

Influência da velocidade de corte na formação e encruamento dos cavacos no processo de furação profunda do aço ferramenta VTM-PLUS

Virgílio P. Ricci

Paulo H. S. Rodrigues

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Rodovia Washington Luis, Km 235, São Carlos, SP, 13565-905, Brasil

virgilio@estudante.ufscar.br

prodrigues@estudante.ufscar.br

Gilberto L. A. Xavier

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Rodovia Washington Luis, Km 235, São Carlos, SP, 13565-905, Brasil

gilberto.araujo.xavier@gmail.com

Amauri Hassui

Departamento de Engenharia de Manufatura e Materiais, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Rua Mendeleyev 200, Campinas, SP, 13083-970, Brasil

ahassui@fem.unicamp.br

Carlos E. H. Ventura

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Rodovia Washington Luis, Km 235, São Carlos, SP, 13565-905, Brasil

ventura@ufscar.br

Resumo: Os aços ferramenta encontram grande aplicação na fabricação de moldes e matrizes para trabalhos a quente. As matrizes para estampagem a quente possuem canais de refrigeração com elevada relação comprimento/diâmetro (L/D), sendo esses furos produzidos pelo processo de furação profunda. Os processos de furação envolvem grande complexidade quando possuem relação $L/D > 10$. Para estes casos é necessário o emprego de máquinas e ferramentas especiais, fluidos geralmente pressurizados com propriedades de refrigeração e lubrificação que atendam a solicitações severas e auxiliem na remoção de cavacos. Se os cavacos não forem formados de maneira que propiciem sua fácil retirada do interior do furo, eles podem causar o seu entupimento e a consequente quebra da ferramenta. As principais influências sobre a formação do cavaco são as condições de corte e a geometria da ferramenta, podendo sua quebra ser obtida pela diminuição da deformabilidade do material da peça ou pelo aumento da deformação do cavaco. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da velocidade de corte (V_c) no encruamento dos cavacos formados durante o processo de furação profunda no aço ferramenta VTM-PLUS, no estado recozido. A furação profunda foi realizada com brocas do tipo canhão com canais retos, possuindo refrigeração interna, haste de aço rápido, ponta de metal duro e diâmetro de 7,8 mm, sendo a relação $L/D = 26$. Foram analisadas as velocidades de corte de 60 e 70 m/min e para verificar sua influência no encruamento dos cavacos, estes foram analisados via microscopia e ensaio de dureza Vickers. A partir dos resultados obtidos, observou-se que os cavacos formados possuem formato de lascas para ambas as velocidades e que o aumento da velocidade de corte causou aumento de sua dureza. Os valores de dureza aumentaram na condição $V_c = 70$ m/min (321 ± 18 HV) quando comparados com a condição recozida (223 ± 3 HV). Para a condição $V_c = 60$ m/min também houve aumento nos valores de dureza (309 ± 12 HV), embora menor, quando comparados àqueles da condição recozida. Com os resultados obtidos foi possível concluir que o aumento da taxa de deformação, imposta pela maior velocidade de corte, levou a um aumento nos valores de dureza devido ao aumento do encruamento.

Palavras-chave: Furação profunda, aço VTM-PLUS, velocidade de corte, cavaco, encruamento

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia de usinagem busca a combinação de produtividade, visando economia durante o processo, e maior qualidade no produto acabado (AIZED; AMJAD, 2013). A furação, quando comparada a operações como torneamento e fresamento, é considerada um dos processos de usinagem mais complexos a serem realizados na indústria. A furação torna-se mais complexa com o aumento da profundidade do furo. O processo é chamado de furação profunda quando a relação entre a profundidade (L) e o diâmetro (D) do furo é de pelo menos 10 vezes ($L/D > 10$). Processos de furação profunda podem produzir furos com rugosidade superficial muito baixa R_z (AIZED; AMJAD, 2013; LIU *et al.*, 2018).

Mesmo para as melhores e mais sofisticadas máquinas-ferramenta, fazer um furo profundo com textura de superfície lisa, perfeitamente reto e com os diâmetros necessários de ponta a ponta não é uma tarefa fácil. Em processos de furação profunda, como a ferramenta possui um comprimento longo, é comum que sua rigidez seja prejudicada e, assim, gere vibração, o que pode produzir desvios nas dimensões do furo usinado, afetar sua rugosidade superficial e circularidade, além de provocar a quebra da ferramenta (CHAUDHARI *et al.*, 2015; KONG *et al.*, 2020; SI *et al.*, 2021). Para um furo de alta qualidade, diferentes condições de usinagem devem ser definidas, como velocidade de corte, velocidade de avanço e tipo de fluido de corte (AIZED; AMJAD, 2013; BAGHLANI *et al.*, 2016).

A formação de cavaco na furação pode ser influenciada por algumas condições, como velocidade variável ao longo do raio da broca, deformação e consequente esmagamento do material na região da aresta transversal, modificação do ângulo de cunha e do ângulo de saída em função do raio, dificuldade de transporte dos cavacos através dos canais (HAN *et al.*, 2018; KE; NI; STEPHENSON, 2005, 2006). Durante a furação de materiais dúcteis com espessura de cavaco pequena, tem-se a formação do cavaco em forma de espiral cônica, enquanto que para espessuras de cavaco grandes, têm-se cavacos espirais cônicos com grande passo. Segundo KE; NI; STEPHENSON (2005), os cavacos espirais cônicos de grande passo ocorrem quando os cavacos perdem a capacidade de manter a forma compacta, aumentando assim o passo da espiral até que o contato e o atrito com as paredes do canal da broca restrinjam seu deslocamento, gerando sua forma final.

Durante o processo de usinagem, o material é submetido a elevadas taxas de deformação no regime plástico, essas deformações produzem na microestrutura dos aços alguns efeitos importantes, como refino dos grãos, o que aumenta a quantidade de contornos por unidade de volume, e aumento na quantidade de defeitos pontiformes, fazendo com que a movimentação de discordâncias seja dificultada e, consequentemente, as propriedades mecânicas como resistência à tração e dureza sejam aumentadas. Outro fator que incrementa o efeito da encruamento/endurecimento de aços é a presença de carbonetos dispersos na matriz, que dificultam a movimentação das discordâncias. Cabe destacar que aços ferramenta utilizados para trabalho a quente possuem grande quantidade de carbonetos em sua matriz (CHEN *et al.*, 2021).

Aços para aplicações de trabalho a quente são subdivididos em três classes, de acordo com o tipo de liga usada para conferir alta dureza a quente: (i) aços ao cromo para trabalho a quente, que contêm nominalmente 5% de Cr e significativas quantidades de outros elementos, incluindo silício, molibdênio e vanádio; (ii) aços ao tungstênio para trabalho a quente e (iii) aços ao molibdênio para trabalho a quente (KANG *et al.*, 2015; NANESA; BOULGAKOFF; JHAZI, 2016). Os aços ferramenta ao cromo para trabalho a quente devem possuir excelente resistência ao impacto a altas temperaturas, ao amaciamento durante a exposição a elevadas temperaturas e também possuir resistência à fadiga térmica, pois estão constantemente expostos a variações de temperatura. Os aços ferramenta para trabalho a quente de média liga, como o H13, atendem o compromisso dos dois extremos: boa resistência ao amaciamento a quente e tenacidade razoável. Essa classe de aços é bastante adequada para a produção de matrizes de estampagem e forjamento, com as quais a produtividade é bastante elevada (KANG *et al.*, 2015).

Após sua fundição, aços ferramenta são tratados termicamente para atingirem dureza e tenacidade necessárias, de acordo com a aplicação demandada. Para realizar o processo de furação de forma eficiente, é importante que estes aços possuam baixa dureza, sendo mais comum sua utilização no estado recozido (KANG *et al.*, 2015), com microestrutura de carbonetos esferoidizados uniformemente dispersos em uma matriz de ferrita. Essa microestrutura tem baixa dureza, o que facilita a usinagem. O recozimento também refina estruturas de granulação grosseira que podem ter se formado em altas temperaturas. Além disso, elimina a microestrutura de martensita dura ou perlita que pode ter se formado durante o resfriamento posterior ao trabalho a quente e homogeneiza os efeitos de deformação não uniforme que podem ter se desenvolvido durante o trabalho a quente de seções complexas ou pesadas (KANG *et al.*, 2015).

2. METODOLOGIA

Os ensaios de furação profunda foram realizados em um Centro de Usinagem da marca Hermle modelo C400 (Fig. 1), com rotação máxima no eixo-árvore de 18000 rpm, potência de 20 kW e pressão do fluido de corte de 80 bar, disponível nas instalações da empresa TecnoHow.



Figura 1. Centro de usinagem Hermle C400 utilizado para os testes de furação

O material utilizado no presente trabalho foi um bloco do aço ferramenta VTM-PLUS no estado recozido, com dimensões de 202 mm x 202 mm x 270 mm, cedido pela empresa Villares Metals. Este aço corresponde a uma alternativa ao aço H13 e, portanto, possui características próximas.

Na Fig. 2 estão apresentadas as ferramentas utilizadas na realização dos testes de furação profunda. A Fig. 2a mostra a broca do tipo canhão com canais retos, refrigeração interna, haste de aço rápido, ponta de metal duro e diâmetro de 7,8 mm, sendo a relação $L/D = 26$. Já a Fig. 2b traz a vista da ponta da broca. Quando utilizadas brocas do tipo canhão torna-se necessária a realização de um pré-furo (furo guia), com profundidade aproximadamente igual ao seu diâmetro, para facilitar sua entrada e evitar sua quebra. Na Fig. 2c, é mostrada a fresa utilizada para a execução dos pré-furos, a qual possuía diâmetro de 6 mm e 3 dentes. Como os furos possuíam diâmetro de 7,8 mm e a fresa, 6 mm, foi realizada uma interpolação circular para se atingir o diâmetro de 7,8 mm. As ferramentas foram fornecidas pela empresa Iscar. Os furos, passantes, foram realizados de forma contínua.

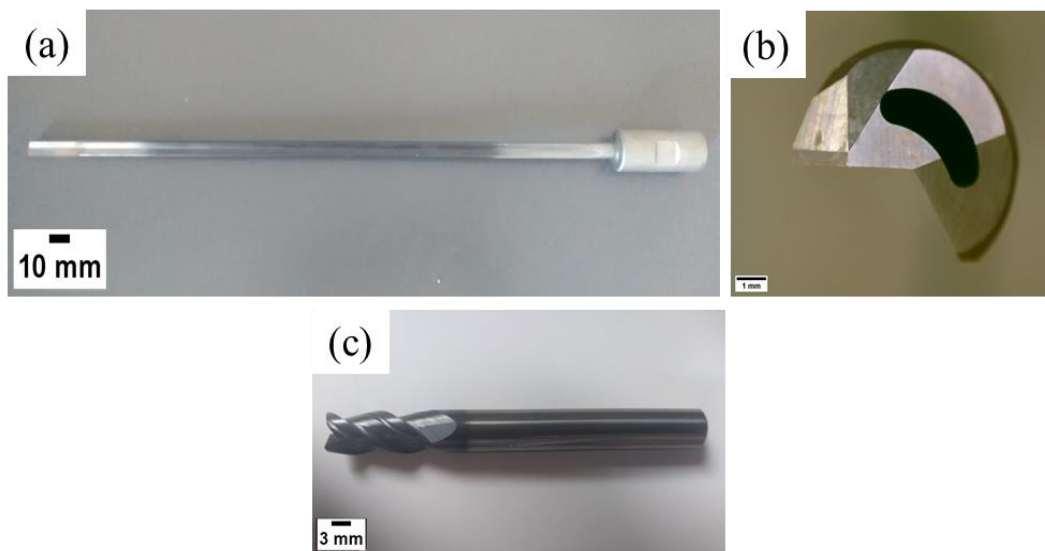


Figura 2. (a) Broca do tipo canhão utilizada nos experimentos, (b) vista da ponta da broca e (c) fresa utilizada para os pré-furos

Como fluido lubrificarrefrigerante, aplicou-se uma emulsão do óleo vegetal Vasco 7000, fornecido pela empresa Blaser, com pressão de 80 bar. Nos ensaios, variou-se a velocidade de corte em dois níveis (60 e 70 m/min) e manteve-se um avanço de 0,02 mm/rev constante.

Para a caracterização microestrutural do aço VTM-PLUS e dos cavacos, estes foram embutidos em baquelite, com posterior acabamento com lixas de 220, 400, 600 e 1200 mesh seguido de polimento abrasivo com alumina de 1,0 μm . O ataque químico foi realizado com reagente Nital 2%. A caracterização microestrutural do aço VTM-PLUS e dos cavacos foi feita com o auxílio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) da marca Philips, modelo XL30 FEG, acoplado com analisador semiquantitativo por espectroscopia por energia dispersiva (EDS), disponível no Laboratório de

Caracterização Estrutural (LCE) da UFSCar. Na Figura 3 está apresentado, de forma ilustrativa, o método utilizado para realizar as medições dos ângulos de cisalhamento dos cavacos. Na etapa de medição do ângulo de cisalhamento foi utilizado um estereoscópio da marca Olympus, modelo SZ61, disponível no Laboratório de Microestrutura Processamento e Processos de Solidificação (M2PS), além do software ImageJ.

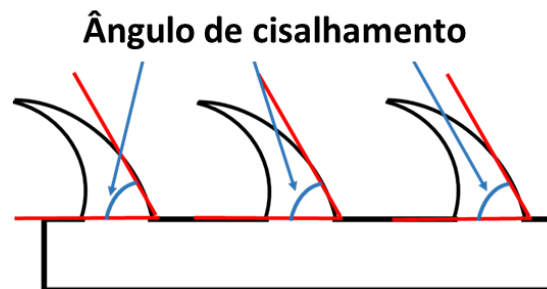


Figura 3. Imagem ilustrativa do método utilizado para determinar o ângulo de cisalhamento dos cavacos.

A caracterização mecânica, tanto do aço VTM-PLUS no estado recozido, quanto dos cavacos obtidos nas duas velocidades de corte testadas, foi realizada por meio do ensaio de microdureza Vickers, em um durômetro da marca Shimadzu, modelo HMVG20ST, com carga de 0,500 Kgf aplicada por 15 s, utilizando uma lente de magnificação de 40x. Para aferir as medidas de dureza, foram realizadas 15 medições em cada condição.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como ponto de partida, podemos verificar a microestrutura do aço VTM-PLUS utilizado neste trabalho no estado recozido (como recebido), mostrada nas Figs. 4a e 4b. Neste estado, o material apresenta uma matriz ferrítica (parte escura) de baixa dureza, na qual está presente uma quantidade considerável de carbonetos esferoidizados (pequenas partículas de coloração clara), fina e homogeneamente dispersos.

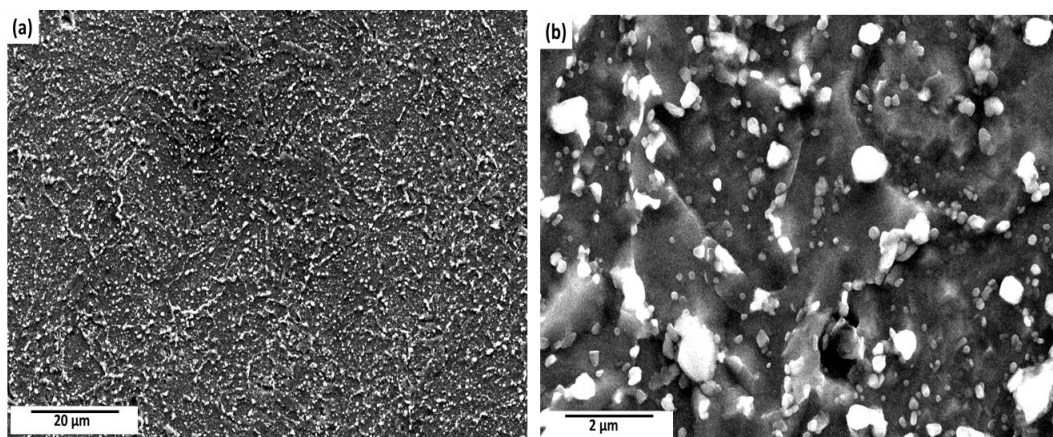


Figura 4. Microestrutura do aço VTM-PLUS no estado recozido

Na Tab. 1 estão apresentados os resultados referentes à análise semiquantitativa da espectroscopia por energia dispersiva (EDS), realizada no aço VTM-PLUS. Com esses resultados, percebe-se, obviamente, que o elemento em maior quantidade é o Ferro (Fe), com 89,2 %m massa. Por outro lado, o Vanádio (V) é o elemento em menor concentração, com 0,8 % em massa.

Nas Figs. 5a-f é apresentado o mapeamento dos elementos presentes no aço VTM-PLUS, conforme demonstrado na Tab. 1.

Tabela 1. Resultados da análise semiquantitativa de EDS do aço VTM-PLUS

Elementos	% em massa
Ferro (Fe)	89,2
Carbono (C)	0,7
Cromo (Cr)	4,9
Molibdênio (Mo)	2,5
Vanádio (V)	0,8
Tungstênio (W)	1,9

Os resultados obtidos neste trabalho são similares àquele observado por KANG et al., (2015), que utilizaram um aço ferramenta do tipo H13. Os autores também notaram a presença de carbonetos dispersos na matriz ferrítica e constataram que estes carbonetos são do tipo M₂C e M₆C, ou seja, são ricos em Molibdênio (Mo) (Fig. 5d). Na região onde se encontram os carbonetos, percebe-se uma maior presença de Mo e um empobrecimento em Fe.

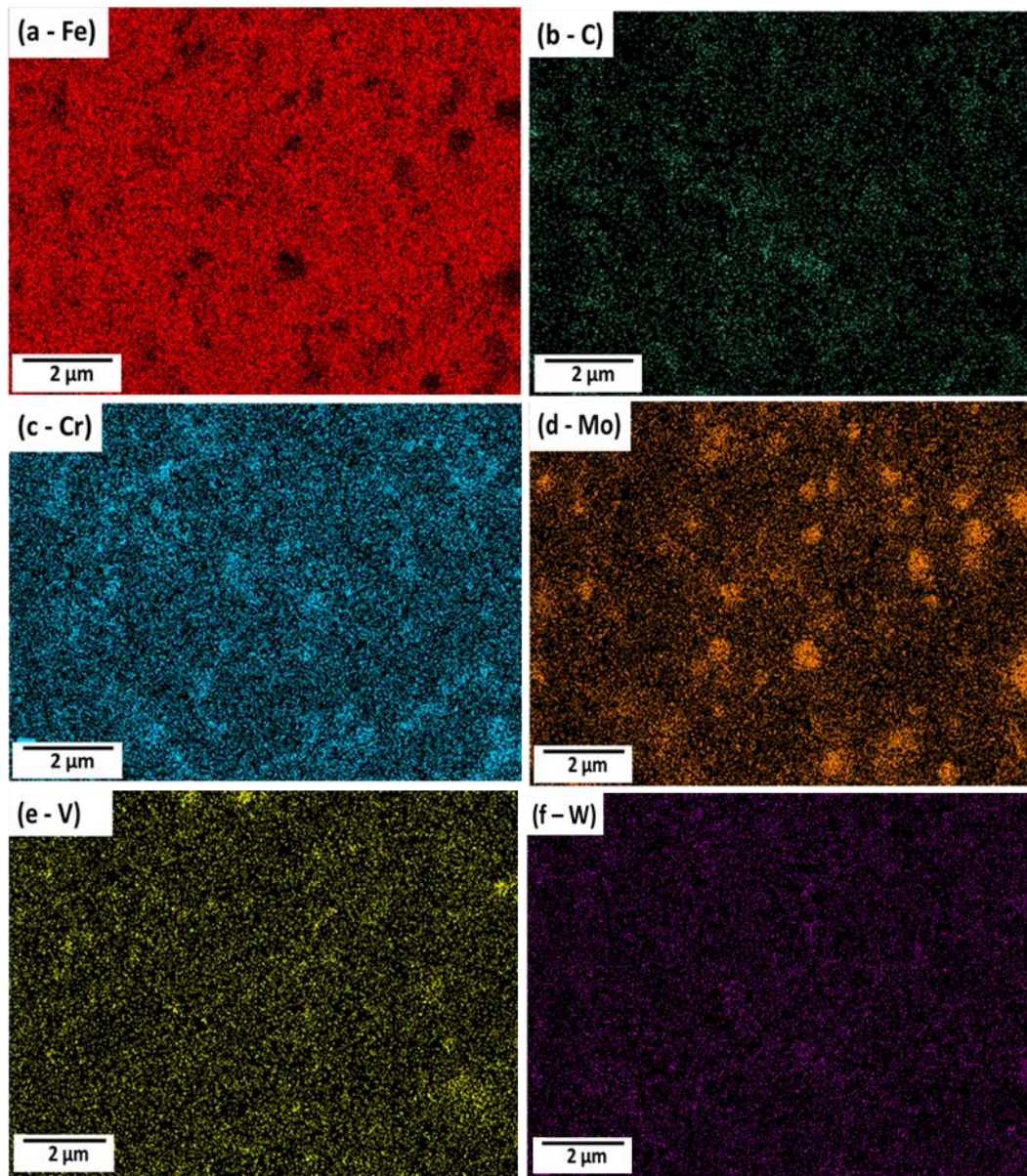


Figura 5. Mapeamento da distribuição dos elementos presentes no aço VTM-PLUS

Nas Figs. 6a e 6b estão apresentadas as micrografias dos cavacos gerados com velocidades de corte de 60 e 70 m/min, respectivamente, após o processo de furação profunda.

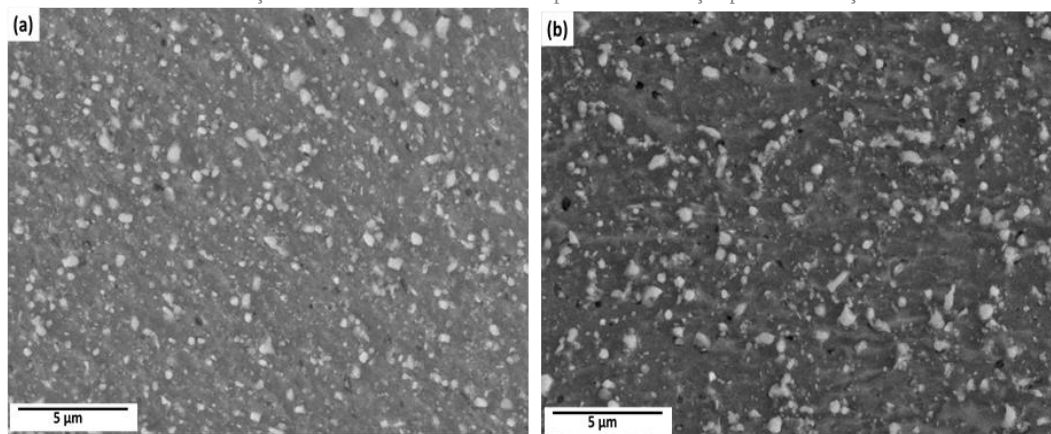


Figura 6. Microestrutura dos cavacos formados com (a) $V_c = 60$ m/min e (b) $V_c = 70$ m/min

Assim como observado nas Figs. 3a e 3b, nota-se a presença de carbonetos esferoidizados (pontos claros) dispersos na matriz ferrítica (parte escura). Tendo sido aplicados parâmetros de usinagem baixos e sendo o material recozido, tem-se que hipótese que o processo foi realizado a frio, com temperatura menor que a metade de sua temperatura de fusão ($T < 0,5 \times T_f$) e, dessa forma, não foi observada a presença de martensita induzida pelo processo.

Os resultados obtidos nos ensaios de microdureza Vickers estão apresentados na Fig. 7. Inicialmente, o aço VTM-PLUS no estado recozido possuía dureza média de 223 ± 3 HV_{0,5}. Nos cavacos, observou-se que a dureza média aumentou, passando para 309 ± 12 HV_{0,5} com a aplicação de $V_c = 60$ m/min e alcançando o valor de 321 ± 18 HV_{0,5} na condição de $V_c = 70$ m/min.

Os resultados obtidos estão de acordo com a literatura, pois, à maior velocidade (SUN; KE; CHEN, 2019), a taxa de deformação imposta ao material cresce e, consequentemente, a densidade de discordâncias, que já têm seu movimento dificultado pelos carbonetos dispersos na matriz (CHEN *et al.*, 2021). Considerando que a furção profunda é um processo realizado a frio, não ocorre o efeito de recristalização dinâmica (MONDELIN *et al.*, 2013) e o efeito do encruamento pela movimentação de discordâncias se torna mais acentuado, devido ao acúmulo destas nos carbonetos esferoidizados (CHEN *et al.*, 2021).

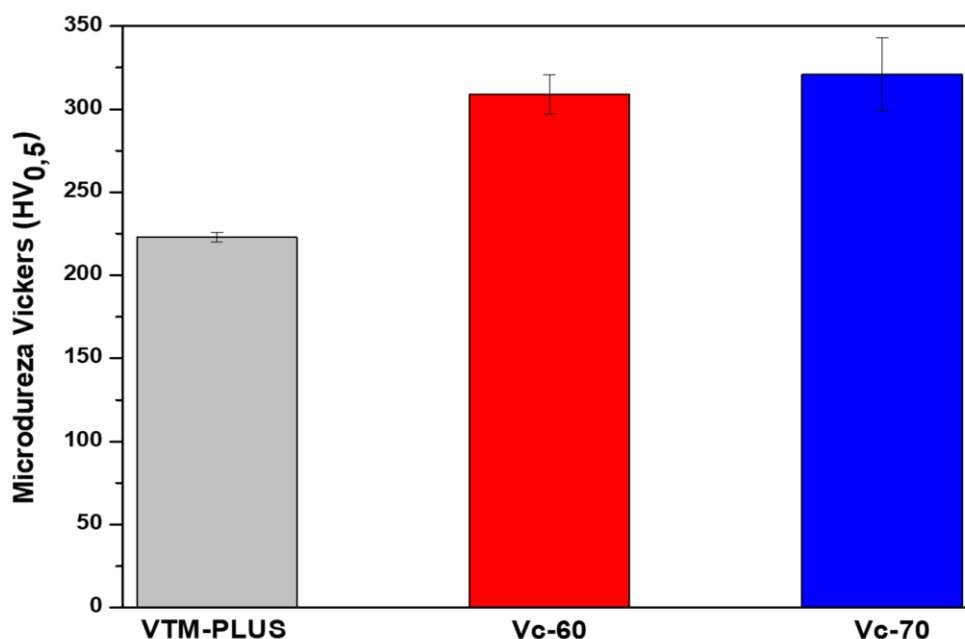


Figura 7. Média dos valores da microdureza Vickers (HV_{0,5}) do aço VTM-PLUS recozido e dos cavacos obtidos com $V_c = 60$ m/min e 70 m/min.

Uma forma de se analisar a influência da taxa de deformação que foi imposta ao material durante a usinagem consiste na avaliação do ângulo de cisalhamento dos cavacos formados. Inicialmente, observou-se que estes cavacos estavam no formato de lascas e bastante segmentados, conforme apresentado nas Figs. 8a e 8b para a condição $V_c = 60$ m/min e nas Figs. 8c e 8d para a condição $V_c = 70$ m/min. Este é um indicativo de que ocorre maior deformação do material com a aplicação de maiores velocidades de corte, devido à maior taxa de deformação imposta. Observando ainda as Figs. 8b e 8d, percebe-se na condição de maior velocidade a presença de maior quantidade de bandas de deformação em comparação à condição de menor velocidade, sendo este mais um indicativo da menor deformação imposta neste último caso.

Os cavacos produzidos na primeira condição ($V_c = 60$ m/min) apresentaram ângulo de cisalhamento de $37,4^\circ \pm 3,3^\circ$, maior que na segunda condição ($V_c = 70$ m/min), na qual se observou um ângulo de $27,1^\circ \pm 3,1^\circ$, conforme apresentado nas Figs. 9a e 9b onde é possível observar a vista geral dos cavacos. A diminuição do ângulo de cisalhamento é mais um indicativo que a maior velocidade de corte induz a maior deformação no aço VTM-PLUS.

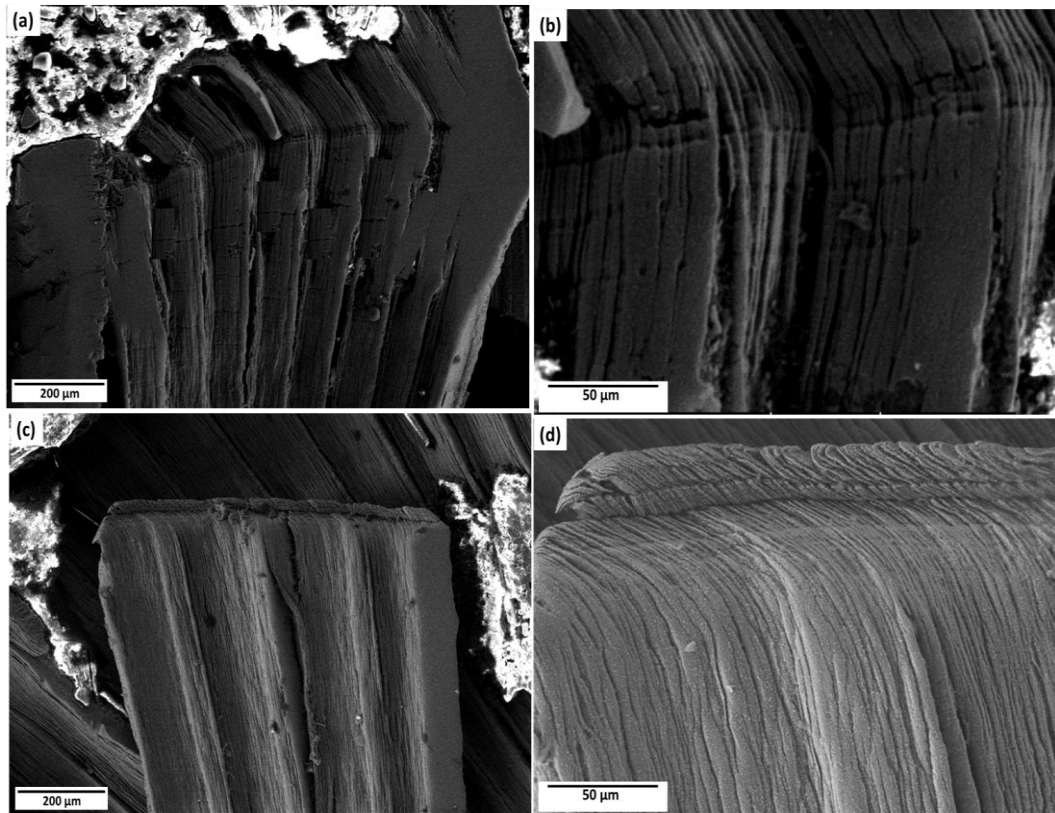


Figura 8. Morfologia dos cavacos na condição de (a, b) $V_c = 60$ m/min e (c, d) $V_c = 70$ m/min

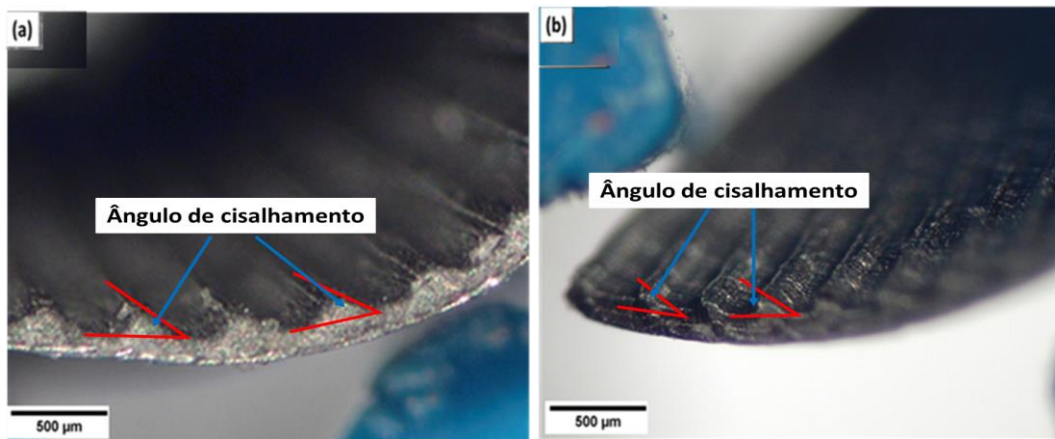


Figura 9. Vista geral dos cavacos (a) $V_c = 60$ m/min; (b) $V_c = 70$ m/min.

4. CONCLUSÕES

Através dos ensaios realizados neste trabalho foi possível concluir que:

- O aço VTM-PLUS no estado recozido, microestruturalmente, é formado por uma matriz ferrítica com carbonetos globulares, principalmente de molibdênio, fina e homoganeamente dispersos.
- O aumento da velocidade de corte provocou maior taxa de deformação que, por sua vez, elevou os valores de dureza, embora não tenha causado alteração visível na microestrutura do material.
- Na condição de maior velocidade de corte (70 m/min), o ângulo de cisalhamento foi menor e verificou-se a ocorrência de maior quantidade de bandas de cisalhamento no cavaco, o que indica maior grau de deformação.

5. REFERÊNCIAS

- Aized, T.; Amjad, M. Quality improvement of deep-hole drilling process of AISI D2. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 69, n. 9–12, p. 2493–2503.
- Baghlani, V.; Mehbudi, P.; Akbari, J.; Nezhad, E. Z.; Sarhan, A. A. D.; Hamouda, A. M. S. An optimization technique on ultrasonic and cutting parameters for drilling and deep drilling of nickel-based high-strength Inconel 738LC superalloy with deeper and higher hole quality. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 82, n. 5–8, p. 877–888.
- Chaudhari, A.; Malarvizhi, S.; Woon, K. S.; Senthil Kumar, A.; Rahman, M. The effects of pilot hole geometry on tool-work engagement efficacy in deep hole drilling. *Journal of Manufacturing Processes*, v. 19, p. 135–141, 2015.
- Chen, R.; Wang, Z.; Qi, L.; Zhong, L.; Guan, R.; He, J.; Hu, X. The carbides, tensile properties, and work-hardening behavior of annealed H13 die steels with varied yttrium contents. *Materials Science and Engineering A*, v. 806, 4.
- Han, C.; Zhang, D.; Luo, M.; Wu, B. Chip evacuation force modelling for deep hole drilling with twist drills. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 98, n. 9–12, p. 3091–3103.
- Kang, M.; Park, G.; Jung, J. G.; Kim, B. H.; Lee, Y. K. The effects of annealing temperature and cooling rate on carbide precipitation behavior in H13 hot-work tool steel. *Journal of Alloys and Compounds*, v. 627, p. 359–366.
- Ke, F.; Ni, J.; Stephenson, D. A. Continuous chip formation in drilling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, v. 45, n. 15, p. 1652–1658.
- Ke, F.; Ni, J.; Stephenson, D. A. Chip thickening in deep-hole drilling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, v. 46, n. 12–13, p. 1500–1507.
- Kong, L.; Cao, S.; Chin, J. H.; Si, Y.; Miao, F.; Li, Y. Vibration suppression of drilling tool system during deep-hole drilling process using independence mode space control. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, v. 151.
- Liu, Z.; Liu, Y.; Han, X.; Zheng, W. Study on super-long deep-hole drilling of titanium alloy. *Journal of Applied Biomaterials and Functional Materials*, v. 16, n. 1_suppl, p. 150–156.
- Mondelin, A.; Valiorgue, F.; Rech, J.; Coret, M.; Feulvarch, E. Modeling of surface dynamic recrystallisation during the finish turning of the 15-5PH steel. *Procedia CIRP*, v. 8, p. 311–315.
- Nanasa, H. G.; Boulgakoff, J.; Jahazi, M. Influence of prior cold deformation on microstructure evolution of AISI D2 tool steel after hardening heat treatment. *Journal of Manufacturing Processes*, v. 22, p. 115–119.
- Si, Y.; Zhang, Z.; Kong, L.; Zheng, J. Condition monitoring of deep-hole drilling process based on improved empirical wavelet de-noising and high multiple frequency components of rotation frequency. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 114, n. 7–8, p. 2201–2214.
- Sun, J.; Ke, Q.; Chen, W. Material instability under localized severe plastic deformation during high speed turning of titanium alloy Ti-6.5AL-2Zr-1Mo-1V. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 264, p. 119–128.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FUNDEP (Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa) pelo auxílio financeiro ao projeto “Nacionalização de matrizes de aço ferramenta para estampagem a quente de peças para o segmento automotivo”, por meio do Programa ROTA 2030 – Linha IV. Os autores também agradecem às empresas Blaser, Iscar, TecnoHow e Villares Metals pela disponibilização dos materiais e infraestrutura para realização dos experimentos.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

INFLUENCE OF CUTTING SPEED ON CHIP FORMATION AND HARDENING IN THE DEEP DRILLING PROCESS OF VTM-PLUS TOOL STEEL

Virgilio P. Ricci

Paulo H. S. Rodrigues

Department of Mechanical Engineering, Federal University of São Carlos (UFSCar), Rod. Washington Luis Km 295, São Carlos, SP, 13565-905, Brazil.

virgilio@estudante.ufscar.br

prodrigues@estudante.ufscar.br

Gilberto L. A. Xavier

Department of Mechanical Engineering, Federal University of São Carlos (UFSCar), Rod. Washington Luis Km 295, São Carlos, SP, 13565-905, Brazil.

gilberto.araujo.xavier@gmail.com

Amauri Hassui

Department of Manufacturing and Materials Engineering, State University of Campinas (UNICAMP), R. Mendeleyev, 200, Campinas, SP, 13083-970, Brazil.
ahassui@fem.unicamp.br

Carlos E. H. Ventura

Department of Mechanical Engineering, Federal University of São Carlos (UFSCar), Rod. Washington Luis. Km 295, São Carlos, SP, 13565-905, Brazil.
ventura@ufscar.br

Abstract. Tool steels are widely used in the manufacture of molds and dies for hot work. Hot stamping dies have cooling channels with a high length/diameter (L/D) ratio, and these holes are produced by the deep drilling process. Drilling processes involve great complexity when they have a ratio $L/D > 10$. For these cases, it is necessary to use special machines and tools, generally, pressurized fluids due to cooling and lubrication properties that meet the severe demands and also help remove chips. When the chips are not formed in a way that allows them to be easily removed from the inside of the hole, they can cause clogging and the consequent breakage of the tool. The main influences on the chip formation are the cutting conditions and the geometry of the tool, and its breakage can be obtained by decreasing the deformability of the workpiece material or by increasing the chip deformation. Thus, this study aimed to evaluate the effect of C_s on the hardening of chips formed during the deep drilling process in VTM-PLUS tool steel, in the annealed state. The deep drilling was carried out with gun drills, straight channels, internal coolant, high speed steel shank, carbide tip and 7.8 mm diameter, with the ratio $L/D = 26$. The C_s of 60 and 70 m/min were analyzed. To evaluate the influence of cutting speed on the hardening of the chips, these were analyzed via microscopy and Vickers hardness test. From the results obtained, it was observed that the formed chips have the shape of chips for both speeds and that the increase in the cutting speed caused an increase in its hardness. Hardness values increased in the condition $V_c = 70$ m/min (321 ± 18 HV) when compared to the annealed condition (223 ± 3 HV). For the condition $V_c = 60$ m/min there was also an increase in hardness values (309 ± 12 HV), although smaller, when compared to those of the annealed condition. With the results obtained, it was possible to conclude that the increase in the deformation rate, imposed by the higher cutting speed, led to an increase in the hardness values due to the increase in work hardening.

Keywords: Deep hole drilling, VTM-PLUS steel, cutting speed, chip formation, hardening

RESPONSIBILITY NOTICE

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