

AValiação dos Métodos de Preparação de Amostras para Estudo de Alterações Microestruturais Geradas no Processo de Torneamento de Materiais Endurecidos

Clarianne Natali de Campos, e-mail^{1,2}

Larissa Juliana Sirtuli, larissirtuli@gmail.com¹

Denis Boing, denis.boing@gmail.com^{1, 2}

Rolf Bertrand Schroeter, rolf.schroeter@ufsc.br¹

¹ UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Reitor João David Ferreira Lima, Florianópolis-SC

² UNICEUMA – Universidade CEUMA, Rua Josué Montello, nº 1, São Luís-MA

³ UNIFEFE - Centro Universitário de Brusque, Rua Dorval Luz, 123- Brusque-SC

Resumo: Ao longo das etapas de manufatura de um componente mecânico, os processos de fabricação afetam diretamente o estado microgeométrico da superfície e as propriedades do material nas camadas da subsuperfície, impactando diretamente no desempenho do componente. Entretanto, um dos principais fatores que dificultam a realização da análise de alterações microestruturais recai sobre o método de preparação da amostra. Assim, este trabalho tem por objetivo analisar métodos e propor soluções que permitam que a análise das alterações microestruturais possam ser realizadas de modo satisfatório. Para a realização deste trabalho foi utilizado o aço AISI 4340 (45 HRC). A fim de compreender a gama de fenômenos que podem ocorrer durante a preparação da amostra, foram avaliados os seguintes aspectos: corte, revestimento da amostra, embutimento, lixamento e polimento. As análises das amostras foram realizadas por Microscopia Eletrônica de Varredura. No que tange ao processo de corte, foram avaliados a eletroerosão e o jato de água. Verificou-se que por ser um processo basicamente térmico, a eletroerosão provocou alterações na condição microestrutural do material. O jato de água, por outro lado, por possuir a água como meio condutor do abrasivo, não provocou alterações desta natureza, mas causou o arredondamento das bordas da amostra. Quanto ao revestimento, a necessidade desta etapa tem por finalidade garantir a integridade da borda e reduzir os efeitos de arredondamento típicos do processo de polimento. Assim, foram utilizados o estanho, o cobre e o alumínio, sendo que esses dois últimos foram os que possuíram melhor desempenho, garantindo maior aderência às bordas. Em relação aos demais aspectos, verificou-se que o emprego de resina específica para retenção de borda garante melhor qualidade à amostra do que somente com o uso de resina sintética comum (baquelite), desde que associada à baixas velocidades no processo de lixamento e polimento.

Palavras-chave: alteração microestrutural, métodos de preparação, torneamento de materiais endurecidos.

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que o desempenho de um componente fabricado é influenciado pela qualidade e confiabilidade da superfície produzida tanto em termos topográficos, bem como metalúrgico e mecânico do estado da camada da subsuperfície. Inúmeros estudos têm sido realizados nas últimas décadas para investigar as relações entre os parâmetros do processo de usinagem, a natureza das alterações da superfície produzida e o seu efeito sobre o desempenho do componente (Chinchani, S.; Choudhury, 2013). A força motriz por trás disso tem sido a constante necessidade de atender à crescente demanda no desempenho do componente, confiabilidade e durabilidade, estimulando assim, o desenvolvimento de materiais com maior resistência a elevadas cargas e ambientes adversos, juntamente com métodos de fabricação com elevado desempenho (M'saoubi, 2008).

Dependendo do tipo e da intensidade da energia empregada no processo de usinagem, as propriedades do material da peça de trabalho ficam afetadas, gerando assim uma ampla variedade de alterações na subsuperfície, as quais foram levantadas por Bellows e Tishler (1970) e divididas em cinco critérios principais – a saber – mecânicas, metalúrgicas, químicas, térmicas e elétricas, conforme Fig. 1.

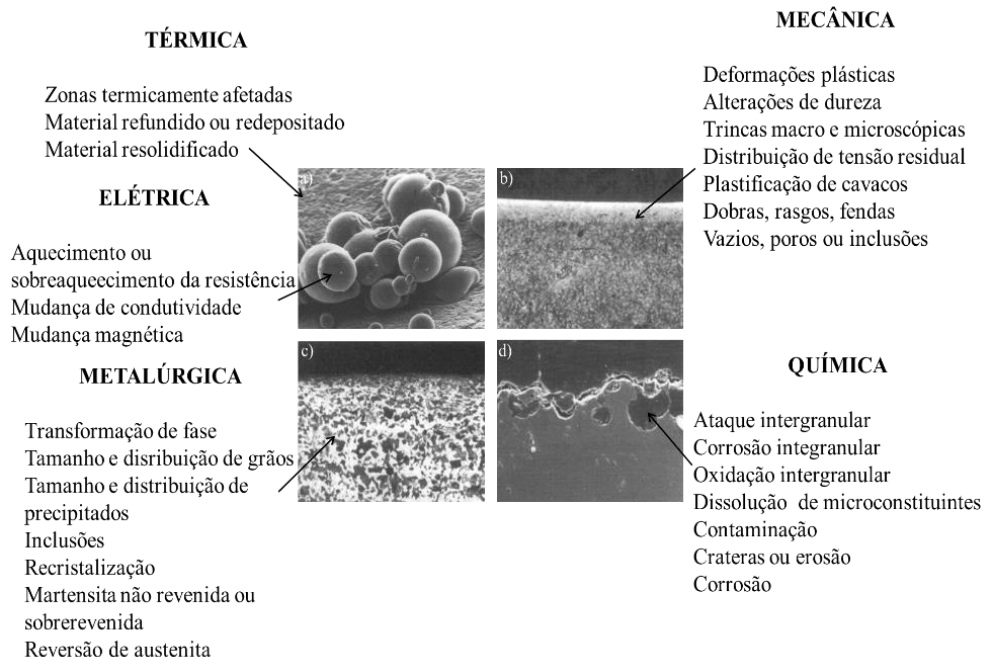


Figura1. Tipos de alterações microestruturais típicos nos processos de usinagem a) eletroerosão, b) torneamento, c) furação e d) eletroquímico.

No caso específico do torneamento de materiais endurecidos, o efeito termomecânico pode provocar mudanças na microestrutura do material, na dureza e nas tensões residuais. Em processos de usinagem, a energia mecânica praticamente é toda convertida em calor (Bouacha, K. et al, 2012). Dependendo da quantidade de energia requerida para as alterações microestruturais, trincas bem como a redução da dureza ou até mesmo regiões de elevada dureza formada por martensita não revenida seguida de uma camada sobre revenida podem ocorrer. Outro fenômeno também muito comum é a formação de camadas brancas, denominadas assim, por apresentarem essas características quando observadas ao microscópio óptico (Bosheh; Mantivega, 2005). Griffiths (1985) atribui a formação de camada branca a um ou mais possíveis mecanismos: (i) rápido aquecimento e têmpera, os quais resultam em transformação de fase, (ii) severa deformação plástica, a qual produz uma estrutura homogênea ou uma com muitos grãos finos, e (iii) reação da superfície com o ambiente.

A análise das alterações microestruturais apresentou um grande avanço para a maior compreensão dos fenômenos que atuam e interagem em uma superfície, não se limitando apenas à elementos topográficos. Entretanto, os estudos neste campo ainda são muito limitados, devido a dificuldade de garantir que as amostras se mantenham intactas para análise. Problemas como a danificação da superfície pelo processo de corte ou o arredondamento de borda são comuns e afetam diretamente a qualidade dos resultados obtidos (Griffiths, 1985; Suresh, R.; Basavarajappa, S.; Samuel, 2012).

O presente trabalho tem como objetivo analisar as etapas do processo metalográfico, propondo alternativas e verificando as dificuldades presentes para garantir a integridade das amostras para análise das alterações microestruturais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado neste trabalho é o aço AISI 4340, cuja composição química, fornecida pela fabricante, está apresentada a seguir (Tab. 1).

Tabela 1. Composição química do aço AISI 4340 (% em massa).

C	Mn	P	Si	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al
0,39	0,67	0,02	0,27	0,01	1,74	0,76	0,22	0,20	0,01

A partir dele, foi obtido o corpo de prova utilizado neste ensaio, cujas respectivas dimensões encontram-se na Fig. 2. A escolha desta geometria foi baseada em Diniz e Oliveira (2008), pois esta garante maior rigidez aos experimentos, já que o comprimento em balanço se torna pequeno. Desta forma, garante-se aos experimentos e os resultados obtidos

não sejam influenciados pelas vibrações do processo, as quais podem gerar avarias nas ferramentas ou imperfeições na superfície da peça usinada. Além disso, o corte pode ser realizado no sentido radial, garantindo o maior aproveitamento do volume do corpo de prova.

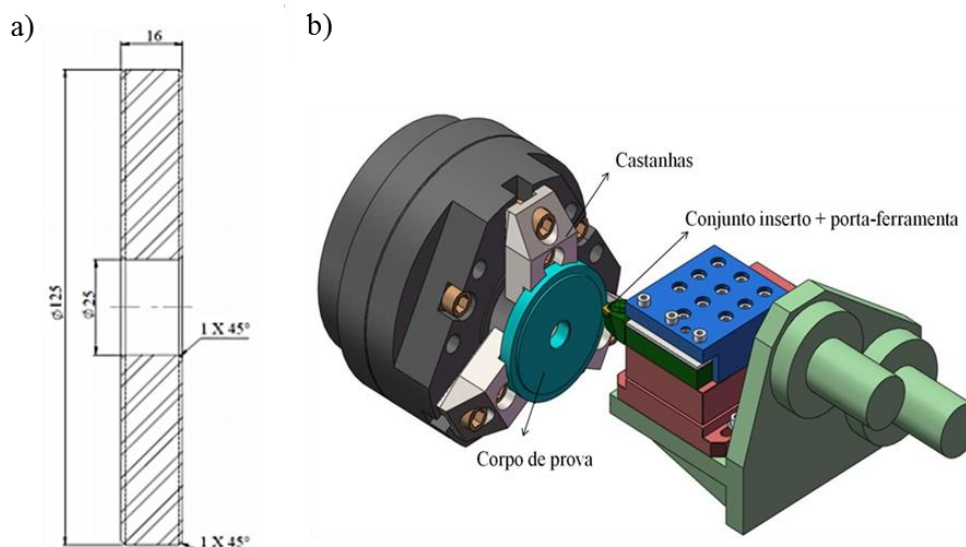


Figura 2. a) Dimensões do corpo de prova e b) Representação do sistema de fixação utilizados nos ensaios.

A fim de minimizar os choques na entrada e saída da ferramenta, foram realizados chanfros dos diâmetros interno e externo do corpo de prova, com dimensões de 1 x 45°. O furo no centro do corpo de prova ($\varnothing = 25\text{mm}$) tem por finalidade garantir a manutenção da velocidade de corte constante programada.

Obtidas as dimensões e a geometria desejadas para os corpos de prova, os mesmos foram submetidos ao processo de tratamento térmico, na empresa Tecnotêmpera (Guaramirim – SC), de têmpera e revenimento, para atingirem a dureza de $45 \pm 1 \text{ HRC}$. Para fixação e posicionamento do corpo de prova, foram projetadas e fabricadas castanhas de aço AISI 4340 ($40 \pm 1 \text{ HRC}$), as quais têm a finalidade de reduzir os efeitos da vibração, garantindo maior rigidez e estabilidade à peça.

Posteriormente, deu-se início ao ensaio de torneamento, o qual consistiu na realização de um único passe no sentido radial (do diâmetro maior para o diâmetro menor), em uma única face do corpo de prova, sem o emprego de meios lubrificantes. Para este ensaio foi utilizada uma ferramenta de metal-duro com grãos ultrafinos, código ISO SNMG 12 04 08 - SM Classe 1105 – fornecida pela empresa Sandvik Coromant®. Os parâmetros de usinagem adotados estão mostrados na Tab. 2.

Tabela 2. Parâmetros de corte dos ensaios de torneamento.

Parâmetro de corte	Valor
Velocidade de corte (v_c)	150 m/min
Avanço (f)	0,08 mm
Profundidade de corte (a_p)	0,20 mm

Após o processo de usinagem, o corpo de prova foi submetido ao processo de seccionamento, a fim de dimensioná-lo de modo que fosse possível realizar seu embutimento. Devido a dureza do corpo de prova utilizado, empregou-se a eletroerosão e corte com jato de água, sendo empregado neste último processo, o corte complementar com disco abrasivo.

Realizado o corte das amostras, as mesmas foram revestidas com três distintos materiais: cobre, alumínio e estanho. Para os dois primeiros materiais, foram utilizadas folhas, de modo a adequá-las às amostras manualmente; já para o estanho, foi realizada a deposição deste material por meio de fusão e posterior solidificação nas laterais da amostra que serão analisadas. A necessidade de utilização deste procedimento tem por finalidade garantir a integridade das bordas, bem como garantir a melhor adesão entre a resina sintética e a amostra.

As amostras seccionadas foram submetidas a processos de embutimento de duas maneiras diferentes: (I) embutimento somente com resina sintética (baquelite), e (II) embutimento com resina epóxi termoendurecedora (altamente recomendada em circunstâncias quando busca-se realizar a análise na região da borda da amostra) uma vez que o presente estudo consiste em analisar a região periférica da amostra.

De forma sistematizada, a Tab.3. apresenta as variáveis a serem avaliadas no trabalho, bem como serão construídos os comparativos para análise.

Tabela 3. Variáveis dos ensaios.

Corte		Revestimento		Embutimento
Eletroerosão	X	Cobre	X	Baquelite
Jato de água + disco abrasivo		Estanho		Resina ultradura
		Alumínio		

O processo de embutimento foi realizado a uma temperatura de 150°C, mantendo-se nesta temperatura durante 10 minutos, a uma pressão de aproximadamente 14,7MPa (150kg.f.cm⁻²). O resfriamento deu-se por cerca de 5 minutos com água corrente dentro do cilindro de embutimento. A manutenção destes parâmetros é necessária para permitir a melhor aderência entre a amostra e a resina.

Posteriormente foi realizado o lixamento, o qual ocorreu através da seguinte ordem crescente de granulometria das lixas, em Mesh: 80, 120, 220, 400, 600 e 1200. Entre cada troca de lixa, foi realizada a limpeza das amostras em ultrassom com álcool etílico 95%, a fim de evitar que grãos abrasivos da lixa anterior, que porventura tenham ficado aderidos, contaminassem a lixa nova e promovessem riscos na superfície em análise.

Dando continuidade ao procedimento metalográfico, as amostras foram submetidas ao polimento com pasta de diamante, com granulometrias de 3µm e 1µm. De forma análoga, foi realizada a limpeza da amostra entre cada uma das etapas.

Após o polimento, foi realizado o ataque químico das amostras, o qual permite que a microestrutura seja revelada. Como todas as amostras são aços de médio e alto teor de carbono, utilizou-se o Nital 2% como reagente, realizando a imersão a frio de cada amostra por um período de 15s, com posterior limpeza e secagem das amostras. Os procedimentos básicos de preparação metalográfica podem ser vistos da Fig. 3.

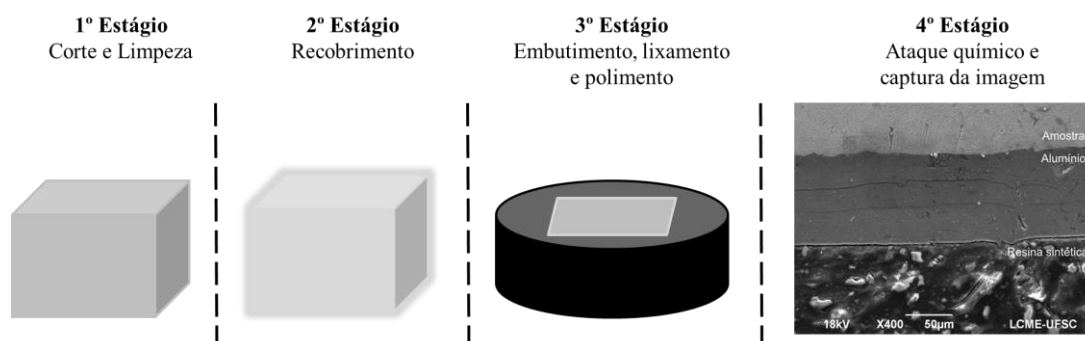


Figura 3. Etapas da preparação metalográfica.

As amostras foram então analisadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) convencional com filamento de tungstênio modelo JEOL JSM6390LV e o microscópio óptico DM4000M Leica.

3. RESULTADOS

3.1 Seccionamento dos corpos de prova

Inicialmente, realizou-se o processo de usinagem por eletroerosão. Além de demorado, este processo por ser basicamente térmico, causou danos à superfície usinada. Tais danos caracterizaram-se por apresentar superfície bastante irregular, e que, devido aos efeitos térmicos típicos deste processo, podem ter sido geradas outras alterações para além das inicialmente perceptíveis, conforme Fig. 4.

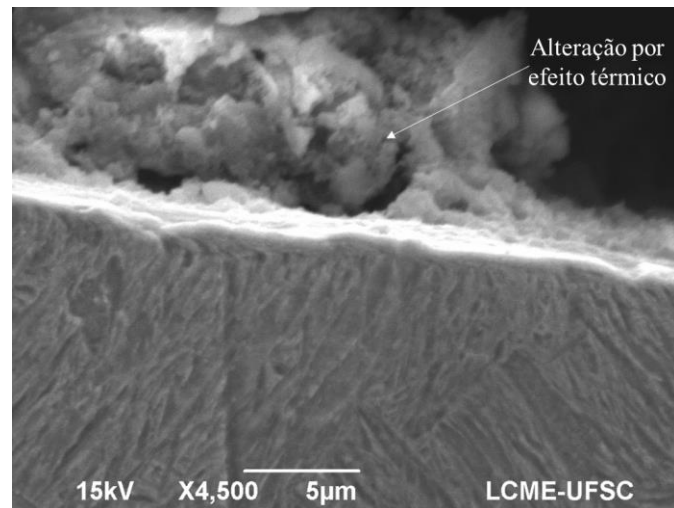


Figura 4. Superfície resultante do corte por eletroerosão.

Já o corte por jato de água apresentou mínimos efeitos térmicos, garantindo a integridade da microestrutura e da região que se deseja analisar. Porém, devido ao fluxo de água se dar a elevada pressão, ocorreu o arredondamento da superfície, o que dificulta sua análise, pois torna-se difícil obter o foco desejável durante a etapa de microscopia. A fim de eliminar o arredondamento gerado, utilizou-se um processo complementar com o emprego de corte com disco abrasivo, o qual apresentou melhores resultados, como pode ser observado na Fig. 5.

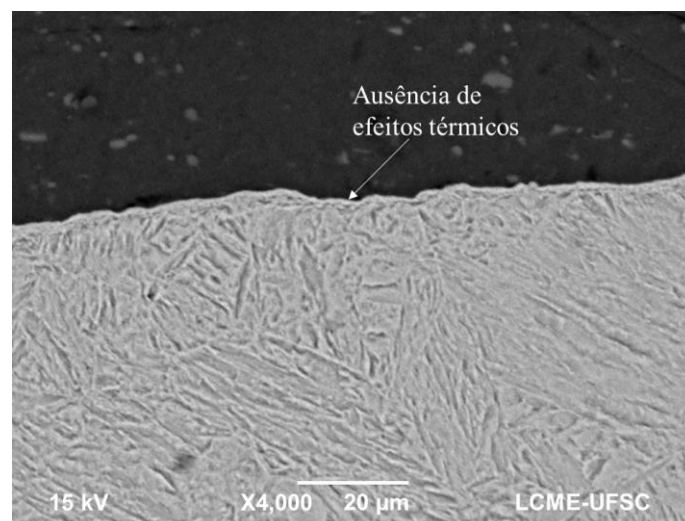


Figura 5. Superfície resultante do corte com jato de água e corte complementar com disco abrasivo.

A realização do corte com disco abrasivo além de ocorrer com presença de fluido lubrificante, possibilita também o controle dos parâmetros de corte, tornando possível o corte a baixa velocidade e avanço, consequentemente gerando menos calor e, portanto, não alterando as camadas da subsuperfície por efeito térmico, bem como garantiu uma superfície com bom acabamento.

Devido a elevada dureza do material, optou-se por baixas velocidades de corte e avanço, de modo a não provocar alterações no material e danos no equipamento, consequentemente, o tempo de duração do corte foi elevado, mas ainda inferior ao necessário ao processo de eletroerosão. Outro problema verificado, neste caso específico para aços endurecidos, é quanto a durabilidade dos discos abrasivos, pois devido a elevada dureza do material, ocorreu a rápida deterioração do disco. Apesar destas limitações, o corte com jato de água associado ao corte com disco abrasivo se apresentou como a alternativa mais eficiente para seccionamento de amostras, provocando alterações mínimas e garantindo a integridade da região a ser analisada.

3.2 Revestimento

A técnica de revestimento foi empregada com intuito de garantir melhor focalização durante as análises com o microscópio eletrônico de varredura, bem como permitir a melhor adesão entre resina sintética e amostra.

O revestimento com folhas de cobre apresentou-se possível, mas com aplicação limitada, pois em algumas regiões houve adequada adesão, permitindo análise satisfatória. Entretanto, em outras áreas ocorreu a formação de lacunas entre os dois materiais, conforme Fig. 6. Provavelmente essa baixa adesão esteja relacionada à dificuldade de envolvimento da amostra de forma eficaz ou mesmo durante o embutimento em consequência da pressão aplicada.

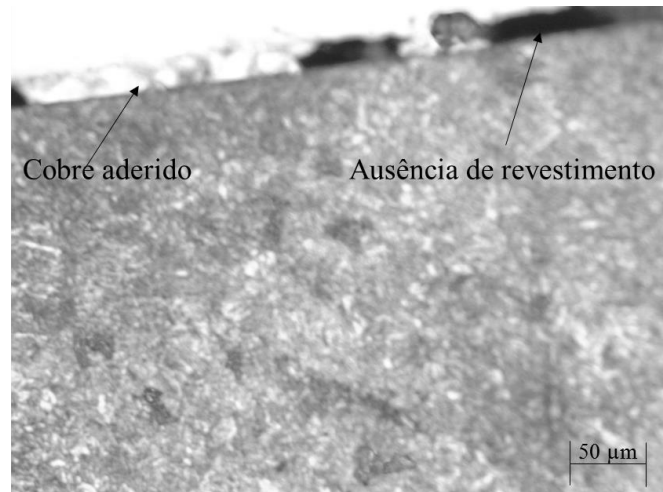


Figura 6. Amostra revestida com cobre.

Além disso, devido a baixa adesão deste material associado ao excessivo carregamento de elétrons relativo ao emprego de baquelite (material isolante), não foi possível obter imagens satisfatórias desta condição na análise com o microscópio eletrônico de varredura. A técnica com microscopia óptica, apesar de não ocorrer os problemas comuns do MEV, também não se apresentou como melhor técnica, já que não permite grandes ampliações sem distorção na qualidade da focalização da imagem.

O revestimento pelo processo de fusão foi feito com estanho. Este material foi escolhido devido a sua baixa temperatura de fusão (231,9°C), buscando-se não causar alterações na microestrutura da amostra. Porém, este elemento ao ser fundido sobre a lateral da amostra, acabou solidificando-se também sobre parte da superfície a ser analisada e a sua retirada não ocorreu durante o processo de lixamento como esperava-se, dificultando o processo de análise no MEV. Apesar do estanho possibilitar elevado foco na análise por microscopia eletrônica, devido ao seu caráter condutor e a ótima aderência, não se conseguiu visualizar o início da camada da amostra a ser analisada, pois o estanho encontrava-se sobre esta, tornando a análise imprecisa, como pode ser visualizado na Fig. 7.

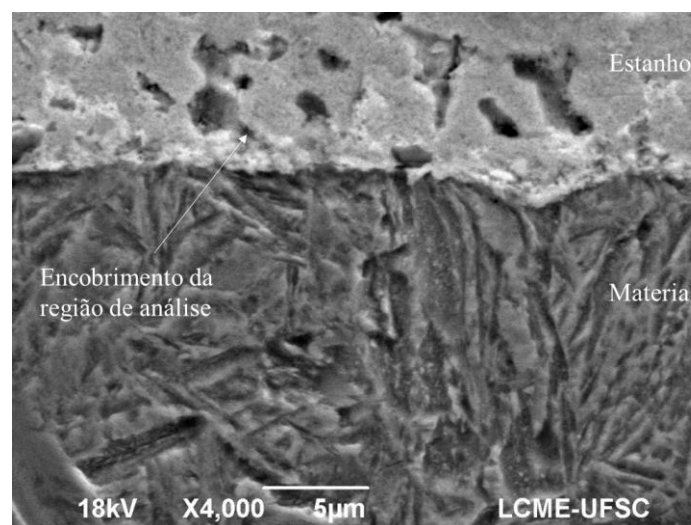


Figura 7. Amostra revestida com estanho.

O revestimento com alumínio mostrou-se o mais eficaz, pois além de ser a técnica mais facilmente realizável, ocorreu boa aderência deste à amostra e, como desejado, o mínimo arredondamento das bordas (Fig. 8). Na obtenção de imagens no MEV, também se mostrou conveniente, pois trata-se de um material condutor, servindo de aterramento de elétrons.

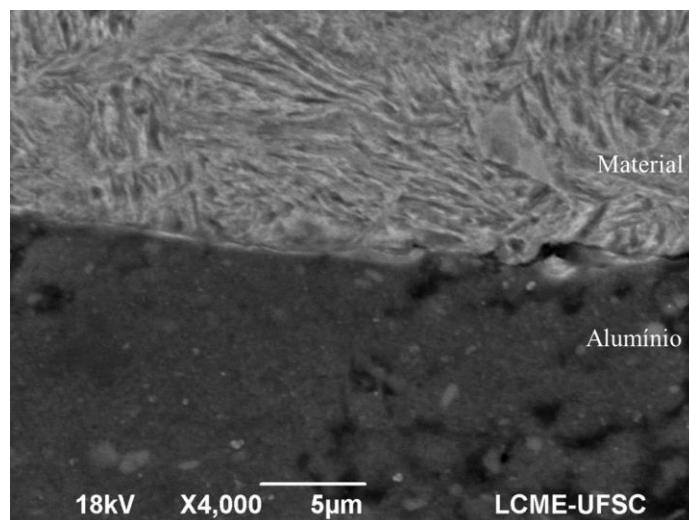


Figura 8. Amostra revestida com alumínio.

3.3 Embutimento

No embutimento, além da necessidade de controle de parâmetros como temperatura, tempo e pressão, é de extrema importância a escolha da resina a ser utilizada para que esta não seja desgastada tão facilmente, conservando a região a ser analisada. Sabe-se que elevadas pressões e curto tempo de resfriamento levam a problemas como a quebra da resina de embutimento ou falta de adesão desta à amostra.

A resina à quente comumente mais usada é a baquelite, devido ao seu bom custo-benefício. Porém, esta não apresentou boa retenção de bordas devido a sua baixa dureza. Além disso, nos ensaios realizados, também se observou aderência reduzida desta à amostra e devido ao seu caráter isolante, ocorreu o carregamento eletrostático (acúmulo de elétrons) durante a análise no MEV, levando a dificuldades na focalização e, conseqüentemente, a obtenção de imagens com maiores ampliações (Fig. 9).

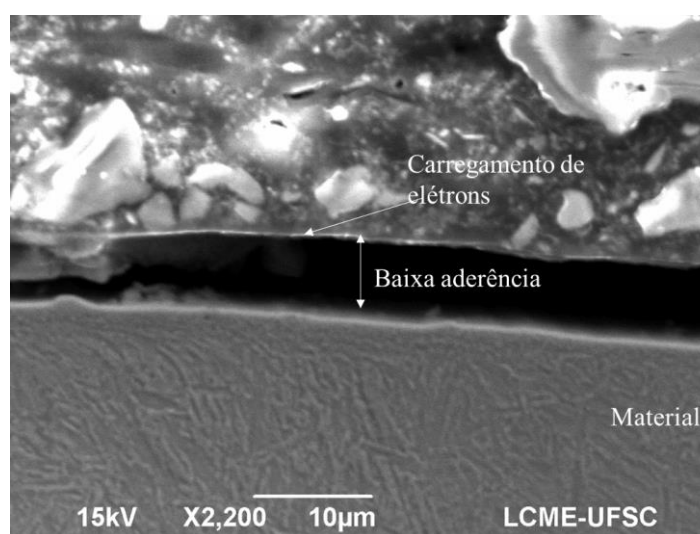


Figura 9. Amostra embutida com baquelite.

Portanto, fez-se necessário o uso da resina epóxi termoendurecedora. Entretanto, esta não apresentou boa aderência, formando uma lacuna entre a resina e o material, conforme Fig. 10-a. Além disso, por se tratar de um

material isolante, foi identificado o carregamento de elétrons, dificultando a ampliação e focalização durante a realização de imagens. Para que isto seja evitado, utilizou-se, adicionalmente, o revestimento com alumínio (Fig. 10-b), condição esta que obteve melhores resultados, garantindo a integridade da região a ser analisada e evitando o arredondamento durante o polimento, desde que associada à baixas velocidades no processo de lixamento e polimento, garantindo melhor aderência do revestimento.

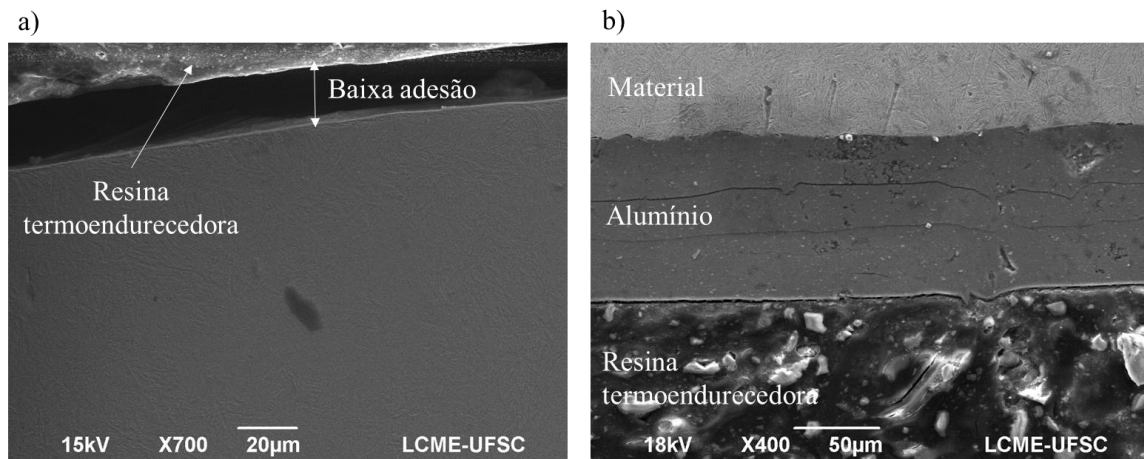


Figura 10. Embutimento com resina epóxi termoadescedora a) sem revestimento e b) com revestimento com alumínio.

Desta forma, verificou-se que a melhor condição para a etapa de embutimento da amostra é com o emprego de resina epóxi termoadescedora associada ao revestimento com folhas de alumínio, permitindo assim, melhor adesão, condições para observação via microscópio eletrônico de varredura e garantindo a integridade da região de análise, eliminando arredondamentos e demais fenômenos comuns ao processo metalográfico.

4. CONCLUSÕES

No que tange ao processo de corte, foram avaliados a eletroerosão e o jato de água. Verificou-se que por ser um processo basicamente térmico, a eletroerosão provocou alterações na condição microestrutural do material, para além das esperadas pelo processo de torneamento. O jato de água, por outro lado, por possuir a água como meio condutor do abrasivo, não provocou alterações desta natureza, mas causou o abaulamento das bordas da amostra. Entretanto, utilizando-se o processo de corte complementar com disco abrasivos, com baixas velocidades de corte e avanço, foram eliminados os arredondamentos presentes, obtendo-se assim amostras sem alterações na sua condição microestrutural.

Quanto ao revestimento, a necessidade desta etapa tem por finalidade garantir a integridade da borda e reduzir os efeitos de arredondamento típicos do processo de polimento. O cobre apesar da boa adesão em algumas regiões, ele não permitiu o recobrimento de forma homogênea da borda da amostra, formando lacunas entre o revestimento e o aço. O estanho, apesar da boa aderência, causou o encobrimento da região a ser analisada, mesmo após a conclusão do procedimento metalográfico, impedindo a análise da região de interesse para o estudo das alterações microestruturais.

Já no embutimento, tanto o baquelite quanto a resina para a retenção de borda não obtiveram um bom aproveitamento isoladamente. Além disso ambas, por se tratar de materiais isolantes, provocaram o carregamento eletroestático. A primeira, além de não haver a aderência adequada à amostra, ocorreu também o arredondamento das bordas nas etapas de polimento. A segunda, por sua vez, quando utilizada junto ao revestimento de alumínio, permitindo a melhor adesão entre amostra e resina sintática, garantiu a manutenção da borda, sem a ocorrência de arredondamentos.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o financiamento e apoio da FAPESC (Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina), UNIEDU (Programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

6. REFERÊNCIAS

Bellows, G.; Tishler, D. N., 1970, "Introduction to surface integrity", General Electric Company, Cincinnati.

Bosheh, S. S.; Mantivega, P. T., 2005, "White layer formation in hard turning of H13 tool steel at high cutting speed using CBN tolling", International Journal of Machine Tools & Manufacture, p. 225-233. 2005.

Bouacha, K. et al. "Statistical analysis of surface roughness and cutting forces response surface methodology in hard turning of AISI 52100 bearing steel with CBN tool". International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, v. 28, p. 349-361. 2010.

CHINCHANIKAR, S.; CHOUDHURY, S. K. "Investigation on machinability aspects of hardened AISI 4340 steel at different levels of hardness using coated carbide tools". International Journal of Refractory Metal and Hard Materials, v. 38, p. 124-133. 2013.

Diniz, A. E.; Oliveira, A. J. D., 2008, "Hard turning of interrupted surfaces using CBN tools", Journal of materials processing technology, v. 195, p. 275-281.

Griffiths, B. J., 1985, "White layer formations at machined surfaces and their relationship to white layer formations at worn surfaces", Journal of Tribology, p. 165-171.

M'saoubi, R. E. A. 2008, "A review of surface integrity in machining and its impact on functional performance and life of machined products", International Journal Sustainable Manufacturing, v. 1, p. 203-236.

Suresh, R.; Basavarajappa, S.; Samuel, G. L. "Some studies on hard turning of AISI 4340 steel using multilayer coated carbide tool". Measurement, v. 45, p. 1872-1884. 2012.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

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

EVALUATION OF SAMPLE PREPARATION METHODS FOR THE STUDY OF MICROSTRUCTURAL CHANGES GENERATED IN THE HARD TURNING PROCESS

Clarianne Natali de Campos, e-mail^{1,2}

Larissa Juliana Sirtuli, larisirtuli@gmail.com¹

Denis Boing, denis.boing@gmail.com^{1, 2}

Rolf Bertrand Schroeter, rolf.schroeter@ufsc.br¹

¹ UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Reitor João David Ferreira Lima, Florianópolis-SC

² UNICEUMA – Universidade CEUMA, Rua Josué Montello, nº 1, São Luís-MA

³ UNIFEFE - Centro Universitário de Brusque, Rua Dorval Luz, 123- Brusque-SC

Abstract. Throughout the manufacturing stages of a mechanical component, the manufacturing processes directly affect the microgeometric state of the surface and the properties of the material in the subsurface layers, directly impacting the performance of the component. However, one of the main factors hindering the analysis of microstructural changes is the method of preparation of the sample. Thus, this work aims to analyze methods and propose solutions that allow the analysis of microstructural changes can be performed in a satisfactory way. AISI 4340 steel (45 HRC) was used for this work. In order to understand the range of phenomena that may occur during the preparation of the sample, the following aspects were evaluated: cutting, sample coating, inlaying, sanding and polishing. The analyzes of the samples were performed by Scanning Electron Microscopy. Regarding the cutting process, the EDM and the water jet were evaluated. It was verified that because it is a basically thermal process, the EDM caused alterations in the microstructural condition of the material. The water jet, on the other hand, because it possesses water as the conductive medium of the abrasive, did not provoke alterations of this nature, but caused the rounding of the edges of the sample. Regarding the coating, the need for this step is to ensure the integrity of the edge and reduce the rounding effects typical of the polishing process. Thus, tin, copper and aluminum were used, and the latter two were the ones that had better performance, guaranteeing greater adhesion to the edges. In relation to the other aspects, it was verified that the use of specific resin for edge retention guarantees better quality to the sample than only with the use of common synthetic resin (bakelite), since it is associated with low speeds in the sanding and polishing process.

Keywords: microstructural changes, preparation methods, hard turning.