

CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES DO EMPREGO DE BROCAS HELICOIDAIS PARA A MEDIÇÃO DE TENSÃO RESIDUAL ATRAVÉS DO MÉTODO DO FURO CEGO

Rodrigo Blödorn, rodrigo.blodorn@labmetro.ufsc.br^{1,2}

Thiago Wilvert, thiago.wilvert@labmetro.ufsc.br^{1,2}

Matias Roberto Viotti, matias.viotti@labmetro.ufsc.br²

Rolf Bertrand Schroeter, rolf.schroeter@ufsc.br¹

Armando Albertazzi Gonçalves Jr., a.albertazzi@ufsc.br²

¹LMP, Laboratório de Mecânica de Precisão

²LABMETRO, Laboratório de Metrologia e Automação

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, Brasil CEP 88040-970 Cx.Postal: 5053

Resumo: A técnica experimental mais empregada para avaliação do estado de tensões em materiais de comportamento elástico é a do Método do Furo Cego (MFC). Esta consiste, basicamente, na furação em cheio de um furo cego com uma fresa de topo que alivia e redistribui as tensões no entorno do volume de material removido promovendo, em consequência, a deformação da superfície. Esta deformação é resultante da redistribuição de tensão que estivera presente no volume de material removido. Várias técnicas de furação têm sido investigadas na literatura e foram aplicadas na produção do furo cego visando cumprir os dois seguintes requisitos: (a) a propensão da técnica para introduzir tensões adicionais durante o processo de usinagem e (b) a capacidade da técnica para produzir furos geometricamente bem definidos. Neste contexto, será avaliado o uso de brocas helicoidais, de diâmetro 4mm e ponta cônica de 118° e 150°, que são ferramentas específicas para furação em cheio, apresentam ótimo custo-benefício e facilidade de uso na produção de furos cegos. Ensaios de furação, com diferentes combinações de parâmetros de usinagem, foram executados nas ligas de aço ABNT 1020 e aço inoxidável AISI 304L. Imagem das ferramentas de corte, da superfície dos furos, dos cavacos e micrografias da parede dos furos foram obtidas através da técnica de Microscopia Eletrônica (MEV). De posse destes dados inferiu-se sobre combinações de parâmetros de usinagem mais adequados para aplicação no MFC.

Palavras-chave: Tensão residual, Método do Furo Cego, Furação, Broca helicoidal, Seleção de parâmetros.

1. INTRODUÇÃO

Para avaliar a resistência à fadiga de um determinado componente é importante conhecer o tipo de distribuição das tensões e as suas magnitudes. Estas podem ser introduzidas acidentalmente, como ocorre nos processos de fabricação de forma geral, ou propositalmente, por processos amplamente empregados na indústria, como o jateamento e tratamento térmico. A introdução de tensões compressivas ocorre, muitas vezes, de forma proposital, com o objetivo de elevar a resistência à fadiga do componente, visto que tensões compressivas não favorecem a nucleação de trincas (Nawwar e Shewchuk, 1978).

O estado de tensão de um material que não está submetido a quaisquer esforços externos, incluindo a ação da gravidade e possíveis tensões geradas por gradientes de temperatura, pode ser considerado como sendo tensão residual (Schajer, 2013). Estas estão sempre em equilíbrio, ou seja, geram forças resultantes e momentos nulos que eventualmente são somados ou subtraídos aos esforços aplicados sobre o componente, podendo levar a combinações perigosas, principalmente quando se desconhece as tensões residuais presentes no material (Withers, 2007).

As tensões residuais são geradas em decorrência do processamento termomecânico dos materiais, cujo campo de tensão resultante é geralmente não-uniforme e apresenta um elevado gradiente de tensões. Os processos de manufatura induzem elevados picos de tensões residuais em distâncias muito pequenas, o que se traduz em gradientes elevados. A Figura (1a) mostra a distribuição aproximada das tensões residuais para diferentes processos de fabricação aplicados em um aço com tensão de escoamento de $\sigma_e=650\text{MPa}$ (Totten *et al.*, 2002). A determinação destas tensões em componentes mecânicos através de métodos analíticos é considerada uma tarefa difícil de ser realizada, o que motiva o desenvolvimento de métodos experimentais para a medição direta das tensões residuais. Estes métodos se difundiram e são utilizados em ambientes industriais e laboratoriais.

O Método do Furo Cego, ou MFC, é uma técnica amplamente empregada para a medição de tensões residuais por possuir procedimentos normalizados, boa precisão e confiabilidade dos resultados, o que cumpre os requisitos mínimos de diversas aplicações. O pequeno dano introduzido no componente em decorrência do furo realizado durante o processo de medição possibilita o emprego deste método em estruturas mecânicas capazes de suportá-lo. O MFC é comumente classificado como uma técnica semi-destrutiva, que corresponde a uma posição intermediária entre técnicas

destrutivas (Seccionamento), que introduzem danos permanentes ou levam à perda parcial do componente, e técnicas não-destrutivas como a de Difração de Raios-X (Nawwar e Shewchuk, 1978 e Schajer, 2013).

A norma ASTM E837 – 13a (2013) define os procedimentos de execução e processamento para a medição de tensões residuais pelo MFC. A técnica consiste basicamente na realização de um furo (furo cego ou passante) gerando, como consequência, um alívio localizado das tensões que induzem deformações no entorno do furo, como mostrado na Fig. (1b), atingindo novamente o estado de equilíbrio do material. As tensões associadas a estas deformações podem ser obtidas através da Lei de Hooke. Cabe destacar que estas deformações são também sensíveis ao processo de furação devido às tensões residuais induzidas no material pelo processo de usinagem, o que acaba influenciando no real valor medido das tensões (Tamura, 2016).

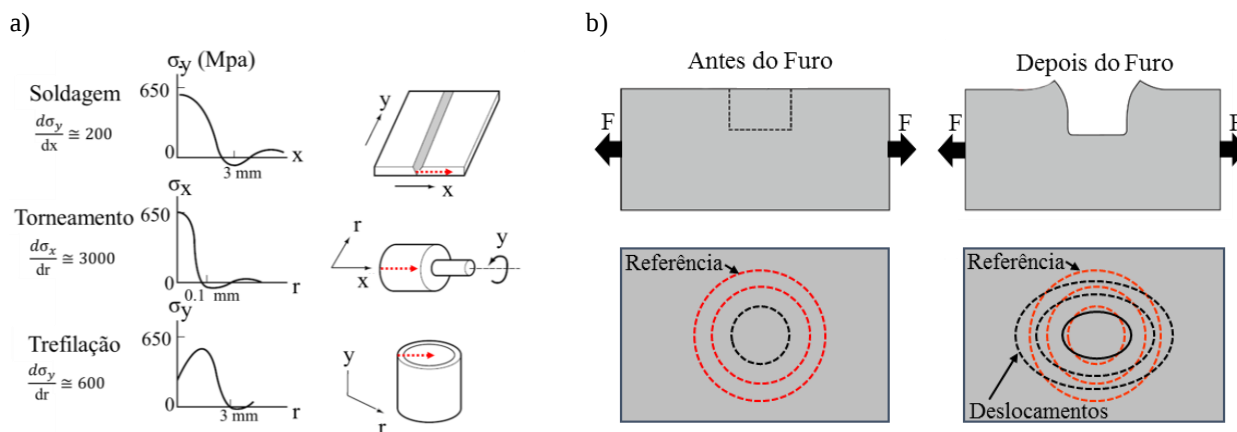


Figura 1. (a) Tensões residuais em processos de fabricação (Totten *et al.*, 2002); (b) Deslocamentos observados através do Método do Furo Cego.

Tensões residuais podem ser calculadas através das deformações captadas por extensômetros fixados próximo à borda do furo ou através da aquisição de imagens pela técnica óptica conhecida como ESPI (*Electronic Speckle Pattern Interferometry*) ou HE (Holografia Eletrônica). A técnica óptica consiste na aquisição de imagens da região do furo, sendo que as imagens são obtidas antes (referência) e após a realização do furo. Caso o furo seja realizado em etapas, diversas imagens podem ser capturadas durante o procedimento e, posteriormente, realiza-se o cálculo das tensões com o auxílio de computador.

Existem dois aspectos que podem ser analisados com relação à superfície gerada após a usinagem, como esquematizado na Fig. (2): (a) a textura ou irregularidades geométricas da superfície e (b) a integridade da superfície que engloba uma série de alterações que podem ocorrer na região localizada logo abaixo da superfície visível da peça. Estas alterações na integridade da superfície podem ser metalúrgicas, mecânicas, químicas e térmicas, como, por exemplo, as deformações plásticas identificadas através da variação na orientação dos grãos resultantes dos esforços gerados durante a usinagem, ilustradas na Fig. (2b) (Youssef e El Hofy, 2008).

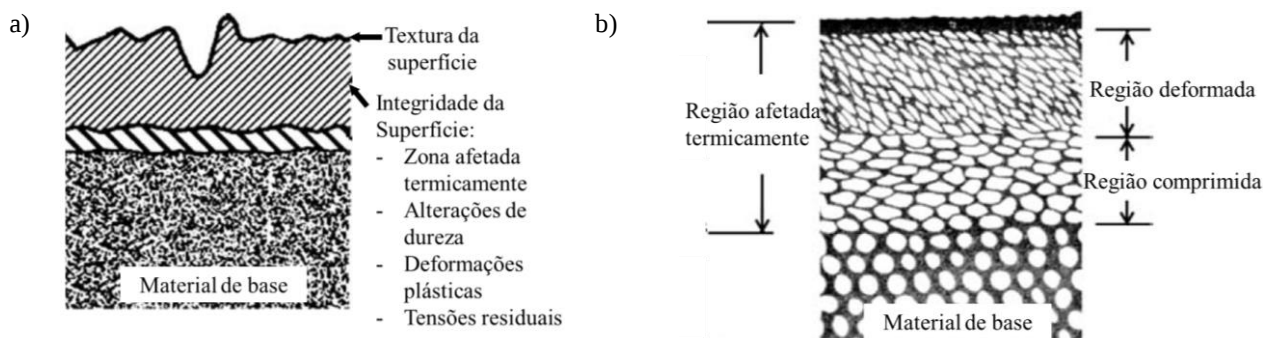


Figura 2. Textura e integridade da superfície (Youssef e El-hofy, 2008 e Kaczmarek (1976) *apud* Youssef e El-hofy, 2008).

Os parâmetros de usinagem como a velocidade de corte, profundidade de corte, avanço, além da utilização ou não de fluido lubrificante influenciam não apenas no rendimento de uma linha de produção, mas também exercem influência sobre a integridade da superfície. Dependendo do processo de manufatura empregado, a remoção de material é constituída por um evento unitário composto por mecanismos de geração que definem a integridade da superfície. Os

cinco tipos básicos destes mecanismos podem ser ordenados de forma crescente com base nos níveis de energia transferidos à superfície: químico, mecânico, mecânico-térmico, termomecânico e térmico. Níveis elevados de energia tendem a produzir mais danos metalúrgicos, comprometendo a integridade da superfície (Davim, 2010).

2. EQUIPAMENTOS E MATERIAIS DE ENSAIO

As ferramentas empregadas na obtenção de furos cegos são brocas helicoidais de metal-duro de nano-grão (liga de carboneto de tungstênio e cobalto, WC-Co, pertencente à classe K40) revestidas com Nitreto de Titânio e Silício (TiSiN). Estas ferramentas possuem duas variações para a geometria: ângulos de ponta com 118° e 150° com diâmetro de $\varnothing 4\text{mm}$ e 2 gumes de corte. Na Figura (3a) pode-se visualizar a posição de fixação da ferramenta na pinça com o comprimento em balanço adotado, de 32mm. Na Figura (3b) é apresentado o suporte com capacidade para cinco ferramentas, com o objetivo de fixá-las na base do microscópio eletrônico de varredura – MEV – proporcionando uma excelente repetibilidade no posicionamento da ferramenta e, na sequência, uma imagem mostrando o grau de acabamento das ferramentas novas pode ser vista na Fig. (3b). Para a obtenção das imagens no MEV, foi necessário realizar a limpeza das ferramentas por ultrassom em álcool etílico absoluto para microscopia. Além da limpeza com o álcool, uma massa adesiva foi empregada na remoção de partículas remanescentes aderidas ao revestimento da ferramenta.

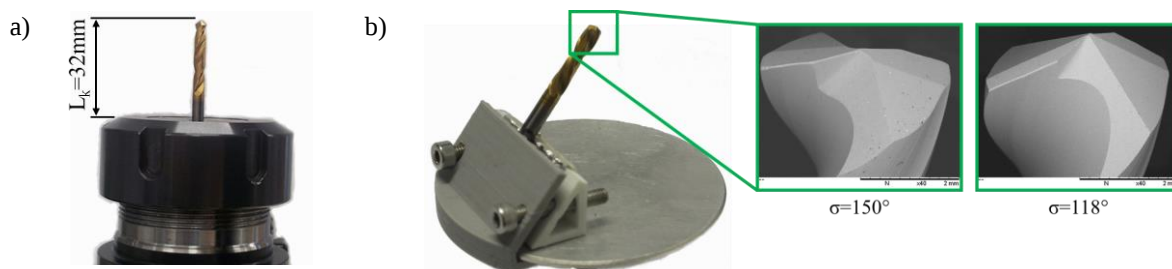


Figura 3. (a) Posicionamento da ferramenta no mandril e (b) suporte empregado para fixar as ferramentas no MEV com as imagens obtidas de ambos os tipos de ferramentas empregadas.

Duas ligas de aço foram empregadas na confecção dos corpos de prova: aço ABNT 1020 e aço inoxidável AISI 304L. Os corpos de prova possuem dimensões de aproximadamente $135\text{mm} \times 25\text{mm}$ e espessuras de 6,30mm e 6,35mm, respectivamente. Estes corpos de prova foram submetidos a um tratamento térmico de alívio de tensões.

Para a realização dos experimentos utilizou-se um centro de usinagem Romi D600 com rotação máxima de 10 000rpm. Este centro de usinagem está instalado em uma sala com temperatura controlada por um sistema de condicionamento de ar com controle de temperatura convencional.

3. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Alguns parâmetros de usinagem foram empregados na tentativa de estender os limites inferiores recomendados pela norma, chegando mais próximo dos valores recomendados pelos fabricantes de ferramentas de corte. Tamura (2016) realizou uma investigação das combinações de parâmetros mais adequadas para a realização do furo cego com base nas novas faixas de parâmetros apresentadas pela última versão da norma ASTM E837-13a (2013). Considerando a viabilidade do emprego de velocidades abaixo das comumente empregadas no MFC, Tamura (2016) ainda propôs o emprego de brocas helicoidais para a realização do furo cego na medição de tensão residual em suas sugestões para trabalhos futuros. Cabe destacar que esta alteração proposta modifica notavelmente a forma geométrica do furo que atualmente é contemplada na norma ASTM.

Os parâmetros de corte utilizados nos experimentos estão apresentados na Tab. (1). Empregaram-se duas brocas helicoidais para cada material usinado, sendo uma para cada ângulo de ponta. Adotou-se então esta ampla faixa de valores para analisar a viabilidade de utilização das brocas helicoidais no MFC, sendo a sequência de furação: A-B-C-A-D-E-F-A. Foram realizadas três repetições para o experimento A, com o objetivo de identificar possíveis alterações nos resultados em decorrência do desgaste da ferramenta. Furos cegos foram produzidos em 10 incrementos de 0,1mm de profundidade cada, totalizando 1,0mm.

Para facilitar a comparação entre a ordem de grandeza destes parâmetros de usinagem, compararam-se os valores do avanço por gume e do raio de gume das brocas, como mostrado na Fig. (4). Considerando um raio de gume $\rho \cong 15\mu\text{m}$, tem-se razões entre o raio do gume e do avanço da ordem de 0,1, 0,5 e 1. Para analisar melhor a influência de cada parâmetro, fez-se uma análise dos cavacos, da qualidade do furo – imagem do furo obtida com o auxílio do MEV, e dos níveis de deformação plástica identificados na parede e no fundo dos furos através de análises metalográficas.

Para a obtenção das análises metalográficas, realizou-se um corte na seção longitudinal dos furos, como mostrado na Fig. (5a). Na sequência, estas amostras foram embutidas, lixadas e polidas. Para o aço ABNT 1020 o ataque químico com Nital 3% já foi o suficiente para visualizar o contorno de grão.

Tabela 1. Parâmetros de usinagem empregados.

Experimento	Avanço f_z (μm)	Velocidade de corte (m/min)	Material da peça	
A	1	50	Aço ABNT 1020	Aço inoxidável AISI 304L
B	5			
C	10			
D	1	100		
E	5			
F	10			

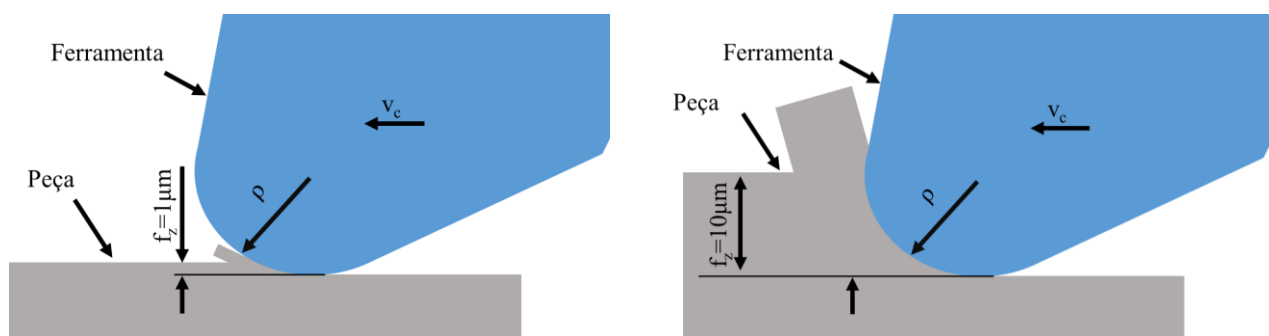


Figura 4. Comparação entre o menor avanço $f_z=1\mu\text{m}$ e o maior avanço $f_z=10\mu\text{m}$ empregados neste trabalho.

Para o aço inoxidável AISI 304L, tornou-se necessário o emprego de ataque eletrolítico com solução ácida contendo 70% de HNO_3 , corrente 0,1A e diferença de potencial de 5V aplicadas por um intervalo de tempo de 10s com o auxílio de uma fonte Minipa MPC – 303DI, sendo que a amostra é conectada ao polo positivo e utilizou-se um eletrodo de mesmo material conectado ao polo negativo. Como a baquelite não é condutora, utilizou-se um conector do tipo boca de jacaré durante o ataque eletrolítico, disposto da forma mostrada na Fig. (5b). Para reduzir a contaminação do meio ácido e da própria amostra com material removido das garras do bico de jacaré, uma fita isolante foi utilizada para impedir que o corpo da garra entrasse em contato com o ácido.

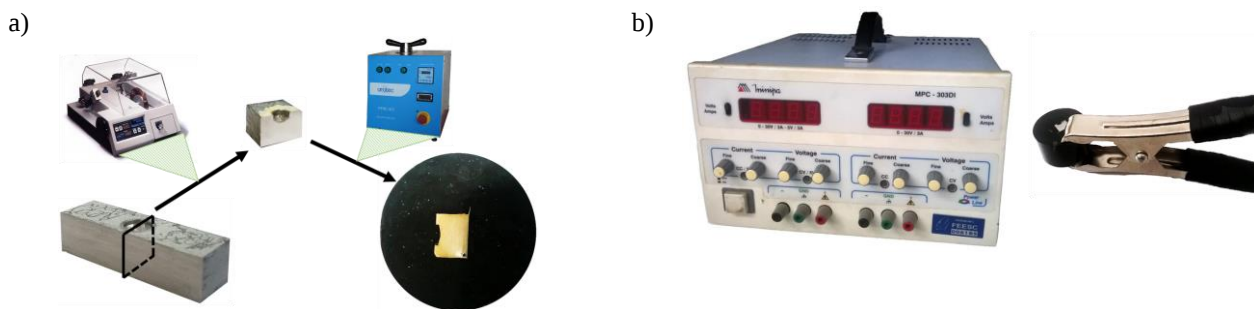


Figura 5. (a) Corte da amostra e realização do embutimento, (b) fonte e bico de jacaré empregados no ataque eletrolítico.

4. RESULTADOS

Cavacos longos e contínuos são extremamente prejudiciais para a confiabilidade dos resultados obtidos pelo MFC com a aquisição de imagens por técnicas ópticas como a ESPI. Estes rotacionam junto com a ferramenta de corte e acabam, em alguns casos, riscando a superfície de referência – previamente pintada para facilitar a aquisição de dados – levando a uma perda de dados. Em caso de riscamento da região próxima à borda do furo onde as deformações são mais intensas, forte influência sobre o processamento dos dados pode ocorrer (Tamura, 2016). Klocke (2011) apresenta os quatro principais tipos de cavaco como: cavaco contínuo, lamelar, cisalhado e arrancado. Com isso em mente, realizou-

se uma análise preliminar dos parâmetros escolhidos com base no tipo de cavaco gerado. Na Figura (6) e Figura (7) pode-se visualizar os cavacos gerados durante a furação do aço ABNT 1020 para os dois tipos de ferramenta. É possível fazer uma seleção destes cavacos com base no tipo de cavaco, verificando o quão danosos à técnica ESPI estes podem ser, como mostrado na Tab. (2).

Tabela 2. Seleção dos parâmetros de acordo com o tipo de cavaco formado, sendo que o símbolo verde representa os parâmetros adequados ou que necessitem de pequenos ajustes, alaranjado transição, e vermelho totalmente inadequado.

Material	Ângulo de ponta: Velocidade de corte/ Avanço	$\sigma=118^\circ$			$\sigma=150^\circ$		
		$f_z=1\mu\text{m}$	$f_z=5\mu\text{m}$	$f_z=10\mu\text{m}$	$f_z=1\mu\text{m}$	$f_z=5\mu\text{m}$	$f_z=10\mu\text{m}$
ABNT 1020	$v_c=50\text{m/min}$	✓	✓	✓	✗	✗	~
	$v_c=100\text{m/min}$	✓	✓	✓	✗	~	~
AISI 304L	$v_c=50\text{m/min}$	✓	✓	✓	✓	~	~
	$v_c=100\text{m/min}$	✗	✗	✗	✗	~	~

Levando em consideração que o raio da ferramenta de corte é igual a $r=2\text{mm}$, pode-se notar que o corte de metal nos casos em que o aço ABNT 1020 é usinado com avanço por dente $f_z=1\mu\text{m}$ propicia a formação de cavacos cisalhados que atingem tamanhos pequenos, dado que o ângulo de saída se torna muito negativo para pequenos avanços f_z , promovendo deformações excessivas e a consequente quebra do cavaco. Na Figura (6) (parâmetro $v_c=100\text{m/min}$ e $f_z=10\mu\text{m}$) é possível notar que há uma pequena variação na geometria do cavaco que lembra o formato de um cone, porém, na região intermediária, há uma variação no ângulo deste cone em decorrência de pequenos desvios no ângulo de afiação do gume principal, o que influencia na direção de escoamento do cavaco. No caso da ferramenta com ângulo de ponta de 150° , tem-se a formação de cavaco contínuo, porém com larguras muito inferiores ao comprimento do gume. Para os demais avanços, a largura do cavaco é naturalmente maior, porém a mesma tendência à formação de cavaco contínuo permanece, tornando a utilização destes parâmetros inviáveis no âmbito da utilização da técnica ESPI.

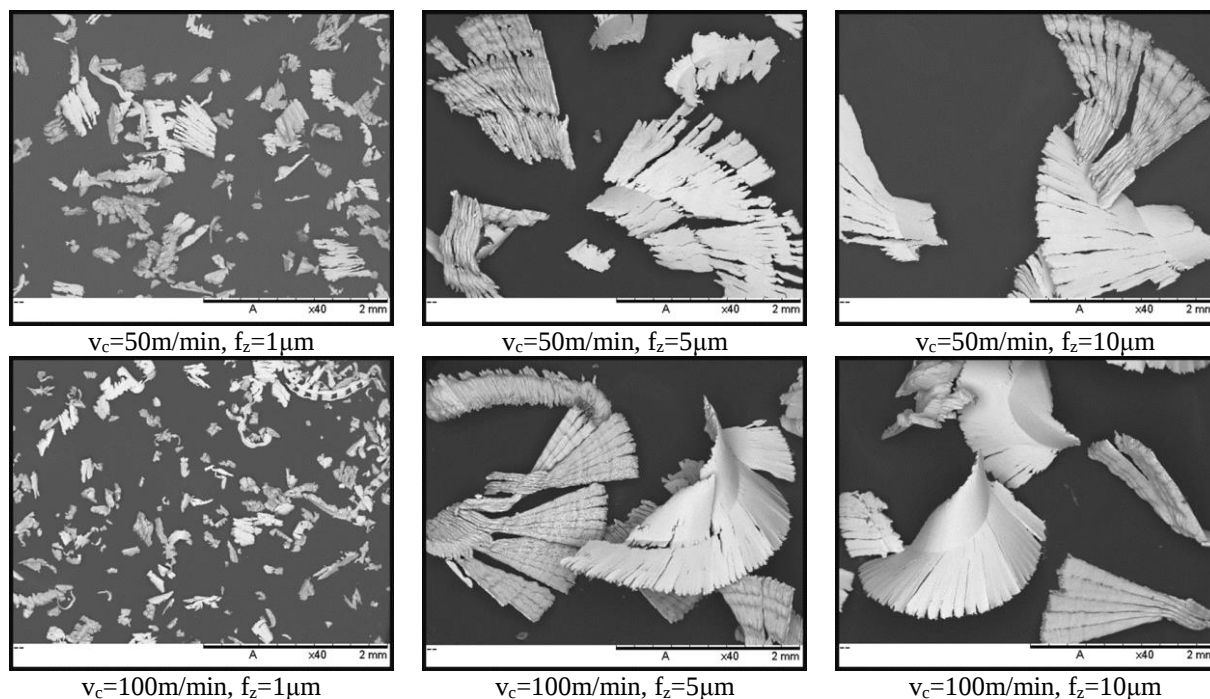


Figura 6. Cavacos obtidos pela broca com ângulo de ponta de 118° na usinagem do aço ABNT 1020.

Já os cavacos obtidos com o aço inoxidável AISI 304L apresentaram características bastante negativas com relação à utilização da ESPI, como mostrado na Fig. (8) para o ângulo de ponta $\sigma=118^\circ$ e na Fig. (9) para ângulo de ponta $\sigma=150^\circ$, sendo que poucas possibilidades de utilização foram identificadas de acordo com a Tab. (2).

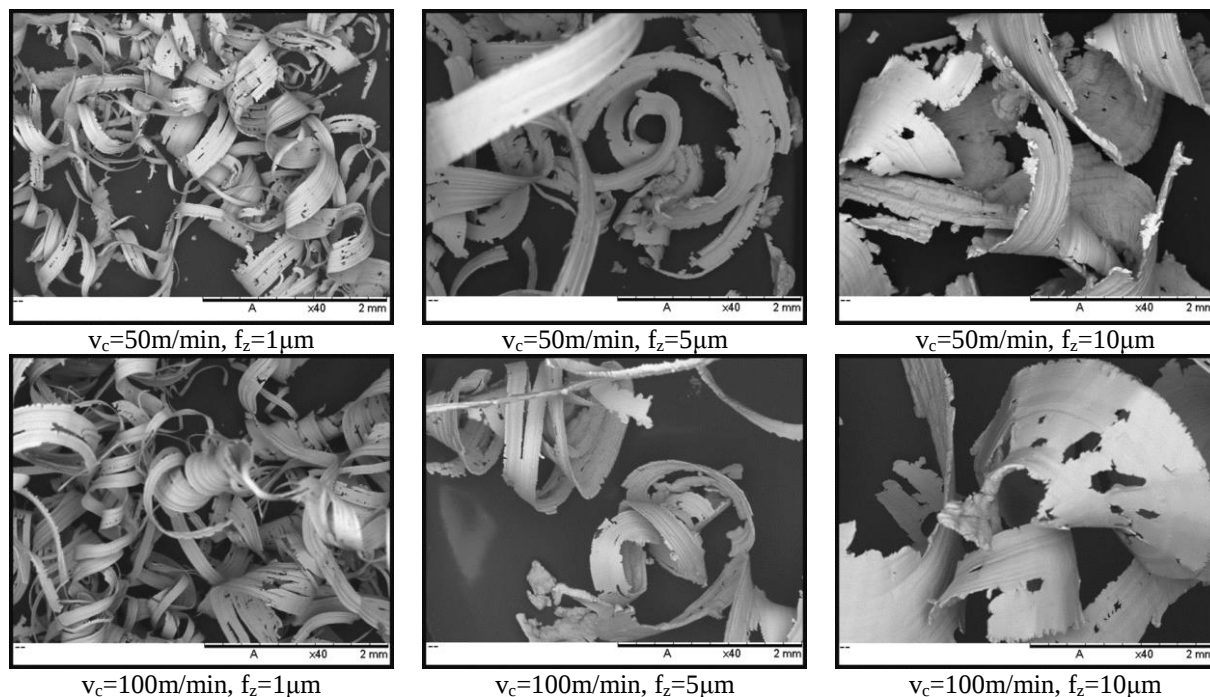


Figura 7. Cavacos obtidos pela broca com ângulo de ponta de 150° na usinagem do aço ABNT 1020.

A formação de cavaco contínuo na usinagem do aço AISI 304L ocorre por ser um material mais dúctil do que o aço ABNT 1020. Vale a pena ressaltar que o parâmetro $f_z = 1 \mu\text{m}$ e $v_c = 50 \text{ m/min}$ o aço inoxidável AISI 304L apresenta uma possibilidade de utilização de brocas com ângulo de ponta $\sigma = 150^\circ$, visto que para o mesmo parâmetro não foi encontrado um tipo de cavaco favorável para o aço ABNT 1020.

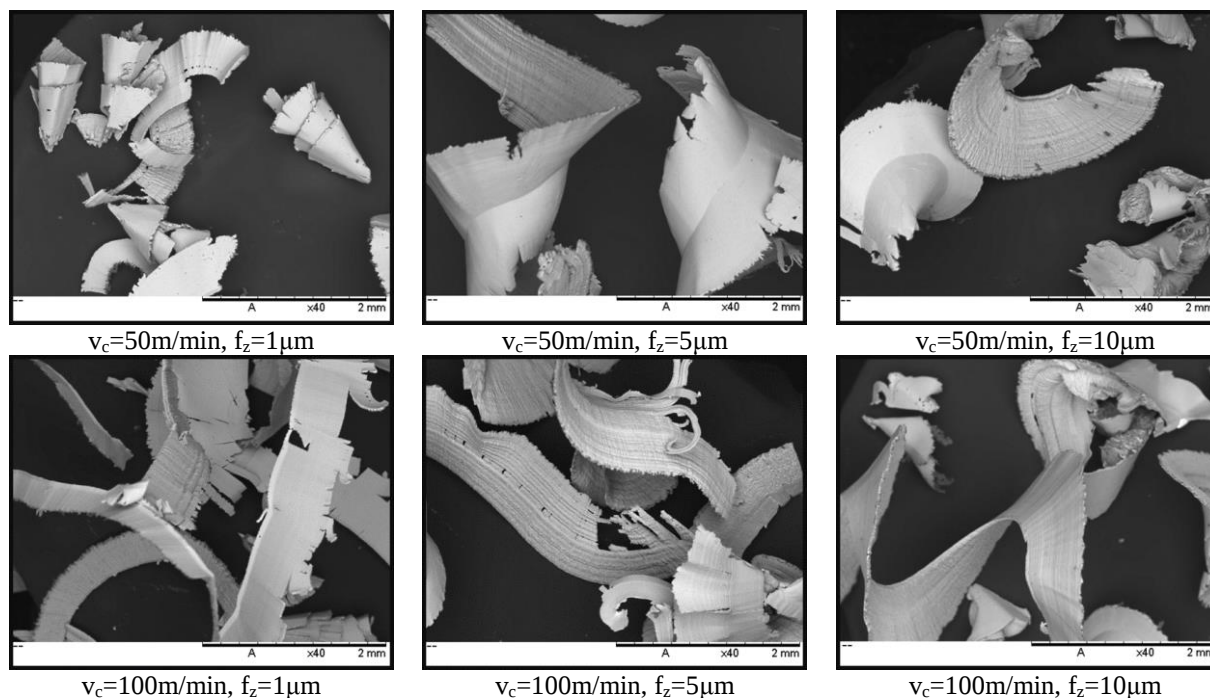


Figura 8. Cavacos obtidos pela broca com ângulo de ponta de 118° na usinagem do aço AISI 304L.

De uma forma geral, as brocas com ângulo de ponta de 150° apresentaram uma formação de rebarba mais protuberante, que se deve à própria geometria da ferramenta. Este fenômeno pode ser comparado à função de um escareador, que é comumente empregado para a realização de rebaixos ou para a remoção de rebarbas. Pelo fato de a ferramenta com ângulo de ponta de 118° não ter penetrado o suficiente para que as guias entrassem em contato com a

peça, formando um ângulo de 31° entre a superfície da peça e o corpo da ferramenta, os gumes principais atuaram da mesma forma que um escareador, dificultando a formação de rebarbas, como mostrado na Fig. (10). Segundo Klocke (2011), escareadores para remoção de rebarbas, realização de chanfros e assentos para cabeças de parafusos possuem ângulos de ponta definidos por norma com valores de 60° , 90° e 120° , o que está bem próximo do ângulo de ponta da broca de 118° . Os dois materiais analisados apresentaram a mesma tendência, dispensando a apresentação das imagens referentes ao aço inoxidável.

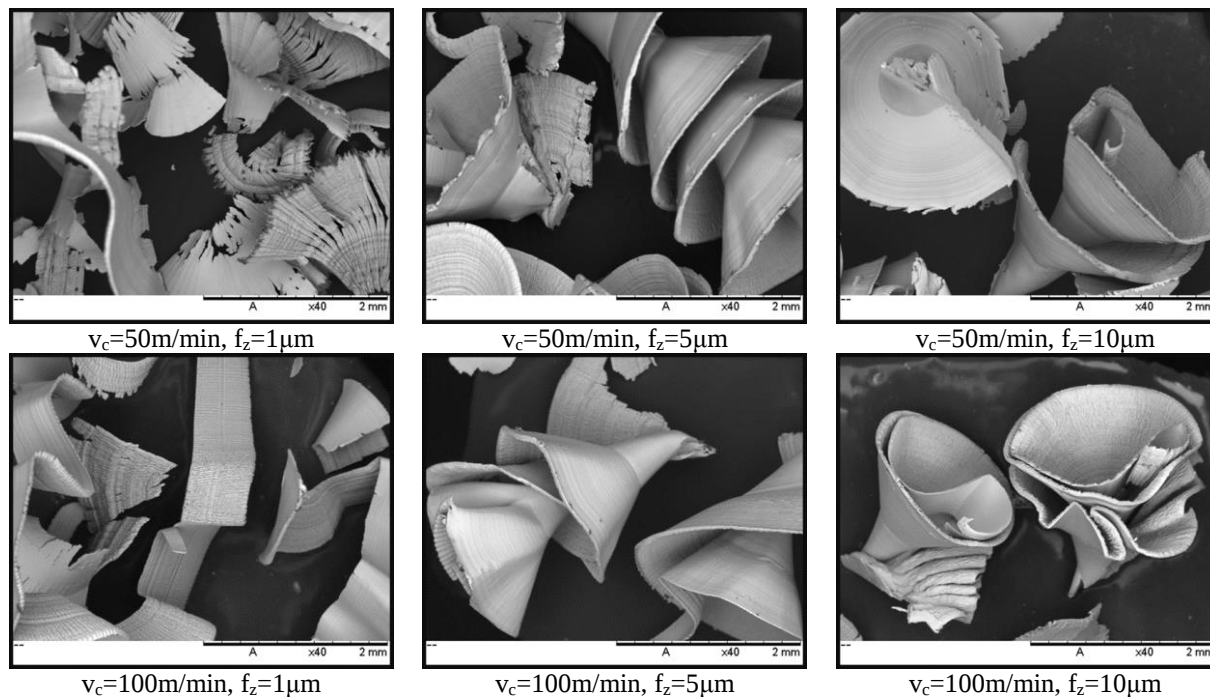


Figura 9. Cavacos obtidos pela broca com ângulo de ponta de 150° na usinagem do inox AISI 304L.

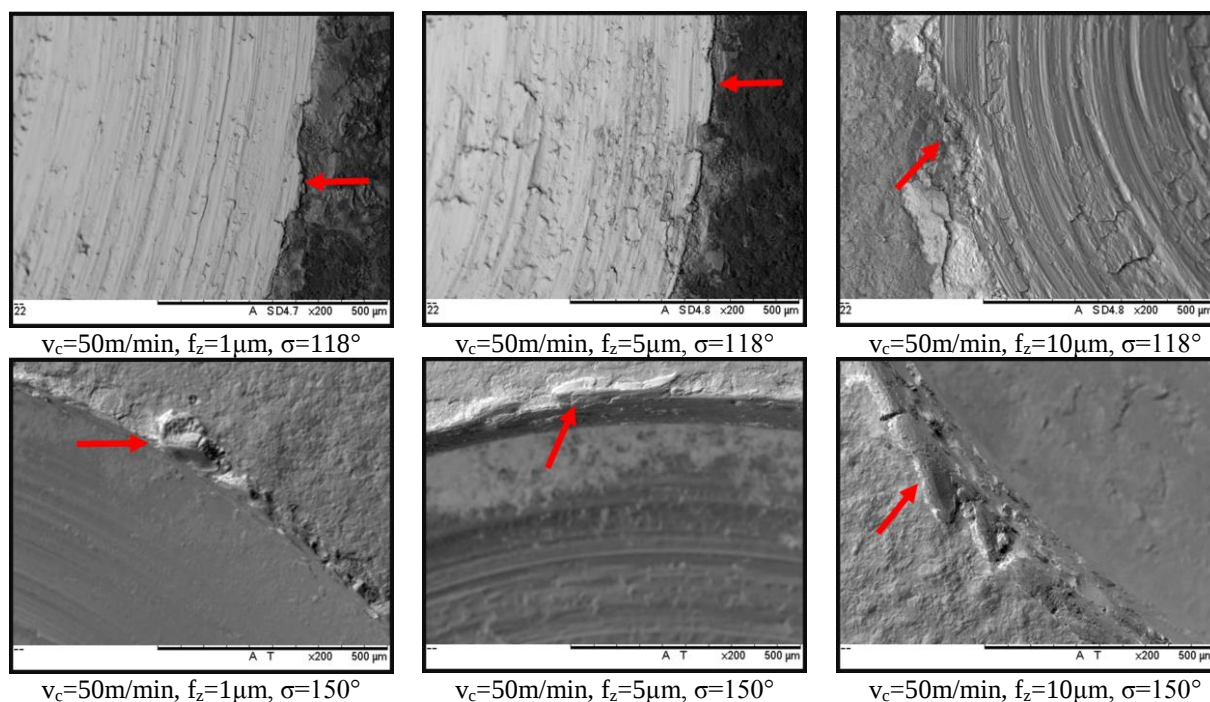


Figura 10. Maiores rebarbas geradas na borda dos furos para o aço ABNT 1020 (identificadas pela flecha).

Esta formação de rebarba também pôde ser identificada através da análise metalográfica, onde os furos realizados com broca de ângulo $\sigma=118^\circ$ apresentaram rebarbas menores. É importante mencionar que rebarbas com estas dimensões não atrapalham a medição de tensão residual, visto que a área de medição é suficientemente afastada do furo.

Com relação às repetições realizadas para o experimento A, identificaram-se variações significativas no tipo dos cavacos para o aço inoxidável AISI 304L. Um exemplo desta variação pode ser visto na Fig. (11), para a ferramenta com ângulo de ponta de 150° . Estas variações foram identificadas para os dois ângulos de ponta empregados neste trabalho e possuem relação com o desgaste da ferramenta de corte. O desgaste da ferramenta impacta sobre a geometria da mesma, o que influencia o mecanismo de formação do cavaco. Apesar de haver variações na forma dos cavacos, a superfície destes não apresentou nenhuma tendência, como mostrado na textura da parte superior dos cavacos, Fig. (11). O aço ABNT 1020 não apresentou variações no tipo dos cavacos obtidos nas repetições do experimento A.

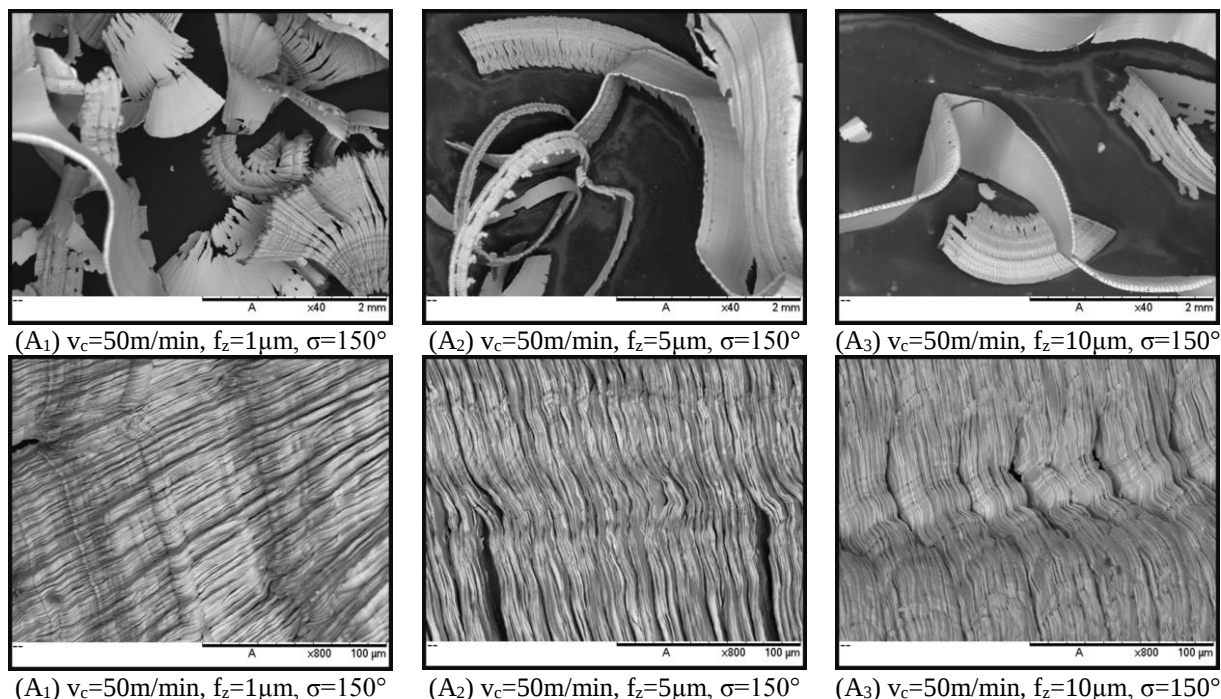


Figura 11. Variação na forma do cavaco e na textura para as repetições A1, A2 e A3 do experimento A na usinagem do aço AISI 304L.

Foram realizadas análises metalográficas dos corpos de prova usinados segundo os seguintes parâmetros de usinagem: $v_c=50\text{m/min}$, $f_z=1\mu\text{m}$ e $v_c=100\text{m/min}$, $f_z=10\mu\text{m}$, ou seja, da menor velocidade de corte e menor avanço, e da maior velocidade de corte e maior avanço para os dois ângulos de ponta. Para o aço ABNT 1020, não se consegue identificar claramente alguma tendência com relação aos níveis de deformação gerados na subsuperfície. Para o aço inoxidável AISI 304L, consideráveis variações nos níveis de deformação foram identificadas. Uma região de transição onde ocorre uma intensificação das deformações ao longo do raio da ferramenta foi identificada, como mostrado na Fig. (12). Esta região não foi identificada no primeiro experimento realizado com tal ferramenta, onde provavelmente não havia desgaste de flanco considerável.

Como para este material ocorreu desgaste significativo da ferramenta de corte, não se pode afirmar que esta variação nos níveis de deformação foi gerada em decorrência dos parâmetros de usinagem. Estes níveis de deformação estão relacionados com a integridade da superfície e, segundo (Davim, 2010), à medida que a ferramenta se desgasta durante a usinagem convencional, ocorre o aumento no atrito entre a ferramenta e a peça em decorrência do aumento no diâmetro do raio de gume e do surgimento do desgaste de flanco, reduzindo a integridade da superfície usinada. O desgaste da ferramenta pode ser observado na Fig. (13), com destaque aos detalhes (1) e (2) que apresentam os lascamentos ocorridos nos gumes da ferramenta.

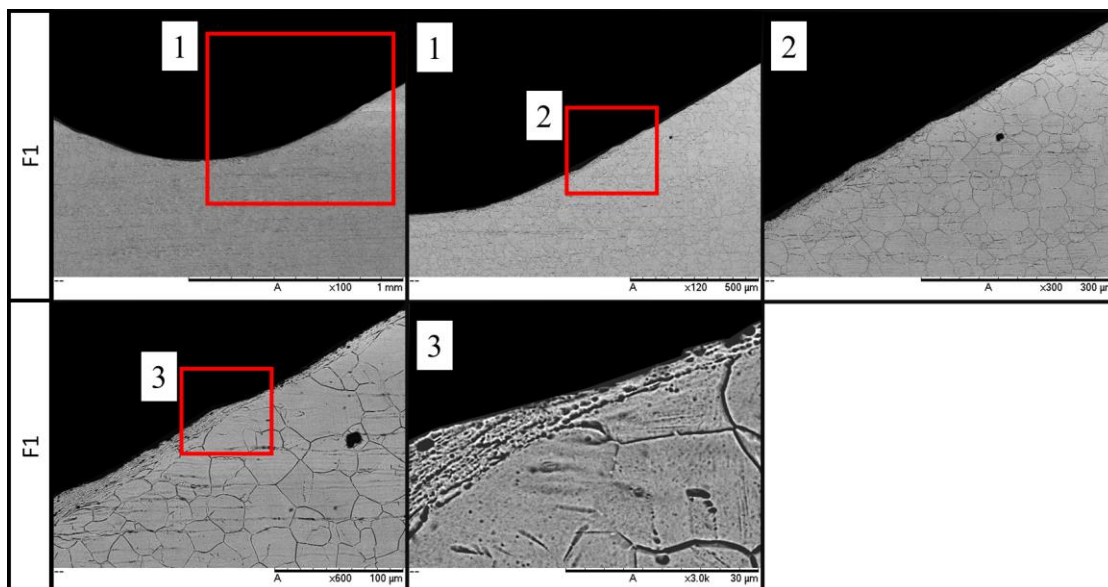


Figura 12. Níveis de deformação identificados na parede do furo para o aço inoxidável AISI 304L (Parâmetros: $v_c=100\text{m/min}$, $f_z=10\mu\text{m}$, $\sigma=118^\circ$).

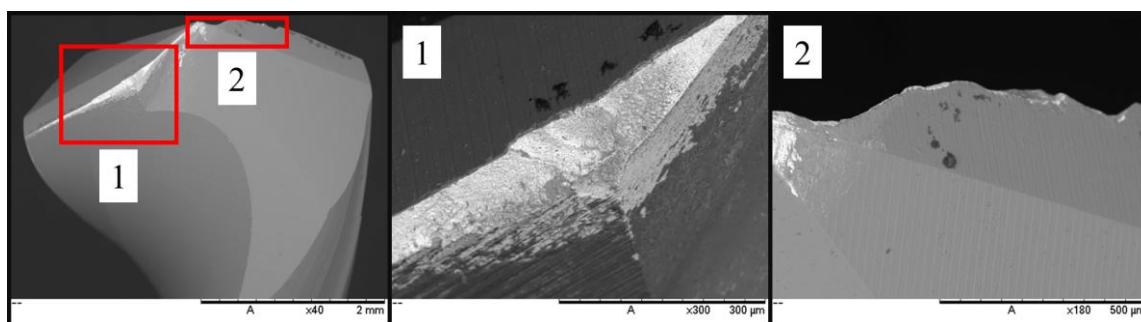


Figura 13. Ferramenta empregada na furação do aço inoxidável AISI 304L com ângulo de ponta $\sigma=118^\circ$.

5. CONCLUSÕES

Uma análise preliminar sobre a utilização de brocas helicoidais com base no tipo de cavaco gerado para o aço inoxidável AISI 304L e o aço ABNT 1020 de acordo com os requisitos da técnica ESPI foi realizada. Complementarmente a esta análise, observou-se que as brocas com ângulo de ponta $\sigma=118^\circ$ possuem a tendência de formar pouca rebarba, devido ao ângulo que o gume possui com a superfície da peça. Através das análises metalográficas pôde-se identificar que para o aço inoxidável AISI 304L houve uma variação considerável nos danos introduzidos à subsuperfície em decorrência do processo de usinagem associados também ao desgaste da própria ferramenta. Já para o aço ABNT 1020 não foram identificadas tendências com relação ao aumento da velocidade de corte e do avanço, sendo que as ferramentas não sofreram níveis de desgaste consideráveis durante a realização dos experimentos. De uma forma geral, pode-se afirmar que as ferramentas com ângulo de ponta $\sigma=118^\circ$ apresentaram um desempenho melhor perante os critérios analisados neste trabalho. Para trabalhos futuros, pretende-se realizar análises metalográficas para cada ensaio realizado com o aço ABNT 1020, enquanto que para o aço inoxidável AISI 304L novos experimentos terão de ser feitos com a utilização de uma única ferramenta por furo para identificar a origem das deformações apresentadas neste estudo.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Santa Catarina, ao Centro Universitário de Brusque, ao CENPES e ao PRFH-034/Petrobras pelos recursos disponibilizados a este projeto para a compra de materiais e também pela concessão de bolsas de estudo e financiamento deste projeto de pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

- ASTM INTERNATIONAL, 2013, ASTM E837 – 13a – Standard Test Method for Determining Residual Stresses by the Hole-Drilling Strain-Gage Method. West Conshohocken, 16 p.
- Davim, J.P., 2010, Surface Integrity in Machining, Ed. Springer, Londres, 222 p.
- Griffiths, B., 2011, Manufacturing Surface Technology: Surface Integrity & Functional Performance, Ed. Penton Press, Londres, Inglaterra, 237 p.
- Klocke, F., 2011, Manufacturing Processes 1, Vol.1, Ed. Springer, Berlin, 547 p.
- Nawwar A.M. e Shewchuk, J., 1978, On the Measurement of Residual Stress Gradients in Aluminum-alloy Specimens, Exp Mech, Vol. 18, No. 7, pp. 269–276.
- Totten, G., Howes. M. e Inoue, T., 2002, Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel. The Material Information Society, 477 p.
- Tamura, M.T., 2016, An assessment of the drilling process employed by the Hole-Drilling Method for residual stress measurements, 175 p, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Youssef, H.A. e EL-HOFY, H., 2008, Machining Technology: Machine Tools and Operation, Ed. CRC Press, Boca Raton, 672 p.
- Withers, P.J., 2007, Residual Stress and its Role in Failure. Reports on Progress in Physics, Vol. 70, No. 12, pp. 2211 – 2264.

8. DIREITOS AUTORAIS

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

PRELIMINARY CONSIDERATIONS REGARDING THE USE OF HELICAL DRILLS FOR THE MEASUREMENT OF RESIDUAL STRESS THROUGH THE BLIND HOLE-DRILLING METHOD

Rodrigo Blödorn, rodrigo.blodorn@labmetro.ufsc.br^{1,2}

Thiago Wilvert, thiago.wilvert@labmetro.ufsc.br^{1,2}

Matias Roberto Viotti, matias.viotti@labmetro.ufsc.br²

Rolf Bertrand Schroeter, rolf.schroeter@ufsc.br¹

Armando Albertazzi Gonçalves Jr., a.albertazzi@ufsc.br²

¹LMP, Precision Engineering Laboratory

²LABMETRO, Metrology and Automatization Laboratory

Federal University of Santa Catarina, Florianópolis/SC, Brazil. ZIP Code 88040-970 PO Box: 5053

Abstract: The most widely experimental technique used to evaluate the residual stress state of materials with elastic behavior is the Hole-Drilling Method (HDM). It consists basically in the drilling of a blind-hole with an end mill that relieves and redistributes the stresses around the removed material, promoting the surface deformation as a consequence. This deformation is the result of the stress redistribution after the material removal, which is directly related to the stress field that acted into the removed material. Many drilling techniques have been investigated by researchers in order to be applied in the hole drilling technique. There are two important factors to be considered regarding the drilling procedure: (a) the tendency of the technique to introduce stresses during the machining process and (b) the ability to produce a well-defined hole geometry. In this regard, it will be evaluated the use of 4mm diameter helical drills with chisel angles of 118° and 150°. These tools are properly developed to drill, having a good cost-benefit ratio and an ease of use in the production of blind holes. Drilling experiments with different machining parameter combinations were carried out with the following steel alloys: AISI 304L and ABNT 1020. It is possible to infer the most suitable parameter combination for the application to the HDM by using the SEM images of the cutting tools, surface of the holes, chips and micrographs of the hole cross-section.

Keywords: Residual Stress, Blind Hole-Drilling Method, Drilling, Helical Drill, Parameter Selection.