

substrato, dando início a uma trilha de desgaste que perpetua até o final do risco, como mostra as Figs. 4.73 e 4.74, respectivamente.

Nas ferramentas texturizadas a laser, a determinação do ponto crítico (D) de falha dos revestimentos é mais difícil do que para as ferramentas jateadas, pois as falhas dos revestimentos estão associadas, principalmente, ao lascamento das camadas no final dos riscos, como mostra as Figs. 4.75 a 4.77. Além disso, esses lascamentos ora ocorrem expondo o substrato de metal duro, ora apenas com a descamação do revestimento.

A descamação ocorre pelo levantamento de “lascas” dos revestimentos do substrato (*chipping failure*), pelo fato do material ser quebradiço. Estas “lascas” são depositadas no fundo e/ou nas extremidades laterais da trilha de desgaste formada, contudo sem revelar o substrato da ferramenta (Burnett e Rickerby, 1987; Mattox, 1996; Tavares, 1997 e Bunshah, 2001).

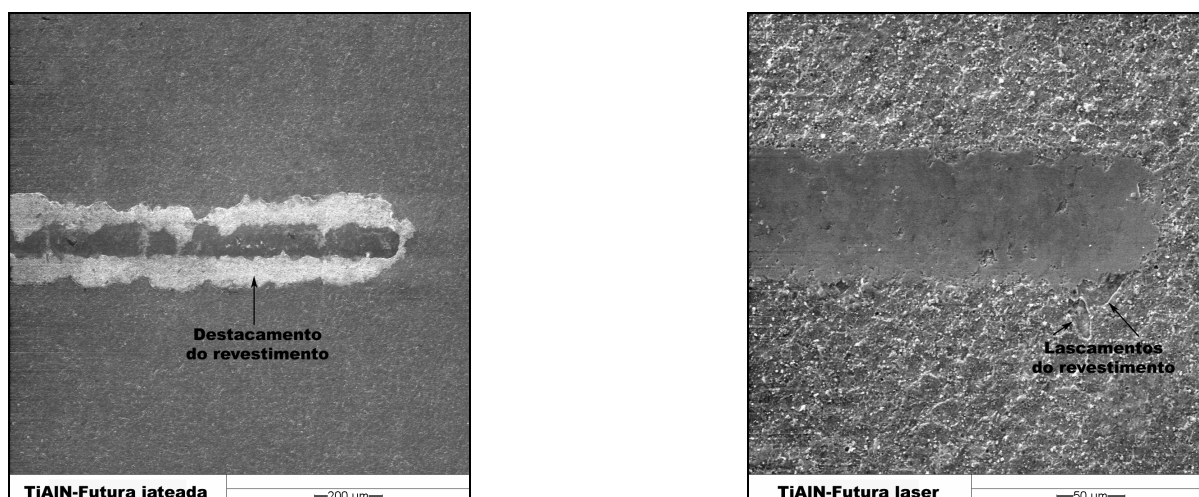


Figura 4.72 - Final do risco para as ferramentas revestidas de TiAlN-Futura.

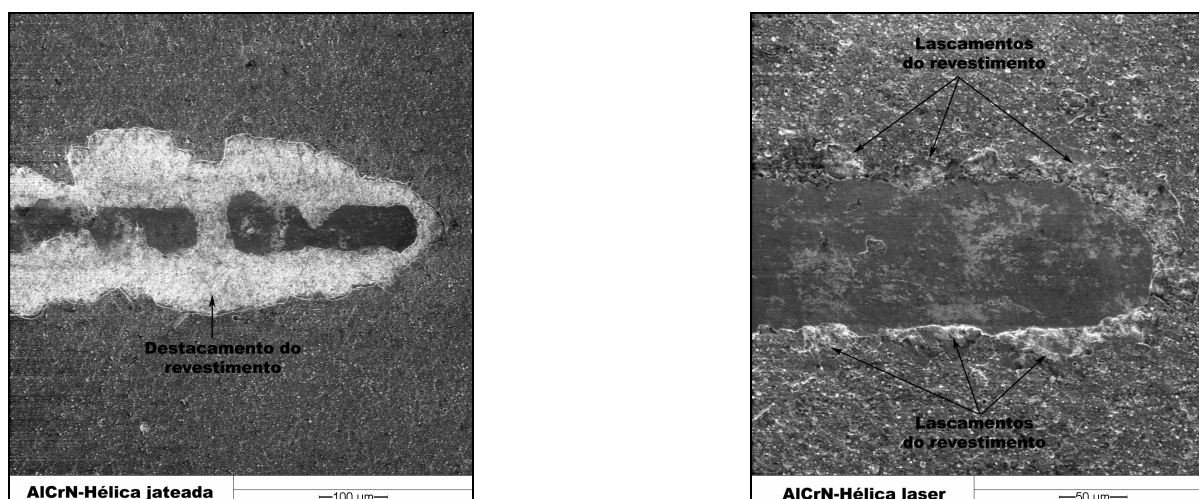


Figura 4.73 - Final do risco para as ferramentas revestidas de AlCrN-Hélica.

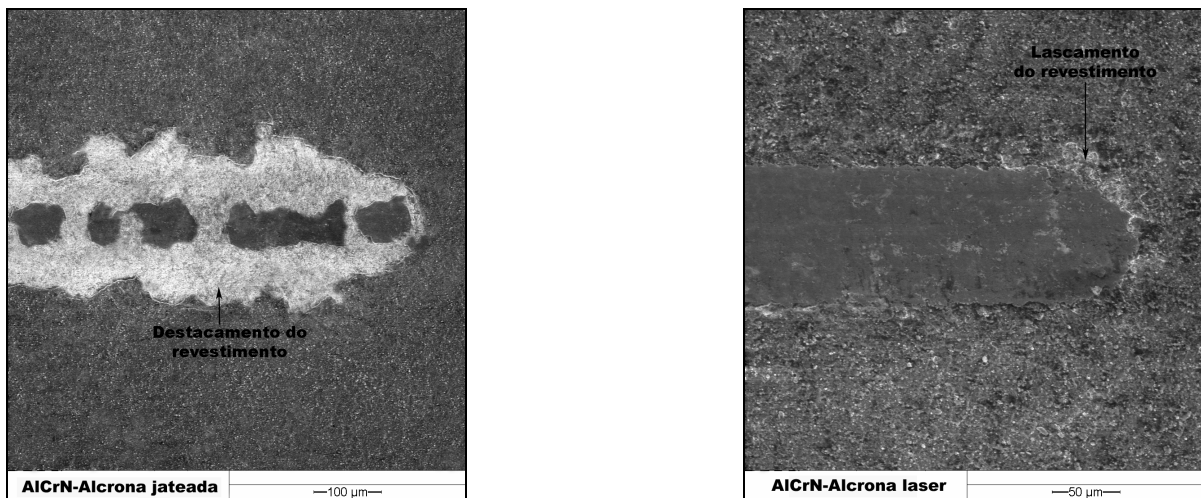


Figura 4.74 - Final do risco para as ferramentas revestidas de AlCrN-Alcrona.

Lascamentos dos revestimentos depositados sobre as ferramentas texturizadas a laser foram observados também antes do indentador atingir o final do risco, como mostra a Fig. 4.75 para o revestimento AlCrN-Hélica. Observa-se nessa figura lascamentos interrompidos do revestimento AlCrN-Hélica na borda do risco. Essa característica do destacamento descontínuo do revestimento também foi observada nos ensaios de indentação estática para as ferramentas texturizadas a laser, item 4.4.1.



Figura 4.75 - Pontos isolados de lascamento do revestimento AlCrN-Hélica laser antes do final do risco.

Como mencionado anteriormente, nas ferramentas texturizadas a laser os revestimentos fragmentam-se com ou sem a exposição do substrato de metal duro. A Fig. 4.76 mostra em detalhe o final do risco da ferramenta texturizada a laser e revestida de TiAlN-Futura, Fig. 4.72. Apesar do EDS da Fig. 4.76, feito dentro do lascamento do revestimento, exibir elementos que constituem o metal duro (W e Co), a aparência do lascamento evidencia que o revestimento sofre uma descamação sem a exposição do substrato.

Na Figura 4.77 é mostrado o final de um risco de uma ferramenta texturizada a laser revestida de AlCrN-Alcrona. Nessa figura observam-se alguns pontos de lascamento do revestimento com a exposição do substrato de metal duro, como indica o EDS<sup>1</sup> do detalhe marcado pela Fig. 4.78. A Fig. 4.78 mostra ainda o EDS<sup>2</sup> realizado próximo à borda do lascamento, o qual indica a presença dos elementos (Al e Cr) do revestimento.

Para complementar a caracterização dos ensaios de risco dos revestimentos, as Figs. 4.79 a 4.81 mostram as varreduras por perfilometria 3D de algumas trilhas de desgaste formadas após a passagem do indentador. Nessas figuras foram excluídos o final e o início dos riscos. As figuras mostram novamente grandes falhas dos revestimentos AlCrN-Hélica e AlCrN-Alcrona, e o início da falha do TiAlN-Futura para as ferramentas jateadas. Para as ferramentas texturizadas a laser não foram identificadas grandes falhas dos revestimentos, aparentemente, apenas “empilhamento” (*pile-up*) de material do revestimento nas bordas dos riscos, como mostra a Fig. 4.80 para o revestimento AlCrN-Alcrona.

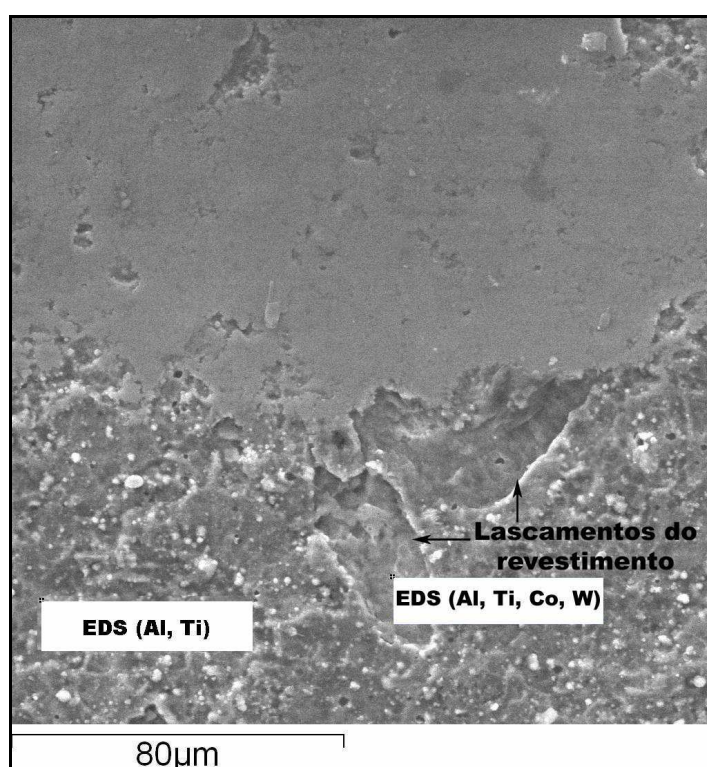


Figura 4.76 - Detalhe dos pontos de lascamento do TiAlN-Futura laser da Fig. 4.72.

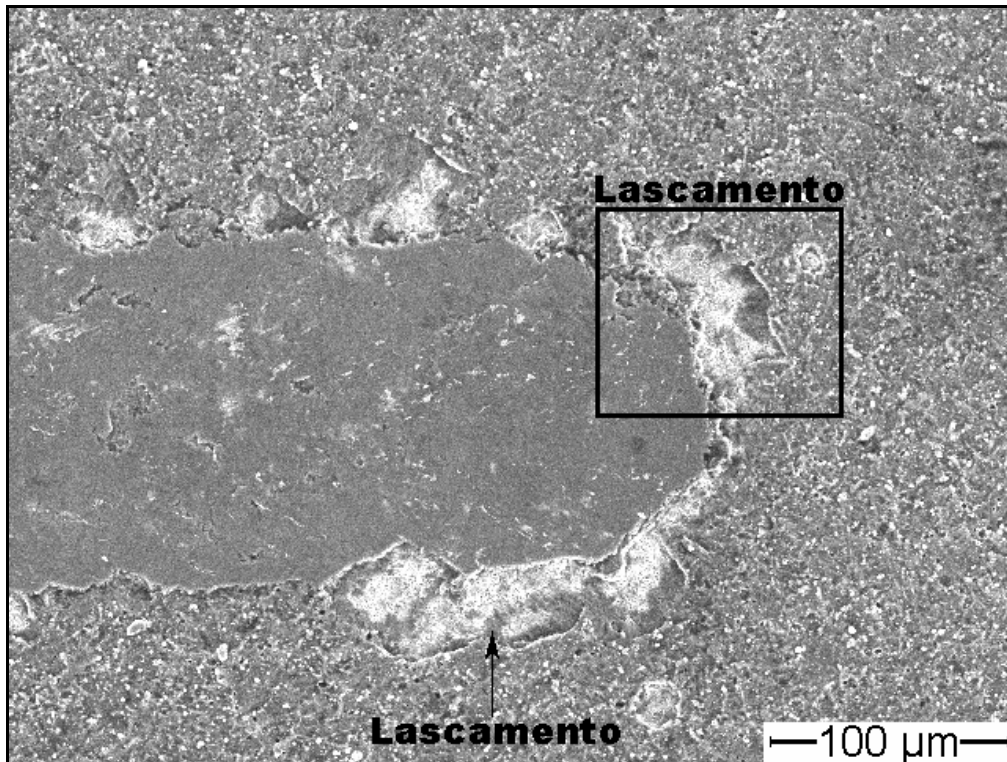


Figura 4.77 - Final de um risco de uma ferramenta texturizada a laser revestida de AlCrN-Alcrona.

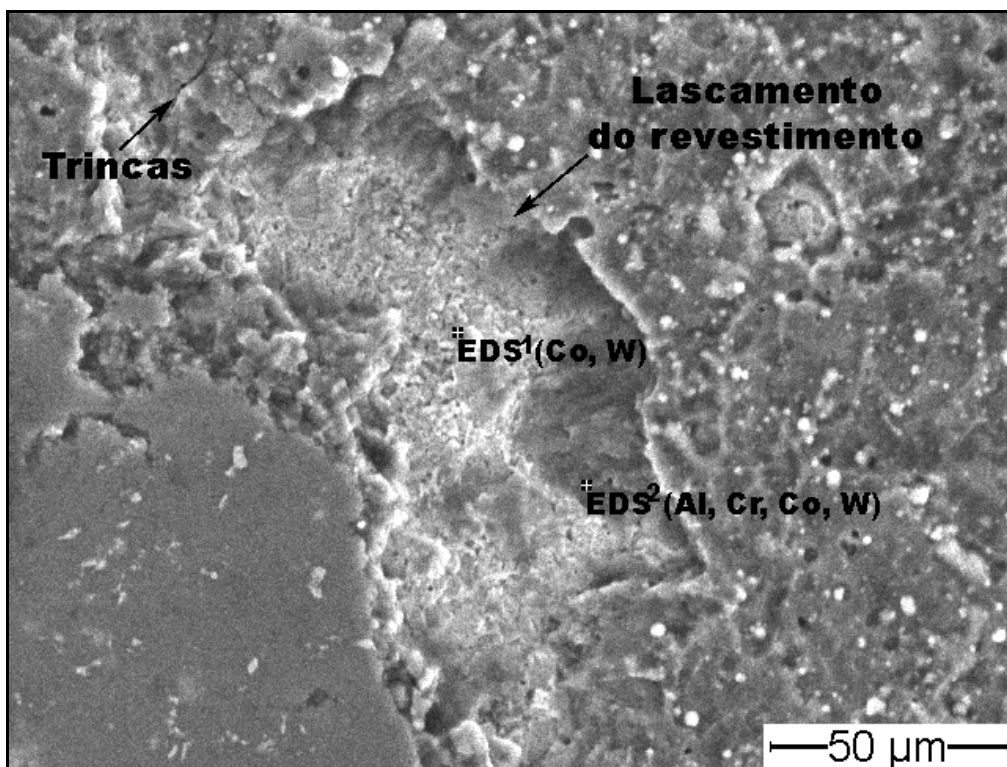


Figura 4.78 - Detalhe do final do risco mostrado na Fig. 4.77.



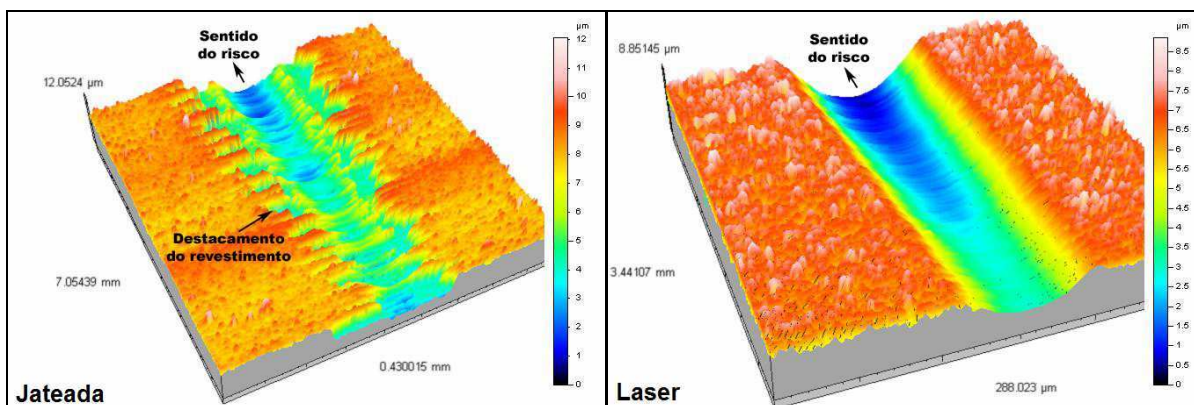


Figura 4.79 - Varredura por perfilometria 3D dos riscos formados para as ferramentas jateada e laser revestidas de AlCrN-Hélica.

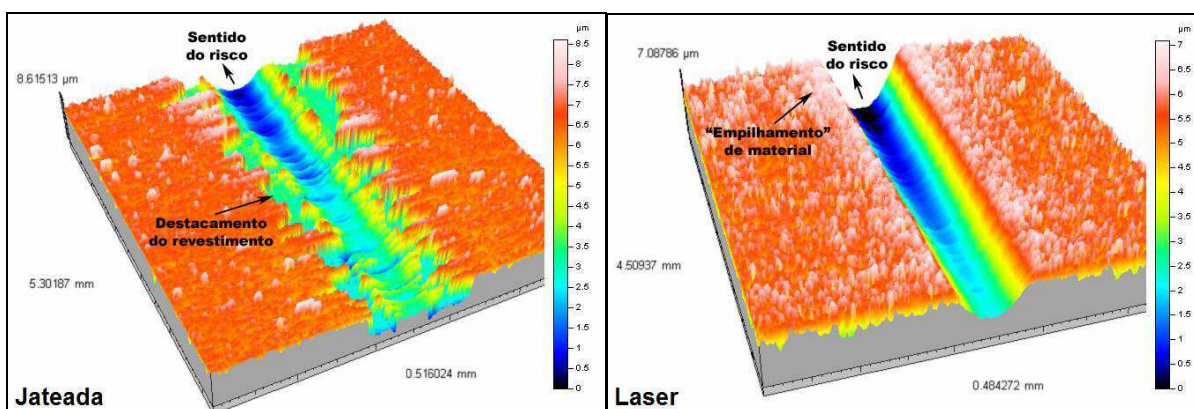


Figura 4.80 - Varredura por perfilometria 3D dos riscos formados para as ferramentas jateada e laser revestidas de AlCrN-Alcrona.

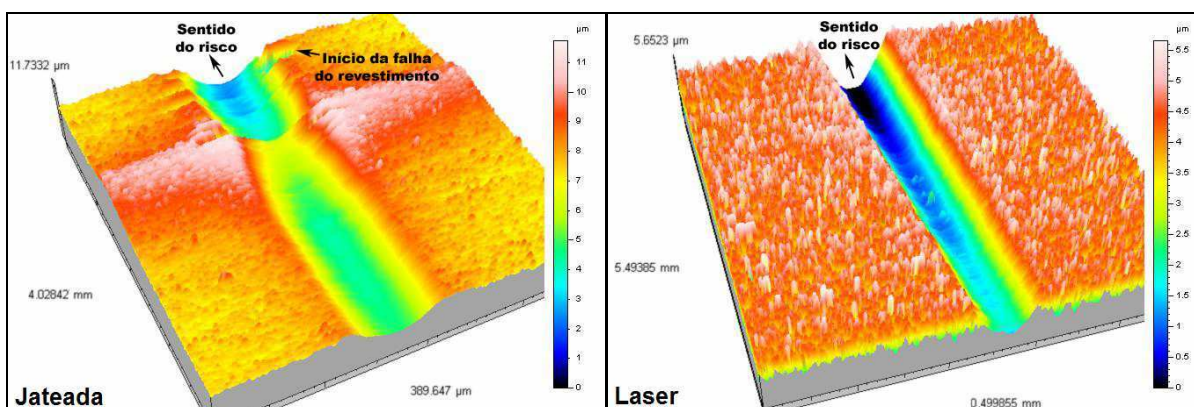


Figura 4.81 - Varredura por perfilometria 3D dos riscos formados para as ferramentas jateada e laser revestidas de TiAlN-Futura.

Os ensaios de indentação Rockwell e risco com carga progressiva mostraram-se adequados para a análise qualitativa da adesividade dos revestimentos. Já a análise quantitativa da adesividade, utilizando os ensaios de risco com carga progressiva, foi comprometida pela dificuldade na determinação do ponto crítico de falha dos revestimentos, principalmente, nas ferramentas texturizadas a laser.

Esta análise da adesividade dos revestimentos AlCrN-Hélica, TiAlN-Futura e AlCrN-Alcrona, depositados sobre os substratos texturizados por jateamento e laser, auxilia no entendimento do desempenho das ferramentas de corte nos ensaios de vida.

A Figura 4.82 mostra uma correlação entre o ensaio de indentação Rockwell e os ensaios de vida. Para a geração da Fig. 4.82 foi calculado o volume médio de material removido a partir dos resultados obtidos nos ensaios de vida do item 4.2, e utilizada a área de delaminação dos revestimentos para a carga máxima do ensaio de indentação Rockwell, 100 kgf, medida no item 4.4.2. A Figura 4.82 mostra que a menor área de delaminação dos revestimentos depositados sobre as ferramentas texturizados a laser, propicia um maior volume médio de material removido. Geralmente, quanto maior a adesividade do revestimento sobre o substrato, maior será o desempenho da ferramenta durante a usinagem.

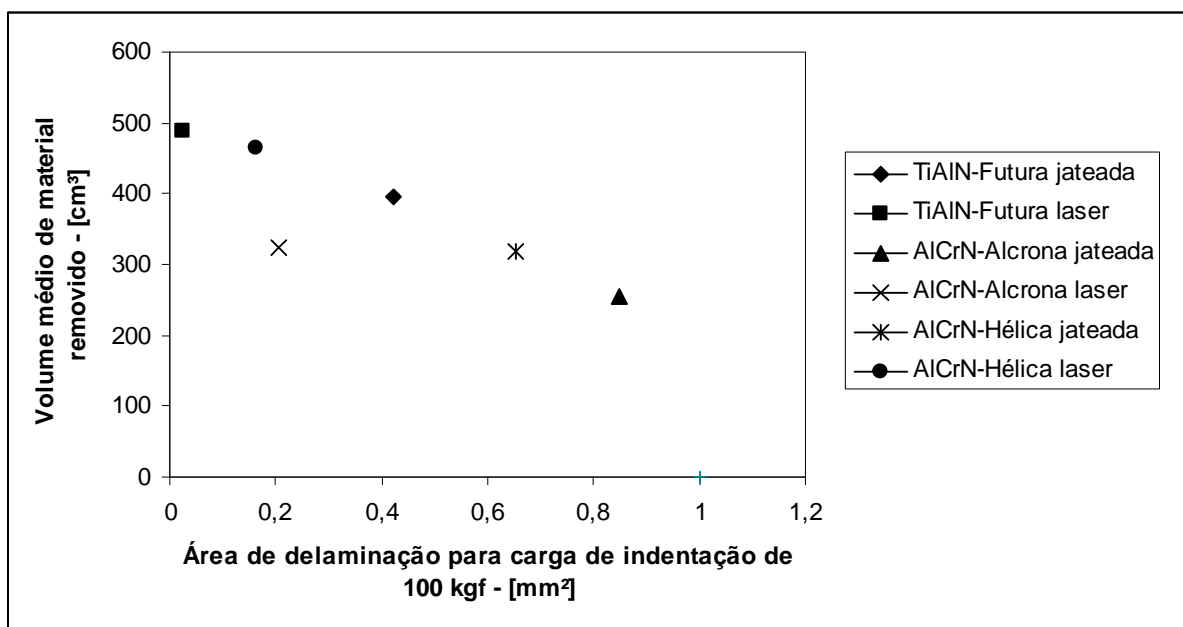


Figura 4.82 - Correlação entre o ensaio de indentação Rockwell e os ensaios de vida.

#### 4.5. Ensaio de Desgaste Abrasivo dos Revestimentos

A Figura 4.83 mostra o resultado do ensaio de microabrasão do tipo esfera livre para as ferramentas com texturas jateada e laser revestidas de TiAlN-Futura, AlCrN-Alcrona e AlCrN-Hélica.

Os resultados indicam uma maior resistência ao desgaste abrasivo do revestimento AlCrN-Hélica, seguido pelo TiAlN-Futura e AlCrN-Alcrona.

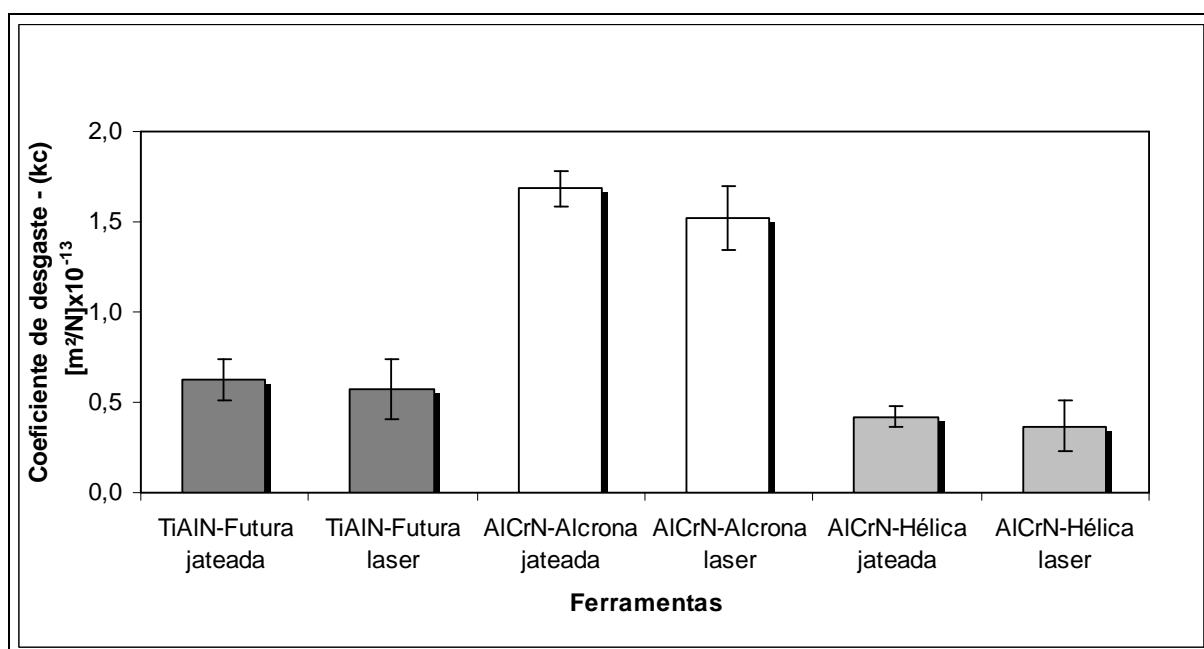


Figura 4.83 - Coeficientes de desgaste dos revestimentos TiAlN-Futura, AlCrN-Alcrona e AlCrN-Hélica para o ensaio de microabrasão.

A Figura 4.84 mostra a correlação entre os coeficientes de desgaste dos revestimentos e os ensaios de vida para as ferramentas texturizadas por jateamento e laser.

Considerando-se apenas o desempenho dos revestimentos, sem a distinção dos substratos, observa-se que de maneira geral, o AlCrN-Hélica e o TiAlN-Futura apresentaram os menores coeficientes médios de desgaste e maiores volumes médios de material removido. Já o AlCrN-Alcrona apresentou o pior desempenho, tanto para as ferramentas texturizadas por jateamento quanto laser.

Na análise comparativa entre os substratos texturizados por jateamento e laser, observa-se que estatisticamente não há diferença entre os coeficientes de desgaste dos revestimentos, como pode ser observado na Fig. 4.83.

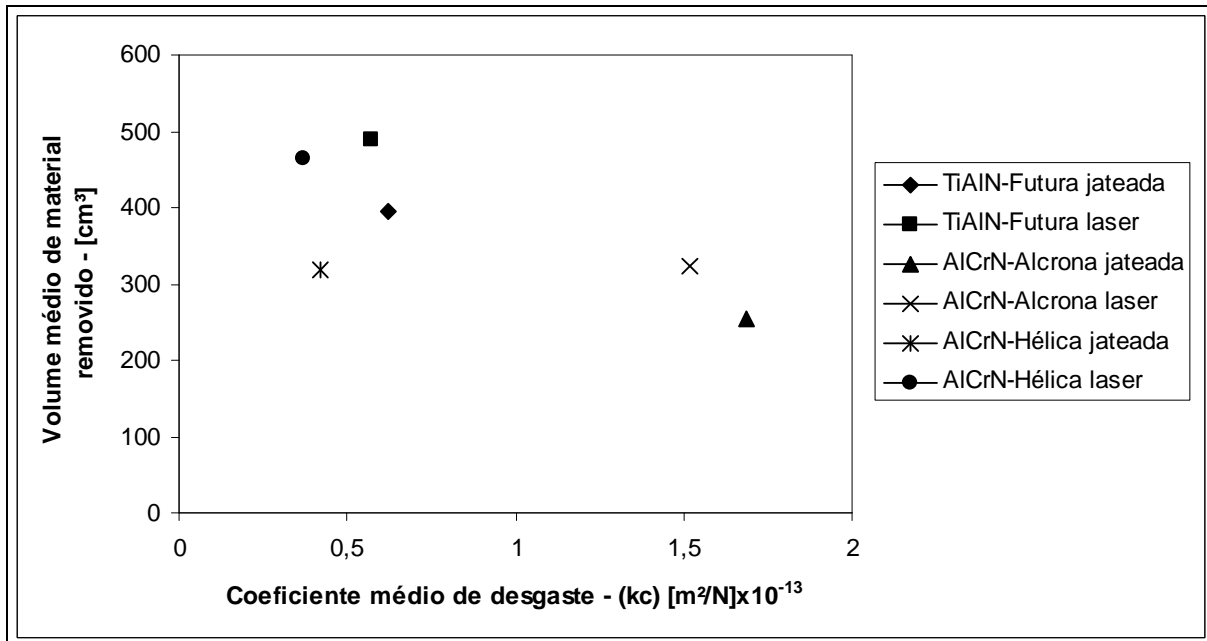


Figura 4.84 - Correlação entre o coeficiente de desgaste dos revestimentos e os ensaios de vida.

O comportamento tribológico dos revestimentos PVD ao desgaste ainda é pouco estudado. A taxa de desgaste dos revestimentos duros depositados por PVD é influenciada por muitos parâmetros, como: os mecanismos que influenciam na evolução do processo de desgaste (adesão, erosão, abrasão a dois e três corpos, tribo-oxidação e fadiga superficial), propriedades do material do substrato (microestrutura cristalina e defeitos, microdureza, módulo de elasticidade e rugosidade da superfície) e propriedades do revestimento (microestrutura cristalina e defeitos gerados pelo processo de deposição, resistência da interface substrato/revestimento, espessura, microdureza, módulo de elasticidade, composição química e rugosidade da superfície) (Sivitski et al., 2008).

Nas ferramentas ensaiadas a evolução do processo de desgaste foi influenciada pelo mecanismo de desgaste abrasivo por rolamento, tanto nos substratos texturizados por jateamento quanto laser. Neste tipo de mecanismo não fica evidenciada a direção do desgaste, como no mecanismo de desgaste abrasivo por deslizamento em que normalmente observa-se a presença de vários riscos paralelos. Geralmente, no mecanismo de desgaste por rolamento a partícula abrasiva de SiC rola sobre a superfície da amostra, podendo produzir uma grande quantidade de indentações (Franco Jr., 2003).

A Figura 4.85 mostra os aspecto típico do interior de uma cratera formada em uma ferramenta jateada e revestida de TiAlN-Futura, em que não é possível distinguir a direção do movimento da esfera sobre a superfície da ferramenta, caracterizando o mecanismo de desgaste por rolamento com aspecto aleatório.



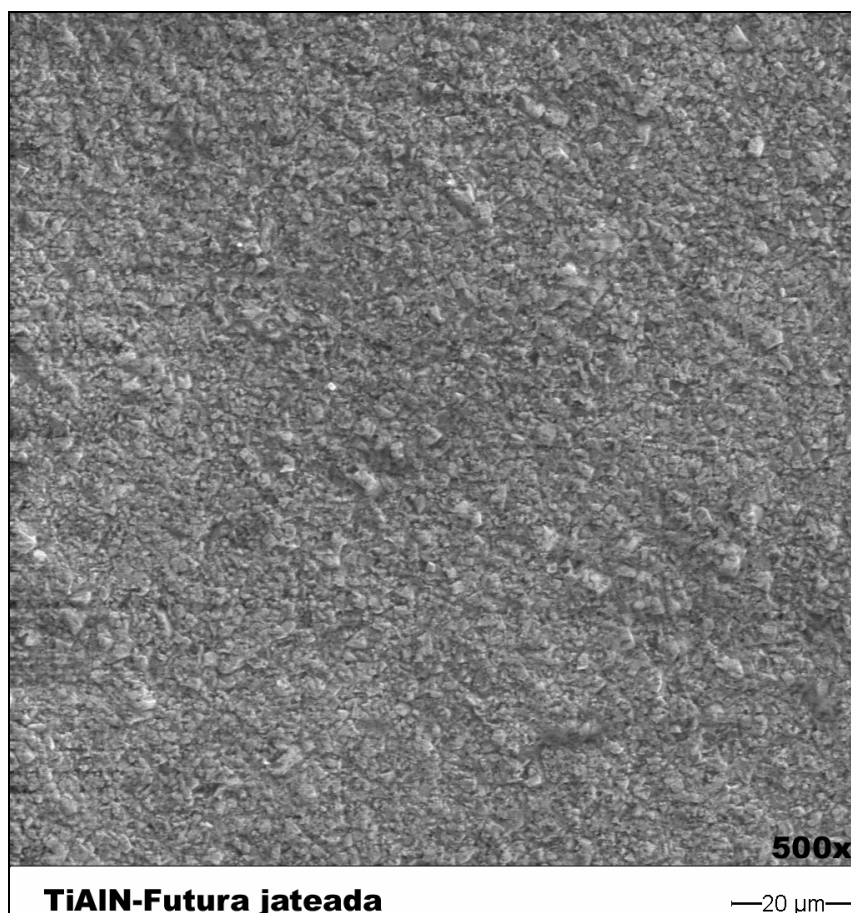


Figura 4.85 - Aspecto do mecanismo de desgaste por rolamento em uma ferramenta jateada revestida de TiAlN-Futura.

Provavelmente, propriedades do revestimento como a espessura e a microdureza não tiveram influência no desgaste das ferramentas, uma vez que as espessuras dos revestimentos, medida por meio do ensaio de *calowear*, foram muito próximas, sendo de  $2,9 \pm 0,3 \mu\text{m}$  para o TiAlN-Futura,  $3,2 \pm 0,2 \mu\text{m}$  para o AlCrN-Alcrona e  $3,1 \pm 0,3 \mu\text{m}$  para o AlCrN-Hélica. Já as microdurezas dos revestimentos, apesar de não terem sido medidas, possivelmente não influenciaram de maneira decisiva na resistência ao desgaste, pois segundo dados do fabricante a faixa de dureza dos revestimentos é bem estreita, de 3000 a 3300 HV.

Um parâmetro que pode ter influenciado no desempenho dos revestimentos é a resistência da interface substrato/revestimento. No revestimento AlCrN-Alcrona, por exemplo, a pouca resistência da interface substrato/revestimento ou a sua baixa adesividade, como verificado no item 4.4, poderia ser uma justificativa para o seu desempenho no ensaio de microabrasão, pois os resíduos da fragmentação precoce do revestimento aceleram a formação da cratera de desgaste. Entretanto, essa análise também deveria valer para o AlCrN-Hélica, já que no item 4.4 verificou-se áreas de delaminação do

AlCrN-Hélica maiores do que para o TiAlN-Futura. Porém, como verificado na Fig. 4.83, os coeficientes de desgaste das ferramentas com textura jateada e laser revestidas de AlCrN-Hélica foram os menores.

Outro aspecto de desgaste observado nas ferramentas ensaiadas foi a diferenciação entre os desgastes das calotas esféricas formadas nos substratos modificados por jateamento e laser.

Nas ferramentas jateadas, as bordas das calotas esféricas de desgaste são bem definidas, o que facilita a medição do desgaste durante o ensaio. Já nas ferramentas modificadas por laser, as bordas das calotas esféricas de desgaste são irregulares.

A diferença entre os aspectos das calotas esféricas das ferramentas pode explicar a maior dispersão dos valores dos coeficientes de desgaste das ferramentas texturizadas a laser, já que as bordas irregulares das calotas esféricas dessas ferramentas dificultam a leitura do desgaste, principalmente, no início do ensaio, onde se verificou que o desgaste ocorre em pontos isolados, retardando a definição da cratera. A Figura 4.86 mostra a diferença entre as bordas das calotas esféricas das ferramentas texturizadas por jateamento e laser revestidas de TiAlN-Futura. As calotas de desgaste mostradas na Fig. 4.86 foram realizadas apenas para ilustração, o tempo de ensaio foi superior a 10 minutos com atenuação entre os diâmetros interno (a) e externo (b) da calota formada.

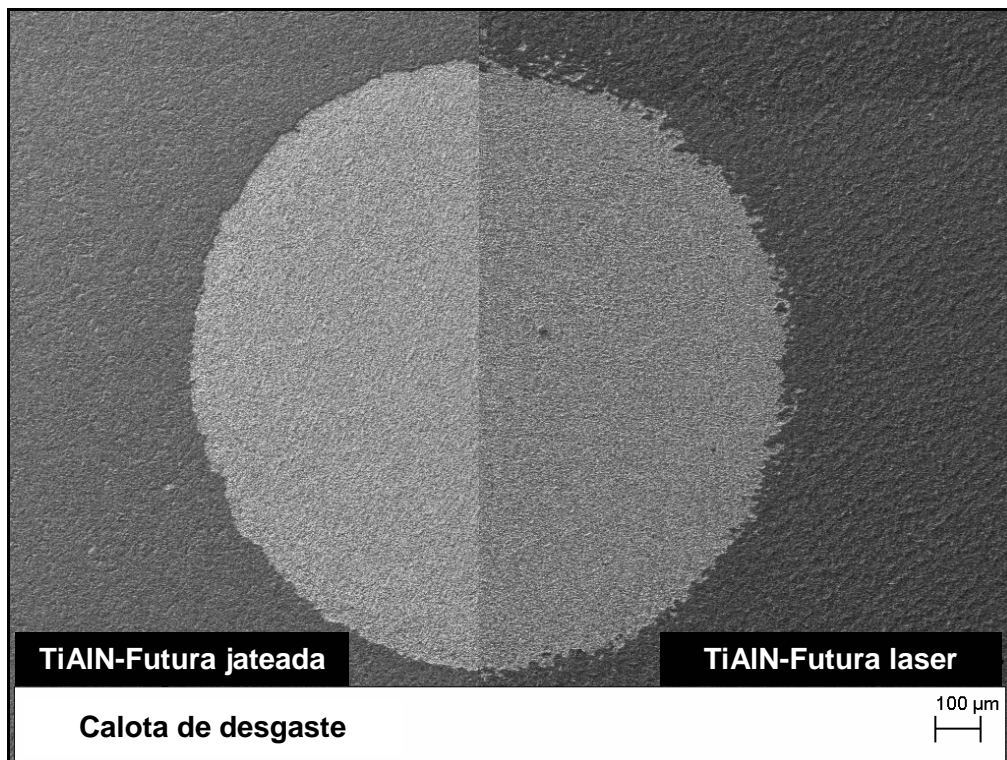


Figura 4.86 - Comparação entre as calotas de desgaste das ferramentas TiAlN-Futura jateada e TiAlN-Futura laser.

A Figura 4.87 mostra em detalhe a borda da cratera de desgaste de uma ferramenta texturizada a laser e revestida de TiAlN-Futura. Nesta figura é possível perceber claramente que o revestimento é retirado do substrato de metal duro de maneira irregular.

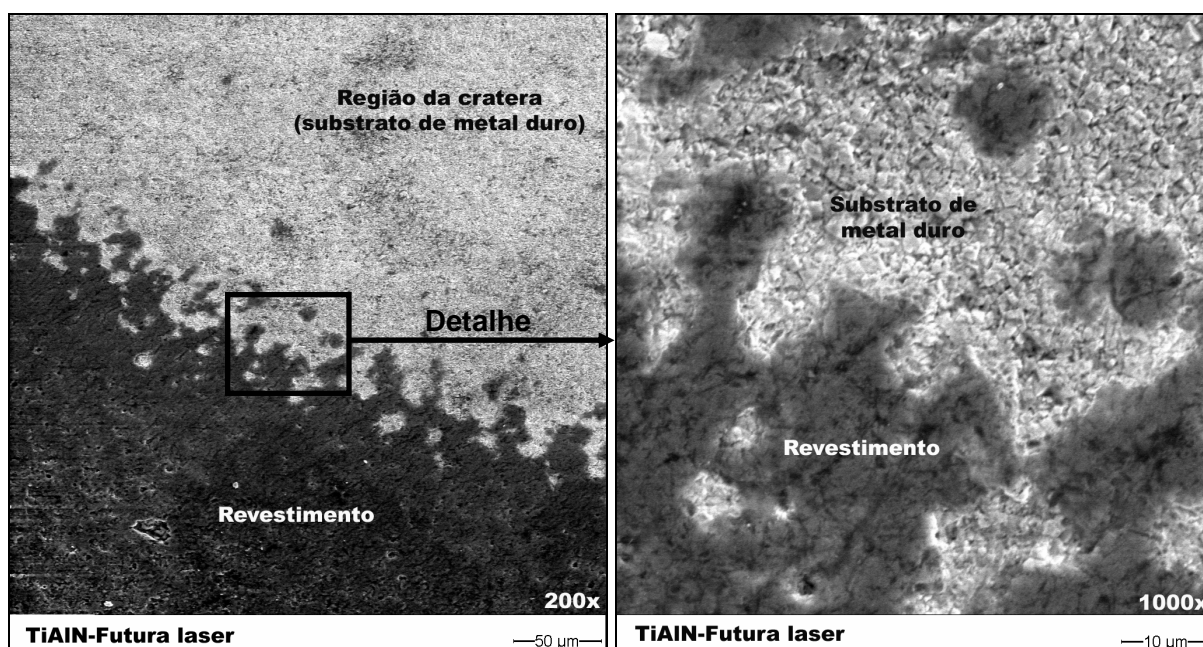


Figura 4.87 - Detalhe da borda da cratera de desgaste de uma ferramenta TiAlN-Futura laser.

Os resultados obtidos anteriormente mostraram que o ensaio de microabrasão do tipo esfera livre é uma ferramenta útil na caracterização de revestimentos, sendo uma alternativa viável, devido a sua capacidade de fornecer resultados em um intervalo de tempo relativamente curto. Contudo, podem ocorrer muitos erros sistemáticos na determinação dos diâmetros interno (a) e externo (b) da calota de desgaste formada utilizando uma medição óptica. Em particular, quando existe um contraste insuficiente na interface entre o revestimento e o material do substrato, caso das ferramentas revestidas de AlCrN-Alcrona e TiAlN-Futura, que apresentavam a mesma cor do substrato. Além disso, o empilhamento de material nas bordas das crateras podem conduzir a um erro na medição do diâmetro externo (b), principalmente, para superfícies mais rugosas, caso das ferramentas texturizadas a laser.

# CAPÍTULO V

## CONCLUSÕES

Este item apresenta uma síntese dos principais resultados obtidos ao longo do trabalho desenvolvido:

### ➤ **Ensaaios de vida**

- A texturização a laser pode ser uma alternativa no tratamento do substrato de ferramentas de metal duro antes do processo de deposição do revestimento em substituição ao processo convencional por jateamento;
- Os ensaios de vida no fresamento frontal de ferro fundido vermicular mostraram o melhor desempenho das ferramentas com textura laser, apresentando em média maiores volumes de material removido;
- A velocidade de corte ( $v_c$ ) e a profundidade de corte ( $a_p$ ) foram os parâmetros de maior influencia na vida das ferramentas. Sendo que a velocidade de corte foi o único parâmetro que apresentou significância estatística para todas as ferramentas ensaiadas;
- Os revestimentos TiAlN-Futura e AlCrN-Hélica foram mais eficientes no fresamento frontal de ferro fundido vermicular nas condições de corte estabelecidas;
- O desgaste e a avaria foram os tipos de destruição das ferramentas de corte observados nos ensaios de vida;



- As formas de desgaste observadas nas ferramentas foram o de flanco e o de cratera. Já os mecanismos de desgaste atuantes foram à abrasão e a adesão, influenciados principalmente pelas condições de corte utilizadas, material da peça usinada e material da ferramenta;
- Os mecanismos de desgaste por abrasão e adesão foram observados tanto nas ferramentas modificadas por jateamento quanto laser. Não houve diferença nos mecanismos de desgaste para os revestimentos AlCrN-Hélica, AlCrN-Alcrona e TiAlN-Futura;
- As avarias das ferramentas foram constatadas pela presença de trincas perpendiculares à aresta de corte, possivelmente, as responsáveis pelas quebras das ferramentas ensaiadas.

➤ **Topografia dos substratos**

- A análise topográfica das ferramentas mostrou que a textura jateada é caracterizada pelo seu aspecto “randômico”, e a textura laser caracterizada pela distribuição semiordenada de picos e vales;
- Os parâmetros topográficos de amplitude adquiridos por perfilometria 3D (Sq, Sa, Sz e St) mostraram que o substrato sem revestimento modificado por jateamento (SR-jateado) apresenta uma menor rugosidade em relação ao substrato sem revestimento tratado com laser (SR-laser). Sendo que o processo de deposição PVD dos revestimentos AlCrN-Hélica, AlCrN-Alcrona e TiAlN-Futura aumenta os parâmetros de amplitude dos dois substratos, jateado e laser;
- As imagens em perfilometria 3D mostraram que a textura jateada é mais isotrópica do que textura provocada pelo feixe de laser;
- A superfície do substrato de metal duro após o jateamento apresenta uma isotropia de 75,4 %, enquanto que a superfície do substrato de metal duro após a modificação por feixe de laser apresenta uma isotropia de 38,7 %.

➤ **Ensaio de adesividade dos revestimentos**

- Nos ensaios de indentação Rockwell as áreas de delaminação dos revestimentos depositados nas ferramentas texturizadas a laser foram menores do que para os revestimentos depositados nas ferramentas jateadas;
- Nas ferramentas jateadas a delaminação dos revestimentos ocorre de maneira contínua nas bordas das indentações, ao passo que nas ferramentas texturizadas a laser a delaminação dos revestimentos ocorre em pontos isolados;
- O TiAlN-Futura foi o revestimento com menores áreas de delaminação, tanto para as ferramentas jateadas quanto para as ferramentas com textura laser;
- Os ensaios de indentação Rockwell mostraram que a modificação superficial do substrato de metal duro por feixe de laser, anterior ao processo de deposição PVD, melhora a adesividade dos revestimentos AlCrN-Hélica, AlCrN-Alcrona e TiAlN-Futura, quando comparado ao processo de jateamento;
- Nos ensaios de risco com carga progressiva as falhas dos revestimentos depositados sobre as ferramentas jateadas foram inteiramente de natureza adesiva, com a delaminação contínua dos filmes nas bordas das trilhas de desgaste, já para as ferramentas texturizadas a laser as falhas dos revestimentos estão associadas, principalmente, ao lascamento dos revestimentos, ora com exposição do substrato de metal duro, ora apenas com a descamação do revestimento.

➤ **Ensaio de microabrasão**

- Os ensaios de microabrasão por esfera livre mostraram uma maior resistência ao desgaste abrasivo do revestimento AlCrN-Hélica, seguido pelo TiAlN-Futura e AlCrN-Alcrona;
- Estatisticamente não houve diferença entre os coeficientes de desgaste dos revestimentos depositados nos substratos texturizados por jateamento e laser;
- Na média os coeficientes de desgaste dos revestimentos depositados nos substratos texturizados a laser foi menor do que os coeficientes de desgaste dos revestimentos depositados nos substratos jateados.

# CAPÍTULO VI

## PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

As propostas para o desenvolvimento de trabalhos futuros são apresentadas a seguir:

- Estudar o comportamento de ferramentas de metal duro texturizadas a laser com outros diferentes parâmetros do feixe e posteriormente revestidas, em ensaios de usinagem e de caracterização de revestimentos;
- Avaliar o desempenho de ferramentas de metal duro texturizadas a laser no corte contínuo;
- Investigar a influência da texturização a laser de ferramentas de corte na potência e forças de usinagem;
- Investigar a formação de trincas de origem térmica nos substratos de ferramentas de metal duro texturizadas a laser para diferentes parâmetros de operação do feixe;
- Investigar se as trincas de origem térmica formadas na superfície de ferramentas de metal duro após a texturização a laser influenciam na adesividade de revestimentos duros;
- Investigar a interface substrato-revestimento das ferramentas texturizadas por jateamento e laser;

- Estudar e aplicar novos parâmetros topográficos obtidos por perfilometria 3D que auxiliem no entendimento do ancoramento do revestimento depositado em ferramentas de corte;
- Investigar a adesividade de revestimentos por meio de ensaios de risco com carga progressiva utilizando emissão acústica;
- Caracterizar os mecanismos de desgaste abrasivo, deslizamento e rolamento, que atuam em substratos revestidos por meio de ensaios tribológicos
- Avaliar o comportamento ao atrito de substratos de ferramentas de corte texturizadas a laser sem revestimento e revestidas;



## CAPÍTULO VII

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abele, E., Sahm, A., Schulz, H., 2002, "Wear Mechanism when Machining Compacted Graphite Iron", University of Technology, Darmstadt, Germany, pp.1-4.

ABNT - NBR 6162, 1989, "Movimentos e Relações Geométricas na Usinagem dos Metais", ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 37 p.

Allmen, M. V., 1987, "Laser-Beam Interactions with Materials", Springer-Verlag, Berlin.

ANSI/ASME, Norma B46.1, 2002, "Surface Texture, Surface Roughness, Waviness and Lay", American Society of Mechanical Engineers, 110 p.

Arroyo, J. M., 2009, "Investigação sobre o Uso da Texturização a Laser na Preparação da Superfície a Ser Recoberta em Ferramentas de Metal Duro para Fresamento", Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 166 p., Campinas, SP.

ASM, 1996, "Specialty Handbook: Cast Irons", United States of America: ASM International, 267 p.

ASTM/D907-70, 1970, "Adhesion or Cohesive Strength of Flame-Sprayed Coatings", ASTM (American Society for Testing Materials, Philadelphia, PA, 25 p.

Balzers, 2005, "Revestimentos Balinit<sup>®</sup>", disponível em: [www.oerlikonbalzerscoating.com](http://www.oerlikonbalzerscoating.com), acessado em 2005.

Bantle, R., Matthews, A., 1995, "Investigation into the Impact Wear Behaviour of Ceramic Coatings", Surface and Coatings Technology, vol. 74-75, pp. 857-868.

Batista, J. C., A., 2001, "Promising Duplex Coatings for Tribological Applications at Elevated Temperatures", Doctoral Thesis, Universidade Federal de Minas Gerais, 156 p., Belo Horizonte, MG.

Batista, J. C. A., Godoy, C., Matthews, A., 2002, "Micro-scale Abrasive Wear Testing of Duplex and non-Duplex (single-layered) PVD (Ti,Al)N, TiN and Cr-N Coatings", *Tribology International*, vol. 6, pp. 363-372.

Berger, M., Hogmark, S., 2002, "Tribological Properties of Selected PVD Coatings when Slid Against Ductile Materials", *Wear*, vol. 252, pp. 557-565.

Bhat, D. G., 1989, "Application of CVD and PVD Technologies to Cutting Tools, and Evaluation of Tool Failure Modes", *Surface and Coatings Technology*, vol 34, pp. 456-461.

Björk, T., Westergard, R., Hogmark, S., Bergström, J., Hedenqvist, P., 1999, "Physical Vapour Deposition Duplex Coatings for Aluminium Extrusion Dies", *Wear*, vol. 225-229, pp. 1123-1130.

Blateyron, F., 2006, "New 3D Parameters and Filtration Techniques for Surface Metrology", *Digital Surf*, France, 7 p.

Blatter, A., Maillat, M., Pimenov, S.M., Shafeev, G.A., Simakin A.V., Loubnin, E. N., 1999, "Lubricated Sliding Performance of Laser-Patterned Sapphire", *Wear*, vol. 232, pp. 226-230.

Bouzakis, K. D., Koutoupas, G., Siganos, A., Leyendecker, T., Erkens, G., Papapanagiotou, A., Nikolakakis, P., 2000, "Increasing of Cutting Performance of PVD Coated Cemented Carbide Inserts in Chipboard Milling Through Improvement of the Film Adhesion, Considering the Coating Cutting Loads", *Surface and Coatings Technology*, vol. 133-134, pp. 548-554.

Bouzakis, K. D., Michailidis, N., Hadjiyiannis, S., Efstathiou, K., Pavlidou, E., Erkens, G., Rambadt, S., Wirth, I., 2001, "Improvement of PVD Coated Inserts Cutting Performance, Through Appropriate Mechanical Treatments of Substrate and Coating Surface", *Surface and Coatings Technology*, vol. 146-147, pp. 443-450.

Bouzakis, K. D., Siganos, A., 2004, "Fracture Initiation Mechanisms of Thin Hard Coatings During the Impact Test", *Surface and Coatings Technology*, vol. 185, pp. 150-159.

Bouzakis, K. D., Skordaris, G., Mirisidis, I., Michailidis, N., Mesomeris, G., Pavlidou, E., Erkens, G., 2005, "Cutting performance improvement through micro-blasting on well-adherent PVD films on cemented carbide inserts", *Surface & Coatings Technology*, vol. 200, pp. 1879-1884.

Bull, S. J., Bhat D. G., Staia, M. H., 2003, "Properties and Performance of Commercial TiCN Coatings Part 1: Coating Architecture and Hardness Modeling", *Surface and Coatings Technology*, vol. 163-164, pp. 499-506.

Bunshah, R. F., 2001, "Handbook of Hard Coatings - Deposition Technologies, Properties and Applications", Noyes Publications, 550 p.

Burnett, P. J., Rickerby, D. S., 1987, "The Mechanical Properties of Wear Resistant Coatings I: Modelling of Hardness Behaviour", *Thin Solid Films*, vol. 148, pp. 41-50.

Cappelli, E., Orlando, S., Pinzari, F., Napoli, A., Kaciulis, S., 1999, "WC-Co Cutting Tool Surface Modifications Induced by Pulsed Laser Treatment", *Applied Surface Science*, vol. 138-139, pp. 376-382.

Chapman, B. N., 1974, "Journal of Vacuum Science and Technology".

Childs, T., et al., 2000, "Metal Machining, Theory and Applications", First Edition, London: Elsevier Butterworth-Heinemann, vol. 1, 416 p.

Chen, D. J., Sun, W. P., Hon, M. H., 1987, "The Morphology and Structure of Chemical Vapour-Deposited Ti(C,N) Coatings", *Thin Solid Films* vol. 146 pp. 45-53.

Choo, C. W., Lee, Y. Z., 2000, "Wear-life Evaluation of CrN-coated Steels Using Acoustic Emission Signals", *Surface and Coatings Technology*, vol. 127, pp. 59-65.

Coelho, R. T., Eu-Gene, Ng., Elbestawi, M. A., 2007, "Tool Wear when Turning Hardened AISI 4340 with Coated PCBN Tools Using Finishing Cutting Conditions", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 47, pp. 263-272.

Cohen, P. H., Voigt, R. C., Marwanga, R. O., 2000, "Influence of Graphite Morphology and Matrix Structure on Chip Formation During Machining of Ductile Irons", In: AFS Casting Congress, Pittsburg-USA, American Foundrymen's Society, 10 p.

Cohen, D. K., 2008, "Glossary of Surface Texture Parameters", Michigan Metrology, pp. 1-42.

Cooper, K. P., Loper Jr. C. R., 1987, "Some Properties of Compacted Graphite Cast Iron", AFS Transactions, vol. 86, pp. 241-248.

Corfe, A.G., 1983, "Laser drilling of aero engine components. In: Proceedings of the First International Conference on Lasers in Manufacturing. Brighton, East Sussex, pp. 31-40.

Costa, H. L., 2005, "Modification of Surface Topography: Manufacturing Methods and Applications", Doctoral Thesis, University of Cambridge, Cambridge, Inglaterra, 321 p.

Cselle, T., 1998, "Carbide Drills: at the Peak of Development?" Ghuring Company, 85 p.

CSM Instruments, 2008, "Catálogo CSM Scratch Testers - Nano, Micro and Macro Range" Disponível em: <[http://www.csm-instruments.com/en/webfm\\_send/2](http://www.csm-instruments.com/en/webfm_send/2)>, acessado em 2008.

Darbeida, A., Von Stebut, J., (sem data), "Démarche Expérimentale de Caractérisation Tribologique des Surfaces, Intérêts Pratiques Pour des Applications de Revêtements de Surface", Société Tribologique de France, pp. 79-89.

Dawson, S., 1993, "The SinterCast Process and Compacted Graphite Iron", In: International Conference on Latest and Best in Melting and Metal Treatment in Ferrous and Non-Ferrous Foundries, Coventry, England, 7 p.

Dawson, S., 1994, "Operational Properties of Compacted Graphite Iron: Feedback from on Going Test Programmes", SinterCast S.A., February, 6 p.

Dawson, S., et al., 1999, "The Effect of Metallurgical Variables on the Machinability of Compacted Graphite Iron", In: Design e Machining Workshop - CGI, 7 p.

Dawson, S., Schroeder, T., 2004, "Practical Applications for Compacted Graphite Iron", AFS Transactions, American Foundry Society, Des. Plaines, USA, Paper 04-047, pp.1-9.

Derflinger, V., Reiter, A., Gey, C., 2008, "Workpiece with a Hard Film of AlCr-Containing Material, and Process for its Production", US Patent 0131727 A1.

D'Errico, G. E., Guglielmi, G. E. E., G. Rutelli, G., 1999, "A Study of Coatings for End Mills in High Speed Metal Cutting", Journal of Materials Processing Technology, Vols. 92-93, pp. 251-256.

Diniz, A. E., M. S. F., Lima, Osorio, J. M. A., 2007, "WC-Co Coated Carbide Substrate Surface Texturing with a Pulsed CuHBr Laser", In: COBEM 2007 19<sup>th</sup> International Congress of Mechanical Engineering, Brasília, pp. 1-10.

Doré, C., 2006, "Influência da Variação da Nodularidade na Usinabilidade do Ferro Fundido Vermicular Classe 450", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 145 pp.

Duley, W. W., 1976, "CO<sub>2</sub> Lasers: Effects and Applications", Ed. Academic Press, 230 p.

Duley, W. W., Kinsman, G., 1990, "Process Laser and the Electrom Beam", Appl. Phys. Lett., vol. 56, 996 p.

Dumitru, G., Lüscher, B., Krack, M., Bruneau, S., Hermann, J., Gerbig, Y., 2005, "Laser Processing of Hardmetals: Physical Basics and Applications", International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, vol. 23, pp. 278-286.

Ekmar, C. S., 1970, "Carbide-Coated Cemented Metal Carbide", Germany Patent nº DE2007427, Issued to Sandvikens Jernverks Aktiebolag, September 10.

Endrino, J. L., Derflinger, V., 2005, "The Influence of Alloying Elements on the Phase Stability and Mechanical Properties of AlCrN Coatings", Surface & Coatings Technology, vol. 200, pp. 988-992.

Endrino, J. L., Fox-Rabinovich, G. S., Gey, C., 2006, "Hard AlTiN, AlCrN PVD Coatings for Machining of Austenitic Stainless Steel", *Surface & Coatings Technology*, vol. 200, pp. 6840-6845.

Endrino, J. L., Fox-Rabinovich, G. S., Reiter, A., Veldhuis, S. V., Escobar Galindo, R., Albella, J. M., Marco, J. F., 2007, "Oxidation Tuning in AlCrN Coatings", *Surface and Coatings Technology*, vol. 201, pp. 4505-4511.

Ferraresi, D., 1977, "Fundamentos da Usinagem dos Metais", Editora Edgard Blücher Ltda, vol. 1, São Paulo-SP, 751 p.

Fox-Rabinovich, G. S., Yamamoto, K., Veldhuis, S. C., Kovalev, A. I., Dosbaeva, G. K., 2005, "Tribological Adaptability of TiAlCrN PVD Coatings Under High Performance Dry Machining Conditions", *Surface & Coatings Technology*, vol. 200, pp. 1804-1813.

Franco Jr, A. R., Pinedo, C. E., Vencovsky, P. K., Tschiptschin, A. P., 2000, "Efeito do Acabamento Superficial de Substratos de Aço-Ferramenta AISI D2 na Aderência de Revestimentos de TiN Depositados por PVD", CBECIMAT.

Franco Jr, A. R., 2003, "Obtenção de Revestimentos Dúplex por Nitretação a Plasma e PVD-TiN em Aços-Ferramenta AISI D2 e AISI H13", Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 196 pp, São Paulo-SP.

Fu, Y., Du, H., Zhang, S., 2001, "Sputtering Deposited TiNi Films: Relationship Among Processing, Stress Evolution and Phase Transformation Behaviours", *Surface and Coatings Technology*, vol. 167, pp. 120-128.

Greene, J. E., 1994, "Handbook of Crystal Growth", In: Hurle DTJ, Editor, vol. 1. Amsterdam: Elsevier, 640 p.

Griffiths, B., 2001, "Manufacturing Surface Technology", London: Penton Press, 1ª Ed., 237 p.

Grzesik, W., 1998, "Experimental Investigation of the Cutting Temperature when Turning with Coated Indexable Inserts", *International Journal of Machine Tools & Manufacturing*, vol. 39, pp. 355-369.

Gu, J., Barber, G., Tung, S., Gu, R. J., 1999, "Tool Life and Wear Mechanism of Uncoated and Coated Milling Inserts", *Wear*, vol. 225-229, pp. 273-284.

Guesser, W, Guedes, L. C., 1997, "Desenvolvimentos Recentes de Ferros Fundidos Aplicados a Indústria Automobilística", Trabalho apresentado no Seminário da Associação de Engenharia Automotiva - AEA, São Paulo, pp. 1-5.

Guesser, W., 2002, "Ferro Fundido com Grafita Compacta", *Metalurgia & Materiais*, Junho, pp.403-405.

Guu, Y. Y., Lin, J. F., 1997, "Analysis of Wear Behaviour of Titanium Carbonitride Coatings", *Wear*, vol. 210, pp. 245-254.

Han, J. G., Kim, S. S., Kim, H. J., Kim, D. J., Choi, I. S., 1998, "The Effect of Arc Ion Pre-Bombardment on the Impact Failure of TiN Coating on Co-WC", *Surface and Coatings Technology*, vol. 98, pp. 991-996.

Hedenqvist, P., Olsson, M., Wallén, P., Kassman A., Hogmark, S., Jacobson, S., 1990, "How TiN Coatings Improve the Performance of High Speed Steel Cutting Tools", *Surface and Coatings Technology*, vol. 41, pp. 243-256.

Heinke, W., Leyland, A., Matthews, A., Berg G., Friedrich C., Broszeit E., 1995, "Evaluation of PVD Nitride Coatings, Using Impact, Scratch and Rockwell-C Adhesion Tests", *Thin Solid Films*, vol. 270, pp. 431-438.

Hogmark, S., Jacobson, S., Larsson, M., 2000, "Design and Evaluation in Tribological Coatings", *Wear*, vol. 246, pp. 20-33.

Holmberg, K., Matthews, A., 1994, "Coating Tribology: Properties, Techniques and Applications in Surface Engineering", Elsevier Science B.V., Ed., 607 pp.

Holmberg, K., Laukkanen, A., Ronkainen, H., Wallin, K., Varjus, S., 2003, "A Model for Stresses, Crack Generation and Fracture Toughness Calculation in Scratched TiN Coated Steel Surfaces", *Wear*, vol. 254, pp. 278-291.



Huddinge, P. L., Gavle, A. J., 2000, "Method of Blasting Cutting Tool Inserts", Sandvik AB, U.S. Patent 6132293.

Hunt, J. L., Santhanam, A. T., 1990, "Coated Carbide Metal Cutting Tools: Development and Applications", The Winner Annual Meeting of the American Society of Mechanical Engineers, vol. 25-30, pp. 139-155.

Ikeda, T., Satoh, H., 1991, "Phase Formation and Characterization of Hard Coatings in the Ti-Al-N System Prepared by the Cathodic Arc Ion Plating Method", Thin Solid Films vol. 195 pp.99-110.

Jacobs, R., Jennet, N., Meneve, J., 2003, "Advances in Adhesion Measurement Good Practice: Use of a Certified Reference Material for Evaluating the Performance of Scratch Test Instrumentation, MST Conference: Adhesion Aspects of Thin films, 20 pp.

Jindal, P. C., Santhanam, A. T., Scheinkofer, U., Shuster, A. F., 1999, "Performance of PVD TiN, TiCN, and TiAlN Coated Cemented Carbide Tools in Turning", International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, vol. 17, pp. 163-170.

Kabaldin, Yu. G., Izotov, S. A., 1987, "Analysis of the Destruction of Thin Coatings on Carbide in Discontinuous Cutting", Soviet Journal of Superhard Materials, vol. 9, pp. 40-46.

Kalss, W., Reiter, A., Derflinger, V., Gey, C., Endrino, J. L., 2006, "Modern Coatings in High Performance Cutting Applications", International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, vol. 24, pp. 399-404.

Kano, S., Inoue, T., 2006, "Surface Softening and Hardening of WC-Co Using Pulsed Laser Irradiation", Surface and Coatings Technology, vol. 201, pp. 223-229.

Karatas, C., Yilbas, B. S., Aleemb, A., Ahsan, M., 2007, "Laser Treatment of Cemented Carbide Cutting Tool", Journal of Materials Processing Technology, vol. 183, pp. 234-240.

Karlsson, L., Hultman, L., Johansson, M. P., Sundgren, J. E., Ljungcrantz, H., 2000, "Growth, Microstructure, and Mechanical Properties of Arc Evaporated  $TiC_xN_{1-x}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) Films", Surface and Coatings Technology, vol. 126, pp. 1-14.

Kawate, M., Hashimoto, A. K., Suzuki, T., 2003, "Oxidation Resistance of  $\text{Cr}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  and  $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  films", *Surface and Coatings Technology*, vol. 165, pp. 163-167.

Kimura, A., Hasegawa, H., Yamada, K., Suzuki, T., 2000, "Metastable  $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  Films with Different Al Content", *Journal Materials Science Letter*, vol. 19, pp. 601-602.

Klocke, F., Schroeder, T., Bouzakis, E., Klein, A., 2007, "Manipulation of Coating and Subsurface Properties in Reconditioning of WC-Co Carbide Cutting Tools", *Surface & Coatings Technology*, vol. 202, pp. 1194-1198.

Knotek, O., Löffler, F., Krämer, G., 1988, "Performance Behaviour of Physical Vapour Deposition Coated Cermets in Interrupted-Cut Machining", *Surface and Coatings Technology*, vol. 62, pp. 669-673.

Knotek, O., Löffler, F., Krämer, G., 1992, "Multicomponents and Multilayer PVD Coatings for Cutting Tools", *Surface and Coatings Technology*, vol. 54-55, pp. 241-248.

Knotek, O., Löffler, F., Beele, W., Krämer, G., 1993, "Comparison of Abrasion Model Test Results and Machining Tests with PVD-Coated Indexable Inserts", *Wear*, vol. 162-164, pp. 1033-1039.

Kovalev, A., Shulha, H., Lemieux, M., Myshkin, N., Tsukruk, V. V., 2006, "Nanomechanical Probing of Layered Nanoscale Polymer Films with Atomic Force Microscopy", *Journal Material Research*, vol. 19, n° 03, pp. 716-728.

Kupczyk, M., Jozwiak, K., Cieszkowski, P., Libuda, P., 2007, "Influence of Laser Heating on Adhesion of CVD Coatings to Cutting Edges", *Surface and Coatings Technology*, vol. 201, pp. 5153-5156.

Kwon, D. H., Kang, M. C., Kim, J. S., Ok, J. T., Kim, K. H., 2005, "A Comparative Study on Cutting Performance of TiN-Coated Tungsten Carbide Cutting Tool with a Cobalt Interlayer", *Surface and Coatings Technology*, vol. 200, pp. 1933-1938.

Lamastra, F. R., Leonardi, F., Montanari, R., Casadei, F., Valente, T., Gusmano, G., 2006, "X-ray Residual Stress Analysis on CrN/Cr/CrN Multilayer PVD Coatings Deposited on Different Steel Substrates", *Surface and Coatings Technology*, vol. 200, pp. 6172-6175.

Larsson, M., Olsson, M., Hedenqvist, P., Hogmark, S., 1996, "On the Mechanism of Coating Failure as Demonstrated by Scratch and Indentation Testing of TiN and HSS", Surface Engineering.

Lee, M., Richman, M. H., 1974, "Some Properties of TiC-Coated Cemented Tungsten Carbides" - Metals Technology.

Lee, D. G., 1998, "Adhesion Improvement of Chemically Vapor Deposited Diamond Thin Films on Cemented Carbides via Laser Surface Modification", Doctoral Dissertation, University of Florida, 208 p.

Lee, D., Fitz-Gerald, J., Singh, R., 1998, "Novel Method for Adherent Diamond Coatings on Cemented Carbide Substrates", Surface and Coatings Technology, vols. 100-101, pp. 187-191.

Lee, D. G., Gilbert, D. R., Lee, S. M., Singh, R. K., 1999, "Surface Composites: a Novel Method to Fabricate Adherent Interfaces in Thermal-Mismatched Systems", Composites Part B: Engineering, vol. 30, pp. 667-674.

Lewis, D. B., Bradbury, S. R., Sarwar, M., 1996, "Effect of Substrate Surface Preparation on the Performance and life of TiN-Coated High Speed Steel Circular Saw Blades", Surface and Coatings Technology, vol. 82, Issues 1-2, pp. 187-192.

Leyendecker, T., Lemmer, O., Esser, S., Ebberink, J., 1989, "The Development of the PVD Coating TiAlN as a Commercial Coating for Cutting Tools", Surface and Coatings Technology, vol. 48, n° 02, pp. 175-178.

Leyland, A., Matthews, A., 2000, "On the Significance of the H/E ratio in Wear Control: a Nanocomposite Coating Approach to Optimized Tribological Behavior", Wear, vol. 246, pp. 1-11.

Lima, M. S. F., Vencovsky, P., Vieira Jr, N. D., Morato, S. P., 2004, "Increasing Life-time of Tools by a New Laser Treatment and Coating Processes", Computational Methods in Materials Characterisation, Ed. A. A Mammoli and C. A. Brebbia, Southampton (UK), pp. 339-348.

Lima, M. S. F., Folio, F., Mischler, S., 2005, "Microstructure and Surface Properties of Laser-Remelted Titanium Nitride Coatings on Titanium", *Surface and Coatings Technology*, vol. 199, pp. 83- 91.

Lima, M. S. F., 2006, "Apostila do Curso MT-289 - Processamento Laser de Materiais", Programa de Pós-Graduação, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, São José dos Campos-SP.

Low, D. K. Y., Li, L., Corfe, A. G., Byrd, P. J., 2001, "Spatter-free Laser Percussion Drilling of Closely Spaced Array Holes", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 41, pp. 361-377.

Machado, A. R., Coelho, R. T., Abrão, A. M., da Silva, M. B., 2009, "Teoria da Usinagem dos Materiais", Editora Blucher, 384 p.

Marquard, R., Helfried, S., McDonald, M., 1998, "Crank it up: New Materials Create New Possibilities", *Engine Technology International*, vol. 2, pp. 58-60.

Mattox, D. M., 2001, "Surface and Film Characterization: Film Adhesion and "Deadhesion", *Educational Guide to Vacuum Coating Processing*, Society of Vacuum Coaters, 2 pp.

Mattox, D. M., 2000, "Ion Plating Past, Present and Future", *Surface and Coatings Technology*, vol. 133-134, pp. 517-521.

Mattox, D. M., 1996, "Surface Effects on the Growth, Adhesion and Properties of Reactively Deposited Hard Coating", *Surface and Coatings Technology*, vol. 81, pp. 8-15.

McDonald, M., Dawson, M., 1999 "Compacted Graphite Iron and Current Trends in Engine Design", *Engine Technology International*.

McIntyre, D., Greene, J. E., Håkansson, G., Sundgren, J. E., Münz, W. D., 1990, "Oxidation of Metastable Single-phase Polycrystalline  $Ti_{0.5}Al_{0.5}N$  Films-kinetics and Mechanisms", *Journal Applied Physical*, vol. 67, pp. 1542-1553.

Michler, T., Siebert, C., 2003, "Abrasive Wear Testing of DLC Coatings Deposited on Plane and Cylindrical Parts", *Surface and Coatings Technology*, vols. 163-164, pp. 546-551.

Mittal, K. L., 1976, "Adhesion Measurement of Thin Films", *Electrocomponent Science Technology*, vol. 3, pp. 21-42.

Mo, J. L., Zhu, M. H., Lei, B., Leng, Y. X., Huang, N., 2007, "Comparison of Tribological Behaviours of AlCrN and TiAlN Coatings-Deposited by Physical Vapor Deposition", *Wear*, vol. 263, pp. 1423-1429.

Mocellin, F., 2002, "Estudo da Usinabilidade do Ferro Fundido Vermicular em Ensaio de Furação", *Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina*, 94 p.

Mocellin, F., Melleras, E., Guesser, W. L., Boehs, L., 2004, "Study of the Machining of Compacted Graphite Iron for Drilling Process", *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Science and Engineering*, vol. 26, nº 01, pp. 22-27.

Mohlfeld, A., 2000, "Trockenbohren mit PVD-beschichteten Hartmet-allwerkzeugen", *Dissertation, University of Hannover*.

Morrogh, H., 1949, "Prediction of Nodular Graphite Structures in Gray Cast Irons", *AFS Transactions*, vol. 56, pp. 72-90.

Muenster, A., Ruppert, W., Schwedler, G., 1964, "Carbide Coatings on Tools and Machine Parts", *Germany Patent nº DE1170218, Issued to Metallgesellschaft, May 14; also Münster, A., Webber, R., US Patent 2836514, May 27, 1958.*

Nakamura, K., Inagawa, K., 1975, "Superhard Cutting Tips Coated with TiC", *Japanese J. (Kinzoku) Metals*, 35 p.

National Defense Center for Environmental Excellence - NDCEE, 1999, "Investigation of Laser Based De-Coating Technology", *U.S. Army, Final Report*, 43 p.

Neves, D., Diniz, A. E., Lima, M. S. F., 2006, "Efficiency of the Laser Texturing on the Adhesion of the Coated Twist Drills", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 179, pp. 139-145.

Norma Européia prEN 1071-3, 2000, "Advanced Technical Ceramics - Methods of Test for Ceramic Coatings Part 3: Determination of Adhesion and Other Mechanical Failure Modes by a Scratch Test".

Norma ISO-Standard 3685, 1977, "Tool-life Testing with Single-Point Turning Tools", ISO-Standard, Switzerland.

Norma ISO 8688-1, 1989, "Tool Life Testing in Milling - Part 1: Face Milling", 27 p.

Nouveau, C., Jorand, E., Decès-Petit, C., Labidi, C., Djouadi, M. A., 2005, "Influence of Carbide Substrates on Tribological Properties of Chromium and Chromium Nitride Coatings: Application to Wood Machining", *Wear*, vol. 258, pp. 157-165.

Ohring, M., 1992, "The Materials Science of Thin Films", Academic Press, Harcourt Brace & Company Publishers, 704 pp., San Diego, CA, EUA.

Oliveira, A. C., 2006, "Microsoldagem em Chapas Finas Utilizando um Laser de Cu-HBr", Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 112 p.

Ollendorf, H., Schneider, D., 1999, "A Comparative Study of Adhesion Test Methods for Hard Coatings", *Surface and Coatings Technology* vol. 113 pp. 86–102.

PalDey, S., Deevi, S. C., 2003, "Single Layer and Multilayer Wear Resistant Coatings of (Ti,AL)N: a Review", *Materials Science and Engineering*, pp. 01-22.

Paracchini, L., Muto, R., 2006, "Study of the Adherence Between a Noble Base Metal and a Glass Ceramic", Courtesy of the Magazine "QO", Resch Editrice s.r.l., 8 pp.

Pflüger, E., Schröer, A., Voumard, P., Donohue, L., Münz, W. D., 1999, "Influence of Incorporation of Cr and Y on the Wear Performance of TiAlN Coatings at Elevated Temperatures", *Surface and Coatings Technology*, vol. 115, pp. 17-23.

Pierson, H. O., 1992, "Handbook of Chemical Vapour Deposition (CVD) - Principles, Technology and Applications", Noyes Publications, Park Ridge, N. Y.

Polini, R., D'Antonio, P., Lo Casto, S., Ruisi, V. F., Traversa, E., 2000, "Cutting Performance and Indentation Behaviour of Diamond Films on Co-Cemented Tungsten Carbide" *Surface and Coatings Technology*, vol. 123, pp. 78-83.

Prengel, H. G., Jindal, P. C., Wendt, K. H., Santhanam, A. T., Hegde, P. L., Penich, R. M., 2001, "A New Class of High Performance PVD Coatings for Carbide Cutting Tools", *Surface and Coatings Technology*, vol. 139, pp. 25-34.

Pretorius, N., Toomey, T., 2007, "Evaluation of Different Cutting Tool Materials for the Interrupted Machining of Compacted Graphite Cast Iron", *Industrial Diamond Review*, PCBN tooling, April, pp. 41-48.

Pulker, K. H., Berger R., 1981, "Adhesión", *Surface Technology*, vol. 14, pp. 25-39.

Quinto, D. T., 2004, "Functionality of PVD Coatings for Cutting Tools", Seminar for Cutting Tools, BALZERS Tool Coating Inc.

Ready, J. F., 1997, "Industrial Applications of Lasers", Ed. Academic Press, 2<sup>a</sup> Edition, 125 pp.

Reiter, A. E., Brunner, B., Ante, M., Rechberger, J., 2005, "Investigation of Several PVD Coatings for Blind Hole Tapping in Austenitic Stainless Steel", *Surface and Coatings Technology*, pp. 1-10.

Reuter, U., Schulz, H., Konetschny, C., GasteL, M., McDonald, M., 1999, "Wear Mechanisms in High-Speed Machining of Compacted Graphite Iron", CGI Design and Machining Workshop, PTW TU-Darmstadt, pp. 1-10.

Riva, R. et al., 1996, "The Cu-HBr Laser: A New Laser Technology for AVLIS Purpose", In: Schawb, C., Rodrigues, N. A. S., Wood, H. G., Ed. *Proceedings of the Fifth Workshop on Separation Phenomena in Liquids and Gases*, Foz do Iguaçu-PR, Brasil, pp. 241-253

Riva, R. et al., 1997, "Recent Progress on Copper Laser Development and Applications at IEAv", *Revista de Física Aplicada e Instrumentação*, vol. 12, nº 04, pp. 119-125.



Sandvik, 1994, "Modern Metal Cutting", Publicação Sandvik Coromant, Sandvik Coromant Technical Editorial Dept., Tofters Tryckeri AB, First Edition, Sweden, 159 p.

Sandvik, 2005, "Manual Técnico de Usinagem - Torneamento - Fresamento - Furação - Mandrilamento - Sistemas de Fixação", Publicação da Sandvik Coromant, Brasil.

Santana, A. E., Karimi, A., Derflinger, V. H., Schütze, A., 2004, "The Role of hcp-AlN on Hardness Behavior of  $Ti_{1-x}Al_xN$  Nanocomposite During Annealing", Thin Solid Films, vol. 469-470, pp. 339-344.

Santhanam, A. T., Godse, R. V., Grab, G. P., Quinto, D. T., Undercoffer, K. E., Jindal, P. C., 1993, "Binder Enriched CVD and PVD Coated Cutting Tool", U.S. Patent 5250367.

Santos, S. C., 2002, "Estudo da Influência de Revestimentos e da Aplicação de Fluidos de Corte no Desempenho de Brocas de Aço-Rápido e de Metal Duro Integral na Usinagem de Ferro Fundido Cinzento", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, 192 p., Uberlândia, MG.

Santos, S. C., Sales, W. F., Da Silva, F. J., Franco, S. D., Da Silva, M. B., 2004, "Tribological Characterisation of PVD Coatings for Cutting Tools", Surface and Coatings Technology vol. 184, pp. 141-148.

Sato, T., Tada, Y., Azaki, M., Hoke, K., Basshi, T., 1994, "A Crossed Cylinders Testing for Evaluation of Wear Tribological Properties of Coated Tools", Wear, vol. 178, pp. 95-100.

Schneider, J. M., Voevodin, A., Rebholz, C., Matthews, A., Hogg, J. H. C., Lewis, D. B., Ives, M., 1995, "X-Ray Diffraction Investigations of Magnetron Sputtered TiCN Coatings", Surface and Coatings Technology, vol. 74-75. pp. 312-319.

Schulz, H., Reuter, U., 1998, "CGI Machinability and Developments Towards Production", CGI Design and Machining Workshop, PTW TU-Darmstadt, Germany, pp. 1-12.

Sergeant, G. F., Evans, E. R., 1978, "The Production and Properties of Compacted Graphite Irons", British Foundryman, London, vol. 75, nº 5, pp. 115-124.

Silva, S., 1997, "Recobrimento de Ferramentas de Corte com Filmes de Diamante", Dissertação de Mestrado, Instituto de Física - Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 137 p.

Singh, R., 1996, "Method of Applying a Laser Beam Creating Micro-Scale Surface Structures Prior to Deposition of Film for Increased Adhesion", US Patent 5558789.

Sivitski, A., Ajaots, M., Põdra, P., 2008, "Wear of PVD Hard Coatings in Sliding Contacts", 6th International DAAAM Baltic Conference Industrial Engineering 24-26 April 2008, Tallinn, Estonia, pp. 1-6.

Sjöstrand, M. E., Thelin, A. G., 1986, "CVD and PVD Technique for Producing Wear Resistant Coatings", MPR-December pp. 905-910.

Stappen, V. M., Stals L. M., Kerkhofs, M., Quaeys, C., 1995, "State of the Art for the Industrial Use of Ceramic PVD Coatings", Surface and Coatings Technology vol. 74-75 pp. 629-633.

Suh, N. P., 1976, "Coated Carbides – Past, Present and Future" International Conference on Hard Materials Tool Technology , Carnegie –Melon University, Pittsburgh, Pensilvânia, pp. 118-143.

Suh, C. M., Hwang, B. W., Murakami, R. I., 2003, "Behaviors of Residual Stress and High-Temperature Fatigue Life in Ceramic Coatings Produced by PVD", Materials Science and Engineering A, vol. 343, pp. 1-7.

Sun, Y., Bloyce, A., Bell, T., 1995, "Finite Element Analysis of Plastic Deformation of Various TiN Coating/Substrate Systems under Normal Contact with a Rigid Sphere", Thin Solid Films, vol. 271, pp. 112-131.

Suzuki, Y., Sano, M., Yukimura, K., Maruyama, T., Kurooka, S., Chayahara, A., Kinomura, A., Horino, Y., 1998, "Titanium Nitride Coating on Implanted Layer Using Titanium Plasma Based Ion Implantation", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research-B, vol. 148, pp. 37-41.

Tavares, C. J., 1997, "Caracterização Estrutural e Mecânica de Multicamadas TiN/ZrN depositadas por PVD", Dissertação de Mestrado em Física Aplicada, Universidade do Minho, 124 p.

Teeter, F. J., 1994, "As Ferramentas Revestidas com TiN Trazem muitos Benefícios", Revista Máquinas e Metais, Conformação a Frio, Edição de Julho, 6 p.

Teixeira, V., 2001, "Mechanical Integrity in PVD Coatings Due to the Presence of Residual Stresses", Thin Solid Films, vol. 392, pp. 276-281.

Thornton, J. A., Greene, J. E., 1994, "Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings", Science, Technology and Applications, Second Edition, Noyes Publications, 838 pp.

Tiejun, L., Qihong, L., Jingxing, D., Yunrong, W., Jingru, L., 2001, "Modified Surface Morphology in Surface Ablation of Cobalt-Cemented Tungsten Carbide with Pulsed-UV-Laser Radiation, Applied Surface Science, vol. 172, pp. 331-344.

Tiejun, L., Qihong, L., Jingxing, D., Yunrong, W., Jun, Z., Jingru, L., Zhiming, Z., Fanghong, S., 2002, "Improved Adhesion of Diamond Coating on Cobalt-Cemented Tungsten Carbide Hardmetal by Using Pulsed-UV-Laser Substrate Surface Pretreatment", Applied Surface Science, vol. 193, pp. 102-119.

Tönshoff, H. K., Marzenell, C., Kroos, F., 1997, "High Pressure Water Peening - A New Mechanical Surface-Strengthening Process", Ann. CIRP, vol. 46, pp. 113-116.

Tönshoff, H. K., Karpuschewski, B., Mohlfeld, A., Seegers, H., 1998, "Influence of Stress Distribution on Adhesion Strength of Sputtered Hard Coatings", Thin Solid Films, vol. 332, pp. 146-150.

Tönshoff, H. K., Mohlfeld, A., 1998, "Surface Treatment of Cutting Tool Substrates", International Journal Machine Tools and Manufacturing, vol. 38, pp. 469-476.

Tönshoff, H. K., Seegers, H., 2000, "Influence of Residual Stress Gradients on the Adhesion Strength of Sputtered Hard Coatings", *Thin Solid Films*, vol. 377-378, pp. 340-345.

Trent, E. M., Wright, P. K., 2000, "Metal Cutting", 4<sup>th</sup> Edition, Butterworths - Heinemann, 446 p.

Tschiptschin, A. P., 2004, "Relação Estrutura-Propriedades em Recobrimentos Duros", *Metalurgia & Materiais*, pp. 167-169.

Uhlmann, E., Frommeyer, G., Herter, S., Knippscheer, S., Lischka, J. M., 2004, "Studies on the Conventional Machining of TiAl-Based Alloys", 10<sup>th</sup> World Conference on Titanium, pp. 2293-2298.

Vällingly, U. F., Bromma, M. W., Saltsjö-Boo, S. E., Bromma, M. N., Stockholm, G. M., Hässelby, A. E., 1996, "Method of Making Metal Composite Materials", Sandvik AB, U.S. Patent 5505902.

VDI Guideline 3198, 1991, "Coating (CVD, PVD) of Cold Forging Tools", VDI Guidelines, Germany, 8 p.

Viana, R., 2004, "Desempenho de Brocas de HSS Revestidas na Furação de Ligas Al-Si", *Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG*, 143 pp.

Wang, D. Y., Chang, C. L., Wong, K. W., Li, Y. W., Ho, W. Y., 1999 "Improvement of the Interfacial Integrity of (Ti,Al)N Hard Coatings Deposited on High Speed Steel Cutting Tools", *Surface and Coatings Technology*, vol. 120-121, pp. 388-394.

Watanabe, K., Natsume, J., Hashizume, K., Ozasa, T. O., Nada, T., Masuda, Y., 2000, "Theoretical Analysis of Bearing Performance of Microgrooved Bearing", *JSAE Review*, vol. 21, pp. 29-33.

Wei, C., Lin, J. F., Jiang, T. H., Ai, C. F., 2001, "Tribological Characteristics of Titanium Nitride and Titanium Carbonitride Multilayer Films Part I. The Effect of Coating Sequence on Material and Mechanical Properties", *Thin Solid Films*, vol. 381, pp. 94-103.

Xavier, F. A., 2003, "Aspectos Tecnológicos do Torneamento do Ferro Fundido Vermicular com Ferramentas de Metal-Duro, Cerâmica e CBN", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 153 pp.

Xavier, F. A., 2009, "Estudo dos Mecanismos de Desgaste em Ferramentas de Nitreto de Silício Aplicadas na Usinagem dos Ferros Fundidos Vermicular e Cinzento", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 308 p.

Yilbas, B. S., Arif, A. F. M., Karatas, C., Ahsan, M., 2007, "Cemented Carbide Cutting Tool: Laser Processing and Thermal Stress Analysis", *Applied Surface Science*, vol. 253, pp. 5544-5552.

Zhang, W., Yao, Y. L., 2004, "Laser Materials Processing", In: Geng, H. (ed.). *Manufacturing Engineering Handbook*, McGraw-Hill, pp. 34.1-34.22.

Zheng, X., Li, J., Zhou, Y., 2004, "X-ray Diffraction Measurement of Residual Stress in PZT Thin Films Prepared by Pulsed Laser Deposition", *Acta Materialia*, vol. 52, Issue 11, pp. 3313-3322.

Zhou, M., Makino, Y., Nose, M., Nogi, K., 1999, "Phase Transition and Properties of Ti-Al-N Thin Films Prepared by r.f.-Plasma Assisted Magnetron Sputtering", *Thin Solid Films*, vol. 339, pp. 203-208.

# ANEXOS

## ANEXOS I

A Tabela I.1 mostra os resultados dos parâmetros topográficos de amplitude obtidos por perfilometria 3D dos substratos texturizados por jateamento e laser. As rugosidades 3D da Tab. I.1 foram obtidas por meio da varredura de duas áreas, A1 e A2, com 2x2 mm<sup>2</sup>, na superfície de saída das ferramentas.

Os dados da Tab. I.1 também foram utilizados na confecção das Figs. 4.33 a 4.38 do item 4.3.

Tabela I.1 - Parâmetros de amplitude dos substratos texturizados por jateamento e laser.

Substratos	Sq - [ $\mu\text{m}$ ]		Sa - [ $\mu\text{m}$ ]		Sz - [ $\mu\text{m}$ ]		St - [ $\mu\text{m}$ ]		Ssk		Sku	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
SR-jateada	0,30	0,32	0,24	0,25	2,56	3,08	2,65	3,28	-0,62	-0,59	3,91	3,87
SR-laser	<b>0,59</b>	<b>0,58</b>	<b>0,47</b>	<b>0,46</b>	<b>5,79</b>	<b>4,94</b>	<b>6,03</b>	<b>5,38</b>	<b>0,31</b>	<b>0,34</b>	<b>3,21</b>	<b>3,18</b>
TiAlN-Futura jateada	0,33	0,32	0,26	0,25	2,75	4,21	2,88	4,63	-0,64	-0,68	3,82	4,58
TiAlN-Futura laser	<b>0,68</b>	<b>0,67</b>	<b>0,54</b>	<b>0,53</b>	<b>5,83</b>	<b>5,72</b>	<b>6,77</b>	<b>6,00</b>	<b>-0,07</b>	<b>-0,07</b>	<b>3,12</b>	<b>3,22</b>
AlCrN-Alcrona jateada	0,38	0,41	0,29	0,30	4,15	5,69	4,37	6,26	0,24	0,49	5,51	7,23
AlCrN-Alcrona laser	<b>0,70</b>	<b>0,73</b>	<b>0,54</b>	<b>0,56</b>	<b>6,00</b>	<b>6,56</b>	<b>6,08</b>	<b>6,80</b>	<b>0,38</b>	<b>0,40</b>	<b>3,96</b>	<b>4,11</b>
AlCrN-Hélica jateada	0,43	0,46	0,32	0,33	5,18	5,73	5,42	5,84	0,81	1,01	7,18	8,67
AlCrN-Hélica laser	<b>0,73</b>	<b>0,77</b>	<b>0,58</b>	<b>0,61</b>	<b>5,82</b>	<b>5,78</b>	<b>6,29</b>	<b>6,06</b>	<b>0,43</b>	<b>0,47</b>	<b>3,27</b>	<b>3,30</b>