

INFLUÊNCIA DE ESTRATÉGIAS DE FRESAMENTO E DE NITRETAÇÃO A PLASMA NO DESGASTE DE PUNÇÕES PARA ESTAMPAGEM A QUENTE

Isabela da Costa Castanhera

Anselmo Eduardo Diniz

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas,

Rua Mendeleev, 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 Mendeleev, 200, Cidade Universitária, Campinas, SP

sergio1@fem.unicamp.br

Resumo. A escolha de estratégias de fresamento mais adequadas para matrizes pode resultar em superfícies mais adequadas a processos de conformação plástica. Este trabalho analisa a influência de estratégias de fresamento “high speed machining” e do processo de tratamento termoquímico de nitretação a plasma em punções de aço AISI H13 endurecido submetidos à estampagem a quente de arruelas de aço SAE 1020. A semiesfera do topo dos punções foi fresada com estratégias circular ascendente e descendente, radial ascendente e descendente, contornos paralelos e espiral ascendente. Após o fresamento, foram submetidos à nitretação a plasma e a rugosidade foi medida. Os valores de rugosidade apresentaram similaridade. Após a medição da rugosidade, os punções foram submetidos à estampagem a quente das arruelas e novamente medida a rugosidade, que apresentou pequena variação. Os resultados de microscopia das superfícies desgastadas revelaram a influência das estratégias de fresamento no desgaste, sendo as estratégias radiais e circular ascendente mais afetadas pelo desgaste que as demais estratégias.

Palavras chave: Fresamento. Usinagem. Rugosidade. Tratamento termoquímico. Estampagem a quente.

1. INTRODUÇÃO

O uso da técnica de usinagem conhecida por “high speed machining”, HSM, aumentou nos últimos anos por apresentar vantagens importantes em relação a outros processos de acabamento, substituindo processos de eletroerosão e polimento na fabricação de moldes e matrizes, com melhor custo/benefício e outras vantagens. Neste tipo de usinagem, a taxa de remoção de cavaco é menor que em processos convencionais, devido aos baixos valores de parâmetros característicos, porém é maior que no processo de eletroerosão, que ele pretende substituir (Sandvik Coromant, 2000). Para a obtenção de bom acabamento é necessário que, além de parâmetros de usinagem adequados, a vibração da ferramenta seja minimizada, já que ela é, usualmente, bastante esbelta, a fim de copiar pequenos raios e penetrar em cavidades profundas. A escolha de estratégias de usinagem pode influenciar na qualidade superficial, tanto por influenciar na vibração da ferramenta quanto pelas marcas deixadas sobre a superfície, envolvendo tanto marcas de usinagem, quanto marcas híbridas envolvendo usinagem e deformação plástica. Um bom acabamento superficial em matrizes é necessário para que se obtenha boa qualidade do produto forjado. Em operações de fresamento pode haver corte de material com o centro da fresa e vizinhanças, situação na qual a velocidade efetiva de corte é igual ou próxima a zero e pode ser adversa, podendo ser evitada por centros de usinagem com quatro ou cinco eixos capazes de realizar inclinação entre a superfície usinada e a ferramenta (Diniz *et al.*, 2010; Kull Neto *et al.*, 2016; Souza *et al.*, 2014).

O desgaste da matriz é afetado também pela qualidade superficial inicial da matriz, sendo o desgaste abrasivo o fenômeno mais comum, que ocorre devido à interação de duas ou mais superfícies em contato. Causa a deformação e eliminação de elementos superficiais, como resultado de ação mecânica e é influenciado por diversos fatores, como geometria da matriz, condições de trabalho ou impurezas superficiais. Em trabalho a quente, o tempo de contato, a temperatura, a formação de óxidos e a pressão de trabalho facilitam a deformação plástica (Hioki *et al.*, 2013; Magri *et al.*, 2013). Para a análise superficial, é comum a utilização dos parâmetros de rugosidade médios, como 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).

A nitretação a plasma ocorre em câmara a vácuo, em que o plasma é criado pela aplicação de campo elétrico e os íons de nitrogênio são acelerados e bombardeados sobre a superfície a ser nitretada, os quais aquecem e limpam a superfície, fornecendo nitrogênio ativo para a absorção pela superfície. Provoca menores distorções na peça e permite

melhor controle tanto da espessura e da composição das fases da camada nitretada, apresentando 2 regiões distintas: região branca (frágil e mais resistente ao desgaste, facultativa) e região de difusão. A camada branca, não afetada por elementos de liga do aço, é formada pela fase γ' (Fe_4N) (mais tenaz), podendo ocorrer a presença da fase ϵ ($\text{Fe}_2\text{-3N}$) (mais resistente ao desgaste e à fadiga). Na região de difusão, o endurecimento ocorre por solução sólida intersticial e por precipitação de nitretos finamente dispersos e coerentes com a matriz. (Costa e Silva e Mei, 2013).

Este trabalho tem por objetivo a análise da influência de estratégias de fresamento HSM e da nitretação a plasma sobre superfícies de punções após estampagem a quente.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

A Fig. 1 apresenta esquema dos punções de aço H13 usinados por fresamento HSM após têmpera e revenimento (48 HRC). Antes do fresamento, a dimensão R11,60 mm apresentava raio de 11,70 mm. O fresamento HSM foi realizado em um centro de usinagem DMG EVO 40 com rotação de 42.000 rpm, 5 eixos de programação. A ferramenta utilizada possui suporte R216F-12A16C-085 e inserto R216F-12 30 E-L, do tipo *ball nose*, de grão submicrométrico e cobertura TiAlN. Os parâmetros de corte foram: rotação 11.075 rpm; incrementos radial (a_e) e axial de corte (a_p) ambos de 0,10 mm; velocidade nominal de corte de 437 m/min e avanço de 0,10 mm/dente.

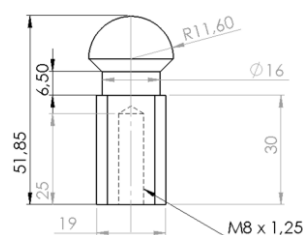
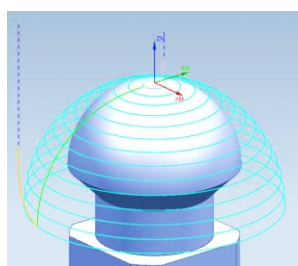
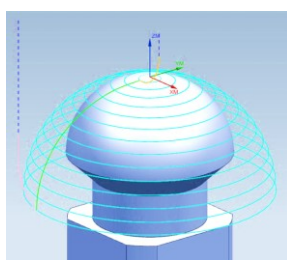


Figura 1. Punções após a usinagem tipo *high speed machining*.

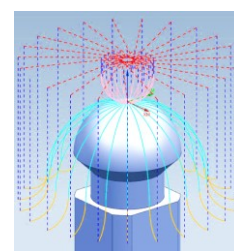
A Fig. 2 apresenta as estratégias de caminho de ferramenta usadas, em que linhas azuis e vermelhas pontilhadas indicam movimento em vazio, linhas amarelas contínuas indicam entrada da ferramenta em corte, linhas azuis claras contínuas indicam o corte, linhas salmão contínuas indicam saída da ferramenta e linhas verdes contínuas indicam correções da trajetória. O corte ascendente inicia-se na base da semiesfera e termina no topo e no descendente este movimento é contrário. Após a usinagem dos corpos de prova, realizou-se o processo de nitretação a plasma com atmosfera de Ar, N_2O e CH_4 à temperatura de 521°C durante 36 horas, sem formação de camada branca. Realizou-se a medição de rugosidade 3D da superfície dos punções. As imagens da superfície foram obtidas com ampliação de 25x. As medições de dureza foram feitas com carga de 1 kgf. Posteriormente à estampagem, realizaram-se novas medições de rugosidade e imagens das superfícies. A região analisada está apresentada como região de interesse na Fig. 3.



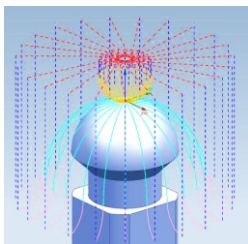
a) Circular ascendente.



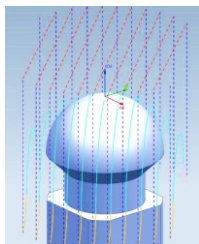
b) Circular descendente.



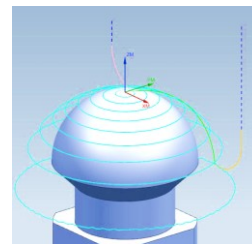
c) Radial ascendente.



d) Radial descendente.



e) Contornos paralelos.



f) Espiral ascendente.

Figura 2. Estratégias utilizadas para usinagem dos punções.

A estampagem foi realizada em arruelas de aço 1020 e dimensões $\varnothing 34 \text{ mm} \times \varnothing 15 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$, aquecidas a 1000°C . Utilizou como lubrificantes grafite, óleo mineral e bissulfeto de molibdênio e foi realizado em prensa com avanço de 10 mm/s , em matriz de aço 4140 temperado e revenido com cavidade inclinada a 50° . Cada punção estampou 115 arruelas. A Fig. 3 apresenta uma vista em corte do processo de estampagem a quente.

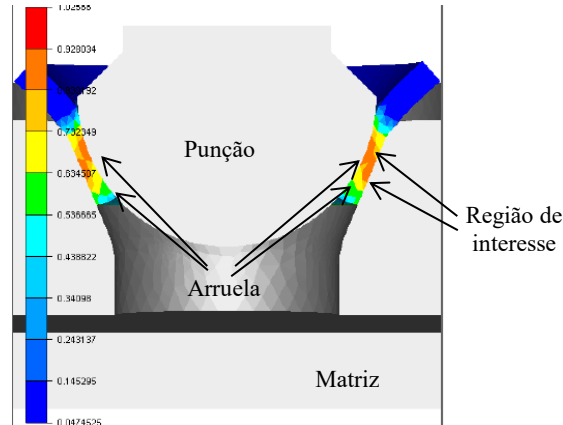


Figura 3. Vista em corte do processo de estampagem a quente da arruela.

3. RESULTADOS

A Tab. 1 apresenta os resultados de rugosidade S_a e de dureza obtidas após a usinagem e nitretação antes e após a estampagem. Observa-se na tabela que os resultados de rugosidade para a situação posterior à aplicação da nitretação mostram similaridade, com o valor mais baixo para a estratégia radial descendente, de $0,61 \mu\text{m}$, e o valor mais alto para a estratégia radial ascendente, de $0,73 \mu\text{m}$. Espera-se que esta diferença não seja significativa na qualidade superficial. Os resultados de dureza mostram que a nitretação endureceu substancialmente os punções (de 48 HRC antes para aproximadamente 72 HRC após a nitretação). Após o processo de estampagem, houve um pequeno aumento do valor de S_a em todas as estratégias, sendo a radial descendente a apresentar o menor valor, próximo ao valor de rugosidade anterior à estampagem, ou seja, manteve alguma resistência ao desgaste provocado pela estampagem. Entretanto, a circular descendente apresentou a menor variação no valor da rugosidade. Em relação à dureza, não se observou importante variação dos valores medidos, entretanto, houve importante diminuição nos valores de desvio-padrão.

Tabela 1. Rugosidade S_a obtidos após usinagem HSM e nitretação a plasma.

Estratégia	$S_a (\mu\text{m})$ (antes/após)	Dur. (HRC) (antes/após)	Estratégia	$S_a (\mu\text{m})$ (antes/após)	Dur. (HRC) (antes/após)
Circular ascendente (CA)	$0,65 \pm 0,08$ / $0,75 \pm 0,08$	$70,70 \pm 3,20$ / $69,83 \pm 0,72$	Circular descendente (CD)	$0,68 \pm 0,06$ / $0,69 \pm 0,05$	$71,37 \pm 2,43$ / $70,25 \pm 0,56$
Radial ascendente (RA)	$0,73 \pm 0,15$ / $0,80 \pm 0,16$	$72,15 \pm 2,32$ / $70,28 \pm 0,93$	Radial descendente (RD)	$0,61 \pm 0,05$ / $0,64 \pm 0,06$	$70,33 \pm 2,80$ / $69,78 \pm 0,22$
Contornos paralelos (CP)	$0,65 \pm 0,08$ / $0,71 \pm 0,05$	$71,18 \pm 1,39$ / $69,95 \pm 0,53$	Espiral ascendente (EA)	$0,63 \pm 0,05$ / $0,73 \pm 0,06$	$70,70 \pm 1,56$ / $70,55 \pm 0,84$

A Fig.4 apresenta as imagens obtidas antes da estampagem junto com imagens obtidas após ela. A sigla MTF se refere a marcas de trajetória de ferramenta. Observa-se nas figs. 4a, 4c, 4e, 4g, 4i e 4k que as marcas causadas pela rotação da ferramenta estão quase apagadas pela nitretação. Observam-se com menor dificuldade as marcas causadas pela compensação da trajetória que podem provocar algumas manchas mais claras nas superfícies, contornando as MTFs. Na estratégia circular ascendente (Fig. 4a), as MTFs assemelham-se a escamas de peixe. As marcas da trajetória circular descendente (Fig. 4c) apresentam-se circulares, sem o aspecto de escama de peixe. Na estratégia radial ascendente (Fig. 4e), as marcas são visualizadas pelas manchas localizadas junto às linhas, enquanto no sentido descendente (Fig. 4g), as marcas são perceptíveis pela visualização das manchas no sentido da linha. A estratégia de contornos paralelos (Fig. 4i) promove estas marcas irregulares e visíveis pelas manchas no contorno das marcas. A estratégia espiral ascendente (Fig. 4k) apresenta estas marcas como um híbrido das marcas da estratégia radial com a estratégia circular ascendente, linhas radiais e escamas de peixe, ambas pouco marcadas pelas manchas. Nas imagens obtidas após a estampagem, o desgaste nas superfícies é semelhante a uma remoção de camada, com as MTFs mais

visíveis. Não se observam marcas perpendiculares às marcas de rotação de ferramenta (fluxo do material durante a estampagem). As imagens das figs. 4d e 4j apresentam superfícies menos desgastadas que as das figs. 4b, 4f, 4h e 4l, pois as superfícies das estratégias circular descendente e estratégia de contornos paralelos apresentaram MTFs um pouco mais fortes que as demais. As imagens presentes nas Fig. 4b, 4f, 4h e 4l apresentam desgaste mais acentuados, com suavização maior das MTFs que nas demais.

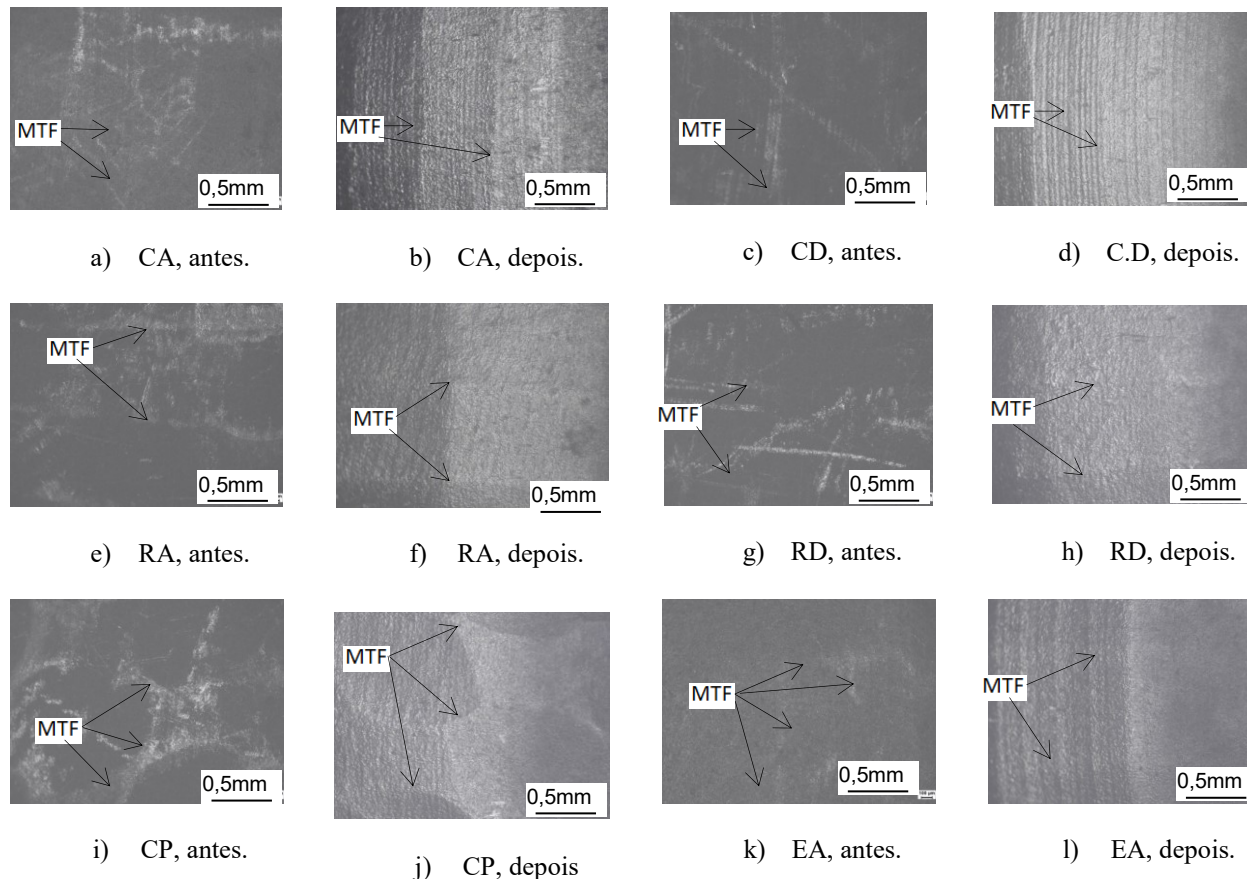


Figura 4. Imagens das superfícies nitretadas a plasma antes e após o processo de estampagem a quente.

O desgaste mostra-se sensível à estratégia de fresamento, apesar da realização da nitretação. Nos ensaios de Hioki *et al.* (2013), a vida da matriz apresentou-se inversamente proporcional à rugosidade S_q e houve diminuição da eficiência do lubrificante de acordo com as marcas de usinagem na superfície. Nos ensaios deste trabalho, o aumento da dureza e a nitretação podem ter auxiliado na redução da evolução do desgaste e na lubrificação. O sentido da usinagem apresentou influência sobre o desgaste para a estratégia circular, sendo a superfície usinada com o sentido descendente mais resistente ao desgaste, visto que manteve o valor de rugosidade posterior à nitretação, mesmo após a estampagem. A estratégia radial apresentou desgaste importante para ambos os sentidos de usinagem, possivelmente pela suavização das marcas de rotação da ferramenta, que dificulta a evolução do desgaste, pois o perfil de rugosidade é perpendicular ao fluxo do material. Assim, as superfícies usinadas pelas estratégias radiais, em ambos os sentidos, e nitretadas apresentariam maior proporção de marcas da trajetória radial, paralelas ao fluxo de escoamento das arruelas, facilitando a evolução do desgaste e reduzindo a lubrificação. Entretanto, a estratégia radial descendente apresentou o menor valor de rugosidade após estampagem. O desgaste para essa estratégia, não influenciou de forma importante o valor de S_a . A estratégia de contornos paralelos apresentou uma superfície com maior integridade após a estampagem, com as MTFs mais nítidas que as demais estratégias e marcas da rotação de ferramenta. As marcas da usinagem foram suavizadas, mas não a ponto de prejudicar a lubrificação ou a resistência ao desgaste. A estratégia espiral ascendente apresenta perfil usinado semelhante tanto à estratégia circular quanto à estratégia radial ambas ascendentes. Entretanto, apresentou maior resistência ao desgaste que as estratégias circular e radial. Possivelmente, a combinação das marcas radiais e circulares foi afetada pela suavização da nitretação a plasma e ofereceu boas condições de operação do lubrificante. Assim, considerando-se que o avanço mais rápido do desgaste diminui a vida do punção, recomenda-se o fresamento com a estratégia de contornos paralelos, circular descendente e espiral ascendente e evitar as estratégias radiais, independentemente do sentido de usinagem.

4. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o processo de nitretação a plasma é capaz de beneficiar mais uma estratégia de fresamento HSM e prejudicar outra. Todas as estratégias utilizadas resultaram em valores de rugosidade próximos após a aplicação da nitretação. As estratégias radiais são prejudicadas pela aplicação da nitretação, pois as marcas que auxiliariam na retenção e atuação do lubrificante são suavizadas e a predominância é de marcas desfavoráveis à resistência ao desgaste. As estratégias radiais apresentaram desgaste mais intenso que as de contornos paralelos, espiral ascendente e circular descendente. O alinhamento das marcas verticais com o escoamento do material reduz a eficiência do lubrificante e possibilita o crescimento do desgaste.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESP (processo número 2013/00551-7) e a empresa Ace Supertrat LTDA.

6. REFERÊNCIAS

- Costa e Silva, A.L.V. da, Mei, P.R., 2013. *Aços e Ligas Especiais*, 3.a edição revista, São Paulo: editora Blucher.
- 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: Editora Edgard Blücher LTDA, 2003.
- Sandvik Coromant, 2000. *Fabricación de Moldes y Matrices – guía de aplicación, C-1120.2 SPA*. Em espanhol.
- 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 and plasma nitriding on wear of punches for hot stamping

Isabela da Costa Castanhera

Anselmo Eduardo Diniz

Sérgio Tonini Button

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

Abstract. The choice of adequate milling strategies may result in better superficies of matrixes to plastic deformation processes. This study analyzes the influence of plasma nitriding in high speed milling strategies of punches made of tool steel AISI H13 hardened to 48 HRC 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. After milling, punches were submitted to plasma nitriding and a first roughness measurement. Roughness values presented similar values. After roughness measurement, punches were submitted to washers hot stamping and roughness measured, indicating lo variation. Worn surface results of microscopy presented influence of milling strategies on wear evolution. Radial strategies and circular upward strategy presented higher wear than the other strategies.

Keywords: End Milling. Machining. Roughness. Thermochemical treatment. Hot Stamping.

RESPONSIBILITY NOTICE

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