

# ANÁLISE DA INTEGRIDADE DA SUPERFÍCIE DE UMA FERRAMENTA DE METAL DURO

**Adriana Ana Pereira, Eng. Mec.**

GRUCON - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário – Trindade, Florianópolis/SC, Brasil, Caixa Postal 476 – EMC – 88010-970.  
[adriana@grucon.ufsc.br](mailto:adriana@grucon.ufsc.br)

**Lourival Boehs, Dr. Eng.**

GRUCON - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário – Trindade, Florianópolis/SC, Brasil, Caixa Postal 476 – EMC – 88010-970.  
[lb@grucon.ufsc.br](mailto:lb@grucon.ufsc.br)

**Resumo.** *A relação entre desgaste e integridade da superfície de uma ferramenta de metal duro com  $V_b=0,26\text{mm}$  é observada neste trabalho por várias técnicas de caracterização microestrutural, dentre elas: microscopia eletrônica de varredura, espectroscopia de energia dispersiva e difratometria de raio-X. Por meio de uma análise qualitativa, é possível observar as alterações na face e no flanco, compatíveis com os esforços aplicados a cada área da ferramenta de corte.*

**Palavras-chave:** *integridade; desgaste da ferramenta; caracterização microestrutural.*

## 1. INTRODUÇÃO

As exigências por maior confiabilidade em relação aos produtos usinados tem levado os pesquisadores a considerar a integridade de uma superfície como um fator importante durante a avaliação dos ensaios de usinagem.

Apesar de haver relação entre textura e integridade de uma superfície, inúmeros trabalhos referentes ao estudo do desgaste das ferramentas consideram somente as informações de textura (Gekonde e Subramanian, 2002; Jaspers e Dautzenberg, 2002; Byrne e Barry, 2001; Poulachon, Moisan e Jawahir, 2001; Liu, Ai, Zhang e Wang, 2002). Contudo, a integridade da superfície é influenciada por vários fatores, entre eles, térmicos, químicos e mecânicos.

No processo de usinagem, o trabalho mecânico para deformar o material é praticamente todo transformado em energia térmica. Segundo König (1997), o aquecimento se deve aos seguintes fatores: atrito da ferramenta com a peça e com o cavaco, responsável por 25% do calor gerado; trabalho de dobramento do cavaco, responsável por 75% do calor gerado. Boa parte do desse calor gerado, isto é, até cerca de 75% é removido da zona de corte pelo cavaco e 18% é transferido para a ferramenta, como mostra a Fig. (1a). A temperatura na face da ferramenta, Fig. (1b) depende da condutibilidade térmica do material do qual é feita a ferramenta, influenciando significativamente os parâmetros de usinagem.

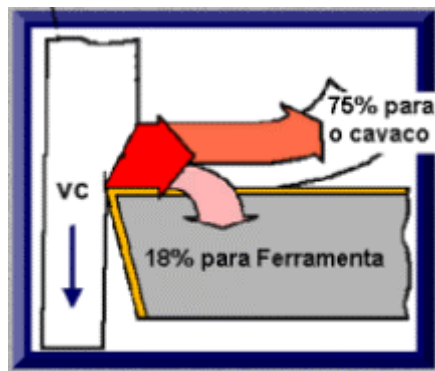


Figura 1a. Transferência do Calor Gerado (In: Tonshoff e Ben Amor, 2002).

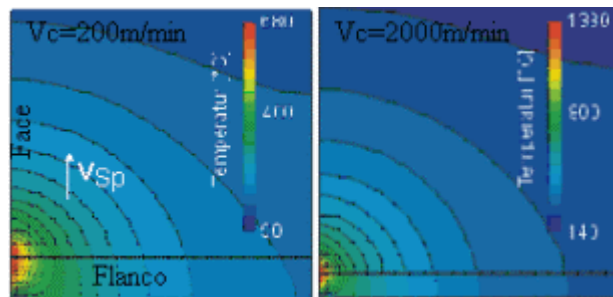


Figura 1b. Distribuição da temperatura na face da ferramenta HC P30, com revestimento  $Ti(C,N)/Al_2O_3$  (In: Tonshoff e Ben Amor, 2002).

A velocidade de corte e o calor gerado são os principais fatores que influenciam o tipo de desgaste e a vida da ferramenta. Os dois tipos mais comuns de desgaste apresentados na Fig. (2) são:

- Desgaste de cratera: decorrente do forte atrito do cavaco com a face da ferramenta e do processo de difusão entre estes;
- Desgaste de Flanco: é resultante do atrito dos flancos da ferramenta com a superfície transitória e superfície usinada da peça.

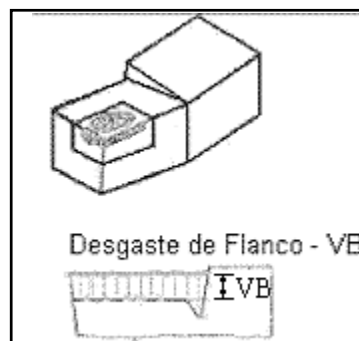


Figura 2. Desgaste de flanco e de cratera

Em estudos, Lenz e Friedman (1971) analisaram o efeito da condutibilidade térmica sobre o comprimento de contato do cavaco com a face da ferramenta, concluindo que este contato é governado pelo campo de distribuição da temperatura na zona de contato. Segundo Chão e Trigger (1958), além do referido fator, o comprimento de contato é influenciado pela condutibilidade, atrito entre o par

tribológico, Fig. (3), bem como a tensão desenvolvida na face da ferramenta, também contribui para o comprimento de contato.

Sendo assim, não é possível através de uma análise somente da textura da superfície da ferramenta observar com nitidez a influência dos parâmetros descritos acima no desgaste da ferramenta, bem como na sua integridade.

Para facilitar o entendimento do assunto em pauta, serão apresentados a seguir algumas características da ferramenta de metal duro.



Figura 3. Par tribológico cavaco-ferramenta

### 1.1. Ferramenta de Metal Duro

O metal duro é constituído por uma matriz metálica de cobalto ou níquel, com carbonetos de Ti, Ta, Nb e W presentes na sua estrutura, conferindo elevada dureza e resistência ao desgaste à ferramenta. Devido o processo metalúrgico de obtenção, as ferramentas apresentam grande resistência à compressão e resistência ao desgaste a quente. A fig. (4) mostra esquematicamente as distintas fases no metal duro.

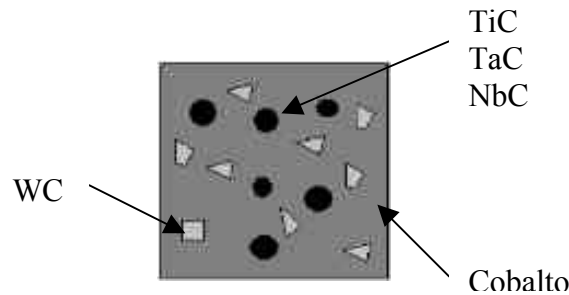


Figura 4. Fases presentes na ferramenta de metal duro (*In*: Ab, 1994)

Já as principais propriedades dos componentes presentes no metal duro são (Ab, 1994):

- Carboneto de tungstênio (WC): devido sua solubilidade no cobalto, resulta a alta resistência das ligações internas;
- Carbonetos de titânio (TiC): tem menor resistência de ligações e às vezes forma um carboneto misto com o WC;
- Carboneto de tântalo (TaC): em pequena quantidade, atua como refinador de grão, melhorando a tenacidade da ferramenta;
- Carboneto de nióbio (NbC): tem efeito semelhante ao TaC e apresenta-se na forma Ta-(Nb)-C;
- Cobalto (Co): é considerado o melhor material para matriz devido à elevada solubilidade do WC nele.

Tendo em vista o panorama apresentado, este trabalho visa relacionar a integridade de uma ferramenta de metal duro com o seu desgaste no flanco.

## 2. TRABALHO EXPERIMENTAL

### 2.1. Análise da integridade da superfície da ferramenta

A análise da integridade da superfície de uma ferramenta de corte de metal duro (CNGA120408) com  $V_b = 0.26$  mm foi realizada em uma ferramenta selecionada arbitrariamente sem o conhecimento prévio das informações referentes à classe de metal duro, material da peça usinado e parâmetros de corte, evitando assim uma avaliação tendenciosa. A seção transversal usada para análise é representada esquematicamente na Fig. (5).

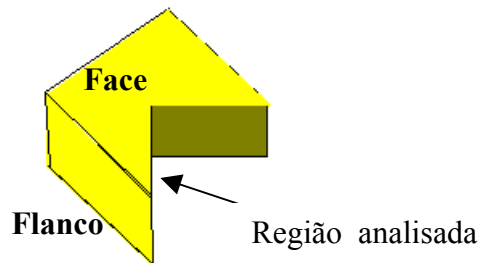


Figura 5. Seção removida para análise

Antes da preparação metalográfica da seção transversal, analisou-se a textura da ferramenta em um microscópio eletrônico de varredura, conforme apresentado na Fig. (6). As seguintes informações foram obtidas:

- A ferramenta em estudo apresenta acentuado desgaste na face e no flanco (Fig. 7), o que compromete a integridade do gume (Fig. 8) e do revestimento (Fig. 9).
- Na Figura (7), observa-se também o tamanho do desgaste no flanco e a textura da superfície nesse flanco da ferramenta. A Figura (9) ilustra os materiais presentes nas diferentes camadas (revestimento e substrato) da amostra em questão. A parte clara corresponde ao material com maior peso atômico e a parte escura ao material com menor peso atômico. Informações referentes à composição do material na região com desgaste e com revestimento da Fig. (6) são fornecidas nos espectros 1 e 2, respectivamente. Os índices K e L que acompanham os elementos químicos nos espectros referem-se ao número quântico principal.

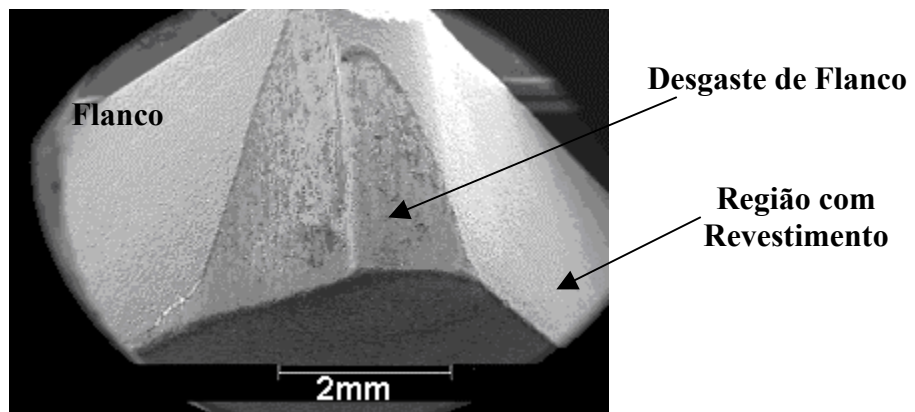


Figura 6. Textura do flanco

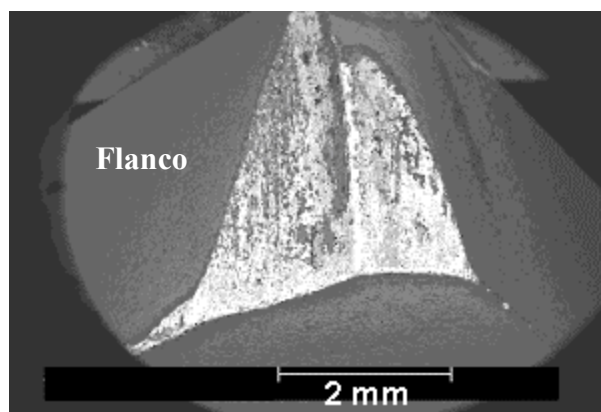


Figura 7. Composição no flanco

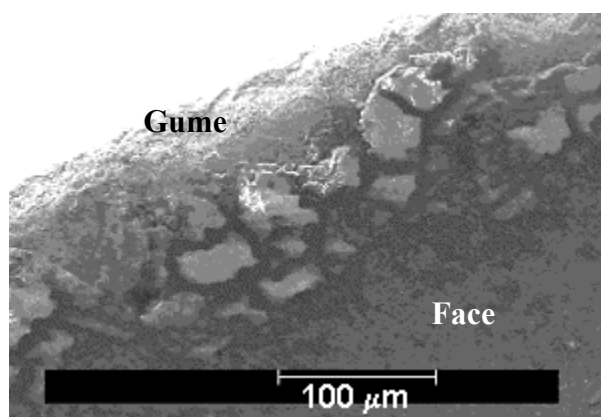


Figura 8. Integridade do gume

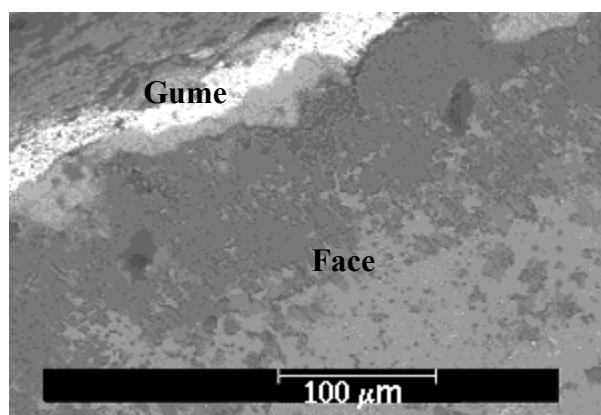
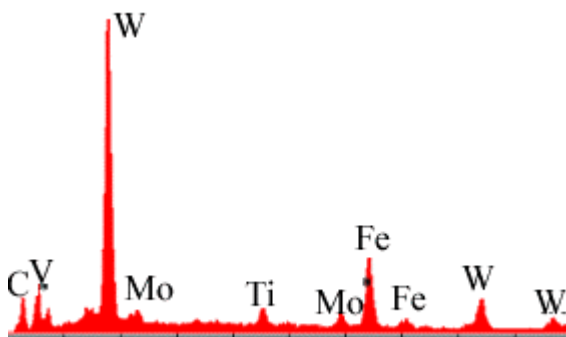


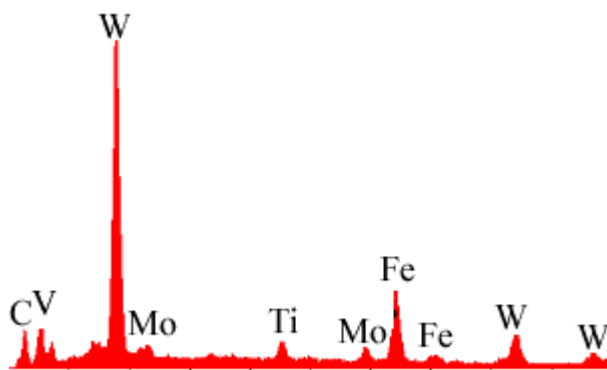
Figura 9. Diferentes camadas da cobertura

Espectro 1. Composição da região no flanco com desgaste



| Elementos | Peso atômico (%) | Massa atômico (%) |
|-----------|------------------|-------------------|
| C ( K )   | 22,34            | 62,38             |
| V ( L )   | 36,65            | 24,13             |
| Mo ( L )  | 0,98             | 0,34              |
| Ti ( K )  | 1,49             | 1,04              |
| Mn ( K )  | 1,62             | 0,99              |
| Fe ( K )  | 10,48            | 6,29              |
| W ( L )   | 26,43            | 4,82              |
| Total     | 100              | 100               |

Espectro 2. Composição da região no flanco com revestimento



| Elementos | Peso atômico (%) | Massa atômico (%) |
|-----------|------------------|-------------------|
| C (K)     | 25,65            | 56,66             |
| V (L)     | 23,82            | 12,41             |
| Al (K)    | 7,16             | 7,04              |
| Ti (K)    | 41,86            | 23,18             |
| Fe (K)    | 1,5              | 0,71              |
| Total     | 100              | 100               |

## 2.2 Preparação das Amostras para Análise Metalográfica

A seção removida (Figura 5) numa serra isomet com disco série 15HC Diamond (4" Dia x 0,012", Arbor size 1/2", Buehler – Diamond Wafering Blade) foi embutida com resina de alta dureza, para retenção das bordas. A superfície para análise, foi preparada por lixamento (lixas d'água com granulométrica de 220 até 1500), polimento (diamante 1µm e 0,3µm). Para melhor observação, utilizou-se o reagente Marble durante 30 segundos, que revelou melhor os contornos de grãos.

## 2.3 Análise da Estrutura Cristalina

Para caracterização da estrutura cristalina, removeu-se a amostra da resina. Essa amostra foi pesquisada no difratômetro de raio-X ( modelo Philips X Pert 40KV 30mA) equipado com tubo de cobre ( $\lambda=1.5418\text{\AA}$ ). As medições foram realizadas com  $2\theta$  variando de  $3.025^\circ$  até  $117.97^\circ$ . O resultado dessa medição é apresentado no espectro 4.

## 2.4 Análise da Composição Química

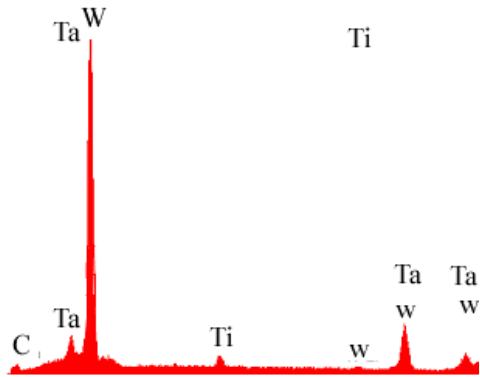
Foi realizada a microanálise química em um microscópio eletrônico de varredura modelo Phillips XL30, equipado com microsonda EDS (espectroscopia de energia dispersiva). Os resultados estão apresentados nos espectros 1, 2 e 3.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os elementos apresentados nos espectros 1 e 2, tais como: ferro, manganês, molibdênio e vanádio, têm sua origem no material da peça, depositado sobre a ferramenta. Os elementos carbono, titânio e tungstênio, espectro 1, fazem parte do substrato da ferramenta, confirmado no espectro 3. Observa-se que no espectro 2 aparece o elemento Al, não detectado na região sem cobertura, o que indica que a ferramenta tem revestimento de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , além do revestimento de TiN. O nitrogênio não aparece no espectro 2, por ser um elemento presente em pouca quantidade e devido ao seu baixo peso atômico, que contribui para que o detector da microsonda não capte o seu sinal correspondente.

A microanálise química apresentada nos espectros 1, 2 e 3 consiste em captar o raio-x emitido pelo material. Os índices K e L que acompanham os elementos nos espectros referem-se ao número quântico principal. As letras gregas  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  etc. são usadas para designar a ordem da intensidade dos raios-X provenientes de uma determinada camada excitada (Maliska).

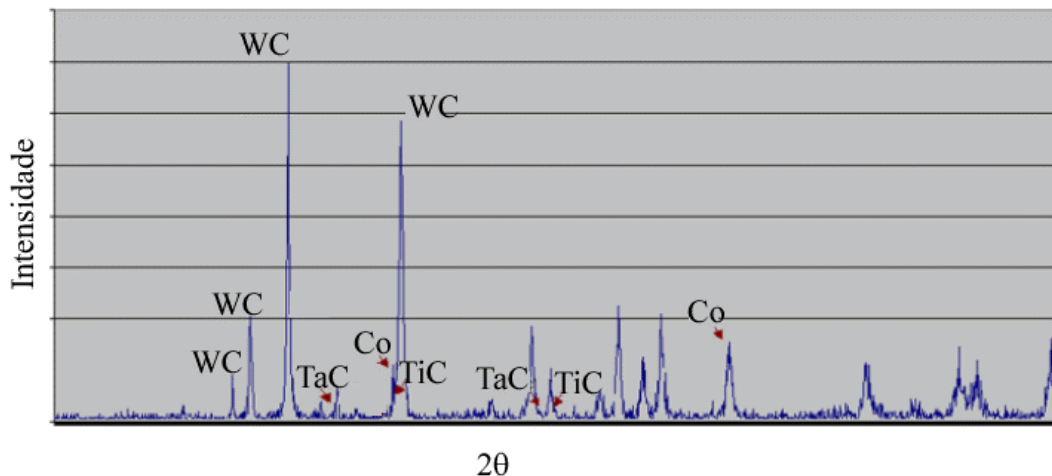
Espectro 3. Espectro e Composição da seção transversal



| Elementos | Peso Atômico (%) | Massa atômico (%) |
|-----------|------------------|-------------------|
| C (K)     | 3.21             | 32                |
| Ti (K)    | 2.79             | 6.94              |
| W (L)     | 88.53            | 57.5              |
| Ta (L)    | 5.47             | 3.61              |
| Total     | 100              | 100               |

A determinação da estrutura cristalina depende da obtenção das figuras de difração, produzidas por ondas que interagem com os átomos que têm comprimentos de onda comparáveis à ordem de grandeza das distâncias interatômicas (Kittel, 1978). O espectro obtido para a seção transversal da ferramenta é apresentado no espectro 4. Os elementos titânio, tântalo, tungstênio e carbono estão ligados na forma de carbonetos. Segundo Sandvik (1994), os carbonetos podem ocupar de 60 até 95% do volume do material.

Espectro 4. Espectro obtido por difratometria de raio-X na seção transversal





As deformações da microestrutura na face e no flanco da ferramenta não puderam ser dimensionadas com o tubo do difratômetro (tubo de cobre) disponível, uma vez que ele não é adequado para tal operação. Por isso, somente foi possível realizar uma análise qualitativa das imagens obtidas no microscópio eletrônico de varredura, o que permite confirmar nitidamente as deformações presentes na face e no flanco, Fig. (11) e Fig. (12), respectivamente. A Figura (12) apresenta a deformação da microestrutura no flanco da ferramenta, em razão de uma combinação de fatores, como atrito, temperatura e solicitação mecânica. A Figura (11) mostra o quanto os grãos junto à face estão deformados devido à pressão do cavaco e à temperatura envolvida durante o processo de usinagem. Tais resultados mostram a extensão do comprometimento da integridade da superfície da ferramenta e o quanto a análise da integridade é um fator importante para estudar a vida da ferramenta.

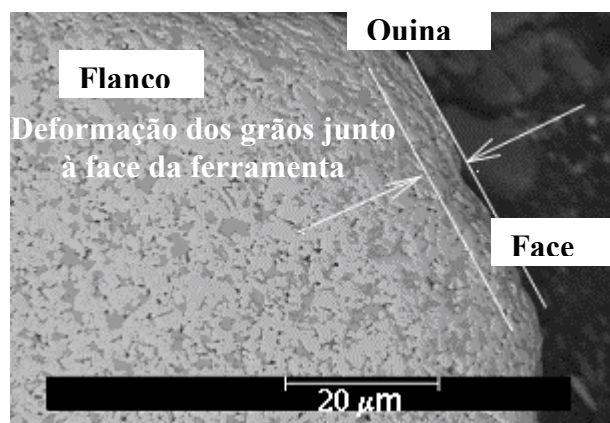


Figura 11. Imagem de composição na seção transversal ao corte.

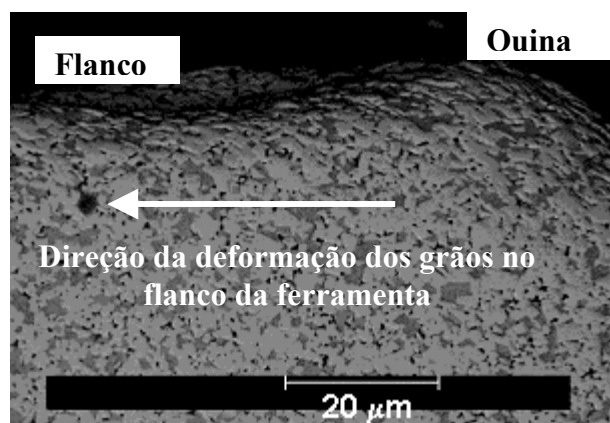


Figura 12. Imagem da deformação dos grãos no flanco

A partir de uma imagem de composição, fig. (11), é possível distinguir partículas claras que dizem respeito aos carbonetos e as partículas escuras referem-se ao cobalto, como é possível observar, a quantidade de partículas claras é maior que a de partículas escuras, portanto é possível concluir que esta ferramenta possui uma elevada dureza e resistência ao desgaste.



## 4. CONCLUSÃO

A quantidade e a qualidade das informações obtidas em uma situação é crucial no processo de entendimento dos mecanismos envolvidos na integridade de uma ferramenta, pois tornam a análise progressivamente mais correta e eficiente. É claro que a quantidade e a qualidade dessas informações estão diretamente relacionadas com às técnicas de caracterização disponíveis.

Este trabalho procurou trazer, de forma clara e sistemática, os recursos e as etapas empregadas e os resultados obtidos para cada técnica.

O uso da técnica de difratometria de raio-X permitiu determinar a estrutura do material, e possíveis alterações microestruturais decorrentes da pressão e da temperatura envolvida durante o processo de corte. Outra vantagem do emprego dessa técnica é a possibilidade de observar a afinidade de elementos da peça e da ferramenta, ao passo que uma análise somente de textura não permite identificar os elementos envolvidos no processo de difusão.

Com auxílio do microscópio eletrônico de varredura, obtiveram-se imagens de alta resolução e com riqueza de detalhes, o que tornou possível uma análise qualitativa das deformações na face e no flanco da ferramenta.

Diante dos resultados obtidos, fica evidente que um estudo adequado do desgaste da ferramenta de corte deverá levar em consideração não somente informações de textura, mas também de integridade da sua superfície.

## 5. REFERÊNCIAS

- Gekonde, H.O., Subramanian, S.V., 2002, "Tribology of tool-chip interface and tool wear mechanisms", *Surface and Coatings Technology* 149, pp.41-44.
- Jaspers, S.P.F.C., Dautzenberg, J.H., 2002, "Material behaviour in metal cutting: strains, strain rates and temperatures in chip formation", *Journal of Materials Processing Technology* 121, pp.123-135.
- Byrne, G., Barry, J., 2001, "Cutting tool wear in the machining of hardened steels, Part I: alumina/TiC cutting tool wear", *Wear* 247, pp.139-151.
- Poulachon, G., Moisan, A., Jawahir, I.S., 2001, "Tool-wear mechanisms in hard turning with polycrystalline cubic boron nitride tools". *Wear* 250, pp.576-586.
- Liu, Z.Q., Ai, X., Zhang, Z.T., Wang, Z.T., 2002, "Wear patterns and mechanisms of cutting tools in high-speed face milling", *Journal of Materials Processing Technology* 129, pp.222-226.
- Stemmer, C.E., 1995, "Ferramenta de Corte I", 2º ed., Florianópolis, Editora da UFSC.
- Chao, B.T., Trigger, K.J., 1958, "Temperature Distributions at Tool-Chip and Tool-Work Interface in Metal Cutting", *Trans. ASME* 80, pp.311-320.
- Friedman, M.Y., Lenz, E., 1971, "Investigation of the Tool-Chip Contact Length in Metal Cutting", *Int. Journal of Mach. Tool Des. Res.* 10, pp.401-416.
- AB Sandvik Coromant, 1994, "Modern Metal Cutting – A Practical Handbook", Sweden.
- Tönshoff, T., Ben Amor, R., "Machinability of GJV – Theories and Test Results".
- Koning, W., Klocke, F., 1997, "Fertigungsverfahren 1: Drehen, Fräsen, Bohren", 5 Auflage. Aachen.
- Kittel, C., 1978, "Introdução à Física do Estado Sólido", 5º ed., Rio de Janeiro: Guanabara Dois, pp. 37-40. Traduzido por Adir M. Luiz
- Weinert, K., Meister, D., 1998, "Usinagem e Desgaste da Ferramenta", *Máquina e Metais*, no. 392.
- Maliska, A.M., "Preparação de Amostras para Análise Microestrutural", Apostila usada na disciplina Análise Microestrutural, ministrada no departamento de Engenharia Mecânica da UFSC.
- Maliska, A.M., "Microscopia Eletrônica de Varredura", Apostila usada na disciplina Análise Microestrutural, ministrada no departamento de Engenharia Mecânica da UFSC.
- Vander, G.F., 1984, "Metallography Principles and Practice", McGraw Hill, pp.1-159.

Mcclune, W.F., Maguire, T.M., Morris, M.C., 1981, “Powder Diffraction File – Search Manual for Common Phase, Inorganic and Organic”, JCPDS.

## 6. DIREITOS AUTORAIS

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

### SURFACE INTEGRITY ANALYSIS OF CARBIDE TOOL

**Adriana Ana Pereira, Eng. Mec.**

GRUCON – Dept. of Mechanical Engineering, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis/SC-Brazil – Postal Address 476 – Postal code: 88010-970,  
[adriana@grucon.ufsc.br](mailto:adriana@grucon.ufsc.br)

**Lourival Boehs, Dr. Eng.**

GRUCON – Dept. of Mechanical Engineering, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis/SC-Brazil – Postal Address 476 – Postal code: 88010-970,  
[lb@grucon.ufsc.br](mailto:lb@grucon.ufsc.br)

**Abstract.** *The relationship between surface integrity and wear of a carbide tools with  $V_b = 0,26$  mm is observed in this paper for three techniques of microstructural characterization. They are: Scanning Electron Microscopy, Energy Dispersive Spectroscopy, and X-ray Microanalysis. In a qualitative analysis, it is possible to perceive the changes in face and flank, which are coherent with the efforts applied in each tool surface.*

**Key-words.** *surface integrity; tool wear; microstructural characterization.*