INFLUÊNCIA DA ROTAÇÃO E DA VARIABILIDADE DA DUREZA NA FORMAÇÃO DE CAVACOS DURANTE A FURAÇÃO DO AÇO INOXIDÁVEL AISI 316L

Oséias Muller Inthurn[1], Daniel Lucas Moreira[2], Renner Washington Mariano dos Santos[3], Edilon de Oliveira França[4], Emerson Augusto Raymundo[5]

Athos Instrumentação Ltda. EPP,
[1,2]Av. Thomas Alves Figueiredo, 494, Cep:12609-166, Bairro: Cidade Industrial Lorena SP
[3,4,5]FATEC de Pindamonhangaba, Rodovia Vereador Abel Fabrício Dias, 4010, Água Preta – Pindamonhangaba/SP
122445-010, Brasil, oseias@athosind.com, daniel.lucas.moreira@hotmail.com, brrenner.santos@cps.sp.gov.br, edilon.franca@cps.sp.gov.br, emerson.raymundo@cps.sp.gov.br

Resumo
Este trabalho teve como objetivo analisar a influência da rotação, do avanço e da variabilidade da dureza na formação dos cavacos durante a furação interna do aço inoxidável AISI 316L. Os ensaios foram realizados em uma máquina CNC, inicialmente com rotação de 1.000 rpm, posteriormente alterada para 750 e 1.250 rpm, e avanços de 0,06 e 0,14 mm/rev. A condição de 1.250 rpm e 0,14 mm/rev proporcionou inicialmente cavacos curtos e segmentados. Entretanto, os mesmos parâmetros aplicados a uma barra de outro lote produziram cavacos contínuos em fita. As medições centrais apresentaram médias de 45,86 HRA na barra com cavacos segmentados e 42,60 HRA na barra com cavacos em fita. Também foi identificada redução de 10,09% entre a dureza da seção geral e a região central da segunda barra. Concluiu-se que a quebra dos cavacos depende da interação entre os parâmetros de corte e as propriedades mecânicas e metalúrgicas do material. Possíveis variações de composição química, microestrutura, inclusões e anisotropia deverão ser investigadas para estabelecer uma condição de usinagem mais robusta.
Palavras-chave: Aço inoxidável AISI 316L. Furação. Quebra de cavacos. Dureza.
Área do Conhecimento: Engenharia Mecânica – Processos de Fabricação**.**

Introdução

As dificuldades de usinagem do AISI 316L estão associadas à elevada ductilidade, baixa condutividade térmica, tendência à adesão e acentuada capacidade de encruamento. Durante o corte, grande parte do calor permanece concentrada nas proximidades da aresta da ferramenta, enquanto a intensa deformação plástica aumenta localmente a dureza e a resistência do material. Esses fenômenos podem elevar as forças de corte, acelerar o desgaste da ferramenta, favorecer a formação de aresta postiça e prejudicar a qualidade da superfície usinada (LEPPERT; PENG, 2012). Na operação de furação, essas características tornam-se particularmente críticas devido à dificuldade de acesso do fluido de corte e de evacuação dos cavacos no interior do furo. Dolinšek (2003) verificou que o encruamento dos aços inoxidáveis austeníticos exerce influência significativa sobre a formação e a transformação dos cavacos durante a furação. Quando a deformação imposta pela ferramenta não é suficiente para provocar sua ruptura, podem ser produzidos cavacos contínuos, helicoidais ou em fita. A morfologia dos cavacos é influenciada pela velocidade de corte, pelo avanço, pela geometria da ferramenta, pelo quebra-cavaco, pelo fluido de corte e pelas propriedades do material. O aumento do avanço eleva a espessura e a rigidez do cavaco, podendo ampliar as tensões de flexão desenvolvidas após seu contato com a geometria do quebra-cavaco. A velocidade de corte, por sua vez, modifica as condições térmicas e tribológicas da interface ferramenta–cavaco. Além dos parâmetros de corte, diferenças entre lotes comercialmente classificados como AISI 316L podem alterar o comportamento durante a usinagem. Estudos comparando o AISI 316L convencional e o ressulfurado demonstraram que modificações metalúrgicas e composicionais podem alterar as condições de contato, as tensões desenvolvidas durante o corte e o desempenho da usinagem (M'SAOUBI et al., 1999). O processo de fabricação das barras também pode produzir heterogeneidade radial e anisotropia. Operações como laminação, forjamento, trefilação, desempeno e tratamento

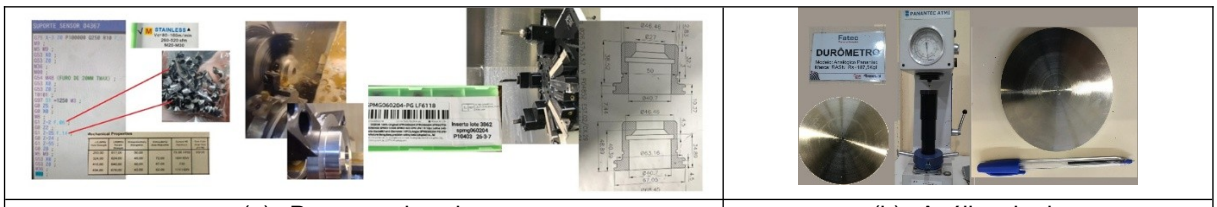
térmico podem gerar diferenças entre o núcleo e a periferia quanto à deformação acumulada, dureza, tamanho de grão e orientação microestrutural.

Mesmo em aços 316L laminados e recozidos, a textura cristalográfica e a orientação dos grãos podem produzir respostas mecânicas dependentes da direção de carregamento (YOU et al., 2020). A identificação das características do material associadas a essa variação pode auxiliar na definição de uma janela operacional mais robusta e na implantação de procedimentos de controle de recebimento. Diante desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a influência da rotação, do avanço e da variabilidade da dureza sobre a formação dos cavacos durante a furação interna de barras de aço inoxidável AISI 316L. Foram comparadas duas barras que, sob condições equivalentes de usinagem, produziram cavacos segmentados e cavacos contínuos em forma de fita. Buscou-se ainda discutir as possíveis contribuições da composição química, da heterogeneidade radial e da anisotropia do material, fornecendo subsídios para a otimização dos parâmetros de corte e para o desenvolvimento de um procedimento industrial de controle dos diferentes lotes.

Metodologia

O trabalho foi desenvolvido a partir de um problema industrial identificado durante a usinagem de componentes cilíndricos fabricados em aço inoxidável austenítico AISI 316L. O processo produtivo compreendia inicialmente a execução de um furo interno e, posteriormente, a usinagem externa da peça. Os ensaios de usinagem foram realizados em um centro de usinagem CNC ROMI de seis eixos, pertencente à empresa parceira. As principais características geométricas do componente foram definidas conforme o desenho técnico empregado no processo industrial e também os parâmetros de corte, cavacos e ferramenta estão representados na imagem (a) da Figura 1. A furação interna foi executada com ferramenta indexável equipada com insertos intercambiáveis SPMG060204-PG, classe LF6118. Segundo a identificação comercial apresentada na embalagem, o inserto é recomendado para a usinagem de aços inoxidáveis, classe ISO M. Durante os ensaios, foi empregado fluido de corte mineral do tipo extrema pressão EP aplicado em abundância na região de corte. A condição inicialmente utilizada pela empresa correspondia à rotação de 1.000 rpm. Com o objetivo de avaliar a influência desse parâmetro sobre a fragmentação dos cavacos, foram analisadas três condições de rotação: 750, 1.000 e 1.250 rpm. O avanço programado foi dividido em duas etapas ao longo do deslocamento axial da ferramenta. Na entrada do furo, foi utilizado avanço de 0,06 mm/rev, entre as posições axiais aproximadas de Z=−2 e Z=−22 mm. Em seguida, o avanço foi elevado para 0,14 mm/rev, prosseguindo até aproximadamente Z=−25 mm. A tela do programa CNC mostra a utilização de rotação constante por meio do comando G97, com S=1.250 rpm, além dos dois valores de avanço utilizados.

Figura 1 – Processo de usinagem e análise de dureza.



(a) Processo de usinagem | (b) Análise de dureza

Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

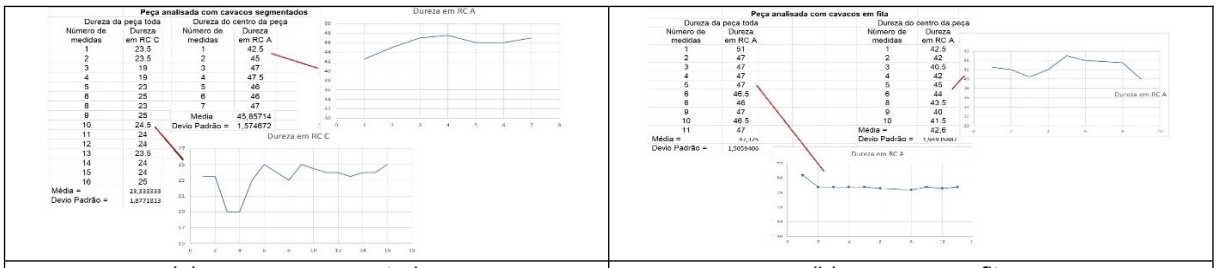
Durante cada condição experimental, os cavacos produzidos foram coletados e registrados fotograficamente. Sua avaliação inicial foi realizada por inspeção visual, considerando-se o formato e a capacidade de fragmentação. Os cavacos foram classificados em duas categorias principais: cavacos contínuos ou em fita, considerados desfavoráveis e cavacos curtos, segmentados ou em formato helicoidal curto, considerados satisfatórios para a operação. Entre as rotações avaliadas, a condição de 1.250 rpm proporcionou inicialmente o comportamento mais satisfatório e, por esse motivo, foi adotada na continuidade do processo produtivo, conforme pode ser observado na imagem (a) da Figura 1. Posteriormente, durante a usinagem de uma nova barra pertencente a outro lote de aço inoxidável AISI 316L, verificou-se que a condição estabelecida em 1.250 rpm deixou de produzir a fragmentação

adequada. Mesmo mantendo-se a ferramenta, a programação e as condições gerais do processo, os cavacos voltaram a apresentar formato contínuo e em fita. A partir dessa ocorrência, a investigação foi direcionada à caracterização da dureza das duas barras. As medições foram realizadas no Laboratório de Materiais da FATEC Pindamonhangaba, empregando-se um durômetro analógico Panantec, modelo RASN RS+187,5 kgf, com penetrador de diamante 120 gruas, imagem (b) imagem da Figura 1. As impressões foram distribuídas ao longo da seção transversal das amostras, abrangendo regiões próximas à periferia, posições intermediárias e o centro da barra. Para cada conjunto de medições, foram calculados a média aritmética, o desvio-padrão amostral. Os resultados experimentais de dureza foram posteriormente comparados com as propriedades declaradas nos certificados do respectivo lote, buscando identificar diferenças entre o comportamento real das barras e as especificações fornecidas.

Resultados

Com 0,06 mm/rev, foram produzidos cavacos helicoidais mais alongados, com formatos próximos a espiras e vírgulas. Com a elevação para 0,14 mm/rev, verificou-se maior fragmentação, com obtenção de cavacos curtos e segmentados. Após a adoção da rotação de 1.250 rpm e do avanço de 0,14 mm/rev, os furos executados inicialmente apresentaram quebra satisfatória dos cavacos. Apesar do resultado inicial satisfatório, a utilização dos mesmos parâmetros na usinagem de uma barra pertencente a outro lote não reproduziu a fragmentação observada anteriormente. Nessa nova barra, os cavacos permaneceram contínuos e apresentaram formato de fita, mesmo com a manutenção da rotação de 1.250 rpm. Na barra que apresentou quebra satisfatória dos cavacos, foram registrados 15 valores de dureza na seção geral da amostra, medidos originalmente na escala Rockwell C. Os resultados variaram entre 19,0 e 25,0 HRC, com média de 23,33 HRC e desvio-padrão de 1,88 HRC. As duas menores durezas foram encontradas nas medições 3 e 4, ambas com 19,0 HRC. Os maiores valores foram de 25,0 HRC, registrados nas medições 6, 9 e 16. A amplitude total foi de 6,0 HRC e o coeficiente de variação foi de aproximadamente 8,05%. Na região central dessa mesma barra foram realizadas sete medições diretamente na escala Rockwell A. Os valores ficaram compreendidos entre 42,5 e 47,5 HRA, resultando em média de 45,86 HRA e desvio-padrão de 1,57 HRA. A amplitude foi de 5,0 HRA e o coeficiente de variação foi de aproximadamente 3,43%, como podem ser observadas nas imagens da Figura 3.

Figura 3 – Distribuição dos valores de dureza das barras.



(a) cavacos segmentados | (b) cavacos em fita

Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Na barra que apresentou cavacos contínuos em forma de fita, a planilha experimental registrou dureza média de 47,38 HRA na seção geral da amostra, com desvio-padrão de 1,51 HRA. Os valores registrados ficaram entre 46,0 e 51,0 HRA, correspondendo a uma amplitude de 5,0 HRA e a um coeficiente de variação de aproximadamente 3,18%. Na região central dessa barra, a dureza média registrada foi de 42,60 HRA, com desvio-padrão de 1,95 HRA. As medições variaram entre 40,0 e 45,0 HRA, resultando em amplitude de 5,0 HRA e coeficiente de variação de aproximadamente 4,58%. A diferença entre a média da seção geral e a média do centro dessa barra foi de 4,78. Assim, a região central apresentou dureza média aproximadamente 4,78 HRA inferior à média registrada na seção geral da barra. Em termos relativos, essa redução foi de aproximadamente de 10,09%.

Discussão

Os resultados demonstraram que a fragmentação dos cavacos na furação do aço inoxidável AISI 316L foi influenciada tanto pelas condições de corte quanto pelas características mecânicas e metalúrgicas das barras. A elevação da rotação de 1.000 para 1.250 rpm, associada ao aumento do avanço de 0,06 para 0,14 mm/rev, proporcionou inicialmente cavacos mais curtos e segmentados. Entretanto, a reprodução desses parâmetros em outra barra não garantiu o mesmo comportamento, indicando que a formação dos cavacos não depende exclusivamente da programação do CNC. O AISI 316L apresenta matriz predominantemente austenítica, elevada ductilidade, baixa condutividade térmica e acentuada capacidade de encruamento. Simultaneamente, a deformação intensa aumenta a densidade de discordâncias na zona de cisalhamento, elevando localmente a resistência e a dureza do material. Esse conjunto de propriedades explica por que os aços inoxidáveis austeníticos podem apresentar elevada força de corte, concentração de calor e dificuldade de fragmentação dos cavacos. O encruamento durante a furação desses materiais já foi identificado como um fenômeno relevante na transformação do cavaco e no comportamento das arestas de corte (DOLINŠEK, 2003). O aumento da rotação pode ter elevado a temperatura na zona primária de cisalhamento e na interface ferramenta–cavaco, promovendo algum amolecimento térmico localizado. No AISI 316L, o calor tende a permanecer concentrado próximo à região de corte devido à sua baixa condutividade térmica. Dependendo do equilíbrio entre encruamento e amolecimento térmico, a elevação da velocidade pode modificar a curvatura, a espessura e a capacidade de ruptura dos cavacos. Leppert e Peng (2012), observaram que as propriedades mecânicas, o encruamento severo, a baixa condutividade térmica e os parâmetros de corte atuam conjuntamente na resposta do AISI 316L durante a usinagem. Os autores também verificaram que o aumento da temperatura pode causar amolecimento do material na zona de formação do cavaco, reduzindo a força de corte em determinado.

O retorno dos cavacos em fita durante a usinagem da segunda barra demonstra que essa janela de parâmetros se encontrava próxima de uma condição de transição. Pequenas mudanças na resistência ao escoamento, ductilidade, encruamento ou atrito na interface ferramenta–cavaco, podem ter sido suficientes para impedir a ruptura. A comparação realizada na mesma escala Rockwell A mostrou que o centro da barra que gerou cavacos segmentados apresentou média de 45,86 HRA, enquanto o centro da barra que produziu cavacos em fita apresentou média de 42,60 HRA. A diferença foi de 3,26 HRA, correspondendo a aproximadamente 7,1% em relação à média central da barra com cavacos segmentados. A menor dureza no centro da barra associada aos cavacos em fita sugere menor resistência local à deformação plástica. Nessa condição, o material pode suportar maior deformação antes de atingir o limite necessário para a ruptura do cavaco. O cavaco tende, portanto, a se curvar e se alongar continuamente, em vez de apresentar fratura periódica. Em contraste, a maior dureza observada no centro da barra que apresentou cavacos segmentados pode estar relacionada a maior resistência ao escoamento e menor capacidade de acomodação plástica, favorecendo a ruptura após a atuação do quebra-cavaco. Essa relação, entretanto, não deve ser interpretada de forma isolada. A dureza é um indicador indireto da resistência mecânica e do estado de encruamento, mas a formação do cavaco também depende da ductilidade, tenacidade, taxa de encruamento, sensibilidade à velocidade de deformação, condutividade térmica, coeficiente de atrito, microestrutura e estado da ferramenta. Dois materiais com durezas médias próximas podem produzir cavacos diferentes caso apresentem distintos alongamentos, tamanhos de grão, texturas cristalográficas ou distribuições de inclusões. Outro resultado relevante foi a diferença de 4,78 HRA entre a seção geral e o centro da barra que gerou cavacos em fita. A dureza média passou de 47,38 HRA na seção geral para 42,60 HRA no centro, representando redução aproximada de 10,09%. Embora a comparação dependa da confirmação dos pontos medidos e do tratamento estatístico da planilha original, esse comportamento indica uma possível heterogeneidade radial da barra. Uma região periférica mais dura pode resultar de maior deformação durante laminação, trefilação, desempeno ou acabamento da barra. O núcleo da barra pode receber menor quantidade de deformação, preservando maior ductilidade e menor dureza. Como a furação interna remove material predominantemente da região central, a ferramenta pode ter encontrado justamente a região mais macia e dúctil, favorecendo os cavacos em fita. A interpretação metalúrgica mais segura está baseada, neste momento, somente nas regiões centrais medidas diretamente em HRA. Recomenda-se para trabalhos futuros repetir todas essas medições utilizando uma única escala ou realizar um perfil de microdureza Vickers ao longo do raio das duas barras.

Os principais elementos que podem influenciar os resultados são o níquel que estabiliza a austenita e contribui para a ductilidade e a tenacidade. Uma austenita mais estável pode suportar maiores deformações durante o corte, favorecendo cavacos contínuos. O cromo é fundamental para a

resistência à corrosão, mas também contribui para o endurecimento por solução sólida e influencia o equilíbrio entre as fases. O molibdênio aumenta a resistência à corrosão localizada e contribui para o endurecimento por solução sólida, podendo elevar a tensão necessária para deformar o material. O nitrogênio mesmo em pequenas quantidades, pode aumentar a resistência mecânica, estabilizar a austenita e modificar a taxa de encruamento. Carbono é limitado no 316L, mas diferenças dentro da faixa admissível podem afetar a resistência e o comportamento durante a deformação. Finalmente o manganês e enxofre influenciam a formação de inclusões de sulfeto de manganês, que podem alterar o atrito, a iniciação de micro trincas e a fragmentação dos cavacos. (ÅNMARK et al., 2015).

O AISI 316L convencional possui baixo teor de enxofre e não deve ser confundido com uma versão ressulfurada destinada à usinabilidade melhorada. Entretanto, variações residuais de enxofre, manganês e na quantidade, forma e distribuição das inclusões podem contribuir para que barras de diferentes corridas apresentem respostas distintas durante a furação. Uma barra com menor quantidade de inclusões favoráveis à usinabilidade pode apresentar uma matriz mais contínua e dúctil, dificultando a nucleação de trincas no cavaco. Por outro lado, uma distribuição mais favorável de sulfetos pode auxiliar a fragmentação. Essa hipótese somente poderá ser confirmada por análise química e caracterização das inclusões; não é possível atribuir a diferença observada exclusivamente ao teor de enxofre com os dados atuais. Durante a usinagem, a elevada deformação plástica pode gerar estruturas fortemente encruadas e, dependendo da estabilidade da liga e da temperatura, pequenas frações de martensita induzida por deformação. Caso esse fenômeno ocorra, a dureza e o comportamento do cavaco podem ser modificados. Sua confirmação exigiria difração de raios X, ferritoscopia ou técnicas metalográficas complementares.

A anisotropia corresponde à dependência das propriedades mecânicas em relação à direção de avaliação. Em barras produzidas por laminação, forjamento ou trefilação, os grãos, bandas de deformação e inclusões podem se alongar preferencialmente na direção longitudinal. Esse fluxo microestrutural pode produzir diferenças de resistência, ductilidade e propagação de trincas entre as direções longitudinal, transversal e radial. A literatura demonstra que mesmo o aço 316L laminado e posteriormente recozido pode apresentar diferenças direcionais em seu comportamento de deformação e fratura, dependendo da textura cristalográfica e da orientação dos grãos (YOU et al., 2020). No presente trabalho, a ferramenta realiza a furação paralelamente ao eixo longitudinal da barra, enquanto as arestas de corte removem o material ao longo de uma seção transversal. Portanto, a orientação dos grãos e das inclusões em relação às arestas pode influenciar a deformação do cavaco. Além da anisotropia direcional, a barra pode apresentar heterogeneidade radial. Durante sua fabricação, a superfície e o centro podem experimentar diferentes, tais como, taxas de deformação, velocidades de resfriamento, estados de tensão residual, tamanhos e orientações de grão, densidades de discordâncias, distribuições de inclusões, intensidades de segregação química.

A menor dureza encontrada no núcleo da barra com cavacos em fita é compatível com a hipótese de menor encruamento nessa região. Também pode estar relacionada a grãos mais grosseiros no centro, recuperação ou recristalização diferenciada, segregação residual da solidificação ou tratamento térmico não homogêneo. Entretanto, a dureza isoladamente não distingue esses mecanismos. Deve-se ainda considerar que a segregação química surge inicialmente durante a solidificação do lingote ou tarugo. Os tratamentos posteriores podem reduzir, mas não necessariamente eliminar completamente, diferenças entre o centro e a periferia. Os resultados indicam que a rotação de 1.250 rpm e o avanço de 0,14 mm/rev estabeleceram uma condição favorável à atuação do quebra-cavaco na primeira barra. A mudança de cavaco segmentado para cavaco em fita, mesmo com a manutenção dos parâmetros, constitui evidência de que a variabilidade do material precisa ser incorporada à definição da janela operacional.

Os resultados não permitem afirmar que a segunda barra estava fora da especificação ou que o fornecedor tenha sido responsável pela falha de fragmentação. As duas barras podem atender aos limites normativos e, ainda assim, apresentar respostas diferentes devido às variações admissíveis entre lotes. O objetivo técnico, portanto, deve ser identificar quais propriedades estão associadas à mudança de comportamento e definir uma janela de corte suficientemente robusta para absorver essa variabilidade para estudos futuros tais como, análise química das duas; perfil radial de microdureza Vickers; metalografia; tamanho de grão; morfologia e distribuição das inclusões; análise da presença de ferrita delta ou martensita induzida por deformação; ensaios de tração, resistência e alongamento; repetição dos testes de furação com controle do desgaste da ferramenta.

Conclusão

Os resultados demonstraram que a fragmentação dos cavacos durante a furação do aço inoxidável AISI 316L depende da interação entre os parâmetros de corte e as propriedades mecânicas e metalúrgicas do material. A elevação da rotação de 1.000 para 1.250 rpm, associada ao aumento do avanço de 0,06 para 0,14 mm/rev, proporcionou inicialmente cavacos curtos e segmentados, indicando melhor atuação da geometria do quebra-cavaco. Entretanto, a aplicação das mesmas condições em uma barra de outro lote resultou novamente na formação de cavacos contínuos em fita. As medições realizadas na mesma escala Rockwell A mostraram dureza média de 45,86 HRA no centro da barra que produziu cavacos segmentados e de 42,60 HRA no centro da barra que gerou cavacos em fita. Essa diferença de 3,26 HRA indica que a menor dureza da segunda barra pode ter favorecido maior deformação plástica e alongamento do cavaco antes da ruptura. Também foi identificada, nessa barra, redução de aproximadamente 10,09% entre a dureza média da seção geral e a região central, evidenciando possível heterogeneidade radial do material. Conclui-se que uma condição de corte definida somente a partir da rotação e do avanço pode não ser suficientemente robusta para todas as barras de AISI 316L recebidas pela empresa. Variações admissíveis entre lotes, envolvendo composição química, dureza, estado de encruamento, tamanho e orientação dos grãos, distribuição de inclusões e anisotropia decorrente do processo de fabricação, podem alterar significativamente a formação e a capacidade de quebra dos cavacos.

Entretanto, os resultados de dureza não permitem atribuir definitivamente o comportamento observado a uma única causa nem afirmar que alguma das barras esteja fora das especificações. A confirmação das hipóteses levantadas requer a padronização dos ensaios de dureza em uma mesma escala, além da realização de análise química, perfil radial de microdureza, metalografia nas direções transversal e longitudinal e caracterização das inclusões e das fases presentes. Por fim, recomenda-se a implantação de um controle de recebimento das barras associado à construção de um banco de dados contendo lote, composição química, dureza, parâmetros de corte e morfologia dos cavacos. Essa sistematização poderá contribuir para definir uma faixa operacional capaz de absorver a variabilidade do AISI 316L, reduzir a formação de cavacos em fita e diminuir custos relacionados ao ferramental, tempo de máquina, consumo de fluido de corte e acabamento das peças.

Referências

M'SAOUBI, R. et al. **Residual stress analysis in orthogonal machining of standard and resulfurized AISI 316L steels.** Journal of Materials Processing Technology, v. 96, n. 1–3, p. 225–233, 1999.

DOLINŠEK, Slavko**. Work-hardening in the drilling of austenitic stainless steels**. Journal of Materials Processing Technology, v. 133, n. 1–2, p. 63–70, 2003. DOI: 10.1016/S0924-0136(02)00245-5.

LEPPERT, Tadeusz; PENG, Ru Lin. **Residual stresses in surface layer after dry and MQL turning of AISI 316L steel**. Production Engineering, v. 6, p. 367–374, 2012. DOI: 10.1007/s11740-012-0389-3.

M'SAOUBI, R. et al. **Residual stress analysis in orthogonal machining of standard and resulfurized AISI 316L steels**. Journal of Materials Processing Technology, v. 96, p. 225–233, 1999.

ÅNMARK, Niclas et al. **The effect of different non-metallic inclusions on the machinability of steels**. Materials, v. 8, n. 2, p. 751–783, 2015. DOI: 10.3390/ma8020751.

YOU, Zhenbo et al. **Revisiting anisotropy in the tensile and fracture behavior of 316L stainless steel**. Materialia, v. 9, 2020. Art. 100579. DOI: 10.1016/j.mtla.2019.100579.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da empresa Athos Instrumentação e dos assistentes técnicos Renner Washington Mariano dos Santos e José Luiz Santana.