

**XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP**  
Artigo CREEM2012

## **FORMAÇÃO DE SUPERFÍCIE NA USINAGEM DE ALTO DESEMPENHO DE UM MATERIAL COM GRÃOS ULTRAFINOS**

**Otávio Zem Lopes Ponce, Renata Moreira Grass, Cleiton Lazaro Fazolo de Assis, Renato Goulart Jasinevicius**

USP, Universidade de São Paulo, Curso de Engenharia Mecânica  
Campus São Carlos - Pq Arnold Schimidt - CEP 13566-590 – São Carlos – São Paulo  
E-mail para correspondência: otavio.ponce@usp.br

### **Introdução**

A importância da usinagem reside na sua abrangente utilização pela indústria em diversos ramos, como a indústria automobilística, aeroespacial e médica-odontológica. Nesse contexto, é conveniente aumentar a produtividade e, conseqüentemente, reduzir os custos de operações de usinagem. Uma forma de otimizar o processo é com a aplicação de condições de usinagem de alto desempenho, utilização de materiais endurecidos e a realização da usinagem sem uso de fluidos de corte.

No contexto da usinagem de alto desempenho envolvendo alta velocidade de corte, há a busca por melhor acabamento da superfície usinada e menores tolerâncias dimensionais, além de maior produtividade em relação à usinagem em velocidades tidas como convencionais. No entanto, aumentos de velocidade de corte e de avanço para usinagem com alta produtividade são geralmente restritos, pois o aquecimento causa um rápido desgaste da ferramenta e variações dimensionais da peça (König e Klocke, 1997). De acordo com o modo como o processo é realizado, as altas taxas de cisalhamento e a ruptura durante a remoção de material de uma peça podem danificar a superfície usinada.

Em 1964, os pesquisadores Field e Kahles citaram pela primeira vez o termo "integridade superficial", definindo-o como o conjunto de alterações na superfície da peça, causado pela ação natural do processo de fabricação. O conjunto mínimo de informações que permite a caracterização da natureza da camada superficial da peça pode ser obtido pela rugosidade, macro e microestrutura e microdureza. A integridade superficial de peças usinadas pode ser governada basicamente pelos efeitos mecânicos e térmicos, dependendo do nível (efeito mecânico) e da taxa (efeito térmico) de deformação gerados no processo de usinagem.

A superfície submetida ao processo de usinagem resulta de mecanismos que envolvem deformações plásticas, ruptura, recuperação elástica, geração de calor, vibrações, tensões residuais e reações químicas. Todos esses fatores afetam a qualidade de uma superfície. Dessa forma, utiliza-se o termo integridade superficial para descrever e caracterizar essas alterações (Machado et al., 2009). Assim, o estudo da integridade superficial de uma peça usinada em condições de alto desempenho é fundamental para assegurar a qualidade da peça.

Alterações metalúrgicas do material também podem influenciar a integridade superficial do componente usinado. É possível intervir metalurgicamente no material a ser usinado, visando o aprimoramento das propriedades mecânicas e sua usinabilidade, de forma que a usinagem de alto desempenho possa ter um impacto positivo sobre a integridade superficial.

### **Objetivos**

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da usinagem de alto desempenho na integridade superficial de um material com grãos ultrafinos. Para tanto, foram analisadas variáveis como acabamento superficial e dureza superficial das amostras usinadas em relação à microestrutura do material, comparando os resultados obtidos na usinagem de dois materiais com tamanho médio de grão de 11µm e 0,7 µm (grãos ultrafinos).

## Metodologia

Os ensaios de alto desempenho foram realizados num centro de usinagem CNC Hermle C800U, de três eixos e rotação máxima de 24000 rpm. A operação de usinagem adotada foi o fresamento de topo, em corte concordante, sem emprego de fluido de corte. Imagens das superfícies foram feitas com auxílio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) da marca Philips, modelo XL-30-TPM. As imagens em 3D da superfície usinada foram feitas com auxílio de um perfilômetro ótico Veeco, modelo Wyko NT1100. As medidas de microdureza superficial foram realizadas com microdurômetro da marca Leica, modelo VMHT MOT, empregando carga de 100 gf.

O material utilizado para os corpos de prova foi um aço 0,16%C, denominado comercialmente como COS AR60, fornecido pela Usiminas-Cubatão S/A na forma de chapa grossa. Parte dos corpos de prova foi submetida a processamento termomecânico para refino de grão. A Tab. 1 apresenta a composição química do material.

**Tabela 1 – Composição química do material utilizado (% em peso)**

C	Mn	P	S	Si	Al	Cu	Cr	Ni	Nb	V	Ti	Ceq
0,15	1,49	0,027	0,009	0,27	0,046	0,005	0,276	0,008	0,048	0,044	0,016	0,40

As pastilhas de metal duro, recobertas com PVD-TiN (código R390-11 T3 08M-PL 1025) foram fornecidas pela Sandvik Coromant. Os parâmetros de usinagem foram definidos de acordo com dados especificados pelo fabricante das ferramentas de corte e de acordo com o conceito de usinagem de alto desempenho.

**Tabela 2 - Parâmetros de usinagem**

Velocidade de corte [m/min]	800
Profundidade de usinagem [mm]	0,5
Avanço por dente [mm/z]	0,3
Largura de usinagem [mm]	2
Tamanho médio de grão do material [ $\mu\text{m}$ ]	0,7 e 11

## Resultados

Os corpos de prova na condição como recebido (tamanho de grão  $11\mu\text{m}$ ) apresentaram uma superfície com marcas de avanço e sem formação de fluxo lateral de cavaco, porém maiores ampliações feitas com auxílio de MEV revelaram a presença de deformações, pequenos fragmentos de material da peça provenientes de má formação de cavaco, arrancamentos de material, microtrincas (de extensão menor que o tamanho de grão do material) e cavidades, conforme observado na Fig. 1.

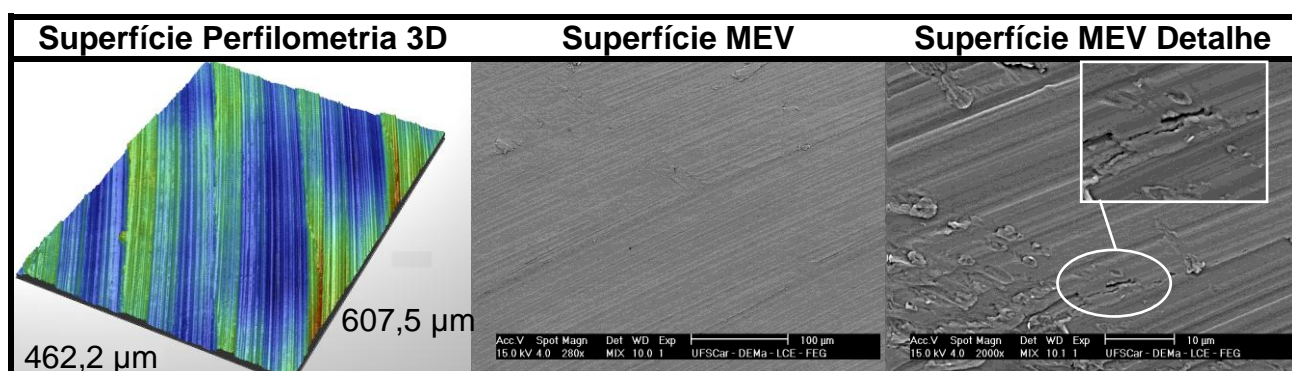


Figura 1 - Imagens de superfície do material Como Recebido.

A superfície do material com grãos ultrafinos apresentou melhor acabamento, com marcas de avanço menos visíveis e com menos defeitos ao longo da extensão da superfície da peça. A análise das imagens de MEV da superfície usinada do material com grãos ultrafinos revelou a presença de microcrateras da ordem de tamanho dos grãos do material ao longo da superfície. A análise das imagens da Fig. 2 mostra tratar-se de arrancamento de um pequeno conjunto de grãos, evidenciando o contorno de grão.

A alta velocidade de corte envolvida no processo de usinagem realizado, associada às maiores forças de corte decorrentes do alto valor de avanço, impõe altas taxas de cisalhamento que resultaram em acúmulo de

energia de corte nos grãos mais dúcteis da superfície antes de serem propriamente cortados. Simoneau e Elbestawi (2006) propuseram que essa absorção precoce de energia de corte evolui para uma alta tensão plástica no contorno de grão do material da peça. Simultaneamente, ocorre um aumento de temperatura e subsequente arrancamento de grão.

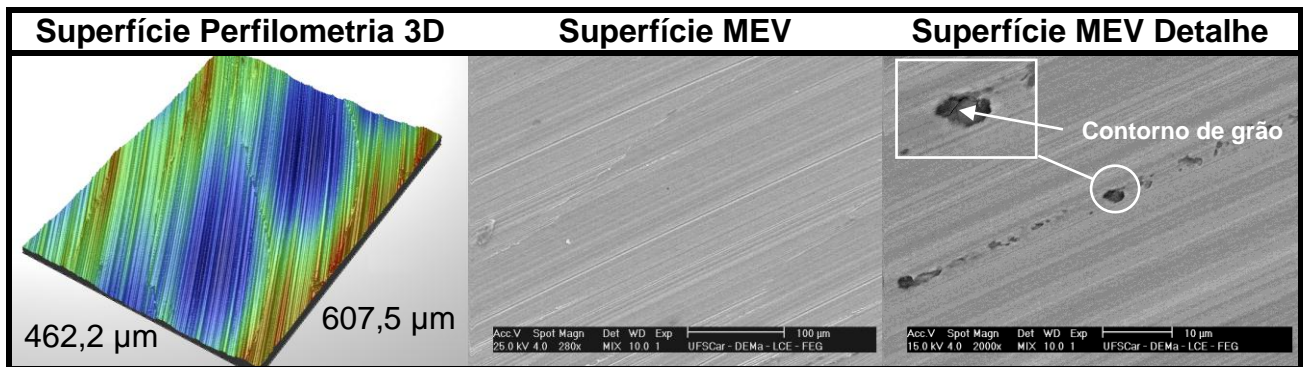


Figura 2 - Imagens de superfície do material Como Recebido.

Quanto à dureza da superfície usinada dos corpos de prova ensaiados, foi constatado que, após a usinagem a dureza da superfície do material como recebido (CR) foi maior que a do material com grãos ultrafinos (GUF). A comparação da dureza superficial dos materiais usinados está representada na Fig. 3.

O aumento da dureza na superfície das amostras usinadas está relacionado ao fenômeno de encruamento dos grãos, também conhecido como endurecimento por deformação plástica. Durante a deformação plástica, as discordâncias movimentam-se, multiplicam-se, interagem entre si adquirindo degraus e formando emaranhados, de modo que a sua movimentação exige tensões crescentes (Padilha, 2000).

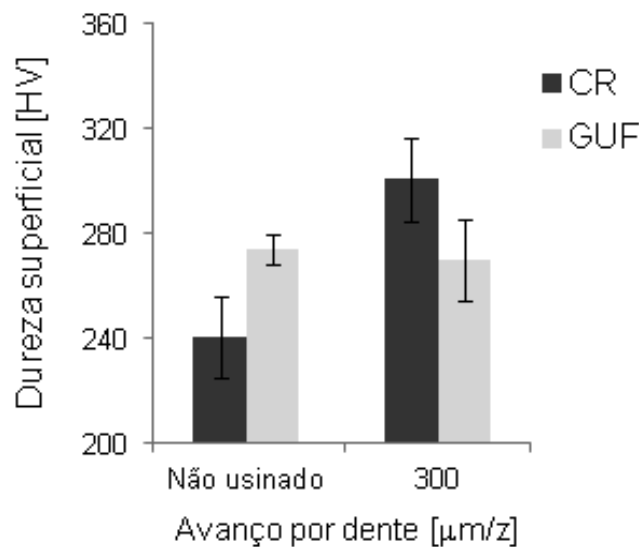


Figura 3 – Variação da dureza superficial

O material 'como recebido' possui menor resistência à deformação em comparação ao material com grãos ultrafinos, já que a maior quantidade de contornos de grão deste dificulta a movimentação de discordâncias. Uma caracterização microestrutural da borda usinada das peças está em andamento para verificar a possível deformação dos grãos e traçar um perfil de microdureza ao longo da subsuperfície das peças, de modo a aferir a espessura da camada afetada pelo processo de fresamento de alto desempenho.

## Conclusão

Em operações de usinagem de alto desempenho, o tamanho médio de grão do material apresenta influência direta na integridade superficial da peça. Foram observados diversos defeitos na superfície do material como recebido, como deformações, fragmentos de material da peça, arrancamentos de material, microtrincas e cavidades. E em comparação ao material com grãos ultrafinos constatou-se que as

microcrateras possuem a dimensão do grão do material da peça, favorecendo uma superfície com menos defeitos e melhor acabamento. A usinagem de alto desempenho afetou a dureza da superfície usinada do material como recebido, enquanto a usinagem do material com grãos ultrafinos não causou variação de dureza superficial. Portanto, o material com grãos ultrafinos apresenta melhor qualidade superficial em relação ao seu homólogo de grãos grosseiros, sendo mais indicado para aplicações que envolvam a usinagem de alto desempenho. Cabe como continuidade deste estudo, avaliar quantitativamente a rugosidade das peças usinadas e mensurar as microcrateras visando comprovações estatísticas que confirmem a relação entre tamanho de grão do material da peça e o tamanho das microcrateras. Análises da borda usinada estão em andamento para aferir a espessura da camada afetada pela usinagem de alto desempenho.

### **Referências**

- König, W., Klocke, F., “Fertigungsverfahren. Drehen, Fräsen, Bohren” 5. ed. Berlin Springer-Verlag, 471p., Berlin, DE, 1997.
- Machado, A. R. et al., “Teoria da usinagem dos materiais”, Editora Blucher, São Paulo, SP, 384p., 2009.
- Padilha, A. F., “Materiais de Engenharia – Microestrutura e Propriedades”, Hemus Livraria, Distribuidora e Editora S.A., 2000.
- Simoneau, A., Elbestawi, M. A., “Surface defects during microcutting”, International Journal of Machine & Manufacture; v. 46, p. 1378-1387, 2006.