

# INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE USINAGEM NA VIDA DAS FERRAMENTAS DE METAL DURO

**Eráclito M. Silva Jr.**

EMBRACO S.A – Rui Barbosa, 1020. Joinville - SC. e-mail: [esilvajr@embraco.com.br](mailto:esilvajr@embraco.com.br)

**Tarcísio Grott**

EMBRACO S.A – Rui Barbosa, 1020. Joinville – SC. e-mail: [tgrott@embraco.com.br](mailto:tgrott@embraco.com.br)

**Antônio T Cristofolini**

EMBRACO S.A – Rui Barbosa, 1020. Joinville – SC. e-mail: [acristofolini@embraco.com.br](mailto:acristofolini@embraco.com.br)

**Heber C Hespagnol**

EMBRACO S.A – Rui Barbosa, 1020. Joinville – SC. e-mail: [hhespagnol@embraco.com.br](mailto:hhespagnol@embraco.com.br)

**José Divo Bressan**

Departamento de Engenharia Mecânica – CCT – UDESC, Campus Universitário, 89.223-100 - Joinville, SC, Brasil. e-mail: [dem2jdb@joinville.udesc.br](mailto:dem2jdb@joinville.udesc.br)

***Resumo.** Atualmente o principal característico de controle de qualidade de ferramentas de estampagem feitas em metal duro é o acabamento superficial após a retificação, medido através da rugosidade da superfície usinada. O propósito deste trabalho é estudar a influência dos diversos parâmetros de usinagem e avaliar a presença de falhas no metal duro nas camadas abaixo da superfície usinada. Para este estudo foram confeccionadas amostras de WC-Co, através do mesmo processo, porém com variações nos parâmetros de usinagem. Nestas amostras foram avaliadas a rugosidade superficial e a presença de trincas microscópicas abaixo da camada usinada. Também foi feita uma caracterização físico química das amostras. Este trabalho mostra que só a rugosidade superficial não é suficiente para avaliar a qualidade das ferramentas.*

***Palavras-chave:** metal duro, desgaste, vida de ferramenta, estampagem de aço silicioso.*

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria mundial de fabricação de compressores herméticos, para refrigeração doméstica, produz em média 250.000 motores por dia. Como o aço utilizado na confecção das lâminas que compõe o motor é rico em silício, aproximadamente 2 %, o desgaste e a quebra nas ferramentas de estampagem são problemas comuns para as empresas que trabalham com este processo de fabricação.

Algumas frentes de pesquisa e desenvolvimento tecnológico podem ser identificadas para aumentar o rendimento das ferramentas. Entre elas a pesquisa de novos recursos para corte por puncionamento de chapas finas e o desenvolvimento de tecnologias de usinagem de metal duro.

O desenvolvimento de tecnologias de usinagem avalia entre outros fatores a influência dos parâmetros de usinagem no acabamento superficial das ferramentas de metal duro. O acabamento pode ser avaliado pela presença de rugosidade superficial no corpo de prova após a operação de retificação. A qualidade do acabamento é função dos parâmetros de usinagem do metal duro. Os parâmetros estudados são tipo de rebolo (diâmetro de partícula), velocidade do rebolo, avanço da mesa e profundidade de corte.

As ferramentas de estampagem por corte e puncionamento são freqüentemente confeccionadas com metal duro de carbeto de tungstênio (WC) por serem materiais resistentes ao desgaste. A alta dureza dos grãos associada com o elemento de cementação dúctil proporciona excelentes propriedades mecânicas<sup>(1)</sup>. Vários pesquisadores já estudaram a relação entre a microestrutura e a

dureza dos WCs. Observa-se que a dureza depende do percentual do cobalto assim como do tamanho do grão dos carbeto<sup>(2,3)</sup>.

O desgaste dos metais duros foi também estudado com vários percentuais de cobalto e, conseqüentemente, várias microestruturas foram encontradas<sup>(4,5)</sup>. Jia e Engqvist<sup>(6,7)</sup> estabeleceram que a razão entre as partículas do abrasivo e os grão WC determina o comportamento do material removido. Foi também observado que o aumento do tamanho do grão ou do percentual de cobalto, provoca diminuição na dureza do metal duro.

Segundo Hegeman e Hosson<sup>(1)</sup> a deformação plástica do WC ocorre principalmente por escorregamento, mas também ocorrem trincas nas camadas abaixo da superfície usinada e estas deformações têm influência na vida das ferramentas de metal duro quando aplicadas nos processos de estampagem.

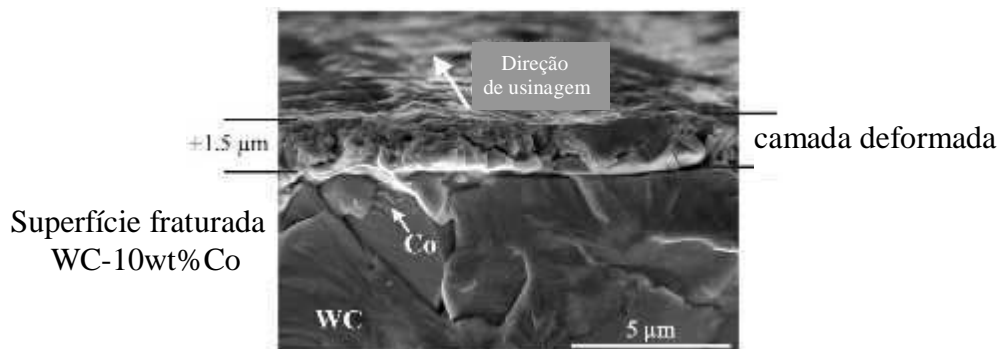


Figura 1. Seção transversal de grãos de carbeto de tungstênio. O tamanho típico da camada superior deformada é  $1,5 \mu\text{m}^{(1)}$ .

Os esforços aplicados ao metal duro durante a usinagem geram estados de tensão residual diferentes na partícula dura e no elemento de sinterização devido às diferenças nos coeficientes de dilatação.

A tensão residual na partícula dura é medida normalmente por difração raio-X (XRD) determinando a mudança de pico usando o método  $\sin^2 \psi^{(8,9)}$ .

Segundo Krawitz, et al<sup>(9,10)</sup>, para um mesmo esforço aplicado a tensão residual aumenta com a diminuição do teor de cobalto, ou com o aumento do tamanho de partícula do carbeto.

Testes feitos por Hegeman e Hosson<sup>(1)</sup> mostram que o efeito da usinagem nas camadas imediatamente abaixo da superfície usinada em metal duro apresentam elevado nível de deformação plástica dependendo da composição do metal duro e de como ele foi usinado, como pode ser visto nas figuras 2a e 2b.

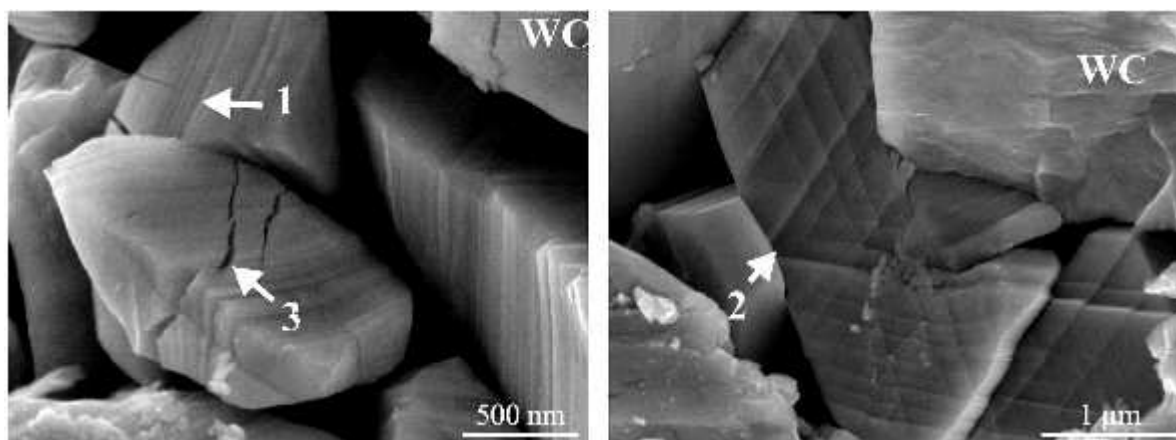


Figura 2. (a) Linhas de escorregamento (1) e fraturas (3) encontradas nos grãos de carbeto de tungstênio próximo à superfície deformada. (b) Escorregamento prismático (2) em um grão de carbeto de tungstênio na superfície usinada logo abaixo da camada deformada<sup>(1)</sup>.

## 2. PROCEDIMENTOS E TESTES

### 2.1 Materiais e Preparação de Amostras

Foram utilizadas amostras de WC-Co com 7 % de cobalto em peso (ver tabela. 1). Após análise superficial foi feita uma análise química qualitativa via EDS para se determinar os elementos químicos presentes nas amostras.

Foram confeccionados 12 blocos de metal duro, agrupados dois a dois, para a avaliação das diversas combinações de parâmetros de usinagem.

Todas as amostras apresentaram os mesmos elementos químicos em sua composição, mais com variância na porcentagem do peso atômico.

Tabela 1. Resultados da análise química vis EDS.

Análise Química das amostras de WC-Co	
Elemento	Peso Atômico (%)
C - K	5,18 - 6,21
Cr - K	0,39 - 0,57
Co - K	6,05 - 6,98
W - L	87,02 - 87,77

Foi feita preparação metalográfica, lixamento, polimento e ataque químico com Murakami (120s), Foram tiradas três fotos de três regiões diferentes de cada amostra com o objetivo de ver a homogeneidade da microestrutura.

Todas as amostras mostraram-se homogêneas quanto a análise microestrutural. Por se tratar do mesmo material não houve uma diferença significativa entre suas microestruturas, apenas há a diferença entre os tamanhos de grãos nas amostras.

Para a avaliação do tamanho das partículas as amostras foram fabricadas com um entalhe no sentido longitudinal a direção de usinagem, para facilitar a clivagem das amostras para microscopia.

Foi feita uma análise no microscópio eletrônico de varredura ( MEV ) para se determinar o tamanho das partículas dos carbeto de tungstênio, após fratura de um pedaço de todas as amostras. A variação no tamanho das partículas de tungstênio pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2. Resumo dos resultados de medição do tamanho das partículas de carbo de tungstênio.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6
Tamanho das Partículas de WC ( $\mu\text{m}$ )	2,18	1,55 1,62	1,06 2,44	1,43 1,51	2,51 1,60	3,66
	1,69	0,89 1,08	1,15 1,74	1,34 1,53	1,74 1,32	1,64
	1,13	2,05 1,06	2,00 2,23	1,79 2,11	1,46 1,11	1,60
	1,53	0,77 1,88	2,61 1,11	1,17 1,25	1,81 1,53	2,51
	0,87	0,99 1,39	1,64 2,02	1,48 1,01	2,58 1,74	4,07
Média	1,48	1,33	1,80	1,46	1,74	2,70
Desv Padrão	0,51	0,44	0,56	0,31	0,47	1,14

Foi medida a dureza Vickers nas amostras. Os resultados podem ser vistos na Tabela 3.

Tabela 3. Resumo dos resultados de medição de dureza nas amostras.

Amostra 1	1.994,00
Amostra 2	1.746,00
Amostra 3	1.902,00
Média	1.880,70
Desvio Padrão	125,40

## 2.2. Processo de usinagem

Os testes de usinagem foram feitos usando uma máquina retificadora para usinagem de superfícies planas. Os parâmetros dos testes foram definidos conforme a tabela 4.

Os rebolos tipo A, B e C diferem pela granulometria. Possuem diâmetro externo de 250 mm, diâmetro interno de 50,8 mm, largura de 12 mm e espessura de camada de 3 mm. Conforme a tabela 02 temos 12 combinações diferentes para a etapa de desbaste e 16 combinações para acabamento. Resultando em 192 combinações distintas.

Tabela 4. Parâmetros para a operação de retífica dos corpos de prova.

Etapa	Rebolo	Vel. Rebolo [m/s]	Avanço da mesa [mm]	Prof. Corte [mm]
Desbaste I	Tipo A	25 – 30	5-6	0,008 – 0,01
Desbaste II	Tipo B	25 – 30	5-6	0,01 – 0,05
Acabamento I	Tipo B	27 – 30	2-3	0,03 – 0,05
Acabamento II	Tipo C	25 - 30	2-3	0,03 – 0,05

Para viabilizar a avaliação dos parâmetros e processos sobre a rugosidade montamos o planejamento de testes conforme a tabela 5 e 6.

Tabela 5. Tabela resumo da simplificação dos testes

Parâmetros de Regulagem				
Etapa do Processo	Rebolo	Vel. Do Rebolo	Avanço da Mesa	Proj de corte
Desbaste Grosso	Tipo A	25	6	0,01
Desbaste Médio	Tipo B	25	6	0,01
Desbaste Fino	Tipo B	25	5	0,005
Acabamento Grosso	Tipo B	27	3	0,005
Acabamento Fino	Tipo C	30	2	0,003

Foram feitas duas amostras para cada combinação planejada.

Tabela 6. Definição dos parâmetros de afiação para cada grupo de amostras.

Testes Planejados		
Número do Teste	Quantidade de peças	Regulagem
1	2	Desb. Gros + Acab. Gros
2	2	Desb. Gros + Acab. Fino
3	2	Desb. Médio + Acab. Gros
4	2	Desb. Médio + Acab. Fino
5	2	Desb. Fino + Acab. Gros
6	2	Desb. Fino + Acab. Fino

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Rugosidade da Superfície Usinada

Foram medidos os valores de rugosidade Ra em seis posições para cada amostra. Três na direção transversal e três na direção longitudinal (em relação a direção de usinagem). A tabela 7 mostra os valores medidos.

Após a obtenção dos corpos de prova, 6 amostras com seis parâmetros de usinagem diferentes, foi feita uma análise no microscópio eletrônico de varredura (MEV) para se analisar as marcas deixadas pelos diferentes processos de usinagem. As análises podem ser vistas nas Figuras de 3 a 8.

Tabela 7. Valores de rugosidade superficial Ra medidos nos corpos de prova.

Teste	Corpo de Prova	t1	t2	t3	l1	l2	l3
1	1	0,6729	0,6165	0,6173	0,1775	0,2115	0,2171
	2	0,8394	0,6554	0,6851	0,1072	0,3711	0,2056
2	1	0,3582	0,3422	0,3577	0,1553	0,1361	0,1740
	2	0,3770	0,3627	0,3511	0,0905	0,1286	0,1246
3	1	0,3406	0,3337	0,3133	0,0774	0,1017	0,0973
	2	0,3120	0,2965	0,3057	0,5830	0,1256	0,0784
4	1	0,3096	0,2934	0,3427	0,1312	0,1947	0,1485
	2	0,3247	0,3141	0,3180	0,1494	0,2045	0,1121
5	1	0,2759	0,2719	0,2761	0,0664	0,0716	0,1332
	2	0,2779	0,2932	0,2991	0,0659	0,1440	0,1008
6	1	0,2143	0,2491	0,2427	0,1096	0,1033	0,1225
	2	0,2382	0,2277	0,2443	0,1517	0,1241	0,1811

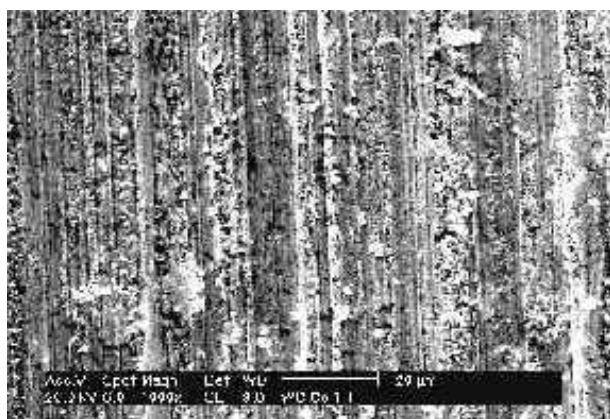


Figura 3: marcas do rebolo num corpo de prova submetido aos parâmetros do teste 1. Amostra 1 de WC-Co. Aumento de 1000x.

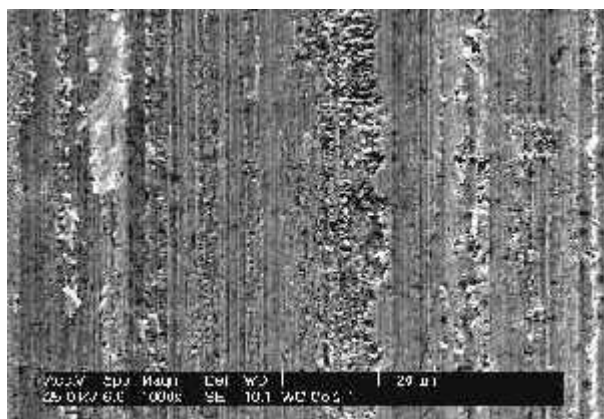


Figura 4: marcas do rebolo num corpo de prova submetido aos parâmetros do teste 2. Amostra 2 de WC-Co. Aumento de 1000x.

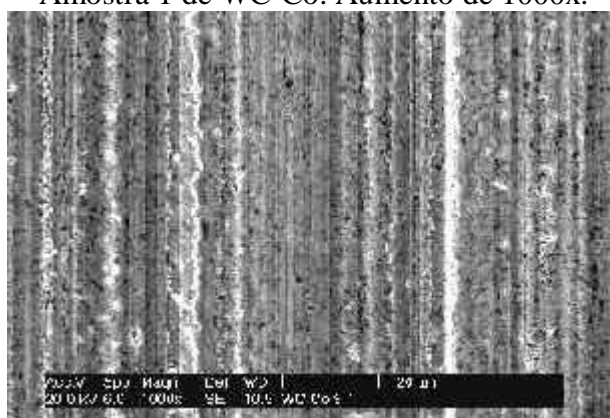


Figura 5: marcas do rebolo num corpo de prova submetido aos parâmetros do teste 3. Amostra 3 de WC-Co. Aumento de 1000x.

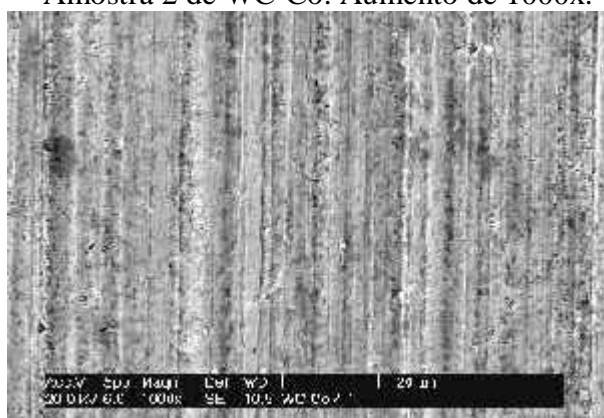


Figura 6: marcas do rebolo num corpo de prova submetido aos parâmetros do teste 4. Amostra 4 de WC-Co. Aumento de 1000x.

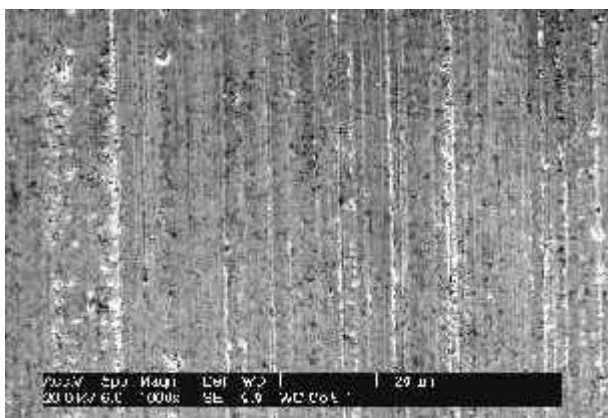


Figura 7: marcas do rebolo num corpo de prova submetido aos parâmetros do teste 5. Amostra 5 de WC-Co. Aumento de 1000x.

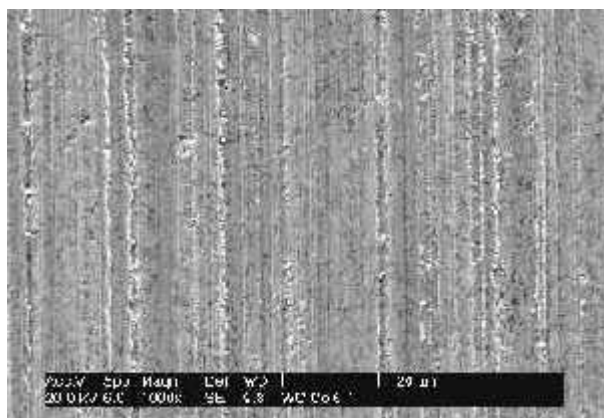


Figura 8: marcas do rebolo num corpo de prova submetido aos parâmetros do teste 6. Amostra 6 de WC-Co. Aumento de 1000x.

Observou-se que os diferentes parâmetros do processo de usinagem possuem um diferente grau de deformação superficial nas amostras analisadas. As amostras dos testes 5 e 6 possuem uma deformação superficial bem menos acentuada se comparada com as amostras dos testes 1 e 2, onde percebe-se que houve um arrancamento de partículas.

### 3.2 Deformação dos Grãos

A região abaixo da superfície usinada de uma amostra de cada um dos teste foi observada no MEV. Como pode ser visto nas figuras de 9 a 14.

As figuras 10, 11 e 12 mostram em detalhe as trincas nas partículas provocadas pela usinagem da superfície.

Nessas amostras foi observado que a quantidade de trincas e os testes 1 e 2 apresentaram maior número de trincas. Os testes que apresentaram o menor número de trincas foram os testes 5 e 6.

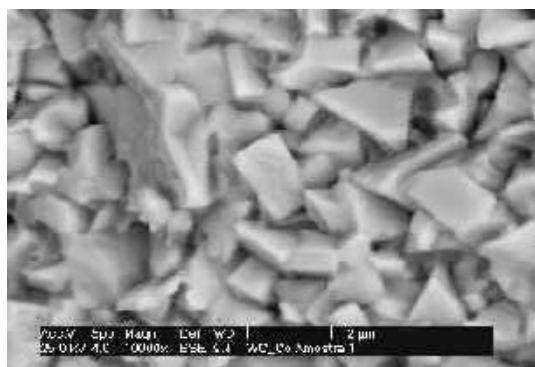


Figura 9. Aspecto dos grãos de WC-Co abaixo da superfície usinada. Amostra 1. Aumento de 1000x.

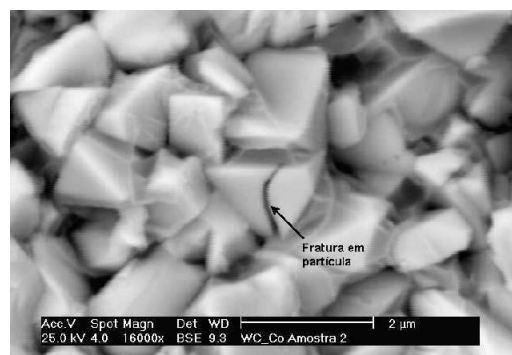


Figura 10. Aspecto dos grãos de WC-Co abaixo da superfície usinada. Amostra 2. Aumento de 1000x.

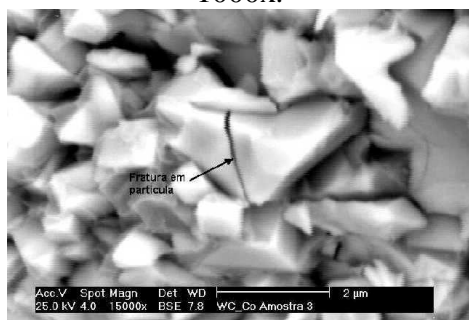


Figura 11. Aspecto dos grãos de WC-Co abaixo da superfície usinada. Amostra 3. Aumento de 1000x.



Figura 12. Aspecto dos grãos de WC-Co abaixo da superfície usinada. Amostra 4. Aumento de 1000x.

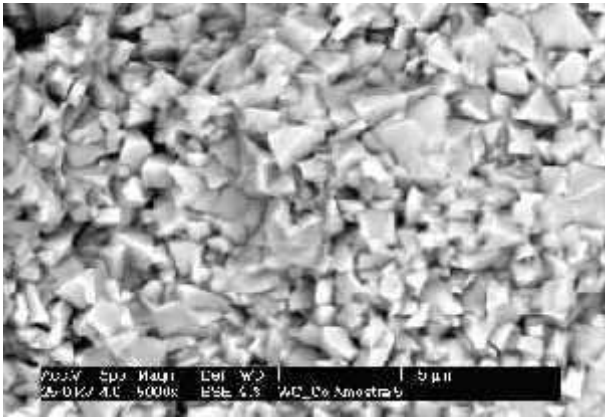


Figura 13. Aspecto dos grãos de WC-Co abaixo da superfície usinada. Amostra 5. Aumento de 1000x.

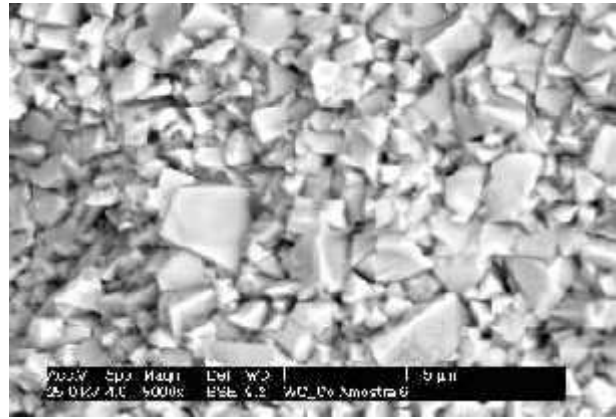


Figura 14. Aspecto dos grãos de WC-Co abaixo da superfície usinada. Amostra 5. Aumento de 1000x.

#### 4. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que existe diferença de deformação superficial no WC-Co devido aos vários processos de usinagem. Testes deverão ser feitos para se determinar qual o efeito dessa deformação superficial no uso das ferramentas de estampagem.

A análise química evidenciou que os principais elementos constituintes do material são o tungstênio(W) e o cobalto (Co).

Na análise metalográfica pode-se observar a predominância dos carbeto de tungstênio, garantindo a validade da análise química. Por serem todos do mesmo material não houve grandes variações microestruturais nas amostras analisadas.

Com relação ao tamanho das partículas de carbeto de tungstênio, pode-se observar que houve uma grande dispersão de resultados, sendo essa variação de 1 a 3 μm no tamanho das partículas. Pode-se observar também a presença de fraturas no interior das partículas de tungstênio decorrentes da fratura do material.

A rugosidade superficial não deve ser utilizada como único parâmetro para avaliação da qualidade das ferramentas de metal duro após usinagem. Os parâmetros de usinagem exercem grande influência no estado das partículas abaixo da superfície e isto certamente terá influência na vida das ferramentas.

Sugere-se como tema para próximos trabalhos que seja avaliada a correlação entre o estado das partículas abaixo da superfície usinada e a vida da ferramenta.

Como foram observadas marcas de deslizamento em algumas partículas de carbeto de tungstênio sugere-se que seja estudada a influência de tratamentos térmicos de alívio de tensão nas ferramentas de metal duro após as operações de usinagem.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] J.B.J.W. Hegeman, J.Th.M. De Hosson, G. de With, Wear 248 (2001) 187–196.
- [2] H.C. Lee, J. Gurland, Mater.Sci. Eng. 33(1978) 125-133.
- [3] S.F. Wayne, J.G. Baldoni, S.T. Buljan, Tribol. Trans. 33(1990) 611-617.
- [4] K. Jia, T.E. Fischer, Wear 200(1996) 206-214.
- [5] J.Larsen-Basse, Wear 205(1997) 231-235.
- [6] K. Jia, T.E. Fischer, Wear 203(1997) 310-318.
- [7] H. Engqvist, S. Ederyd, N. Axén, S. Hogmark, Wear 230(1999) 165-174.
- [8] A.D. Krawitz, M.L. Crapenhof, D.G. Reichel, R. Warren, Mater. Sci. Eng. A105/106 (1988) 275-281.
- [9] A.D. Krawitz, Mater. Sci. Eng. 75 (1985) 29-36.
- [10] S.Tanaka, K. Higashi, y. Hirose, K. Tanaka, ICRS 3, Residual Stress III (1992) 595-600.

## **INFLUENCE OF CUTTING PARAMETERS ON THE HARD METAL TOOL LIFE**

**Abstract.** Nowadays, the superficial roughness of tungsten carbide specimens after grinding is the most used quality control characteristic. The main objective of this paper is to investigate how the grinding specifications affect the structure of tungsten carbide grains under superficial grinding. The investigation was carried out by analyzing the same samples of WC-Co obtained by different machining conditions. In these samples the superficial roughness and the plastic deformation on the carbide lattice under superficial layer were analyzed. This paper shows that just the superficial roughness is not enough to control the quality of tungsten carbide specimens.

**Key words:** hardmetal, abrasion, wear, tungsten carbide tool life.