

APLICAÇÃO DE LASER NA MODIFICAÇÃO SUPERFICIAL DE SUBSTRATOS DE METAL DURO¹

Rhander Viana²
Álison Rocha Machado²
Milton Sérgio Fernandes de Lima³
Washington Martins da Silva Júnior⁴
Flávio José da Silva⁴

Resumo

Atualmente técnicas de modificação da superfície, criando um microrelevo uniforme com asperidades ou depressões regularmente distribuídas, tem recebido grande atenção. Essas técnicas, chamadas de texturização superficial, são úteis na modificação superficial de ferramentas de corte, pois podem permitir um aumento na adesividade de filmes finos depositados sobre o substrato. Uma técnica ainda pouco explorada utiliza um feixe de laser na modificação superficial de ferramentas de corte, anteriormente ao processo de deposição do revestimento, com o intuito de limpar e texturizar a superfície das ferramentas. Neste caso o substrato recebe uma grande quantidade de energia pulsada e localizada, gerando uma superfície texturizada devido à ablação do material do substrato. O objetivo deste trabalho é averiguar se a texturização de insertos de metal duro utilizando um feixe de laser é mais eficiente no travamento mecânico do revestimento AlCr do que a técnica convencional utilizando o jateamento de partículas duras. Para averiguar a eficácia dessas técnicas de modificação superficial para ferramentas de corte, jateamento e laser, foram realizados ensaios de risco com carga progressiva e interferometria. O resultado do ensaio de risco com carga progressiva indicou uma menor carga crítica para falha adesiva do AlCr depositado sobre o inserto com textura jateada. O ensaio de interferometria mostrou que a texturização a laser garante uma direcionalidade para a textura do substrato, com uma isotropia menor do que a isotropia do substrato modificado por jateamento.

Palavras-chave: Laser; Metal duro; Adesividade; Revestimento.

APPLICATION OF THE LASER SURFACE MODIFICATION FOR CEMENTED CARBIDE SUBSTRATES

Abstract

Currently the modification of surface topography, creating a uniform micro-relief of uniformly shaped asperities or depressions has received great attention. In machining, this process, known as surface texturing, is useful in surface modification of the cutting tools allowing increasing the coating adhesion. Another technique still quite poorly explored uses a laser beam before coating to clean and texture the surfaces of the cutting tools. In this case, the substrate receives a large amount of focused pulsed energy and generates a surface texturing due the ablation of material substrate. In order to ascertain the effectiveness of these surface modification techniques, it is usual to qualitatively compare the behavior of the fracture generated in the coatings deposited on the substrate with and without laser treatment. These tests might foresee if the tools will have a good performance in service. Within this scope, the aim of the present work is to investigate the coating adhesion of a cemented carbide tools that were laser-textured before coating with AlCr, and compares them with the commercial tools with the same coating. The assessment of the coating adhesion of these tools was obtained using scratch test progressive load and interferometer. The scratch test showed that laser-textured coated tools increasing load critical delamination of AlCr film.

Key words: Laser; Cemented carbide; Adhesion; Coating.

¹ *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Universidade Federal de Uberlândia (FEMEC - LEPU) - 38408-100, Brasil.*

³ *Instituto de Estudos Avançados (IEaV-CTA) - Divisão de Fotônica - 12228-970, Brasil.*

⁴ *Universidade Federal do Espírito Santo (DEM - LCSM) - 29075-910, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

A modificação de superfícies utilizando um feixe de laser é uma técnica relativamente nova, que remonta o final da década de 1990 com o desenvolvimento de fontes de laser robustas aplicadas na área física e industrial.⁽¹⁾

Resumidamente, a técnica de tratamento de superfícies com laser envolve um feixe focado que transfere uma parte de sua energia para a peça. A energia absorvida pela peça conduz ao aumento local de temperatura, seguido por mudanças de fase (fusão, vaporização) da superfície, que conseqüentemente, provoca o deslocamento ou remoção de material.⁽¹⁾ Os efeitos do feixe aplicado na superfície dependem dos parâmetros do laser - fluência, comprimento de onda e tempo de aplicação, além das propriedades térmicas, composição, microestrutura e condição da superfície do substrato tratado.⁽²⁾

Uma grande vantagem da utilização do laser na modificação de superfícies é que a sua aplicação pode ser localizada, atingindo exatamente a área selecionada do elemento a ser tratado, com uma distribuição uniforme da textura.

Dependendo do método utilizado há a possibilidade de criar vales e picos contínuos de material deslocado sobre a superfície da peça, pelo aproveitamento da elevada energia aplicada e uma rotina pré-estabelecida do feixe de laser. Geralmente, esses vales e picos são interconectados e uniformemente distribuídos sobre a superfície. O feixe de laser cria uma padronização da textura superficial.

A padronização da textura superficial é importante para o desempenho do elemento tratado, principalmente, em ferramentas de corte revestidas. No caso de ferramentas de corte, a padronização da textura, provavelmente, uniformiza o travamento mecânico do revestimento sobre o substrato, conseqüentemente, diminui-se a possibilidade de falha do revestimento por falta de adesividade.

No trabalho desenvolvido por Neves, Diniz e Lima,⁽³⁾ os autores verificaram a influência da texturização a laser antes da aplicação do revestimento TiN em brocas de aço-rápido, na usinagem de um aço inoxidável austenítico AISI 304. Os resultados mostraram que para uma velocidade de corte de 33 m/min as brocas texturizadas a laser apresentam um tempo de vida 10 vezes maior do que as brocas convencionais. Segundo os autores, a aplicação de um feixe de laser com pulsos curtos, tempo de pulso de 30 ns e frequência de pulsação de 13,8 KHz, vaporiza um pequeno volume da superfície do substrato, criando cavidades micrométricas para uma melhor ancoragem do revestimento.

Em ferramentas de corte com substrato de metal duro, a texturização a laser está focada, principalmente, na modificação de substratos que posteriormente serão revestidos de diamante.⁽⁴⁻⁶⁾ Filmes de diamante depositados por CVD podem sofrer “descamação” durante a usinagem, em virtude da sua pobre adesividade sobre o substrato de metal duro. As razões para a pobre adesividade desses filmes são as elevadas tensões residuais formadas na interface substrato/revestimento, e a camada de cobalto que prejudica o crescimento e a nucleação do filme. O cobalto tem um efeito catalizador que estimula a dissolução e difusão do carbono formador do filme no substrato. Esse efeito é prejudicial, pois o cobalto cataliza o crescimento do filme de diamante na forma de grafite ou camadas amorfas que fragilizam a interface revestimento/substrato.⁽⁶⁾

Geralmente, para resolver o problema da falta de adesividade de filmes de diamante, utiliza-se técnicas mecânicas para a modificação do substrato, como - *microblasting*, *shotpeening* ou *water peening*, ou ataques químicos com ácidos - HCl, H₂SO₄ e HNO₃, na tentativa de remover a camada de cobalto. Entretanto, essas

técnicas não são tão eficientes. Por isso, a utilização da texturização a laser é uma alternativa, pois pode eliminar de forma mais uniforme a camada de cobalto e ainda criar uma microtopografia superficial caracterizada por um intercalamento padrão de “picos e vales”, em função da ablação da superfície.⁽⁶⁾

A aplicação do laser é uma técnica promissora na texturização de substratos de ferramentas de corte, sendo uma alternativa ao processo atual de modificação de substratos de metal duro por jateamento.

Este trabalho tem como objetivo investigar a morfologia de substratos de metal duro modificados por laser e por jateamento através de microscopia óptica e eletrônica, e interferometria. Além disso, comparar qualitativamente a adesividade do revestimento AlCr depositado sobre substratos de metal duro modificados por laser e por jateamento através de um ensaio de risco com carga progressiva.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A seguir é descrito de forma sucinta o desenvolvimento experimental realizado para a execução deste trabalho.

2.1 Modificação Superficial e Deposição dos Revestimentos nos Insertos de Metal Duro

Os substratos de metal duro utilizados neste trabalho foram insertos comerciais de metal duro da classe ISO K, compostos basicamente de carboneto de tungstênio-WC e cobalto-Co. Os insertos de metal duro foram modificados superficialmente na superfície de saída, numa área de 12x12 mm², antes do processo de deposição do revestimento.

Um grupo de insertos de metal duro foi modificado superficialmente utilizando o processo convencional comercial, onde os insertos são submetidos a um jateamento de Al₂O₃ antes do processo de deposição do revestimento.

Outro grupo de insertos de metal duro foi modificado superficialmente utilizando-se um feixe de laser de vapor de cobre (*CuHBr*), desenvolvido inteiramente no IEav-CTA, com energia por pulso da ordem de 1 mJ, tempo de pulso de 30 ns, frequência de operação na faixa de 13 kHz e diâmetro focal de 50 µm.

Neste trabalho o tipo de textura laser criada na superfície dos insertos foi obtida conforme rotina pré-definida, utilizando um laser com cabeça galvanométrica de alta resolução para garantir a reprodutibilidade desejada. A técnica utilizada neste trabalho para modificação superficial dos insertos pelo feixe de laser é conhecida como *Glazing*, que representa desde uma limpeza fraca do substrato, com uma potência do laser de 0,5 W, até uma nanotexturização do substrato, com potência do laser de 2 W.

A técnica *Glazing* é uma condição de tratamento do substrato conforme os melhores resultados até então obtidos na texturização a laser de ferramentas de corte.

No processo *Glazing* são três passadas do feixe de laser com trajetórias de texturização do inserto em ângulos com o substrato de 0°, 30° e 60°, criando uma malha cerrada, com velocidade de aplicação do feixe de 30 cm/s e um espaçamento entre cada linha de trajetória de 30 µm.

Após a modificação superficial dos insertos por jateamento e por feixe de laser, os insertos foram revestidos pelo processo de deposição física de vapor (PVD) por evaporação por arco catódico, o revestimento utilizado foi o AlCr.

2.2 Ensaios Morfológicos dos Substratos de Metal Duro Modificados por Jateamento e Laser

Para realização destes ensaios utilizou-se um microscópio eletrônico de varredura modelo Zeiss EVO 40 com o objetivo de caracterizar as diferenças superficiais relativas entre os substratos de metal duro modificados por jateamento e laser.

Neste ensaio utilizou-se também um interferômetro Taylor Hobson Precision modelo Talysurf CLI 1000 com apalpador mecânico, o qual permitiu obter os parâmetros topográficos das superfícies modificadas, e observar de forma mais realística e precisa o microrelevo e a direcionalidade da textura nos insertos de metal duro. A varredura por interferometria foi realizada na superfície de saída dos insertos (Figura 1), numa área de 2x2 mm².

2.3 Ensaio de Risco com Carga Progressiva

O ensaio de risco com carga progressiva foi realizado com o objetivo de avaliar quantitativamente a adesividade do revestimento depositado sobre os insertos de metal duro modificados por jateamento e por feixe de laser. O ensaio consistiu em fazer três riscos na superfície de saída dos insertos utilizando-se um macroesclerômetro desenvolvido pelo Laboratório de Tribologia e Materiais (LTM-UFU) (Figura 1). O controle do risco foi realizado por um microcomputador utilizando-se o *Software* LABVIEW 7.0[®]. O comprimento do risco foi de 10 mm, com velocidade de riscamento de 0,05 mm/s e carga máxima de riscamento de 16 kgf. Os dados adquiridos pelo programa desenvolvido no LABVIEW 7.0[®] foram à força tangencial no eixo X e a posição de indentação dinâmica do penetrador até atingir 10 mm de riscamento.

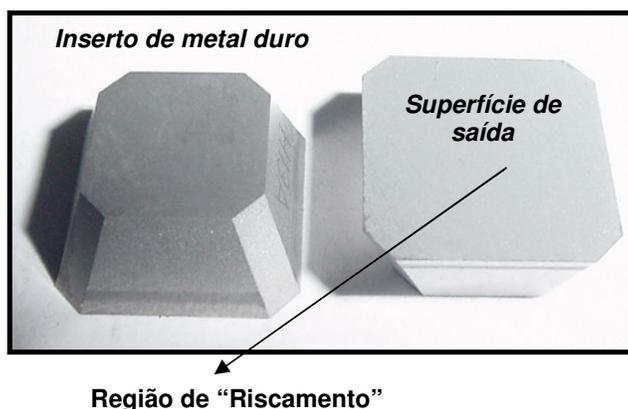


Figura 1. Inserto de metal duro da classe ISO K utilizado no ensaio de risco com carga progressiva.

3 RESULTADOS

3.1 Morfologia dos Insertos de Metal Duro Modificados por Jateamento e Laser

As Figuras 2(a) e 2(b) mostram por meio de microscopia eletrônica de varredura a superfície de saída de um inserto de metal duro com textura jateada revestido de AlCr.

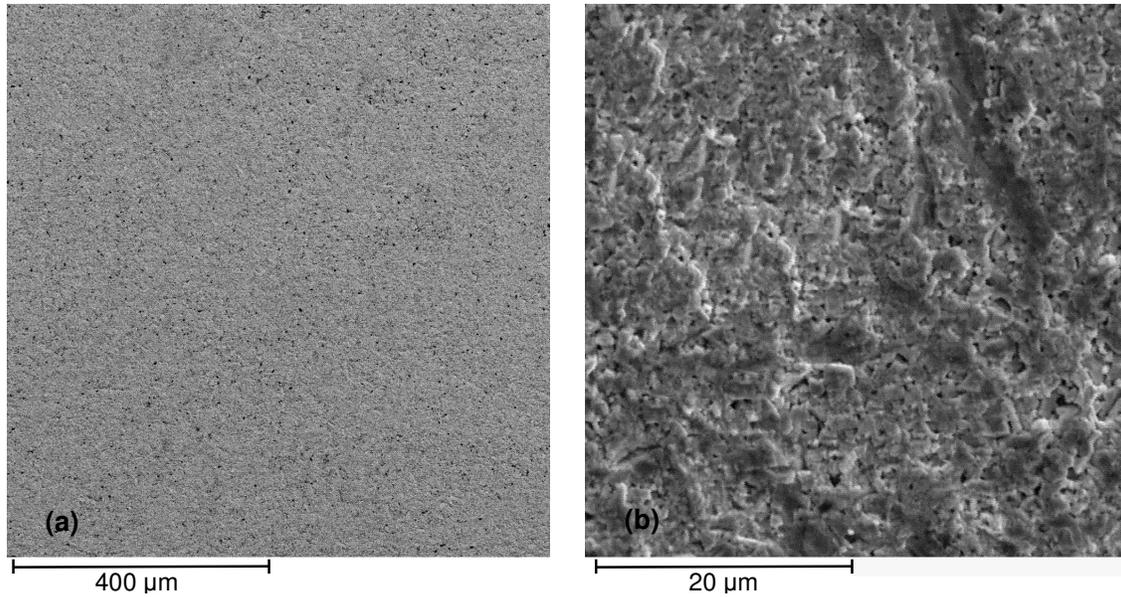


Figura 2. Superfície de saída de um inserto de metal duro com textura jateada.

As Figuras 3(a) e 3(b) mostram por meio de microscopia eletrônica de varredura a superfície de saída de um inserto de metal duro com textura laser revestido de AlCr.

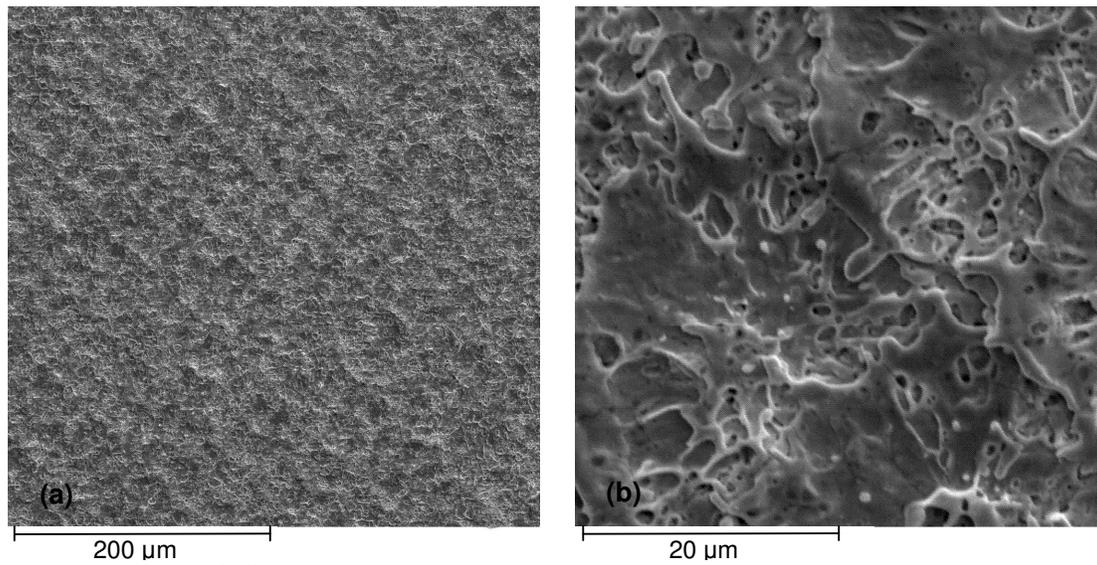


Figura 3. Superfície de saída de um inserto de metal duro com textura laser.

A Figura 4 mostra as texturas superficiais dos insertos de metal duro modificados por jateamento e por laser numa área de varredura por interferometria de 2x2 mm², tomada na superfície de saída dos insertos.

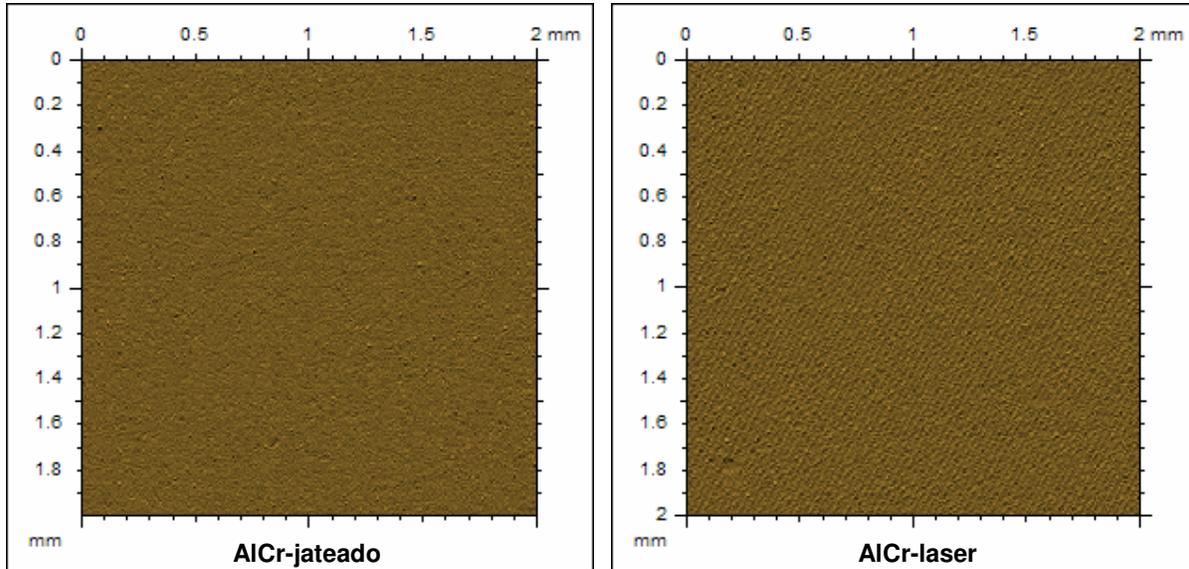


Figura 4. Textura superficial dada por interferometria dos insertsos jateado e laser revestidos de AlCr.

A Tabela 1 mostra os valores dos desvios quadráticos médios (S_q) das superfícies dos insertsos modificados por jateamento e feixe de laser obtidos por meio de interferometria com apalpador mecânico.

Tabela 1. Parâmetro topográfico obtido no ensaio de interferometria.

Inserto	S_q [μm] Desvio quadrático médio da superfície
AlCr - jateado	0,43
AlCr - laser	0,731

As Figuras 5 e 6 mostram a isotropia e a direção das texturas dos insertsos modificados por jateamento e feixe de laser revestidos de AlCr.

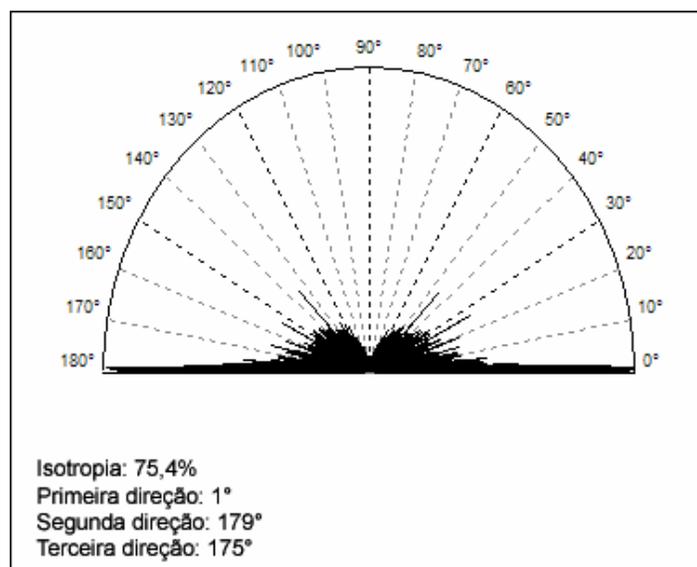


Figura 5. Gráfico polar da indicação da textura do inserto de metal duro modificado por jateamento e revestido de AlCr.

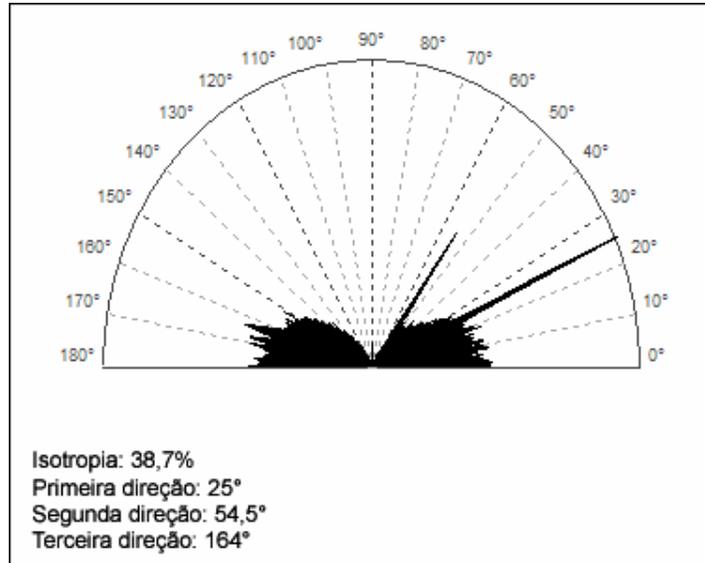
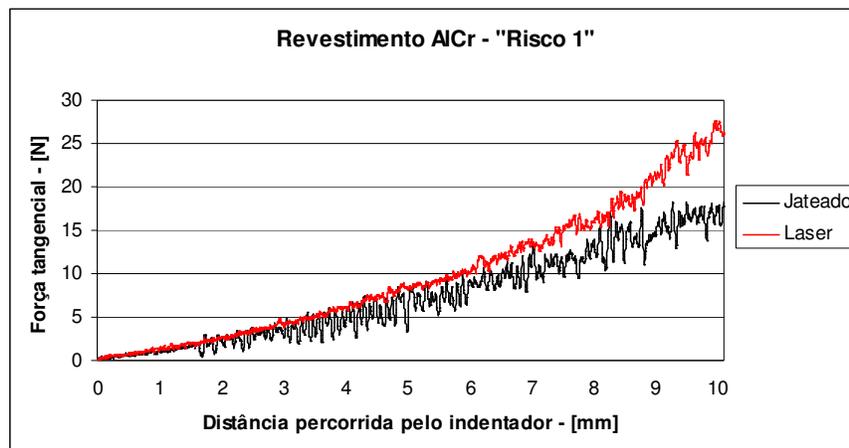


Figura 6. Gráfico polar da indicação da textura do inserto de metal duro modificado por laser e revestido de AlCr.

3.2 Ensaio de Risco com Carga Progressiva

A Figura 7 mostra os resultados obtidos nos ensaios de risco com carga progressiva, de acordo com as condições estabelecidas no item 2.3 da metodologia de trabalho proposta. Foram realizados três riscos para cada inserto de metal duro revestido de AlCr.



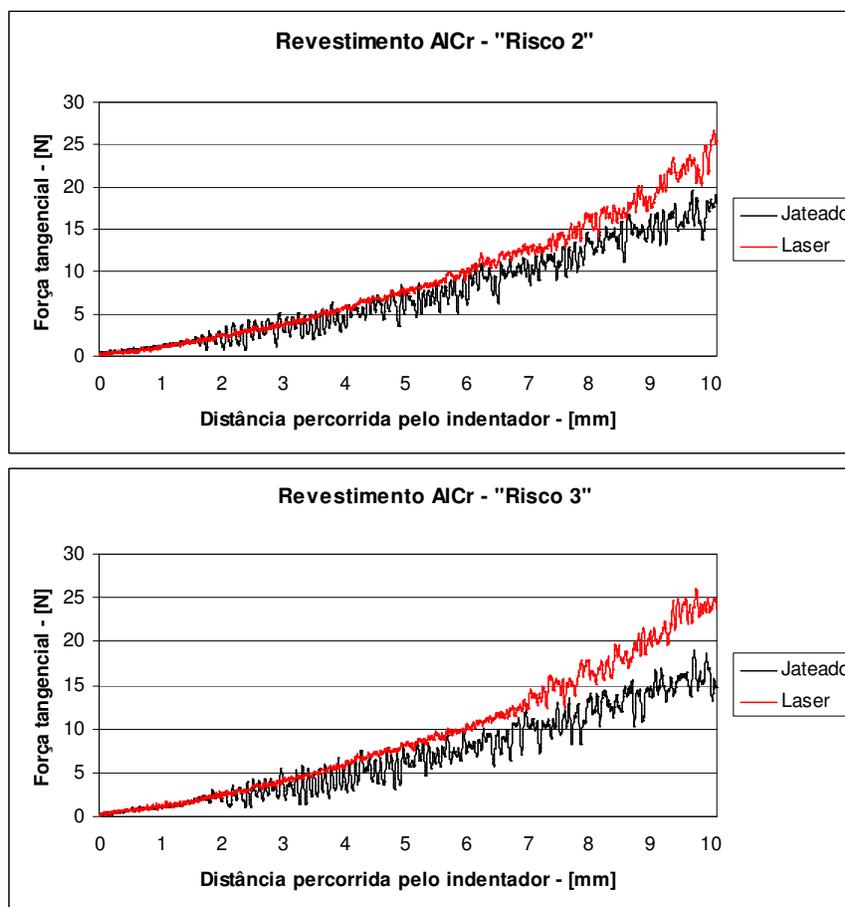


Figura 7. Ensaio de risco com carga progressiva para os inserts com texturas jateada e laser revestidos de AlCr.

4 DISCUSSÃO

Nas Figuras 2 e 3 observa-se claramente a diferença entre as texturas provocadas pelos processos de jateamento e feixe de laser. O jateamento de Al_2O_3 cria no substrato uma textura com uma microtopografia desordenada, com o aspecto de um “emaranhado de picos e depressões”, como pode ser observado na Figura 2(b), com S_q igual a $0,43 \mu\text{m}$, de acordo com a Tabela 1.

As Figuras 3(a) e 3(b) mostram a morfologia do inserto de metal duro após três passadas do feixe de laser em ângulos de incidência com o substrato de 0° , 30° e 60° , com S_q igual a $0,731 \mu\text{m}$, de acordo com a Tabela 1. Por meio das Figuras 3(a) e 4 é possível observar que a variação dos ângulos de incidência do laser com o substrato cria uma microtopografia com uma faixa de picos semi-ordenados ou uma repetição de várias “raias diagonais”, aparentemente, formados pela refusão dos materiais que constituem o inserto, WC e Co, devido ao efeito da vaporização de camadas micrométricas por ablação do material. O processo de ablação promove uma rápida transição de líquido superaquecido para uma mistura de vapor e gotículas na superfície do substrato.⁽²⁾ A ablação não influencia nas propriedades mecânicas do substrato modificado, mas melhora significativamente as propriedades superficiais.⁽¹⁾ A Figura 3(b) mostra o aspecto das “gotículas de material resolidificado” na superfície do substrato após a passagem do feixe de laser.

A intensidade de potência ou irradiância do laser utilizado, 683 MW/cm^2 , é capaz até mesmo de provocar uma intensa evaporação-sublimação de WC e Co, em virtude das altas temperaturas pontuais geradas no substrato durante o pulso do laser, que não dura mais do que 30 ns. Lee⁽⁴⁾ e Tiejun et al.⁽⁶⁾ observaram em seus estudos que para uma intensidade de potência do laser de 32 MW/cm^2 ocorre fusão do Co, com 80 MW/cm^2 o WC funde e o Co evapora, e com uma intensidade de 200 MW/cm^2 o WC sofre evaporação. O Co possui um ponto de fusão de aproximadamente 1.495°C e a uma temperatura acima de 2.927°C ocorre sua evaporação. O WC funde a aproximadamente 2.870°C e sofre evaporação à cerca de 6.000°C .

A comparação entre a direcionalidade das texturas jateada e laser também pode ser realizada por meio das Figuras 5 e 6. Os gráficos polares mostrados nessas figuras fornecem dados a respeito do grau de isotropia e as direções das texturas jateada e laser. A textura de uma superfície é considerada isotrópica quando ela apresenta características idênticas, independente da direção de medida.⁽⁷⁾ Este é o caso de superfícies com uma textura aleatória, como é o caso da superfície gerada pelo jateamento, que não apresenta nenhuma textura destacada. A textura superficial que apresenta uma orientação ou uma estrutura periódica é dada como anisotrópica.

Por meio da aplicação da transformada de Fourier é possível construir um parâmetro espacial que será um indicador da isotropia de uma superfície, esse parâmetro é a relação de aspecto da textura, S_{tr} . O parâmetro S_{tr} compreende um valor entre 0 e 1, sem unidade. Ela pode também ser expressa como uma porcentagem entre 0% e 100%. Uma superfície isotrópica tem S_{tr} próximo de 1 (100 %), enquanto uma superfície fortemente anisotrópica terá S_{tr} próximo de 0.

As Figuras 5 e 6 mostram, respectivamente, que a superfície do inserto de metal duro após o jateamento apresenta uma isotropia de 75,4%, enquanto que a superfície do inserto de metal duro após a modificação por feixe de laser apresenta uma isotropia de 38,7 %. Esses resultados indicam que realmente o feixe de laser provoca uma maior direcionalidade da textura superficial do substrato. As direções preferenciais do inserto jateado indicadas pelo gráfico polar são de 1° e 179° , mostrando uma superfície com direcionalidade aleatória. Para a textura laser as direções preferenciais são 25° e $54,5^\circ$, indicando uma direcionalidade da textura próxima dos ângulos de interação do feixe de laser com o substrato da ferramenta, ângulos de 30° e 60° .

A Figura 7 mostra os resultados obtidos nos ensaios de risco com carga progressiva. Os resultados destes ensaios são mostrados através de gráficos que relacionam a força tangencial com a distância percorrida pelo indentador.

O monitoramento da força tangencial é comumente utilizado em ensaios de risco ou *Scratch Test*, pois fornece dados importantes à cerca da falha adesiva do revestimento, e do coeficiente de atrito dos materiais envolvidos. Conforme os gráficos mostrados na Figura 7 pode-se afirmar que o insertos com textura jateada apresenta uma maior perturbação da força tangencial durante o percurso de riscamento.

Para o inserto com textura jateada e revestido de AlCr o sinal da força tangencial torna-se mais instável logo no início da trilha de desgaste, a cerca de 2,0 mm de riscamento, como pode ser observado na Figura 7. Nesta posição, a carga crítica de flutuação da força tangencial é de aproximadamente 2,5 N.

O inserto texturizado a laser e revestido de AlCr apresenta maiores perturbações da força tangencial para posições acima de 7,0 mm de riscamento, com uma carga crítica de flutuação da força tangencial acima de 15 N.

A carga crítica é o menor valor da força tangencial que é capaz de iniciar e perpetuar as oscilações da força durante a formação da trilha de desgaste.

Normalmente, distingui-se duas cargas críticas durante os ensaios de risco. A primeira carga crítica (L_{C1}) refere-se à carga para a qual surgem os primeiros defeitos ou falhas no revestimento, como a formação e propagação de trincas, indicando uma falha coesiva, enquanto a segunda carga crítica (L_{C2}) está associada à falha total do revestimento, mais precisamente, ao aparecimento contínuo do substrato, indicação de uma falha de natureza adesiva.

Neste trabalho é previsto futuramente a determinação desta carga crítica, tanto (L_{C1}) quanto (L_{C2}), que para ser determinada é necessário um estudo metucioso da trilha de desgaste formada utilizando microscópio eletrônico de varredura associado ao sinal da força tangencial adquirido.

Mesmo não sendo possível, ainda, neste trabalho, estabelecer com precisão a carga crítica de coesão e/ou adesão do revestimento depositado nos substratos com textura jateada e laser, pode-se concluir por meio da Figura 7, que a modificação do substrato do inserto de metal duro pelo feixe de laser melhora o ancoramento do filme de AlCr em comparação ao substrato jateado, pois com a utilização do laser é possível aumentar o desvio quadrático médio da superfície e estabelecer uma padronização da textura superficial do inserto, criando condições para uma melhor adesividade do revestimento.

5 CONCLUSÃO

- A aplicação do feixe de laser criou no substrato de metal duro uma textura direcional e semi-periódica.
- O jateamento criou no substrato de metal duro uma textura aleatória.
- O inserto de metal duro texturizado a laser apresentou uma menor isotropia do que o inserto de metal duro texturizado por jateamento.
- A aplicação do feixe de laser aumentou o desvio quadrático médio das amplitudes da superfície do substrato de metal duro em relação ao jateamento.
- No ensaio de risco com carga progressiva a texturização a laser do substrato de metal duro aumentou o travamento mecânico do filme de AlCr.

Agradecimentos

Os autores agradecem as seguintes empresas e instituições pela contribuição financeira e técnica oferecida na realização deste trabalho: FAPEMIG, CAPES, IFM, Oerlikon Balzers, Sandvik do Brasil, IEAv - CTA, LEPU - UFU e principalmente ao CNPq, através do projeto apoiado pelo Edital Universal 02/2006, processo nº 476292/2006-9.

REFERÊNCIAS

- 1 DUMITRU, G.; LÜSCHER, B.; KRACK, M.; BRUNEA, S.; HERMANN, J.; GERBIG, Y. Laser processing of hardmetals: physical basics and applications. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, v. 23, p. 278-286, 2005.

- 2 LIMA, M.S.F.; VENCOVSKY, P.V.; MORATO, S.P. Increasing life-time of tools by a new laser treatment and coating processes. Computational Methods in Materials Characterization, v. 46, p. 339-348, 2004.
- 3 NEVES, D.; DINIZ, A.E.; LIMA, M.S.F. Efficiency of the laser texturing on the adhesion of the coated twist drills. Journal of Materials Processing Technology, v. 179, p. 139-145, 2006.
- 4 LEE, D. G. Adhesion improvement of chemically vapor deposited diamond thin films on cemented carbides via laser surface modification. Doctoral Dissertation, University of Florida, p. 208, 1998.
- 5 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, v. 138-139, p. 376-382, 1999.
- 6 TIEJUN, L.; LOU, Q.; JINGXING, D.; YUNRONG, W.; JINGRU, L. Modified surface morphology in surface ablation of cobalt-cemented tungsten carbide with pulsed UV laser radiation. Applied Surface Science, v. 172, p. 331-344, 2001.
- 7 BLATEYRON, F. New 3D parameters and filtration techniques for surface metrology. Digital Surf, France, p. 1-7, 2006.