

INFLUÊNCIA DAS ESTRATÉGIAS DE FRESAMENTO NO DESGASTE DE PUNÇÕES NA ESTAMPAGEM A QUENTE

Isabela da Costa Castanhera

Anselmo Eduardo Diniz

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, rua Mendeleyev, 200, Cidade Universitária, Campinas, SP

castanhera@fem.unicamp.br, anselmo@fem.unicamp.br

Sérgio Tonini Button

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, rua Mendeleyev, 200, Cidade Universitária, Campinas, SP

sergiol@fem.unicamp.br

Resumo. A escolha de estratégias de fresamento mais adequadas para a fabricação de matrizes pode resultar em superfícies mais adequadas aos processos de conformação plástica. Este trabalho analisa a influência de estratégias de fresamento “high speed machining” (HSM) no desgaste de punções de aço AISI H13 endurecido a 48 HRC submetidos à estampagem de arruelas de aço. A semiesfera do topo dos punções foi fresada com 6 diferentes estratégias: circular ascendente e descendente, radial e descendente, contornos paralelos e espiral ascendente, obtendo-se valores similares de rugosidade para as 6 superfícies. Após a primeira medição da rugosidade, em que os valores mostraram-se próximos, os punções foram submetidos à estampagem das arruelas e efetuou-se nova medição, que apresentou variação nos valores. Os resultados de microscopia das superfícies revelaram a influência das estratégias de fresamento no desgaste, sendo as estratégias com corte ascendente mais afetadas pelo desgaste.

Palavras chave: Fresamento. Usinagem. Rugosidade. Conformação mecânica. Estampagem a quente.

1. INTRODUÇÃO

A utilização da técnica de usinagem conhecida por “high speed machining” aumentou nos últimos anos por apresentar vantagens importantes em relação a outros processos de acabamento. A técnica é utilizada em substituição à eletroerosão e polimento na fabricação de moldes e matrizes, com melhor custo/benefício e outras diversas vantagens. Neste tipo de usinagem, apesar da alta velocidade de corte quando comparada a processos convencionais, a taxa de remoção de cavaco é menor, devido aos baixos valores de parâmetros característicos (incremento axial e incremento radial de corte), porém é bem maior que no processo de eletroerosão, que a HSM pretende substituir (Sandvik Coromant, 2000).

Para a obtenção de um bom acabamento é necessário que, além de parâmetros de usinagem adequados, a vibração da ferramenta seja minimizada, já que esta é, usualmente, bastante esbelta, a fim de copiar pequenos raios e penetrar em cavidades profundas. A escolha de estratégias de usinagem adequadas pode influenciar na qualidade superficial, tanto por influenciar na vibração da ferramenta quanto pelas marcas deixadas sobre a superfície, envolvendo tanto marcas provenientes da usinagem quanto aquelas causadas pela usinagem e deformação plástica. Um bom acabamento superficial em matrizes é necessário para que se obtenha boa qualidade superficial do produto forjado. Em operações de fresamento deste tipo de peça pode haver corte (ou amassamento) de material com o centro da fresa e vizinhanças, situação na qual a velocidade efetiva de corte é igual ou próxima a zero. Há centros de usinagem com 4 ou 5 eixos capazes de utilizar estratégias de inclinação entre a superfície usinada e a ferramenta, evitando o contato do centro da fresa com a peça (Diniz *et al.*, 2010; Kull Neto *et al.*, 2016).

O bom acabamento da superfície da matriz não influencia apenas a qualidade superficial do produto forjado. Ele também influencia seu desgaste. O desgaste por atrito apresenta-se como o fenômeno mais comum que ocorre devido à interação de 2 ou mais superfícies em contato e causa a deformação e eliminação de elementos superficiais. É influenciado por diversos fatores, como geometria e dureza do molde ou matriz, condições ambientais em que a matriz trabalha, impurezas superficiais ou pressão e temperatura de trabalho. Para a análise superficial, é comum a utilização dos parâmetros de rugosidade médios, como rugosidade média aritmética R_a ou S_a (medição espacial) e rugosidade média quadrática R_q ou S_q (medição espacial), parâmetros esses obtidos a partir da medição de altura de picos e vales em relação à linha média no percurso de medição (Novaski, 2003). Na conformação de materiais dúcteis, o desgaste inicia-se com a erosão causada por deformação plástica da superfície, com movimentação e criação de discordâncias.

Em trabalho a quente, o tempo de contato, a temperatura, a formação de óxidos e a pressão de trabalho facilitam a deformação plástica (Santaella, 2009; Hioki *et al.*, 2013; Magri *et al.*, 2013).

Este trabalho tem como objetivo a análise da influência da escolha de estratégias de fresamento tipo *high speed machining* na vida de punções de aço H13 endurecidos a 48 HRC submetidos a estampagem a quente de arruelas de aço.

2. Procedimentos experimentais

A Fig. 1 apresenta esquema do punção de aço AISI H13 usinado após endurecimento a 48 HRC em têmpera a vácuo e duplo revenimento. Antes do fresamento HSM, a dimensão R11,60 mm apresentava o raio de dimensão 11,70 mm.

Os processos de fresamento HSM foram realizados em um centro de usinagem DMG EVO 40 com rotação máxima 42.000 rpm, com 5 eixos de programação. A ferramenta utilizada possui suporte de código R216F-12A16C-085 e inserto intercambiável código R216F-12 30 E-L, modelo circular do tipo *ball nose*, de metal duro com grão submicrométrico e cobertura TiAlN. Os parâmetros utilizados na usinagem foram: rotação de 11.075 rpm; incremento radial e axial de corte respectivamente a_e de 0,10 mm e a_p de 0,10 mm; velocidade nominal de corte de 437 m/min e avanço de 0,10 mm/dente. A Fig. 2 apresenta as estratégias de caminho de ferramenta utilizadas, em que linhas azuis e vermelhas (ambas pontilhadas) indicam movimento em vazio, linhas amarelas contínuas indicam entrada da ferramenta em corte, linhas salmão contínuas indicam saída da ferramenta do corte e linhas verdes contínuas indicam correções da trajetória da ferramenta. O corte ascendente inicia-se na base da semiesfera e termina no topo. O corte descendente inicia-se no topo da semiesfera e termina na base.

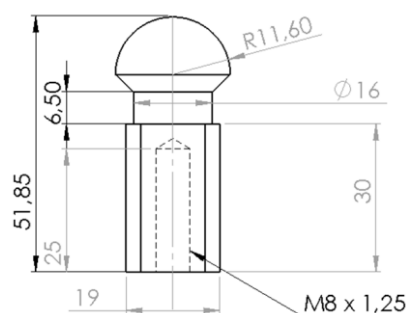
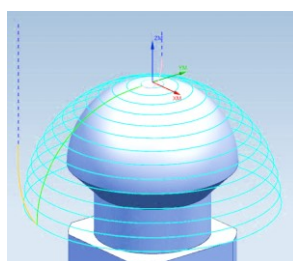
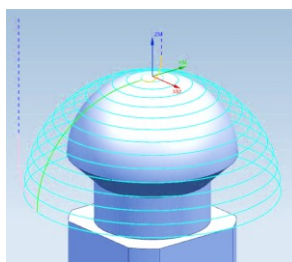


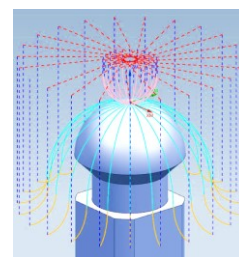
Figura 1. Punções após a usinagem *high speed machining*.



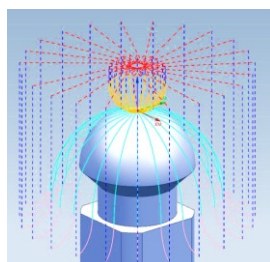
a) Circular ascendente.



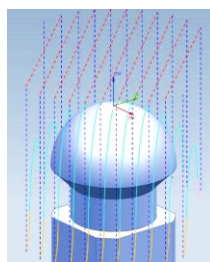
b) Circular descendente.



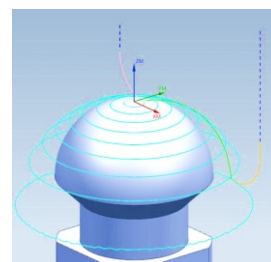
c) Radial ascendente.



d) Radial descendente.



e) Contornos paralelos.



f) Espiral ascendente.

Figura 2. Estratégias utilizadas para usinagem dos punções.

O formato dos punções permite a realização do processo de torneamento. Entretanto, a escolha do processo de fresamento HSM deu-se pela variedade de estratégias que podem ser aplicadas. O torneamento não pode ser usado em casos em que as superfícies que exigem um acabamento fino estão em um mesmo lado da matriz (Souza *et al.*, 2014).

Após a usinagem dos punções e, posteriormente, após a estampagem a quente, realizaram-se a medição de rugosidade S_a (rugosidade média), em rugosímetro óptico. As imagens de microscópio óptico foram obtidas num microscópio Leica com objetiva de 25x de aumento e com o software Las Core. A região analisada está apresentada na Fig. 3.

A estampagem foi realizada em arruelas de aço SAE 1020 e dimensões $\varnothing 34$ mm x $\varnothing 15$ mm x 2 mm, aquecidas a 1000 °C. O processo de estampagem a quente utilizou como lubrificantes graxa de grafite, óleo mineral e bissulfeto de molibdênio e foi realizado em prensa hidráulica com capacidade de 300 kN com velocidade de avanço dos punções de 10 mm/s, em matriz de aço SAE 4140 temperado e revenido com cavidade inclinada a 50° de modo a acelerar o processo de desgaste do punção. Três punções estampavam por montagem da prensa e cada punção estampou 115 arruelas.

A Fig. 3 apresenta uma vista em corte do processo de estampagem a quente.

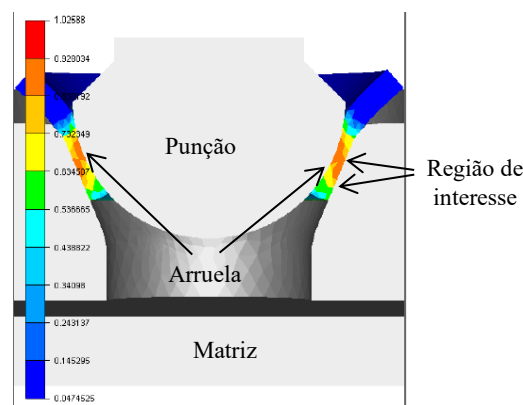


Figura 3. Vista em corte do processo de estampagem a quente da arruela.

3. RESULTADOS

A Tab. 1 apresenta os resultados de rugosidade S_a medidos após a usinagem HSM antes e após a estampagem a quente.

Tabela 1. Rugosidade S_a após usinagem HSM.

Estratégia	Rugosidade (μm) (antes/após)	Estratégia	Rugosidade (μm) (antes/após)
Circular ascendente (CA)	$0,71 \pm 0,09$ / $1,50 \pm 0,17$	Circular descendente (CD)	$0,80 \pm 0,06$ / $1,48 \pm 0,26$
Radial ascendente (RA)	$0,73 \pm 0,09$ / $1,87 \pm 0,25$	Radial descendente (RD)	$0,75 \pm 0,12$ / $2,04 \pm 0,44$
Contornos paralelos (CP)	$0,66 \pm 0,11$ / $0,68 \pm 0,08$	Espiral ascendente (EA)	$0,64 \pm 0,06$ / $1,55 \pm 0,20$

Os resultados apresentados na Tab. 1 são similares para a situação anterior à estampagem a quente, com o valor mais baixo obtido na estratégia espiral ascendente, de 0,64 μm , e o valor mais alto na circular descendente, de 0,80 μm . Considerando-se a dispersão, não se observa diferença dos resultados entre os sentidos ascendente e descendente das estratégias circular e radial, de modo que o sentido da usinagem não afetou a rugosidade. Após o processo de estampagem a quente, houve um aumento importante do valor de rugosidade em quase todas as estratégias de usinagem, excetuando-se os valores obtidos com a estratégia de contornos paralelos que manteve alguma resistência ao desgaste provocado pela estampagem a quente.

A Fig. 4 apresenta as imagens obtidas antes da etapa de estampagem a quente intercaladas com imagens obtidas após a etapa de estampagem a quente de 115 arruelas. A sigla MTF se refere a marcas de trajetória de ferramenta. Observa-se na Fig. 4 que, nas estratégias circular e radial, o sentido ascendente do corte produz MTFs mais fortes que o sentido descendente. Na estratégia circular ascendente (Fig. 4a), as MTFs assemelham-se a escamas de peixe, marcas essas que são suavizadas no sentido descendente (Fig. 4c). Na estratégia radial, as MTFs são radiais, mostrando com fidelidade o caminho da ferramenta sobre a peça. No sentido ascendente de corte (Fig. 4e), as marcas são fortes, assemelhando-se às marcas de trincas, enquanto no sentido descendente (Fig. 4g), as marcas são suavizadas. A estratégia de contornos paralelos (Fig. 4i) promove marcas de correção de trajetória de ferramenta irregulares. A estratégia espiral ascendente (Fig. 4k) apresenta as MTFs como um híbrido das marcas da estratégia radial com a estratégia circular

ascendente, linhas radiais e escamas de peixe. As marcas finas e paralelas referem-se às marcas da rotação da ferramenta.

Já as imagens obtidas após a estampagem a quente apresentam desgaste nas partes das superfícies ensaiadas. Conforme esperado, as marcas da rotação da ferramenta, suaves em comparação às MTFs, foram removidas pelo desgaste. As imagens da Fig. 4d e da Fig. 4h, referentes ao sentido descendente, e da figura 4j apresentam superfícies menos desgastadas que as imagens da Fig. 4b, Fig. 4f e Fig. 4l, pois as superfícies das estratégias circular e radial com sentido descendente (apesar do maior valor de rugosidade S_a após a estampagem a quente) e estratégia de contornos paralelos (características de corte radial apenas em 1 passada da ferramenta, a central e que apresentou menor valor após o processo de estampagem a quente) apresentaram MTFs, enquanto as demais imagens de superfícies desgastadas não as apresentavam.

Apesar de inicialmente as superfícies dos punções apresentarem valores de S_a semelhantes, a resposta destas superfícies ao processo de estampagem a quente foi diversa. O desgaste foi mais sensível à estratégia de fresamento que ao valor inicial de S_a , sendo menos intenso na estratégia com maior valor de S_a que na estratégia com menor valor.

Nas estratégias em que o desgaste mostrou-se acentuado, o aumento de S_a mostrou-se elevado. Já nas estratégias em que o desgaste foi menos intenso, houve aumento expressivo de S_a para as estratégias circular e radial descendentes, enquanto houve pequena alteração de S_a para a estratégia de contornos paralelos. Para estas estratégias, o desgaste preservou algumas das características superficiais anteriores à usinagem, enquanto para as estratégias ascendentes, o desgaste não preservou essas características. Esta tendência de resultados assemelha-se aos resultados de Hioki *et al.* (2013), em que a vida da matriz mostrou-se inversamente proporcional ao valor da rugosidade e houve diminuição da eficiência do lubrificante de acordo com as marcas de usinagem na superfície da matriz, o que possivelmente ocorreu nos ensaios desses punções. O sentido ascendente mostrou-se mais propenso aos efeitos do desgaste, removendo até mesmo as marcas mais fortes da trajetória da ferramenta.

Considerando-se que o corte ascendente pode provocar marcas verticais nas estratégias circular e espiral e que na estratégia radial as marcas são mais fortes nesse sentido, pode-se concluir que essas marcas verticais facilitam a evolução do desgaste. No momento da estampagem essas marcas estão alinhadas com o fluxo do material, incentivando o desgaste e possivelmente um desempenho pior do lubrificante em relação às demais estratégias analisadas.

Nos presentes ensaios não houve variação dos parâmetros de usinagem. A variação da estratégia a responsável pelas diferentes marcas. Assim, considerando-se que o avanço mais rápido do desgaste diminui a vida útil do punção, recomenda-se evitar o fresamento no sentido ascendente.

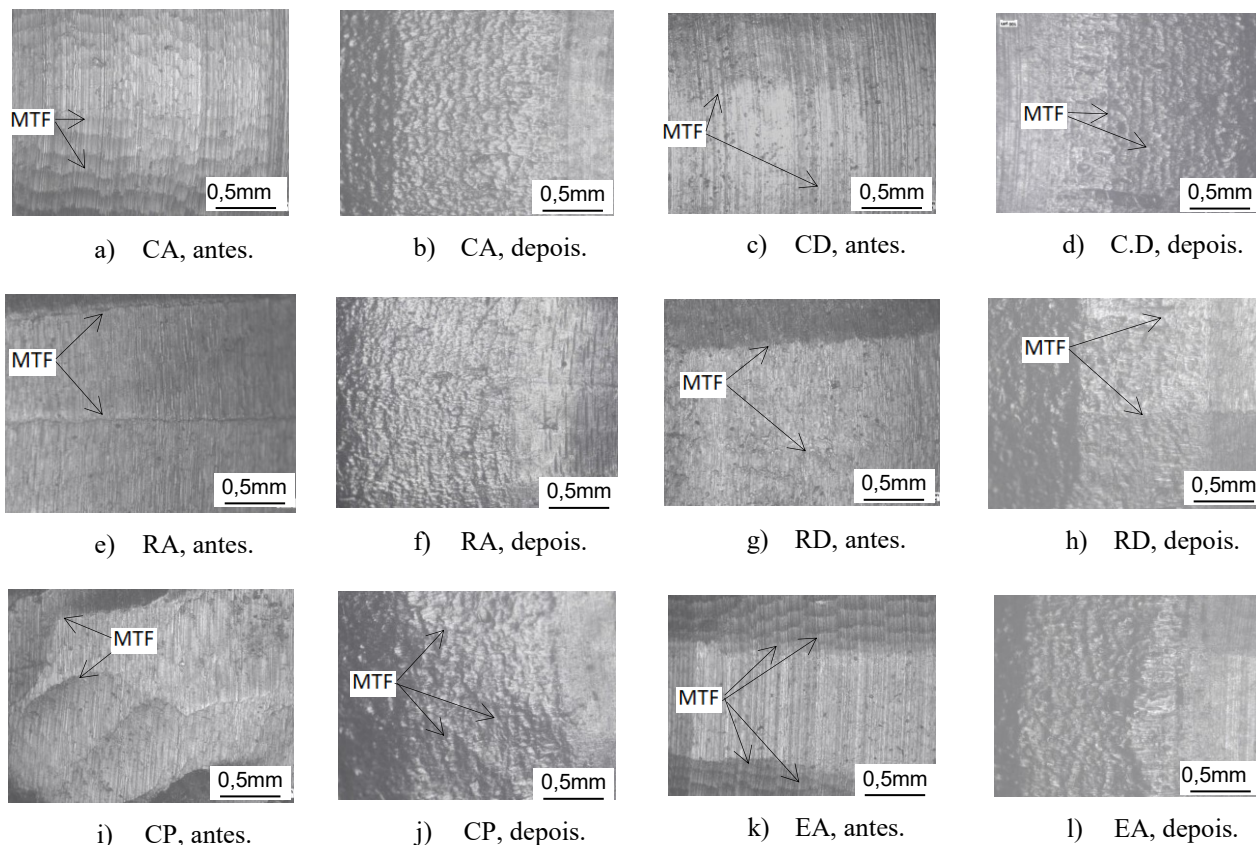


Figura 4. Imagens das superfícies usinadas antes e após o processo de estampagem a quente.

4. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que a escolha da estratégia de fresamento influencia não apenas a rugosidade do punção, inicialmente com valores próximos, mas principalmente a resistência ao desgaste da superfície do punção, com consequente aumento de rugosidade. Após a estampagem das arruelas, as estratégias com sentido ascendente apresentaram desgaste mais acentuado que estratégias com sentido descendente ou estratégia de contornos paralelos. Recomenda-se a não utilização de estratégias de corte ascendentes ou que apresentem marcas alinhadas ao escoamento do material estampado para não afetar a eficiência do lubrificante e aumentar o desgaste precocemente.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem “Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP” (processo número 2013/00551-7), principalmente, e Ace Supertrat LTDA por tornarem possível este artigo.

6. REFERÊNCIAS

- Diniz, A.E., Marcondes, F.C.; Coppini, N.L., 2010. *Tecnologia da Usinagem dos Materiais*. 7. ed, São Paulo: Artliber.
- Hioki, D., Diniz, A.E., Sinatora, A., 2013. “Influence of HSM cutting parameters on the surface integrity characteristics of hardened AISI H13 steel”, *J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol 35, pgs 537 a 553. DOI 10.1007/s40430-013-0050-x.
- Kull Neto, H., Diniz, A.E., Pederiva, R., 2016. “The influence of cutting forces on surface roughness in the milling of curved hardened steel surfaces”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* DOI 10.1007/s00170-015-7811-x.
- Magri, M., Diniz, A.E., Button, S.T., 2013 “Influence of surface topography on the wear of hot forging dies”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, volume 65, páginas 459 a 471. DOI 10.1007/s00170-012-4185-1.
- Novaski, O., 2003. *Introdução à engenharia de fabricação mecânica*, São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 2003.
- Sandvik Coromant, 2000. *Fabricación de Moldes y Matrices – guía de aplicación, C-1120.2 SPA*. Em espanhol.
- Santaella, M.L., 2009. *Fatores de influência no desgaste de matrizes de forjamento a quente de bielas automotivas*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Souza A. F., Machado, A., Beckert, S.F., Diniz, A.E., 2014. “Evaluating the roughness according to the tool path strategy when milling free form surfaces for mold application”, *6th CIRP International Conference on High Performance Cutting, HPC2014*, Berkeley, USA.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

Influence of milling strategies on the wear of punches for hot stamping

Isabela da Costa Castanhera

Anselmo Eduardo Diniz

Faculty of Mechanical Engineering, University of Campinas, Mendeleyev street, 200, Cidade Universitária, Campinas, SP
castanhera@fem.unicamp.br, anselmo@fem.unicamp.br

Sérgio Tonini Button

Faculty of Mechanical Engineering, University of Campinas, Mendeleyev street, 200, Cidade Universitária, Campinas, SP
sergiol@fem.unicamp.br

Abstract. The adequate choice of milling strategies may result in manufacturing dies with better surfaces for metal forming. This study analyzes the influence of high speed milling strategies of punches made of hardened tool steel AISI H13 in hot stamping of steel washers. Punches top semi spheres were milled by strategies circular upward and downward, radial upward and downward, parallel contours and spiral upward, which presented similar roughness results. After first roughness measurement, with similar values, punches were used to stamping washers and roughness was measured, indicating variation of values. Worn surface microscopy results confirmed the influence of milling strategies on wear. Strategies with upward cut presented higher wear.

Keywords: End Milling. Machining. Roughness. Mechanical Conformation. Hot Stamping.

RESPONSIBILITY NOTICE

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