

MICROFRESAMENTO DE CAVIDADES EM AÇO FERRAMENTA ABNT H13

Anderson Júnior Dos Santos

Universidade Federal De Minas Gerais, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901
ndersonsantos@hotmail.com.br

Lara Alcantra Cunha Melo

Universidade Federal De Minas Gerais, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901
laraacm@gmail.com

Marcelo Araújo Câmara

Universidade Federal De Minas Gerais, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901
marcelocamara@demec.ufmg.br

Alexandre Mendes Abrão

Universidade Federal De Minas Gerais, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901
abrao@demec.ufmg.br

Resumo. O microfresamento é uma alternativa viável para confecção de micromatrizes para a fabricação de microcomponentes em diversas indústrias, como eletrônica, militar, biomédica e aeroespacial. O objetivo principal deste trabalho foi realizar os ensaios de microfresamento a seco de cavidade cilíndricas com 2500 μm de diâmetro e profundidade de 300 μm em aço ABNT H13 e analisar a influência da variação do avanço por dente (f_z) e da profundidade de usinagem (a_p) sobre o desvio diametral e sobre a força resultante de fresamento. Para tanto, foi mantida uma velocidade de corte constante em 62,8 m/min e foram utilizadas microfresas de topo com diâmetro de 500 μm revestidas com (Ti,Al)N. A caracterização do material e a medição do diâmetro das cavidades foram realizadas por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados mostraram que o fresamento executado com $f_z = 13 \mu\text{m/dente}$ e $a_p = 100 \mu\text{m}$ foi o que apresentou menor desvio diametral. Para os sinais de força, o ensaio realizado com $f_z = 3 \mu\text{m/dente}$ e $a_p = 60 \mu\text{m}$ foi o que apresentou menor valor de força de usinagem.

Palavras chave: Microfresamento, Cavidades, Força.

1. INTRODUÇÃO

As tecnologias de fabricação, tais como usinagem por eletroerosão, usinagem por feixe de laser e usinagem por ultrassom, são processos comumente empregados para produzir peças em escala micrométrica. No entanto, existem barreiras econômicas e tecnológicas que reduzem sua viabilidade para aplicações específicas. Neste contexto, máquinas e ferramentas de corte consideradas convencionais podem atingir níveis de exatidão micrométricos e, assim, o microfresamento pode representar um processo tecnológico competitivo para a fabricação de microprodutos (LEPE, 2014).

As abordagens tradicionais usadas para descrever os fenômenos envolvidos na usinagem convencional (ou mesousinagem) não se transferem para o caso da microusinagem por simples redimensionamento. É necessário que toda uma nova tecnologia seja adequada para o processo, principalmente em relação ao efeito escala (WU *et al.*, 2016). O efeito escala é definido como o aumento da tensão de cisalhamento, que pode ser visto como um aumento da pressão específica de corte, com o decréscimo da espessura de corte.

Ao diminuir o tamanho da fresa, o avanço por dente deve ser adequado para evitar deflexões ou quebra da ferramenta e, por isso, as forças atuantes diminuem. Porém, o raio da aresta de corte não diminui na mesma proporção que o diâmetro da ferramenta e, dessa forma, o avanço por dente pode ser da ordem do raio da aresta, o que pode causar deformações ao material nessa região, causando um fluxo lateral de material da peça (YUN *et al.*, 2011). Por isso, o raio da aresta torna-se crítico em relação à espessura de corte do material a ser removido.

O microfresamento tem uma posição de destaque entre os processos de microusinagem, principalmente devido à sua flexibilidade. Tal característica permite a fabricação de perfis com geometrias complexas (CHAE *et al.*, 2006). Apesar dessa qualidade, o processo apresenta desafios que devem ser estudados para que seus parâmetros sejam continuamente melhorados, como o desvio do diâmetro que será abordado nesse trabalho.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado na fabricação dos corpos de prova para os ensaios de microfresamento foi o aço ABNT H13 com dureza média de 216 ± 3 HV. A caracterização do material foi realizada por meio de um microscópio eletrônico de varredura Jeol modelo JSM-IT300 e EDS *Oxford Instruments* modelo X-Max^N. A Figura 1(a) apresenta a análise semi-quantitativa da composição química do material, enquanto que na Figura 1(b) está relacionada a composição química nominal. Como ferramenta de corte, utilizaram-se microfresas de topo reto interiças de metal duro com diâmetro de 500 μm e duas arestas de corte, revestidas com (Ti,Al)N (*Mitsubishi Materials* código MS2MSD0050).

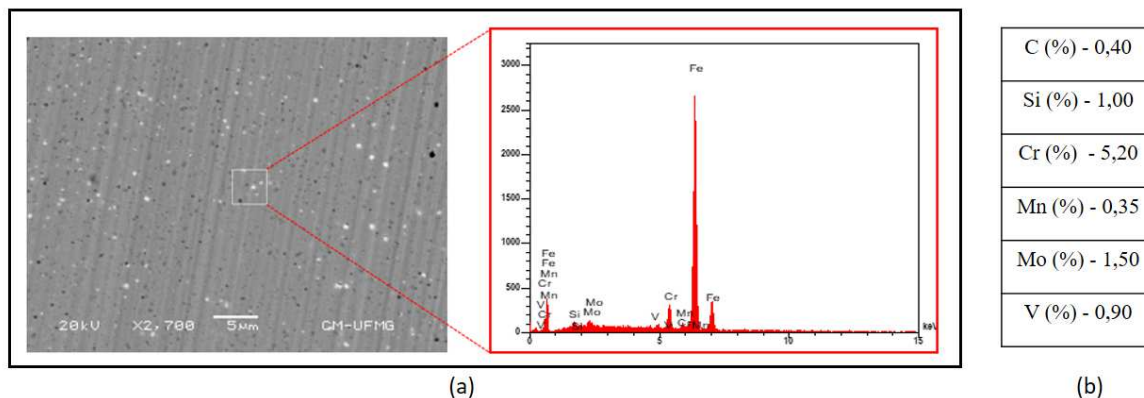


Figura 1. Análise da composição química do aço ABNT H13: (a) análise semi-quantitativa e (b) composição nominal (Villares Metals, 2018).

Os testes foram realizados em um centro de usinagem Romi modelo *Discovery* 560 com potência de 9,0 kW e rotação máxima de 7500 rpm, equipado com comando numérico computadorizado (CNC) Siemens 810D. Devido ao limite de rotação do centro de usinagem, uma turbina pneumática *Air Turbine* modelo 650BT40 (potência de 0,66 kW, rotação de 40000 rpm e pressão de trabalho de 6,2 bar) foi utilizada para se atingir a velocidade de corte de 62,8 m/min.

Um dinamômetro *Kistler* modelo 9272 conectado a um amplificador *Kistler* 5073 e a uma placa de aquisição da *National Instruments* modelo 6366 foram empregados para aquisição dos sinais de força durante o microfresamento.

Foi realizado um planejamento fatorial dos parâmetros de entrada utilizados durante os experimentos, mantendo-se a velocidade de corte constante em 62,83 m/min, penetração de trabalho constante em 500 μm e variando-se o avanço por dente e a profundidade de usinagem conforme a Tab. 1.

Tabela 1. Parâmetros de entrada utilizados durante os ensaios de microfresamento de topo do aço ABNT H13

Ensaio	Avanço por dente ($\mu\text{m}/\text{dente}$)	Profundidade de usinagem (μm)
1	3	60
2	13	60
3	3	100
4	13	100

Durante os ensaios de microfresamento a seco, foram produzidas cavidades cilíndricas com diâmetro de 2500 μm e profundidade total de 300 μm , sendo realizada uma réplica para cada ensaio. A programação da máquina foi realizada em um *software* CAD/CAM com trajetória da ferramenta em interpolação circular sem operação de acabamento. A fixação do corpo de prova no dispositivo montado no dinamômetro é apresentada na Fig. 2.

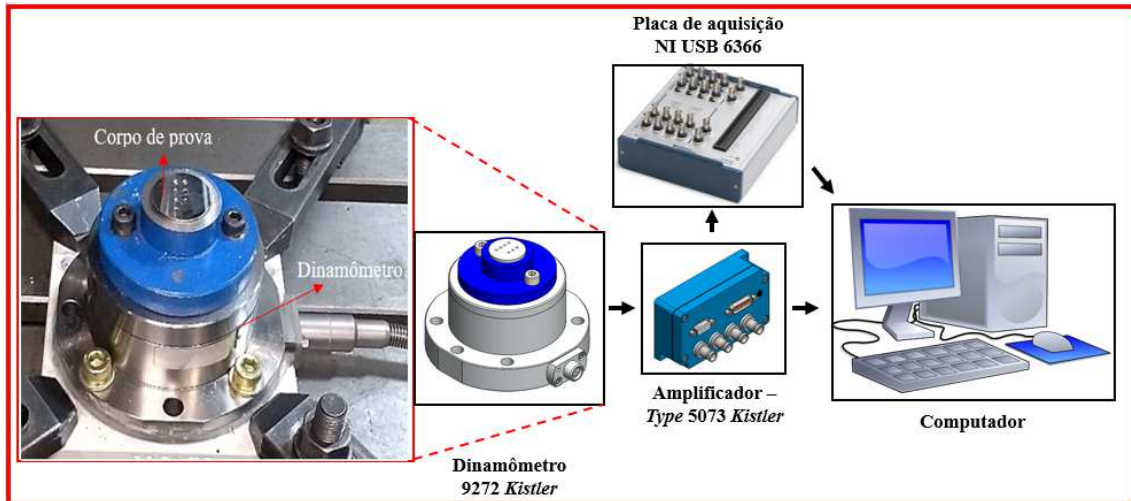


Figura 2. Montagem do corpo de prova no dinamômetro.

A medição do diâmetro foi realizada no microscópio eletrônico de varredura com 5 medições para cada ensaio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O diâmetro das microcavidades foi programado para 2500 μm . Verificou-se, por meio do MEV, um desvio no diâmetro após o microfresamento, como apresentado na Figura 3.

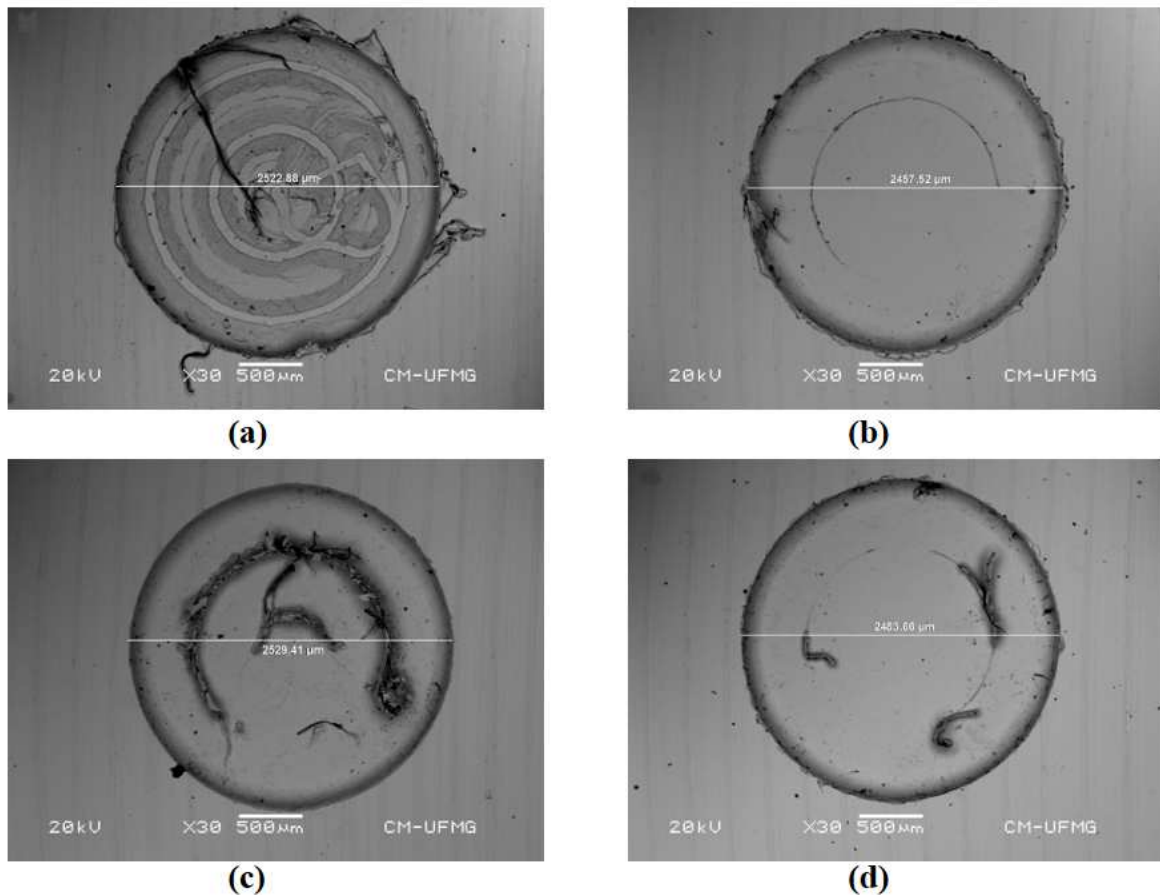


Figura 3. Imagens realizadas por MEV das cavidade. (a) ensaio 1 ($f_z = 3 \mu\text{m/dente}$ e $a_p = 60 \mu\text{m}$), (b) ensaio 2 ($f_z = 13 \mu\text{m/dente}$ e $a_p = 60 \mu\text{m}$), (c) ensaio 3 ($f_z = 3 \mu\text{m/dente}$ e $a_p = 100 \mu\text{m}$), (d) ensaio 4 ($f_z = 13 \mu\text{m/dente}$ e $a_p = 100 \mu\text{m}$).

Foram realizadas cinco medições do diâmetro das cavidade no MEV com espaçamento de 72° . A Figura 4 apresenta a compilação da média dos diâmetros dos quatro ensaios. A maior diferença entre o diâmetro medido e o diâmetro nominal foi de 1,4% encontrada na condição $f_z = 3 \mu\text{m/dente}$ e $a_p = 100 \mu\text{m}$ (ensaio 3). O diâmetro mais próximo ao diâmetro nominal foi o da condição $f_z = 13 \mu\text{m/dente}$ e $a_p = 100 \mu\text{m}$ (ensaio 4) que foi 0,2 % menor. Porém, todas as cavidades microfresadas apresentaram desvios diametral, sugerindo uma possível deflexão da microfresa durante os ensaios. Segundo Rodriguez *et al.* (2008), os dois principais efeitos causados pela deflexão da ferramenta são a falta de exatidão da peça e a distorção dos sinais de força durante a microusinagem. Outros fatores podem ter interferido nos resultados, a saber: a precisão da máquina-ferramenta e o desgaste das microfresas durante a microusinagem, fatores que não foram avaliados nesta pesquisa.

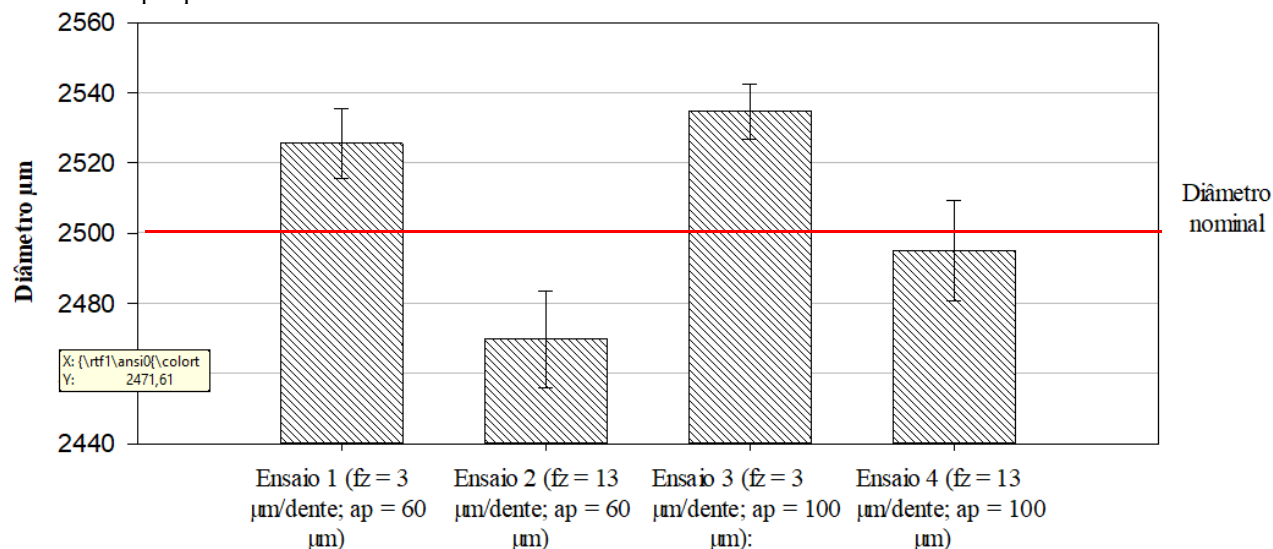


Figura 4. Variação do diâmetro da microcavidade em função do avanço e da profundidade de usinagem.

Para cada microcavidade, foi analisada a força resultante que atua sobre a aresta de corte. A Figura 5 mostra a força de fresamento para todas as condições de corte. A menor força deu-se para o corte com avanço de $3 \mu\text{m/dente}$ e profundidade de usinagem de $60 \mu\text{m}$ (ensaio 1). Os maiores valores da força de usinagem foram registrados para o ensaio 2 ($f_z = 13 \mu\text{m/dente}$ e $a_p = 60 \mu\text{m}$) e ensaio 3 ($f_z = 3 \mu\text{m/dente}$ e $a_p = 100 \mu\text{m}$). Tais resultados corroboram com os resultados de desvio diametral, isto é, a deflexão da ferramenta pode ter ocasionado o aumento da intensidade do sinal de força, levando a um possível desbalanceamento da microfresa e distorção do sinal durante o microfresamento.

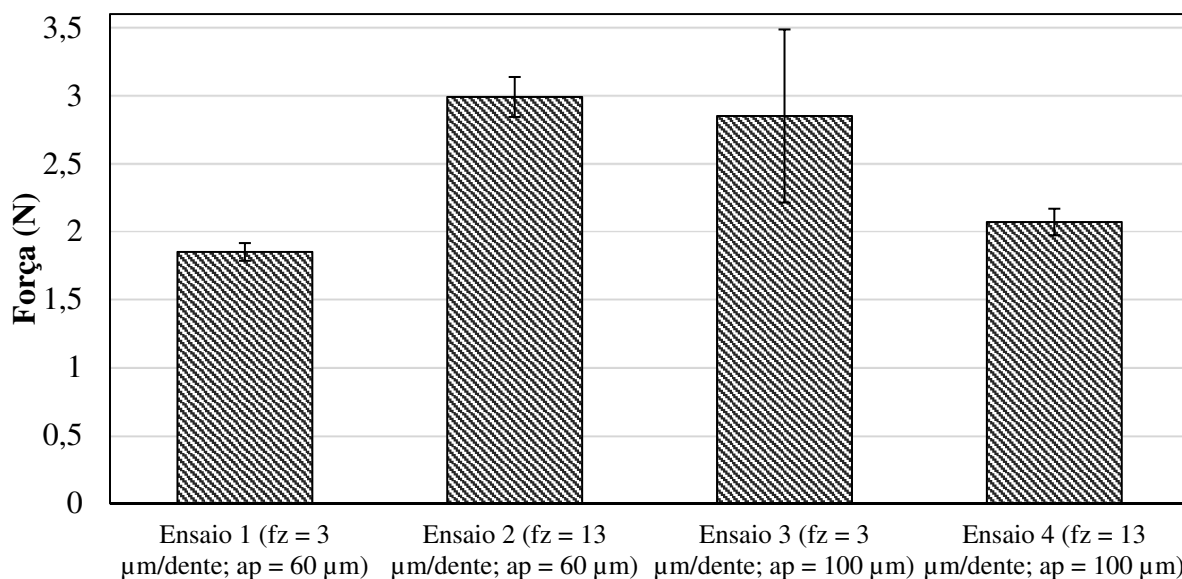


Figura 5: Variação da força resultante em função do avanço e da profundidade de usinagem.

5. CONCLUSÕES

Neste seção são apresentadas as principais conclusões extraídas desta pesquisa, que teve como objetivo analisar o desvio diametral e a força resultante na operação de microfresamento no aço ABNT H13. Pode-se concluir que:

Os diâmetros das cavidades usinadas foram próximos do valor programado, porém todas as cavidades microfresadas apresentaram desvios de diâmetro, sugerindo uma possível deflexão lateral da microfresa durante os ensaios. Porém, outros fatores podem ter influenciado no desvio de forma das cavidades para os ensaios realizados. Para os ensaios realizados, o menor desvio diametral encontrado foi para o ensaio com $f_z = 13 \mu\text{m/dente}$ e $a_p = 100 \mu\text{m}$.

- Em relação à força de usinagem, tanto a profundidade de usinagem quanto o avanço por dente exerceram um papel relevante. Sendo assim, a deflexão da ferramenta pode ter ocasionado o aumento da intensidade dos sinais de força, levando a um possível desbalanceamento da microfresa e distorção dos sinais de forças durante o microfresamento. Assim, o ensaio com $f_z = 3 \mu\text{m}$ e $a_p = 60 \mu\text{m}$ foi o que apresentou menor valor de força de fresamento.

3. AGRADECIMENTOS

Os autores dessa pesquisa agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, CNPq, FAPEMIG, pelo apoio à realização desta pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

5. REFERÊNCIAS

- Chae, J., Park, S. S., Freiheit, T., 2006. "Investigation of micro-cutting operations". *International Journal of Machine Tools e Manufacture*, Vol. 46, p. 313-332.
- Lepe, E., 2014. *Contribution to micro-milling process parameters selection for process planning operations*. Tese de doutorado, Universitat de Girona, Catalunha
- Rodriguez. P., Labarga. JE., Lazoglu. KI., 2013. "A new model for the prediction of cutting forces in micro-end-milling operations". *J Mater Process Technol*, Vol. 213, p. 261-268.
- Rodríguez. P., Labarga. JE., 2014. "Tool deflection model for micromilling processes". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 76, p. 199-207.
- Wu,X., Li,L., He,N., Yao,C. e Zhao,M., 2016. "Influence of the cutting edge radius and the material grain size on the cutting force in micro cutting". *Precision Engineering*, Vol. 45, p. 359-364.
- Yun, H.T., Heo, S., Lee, M.K., Min, B. e Lee, S.J., 2011 "Ploughing detection in micromilling process using the cutting force signal". *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 51, p. 377-382.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

MICROMILLING OF CAVITIES IN AISI H13 TOOL STEEL

Anderson Júnior Dos Santos

Universidade Federal De Minas Gerais, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901
ndersonsantos@hotmail.com.br

Lara Alcantra Cunha Melo

Universidade Federal De Minas Gerais, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901
laraacm@gmail.com

Marcelo Araújo Câmara

Universidade Federal De Minas Gerais, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901
marcelocamara@demec.ufmg.br

Alexandre Mendes Abrão

Universidade Federal De Minas Gerais, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901
abrao@demec.ufmg.br

Abstract. *Micromilling has emerged as a competitive alternative for making micromolds and dies for the manufacture of microcomponents in several industries, such as electronics, military, biomedical and aerospace. The main goal of this work was to perform micromilling of cylindrical cavities with 2500 μm in diameter and 300 μm deep in AISI H13 hot work die steel, in order to investigate the influence of feed per tooth (f_z) and depth of cut (a_p) on the diameter deviation and the micromilling force. For this purpose, the cutting speed was kept constant at 62.8 m/min and 500 μm (Ti,Al)N coated micromilling cutters were used. The characterization of the material and the measurement of the cavity diameter were performed by scanning electron microscopy (SEM). The results showed that the smallest diameter deviation was obtained under $f_z = 13 \mu\text{m/tooth}$ and $a_p = 100 \mu\text{m}$. Milling force increased with the elevation of depth of cut and feed.*

Keywords: *Micromilling, Milling, force, Circularity deviation.*

RESPONSIBILITY NOTICE

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