

INFLUÊNCIA DAS ESTRATÉGIAS DE FRESAMENTO NO DESGASTE DE PUNÇÕES NITROCARBONETADOS PARA 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 matrizes resulta 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 nitrocarbonetação Tenifer® em punções de aço H13 endurecido a 48 HRC submetidos à estampagem a quente de arruelas de aço 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 ao processo de nitrocarbonetação. Os valores de rugosidade obtidos foram similares. Após a medição da rugosidade, os punções foram submetidos à estampagem a quente das arruelas. Os resultados de microscopia das superfícies desgastadas revelaram a influência das estratégias de fresamento no dano superficial, sendo as estratégias radiais as mais afetadas pelo desgaste e as estratégias circulares as mais resistentes ao desgaste.

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

1. INTRODUÇÃO

A utilização da técnica de usinagem conhecida como “high speed machining”, HSM, aumentou nos últimos anos por apresentar vantagens importantes em relação a outros processos de acabamento fino. A técnica substitui processos de eletro erosão e polimento na fabricação de moldes e matrizes, com melhor custo/benefício e também com ganhos em termos ambientais e de saúde do operador. Neste tipo de usinagem, a taxa de remoção de cavaco é menor que em processos de usinagem convencionais, devido aos baixos valores de parâmetros característicos, porém é bem maior que no processo de eletro erosão, que ele pretende substituir (Sandvik Coromant, 2000). Para a obtenção de bom acabamento superficial é necessário que, além de parâmetros de usinagem adequados, a vibração, principalmente da ferramenta, seja controlada e 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 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 marcas híbridas envolvendo 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 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. Há centros de usinagem com quatro ou cinco eixos capazes de utilizar estratégias de inclinação entre a superfície usinada e a ferramenta e assim evitar o corte em regiões de baixa velocidade de corte (Diniz *et al.*, 2010; Kull Neto *et al.*, 2016; Lacalle e Lamikiz, 2009; Souza *et al.*, 2014).

O desgaste da superfície da matriz é também afetado pela qualidade superficial inicial da matriz e apresenta-se como 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 do molde ou matriz, condições ambientais em que a matriz trabalha, impurezas superficiais ou pressão e temperatura de trabalho. 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 rugosidade média aritmética R_a (medição linear) ou S_a (medição espacial) e rugosidade média quadrática R_q (medição linear) 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 nitrocarbonetação ferrítica, adicionam-se nitrogênio e carbono ao material, com formação facultativa da região branca para aumentar a resistência ao desgaste superficial. O processo pode ser realizado a gás, com banho de sais não tóxicos e a plasma, visando o endurecimento por solução sólida na matriz e por formação da região branca, composta

por nitretos, carbonetos e nitrocarbonetos. O processo de nitrocarbonetação Tenifer® é realizado em banho de sais e oferece como vantagem menor distorção geométrica da peça tratada, menores custos e menor tempo de tratamento, em comparação a outros processos de nitrocarbonetação. Os sais utilizados no processo Tenifer® são classificados como TF1 (composto por cianetos e cianatos), REG1 (sal regenerador) e AB1 (utilizado em resfriamento, quando necessário). O processo Tenifer® facilita a formação de camada branca (Durferit, 2018) e, devido às reações termoquímicas envolvidas, aumentar a rugosidade em relação à superfície antes do tratamento (Marušić *et al.*, 2006).

Este trabalho tem por objetivo a análise da influência de estratégias de fresamento HSM sobre superfícies de punções após estampagem a quente, superfícies estas que sofreram nitrocarbonetação por processo Tenifer®.

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 R 11,60 mm tinha raio de 11,70 mm. O fresamento HSM foi realizado em um centro de usinagem DMG EVO 40 com rotação do eixo-árvore de 42.000 rpm, 5 eixos de programação. A ferramenta utilizada possui suporte de código R216F-12A16C-085 e inserto intercambiável código R216F-12 30 E-L, do tipo *ball nose*, de grão submicrométrico e cobertura TiAlN. Os parâmetros utilizados na usinagem foram: rotação de 11.075 rpm; incremento radial de corte (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. A Fig. 2 apresenta as estratégias de caminho de ferramenta utilizadas, fora de escala, em que linhas azuis e vermelhas (ambas pontilhadas) indicam movimento em vazio, linhas amarelas contínuas indicam entrada da ferramenta em corte, linhas azuis claras contínuas indicam movimento de 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.

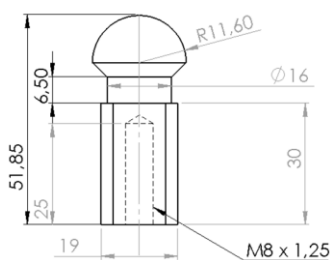
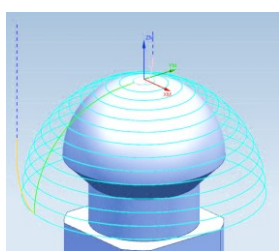
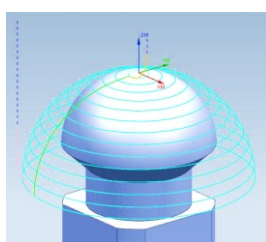


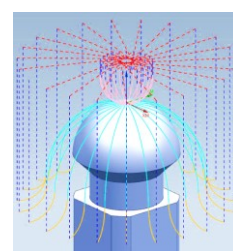
Figura 1. Punções após a usinagem tipo *high speed machining*.



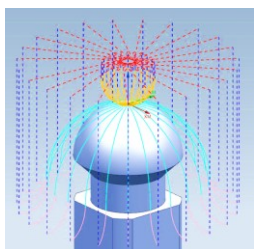
a) Circular ascendente.



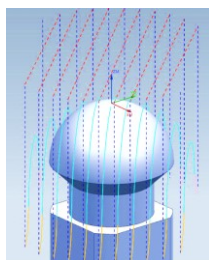
b) Circular descendente.



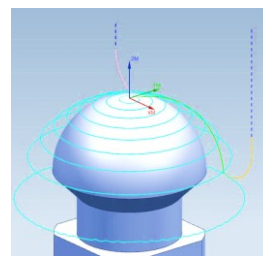
c) Radial ascendente.



d) Radial descendente.



e) Contornos paralelos.



f) Espiral ascendente.

Figura 2. Estratégias utilizadas para usinagem dos punções.

Após a usinagem, os corpos de prova foram imersos em banho de sais composto por sais TF1 e REG1 por 1h30min a 565°C e depois resfriados ao ar e submetidos à decapagem química. Então se realizou a medição de rugosidade 3D de suas superfícies. As imagens da superfície foram obtidas com ampliação de 25x. Todas as medições de dureza foram feitas com carga de 1 kgf. A estampagem foi realizada em arruelas de aço 1020 e dimensões Ø 34 mm x Ø 15 mm x 2 mm, aquecidas a 1000 °C. O lubrificante utilizado foi graxa de grafite, óleo mineral e MoS₂ e a estampagem foi realizada 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. Posteriormente à estampagem a quente, realizaram-se novas medições de rugosidade e imagens das superfícies. A região analisada está apresentada como região de interesse na Fig. 3.

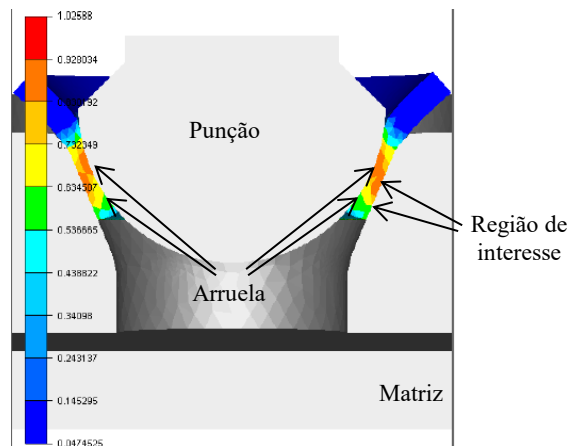


Figura 3. Vista em corte do processo de estampagem a quente da arruela.

3. RESULTADOS

A Tab. 1 apresenta os resultados de rugosidade S_a obtidas após a usinagem HSM e nitrocarbonetação Tenifer®.

Tabela 1. Rugosidade S_a obtidos após usinagem HSM e nitrocarbonetação Tenifer®.

Estratégia	S_a (µm) (antes/após)	Dur. (HRC) (antes/após)	Estratégia	S_a (µm) (antes/após)	Dur. (HRC) (antes/após)
Circular ascendente (CA)	0,79 ± 0,07 / 1,13 ± 0,19	75,65 ± 2,20 / 74,10 ± 1,56	Circular descendente (CD)	0,82 ± 0,12 / 1,04 ± 0,14	74,23 ± 1,13 / 74,23 ± 1,67
Radial ascendente (RA)	0,69 ± 0,10 / 0,83 ± 0,15	75,45 ± 2,09 / 75,93 ± 0,52	Radial descendente (RD)	0,86 ± 0,10 / 1,13 ± 0,54	74,12 ± 1,19 / 75,25 ± 2,69
Contornos paralelos (CP)	0,76 ± 0,17 / 0,73 ± 0,08	74,32 ± 1,81 / 75,63 ± 1,35	Espiral ascendente (EA)	0,83 ± 0,11 / 0,82 ± 0,09	76,48 ± 1,43 / 74,43 ± 1,77

Observa-se que os resultados de rugosidade apresentados na tabela 1 mostram similaridade, com o valor mais baixo de rugosidade para a estratégia radial ascendente, de 0,69 µm, e o valor mais alto para a estratégia radial descendente, de 0,86 µm. Espera-se que a diferença de 0,17 µm gere alguma diferença na qualidade superficial durante o processo de estampagem a quente. Após o processo de estampagem a quente, as estratégias circulares e radiais apresentaram aumento no valor de rugosidade S_a , enquanto as estratégias de contornos paralelos e espiral ascendente não apresentaram variação importante nos valores de rugosidade. Os resultados de dureza mostram que a nitrocarbonetação endureceu substancialmente os punções (de 48 HRC antes para aproximadamente 74 HRC após a nitrocarbonetação) e que a dureza obtida foi mantida pelos punções após o trabalho de estampagem. A Fig. 4 apresenta as imagens obtidas antes e depois da estampagem. A sigla MTF se refere às marcas de trajetória de ferramenta. Observam-se na Fig.4 a suavização das marcas de rotação da ferramenta pela nitrocarbonetação. Algumas manchas nas superfícies formaram-se junto a MTFs. Observam-se as marcas causadas pela trajetória da ferramenta que provocam algumas manchas mais claras nas superfícies dos punções, contornando as MTFs. Na estratégia circular descendente (Fig. 4a) e na estratégia circular ascendente (Fig. 4c), as MTFs apresentam-se circulares, com efeito retentor de lubrificante. Na estratégia radial ascendente (Fig. 4e), as MTFs (linhas radiais) lembram trincas, enquanto no sentido descendente (Fig. 4g), as marcas perceptíveis das linhas radiais não apresentam essa semelhança com trincas. A estratégia de contornos paralelos (Fig. 4i) promove estas marcas irregulares e marcas da rotação da ferramenta são visíveis. A estratégia espiral ascendente (Fig. 4k) apresenta as marcas de trajetória de ferramenta como híbridas das marcas da estratégia radial com a estratégia circular ascendente.

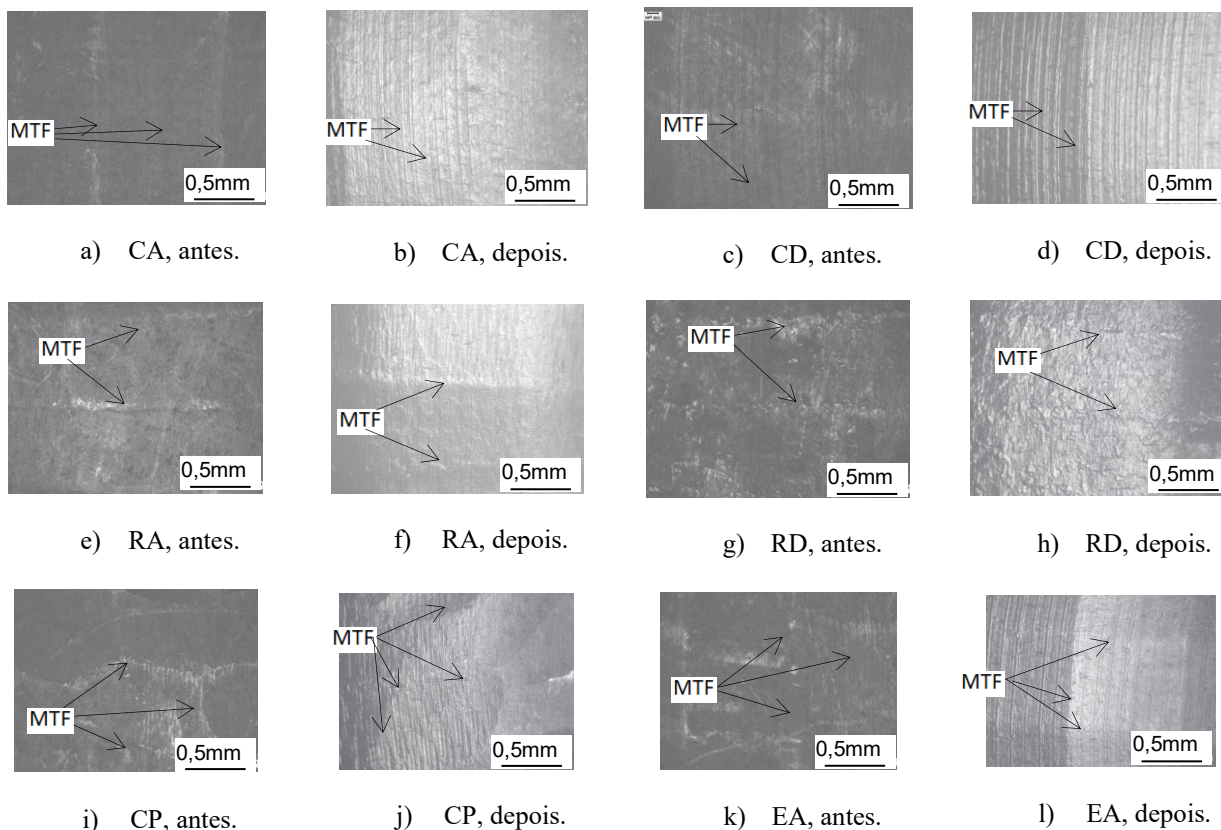


Figura 4. Imagens das superfícies nitrocarbonetadas antes e após o processo de estampagem a quente.

Nas imagens obtidas após a estampagem, o desgaste nas partes das superfícies ensaiadas é semelhante à remoção de camada, com as MTFs mais visíveis. Não se observam marcas de dano superficial (perpendiculares às marcas de rotação da ferramenta) causadas por fluxo do material durante a estampagem. Os desgastes mais intensos são observados na Fig. 4h (radial descendente) e na Fig. 4f (radial ascendente), respectivamente, mais intenso e segundo mais intenso, em que as marcas de trajetória de ferramenta são parcial ou totalmente apagadas. As estratégias circulares, tanto ascendente (Fig. 4b) quanto descendente (Fig. 4d), e a estratégia espiral ascendente (Fig. 4l) apresentam certa integridade superficial após a estampagem, com a visualização das MTFs. A estratégia de contornos paralelos (Fig. 4j) apresenta as MTFs suavizadas. O desgaste mostra-se sensível à estratégia de fresamento, apesar da realização de nitrocarbonetação.

Nos ensaios de Hioki *et al.* (2013), a vida da matriz foi inversamente proporcional ao valor da rugosidade e houve diminuição da eficiência do lubrificante de acordo com as marcas de usinagem na superfície. No presente trabalho, o aumento da dureza e a nitrocarbonetação influenciaram na evolução do desgaste e na lubrificação. A estratégia radial gerou dano importante em ambos os sentidos de usinagem, pois a suavização das marcas de rotação da ferramenta diminui a resistência ao desgaste e a presença quase exclusiva das marcas radiais, no mesmo sentido do fluxo do material estampado, prejudica a lubrificação. O valor de S_a anterior à estampagem não influenciou a evolução do desgaste, visto que as estratégias que geraram a maior e a menor rugosidade apresentaram imagens semelhantes após a estampagem. A estratégia de contornos paralelos apresentou as MTFs ainda visíveis após o processo de estampagem a quente, com as marcas suavizadas. A estratégia espiral ascendente apresenta características de usinagem semelhantes tanto à estratégia circular quanto à estratégia radial mesmo após o processo de estampagem a quente, de modo que a presença do componente circular minimizou o efeito das linhas radiais e resultou em uma resistência ao desgaste, pois o valor de rugosidade apresentado após a estampagem a quente foi semelhante ao valor após o processo de nitrocarbonetação. As estratégias circulares apresentaram as marcas de trajetória de ferramenta mais nítidas após o processo de estampagem a quente, especialmente no sentido descendente, apesar do aumento do valor de rugosidade. Assim, recomenda-se o fresamento com a estratégia circular descendente e circular ascendente e evitar as estratégias radiais, independentemente do sentido de usinagem, visto que apresentaram maior desgaste e aumento da rugosidade, para maior vida do punção.

4. CONCLUSÃO

A nitrocarbonetação é capaz de beneficiar mais uma estratégia de fresamento HSM que uma outra. As estratégias radiais são prejudicadas pela sua aplicação, pois as marcas que auxiliariam na retenção e atuação do lubrificante são suavizadas e a predominância é de marcas desfavoráveis à resistência ao desgaste, independente da rugosidade anterior à estampagem. O alinhamento das marcas verticais com o escoamento do material estampado reduz a eficiência do lubrificante e possibilita o crescimento do desgaste. As estratégias circulares, especialmente a descendente, são recomendadas para o fresamento para posterior aplicação de nitrocarbonetação.

5. AGRADECIMENTOS

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

6. REFERÊNCIAS

- Diniz, A.E., Marcondes, F.C.; Coppini, N.L., 2010. *Tecnologia da Usinagem dos Materiais*. 7. ed, São Paulo: Artliber.
- Durferit, Catálogo de fabricante, disponível em http://www.durferit.com.br/downloads/Catalogo_Durferit_baixa.pdf, acessado em 04 de janeiro de 2018.
- 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, pp 537-553,. 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.
- Lacalle, L.N.L. e Lamikiz, A., 2009. *Machine Tools for High Performance Machining*, London: Springer Verlag.
- 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.*, vol 65, pgs 459-471. DOI 10.1007/s00170-012-4185-1.
- Marušić, K., Otmačić, H., Landek, D., Cajner, F., Stupnišek-Lisac, E., 2006. Modification of carbon steel surface by the Tenifer® process of nitrocarburizing and post-oxidation, *Surface & Coatings Technology*, vol 201, pgs 3415 a 3421. doi:10.1016/j.surfcoat.2006.07.231.
- 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 Int Conf on High Performance Cutting*, USA.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

Influence of milling strategies on wear of nitrocarburized 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, sergio1@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 nitrocarburizing in high speed milling strategies of punches made of hardened H13 steel in hot stamping of 1020 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 Tenifer® nitrocarburizing. Roughness values were similar. After roughness measurement, punches were submitted to washers hot stamping. Milling strategies influenced wear evolution. Radial strategies presented the highest surface damage than and circular strategies the highest wear resistance.

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.