

IMPACTO DA QUANTIDADE DE REFRIGERAÇÃO NA USINAGEM DE AÇO DE BAIXO TEOR DE CARBONO

Cássio Gabriel Dahmer, cassiodahmer@bol.com.br¹

Manolo Lutero Gipiela, manolo.gipiela@pr.senai.br²

¹Instituto Superior de Tecnologia Senai CIC, Rua Senador Accioly Filho, 298, Cidade Industrial – Curitiba - PR

²Instituto Superior de Tecnologia Senai CIC, Rua Senador Accioly Filho, 298, Cidade Industrial – Curitiba - PR

Resumo: A constante necessidade de melhorias nos processos de usinagem põe em cheque as formas de refrigeração que são utilizadas na indústria tendo em vista o alto valor agregado e o impacto ambiental causado por cada método. Neste estudo serão analisados estes fatores considerando diferentes formas de refrigeração e por meio da medição da rugosidade superficial obtida em cada processo e da temperatura ao final da usinagem das amostras, determinando o método que melhor se enquadra para o torneamento longitudinal. Nos testes realizados, com as condições de corte a seco, refrigeração abundante e refrigeração controlada, o melhor resultado obtido no quesito qualidade foi com refrigeração abundante. Porém, a refrigeração controlada mostrou-se uma alternativa viável mantendo uma qualidade próxima a permitida pela refrigeração abundante e com uma quantidade de fluidos aplicados significativamente menor.

Palavras-chave: Usinagem, Refrigeração, Torneamento.

2. INTRODUÇÃO

Os fluidos utilizados por máquinas operatrizes exercem diversas funções, sendo eles os responsáveis pela dissipação do calor gerado pelo corte. Além desta função primordial, são relevantes também as funções de redução do esforço de corte, consequentemente a redução de energia empenhada, remoção de cavacos da região do corte, aumento da vida útil da ferramenta, melhora do acabamento, redução da corrosão na peça e eliminação de arestas de cortes postiças (Almeida et al, 2006). Para que isto aconteça são usados aditivos, minerais, animais ou sintéticos, que aumentem as capacidades de um líquido base, que pode ser água.

Com toda esta carga de aditivos, os fluidos de corte tornam-se extremamente perigosos ao meio ambiente, se descartados indevidamente. Por isso, cada vez mais alternativas vem sendo buscadas para encontrar soluções viáveis para o tratamento adequado e, enfim, o descarte livre de poluentes na natureza. Segundo Zeilmann et al (2009) outro efeito negativo do uso destes óleos é o contato com os operadores. Líquidos tão pesados tendem a gerar problemas adversos em contato com a pele humana, podendo apresentar desde irritações leves até escabioses em casos mais extremos (Dias et al, 2001). Pensando nesta condição prejudicial aos operadores, são desenvolvidos equipamentos de proteção específicos para evitar o contato com os fluidos. Além disto, é comum o uso de cremes que impeçam que os aditivos penetrem na pele humana.

O calor gerado pela remoção de material na usinagem é um elemento que influencia diretamente na rentabilidade das empresas do setor, mas ele pode ser facilmente combatido com o uso de sistemas de refrigeração. Apesar de existir uma solução simples, a eficácia e o custo destes sistemas devem ser levados em conta na hora de optar pelo tipo, ou até mesmo pela não utilização deles.

O aumento excessivo da temperatura tende a gerar prejuízos, levando em conta o desgaste da ferramenta e os cuidados em logística e controle de qualidade das peças quentes – já que a uma temperatura mais elevada elas não podem ser manuseadas pelos operadores nem medidas em equipamentos mais sofisticados (Machado e Da Silva, 2004). Mesmo obtendo o controle dimensional com instrumentos mais rústicos, baratos e que podem ser facilmente substituídos o custo tende a aumentar. Isso sem falar em erros dimensionais devido à deformação pela temperatura, dificultando a obtenção de tolerâncias menores e tendo o risco de causar danos à estrutura superficial do material (Diniz et al, 2006).

Em contrapartida, o uso de fluidos de refrigeração exige gastos na sua aquisição e manutenção. Os óleos utilizados têm uma vida útil e ao fim dela precisam ser descartados (Dias et al, 2001). O descarte deve ocorrer de forma que não agride o meio ambiente, tornando ainda mais caro o ciclo do fluido, fazendo com que empresas especializadas sejam contratadas. A manutenção dos sistemas de refrigeração também é necessária, mais uma vez agregando custo ao processo de usinagem.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Metodologia

A utilização de óleos refrigerantes na usinagem vem sendo questionada devido aos problemas causados aos trabalhadores e ao impacto ambiental causado pelo descarte destes óleos após o uso (Dias et al, 2001). Segundo Ghuge et al (2012) as vantagens do uso da refrigeração não são facilmente justificáveis, porém em seu estudo relatou aumento significativo da vida útil da ferramenta – cerca de 30%. Por causa da importância que exerce na usinagem, viu-se a

necessidade da diminuição da quantidade de fluido aplicado, tendo como uma alternativa ao corte totalmente a seco o corte com mínima quantidade de lubrificantes (MQL) (Dhar et al, 2006).

A refrigeração por névoa é uma das técnicas conhecidas como MQL, que visa otimizar a aplicação do meio refrigerante afim de diminuir a quantidade utilizada mantendo as propriedades de uma refrigeração abundante. O uso extremamente baixo de fluidos diminui significativamente o custo comparado ao método de lubrificação abundante e em estudos feitos por Zeilmann et al (2009) mostraram que o desgaste da ferramenta diminuiu usando o método de MQL. Se comparado ao corte a seco, apesar de agregar os custos com equipamentos e insumos, mostra-se mais eficiente, devido ao alto poder refrigerante, eliminando os problemas de temperatura excessiva e por conta deste, dilatação térmica. Outra técnica de MQL é a aplicação de fluido de corte por gotejamento na área de corte, método este utilizado por Reis (2000).

Outro fator de escolha a ser levado em consideração é a formação de arestas postiças de corte (APC), presente principalmente na usinagem de aços baixa liga e baixo teor de Carbono e metais não ferrosos, como o Alumínio. Este fenômeno ocorre quando partículas do material aderem à superfície da ferramenta e são transportados por ela durante o corte, prejudicando o acabamento da superfície usinada. O aparecimento de APC é notado sobretudo a baixas velocidades de corte e pode ser associado ao uso incorreto da refrigeração (Reis, 2000).

Segundo Ribeiro et al (2002) diversos fatores podem ser associados à formação de APC pela não utilização de fluidos de corte. Sem a função refrigerante o aumento da dissipação de energia em forma de calor na região do corte aumenta e favorece a soldabilidade do material à aresta da ferramenta. Além disso os fluidos ainda exercem a função de limpeza, expulsando com maior velocidade os cavacos da região de corte e a função lubrificante do fluido é um dos grandes responsáveis por impedir a formação de APC. Entretanto em um estudo feito por Da Silva et al (2007) o uso do fluido de corte não demonstrou acabar a formação das arestas postiças, apesar de melhorar o acabamento superficial. Entretanto, Correia et al (2006) relataram não apresentar a formação de arestas postiças com o uso de refrigeração por névoa.

O calor gerado durante a usinagem é dividido entre cavaco, peça e ferramenta. Este calor atinge o valor máximo no momento do corte e rapidamente sofre um resfriamento, independentemente do uso de refrigeração, porém a energia residual faz com que a peça e ferramenta permaneçam aquecidas. Segundo Santos e Sales (2007) a temperatura atingida no momento do corte pode causar alterações na estrutura do material, tanto da peça quanto da ferramenta, sobretudo na utilização de aços rápidos. O uso de fluidos de corte é uma das formas de reduzir o impacto do calor sobre a usinagem, impedindo que o acúmulo dele na peça e ferramenta eleve a temperatura no local da usinagem e aumentando a velocidade do resfriamento.

2.2. Metodologia

Foram usinados um total de vinte corpos de prova, divididos em quatro grupos de cinco amostras cada. Para identificação dos corpos foi realizado por meio de puncionamento a gravação do grupo e número, determinado pela ordem de fabricação, na parte posterior dos corpos. Os grupos foram definidos conforme a aplicação ou não da refrigeração, sendo eles: Corte a seco com velocidade de corte normal (SN); Corte a seco com velocidade de corte reduzida (SR); Corte com refrigeração abundante (RA); Corte com refrigeração controlada por meio de gotejamento (RC).

O material escolhido foi o aço ABNT 1020 trefilado, com diâmetro inicial de 38mm e cortado em peças de 95mm de comprimento. Para melhor fixação e para garantir o comprimento de usinagem, cada corpo de prova foi previamente usinado conforme mostra a Fig. (1).

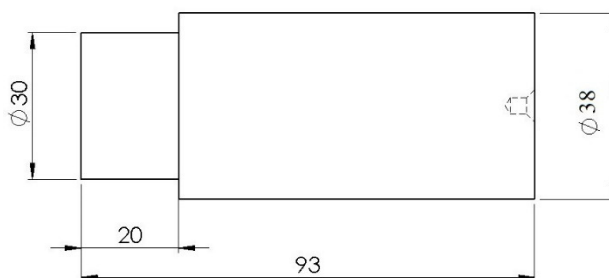


Figura 1. Corpo de testes preparado para ensaio.

Após esta preparação foram realizados os testes de usinagem, sendo usinados em cada corpo um total de 70mm de comprimento e reduzindo o diâmetro para 20mm, assumindo em sua forma final o perfil demonstrado na Fig. (2) e, na Fig. (3), um corpo de testes já usinado.

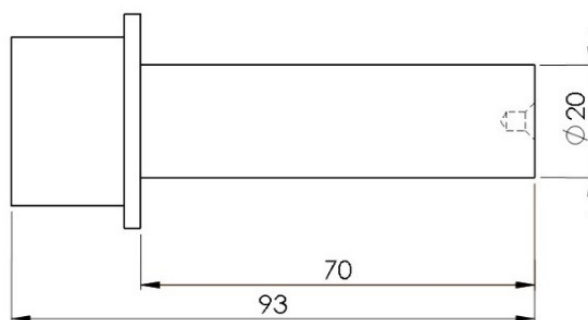


Figura 2. Perfil do corpo de testes após usinagem.

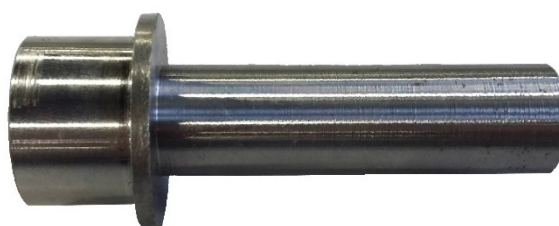


Figura 3. Corpo de testes usinado.

Para fazer tal usinagem, o torneamento longitudinal do comprimento de 70mm, foi escolhido a ferramenta de metal duro de insertos intercambiáveis do tipo TNMG 160404, que possui formato triangular com 16mm de comprimento, 4,76mm de espessura e raio de ponta de 0,4mm (ISO 1832, 2012), com a capacidade de corte nas duas faces e posição de corte negativa. Esta ferramenta foi escolhida devido ao alto grau de aplicabilidade dentro dos processos de usinagem, sendo facilmente encontrada em operações de torneamento externo e interno, fresamento, mandrilamento e furação com brocas de insertos intercambiáveis, tanto em desbastes quanto em procedimentos de acabamento. Na Fig. (4) está representado o perfil da ferramenta utilizada.

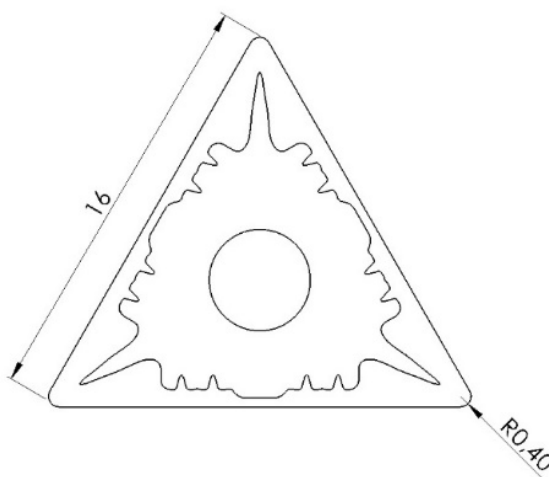


Figura 4. Formato do inserto TNMG 160404.

Os parâmetros de corte foram escolhidos de acordo com os especificados pelo fabricante, aceitando uma variação máxima de 15%, devido aos valores permitidos pela máquina e no caso do corte com velocidades de corte reduzidas, foi utilizado o parâmetro mínimo recomendado para usinagem de aços sem liga e com baixo teor de carbono, novamente aplicando o limite de 15% de variação para que fossem recalculados os valores para RPM. Na Tab. (1) estão representados os parâmetros de corte indicados para a usinagem em máquinas convencionais de aços baixa liga e baixo teor de Carbono.

Tabela 1. Parâmetros de corte da ferramenta TNMG 160404.

	V _c (m/min)	a _p (mm)	f _n (mm/rot.)
Mínimo	120	0,6	0,08
Máximo	220	3	0,35
Ideal	150	1	0,2

O avanço por volta (f_n) foi mantido em todos os testes segundo o valor preterido pelo fornecedor: 0,2mm/rot e profundidade de corte (a_p) em 1mm. A profundidade de corte é o valor de penetração da ferramenta com valor expresso em relação ao raio da peça, e não ao diâmetro, sendo assim por cada passe o valor real retirado de material será de 2mm.

Com base nos valores de velocidade de corte (V_c) foram calculados os valores de RPM (rotações por minuto) segundo modelo demonstrado por Diniz et al (2006). Para chegar a tais dados foi utilizada a Eq. (1):

$$RPM = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times \phi} \quad (1)$$

Os valores obtidos para o corte com velocidade normal (SN, RA, RC) estão expressos na Tab. (2).

Tabela 2. Parâmetros de corte aproximados aos ideais (determinados pelo fabricante).

Ø (mm)	V _c ideal (m/min)	RPM ideal	RPM disponível	V _c corrigida (m/min)
38	150	1257	1250	149
36	150	1327	1250	141
34	150	1405	1250	133
32	150	1493	1250	126
30	150	1592	1600	151
28	150	1706	1600	141
26	150	1837	1600	131
24	150	1990	1600	121
22	150	2171	2500	173
20	150	2389	2500	157

Para o grupo de corpos de prova que se utilizou velocidade de corte reduzida, a mínima recomendada pelo fabricante, os parâmetros foram utilizados conforme mostra a Tab. (3).

Tabela 3. Parâmetros de corte reduzidos (mínimo recomendado pelo fabricante).

Ø (mm)	V _c ideal (m/min)	RPM ideal	RPM disponível	V _c corrigida (m/min)
38	120	1006	1000	119
36	120	1062	1000	113
34	120	1124	1000	107
32	120	1194	1250	126
30	120	1274	1250	118
28	120	1365	1250	110
26	120	1470	1250	102
24	120	1592	1600	121
22	120	1737	1600	111
20	120	1911	1600	101

Os valores de rotação foram ajustados conforme a capacidade dos tornos mecânicos disponíveis, o que levou a escolha do Nardini Mascote MS-205, que pode ser visto na Fig. (5), escolhido justamente pela alta capacidade de giro, alcançando 2500 RPM que foram os valores mais altos necessários para realizar a usinagem. Além disso, as máquinas são equipadas com dispositivo de refrigeração de corte com potência de 0,12 CV que possui uma regulagem ampla, permitindo desde 1 l/h na mínima vazão até 120 l/h na máxima e acessórios de segurança conforme a NR-12.



Figura 5. Torno mecânico Nardini Mascote MS-205.

Devido as variações da velocidade de corte para cada diâmetro usinado teremos uma variação na velocidade de avanço F (mm/min), que segundo Diniz et al (2006) para o torneamento pode ser obtida utilizando a Eq. (2):

$$F = RPM \times F_n \quad (2)$$

Com base nestes cálculos chegou-se a uma variação de avanço que está expressa em formato gráfico na Fig. (6).

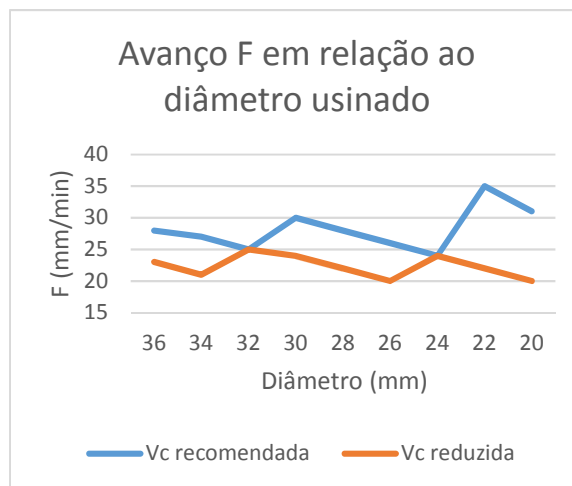


Figura 6. Variação da velocidade de avanço F em relação ao diâmetro usinado.

Nos testes com a utilização de refrigeração foi utilizado o óleo solúvel BONDMMANN BD-30 com dissolução em água na razão de 1:20, seguindo a recomendação que o fabricante faz para processos de torneamento em máquinas convencionais. No caso da refrigeração abundante a vazão utilizada foi de 120 l/h enquanto na aplicação controlada 1 l/h.

Ao final da usinagem foi feita a medição da temperatura superficial de cada corpo de prova com um termômetro digital por infravermelho Benetech GM300 com capacidade de medição de -50 a 980°C.

Para comparar a qualidade final de cada condição de usinagem foi realizada a medição da rugosidade utilizando um rugosímetro portátil Mitutoyo SJ-201, fazendo a análise de rugosidade do tipo R_a (rugosidade média) com dez sequências de medições em três pontos distintos da peça: a 10mm da face frontal, no centro da região usinada e a 10mm do final da usinagem, com um total de 5 *cut-offs* de 0,8mm cada, com velocidade de medição de 0,25mm/s e retorno de 0,8mm/s. Os testes de rugosidade foram realizados sobre um desempenho de granito utilizando um calço prismático para apoio de peças cilíndricas e com ajuda de um traçador de altura para suporte da ponta de medição do rugosímetro, conforme pode ser visto na Fig. (7).

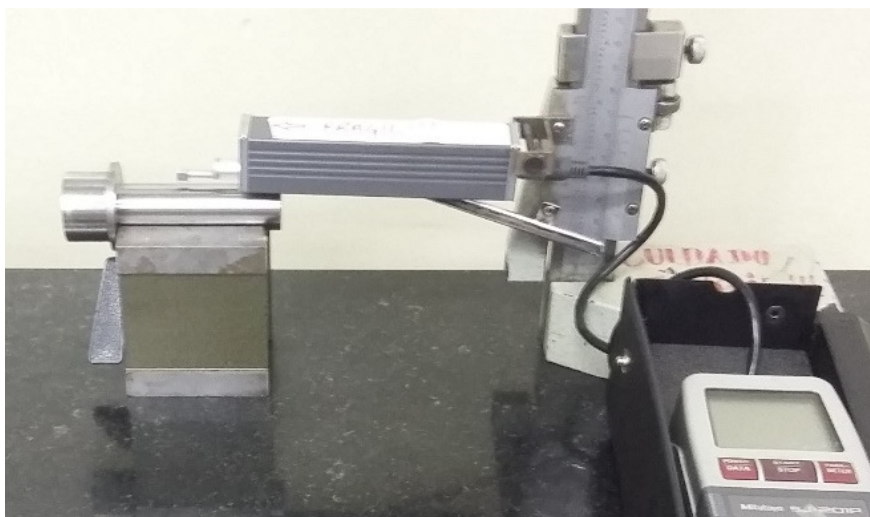


Figura 7. Rugosímetro e os suportes de medição sobre o desempenho de granito.

Para identificar melhor o desgaste de cada ferramenta foi utilizado um microscópio Zeiss Stemi 2000C com ampliação de 50 vezes para obtenção de imagens das arestas de corte das ferramentas utilizadas. As imagens foram capturadas por uma câmera e serão expostas na sequência deste estudo.

2.3. Resultados

Durante a usinagem foi observado o comportamento da ferramenta e nos testes com refrigeração (RA e RC) não houve a formação de arestas postiças de corte, apesar de Da Silva et al (2007) relataram a formação delas mesmo com fluidos de corte utilizando a técnica de MQL. Nas peças com corte a seco (SN e SR) foi constante a formação da APC, sendo mais notada nos testes com velocidade de corte mais baixa, assim como descreveram Correia et al (2006).

Finalizados os testes pode-se observar o desgaste da ferramenta e, através da análise das figuras obtidas no microscópio, os testes com refrigeração demonstraram desgaste muito baixo, não chegando a comprometer a aresta de corte, como pode ser visto na Fig. (8) para o teste RC e Fig. (9) para o teste RA, ao contrário dos inserts utilizados no corte a seco, onde nota-se um desgaste maior com a presença de áreas de quebra da aresta de corte representados na Fig. (10) e Fig. (11), para SR e SN, respectivamente. Tais quebras no inserto foram observadas a partir da usinagem da 4ª peça em ambos os ensaios, onde a quebra do cavaco foi prejudicada, formando pequenas fitas ao invés de espirais e os valores de rugosidade e temperatura sofreram uma pequena elevação. Estes resultados estão de acordo com o que Ghuge et al (2012) obtiveram em seus estudos, onde a vida útil da ferramenta se mostrou cerca de 30% maior com uso de refrigeração.

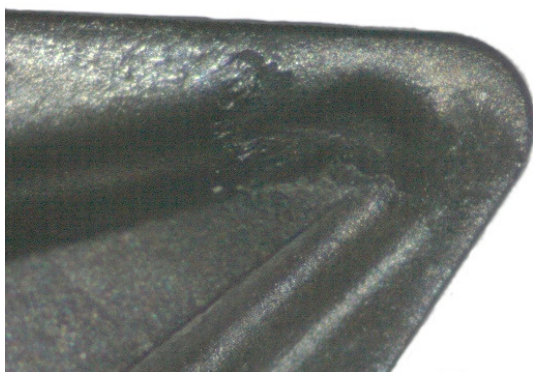


Figura 8. Inserto utilizado nos testes com refrigeração controlada (RC).

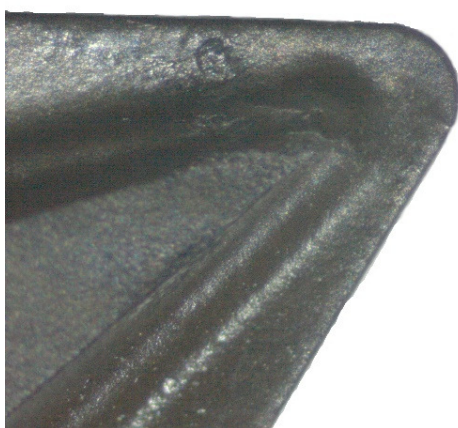


Figura 9. Inserto utilizado nos testes com refrigeração abundante (RA).



Figura 10. Inserto utilizado no corte a seco com velocidades reduzidas (SR).

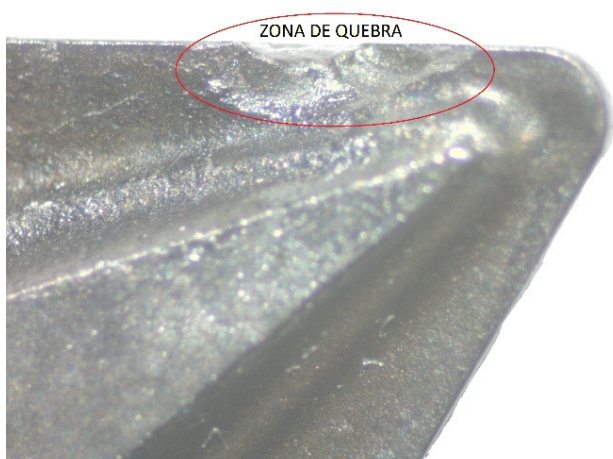


Figura 11. Inserto utilizado no teste a seco com velocidade de corte normal (SN).

Com base nas medições de rugosidade média (R_a) foi calculada a média aritmética das 30 sequências de medições para cada corpo bem como o desvio padrão. Estes valores estão demonstrados na Tab. (4) e em forma de gráfico na Fig. (12) os valores de rugosidade encontrados..

Tabela 4. Média das rugosidades de cada corpo de prova em μm e desvio padrão entre estes valores.

	1	2	3	4	5	Desvio Padrão
RA	5,81	5,84	5,81	5,87	5,87	0,17
RC	5,88	5,87	5,89	5,87	5,91	0,14
SN	6,15	6,19	6,19	6,23	6,24	0,23
SR	5,94	5,99	6,05	6,20	6,21	0,28

Média das rugosidades dos corpos de prova

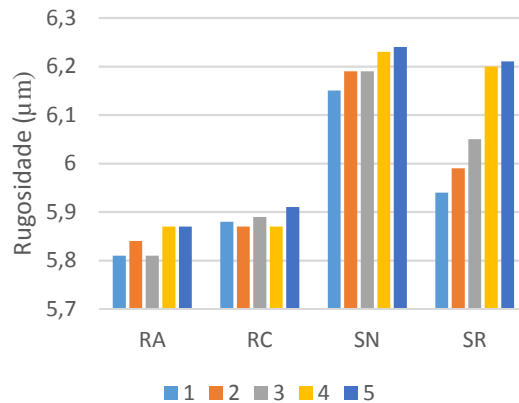


Figura 12. Média das rugosidades dos corpos de prova.

Analisando os dados referentes a rugosidade superficial pode-se notar a qualidade inferior de acabamento nas peças com corte a seco. O aumento do desvio padrão sugere ainda uma elevação na variação entre os pontos com maior e menor resultado obtido. Ainda sobre estes resultados fica visível um aumento nos testes SR e SN a partir do 4º corpo de prova, justamente onde a ferramenta sofreu o lascamento. Segundo Reis (2000) o acabamento melhor na condição de corte com refrigeração se dá justamente pela função lubrificante do fluido, que impede a formação de APC.

Levando-se em conta a variação de avanço F ocorrida a cada diâmetro usinado e os valores de rugosidade obtidos para cada corpo de prova chega-se a um valor estimado de rugosidade para cada diâmetro usinado em cada uma das modalidades de testes. Estes valores de rugosidade são demonstrados na Fig. (13).

Variação da rugosidade pelo diâmetro usinado

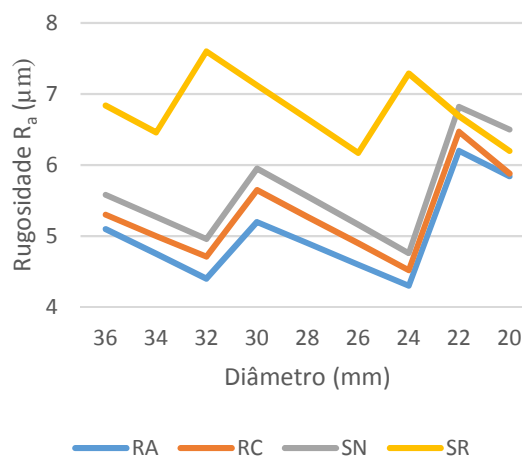


Figura 13. Média das rugosidades dos corpos de prova.

Ao término do último passe na usinagem foi verificada a temperatura na superfície de cada corpo de prova. Na Tab. (5) estão representados os valores da média dos resultados para cada grupo, bem como o desvio padrão entre eles.

Tabela 5. Valores médios de temperatura.

Grupo de corpos de teste	Temperatura (°C)	Desvio Padrão
SN	140,8	0,92
SR	119	0,52
RA	26,9	0,18
RC	36,1	0,15

Tais dados evidenciam o que Ribeiro et al (2001) apresentaram em seus estudos, onde velocidades de corte menores geraram temperaturas menores para um mesmo grupo de aplicação de fluidos e velocidades maiores apresentaram variações maiores entre as medições de temperatura. Pode-se observar que o aumento da V_c entre os testes SN e SR ocasiona um aumento da temperatura e do desvio padrão entre as medidas obtidas, o que representa uma maior variação entre os valores mínimo e máximo.

O aumento do calor na peça e, consequentemente, na ferramenta, é um dos fatores contribuintes para a quebra prematura nos ensaios com corte totalmente a seco. Segundo Santos e Sales (2007) o aumento na temperatura da ferramenta é determinante na vida útil da mesma, uma vez que diminui a resistência do material e, assim, possibilitando a quebra próximo a região do corte. Farias (2009) ainda cita o desgaste da ferramenta como fator que pode aumentar em até 3 vezes a temperatura na região de corte. Desta forma entramos em um paradoxo quanto ao uso desta técnica, onde o calor aumenta o desgaste e o desgaste aumenta o calor gerado na zona de usinagem.

Algumas máquinas de medição por coordenadas já são programadas para obter medidas com precisão apesar das variações de temperatura, porém a faixa de trabalho destas varia geralmente entre 15 e 30°C, o que se adequa bem ao ambiente produtivo, mas fica muito abaixo dos valores obtidos nas medições de temperatura dos corpos de teste de usinagem a seco.

Com base nos resultados obtidos pode-se observar que os modelos de testes com corte totalmente a seco não satisfazem a exigência de usinagem produtiva, mesmo tendo a seu favor o fato de não ter agregado o custo com fluidos refrigerantes. O desgaste prematuro da ferramenta é o principal fator a ser levado em conta, já que a parcela de custo dela é maior do que a da refrigeração. A qualidade do produto também foi afetada, mas pior que o aumento da rugosidade superficial é a temperatura alcançada ao término da usinagem, pois além de gerar um erro de medição causado pela dilatação térmica, uma peça a estas temperaturas não pode ser medida por instrumentos de precisão, condicionando ao metrologista o uso de instrumentos mais simples ou então esperar que a peça esfrie, o que pode levar de uns poucos minutos até várias horas, dependendo do tipo de material, dimensões, condição de acabamento superficial e temperaturas da peça e do ambiente onde será feita a transição para a sala de medição.

Tais resultados vão ao encontro do que Schroeter et al (2001) obtiveram em seus estudos, onde apesar de não obter os melhores resultados com o uso de MQL, esta técnica demonstrou ser a melhor opção atendendo aos requisitos econômicos e ecológicos.

2.4. Conclusão

Os estudos utilizando corte totalmente a seco se mostram eficazes em relação a questão ecológica, porém não demonstraram economicamente viáveis devido a diminuição da vida útil da ferramenta, que representa uma porção maior do custo de usinagem do que os fluidos refrigerantes. Apesar da necessidade de diminuição do uso dos fluidos, seja por razões ambientais ou econômicas, o estudo com refrigeração abundante se mostrou o mais eficaz, apresentando pouco desgaste de ferramenta, formação de APC inexistente e menor rugosidade. Embora tenha se mostrado ligeiramente inferior a este, o modelo utilizando quantidade reduzida de refrigeração mostrou ser uma alternativa viável para uma produção mais limpa e econômica, apresentando um bom rendimento da ferramenta e baixo uso de fluidos.

Ainda não é o suficiente para extinguir-se o uso do corte totalmente a seco. Com a vasta gama de processos possíveis de acontecerem dentro do universo da usinagem talvez nunca se chegue numa lei sobre como deverá ser a refrigeração, porém com as novas buscas por uma produção mais limpa e econômica a técnica de MQL parece ser a tendência de uso para os próximos anos.

3. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Faculdade de Tecnologia do SENAI-PR, unidade CIC, por todo suporte material e pela disponibilidade de máquinas equipamentos utilizados no experimental e análises executados neste trabalho.

4. REFERÊNCIAS

- Almeida, D. O., Naves, V. T. G., Machado, A. R., e Silva, M. B., 2006, Influência da direção de aplicação do fluido de corte na temperatura da interface cavaco-ferramenta, COBEF – Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica de Fabricação.
- Correia, A. E. e Davim, J. P., 2006, Efeito da Lubrificação Mínima (MQL-Minimal Quantity of Lubricant) na Maquinagem de uma Liga de Alumínio, Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões ISSN, vol. 122, pp. 922.
- Da Silva, L. R., Bianchi, E. C., Füsse, R. Y., Catai, R. E., Franca, T. V., e Aguiar, P. R., 2007, "Analysis of surface integrity for minimum quantity lubricant—MQL in grinding." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* vol. 47.2, pp.412-418.
- Dhar, N. R., Islam, M. W., Islam, S., e Mithu, M. A. H., 2006, The influence of minimum quantity of lubrication (MQL) on cutting temperature, chip and dimensional accuracy in turning AISI-1040 steel, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 171, pp. 93-99.
- Dias, A. M. D. P., Soares, R. S., Schroeter, R. B., Weingaertner, W. L., e Teixeira, C. R., 2001 Aspectos Nocivos De Fluidos De Corte Utilizados Em Processos Convencionais De Usinagem, 1º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Curitiba – PR, Brasil.
- Diniz, A. E., Marcondes, F. C. e Coppini, N. L., 2006, Tecnologia da usinagem dos materiais, Editora Artliber.
- Farias, A. de, 2009, Análise da tensão residual e integridade superficial no processo de torneamento em material endurecido do aço ABNT 8620 cementado, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.
- Ghughe, N. C., Dhatrak, V. K. e Mahalle, A. M., 2012, Minimum Quantity Lubrication. *IOSR Journal of Engineering*.
- International Organization for Standardization (ISO), 2012, 1832:2012 Indexable inserts for cutting tools—Designation, Genebra, Suíça.
- Machado, A. R. e Da Silva, M. B., 2004, Usinagem dos Metais, apostila, 8ª versão. EDUFU, Uberlândia – MG, Brasil.
- MTE - Norma Regulamentadora 12 – NR 12 e suas alterações - Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. DF, BR.
- Reis, A. M., 2000, Influência do ângulo de posição secundário da ferramenta, raio de ponta e lubrificação na usinagem em presença de aresta postiça de corte, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia.
- Ribeiro, L. O., Da Silva, R. B. e Machado, A. R., 2002, Comportamento da Temperatura na Interface Cavaco-Ferramenta sob Diferentes Condições de Corte, 8º Colóquio de Usinagem, PUC, Belo Horizonte – MG, Brasil, v. 31.
- Santos, S. C. e Sales, W. F., 2007, Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais, Editora Artliber, São Paulo – SP, Brasil, v. 246.
- Schroeter, R. B., Markus, W. e Teixeira, C. R., 2001, Eliminação e Minimização do Fluido de Corte no Processo de Torneamento com Insertos de Metal Duro Revestidos com TiN, I Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação.
- TAEGUTEC. Non-Rotating Metalcutting Tools, 2016. Disponível em <http://www.taegutec.com.br>. Acesso em: 06 de jun. 2016.
- Zeilmann, R. P., Vacaro, T., Bordin, F. M., e Sonda, V., 2009, Processos de usinagem e responsabilidade ambiental através da redução da utilização de fluidos de corte, Anais do XVII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva, São Paulo – SP, Brasil.

5. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

IMPACT OF COOLING QUANTITY ON LOW CARBON STEEL MACHINING

Cássio Gabriel Dahmer, cassiodahmer@bol.com.br¹

Manolo Lutero Gipiela, manolo.gipiela@pr.senai.br²

¹Instituto Superior de Tecnologia Senai CIC, Rua Senador Accioly Filho, 298, Cidade Industrial – Curitiba - PR

²Instituto Superior de Tecnologia Senai CIC, Rua Senador Accioly Filho, 298, Cidade Industrial – Curitiba - PR

Abstract. *The constant need for improvements in machining processes put in check the cooling forms due the high costs and the environmental impact. The aim of this work is to analyze the efficiency of different forms of cooling by the measuring of surface roughness and the temperature at the end of longitudinal turning of 1020 steel coupons. Tests with dry cutting conditions, abundant cooling and controlled cooling shown the best result in terms of quality was the machining with abundant cooling; on the other hand, the controlled cooling proved to be a viable alternative to maintaining the cutting quality with lower amount of coolant.*

Keywords: *Machining, Cooling, Turning.*

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.