

ANÁLISE DAS SUPERFÍCIES USINADAS EM PRESENÇA DE ARESTA POSTIÇA DE CORTE

Alexandre M. Reis¹

Márcio B. da Silva²

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica

(1) amreis@mecanica.ufu.br, (2) mbacci@mecanica.ufu.br – Uberlândia, MG, Brasil

Resumo. Neste trabalho são analisadas as superfícies de amostras de Aço ABNT 1045 torneadas por ferramentas de aço rápido em presença de aresta postiça de corte (APC), nas condições a seco e com fluido gotejado sobre a peça próximo a ponta da ferramenta. Nos testes foram utilizadas 13 ferramentas de mesma geometria, variando-se apenas o ângulo de posição secundário (α_r). Após a usinagem as amostras foram analisadas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) com o objetivo de investigar os mecanismos que influenciam o acabamento das superfícies usinadas. Em todas as amostras analisadas, além das características típicas das superfícies usinadas, tais como marcas de avanço, trincas, lascas e partes da APC, foram observadas também partículas depositadas na superfície recém usinada da peça, ou seja, entre a superfície usinada e a aresta secundária de corte. Este trabalho estuda o mecanismo de formação destas partículas e sugere que são provenientes da APC e envolvem deformação longitudinal e aderência. São apresentados ainda formações típicas do mecanismo de fluxo lateral de metal (“side flow”).

Palavras-chave: Aresta Postiça de Corte, Superfícies Usinadas, Fluido de Corte

1. INTRODUÇÃO

O estudo do acabamento superficial de peças prontas se justifica devido a influência deste nas condições de funcionamento e na confiabilidade dos componentes mecânicos, sendo por isso um dos principais itens analisados no estudo da integridade superficial de componentes usinados. Com o desenvolvimento dos equipamentos de alta precisão um bom acabamento superficial das peças usinadas, utilizadas em suas montagens, tornou-se um item obrigatório.

São vários os parâmetros de usinagem que influenciam o acabamento superficial, entre eles podemos citar: geometria da ferramenta de corte; geometria da peça; rigidez da máquina ferramenta; material da peça; material da ferramenta; condições de corte.

No que se refere às condições de corte, os parâmetros mais influentes no acabamento superficial são o avanço (f), a profundidade de corte (a_p) e a velocidade de corte (v_c). O aumento do avanço tende a aumentar a rugosidade da superfície, pois a altura dos picos e a profundidade dos vales das marcas de avanço são proporcionais ao quadrado desse. A profundidade de corte aumenta as forças podendo aumentar as vibrações e, por conseqüência, gerar superfícies mais rugosas. Altas velocidades de corte geralmente tendem a melhorar o

acabamento superficial, pois em baixas velocidades as forças de corte são maiores e pode ocorrer a formação de aresta postiça de corte (APC).

Embora, atualmente com a busca pelo aumento da produtividade, as operações de usinagem sejam realizadas em altas velocidades de corte, o que é possível graças ao desenvolvimento de máquinas ferramentas mais rígidas e potentes e materiais de ferramentas de alto desempenho, ainda existem operações onde o emprego de altas velocidades de corte não é viável, tais como rosqueamento, brochamento e furação de pequenos diâmetros. Por esse motivo ainda hoje o estudo dos fenômenos que ocorrem na usinagem em baixas velocidades de corte são relevantes. No que se refere ao acabamento superficial, a formação da APC é um dos principais fatores a serem considerados quando se usina materiais que contenham segunda fase em baixas velocidade de corte, devido a seu efeito maléfico à qualidade da superfície.

O melhoramento conhecido do acabamento superficial pelo fluido de corte, quando se usina em baixas velocidades de corte, é frequentemente atribuído ao efeito da lubrificação da superfície de saída da ferramenta que previne a formação ou reduz as dimensões da APC. Entretanto testes realizados por da Silva (1998) mostraram que a lubrificação não teve efeito sobre o tamanho e a forma da APC, embora tenha influenciado o acabamento superficial. Segundo da Silva (1999) o material no topo da APC é comprimido e se deforma na direção da aresta de corte. Periodicamente, então, pedaços da APC são depositados sobre a superfície da peça após a mesma ter sido formada. Estes e outros efeitos contribuem para aumentar a rugosidade da superfície da peça. O acabamento superficial pode ser melhorado usando lubrificante, sem contudo prevenir a formação da APC. Nesse caso o melhoramento no acabamento superficial resultante da lubrificação seria obtido pelo fato de que o lubrificante evita o depósito de fragmentos de APC sobre a superfície recém usinada da peça próximo à ponta da ferramenta. Assim o presente trabalho tem por objetivo principal comprovar esta teoria através da análise no microscópio eletrônico de varredura (MEV) das superfícies usinadas em presença de APC nas condições a seco e com fluido de corte gotejado sobre a peça próximo à ponta da ferramenta. Neste trabalho procurou-se também verificar a influência do ângulo de posição secundário (χ'_r) sobre o mecanismo de aderência desses pedaços de APC na superfície recém usinada da peça.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste trabalho, usando-se um torno IMOR Max XI – II – 520, foram realizados testes de torneamento em barras de aço ABNT 1045, com diâmetro inicial de 100mm e comprimento de 350mm e com a seguinte composição química (% em massa) : 0,48% C; 0,24% Si; 0,70% Mn; 0,10% Cr; 0,07% Ni; 0,02% Mo; 0,04% Cu; 0,027% Al; 0,024% P; 0,020% S .

Nos testes foram utilizadas ferramentas de aço rápido cujas cunhas cortantes possuíam a mesma geometria ($\alpha = 5^\circ$, $\gamma = 5^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\chi = 45^\circ$), diferenciando-se apenas pelo ângulo de posição secundário ($\chi' = 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ, 45^\circ$).

Os testes foram divididos em duas etapas principais : 1) a seco; 2) com fluido de corte em pequeno volume (na posição sobre cabeça).

Na segunda etapa, o fluido utilizado foi um óleo mineral integral com aditivos de extrema pressão, recomendado para uma ampla faixa de operação, de condições de corte leves a pesadas nos processos de torneamento, fresamento e furação, apresentando boas propriedades lubrificantes e anticorrosivas. Este fluido foi gotejado, com uma vazão de 12 ml/min, sobre a peça visando molhar a superfície usinada próximo à ponta da ferramenta.

As condições de corte utilizadas foram as seguintes : $V_C = 28\text{m/min}$; $a_p = 2\text{mm}$; $f = 0,116\text{ mm/volta}$. Para cada ferramenta foram feitos testes usinando um comprimento de 15mm sobre a peça.

Após os testes, amostras das superfícies usinadas com cada uma das ferramentas foram analisadas em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), Mod. Leo 940 A. Fab. Zeiss.

3. RESULTADO E DISCUSSÕES

Em todas as amostras analisadas foram encontradas algumas características das superfícies usinadas listadas por Field *et al* (1971), tais como deformações plásticas, trincas, lascas e também marcas de avanço. Estas e outras características podem ser observadas nas Figura 1 e Figura 2 . A Figura 1 mostra fotos de superfícies usinadas a seco com ferramentas com χ'_r iguais a 45° e 35° . A Figura 2 mostra fotos de superfícies usinadas a seco com ferramentas com χ'_r iguais à 1° e 3° . Nestas figuras são identificadas partículas L e partículas T, que são definidas nos próximos parágrafos.

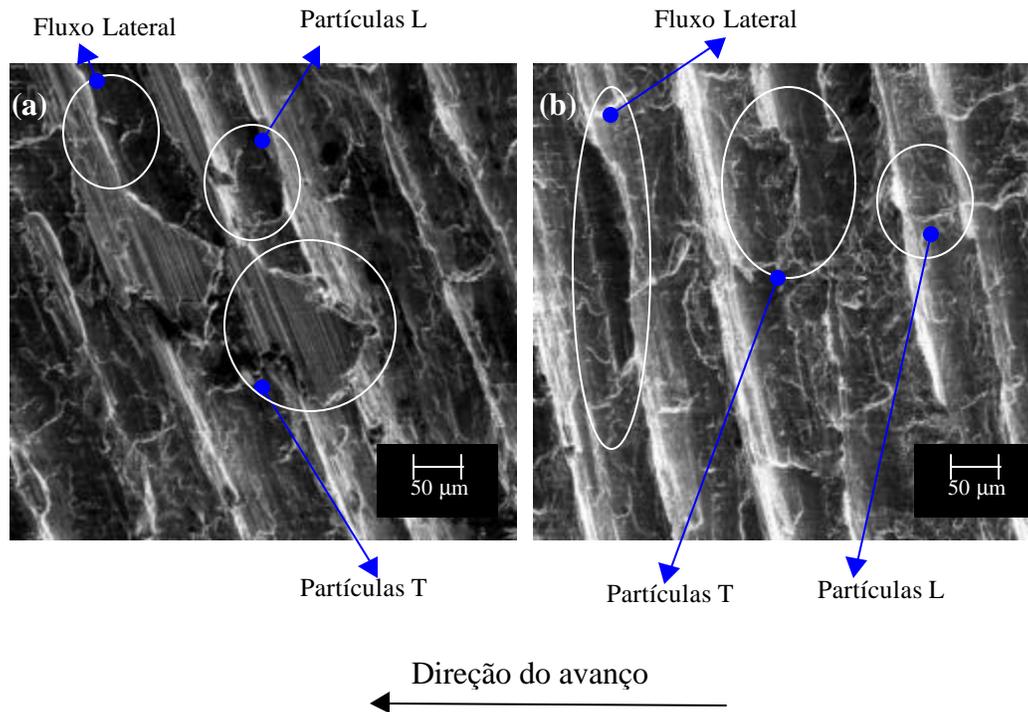


Figura 1 – Fotos, com ampliação de 200 x, tiradas das superfícies das amostras torneadas a seco, $f = 0,116$ mm, $ap = 2$ mm, por ferramentas com χ'_r : (a) 45° (b) 35° .

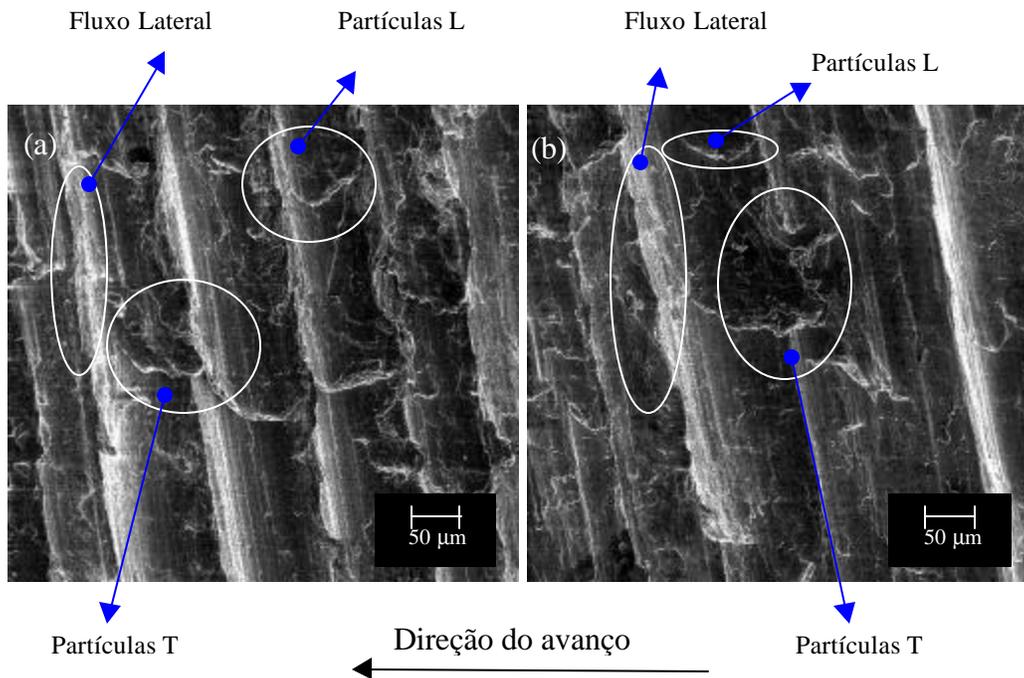


Figura 2 – Fotos, com ampliação 200x, tiradas das superfícies das amostras usinadas a seco, $f = 0,116$ mm, $a_p = 2$ mm por ferramentas com χ'_r : (a) 1° (b) 3° .

Em todas as amostras observa-se a presença de partículas de APC aderidas sobre a superfície da peça ao longo da direção de corte. Tais partículas são pedaços de APC que cisalham e caem entre a superfície principal de folga da ferramenta e a superfície em usinagem principal (gerada pela aresta principal de corte), e são comprimidas contra a superfície em usinagem secundária (gerada pela aresta secundária de corte). Estas partículas são depositadas no instante em que as superfícies são geradas e serão chamadas aqui de partículas L, conforme mostrado nas Figuras 1 e 2.

Nestas figuras observa-se também que as marcas de avanço são bem visíveis sobre a superfície, mas em alguns pontos elas são cobertas por partículas que parecem terem sido depositadas sobre a superfície recém usinada da peça. Isso porque estas partículas apresentam sobre elas riscos paralelos às marcas de avanço, sugerindo que a ferramenta em um passo subsequente à formação da superfície usinada tenha comprimido tais partículas sobre a superfície. Estas partículas também foram visualizadas por da Silva (1998), que as identificou como sendo partículas de APC que são comprimidas entre a superfície secundária de folga da ferramenta e a superfície da peça em usinagem secundária, se aderindo a esta última. O mecanismo de formação dessas partículas está relacionado com as altas pressões sobre a APC (cerca de 2 GPa (Trent, 1984)) que fazem com que esta se deforme sobre a superfície de saída ao longo da direção da aresta de corte, como pode ser visto na Figura 3 (da Silva, 1998). Essa figura apresenta a vista de uma amostra obtida por “quick stop” na região onde a aresta de corte perde o contato com a peça. A deformação mencionada faz com que a APC se estenda além da aresta principal de corte da ferramenta. Assim a APC é comprimida pela superfície secundária de folga da ferramenta contra a superfície da peça em usinagem secundária, aderindo-se a ela. Com o prosseguimento do processo de corte ela se rompe formando partículas que ficam aderidas na superfície da peça. Este processo segue uma certa periodicidade, de forma que as partículas são constantemente aderidas sobre a superfície da peça. Pela forma e pela disposição destas partículas, elas alteram o perfil de rugosidade da

superfície usinada na direção perpendicular à direção de corte e serão chamadas aqui de partículas T. Estas partículas podem ser vistas nas Figuras 1 e 2 .

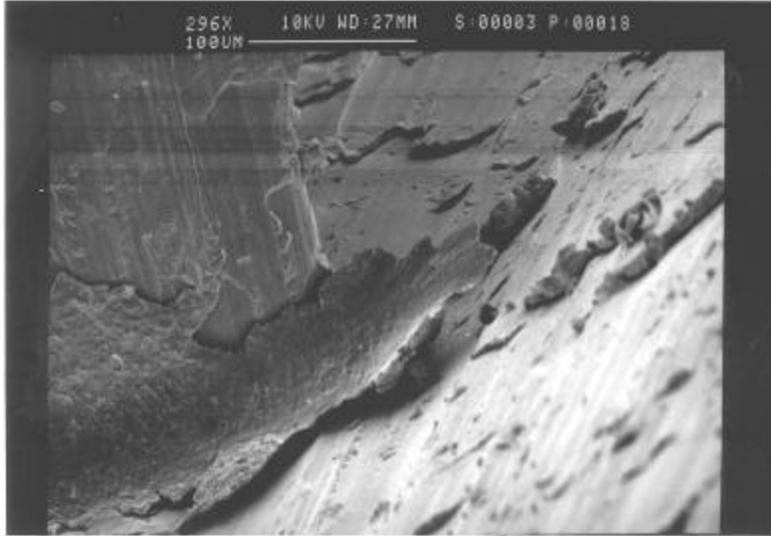


Figura 3 – Vista do ponto onde a aresta de corte perde o contato com a peça de aço AISI 1040 usinada com $V_c = 40$ m/min, $f = 0,15$ mm, $a_p = 2$ mm (Da Silva, 1998)

Em todas as superfícies que foram usinadas a seco neste trabalho, independentemente do χ'_r da ferramenta de corte utilizada, observa-se a presença de partículas T. Cabe ressaltar porém que estas partículas apresentam larguras menores nas amostras usinadas com ferramentas onde o χ'_r é grande ($\chi'_r > 15^\circ$). Já nas amostras usinadas por ferramentas com o χ'_r pequeno ($\chi'_r < 5^\circ$), tais partículas têm espessuras menores e são mais comprimidas, portanto, às vezes se confundem com aquelas que se formam na superfície principal de folga e são aderidas à peça na direção longitudinal (partículas L).

As fotos das superfícies usinadas com a aplicação de pequena quantidade de fluido e com ferramentas com $\chi'_r = 45^\circ$ e 35° são mostradas nas Figuras 4(a) e 4(b) respectivamente. Aquelas usinadas nas mesmas condições por ferramentas com $\chi'_r = 1^\circ$ e 3° são mostradas nas Figura 5 (a) e Figura 5 (b), respectivamente. Comparando-se as Figuras 2(a) e 2(b) com as Figuras 5(a) e 5(b), percebe-se que a quantidade de partículas T aderidas sobre a superfície usinada diminui consideravelmente com o uso de fluido de corte. Apesar da Figura 5 não mostrar nenhuma partícula T, na análise de outras regiões destas mesmas amostras consegue-se identificar tais partículas.

O fluido de corte, apesar de ser aplicado em pequenas quantidades, é suficiente para lubrificar a superfície da peça e, com isto, evitar a aderência da APC que forma as partículas T. O fluido de corte, no entanto, não evita a formação da APC e também não impede que esta se deforme longitudinalmente. Neste caso, a APC funciona como um “raspador” melhorando o acabamento superficial da peça. Eventualmente ocorre aderência e algumas partículas T são observadas na superfície da peça usinada quando se utiliza o fluido de corte, mas estas aparecem com menor frequência se comparada com o corte a seco. Por outro lado, quando se compara as fotos das superfícies usinadas por ferramentas com $\chi'_r = 45^\circ$ e 35° usando fluido de corte, mostradas nas Figuras 4(a) e 4(b), com as fotos mostradas nas Figuras 1(a) e 1(b), nota-se que as partículas T, mesmo na usinagem com a aplicação de fluido de corte, ainda estão presentes sobre a superfície da peça em uma quantidade considerável. Nestas condições, o fluido de corte continua atuando, mas como o χ'_r é grande o efeito de “raspamento” diminui

bastante. Esta ação solitária do fluido não foi suficiente para diminuir de maneira satisfatória a quantidade de partículas T aderidas sobre a superfície da peça.

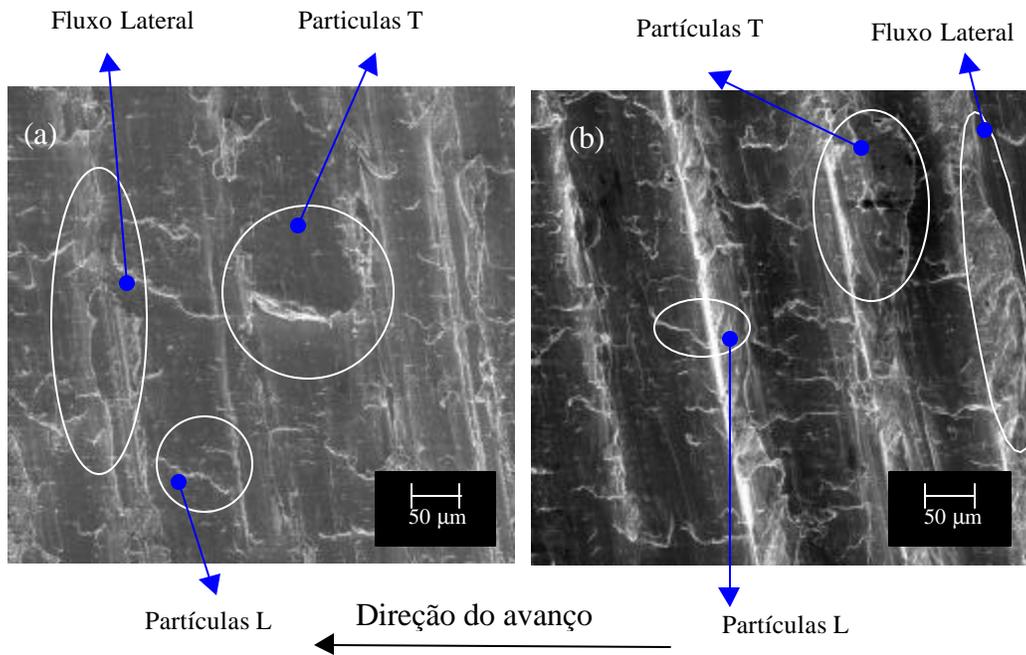


Figura 4 – Fotos com ampliação de 200x tiradas das superfícies usinadas com pequena quantidade de fluido de corte, $f = 0,116 \text{ mm}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, χ'_r : (a) 45° (b) 35° .

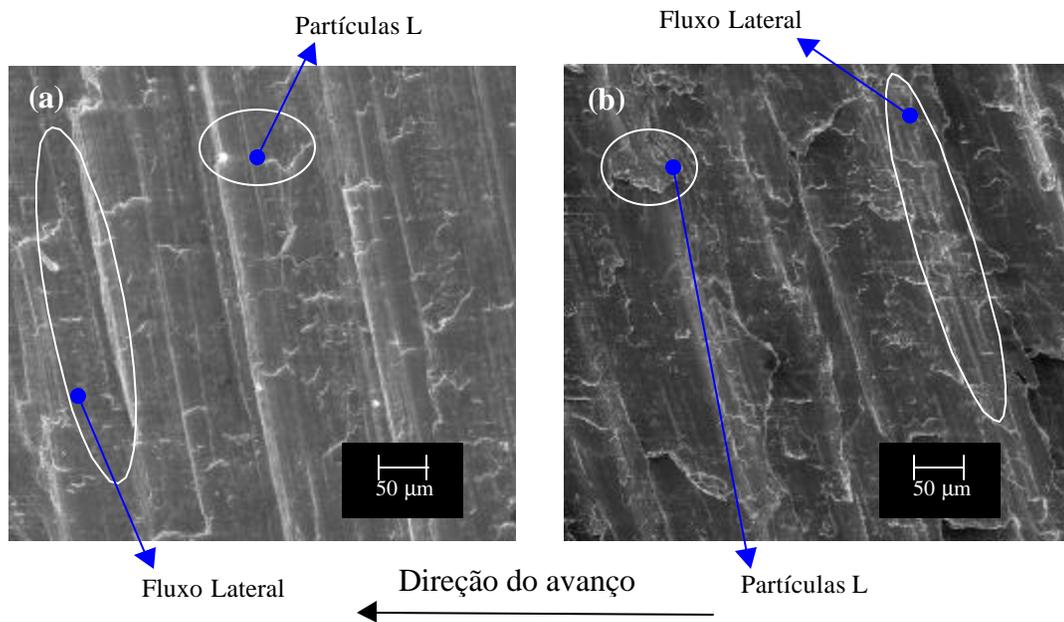


Figura 5 – Fotos com ampliação de 200 X, tiradas das superfícies usinadas com pequena quantidade de fluido de corte, $f = 0,116 \text{ mm}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, χ'_r : (a) 1° (b) 3° .

Em todas as amostras usinadas com a aplicação de pequena quantidade de fluido observa-se a presença de partículas L. Isto confirma a presença de APC e indica que a forma de aplicação do fluido de corte não foi eficaz no sentido de penetrar na interface cavaco-ferramenta e evitar a formação de APC.

Uma outra característica importante da superfície usinada que modifica o acabamento superficial da peça na direção perpendicular à direção de corte, e que foi observada em praticamente todas as amostras analisadas, é o fluxo lateral de metal sobre a superfície recém usinada (da literatura inglesa “side flow”). Este tipo de formação foi observada por vários autores, entre eles Pekelharing e Gieszen (1971) que propuseram um mecanismo através do qual ocorreria este fluxo lateral. Segundo estes autores, o metal na frente da superfície de saída da ferramenta é empurrado pela aproximação da ferramenta e, como a zona de cisalhamento primária está sobre compressão, este metal sai pela lateral da ferramenta, projetando-se sobre a superfície recém usinada. Este metal então se deposita sobre as cristas das marcas de avanço, dando um aspecto escamado a estas marcas.

O fluxo lateral foi observado neste trabalho tanto nas amostras das superfícies usinadas a seco como naquelas usinadas com pequena quantidade de fluido. Nas amostras usinadas a seco (Figura 1 e Figura 2), porém, a visualização desta formação é mais difícil pois elas são encobertas em alguns pontos pela presença de partículas T. Nas amostras usinadas com pequena quantidade de fluido, o fluxo lateral é mais visível devido a menor quantidade de partículas T presentes.

Quando se usina com ferramentas de χ'_r pequeno ($\chi'_r = 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ, 5^\circ$), deve-se chamar a atenção para o fato de que juntamente com o fluxo lateral, ocorre o achatamento das cristas das marcas de avanço, provocado pela aresta de corte secundária, e causado pela geometria da ferramenta, contribuindo para a formação das “escamas” ao longo destas marcas. Na Figura 6 onde é apresentada a foto de uma amostra usinada com ferramenta de $\chi'_r = 3^\circ$, com ampliações de 50 e 200 vezes, pode-se ver claramente estas escamas.

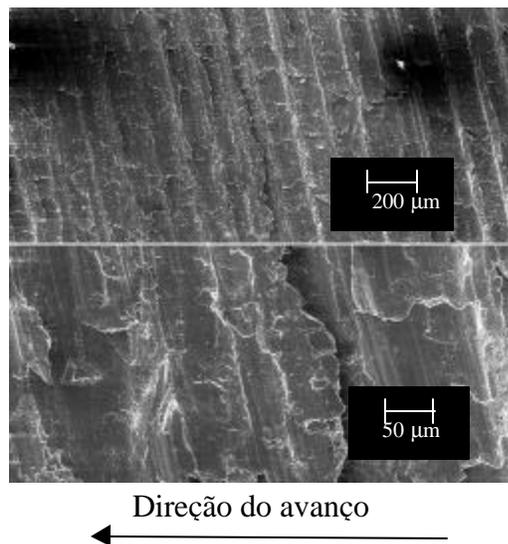


Figura 6 – Escamas provocadas pelo fluxo lateral de metal em uma superfície usinada por ferramenta de $\chi'_r = 3^\circ$, $f = 0,116$ mm/volta, $ap = 2$ mm. Foto com ampliação de 50 e 200 vezes.

Tanto as partículas T quanto o fluxo lateral de metal modificam o perfil de rugosidade na direção perpendicular à direção de corte. A diferença básica entre eles, além é claro do processo de formação que já foi descrito anteriormente, está na suas disposições sobre a superfície usinada da peça. Enquanto o metal proveniente do fluxo lateral se dispõem de forma contínua (sem interrupções) acompanhando as marcas de avanço, as partículas T se apresentam de forma periódica sobre as marcas de avanço. Cabe ressaltar que em função do seu próprio processo de formação, as partículas T se superpõem ao metal proveniente do fluxo lateral, como pode-se observar na Figura 1a.

4. CONCLUSÕES

Os testes realizados permitiram as seguintes conclusões :

1. Existem dois tipos distintos de partículas provenientes da APC que se aderem a superfície usinada : partículas L e partículas T, descritas no texto.
2. O uso do fluido de corte, gotejado sobre a peça, lubrifica a superfície recém usinada da peça diminuindo a aderência de partículas T sobre esta superfície. Esta diminuição na aderência de partículas T se dá de maneira muito mais acentuada para valores pequenos de χ'_r .
3. Em todas as amostras usinadas com a aplicação de pequena quantidade de fluido observa-se a presença de partículas L. Isto confirma a presença de APC e indica que a forma de aplicação do fluido de corte não foi eficaz no sentido de penetrar na interface cavaco-ferramenta e evitar a formação de APC.
4. O fluxo lateral de metal (side flow) e as partículas T são resultado de fenômenos diferentes que ocorrem durante o processo de usinagem. A diferença básica entre eles, além do processo de formação, esta nas suas disposições sobre a superfície da peça usinada.

REFERÊNCIAS

- Da Silva, M.B., 1998, Lubrication in metal cutting under built-up edge conditions, PhD Thesis, University of Wawick, England, UK, 235p.
- Da Silva, M.B. & Wallbank, J., 1999, Surface finish and lubrication at low cutting speeds, Materials Science and Technology, february , volume 15, number 2, ISSN 0267 – 0836, pp 221-225.
- Field, M. & Kahles, J. F., 1971, Review of surface integrity of machined components, Annals of the CIRP, Vol. 20/2, pp. 153 – 163.
- Pekelhanring A. J. & Giezen C. A., 1971, Material side flow in finish turning, Annals of the CIRP vol. 20/1, pp. 21-22.
- Trent, E. M., 1984, “Metal Cutting”, 2rd Edition, Butterworths – Heinemann ltd, 245 pgs, ISBN – 0.408.10856-8.

ANALYSIS OF SURFACE MACHINED UNDER BUILT-UP EDGE CONDITIONS

Abstract. *This work investigates the surface of ABNT 1045 steel turned under built-up edge (BUE) conditions with high-speed steel tools. The effect of a neat oil lubricant with EP additive applied at very low rate (12ml/min) on the machined surface close to the tool nose radius, was also studied. High speed steel tools with the same substrate composition and geometry apart from the end cutting edge angle (\mathbf{C}'_r), were used. After machining, analysis of the geometry of the machined surface was carried out in the scanning electron microscope (SEM). In all the surfaces analysed was observed the typical characteristics of machined surfaces (such feed mark, crack, fragment, and part of BUE). It was also observed particles deposited in the new machined surface, that is, between the machined surface and the secondary cutting edge. This work identify the mechanisms of formation of that particles and*

suggest that they parts of the BUE. The formation of these particles involve longitudinal deformation of BUE and adherence on machined surface. The results also presents typical formation of side flow.

Keywords: *Machining Surface; Lubrication; Built Up Edge; Surface Finish.*