processo é indicado quando se o objetivo a obtenção de formas e geometrias complexas, dimensões dentro de tolerâncias estreitas e acabamento superficial em conformidade com a aplicação do componente (LUCAS, 2004, COURBON *et al.*, 2014). Em todos os processos de usinagem existe a necessidade de operações de desbaste e acabamento.

Atualmente, o foco das empresas está nas operações de acabamento, pois são as etapas que mais agregam valor aos produtos e apresentam maior dificuldade no controle de qualidade (ANEIRO *et al.*, 2008; COTTEREL *et al.* 2013). Entre as várias operações de usinagem que são realizadas para a produção de um componente mecânico o torneamento de canais é uma das mais importantes.

As regiões com canais nos componentes mecânicos são normalmente responsáveis pela fixação de anéis elásticos ou vedadores de borracha que podem ser internos e externos e são periodicamente montados e desmontados na manutenção mecânica desses componentes (SANDVIK, 2014; KONÉ, *et al.*, 2013; DENKEN, BIERMANN, 2014). Por isto as regiões com canais exigem um excelente acabamento com ótima rugosidade. Entretanto, operações de canais são complexas de serem realizadas, pois a ferramenta durante a operação fica restrita em uma estreita região sendo submetida a esforços de corte de elevada intensidade.

Estes esforços se não forem bem monitorados e controlados podem gerar a quebra da ferramenta. Dessa forma, é importante na operação de canal o controle da forma do cavaco, de maneira que esse tenha um formato de pequenas lascas sem gerar um formato contínuo que podem contribuir para o aumento dos esforços de corte, ocasionar a quebra da ferramenta e até causar danos a máquina e ao operador (CERVELIN, 2009; HUI, 2007).

Para conseguir melhorar cada vez mais a usinagem de canais, pode-se utilizar as informações contidas na microestrutura e características do cavaco, pois será possível conhecer os planos de cisalhamento do cavaco, raio da sua curvatura e grau de recalque, conseguindo assim definir como ocorreu o corte da ferramenta em função dos parâmetros de corte. Dessa forma, será possível conhecer, por exemplo, se o fluido lubrificante usado para resfriar a peça e a ferramenta de corte está satisfazendo as condições (OBIKAWA *et al.*, 2006).

A formação do cavaco é base para o entendimento de qualquer processo de usinagem. Através de estudos durante os tempos podemos observar o desenvolvimento de tecnologias que possibilitam o aperfeiçoamento dos processos de usinagem, das ferramentas de corte e decorrente ao surgimento de novos materiais, além do melhoramento contínuo da geometria das ferramentas, com quebra-cavacos cada vez mais eficientes, e a possibilidade de usar os mais variados tipos de materiais.

2. METODOLOGIA - Procedimentos Experimentais

A metodologia adotada consistiu na realização de testes de torneamento de canais com largura de 3 mm e profundidade de 1 mm, conforme pode ser observado na Figura (1). Na imagem também pode-se notar o Dinamômetro usado para medição de forças e o bico com a saída do fluido refrigerante.

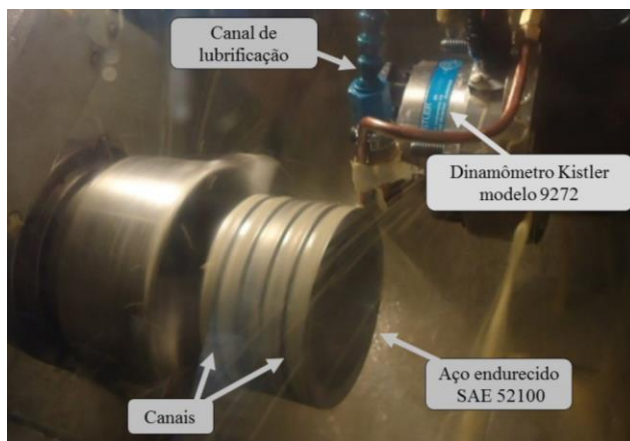


Figura 1 – Processo de torneamento no torno CNC com os parâmetros de 215m/min, 0,15mm/rev e lubrificação do tipo Fluido.

As variáveis de entrada nos testes experimentais foram; velocidade de corte, avanço e fluido de corte. Nos testes de torneamento foram medidas as forças de corte e força de avanço a partir do dinamômetro Kistler modelo 9272. Os ensaios de torneamento foram realizados no Laboratório de Processos de Fabricação do DEMEC/UFSJ. O centro de torneamento empregado foi um modelo GL 240-M. A Tabela (1) mostra os parâmetros de entrada que foram utilizados nos experimentos com os seus respectivos níveis.

Tabela 1. Parâmetros de entrada com seus respectivos níveis (Fonte: autoria própria)

Parâmetros de entrada	Níveis de entrada		
	-1	0	+1
Velocidade de corte [m/min]	100	215	500
Avanço [mm/rev]	0,05		0,15
Sistema de fluido de corte	Seco	Fluido	MQL

Os testes experimentais foram realizados em um tubo com diâmetro de 102 mm e parede de 15 mm de espessura. O balanço do tubo quando fixado na placa do torno foi menor que o diâmetro. Dessa forma, cada teste consistiu na usinagem de um canal com 1 mm de profundidade e 3 mm de largura para a retirada de amostras de cavaco que foram posteriormente embutidas para análise da microestrutura e retirada de informações sobre o raio deste cavaco e espessura. Durante os testes de canal foram monitorados os esforços de corte e pode-se registrar a força de corte e a força de avanço.

Após os experimentos de torneamento foi realizado o embutimento dos cavacos com objetivo de analisar a microestrutura de cada um dos experimentos através da técnica de metalografia. O software estatístico, MiniTab17 foi utilizado para análise dos dados de força, da curvatura do cavaco e do grau de recalque. A partir desta análise foi possível verificar quais fatores tiveram influência no processo.

3. ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1. Força de corte e de avanço

Todos os experimentos foram analisados usando-se o software MiniTab, como os esforços de corte e o raio de curvatura do cavaco. O MiniTab mostrou qual dos parâmetros de entrada do processo de usinagem que tiveram influência sobre o experimento, sua verificação é a partir do P-Valor, que quanto está menor que 5% significa que o parâmetro de entrada influenciou na resposta. Na Tabela (2) podemos ver o resultado da análise de variância para a força de corte e de avanço.

Em relação à força de corte, o avanço foi o fator mais influente, apresentando valores mais elevados de força proporcionalmente ao aumento do avanço. O menor esforços de corte obtido foi de 510,56 N utilizando a velocidade de corte de 215 m/min, sistema seco e avanço de 0,05 mm/rev. A força de corte apresentou valor médio de 555,88 N, quando foram usados quaisquer parâmetros de usinagem juntamente com o avanço de 0,05 mm/rev. Entretanto, estes valores subiram 137% em combinação com o avanço de 0,15 mm/rev, atingindo o valor de 1318,77 N.

Tabela 2. Análise dos parâmetros na força de corte e de avanço (Fonte: autoria própria)

Fatores	Força de corte		Força de avanço	
	F-Valor	P-Valor	F-Valor	P-Valor
Velocidade de corte [m/min]	4,010	0,068	0,860	0,372
Avanço [mm/rev]	1612,050	0,000	32,430	0,000
Lubrificação	0,750	0,492	1,060	0,376
Velocidade de corte [m/min]*Avanço [mm/rev]	1,070	0,321	0,640	0,440
Velocidade de corte [m/min]*Lubrificação	0,980	0,403	0,800	0,472
Avanço [mm/rev]*Lubrificação	1,400	0,284	1,220	0,330
Velocidade de corte [m/min]*Avanço [mm/rev]*Lubrificação	0,84	0,457	0,850	0,451

Estes valores podem ter uma fácil visualização na Figura (2). Portanto, pode-se afirmar que essa situação mostra que o avanço teve grande influência nas forças de avanço e de corte. Este esforço foi, em algumas situações 3 vezes maior em função do volume de cavaco retirado no mesmo intervalo de tempo. Assim, com o uso do avanço de 0,15 mm/rev a força de corte apresentou valores mais elevados. De acordo com a Tabela (2) nota-se que não existem interação entre os parâmetros de entrada em relação a resposta força de corte.

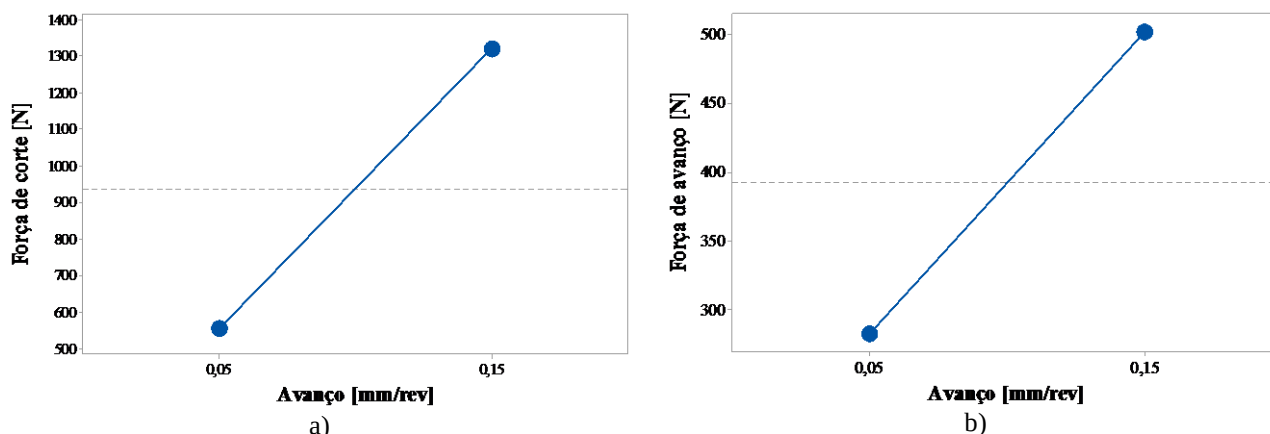


Figura 2. Efeitos principais a) Força de corte; b) Força de avanço (Fonte: autoria própria)

Com velocidades mais altas, houve um aumento da força de corte e ocorreu a quebra de algumas ferramentas. Como um dos principais objetivos era diminuição de ferramentas utilizadas, optou-se pela desistência do estudo com a velocidade de 500 m/min. A força de avanço também foi estudada simultaneamente com a força de corte e chegou-se aos seguintes resultados; o avanço continuou sendo o fator mais importante, e o único fator significativo para a variação da força de avanço. Podemos notar essa afirmação na Tab. (2), pois o avanço foi o único dos parâmetros de entrada que teve o P-Valor menor que 5%, isso significa que ele foi responsável pela variação na resposta da força de avanço.

O menor esforços de avanço encontrado foi de 228,38 N utilizando a velocidade de corte de 215 m/min, sistema seco e avanço de 0,05 mm/rev. A média dos valores apresentou uma diferença de 77%, sendo que quando o avanço foi 0,05 mm/rev a força de avanço correspondente foi de 282,78 N e quando o avanço foi 0,15 mm/rev a força de avanço atingiu o valor de 501,97 N. Essas informações podem ser melhores visualizadas na Fig. (2b). Isso se deve ao aumento considerável do avanço nos experimentos, usando as formulas padrões da usinagem para definir teoricamente a velocidade de corte, nota-se que quando a velocidade de corte aumenta, a rotação também aumenta, isso significa que a força de avanço aumenta proporcionalmente com a variação da velocidade de avanço. De acordo com a Tab. (2) nota-se que não existem interação entre os parâmetros de entrada em relação a resposta força de avanço.

3.2. Raio do cavaco

Em relação ao raio do cavaco, observou-se que o avanço foi o fator mais influente, além disso, as interações entre os parâmetros de entrada tiveram influência no resultado, lubrificação e velocidade de corte também influenciaram no raio de curvatura do cavaco e foram fatores predominantes, a lubrificação foi o fator de menor influência. A Tabela (2) mostra a análise feita para o raio do cavaco.

A média dos valores teve uma diferença de 11,6% com a mudança de avanço, sendo que quando o avanço foi de 0,05 mm/rev o tamanho do raio de curvatura do cavaco foi de 5,753 mm, e quando o avanço foi de 0,15 mm/rev o raio de curvatura do cavaco atingiu o raio de 6,423 mm. Essa influência se deve ao aumento do avanço nos experimentos, que proporcionam um cisalhamento mais fácil do cavaco. A Figura (3) mostra o gráfico de interação dos parâmetros de entrada com a resposta raio de curvatura do cavaco.

Tabela 3. Análise dos parâmetros no raio do cavaco (Fonte: autoria própria)

Análise do Raio do Cavaco		
Fatores	F-Valor	P-Valor
Velocidade de corte [m/min]	3,730	0,077
Avanço [mm/rev]	15,970	0,002
Lubrificação	0,980	0,403
Velocidade de corte [m/min]*Avanço [mm/rev]	53,920	0,000
Velocidade de corte [m/min]*Lubrificação	39,170	0,000
Avanço [mm/rev]*Lubrificação	11,910	0,001
Velocidade de corte [m/min]*Avanço [mm/rev]*Lubrificação	6,510	0,012

Como a interação dos parâmetros influenciaram na curvatura foi utilizado apenas o gráfico de interação que mostra o comportamento do raio do cavaco a partir da mudança dos parâmetros para uma melhor visualização das variações. A Figura (3) mostra o gráfico de interações dos parâmetros que influenciaram na curvatura do cavaco.

De acordo com as informações da Tabela (3) observa-se que ocorreram interações entre os parâmetros “avanço vs. velocidade de corte”, “avanço vs. lubrificação”, “velocidade de corte vs. lubrificação” e “avanço vs. velocidade de corte vs. lubrificação” na resposta raio de curvatura do cavaco. Isto confirma que, mesmo a lubrificação não influenciando isoladamente o raio de curvatura do cavaco, a mesma em conjunto com os outros fatores, avanço ou velocidade de corte, influenciou o raio de curvatura do cavaco.

A variação do raio de curvatura do cavaco obtido foi de 3,867 mm à 8,241 mm. O menor foi 3,867 quando foi utilizando a velocidade de corte de 100 m/min, sistema MQL e avanço de 0,05 mm/rev e o maior raio foi de 8,241mm com a mesma velocidade, mas com a condição do tipo fluido e avanço de 0,15mm/rev.

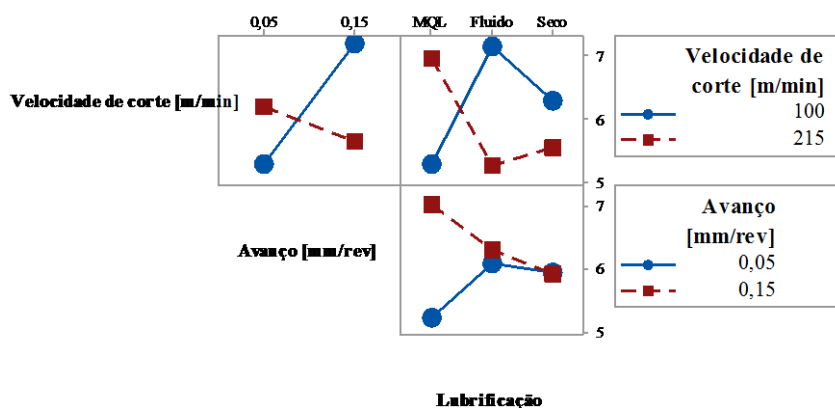


Figura 3. Interação entre as variáveis de entrada com o raio do cavaco

Pode-se observar que na interação dos parâmetros “velocidade de corte vs. avanço” a variação da curvatura aumenta com o aumento do avanço e diminui com o aumento da velocidade de corte. Nele mostra que para velocidades maiores, por exemplo 215 m/min, e avanço de 0,05 mm/rev os cavacos saíram com maiores raios quando comparados com a situação oposta com velocidades menores (100 m/min) e avanço maiores (0,15 mm/rev). Isto demonstra a grande influência que o avanço tem sobre o formato e curvatura do cavaco. Observa-se que se for utilizado uma faixa de

valores intermediários de avanço, poderá ser obtido um cavaco com o mesmo raio, independente da velocidade utilizada no processo estudado, considerando a faixa de velocidades de corte estudado neste trabalho.

No caso da interação da “velocidade de corte vs. lubrificação” ocorreu o mesmo fato na lubrificação do tipo MQL e Fluido, pois podemos ver que para a menor velocidade de corte estudada, 100 m/min, o tamanho da curvatura do cavaco aumenta se for usada a lubrificação do tipo fluido, contrário do que ocorreu com o uso do sistema de MQL, mas já na para a velocidade de 215 m/min, vemos um comportamento contrário, o MQL em velocidades altas gera um cavaco com raio maior em relação ao tamanho do cavaco produzido com a refrigeração do tipo fluido. Pode-se considerar também que para uma velocidade de corte intermediária entre os valores de 100 e 215 m/min, existe uma possibilidade de serem encontrados cavacos do mesmo tamanho utilizando o sistema de refrigeração MQL ou Fluido.

Finalmente, na interação do “avanço vs. Lubrificação” ocorreu a mesma condição onde a variação do sistema de resfriamento provocou alteração no formato do cavaco com a variação do avanço. Nota-se que o avanço e a lubrificação têm um grau de inclinação parecido, e observa-se que a condição tipo Fluido teve uma interação com o avanço juntamente com a condição a Seco. A condição a seco independente do avanço usado, tanto para valores de avanços maiores como para valores menores avanços, gerou cavacos com tamanhos similares. Os pontos obtidos do parâmetro de lubrificação do tipo MQL mostram que para valores de avanço maiores o cavaco sai com maior raio de curvatura e, essa situação se repete em uma escala bem menor na condição com Fluido.

3.3. Grau de Recalque

A análise do grau de recalque, observou-se que todos os parâmetros e interações entre eles tiveram influência no seu resultado, pois o P-Valor foram menores que 5% e isso significa que o parâmetro de entrada influenciou na resposta. Podemos observar também que todos influenciaram entre suas interações, o que mostra que o grau de recalque tem grande dependência das variáveis estudadas.

Tabela 4. Análise dos parâmetros no Grau de Recalque (Fonte: autoria própria)

Análise do Grau de Recalque		
Fatores	F-Value	P-Value
Velocidade de corte [m/min]	5852,25	<u>0,000</u>
Avanço [mm/rev]	28392,25	<u>0,000</u>
Lubrificação	1759,00	<u>0,000</u>
Velocidade de corte [m/min]*Avanço [mm/rev]	2450,25	<u>0,000</u>
Velocidade de corte [m/min]*Lubrificação	4656,00	<u>0,000</u>
Avanço [mm/rev]*Lubrificação	1597,00	<u>0,000</u>
Velocidade de corte [m/min]*Avanço [mm/rev]*Lubrificação	5007,00	<u>0,000</u>

A Figura 4 mostra o gráfico de interações dos parâmetros que influenciaram no grau de recalque. A Tabela (4) mostra que ocorreram interações entre os parâmetros “velocidade de corte vs. avanço”, “avanço vs. lubrificação”, “velocidade de corte vs. lubrificação” e “velocidade de corte vs. avanço vs. lubrificação” foram significativas no grau de recalque. Isto confirma que todos os parâmetros estudados tiveram uma influência no comportamento do grau de recalque e que até mesmo a junção deles foi um fator para que o resultado ter mudanças.

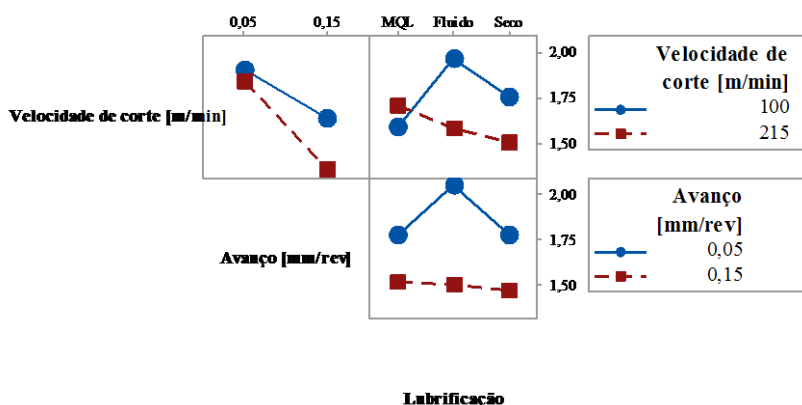


Figura 4. Interação entre as variáveis de entrada sobre o Grau de Recalque

Observa-se que na interação dos parâmetros “velocidade de corte vs. avanço” que ambas retas com o aumento do avanço, diminuem o grau de recalque, mas pode-se observar também que essas retas não são paralelas e devem se cruzar em algum ponto. Nele mostra que para velocidades independente da velocidade, se o avanço aumentar o grau de recalque diminui.

No caso da interação da “velocidade de corte vs. lubrificação” ocorreu de duas linhas se cruzarem, observamos no gráfico que as linhas se cruzaram na lubrificação do tipo MQL e Fluido, nela vemos que na menor velocidade de corte estudada, 100 m/min, o grau de recalque aumenta se for usada a lubrificação do tipo fluido, contrário do que ocorreu com o uso do sistema de MQL, mas já na outra velocidade estudada, 215 m/min, vemos um comportamento contrário, o MQL em velocidades altas gera um cavaco com um valor de “h” maior, aumentando assim o grau de recalque, em relação ao grau de recalque com a refrigeração do tipo fluido. Pode-se considerar também que para uma velocidade de corte intermediária entre os valores de 100 e 215 m/min, existe uma possibilidade de serem encontrados valores do grau de recalque parecidos utilizando o sistema de refrigeração MQL ou Fluido.

Finalmente, na interação do “avanço vs. lubrificação” ocorreu a mesma condição onde a variação do sistema de resfriamento provocou alteração no “h”, fazendo assim com que alterasse o resultado do grau de recalque, cuja formula é “h'/h”, com a variação do avanço. Nota-se que o avanço e a lubrificação têm um grau de inclinação diferente, possibilitando assim o encontro entre as retas, e observa-se que a condição tipo Fluido teve o maior grau de recalque que as demais condições em avanços menores, mas quando se aumenta o avanço, independentemente da refrigeração, o grau de recalque foi praticamente o mesmo.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, as seguintes conclusões podem ser definidas.

- ✓ O menor esforços de corte encontrado foi de 510,56 N utilizando a velocidade de corte de 215 m/min, sistema seco e avanço de 0,05 mm/rev;
- ✓ A menor força de avanço também foi nesse mesmo conjunto de parâmetros de 228,38 N;
- ✓ O menor raio do cavaco obtido foi de 3,867 mm quando foi utilizando a velocidade de corte de 100m/min, sistema MQL e avanço de 0,05 mm/rev e o maior raio foi de 8,241 mm com a mesma velocidade, mas com a condição do tipo fluido e avanço de 0,15 mm/rev;
- ✓ O avanço foi importante em todos os testes, fazendo com que a variação de todos os resultados propostos mudasse consideravelmente quando ele era alterado;
- ✓ As forças de avanço e corte foram muito dependentes do avanço, e tiveram um aumento de cerca de 2 à 3 vezes quando o seu avanço foi de 0,05 para 0,15 mm/rev.
- ✓ No aço 52100 não houve diferença nas variáveis com a mudança de sistemas de refrigeração.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG pelo apoio financeiro para a participação no COBEF 2017.

6. REFERÊNCIAS

- Aneiro, F.M., Coelho, R.T., Brandão, L.C., 2008, “Turning hardened steel using coated carbide at high cutting speeds”, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, Vol. 30, pp. 104-109.
- Cervelin, J.E., 2009, “Estudo teórico-experimental das forças de corte no processo de torneamento”, Dissertação (Dissertação de Mestrado), EESC-USP, São Carlos, SP.
- Cotterell, M., Ares, E., Yanes, J., López, F., Hernandez, P., Peláez, G., 2013, “Temperature and strain measurement during chip formation in orthogonal cutting conditions applied to Ti-6Al-4V”, Procedia Engineering, Vol. 63, pp. 922 – 930.
- Courbon, C., Mabrouki, T., Rech, J., Mazuyer, D., Perrard, F., D'Eramo, D., 2014, “Further insight into the chip formation of ferritic-pearlitic steels: Microstructural evolutions and associated thermo-mechanical loadings”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 77, pp. 34 - 46.
- Denkena, B. e Biermann, D. 2014, “Cutting edge geometries”, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 63, pp. 631 - 653.
- Hui, Huang, 2007 “Simulação da formação de cavacos usando FEM (Finite element method) – Temperatura e força”, Mestrado (Dissertação de Mestrado), EESC-USP, São Carlos, SP.
- Koné, F., Czarnota, C., Haddag, B., Nouari, M., 2013, “Modeling of velocity-dependent chip flow angle and experimental analysis when machining 304L austenitic stainless steel with groove coated-carbide tools”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 213, pp. 1166 – 1178.
- Lucas, E.O., 2004 “Desenvolvimento de dispositivo Quick-Stop e sua aplicação no estudo da formação do cavaco na usinagem do ferro fundido nodular ferrítico”, Tese (Tese de Doutorado). 151 pag., Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

- Obikawa, T., Kamata, Y., Shinozuka, J., 2006, "High-speed grooving with applying MQL", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 46, pp. 1854 -1861.
- SANDVIK, 2014, "Ferramentas para torneamento – Corte e Canais", Sandvik – Coromant, Suécia, 473, pag.
- Wang, B., Liu, Z., Yang, Q., 2013, "Investigations of yield stress, fracture toughness, and energy distribution in high speed orthogonal cutting", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 73, pp. 1- 8.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ANALYSIS OF CHIP BEHAVIOR IN ORTOGONAL TURNING WITH DIFFERENT COOLING CONDITIONS

Cleiber Luan de Almeida, cleiber-luan@hotmail.com¹

Thiago Castro Freitas, thiagocastrofreitas@hotmail.com¹

Sergio Luiz Moni Ribeiro Filho, sergiolmrf@gmail.com¹

Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufs.br¹

¹Federal University of São João del-Rei – UFSJ - Praça Frei Orlando, 170, São João del-Rei - MG

Abstract: Machining processes are widely used and widespread in the parts manufacturing industry. Among many machining operations that are used in the production of mechanical components, the orthogonal cut is one of the most important because it is responsible for manufacturing regions where rubber rings and rubber seals are fixed. Orthogonal operations have a large area of contact between the tool and the machined part, generally providing an increase in the shear force that can result in the tool breaking. This work was developed by varying the cutting parameters and the cooling systems, in order to verify the best machining condition. The shear forces, the behavior of the chip, the chip ratio and the curvature of the chip were evaluated. The machined material was SAE 52100 steel and orthogonal cuts were carried out in tubular workpieces. The results showed that the feed rate was the most important parameter and, in some situations, the shear and shear forces were the main significant parameters. In addition, the MQL system has obtained similar results compared to lubrication systems, showing that it can be a promising alternative to cutting fluid reduction.

Key-words: Turning, Chip curvature, Chip ratio, Cutting force, MQL.