

ESTUDO DO DESGASTE DE FRESAS DE AÇO RÁPIDO NITRETADAS E COM TRATAMENTO DUPLEX NA USINAGEM DO AÇO SAE 1020

Data de aceite: 02/05/2024

Marcus Vinicius da Silva Mendes

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Piauí, Avenida Universitária, Teresina, Piauí, Brasil
<https://lattes.cnpq.br/5152057768402635>

Marcos Guilherme Carvalho Braulio Barbosa

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Piauí, Avenida Universitária, Teresina, Piauí, Brasil
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Piauí, Avenida Universitária, Teresina, Piauí, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5456010883385583>

Patrick Abreu de Oliveira

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Piauí, Avenida Universitária, Teresina, Piauí, Brasil
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Piauí, Avenida Universitária, Teresina, Piauí, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3985729900983345>

RESUMO: Ferramentas de corte mais duráveis têm grande contribuição na economia e rapidez dos processos de usinagem, visto a menor parada da produção para troca de ferramentas, maiores velocidades de corte e uma menor quantidade de ferramentas. Vários métodos de melhoria de ferramentas vêm sendo estudados e desenvolvidos, dentre eles tem grande destaque a nitretação a plasma em aços rápidos. Este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento de fresas de topo de aço rápido nitretadas em diferentes condições de temperatura e com tratamento duplex com deposição de TiN na usinagem do aço SAE 1020. Para o estudo do desempenho das ferramentas, utilizou-se microscopia para captura de imagens de desgaste em todas as etapas de usinagem e medição da corrente elétrica requisitada pelo Centro de Usinagem. Para o estudo da superfície usinada, utilizou-se metalografia e ensaio de microdureza. Os ensaios de usinagem foram feitos fixando os parâmetros $v_c = 20$ m/min e $a_p = 0,5$ mm. Notou-se que o mecanismo de abrasão influenciou fortemente no desgaste das ferramentas. A fresa nitretada a 450 °C foi a que apresentou melhor comportamento em relação às fresas nitretadas a 350 °C e

400 °C, sendo uma das que obteve menores valores de corrente elétrica e maior número de passes, maior remoção de material. A fresa com tratamento duplex não teve comportamento satisfatório em comparação com as nitretadas. Verificou-se maiores valores de microdureza nas regiões encruadas da superfície usinada em relação ao centro da peça.

PALAVRAS-CHAVE: Usinagem, Fresamento, Nitretação, Aço Rápido, Desgaste.

STUDY OF WEAR OF NITRIDED HIGH-SPEED STEEL MILLING CUTTER WITH DUPLEX TREATMENT IN MACHINING SAE 1020 STEEL

ABSTRACT: Durable cutting tools make a significant contribution to the economy and speed of machining processes, reducing production downtime for tool changes, allowing higher cutting speeds, and requiring fewer tools. Various methods for improving tools have been studied and developed, with plasma nitriding of high-speed steels being particularly notable. This study aimed to analyze the performance of nitrided high-speed steel end mills under different temperature conditions and with duplex treatment involving TiN deposition in the machining of SAE 1020 steel. Microscopy was used to capture wear images at all machining stages, and the electrical current required by the machining center was measured to evaluate tool performance. Metallography and microhardness testing were employed to study the machined surface. Machining tests were conducted with fixed parameters $v_c = 20$ m/min and $a_p = 0.5$ mm. It was observed that abrasion strongly influenced tool wear. The end mill nitrided at 450°C exhibited the best performance compared to those nitrided at 350°C and 400°C, showing lower electrical current values and a higher number of passes, indicating greater material removal. However, the end mill with duplex treatment did not show satisfactory performance compared to the nitrided ones. Higher microhardness values were found in the work-hardened regions of the machined surface compared to the center of the workpiece.

KEYWORDS: Machining, Milling, Nitriding, High-Speed Steel, Wear.

INTRODUÇÃO

O fresamento é um processo mecânico destinado à obtenção de quaisquer superfícies através da remoção de material por ferramentas rotativas, geralmente multicortantes, cujos dentes removem uma pequena quantidade de material em cada revolução (Ferraresi, 1977).

Os avanços, em grande parte, não ultrapassam o valor de 0,25 mm/dente. Mesmo os avanços sendo considerados leves, as taxas de remoção de material são altas devido à quantidade de dentes que a fresa possui (Shaw, 2005 e Trent, 2000).

Entre os vários tipos de ferramentas de corte utilizadas no mercado, estão as fresas de aço rápido – HSS. O aço rápido é amplamente utilizado na usinagem devido as qualidades que apresenta, como a dureza a quente, que segundo Chiaverini (2008) essa é a propriedade mais importante dos aços rápidos, que garante trabalhos na faixa de 550 °C a 600 °C.

Na procura por maior durabilidade dessas ferramentas, surgem os tratamentos termoquímicos superficiais, que garantem uma maior dureza e maior resistência ao

desgaste, tendo como exemplo a nitretação a plasma. Também, aparecem nesse contexto os revestimentos, sendo um dos mais utilizados o nitreto de titânio TiN, que proporciona maior dureza, estabilidade térmica e resistência à abrasão (Bashir et al., 2017). Klocke (2011) também diz que as propriedades dos aços rápidos relacionadas ao desgaste podem ser aprimoradas com tratamentos de superfície, como a nitretação, que é o enriquecimento da camada superficial com nitrogênio.

Por meio de variações de parâmetros como pressão, composição do gás e temperatura, é possível produzir diferentes estruturas de camada nitretada (Tier, 1998). Ainda de acordo com Tier (1998), na nitretação de um aço, duas zonas podem surgir na superfície da peça: a camada de compostos (mais externa e composta por nitretos de ferro) e a zona de difusão, onde o nitrogênio se encontra como átomos intersticiais ou como nitretos de liga finamente precipitados, sendo a espessura da zona de difusão dependente da temperatura, tempo de tratamento e do conteúdo de elementos de liga do aço.

No campo de estudo da usinagem há a análise de tempo de vida de ferramentas de corte, que estabelece a produtividade de uma ferramenta até que ela atinja um desgaste estipulado como critério de fim de vida, ou até que ela sofra fraturas que a torne inutilizável. Esse desgaste pode aparecer em vários tipos.

Segundo Childs et al. (2000), o desgaste de cratera pode reduzir muito a vida útil da ferramenta de corte por ação de deformação plástica ou fratura. Ferraresi (1977) diz que a ruptura da ponta ou aresta cortante ocorre devido a grandes forças de usinagem em casos de material quebradiço, corte interrompido e parada instantânea do movimento de corte sem a retirada prévia da ferramenta de corte. O desgaste de flanco é caracterizado pela perda de material na superfície de folga da ferramenta de corte pelo atrito com a superfície usinada e o desgaste de entalhe aparece com a usinagem de materiais duros, sendo produto da abrasão, e se localiza nos dois extremos de contato entre a peça e superfície de folga (Barbosa, 2021).

Para melhor compreender o comportamento e vida das ferramentas de corte, faz-se necessário a medição dos seus desgastes. Para o desgaste de flanco, pode-se medir a largura do desgaste (VB_B) e largura máxima do desgaste ($VB_{Bmáx}$).

Este trabalho teve como objetivo comparar o desempenho de fresas de topo de aço rápido, na usinagem do aço SAE 1020, nitretadas em diferentes temperaturas e com tratamento duplex com deposição de TiN. Além disso, analisar as características da superfície da peça após a usinagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

As peças a serem usinadas foram blocos de aço SAE 1020 de dimensões 49 x 75 x 36 mm, um para cada ferramenta testada. Foram utilizadas quatro fresas de topo de aço rápido do tipo inteiriça, do tipo mostrada na Fig. 1, todas submetidas a tratamento termoquímico superficial de nitretação, sendo uma delas com tratamento duplex.

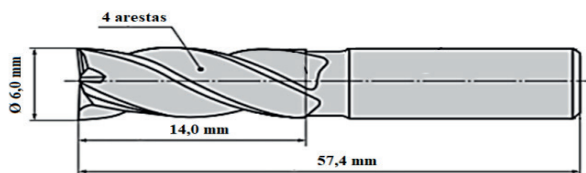


Figura 1 – Fresa de topo inteiriça. Adaptado de Mitsubishi Materials, 2022.

Os tratamentos foram realizados utilizando a proporção de 50% nitrogênio e 50% hidrogênio durante três horas. A pressão foi de cerca de 2 mbar nas nitreções e 0,6 mbar na deposição, esse último sendo realizado durante uma hora e meia. A máquina ferramenta utilizada nos ensaios foi um Centro de Usinagem Vertical ROMI modelo D600, de rotação máxima de 8000 rpm e motor principal de 20 CV. Os parâmetros de usinagem adotados nos ensaios são detalhados na Tab. 1.

v_c	f_z	a_p	a_e	v_f
20 m/min	0,05 mm/dente	0,5 mm	4 mm	220 mm/min

Tabela 1 – Parâmetros de corte

As condições de parada adotadas para as ferramentas foram de desgaste de flanco máximo de 0,60 mm ou fratura da ferramenta antes de atingir tal medida para desgaste de flanco.

Para monitorar o desgaste das fresas em cada etapa dos ensaios, utilizou-se um microscópio óptico digital de ampliação máxima de 1000x, que foi fixado em uma base construída no laboratório para ser acoplada na mesa da máquina ferramenta. Essa montagem possibilitou maior agilidade e fotos no mesmo padrão e posição para todas as ferramentas. A aproximação da fresa até o microscópio foi realizada por um subprograma dentro do programa de usinagem, no CNC.

Durante o período de corte, remoção de material, o valor RMS médio de corrente elétrica foi selecionado para comparação entre as diferentes condições de tratamento térmico da ferramenta. Para isso, foi utilizado um sistema com três sensores de efeito hall, modelo SCT – 013 – 000, de range 0 a 100 A; uma placa de aquisição de dados montada com resistores divisões de tensão, resistor de carga e capacitor de filtro, além de um microcontrolador Atmega 2569. Os valores RMS de corrente elétrica foram obtidos para cada dois passes de usinagem, equivalente a um ciclo do programa, que vai desde a aproximação da ferramenta na peça, usinagem de dois passes, recuo da ferramenta e posicionamento no microscópio para captura de imagens.

Para as imagens de metalografia das peças usinadas, utilizou-se um microscópio BEL Photonics MTM-1A. Os ensaios de microdureza foram realizados em um equipamento de teste de microdureza Vickers do modelo ISH-TDV1000A da marca INSIZE. Para cada ensaio de microdureza nas amostras do material usinado, foi utilizada uma carga de 100 gf durante 15 segundos.

Uma amostra de uma das peças usinadas foi cortada e preparada para imagens de metalografia e ensaio de microdureza. A superfície polida foi preparada perpendicular à superfície usinada para que fosse possível visualizar a camada superficial afetada pela usinagem, espessura do encruamento e comparativo dos grãos da superfície e núcleo da peça, além da microdureza dessas regiões.

Os resultados foram analisados em duas etapas: a primeira com resultados sobre o desgaste das ferramentas e a segunda com os associados às superfícies usinadas. Para melhor mencionar as ferramentas, adotou-se as nomenclaturas mostradas na Tab. 2.

Nomenclatura	Tratamento
HSS-350	Nitretação 350°C
HSS-400	Nitretação 400°C
HSS-400D	Duplex 400°C
HSS-450	Nitretação 450°C

Tabela 2 – Nomenclaturas das ferramentas

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desgaste

A fresa HSS-450 suportou 12 passes na peça até fraturar um dos dentes, atingindo o fim de vida. O número de passes não foi suficiente para iniciar desgaste de flanco considerável, como se vê nas Fig. 2(a) e 2(b). A ruptura do dente pode ser associada à dureza atingida pelo processo de nitretação a uma maior temperatura, visto que quanto maior a temperatura e tempo de nitretação, maior poderá ser a profundidade da camada endurecida. Com uma camada dura maior, a aresta de corte tende a perder a capacidade a absorção de choques, o que é desvantajoso para processo de fresamento, corte interrompido.

A ferramenta HSS-350 apresentou grandes lascamentos em todos os dentes após 12 passes na peça. Os lascamentos se deram na forma de camadas paralelas à superfície original, como pode se ver na Fig. 2(c) e 2(d), o que leva a crer que a camada endurecida pelo processo de nitretação foi arrancada, provavelmente próximo à zona de transição da camada endurecida.

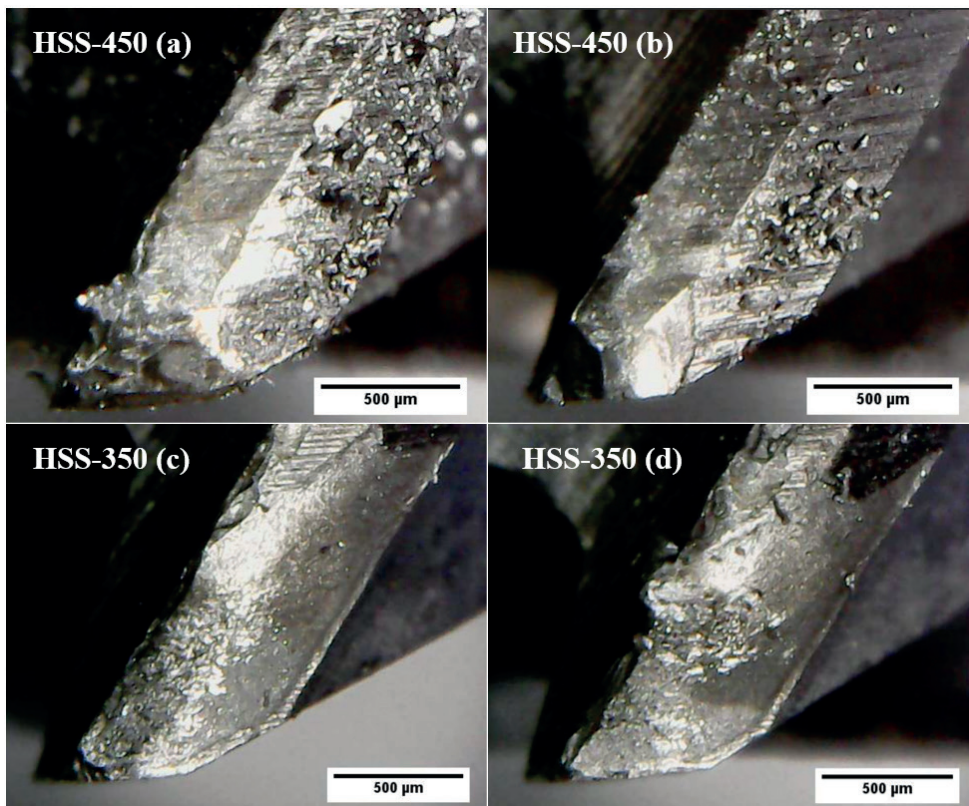


Figura 2 – Fresas HSS-450 e HSS-350 após ensaios

Na Figura 3(a) observa-se falhas na camada depositada antes dos ensaios da fresa HSS-400D. Ela atingiu o critério de parada rapidamente, com apenas 6 passes. Já nos dois primeiros passes a camada de nitretos foi removida, como pode ser visto na Fig. 3(b). Três dos dentes apresentaram fraturas em suas pontas. As crateras apresentaram uma característica rugosa, Fig. 3(c), o que pode estar associado a uma remoção de material pelo efeito da adesão, mecanismo que pode ter sido propiciado pela camada de deposição removida durante a abrasão do material da peça com a ferramenta e adesão de material pelo fluxo irregular de cavaco na superfície da fresa, característico de um processo de corte interrompido a baixa velocidade de corte.

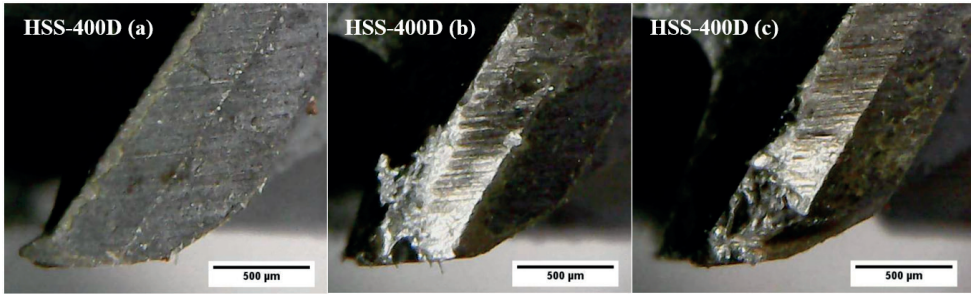


Figura 3 – Fresa HSS-400D. a) antes do ensaio b) camada TiN removida c) fratura acentuada

A fresa HSS-400 atingiu o critério de parada em 10 passes, sendo que até o oitavo ela não apresentou desgastes expressivos que a comprometessem, como se vê na Fig. 4(a). No décimo passe, ela sofreu rupturas similares às da fresa HSS-450, Fig. 4(b). Assim como a HSS-450, essa ferramenta teve um bom comportamento quanto a desgaste por abrasão até atingir o fim de vida. Em condições de corte mais brandas, como um menor avanço, essas duas ferramentas poderiam ter melhor comportamento e vida útil em relação às outras duas.

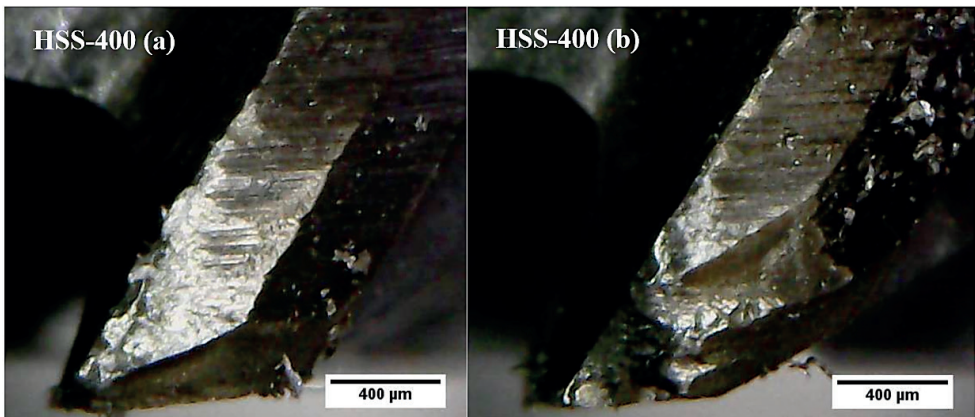


Figura 4 – Fresa HSS-400

As médias dos valores RMS de corrente elétrica medidos durante a remoção de material pelas fresas estão representados no Gráfico 1. Percebe-se que a fresa HSS-450 foi a que menos solicitou o motor da máquina-ferramenta e, levando em conta que seu desgaste foi o menos acentuado entre as demais fresas, é notável que ela apresentou um dos melhores comportamentos entre as ferramentas. Logo em seguida, tem-se que a fresa HSS-400 apresentou um dos menores valores, também associado ao seu menor desgaste.

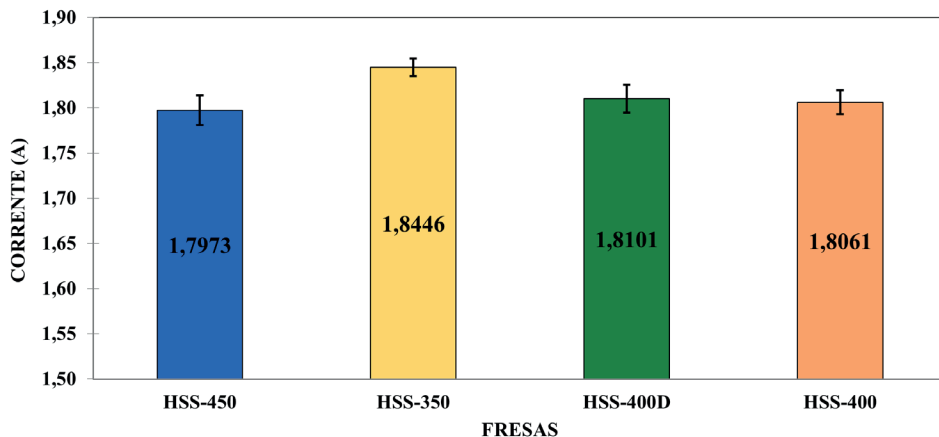


Gráfico 1 – Média das correntes solicitadas por cada fresa na remoção de material

Metalografia e microdureza da superfície usinada

A Figura 5 mostra a imagem obtida por metalografia em que é possível observar a microestrutura do aço, de baixo teor de carbono, além da diferença entre a superfície deformada pela usinagem e centro da amostra.

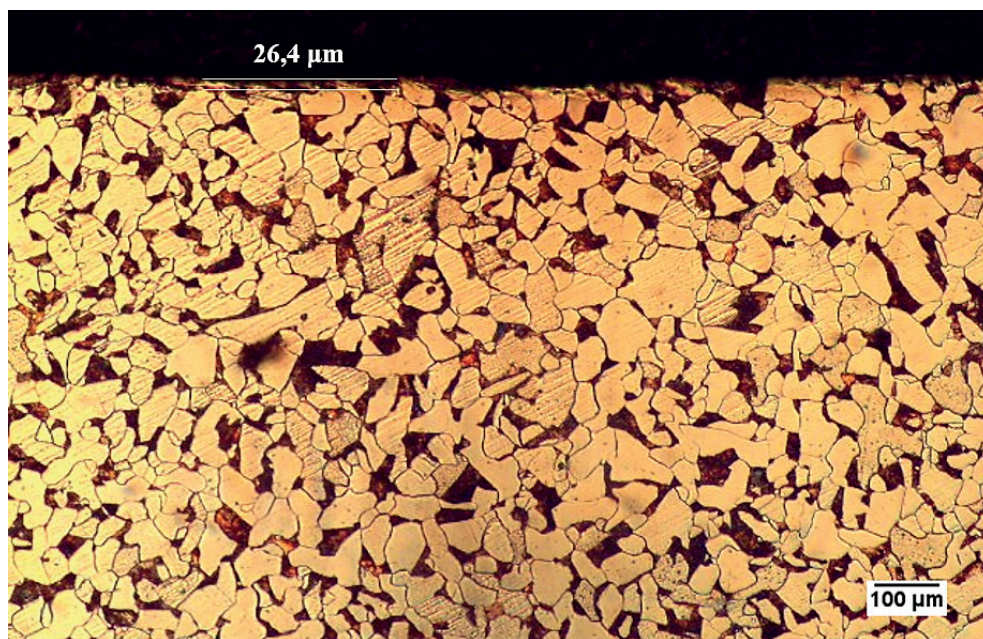


Figura 5 – Imagem metalográfica da peça usinada

A região próxima à superfície apresentou valor médio de microdureza ligeiramente superior ao do centro, como pode ser visto no Gráfico 2. Esse comportamento pode ser explicado pelo encruamento da superfície usinada, que é a área afetada pela usinagem e que sofre uma deformação plástica a ponto de ocorrer um aumento de dureza (Griffiths, 2001). Quanto maior a severidade das condições do processo, mais espessa será a camada encruada, pois o encruamento aumenta com o aumento da tensão associada à deformação do material (Guimarães, 2022).

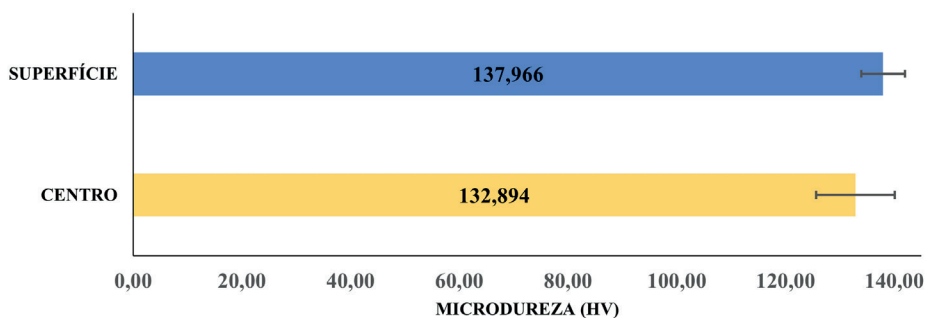


Gráfico 2 – Diferença de microdurezas entre superfície usinada e centro da peça

CONCLUSÃO

Para as mesmas condições de usinagem, a fresa HSS-450 foi a que apresentou melhor comportamento, visto que seu desgaste foi menos acentuado, não apresentando desgaste de flanco considerável e realizou a maior quantidade de passes e obteve menor valor médio de corrente elétrica requisitada pela máquina. A fresa HSS-350 apresentou desgaste prematuro com desgaste característico de crateras na superfície de folga e aresta de corte. Já a HSS-400D foi a que apresentou o pior comportamento entre as ferramentas, tendo a camada de nitretos em sua maior parte removida facilmente nos primeiros ensaios, atingindo o limite de vida com a menor quantidade de passes. A HSS-400, em comparação com a HSS-400D apresentou um melhor comportamento, sendo também uma das melhores fresas ensaiadas. Ela não apresentou desgastes consideráveis na aresta de corte até atingir o fim de vida por avaria dos dentes. Obteve um dos menores valores médios de corrente elétrica, depois da HSS-450.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Piauí (UFPI) e aos laboratórios de usinagem e de metalografia do curso de Engenharia Mecânica.

RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Barbosa, M. G. C. B. B. “Influência da preparação de aresta e do avanço na usinagem do aço VP20TS. 2021”. Tese de doutorado. UNICAMP, São Paulo, 2021.

Bashir, M. I., Shafiq, M., Naeem, M., Zaka-ul-Islam, M., Díaz-Guillén, J. C., Lopez-Badillo, C. M., & Zakoullah, M. (2017). “Enhanced surface properties of aluminum by PVD-TiN coating combined with cathodic cage plasma nitriding”. *Surface and Coatings Technology*, 327, 59-65.

Childs, Thomas HC, Katsuhiko Maekawa, and Toshiyuki Obikawa. *Metal machining: theory and applications*. Butterworth-Heinemann, 2000.

Ferraresi, D. *Fundamentos da usinagem dos metais*. São Paulo: Blucher, 1977.

Griffiths, B. *Manufacturing Surface Technology: Surface Integrity and Functional Performance*. London: Penton Press, 2001.

Guimarães, M. C. R. “Avaliação dos parâmetros de fresamento na integridade superficial do Inconel 625 depositado por soldagem em aço ABNT 4340”. Tese de doutorado. UNICAMP, São Paulo, 2022.

Klocke, F. *Manufacturing Processes 1: Cutting*. RWTH ed. Berlin: Springer, 2011.

Manhães, W. S. “Caracterização metalográfica do aço ABNT/SAE 1020 submetido ao tratamento termoquímico da cementação sólida em caixa e ao tratamento térmico da têmpera”. Trabalho de Conclusão de Curso. IFES, Espírito Santo, 2018.

Shaw, M. C. *Metal Cutting Principals*. 2ª ed. Nova York: Oxford University Press, 2005.

Tier, M. A. D. “Avaliação da resistência ao desgaste do aço AISI M2 nitretado a plasma”. Tese de doutorado. UFRGS, Rio Grande do Sul, 1998.

Trent, E.M.; Wright, P.K., “Metal Cutting”. 4ª ed. Boston: Butterworth – Heinemann, 2000.