

## **AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE USINAGEM SOBRE UM COMPÓSITO DE MATRIZ POLIMÉRICA COM CARGAS DE FERRO**

**Fernando Lemonje Westrupp, flwestrupp@yahoo.com.br**<sup>1</sup>

**João Carlos Espíndola Ferreira, jcarlos@emc.ufsc.br**<sup>1</sup>

**Gean Vitor Salmoria, gsalmoria@emc.ufsc.br**<sup>1</sup>

**Noel Álvarez del Pino, noel@ict.uho.edu.cu**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, GRUCON, Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis, SC,

<sup>2</sup> Universidad de Holguín, Facultad de Ingeniería, Avenida XX Aniversario, CP 80100, Piedra Blanca, Holguín, Cuba

**Resumo:** Neste trabalho será apresentado um estudo sobre a influência das condições de usinagem sobre um compósito de matriz polimérica (resina epóxi) com cargas metálicas (ferro). Os ensaios foram realizados em um torno CNC da marca Romi. Para os ensaios foi utilizada uma profundidade de corte constante (apenas acabamento), tendo como variáveis o avanço, a velocidade de corte e a quantidade de carga metálica no compósito. Já as ferramentas de corte utilizadas foram de metal duro sem revestimento. Foram escolhidos três valores diferentes de velocidade de corte e quatro de avanço, além de quatro variações de materiais da peça, com o intuito de identificar qual combinação destes parâmetros de usinagem e materiais fornecem os melhores resultados, do ponto de vista de rugosidade e vida da ferramenta. Foi investigada a influência dos parâmetros de usinagem em relação à qualidade da superfície da peça e ao desgaste da ferramenta, e para isso, durante a realização dos ensaios, foram monitoradas detalhadamente as marcas de desgaste das ferramentas de corte, a temperatura das peças, bem como a qualidade superficial das peças. Com os experimentos pode-se verificar que a usinagem do compósito é viável, pois a temperatura de transição vítrea do material não foi atingida, além de não terem sido encontradas marcas de desgaste nas ferramentas de corte.

**Palavras-chave:** Polímeros, Carga de Ferro, Usinagem, Vida da Ferramenta, Rugosidade

### **1. INTRODUÇÃO**

A atual alta competitividade entre as empresas é determinante para que estas atuem no desenvolvimento de novos materiais, bem como na otimização dos métodos de fabricação e dos sistemas de manufatura, a fim de entregar um produto de melhor qualidade num menor tempo e com menor custo. Com a finalidade de agregar estes diferenciais competitivos em seus produtos, várias indústrias dos mais variados setores estão adotando materiais poliméricos como parte integrante de seus componentes. Através destes materiais, é possível aliar propriedades como baixo peso, capacidade de absorção de deformação e efeito memória com um baixo custo, este último possibilitado pela fabricação em massa de peças injetadas.

Para atender a necessidade do desenvolvimento e lançamento mais rápido dos produtos plásticos injetados e que isto não onere o custo deste projeto, foram desenvolvidos moldes de matérias poliméricas, em vez dos moldes tradicionais de metal, que são mais caros e mais demorados para confeccionar. No entanto, moldes fabricados de materiais poliméricos possuem problemas referentes suas propriedades térmicas e mecânicas, para contornar estes problemas foram desenvolvidos moldes de injeção fabricados a partir de materiais compósitos de matriz polimérica reforçados por cargas metálicas.

O conhecimento a respeito da usinabilidade do material compósito (polímero + metal) a ser utilizado como molde de injeção fabricado por ferramental rápido de maneira indireta é de fundamental importância, pois na maioria dos casos este material necessitará de algum processo de usinagem após o seu vazamento. Para que o material possa ser utilizado comercialmente é necessário observar como ele se comporta com altas taxas de remoção de material e também a altas velocidades de corte. Também é necessário ter-se o conhecimento da qualidade da superfície do material após a usinagem para verificar se é adequado o seu uso como molde de injeção, visto que em alguns casos os moldes necessitam uma excelente qualidade da superfície.

A qualidade da superfície é um importante parâmetro no processo de usinagem, a rugosidade tem requerido muita atenção por muitos anos e por isso existem muitos trabalhos desenvolvidos nessa área. Juntamente com as tolerâncias

dimensionais, a rugosidade impõe restrições críticas aos planejamentos dos projetos de usinagem, principalmente em relação aos parâmetros de corte (Palanikumar et al., 2006).

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 2.1. Material de Ensaio

O material utilizado para realização desta pesquisa foi um compósito de matriz polimérica de resina epóxi, reforçado por partículas metálicas de pó de ferro. As quantidades de carga de ferro utilizadas foram: 5, 10 e 20% do volume do compósito, além da resina epóxi pura. Para adquirir a formulação desejada para este estudo utilizou-se a resina epóxi TCR 550 e o endurecedor XR – 435, ambos da Central Fiber Glass. A escolha desta resina para este trabalho deve-se a sua temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) ser relativamente alta, acima de 100° C, o que facilita sua confecção por usinagem e torna o seu uso como molde de injeção viável. Os corpos de prova possuem 60 mm de diâmetro e 150 mm de comprimento.

A carga metálica particulada utilizada neste trabalho foi de pó de ferro HD 177, fabricado pela Belgo Brasileira. A sua escolha está diretamente relacionada à boa condutividade térmica, permitindo assim controlar o comportamento do compósito, tanto mecanicamente quanto termicamente, com o aumento da quantidade de carga de ferro empregada. Como constatado na fig. 1, grande parte das partículas metálicas possui um diâmetro médio em torno de 100  $\mu\text{m}$ , o que pode facilitar em muito a condução do calor pelo material, como estudado em outros trabalhos (Mamunya, 2002; Goyanes, 2003 e Shengzu, 1997). Contudo, observa-se também que em torno da metade dos diâmetros das partículas são maiores que 100  $\mu\text{m}$ , e esses valores altos de diâmetro comprometem a qualidade da superfície do material, considerando que estes serão usinados para adquirir a forma de molde de injeção.

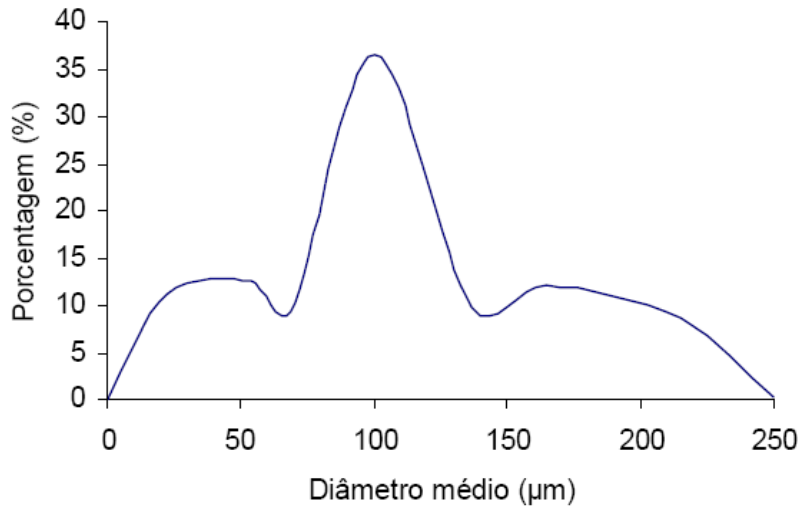


Figura 1. Distribuição do tamanho médio do diâmetro das partículas do trabalho de Jesus (2005).

Nas tabs. 1 e 2 encontram-se as propriedades térmicas e mecânicas do compósito utilizado, para porcentagens diferentes de ferro.

Tabela 1. Propriedades mecânicas dos materiais utilizados por Jesus (2005)

Material	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Dureza (Shore D)
0%	59	2,88	76
5%	50	3,85	82
10%	47	4,48	85
20%	35	6,30	85

Tabela 2. Condutividade térmica dos materiais utilizados por Jesus (2005)

Amostra	Condutividade Térmica (W/mK)
0%	0,157
5%	0,188
10%	0,218
20%	0,321

## 2.2. Máquina Ferramenta

Utilizou-se para os ensaios um torno CNC, modelo Romi 10 U, com 300 mm de comprimento de diâmetro máximo permitido sobre o barramento e 10 cv de potência do motor (fig. 2).



Figura 2. Torno CNC Romi Cosmos 10U usado nos ensaios na UFSC

Já como ferramentas de corte foram utilizados insertos de metal duro, com especificação VMBT 160408 - KM 3210, cujas dimensões são apresentadas na tab. 3.

Tabela 3. Especificações da ferramenta

Especificação	Valor
$l$	16 mm
S	4,76 mm
iC	9,52 mm
$r_e$	0,8 mm

## 2.3. Sistemas de Avaliação

Neste trabalho foram avaliadas diversas características da superfície do material usinado, como sua rugosidade e sua microestrutura, além da temperatura durante a usinagem. Também foram observadas se existe marcas de desgaste na ferramenta de corte após cada operação de usinagem.

A qualidade da superfície dos corpos de prova usinados foi medida por um rugosímetro de bancada, da marca Mahr, com auxílio de uma sonda mecânica e raio do apalpador de 5  $\mu$ m e ângulo de 90°. Para auxiliar nas análises dos resultados da rugosidade dos corpos de prova, realizou-se um estudo da microestrutura da superfície com auxílio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) fabricado pela Philips, modelo XL 30.

A temperatura foi medida por um termômetro digita infravermelho, fabricado pela Minipa e modelo MT 350. Já para verificar se ocorreu ou não desgaste na ferramenta de corte e para medi-lo caso tenha ocorrido, foi utilizado um microscópio de ferramentaria, da Nikon e com aumento de 30x.

## 2.4. Planejamento do Experimento

O conjunto de ensaios de torneamento realizou-se sem a presença de refrigeração e contemplando 12 combinações de parâmetros de usinagem diferentes, entre 4 avanços e 3 velocidades de cortes, para cada tipo de material estudado (0, 5, 10 e 20% de carga de ferro em volume do compósito), como mostrado na tab. 4. Utilizou-se uma profundidade de corte constante de 0,5 mm.

**Tabela 4. Valores dos parâmetros de corte utilizados nos experimentos**

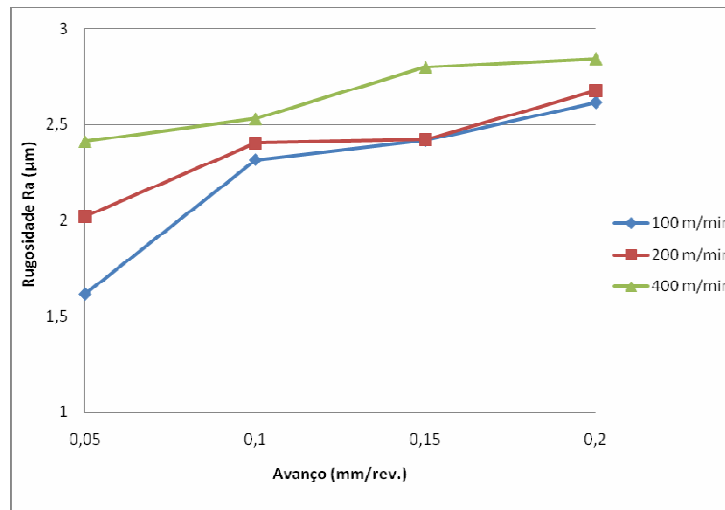
Velocidade de corte	Avanço
100 m/min.	0,05 mm/rev
200 m/min.	0,1 mm/rev
400 m/min.	0,15 mm/rev
	0,2 mm/rev

Durante a realização dos ensaios, a cada mudança na combinação de parâmetro de corte e/ou material, foi medida a qualidade da superfície torneada com um rugosímetro de bancada, e monitorado o aparecimento, ou não, de marcas de desgaste na ferramenta de corte, com auxílio do microscópio de ferramentaria. Também foi monitorada a temperatura do material em todos os ensaios, além da análise microestrutural da superfície usinada.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Rugosidade

Nas figuras a seguir encontram-se os resultados das rugosidades com alterações da velocidade de corte, avanço e quantidade de carga metálica no compósito. Nas figs. 3 a 6 são mostradas as alterações da rugosidade com o aumento do avanço e com três curvas distintas para cada velocidade de corte, sendo que cada figura apresenta uma quantidade de carga de ferro diferente (0%, 5%, 10%, 20% respectivamente). Já nas figs. 7 a 10 observa-se a alteração da rugosidade com o aumento da quantidade de carga de ferro no compósito, também com três curvas distintas para cada velocidade de corte e para avanços de 0,05 mm/rev, 0,1 mm/rev, 0,15 mm/rev e 0,2 mm/rev respectivamente.



**Figura 3. Rugosidade vs Avanço da resina epóxi**

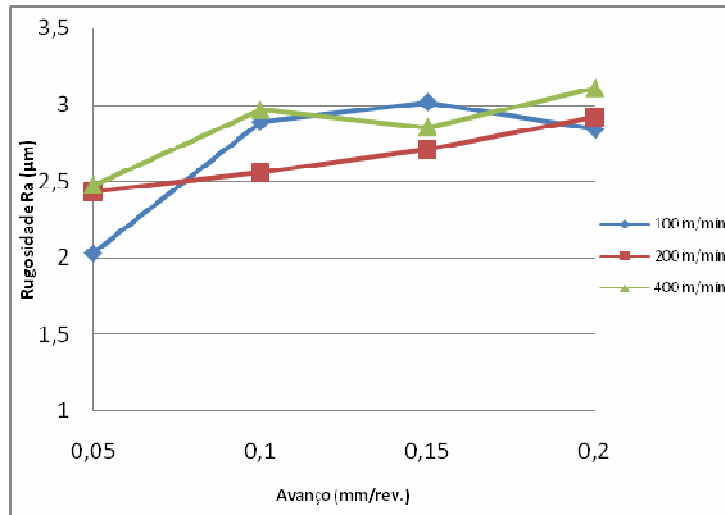


Figura 4. Rugosidade vs Avanço do compósito com 5% de ferro

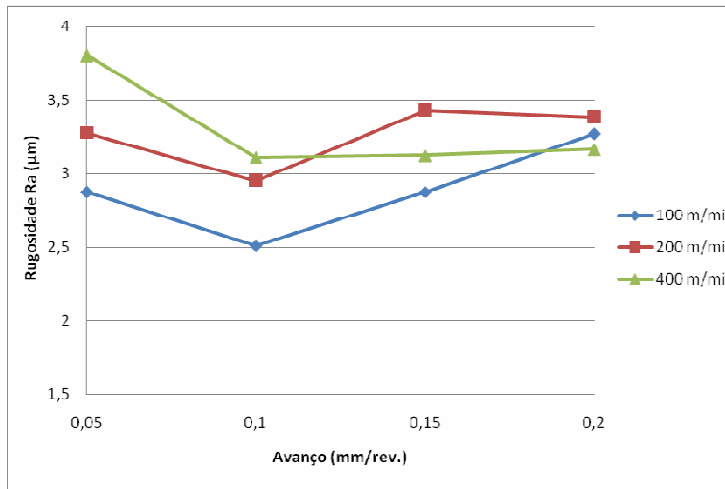


Figura 5. Rugosidade vs Avanço do compósito com 10% de ferro

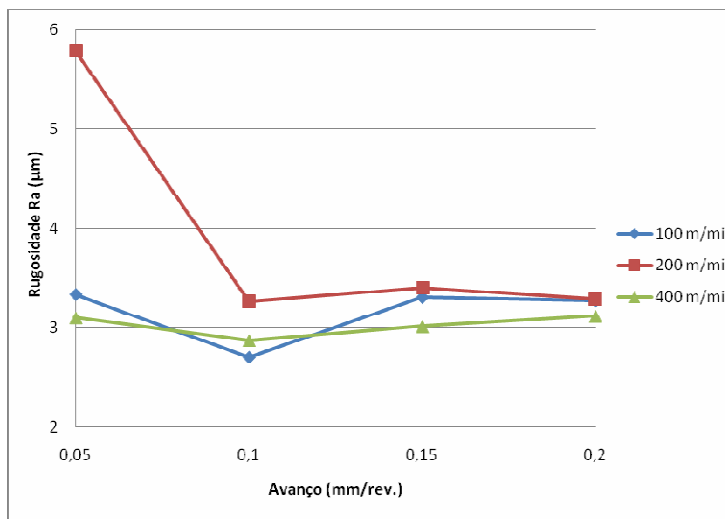


Figura 6. Rugosidade vs Avanço do compósito com 20% de ferro

Nota-se nas figuras anteriores que o aumento do avanço influencia diretamente na medida da rugosidade, ou seja, com o aumento do avanço existe um crescimento da rugosidade. No entanto, para os materiais com 10% e 20% de carga de ferro quando o avanço é de 0,05 mm/rev apresentam valores de rugosidade superiores do que os avanços maiores (0,1; 0,15 e 0,05 mm/rev), figs. 5 e 6. Esta alteração provavelmente ocorreu porque se empregou neste experimento uma ferramenta com um raio de quina elevado (0,8 mm) (para obter-se uma boa qualidade da superfície do material), combinado com uma pequena profundidade de corte (0,5 mm) e um pequeno avanço (0,05 mm/rev). Todos esses fatores somados podem apresentar um arrastamento da ferramenta de corte pelo material no torneamento, que após cortar as partículas de ferro arrasta-as pelo material e isto possivelmente originou os riscos pelo material (que serão mostrados posteriormente). Estes riscos pelo material proporcionam uma piora na qualidade da superfície do material, aumentando sensivelmente a rugosidade destes.

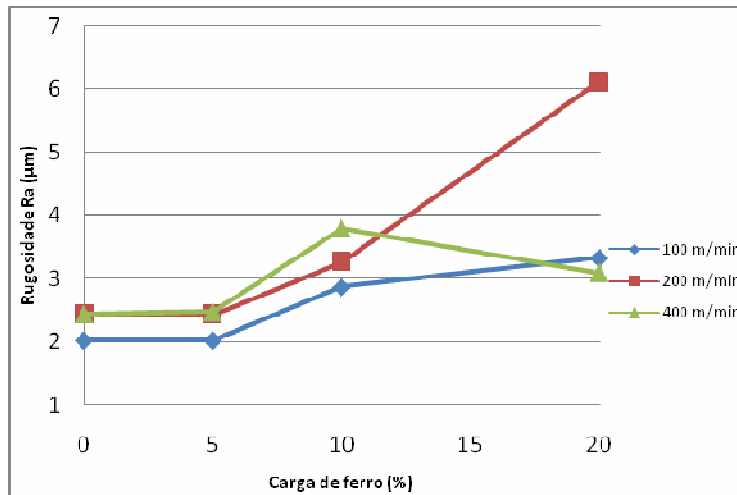


Figura 7. Rugosidade vs % de ferro no material para um avanço de 0,05 mm/rev

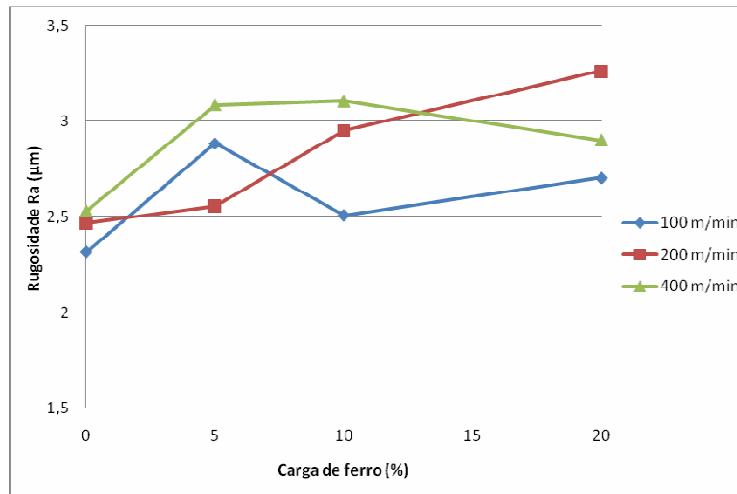


Figura 8. Rugosidade vs % de ferro no material para um avanço de 0,1 mm/rev

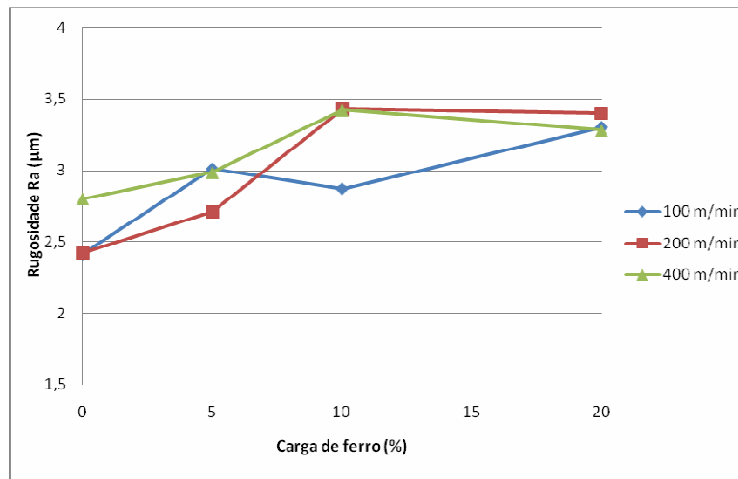


Figura 9. Rugosidade vs % de ferro no material para um avanço de 0,15 mm/rev

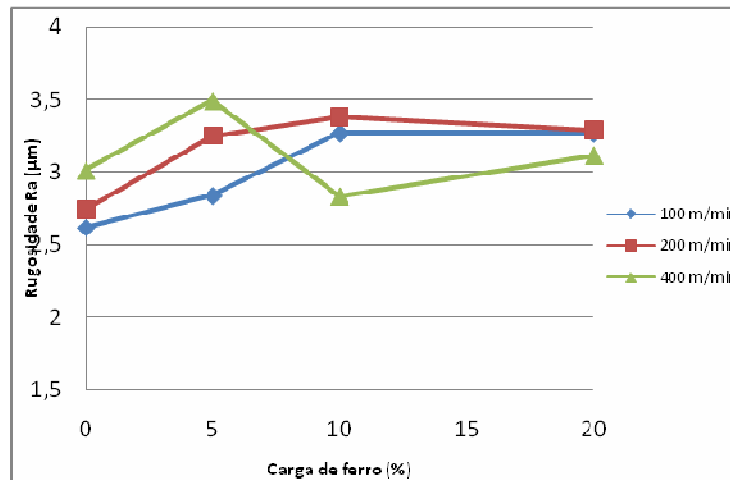


Figura 10. Rugosidade vs % de ferro no material para um avanço de 0,2 mm/rev

Na fig. 7, com avanço de 0,05 mm/rev, o aumento da quantidade de carga de ferro no compósito interfere diretamente na qualidade da superfície usinada. Como já foi descrito anteriormente esta piora na qualidade da superfície está diretamente relacionada ao aparecimento de riscos no material. Já para os outros avanços (figs. 8, 9 e 10) existe uma alteração na rugosidade da superfície usinada com o acréscimo de quantidade de carga de ferro no compósito, mas de maneira não muito significativa, ou seja, existe uma pequena piora na qualidade da superfície do material após a usinagem com aumento de ferro no material, mas que não é expressivo.

A velocidade de corte influenciou de modo diferente a qualidade da superfície usinada deste material, se comparada com a sua influência exercida nos metais em geral, no qual o aumento da velocidade de corte melhora o acabamento da superfície, devido ao aparecimento de gume posição (Stemmer, 1995). No entanto, para o compósito com 20% de ferro em seu volume essa tendência já se altera, visto que pelo compósito começar a possuir mais propriedades dos materiais metálicos.

### 3.2. Análise da Microestrutura da Superfície

Na fig. 11 tem-se a microestrutura da superfície usinada do compósito com 10% de carga de ferro e aumento de 50x, com uma velocidade de corte de 200 m/min. e avanço de 0,05 mm/rev, que apresentou problemas de rugosidade, como comentado anteriormente. Já a fig. 12 apresenta o mesmo material e os mesmos parâmetros de corte, porém para um aumento de 120x. Pode-se observar que grande parte das partículas de ferro arrancadas ou cortadas pela ferramenta arranham o material, fato que prejudica substancialmente a qualidade da superfície do material.

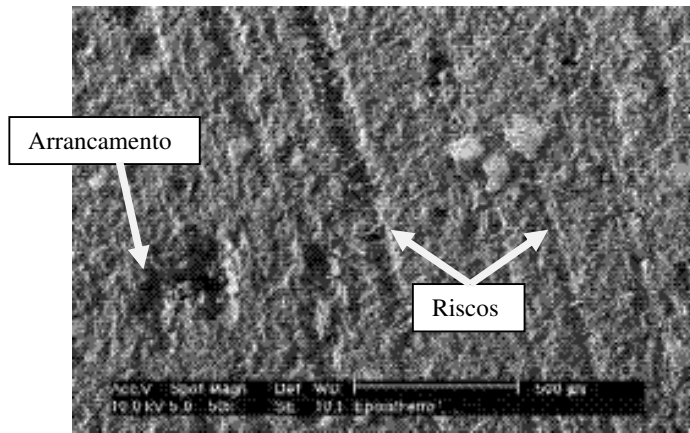


Figura 11. Microestrutura do compósito com 10% de ferro e aumento de 50x

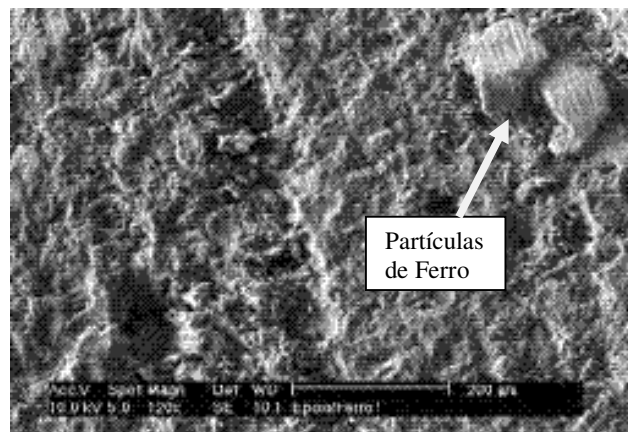


Figura 12. Microestrutura do compósito com 10% de ferro e aumento de 120x

Já quando se utiliza avanço de 0,2 mm/ver, o problema de riscos no material não aparecem mais, como nas figs. 12 e 13, onde foi utilizado o material com 20% de cargas de ferro e uma velocidade de corte de 400 m/min. Observa-se também que o número de partículas que são desprendidas da matriz polimérica é bem menor do que as que permanecem no compósito após a usinagem, significando que existe uma aderência entre as partículas de metal e a matriz polimérica de resina epóxi. Na fig. 12 visualiza-se claramente as linhas de corte nas partículas de ferro e uma cavidade gerada pelo desprendimento de uma partícula. O aumento nas figs. 12 e 13 são respectivamente de 50x e 120x.

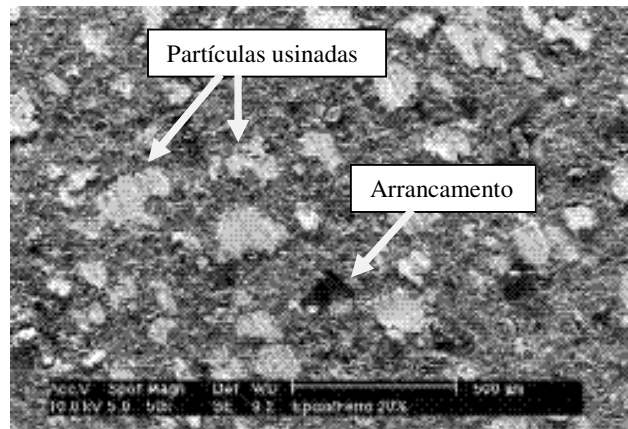


Figura 13. Microestrutura do compósito com 20% de ferro e aumento de 50x





Figura 14. Microestrutura do compósito com 20% de ferro e aumento de 120x

### 3.3. Monitoramento da Temperatura e do Desgaste da Ferramenta

Em nenhuma das usinagens monitoradas as temperaturas dos materiais atingiram o valor da  $T_g$  da resina epóxi, que é de 127 °C quando utiliza-se 45% de endurecedor na resina, e em nenhum dos casos a temperatura chegou à metade do valor da  $T_g$ . O valor máximo da temperatura no material durante a usinagem foi de 69 °C para a resina de epóxi pura e com avanço de 0,2 mm/rev, quando se utiliza um compósito com 20% de carga de ferro este valor cai para 54 °C.

Não foi encontrado nenhum vestígio de desgaste nas ferramentas durante todos os ensaios de usinagem.

## 4. CONCLUSÕES

Os maiores problemas ocorreram nos avanços de 0,05 mm/rev, pois o elevado valor do raio da ferramenta (0,8 mm) fez com que as partículas cortadas e arrancadas pela ferramenta riscassem a peça. A elevada rugosidade observada em alguns casos foi decorrência do arrancamento de partículas de ferro com tamanho de grão elevado, e isso poderia ser evitado com uma diminuição do tamanho do grão.

O valor encontrado da rugosidade para este material é elevado para os moldes de injeção mais críticos, podendo apenas ser utilizado em moldes de peças que não exijam alta qualidade da superfície. Estima-se que a rugosidade pode ser diminuída com um controle maior do tamanho de grão das partículas de ferro, ou seja, a diminuição destas partículas. Esta diminuição ocorre pelo fato de algumas destas partículas serem arrancadas e se o tamanho do grão for menor, menor será a cratera gerada.

O aumento da temperatura não foi problemático para os ensaios, pois não ultrapassou 70 °C, que é um pouco a mais que a metade da  $T_g$  do material (127 °C).

## 5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho de investigação foi desenvolvido nos laboratórios do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Os autores agradecem ao suporte financeiro do CNPq e da CAPES, além da Sandvik Coromant do Brasil pela doação das ferramentas utilizadas nos estudos.

## 6. REFERÊNCIAS

- Goyanes, S., Marzocca, A.G.R., Salgueiro, W., Somoza, A., Consolati, G., Mondragon, I., 2003 "Yield and internal stresses in aluminium filled epoxy resin. A compression test and positron annihilation analysis", Polymer, Vol. 44, pp. 3193-3199.
- Jesus, M.S., 2005, "Desenvolvimento de um Compósito Polímero-Metal à Base de Resina Epóxi para Aplicações em Moldes Rápidos", Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC.
- Mamunya, Y. P., Pissis V.V.D., P., Lebedev E. V., 2002, "Electrical and thermal conductivity of polymers filled with metal powders". European polymer journal, Vol. 38, pp. 1887-1897.
- Palanikumar, K., Karunamoorthy L. and Manoharan N., 2006, "Mathematical Model to Predict the Surface Roughness on the Machining of Glass Fiber Reinforced Polymer Composites", Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 25, pp. 407-419.

Shengzu, W.S.A., Jang, B.Z. 1997, "Mechanical and thermo-mechanical failure mechanism analysis of fiber/filler reinforced phenolic matrix composites". Composites part B, Vol. 28, pp. 215-231.  
Stemmer, C. E., 1995, "Ferramentas de Corte I", 4a Edição. Editora da UFSC.

## 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

# EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE MACHINING CONDITIONS ON A COMPOSITE OF A POLYMER WITH IRON LOADS

Fernando Lemonje Westrupp, flwestrupp@yahoo.com.br<sup>1</sup>

João Carlos Espíndola Ferreira, jcarlos@emc.ufsc.br<sup>1</sup>

Gean Vítor Salmoria, gsalmoria@emc.ufsc.br<sup>1</sup>

Noel Álvarez del Pino, noel@ict.uho.edu.cu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, Department of Mechanical Engineering, GRUCON, Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis, SC, Brazil

<sup>2</sup> Universidad de Holguín, Facultad de Ingeniería, Avenida XX Aniversario, CP 80100, Piedra Blanca, Holguín, Cuba

**Abstract.** *In this work a study on the influence of the machining conditions on a composite material composed of a polymer (epoxy resin) with metal loads (iron) is presented. The machining experiments were accomplished in a Romi CNC lathe. In the experiments a constant depth of cut was used (only for finishing), having as variables the feed, the cutting speed, and the amount of metal load in the composite. The material of the cutting tools used was tungsten carbide without coating. Three different values for cutting speed, four values for feed, and four variation of part materials were chosen, with the intention of identifying which combination of these machining parameters and materials lead to the best results, regarding roughness and tool life. The influence of the machining parameters on the quality of the part's surface and tool wear was investigated, and in order to accomplish that, the tool wear, the part temperature, as well as the surface quality of the parts were monitored during the experiments. With the experiments it was verified that the machining of the composite is viable, because the temperature of vitreous transition of the material was not reached, and also due to the absence of wear and tear marks in the cutting tools.*

**Keywords:** *Polymers, Iron Load, Machining, Tool Life, Roughness*

## RESPONSIBILITY NOTICE

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