

AVALIAÇÃO DO DESGASTE DE FRESAS DE TOPO RETO NO FRESAMENTO ORBITAL DE AÇO INOXIDÁVEL AISI 304L PARA MEDIÇÃO DE TENSÕES RESIDUAIS PELO MÉTODO DO FURO CEGO

Jônatas Juliano Verwiebe

Rodrigo Blödorn

Centro Universitário de Brusque – UNIFEBE, Rua Dorval Luz, 123 – Santa Terezinha – CEP: 88352-400 – Brusque/SC – Cx Postal: 1501

jonatas.verwiebe@gmail.com; rodrigoblodorn@unifebe.edu.br

Resumo: Com a elevada gama de estruturas construídas pelo homem, torna-se de grande importância a medição das tensões residuais no interior destas, visando evitar falhas estruturais. Dentre as inúmeras possibilidades de realizar estas análises, o Método do Furo Cego (MFC) tornou-se uma importante forma de análise devido à sua facilidade de execução, baixo custo e precisão dos resultados, visto que outras técnicas possuem limitações em alcançarem a geometria estabelecida por norma para este tipo de furo. Este trabalho visa analisar o desgaste nas fresas de topo reto utilizadas no fresamento orbital para medição das tensões residuais. Para tal execução, o método de usinagem do furo cego utilizado foi o fresamento incremental orbital (FIO) com diferentes incrementos de profundidade e diâmetro, mantendo a razão máxima z/d de 0,250, onde “ z ” é a profundidade e “ d ” o diâmetro do furo. Utilizou-se os parâmetros de rotação de 5 000 e 6 250 rpm, com velocidades de avanço da mesa e do eixo vertical variando entre 50 e 200 mm/min, em um centro de usinagem Romi D600, sendo que para a usinagem utilizou-se fresas de topo reto de 4 mm de diâmetro, fabricadas de metal-duro e revestidas com TiSiN, além de analisar-se o uso de ar comprimido como meio de resfriamento e fonte de auxílio para o escoamento de cavaco. Neste cenário, os parâmetros médios mostraram ser de maior eficácia.

Palavras chave: Usinagem. Fresa de topo reto. Desgaste. Parâmetros de usinagem.

1. INTRODUÇÃO

A crescente necessidade por fabricação de componentes e estruturas mecânicas com menores custos e peso está diretamente ligada a pesquisas de novos métodos e materiais que vêm auxiliando neste processo. Porém, estruturas em que se visa buscar meios de reduzir custos com a fabricação tendem a uma elevada frequência de verificação das tensões residuais, pois por vezes fazem o uso de materiais de baixa resistência mecânica e alívios de massa em sua estrutura.

Todos os componentes mecânicos, independentemente de tamanho ou forma, estão sujeitos a sofrerem tensões residuais devido a possíveis cargas externas ou em função de descontinuidades da rede cristalina do material, por exemplo. O resultado de um demasiado acúmulo destes carregamentos em metais pode acarretar em rupturas e possíveis desabamentos de estruturas metálicas. Este fato pode ser facilmente visto no âmbito mecânico, pois estas tensões residuais se somam com as tensões de trabalho, ultrapassando assim a tensão limite de escoamento do material.

Estas tensões podem ser favoráveis no estado compressivo, pois, de acordo com Schajer e Whitehead (2018), as tensões residuais de compressão são geralmente preferíveis às de tração. Esta preferência dá-se pela sua resistência à fadiga, à corrosão e pelo retardo na propagação de trincas. Em contrapartida, tensões residuais de tração têm, geralmente, o efeito oposto, uma vez que aceleram a propagação de falhas dos componentes. Assim, faz-se necessário o monitoramento periódico do estado real de tensões residuais em um componente, a fim de se manter segura e confiável sua operação nas mais diversas aplicações de engenharia.

Uma das maneiras de surgirem tensões residuais durante a fabricação de peças fundidas, por exemplo, se dá durante o processo de resfriamento. Enquanto as camadas externas do material resfriam e enrijecem com maior velocidade, as camadas internas das peças continuam líquidas e em movimento, podendo causar irregularidades na microestrutura das camadas cristalinas do material. Agora, considerando ações de manutenção mecânica, por exemplo, os processos de soldagem podem ser grandes influenciadores de tensões residuais, pois ao elevarem a temperatura da superfície o resfriamento das mesmas pode ser irregular e levar a peça a sofrer a adição de tensões residuais.

Para tanto, com o passar dos anos surgiram diversos métodos de análise de tensões residuais, permitindo que seja possível optar pelo meio mais conveniente para cada caso, tendo como opções de custo variado do processo, níveis de confiabilidade, tempo de estudo e complexidade das análises.

Segundo Blödorn (2018), um método que é empregado em larga escala mundialmente e que possui alta confiabilidade é o Método do Furo Cego (MFC). Este método consiste em usinar um furo passante, ou não, na superfície do material em que se busca conhecer o estado de tensões. Após isso, deve-se medir a deformação na superfície adjacente ao furo usinado, fazendo o uso de extensômetros (*strain gauges*), buscando-se obter o resultado das tensões perpendiculares à nova camada de

material criada com a usinagem do furo. A partir de algumas propriedades do material em análise, e o conhecimento da geometria do furo, calculam-se as tensões cartesianas e a direção da tensão principal.

O Método do Furo Cego é um dos dois únicos métodos de análises de tensões residuais que possuem normas específicas de controle, o outro método é o da difração de raios-x. A norma que regulamenta o MFC é a ASTM E837.13a (2013). Conforme previsto na norma, o furo usinado deve possuir fundo plano com geometria perfeitamente cilíndrica e perpendicular à superfície, sendo esta a maior dificuldade encontrada na execução deste método. Quanto mais próximo deste modelo estiver o furo, melhor o mesmo representará um furo cego padronizado.

Paralelo a esta prática, Blödorn (2018) estudou a técnica de Fresamento Incremental Orbital (FIO), onde, segundo o autor, o diâmetro do furo aumenta concomitantemente com a profundidade, mantendo a relação de usinagem escolhida. Esta combinação além de introduzir menores tensões à peça, também favorece o controle da geometria da mesma e em um menor desgaste das ferramentas de usinagem utilizadas. Ainda segundo o autor, para a relação empregada sugere-se usar a profundidade do furo em até 25% do valor do diâmetro.

Segundo Schajer (2010), o MFC é classificado como sendo um método semi-destrutivo, pois o furo que é usinado possui pequenas dimensões, fazendo assim com que estes materiais continuem aptos para suas utilizações, com reduzido risco de problemas estruturais em decorrência da presença deste furo.

Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo estudar a usinagem do furo cego por fresamento orbital, conforme o trabalho desenvolvido por Blödorn (2018). O estudo envolve a usinagem de furos cegos por meio da técnica de Fresamento Incremental Orbital (FIO) com fresas de topo reto de 4 mm de diâmetro. O objetivo do trabalho é determinar uma relação de parâmetros de usinagem que favoreça a um menor desgaste das fresas de topo reto utilizadas nas análises de tensões residuais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Tensões Residuais

Os estudos com o intuito de mensurar as tensões residuais tiveram início na década de 1930 onde, Joseph Mathar iniciou pesquisas com fresamento de furos cegos com baixas velocidades de rotação da ferramenta a fim de medir as tensões residuais presentes nas amostras após a usinagem. Ele propôs medir a deformação elástica nas extremidades do furo usinado, que possuía 6 mm de diâmetro, por meio de extensômetros mecânicos de 157 mm de comprimento e tendo 8 mm de distância do centro do furo em uma placa tensionada uniaxialmente.

De acordo com Schajer (2013), os métodos de manufatura de produtos ou peças introduzem tensões residuais aos materiais. Caso não haja um carregamento destas tensões durante a manufatura, as mesmas podem vir a acontecer durante sua vida em serviço. Segundo o autor, fazem parte dos mecanismos de formação de tensões residuais:

- Modificações da superfície: ocorrem, por exemplo, durante os processos de usinagem por jateamento;
- Mudança de fase ou de material: geralmente ocorrem em grandes variações de temperaturas, como por exemplo em operações de soldagem, tratamentos térmicos e também em fundição.
- Deformação plástica não-uniforme: acontecem em processos que alteram a forma do material como, por exemplo, laminação, forjamento e conformação.

Segundo El-Khabeery e Fattou (1989), El-Axir (2002) e Davim (2010), encontra-se na literatura que o valor absoluto da tensão residual próximo à superfície de um material usinado é elevado, diminuindo de intensidade continuamente com o aumento da profundidade abaixo da superfície. Esta informação é um reflexo do fato de que, conforme o aumento da profundidade do furo, as tensões oriundas da remoção de material estão mais distantes da superfície da peça, onde estão alocados os extensômetros.

Conforme Schajer (2013), deformações nas superfícies usinadas devido a tensões residuais podem causar sérios danos em componentes, principalmente quando se fazem necessárias precisões dimensionais estreitas. Segundo o autor, a implementação de tratamentos térmicos após a usinagem de certos materiais ou a realização das etapas de usinagem por incremento, de preferência simetricamente, são possíveis saídas para amenizar os efeitos das tensões residuais geradas na usinagem de furos cegos. Ainda, segundo o autor, uma das principais causas de tensões residuais são as discordâncias. Segundo o autor, elas se dão de três formas, sendo: tensões residuais macroscópicas, microscópicas e submicroscópicas.

2.2. Fresamento Incremental Orbital (FIO)

A estratégia de medição de tensão residual conhecida por Fresamento Incremental Orbital (FIO), desenvolvida por Blödorn (2018), realiza a usinagem do furo cego em diversos incrementos, onde o diâmetro e a profundidade do furo aumentam simultaneamente, como pode ser observado na Fig. 1.

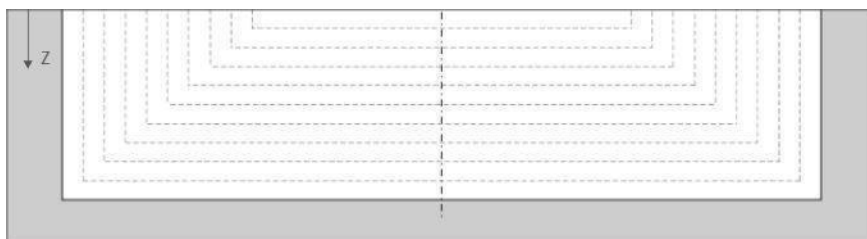


Figura 1. Estratégia de usinagem FIO (Adaptado de Blödorn, 2018)

Na Figura 1, o furo ilustrado possui diâmetro e profundidade iniciais de 2,00 e 0,10 mm, respectivamente. Após os dez incrementos realizados, o furo apresenta 4,00 mm de diâmetro e 1,00 mm de profundidade. Ainda, conforme a Fig. 1, o furo cego é usinado em vários incrementos, sendo respeitados os parâmetros de usinagem previamente estabelecidos e mantendo a relação de profundidade *versus* diâmetro escolhida.

2.3. Usinagem de Aços Inoxidáveis

De acordo com Jang (1996), a formação das tensões residuais no aço inoxidável 304 ainda não é totalmente compreendida, visto que este é um dos materiais mais problemáticos em questão de usinabilidade devido às suas tendências a endurecer, elevada temperatura e adesão de material nas ferramentas.

Ainda segundo o autor, a usinagem de aço inoxidável tende a formar cavacos longos e resistentes, além de terem alta capacidade de formarem arestas postiças nas ferramentas, fator que influencia (dentre outros fatores) na perda da precisão geométrica da usinagem, fator que é de suma importância da usinagem de furos cegos para medição de tensões residuais.

Conforme Outeiro (2006), os aços inoxidáveis são amplamente utilizados para a produção de equipamentos e estruturas nas áreas das indústrias químicas, nucleares e no ramo alimentício. Porém, são frequentemente considerados como materiais de difícil usinabilidade devido à sua baixa condutividade térmica, alta sensibilidade a deformação e tensões e severo endurecimento. Além disso, a sua baixa condutividade térmica induz a concentração de calor na zona de corte, resultando em altas temperaturas. Como resultado, a usinagem de tais aços induz tensões residuais consideráveis nas camadas superficiais e, afeta fortemente as propriedades destes aços e na sua capacidade para resistir às condições severas de carregamento.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução dos experimentos foram utilizadas fresas de topo reto de metal-duro revestidas por TiSiN, com quatro gumes de corte, diâmetro 4,00 mm e comprimento 50 mm. Estas, por sua vez, foram caracterizadas geometricamente com o intuito de dimensionar suas grandezas como: raio de gume, ângulo de incidência, ângulo de saída e ângulo de cunha, conforme Fig.2 (a).

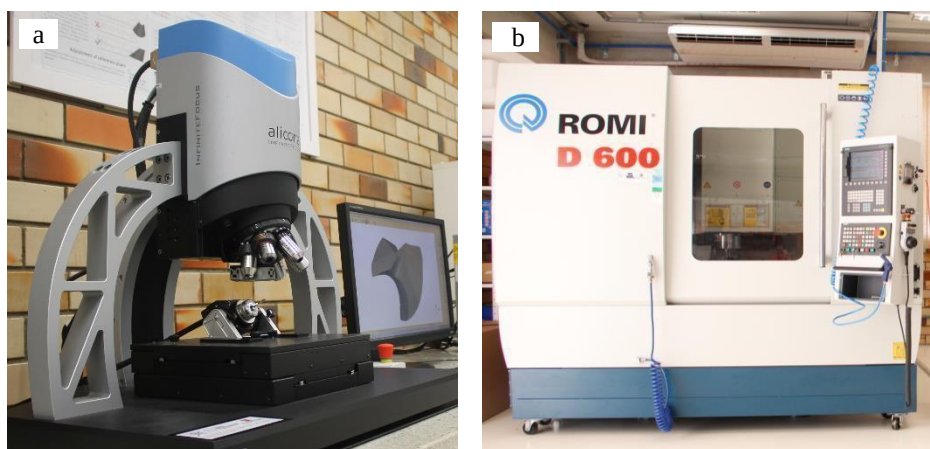


Figura 2 (a). Fresa de topo reto sendo caracterizada pelo microscópio de foco infinito ALICONA®; (b) Centro de usinagem vertical ROMI modelo D600

Esta caracterização geométrica foi realizada com o auxílio de um microscópio de foco infinito *ALICONA® Infinite Focus G5* (Fig. 2 (a)). Este equipamento está disponível no Centro Universitário de Brusque – UNIFEBE e está localizado no NTIF (Núcleo de Tecnologia e Inovação em Fabricação).

A utilização deste equipamento permite realizar a medição do desgaste das ferramentas de usinagem utilizadas nos ensaios, pois o equipamento permite realizar a medição da diferença de geometria antes e após os ensaios. A obtenção destas informações de desgaste é de grande valor para as pesquisas deste campo, pois permite também avaliar o gradiente de tensões residuais introduzido pelas fresas para os corpos de prova em função do grau de desgaste das mesmas.

Os corpos de prova utilizados nos ensaios são de aço inoxidável AISI 304L, com dimensões de 140 mm de comprimento, 25 mm de largura e 6,35 mm de espessura. No total foram utilizados 4 corpos de prova, sendo os furos cegos usinados sobre a linha central destes, espaçados a 20 mm entre centros.

Os ensaios de fresamento incremental orbital foram realizados em um centro de usinagem vertical ROMI D600 (Fig. 2 (b)), disponível no NTIF do Centro Universitário de Brusque – UNIFEBE. O centro de usinagem dispõe de um motor principal de 15 kW, rotação máxima do eixo-árvore de 10 000 rpm, mesa com dimensões de 840 mm por 500 mm, torre porta-ferramenta com 20 posições e comando numérico Siemens.

A fixação dos corpos de prova na mesa da máquina foi realizada por meio de uma morsa hidráulica. As ferramentas utilizadas nos testes foram todas fixadas na pinça da máquina, sendo deixado 16,5 mm de balanço entre a extremidade da ferramenta e o final da fixação. Ao lado da ferramenta, fez-se uso de um sistema de resfriamento por meio de ar comprimido, que além de auxiliar na diminuição do calor gerado também permite melhor escoamento do cavaco.

Os parâmetros de usinagem empregados neste trabalho foram estabelecidos como sendo: velocidade de rotação da ferramenta de 5 000 e 6 250 rpm e velocidades de avanço entre 50 e 200 mm/min. Neste cenário, empregando-se a técnica FIO, a usinagem dos corpos de prova foi realizada cada qual com dez incrementos, onde o diâmetro e a profundidade do furo após cada incremento estão identificados na Tab. 1.

Tabela 1. Relação z/D_o para a estratégia FIO

Incremento	Profundidade (z) [mm]	Diâmetro do furo (D_o) [mm]	Relação z/D_o
1	0,4	8,00	0,050
2	0,8	8,88	0,090
3	1,2	9,76	0,123
4	1,6	10,68	0,150
5	2,0	11,56	0,173
6	2,4	12,44	0,193
7	2,8	13,32	0,210
8	3,2	14,24	0,225
9	3,6	15,12	0,238
10	4,0	16,00	0,250

Após a usinagem de cada furo cego, as ferramentas de usinagem foram levadas ao microscópio de foco infinito *ALICONA®* para que uma nova aquisição tridimensional dos gumes fosse realizada, afim de permitir a avaliação do desgaste das ferramentas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

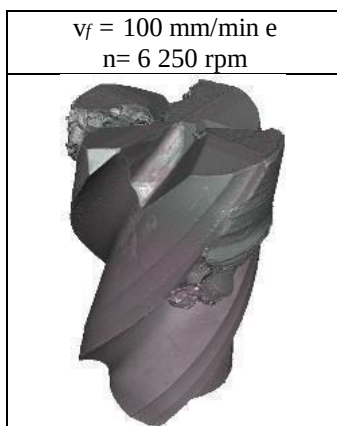
No primeiro ensaio executado de acordo com o planejamento, utilizou-se os parâmetros de usinagem descritos na Tab.2.

Tabela 2. Parâmetros de usinagem empregados no primeiro ensaio

Rotação da ferramenta (rpm)	Velocidade de avanço da mesa (mm/min)	Velocidade de avanço do eixo vertical (mm/min)	Incremento lateral de corte (mm)
6 250	100	80	0,88

Neste caso, o ar comprimido empregado para auxiliar o escoamento do cavaco e aliviar a temperatura gerada no processo não foi suficiente para mostrar um auxílio efetivo, pois no primeiro incremento (0,4 mm de profundidade) o cavaco acumulado nas guias da fresa apresentou um aparente aumento de temperatura (Tab. 3), além de sofrer leve fratura de parte de um de seus gumes.

Tabela 3. Ferramenta com adesão de material após usinagem com os parâmetros supracitados



Estes fatos relacionados ao aumento de temperatura foram citados por Almeida (2010) *apud* Costa (2003), Mc Gee (1979) e Dewes *et al.* (1999) em seus trabalhos, onde a temperatura de usinagem cresce com o aumento da velocidade de corte até um ponto máximo que é igual a um ponto extremo de temperatura da peça usinada.

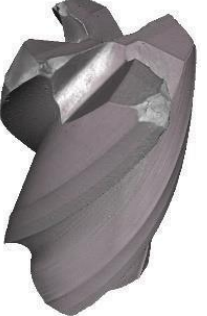
Assim, foram realizados ainda outros dois ensaios com o parâmetro de incremento lateral de corte nas condições dos primeiros ensaios (conforme planejamento). Os parâmetros de usinagem utilizados nestes dois ensaios estão mostrados na Tab. 4.

Tabela 4. Parâmetros de usinagem utilizados nos dois ensaios seguintes

Rotação da ferramenta (rpm)	Velocidade de avanço da mesa (mm/min)	Velocidade de avanço do eixo vertical (mm/min)	Incremento lateral de corte (mm)
5 000	100	80	0,88
5 000	80	80	0,88

Com a combinação dos parâmetros da primeira linha, foi possível a usinagem de 4 furos por completo, como mostra a Tab. 5 (ao final da usinagem do quarto furo a ferramenta estava com todos os seus quatro gumes danificados, fato que interfere diretamente na geometria do furo).

Tabela 5. Geometrias das fresas após cada furo com v_f da mesa = 100 mm/min

Parâmetros de usinagem: v_f mesa = 100 mm/min / $n = 5\,000 \text{ rpm}$			
Furo 1	Furo 2	Furo 3	Furo 4
			

Neste cenário, o mecanismo de desgaste por adesão de material foi menos influente do que o desgaste por choque mecânico. No entanto, após o segundo furo, nota-se que fraturas podem ser facilmente identificadas nos gumes da ferramenta, comprometendo a sua utilidade após a usinagem de quatro furos.

Este parâmetro de usinagem apresentou bom desempenho nos testes executados muito em função da velocidade de avanço da mesa ter sido posta em um valor ideal para as condições de contorno, fazendo com que a ferramenta não

permanecesse em demasiado tempo em confinamento e em contato com o furo e a peça. Certamente, em uma situação oposta, o processo aumentaria a temperatura de usinagem e diminuiria a vida da ferramenta, e em uma situação com avanço elevado, certamente maiores danos por choque mecânico seriam observados.

O segundo teste com os parâmetros da Tab. 4 foi capaz de realizar a usinagem de três furos antes que seus gumes viessem a sofrer fraturas (Tab. 6).

Tabela 6. Geometrias das fresas após cada furo com v_f mesa = 80 mm/min.

Parâmetros de usinagem: v_f mesa = 80 mm/min / n = 5 000 rpm		
Furo 1	Furo 2	Furo 3
		

Neste parâmetro de usinagem a ferramenta apresentou vida inferior quando comparada ao caso anterior. Esta afirmação pode ser entendida pela diminuição da velocidade de avanço da mesa de 100 para 80 mm/min, fazendo com que o maior tempo de contato entre a ferramenta e a peça estimulasse o aumento da temperatura de usinagem, dentre outros fatores. Mas, o principal mecanismo de desgaste encontrado nesta análise é o choque mecânico, que levou à fratura dos gumes da ferramenta.

Conforme o planejamento experimental, para os próximos reduziu-se para 0,44 mm o parâmetro de incremento lateral decorte. Os demais parâmetros de usinagem dos dois ensaios nestas novas condições estão mostrados na Tab. 7.

Tabela 7. Parâmetros de usinagem utilizados na condição de incremento lateral de corte a_e = 0,44 mm.

Rotação da ferramenta (rpm)	Velocidade de avanço da mesa (mm/min)	Velocidade de avanço do eixo vertical (mm/min)	Incremento lateral de corte (mm)
5 000	80	60	0,44
5 000	80	80	0,44

Após a usinagem dos furos cegos com o conjunto de parâmetros da primeira linha da Tab.7, notou-se que tratando-se de desgaste de ferramenta, este parâmetro teve o melhor desempenho dentre todos os cenários analisados, pois, o desgaste imposto à ferramenta foi menos severo e um pouco mais tardio.

A ferramenta utilizada nesta análise veio a falhar após a usinagem de quatro furos (Tab. 8), principalmente em decorrência de o choque mecânico causar lascamento do gume. Desgaste tal que veio a ser mais crítico após a usinagem dos três primeiros furos.

Tabela 8. Geometria das fresas após o furo realizado no parâmetro de v_f = 80 mm/min com parâmetro a_e reduzido.

Parâmetro de usinagem: v_f = 80 mm/min / n = 5 000 rpm / a_e = 0,44 mm			
Furo 1	Furo 2	Furo 3	Furo 4
			

Este cenário mostrou ser bastante interessante na questão do desgaste da ferramenta, visto que a velocidade de avanço da mesa (80 mm/min) visivelmente não acresceu demasiado calor ao processo, e a diminuição do incremento de corte lateral a_e mostrou que pode sim ser um auxílio na redução do desgaste em função de poupar a ferramenta de elevado desgaste (solicitação mecânica) em cada incremento.

No segundo cenário desta condição, com os parâmetros indicados na Tab.7, os resultados foram inferiores ao cenário anterior, pois logo após a usinagem do primeiro furo a ferramenta já contava com diversos pontos de lascamento em seus gumes, como mostrado na Tab. 9.

Tabela 9. Geometria das fresas após o furo realizado no parâmetro de $v_f = 60$ mm/min com parâmetro a_e reduzido.

Parâmetros de usinagem: $v_f = 60$ mm/min / $n = 5\,000$ rpm / $a_e = 0,44$ mm	
Furo 1	Furo 2
	

Neste caso foi possível de realizar a usinagem de dois furos antes que as ferramentas fossem totalmente danificadas. Este parâmetro analisado teve eficiência inferior em relação ao anterior em função da menor velocidade de avanço da mesa (60 mm/min) aliada à redução do incremento de corte lateral da ferramenta (a_e), que fizeram com que, notadamente, a temperatura de corte fosse bastante elevada durante a usinagem, facilitando a perda do revestimento da ferramenta e a consequente fratura de seus gumes.

Em termos de relevância do estudo, pode-se dizer que os dados obtidos possuem grande importância no campo de estudos voltados ao fresamento orbital de aços inoxidáveis, pois os resultados obtidos servirão de base para futuros estudos, além da variação de parâmetros mostrar diferentes comportamentos durante a usinagem.

5. CONCLUSÕES

As modificações de parâmetros que foram feitas ao longo dos ensaios mostraram que a velocidade de avanço tem maior influência que a velocidade de corte dentro da faixa de parâmetros utilizada.

Dentre os cenários analisados, conseguiu-se obter boas relações de desgaste de ferramentas, onde, chegou-se a ter fresas capazes de usinar quatro, três, dois e um furo(s), que para o objetivo em questão, são boas quantidades de usinagem alcançadas. Assim, o parâmetro analisado de maior confiabilidade foi quando se utilizou avanço da mesa de 100 mm/min, avanço do eixo z de 80 mm/min e 5 000 rpm com o parâmetro de incremento lateral a_e de 0,88 mm, além de ar comprimido para auxiliar o resfriamento e o escoamento de cavaco.

Dentre os principais mecanismos de desgaste observados nas fresas, destaca-se a adesão de material, principalmente quando aumentou-se a velocidade de rotação da ferramenta. Porém, o que por mais vezes foi observado é o desgaste por lascamento, levando os gumes à fratura e sendo potencializado pelos choques mecânicos sofridos pelas fresas durante os ensaios.

Assim, foi possível constatar que para aumentar a vida das ferramentas durante o fresamento orbital de aço inoxidável, é de grande importância que o incremento lateral seja reduzido e que se consiga determinar um parâmetro médio de avanços da mesa e do eixo vertical, visto que situações extremas (avanços reduzidos ou elevados demais) não trazem benefícios para a vida das ferramentas.

Como sugestão para trabalhos futuros espera-se utilizar esta mesma geometria e diâmetro de fresas para diferentes tipos de materiais, já que neste trabalho foi apenas analisado o aço inoxidável AISI 304L.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Cristiano Mateus de. AVALIAÇÃO DO DESGASTE DA FERRAMENTA DE METAL DURO REVESTIDA COM TiN NO FRESAMENTO DO AÇO ABNT4140 LAMINADO A QUENTE E TEMPERADO/REVENIDO. 2010. 92 f. Monografia (Especialização) - Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais., Belo Horizonte, 2010.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. ASTM E837-13a. **Standard Test Method for Determining Residual Stresses by the Hole-Drilling Strain-Gage Method**. West Conshohocken, 2013. 17 p.
- BLÖDORN, Rodrigo. Efeito do fresamento orbital com fresa de topo e furação em cheio com broca helicoidal sobre os valores medidos da tensão residual pelo “Método Do Furo Cego”. 2018. 242 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.
- JANG, D. Y; WATKINS, T. R; KOZACZEK, K. J; HUBBARD, C. R; CAVIN, O. B. **Surface residual stresses in machined austenitic stainless steel**. CIRP Annals – Conference on Modeling of Machining Operations, v.194, p. 168- 173, Junho. 1996.
- MATHAR, J. Determination of Initial Stresses by Measuring the Deformation Around Drilled Holes. Transactions ASME. v. 56, n. 4, p. 249–254. 1934.
- OUTEIRO, J. C; UMBRELLO, D; M'SAOUBI, R. Experimental and numerical modelling of the residual stresses induced in orthogonal cutting of AISI 316L steel. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, v.46 p.1786-1794, Janeiro. 2006.
- SCHAJER, G.S. **Practical Residual Stress Measurement Methods**. 1. ed. Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd, 2013. 328 p.
- SCHAJER, Gary S.; WHITEHEAD, Philip S.; **Hole-Drilling Method for Measuring Residual Stresses**. Morgan & Claypool, 2018. 188 p.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

END MILL WEAR EVALUATION ON THE RESIDUAL STRESSES MEASURE IN AISI 304L STAINLESS STEEL BY THE HOLE DRILLING METHOD

Jônatas Juliano Verwiebe

Rodrigo Blödorn

UNIFEBE, Brusque University Center, Dorval Luz St., 123 – Santa Catarina – CEP: 88352-400 – Brusque/SC – Zip code: 1501

jonatas.verwiebe@gmail.com, rodrigoblodorn@unifebe.edu.br

Abstract. With the higher range of man-made structures becomes very important for residual stresses measurements methods, which, aiming to avoid structural failures. Among the many possibilities to perform these analyzes, the Blind Hole Method has become one of the main ways of analysis due to its easily execution, low cost and precision of results, whereas other techniques are limited to make the correct hole geometry required by the standard. This paper aims to study the wear on end mills used in orbital milling to check the residual stresses. The method of execution of the blind hole used was Orbital Incremental Hole using different depth and diameter increments, maintaining a maximum rate z/d of 0.250, where “z” is the hole depth and “d” the hole diameter. Used the spindle rotations of 5,000 and 6,250 rpm, in a Romi D600 machining center, with table feed and vertical axis speed variable between 50 and 200 mm/min, and for machining used 4 mm diameter end mill cutter, made by high speed steel coated with TiSiN and analyzed compressed air as a cooling method and aid source for chip removing. In this scenario, the average parameters have been shown to be more effective.

Keywords: Machining. End mill. Wear. Machining parameters.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.