

Efeito de parâmetros de corte na qualidade superficial e no desgaste de ferramentas de carboneto no torneamento sem lubrificação do aço SAE 4140

Effect of cutting parameters on surface quality and wearing of carbide tools in dry turning of SAE 4140 steel

DOI:10.34117/bjdv7n7-072

Recebimento dos originais: 05/06/2021

Aceitação para publicação: 05/07/2021

Gisele da Costa Borges

Mestranda Universidade Federal do Rio Grande – FURG
Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica (PPMec) – FURG
Av. Itália, Km8, s/n, Carreiros – Rio Grande – RS
E-mail: giseleborges@hotmail.com

Fabio Dornelles do Amaral

Professor Dr. Universidade Federal do Rio Grande – FURG
Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica (PPMec) – FURG
Av. Itália, Km8, s/n, Carreiros – Rio Grande – RS
E-mail: fabio.amaral@furg.br

Jorge Luis Braz Medeiros

Professor Dr. Universidade Federal do Rio Grande – FURG
Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica (PPMec) – FURG
Av. Itália, Km8, s/n, Carreiros – Rio Grande - RS
E-mail: jorge.braz@furg.br

Luciano Volcanoglo Biehl

Professor Dr. Universidade Federal do Rio Grande – FURG
Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica (PPMec) – FURG
Av. Itália, Km8, s/n, Carreiros – Rio Grande - RS
E-mail: lucianobiehl@furg.br

Eduardo da Rosa Vieira

Doutorando Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica (PROMEC) – UFRGS
Rua Sarmiento Leite, 425, Sala 202 – Porto Alegre - RS
E-mail: vieira.r.eduardo@gmail.com

Samuel Vinícius Bonato

Professor Dr. Universidade Federal do Rio Grande – FURG
Av. Itália, Km8, s/n, Carreiros – Rio Grande - RS
E-mail: svbonato@furg.br

Carlos Otávio Damas Martins

Professor Dr. Universidade Federal do Sergipe
Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (P2CEM) – UFS

AV. Marechal Rondon, s/n – Sergipe – Se
E-mail :cmartins@acadêmico.ufs.br

José de Souza

Professor Dr. Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha
R. Inconfidentes, 395, Bairro Primavera, Novo Hamburgo, RS
E-mail: josesouza@liberato.com.br

RESUMO

Atualmente as tecnologias limpas estão ganhando muita importância no setor industrial, consequentemente os processos de usinagem também tendem a buscar a redução da geração de resíduos. Uma das alternativas muito usada é a redução ou extinção do uso de fluidos de corte, o que é conhecida como usinagem limpa ou verde. Este estudo avalia a relação da variação da velocidade de corte e do avanço no torneamento a seco de amostras de aço SAE 4140 utilizando pastilhas de metal duro sinuosas com revestimento triplo com o desgaste da ferramenta e a qualidade superficial da amostra. Foram realizados ensaios aplicando quatro combinações usando duas velocidades (160 e 250 m/min), dois avanços (0,100 e 0,316 mm/rev) e profundidade de 1mm. A definição dos melhores parâmetros se baseou no estudo dos mecanismos de desgaste das ferramentas, nos diferentes tempos de usinagem e nos melhores resultados de rugosidade. Os melhores resultados em relação à rugosidade foram obtidos com velocidade de 250 m/min e avanço de 0,100 mm/rev enquanto a combinação de menores valores gerou os desgastes mais baixos.

Palavras-chave: Torneamento, Usinagem limpa, Carboneto, SAE 4140

ABSTRAT

Currently, as clean technologies take a lot of meaning in the industrial sector, the machining processes also seek a reduction in waste generation. One of the widely used alternatives is the reduction or extinction of the use of cutting fluids, or what is known as using cleaning or green machining. This study assesses a ratio of variation in cutting speed and feed in dry turning of SAE 4140 steel using sinuous triple coating carbide tools with the wear of the tools and surface quality. Tests were carried out using four combinations using two speeds (160 and 250 m/min), two feeds (0.100 and 0.316 mm/rev) and a depth of 1mm. The definition of the best parameters is based on the study of the use of tools, on different machining times and on the best roughness results. The best results in relation to roughness were achieved with a speed of 250 m/min and feed of 0.100 mm/rev, while the combination of lower values generated lower wear.

Keywords: Turning, Clean machining, Carbide, SAE 4140

1 INTRODUÇÃO

Os processos de fabricação e de produção mecânica, segundo Ribeiro et al [1], são caracterizados por uma evolução tecnológica contínua. Oliveira et al. [2] demonstraram que as melhorias na área da dependem de constantes inovações. As novas tendências na manufatura estão avançando em direção as tecnologias verdes, tendo a questão ambiental

e econômica como grandes justificativas. Entre as questões que estão sendo investigadas, podemos citar o aumento da vida útil da ferramenta, a redução ou extinção do uso de lubrificantes, bem como a determinação de parâmetros funcionais das superfícies usinadas, conforme Krolczyk et al. [3].

Para Sharma et al. [4], os processos de usinagem a seco são considerados os mais sustentáveis, desde que os índices de usinabilidade não sejam comprometidos, o que é raramente encontrado na realidade. Evidentemente, o corte a seco está livre dos aborrecimentos relacionados ao líquido refrigerante (descarte, reciclagem, reutilização). Segundo Sharma et al., o custo do corte de fluidos é de aproximadamente 16 e 20% do custo total de fabricação na indústria de produção.

Koné et al. [5] evidenciaram, por outro lado, que a falta de líquido refrigerante pode aumentar a temperatura e prejudicar o desempenho da ferramenta e, ao mesmo tempo, deteriorar as propriedades mecânicas da peça. Como solução, revestimentos adequados podem agir como uma barreira térmica, reduzindo os efeitos da temperatura no desgaste da ferramenta e redução do atrito.

As influências tribológicas dos revestimentos de TiAlN no desgaste de pastilhas de metal duro e nos comportamentos de desgaste da microestrutura das ferramentas revestidas na usinagem a seco e a úmido do aço SAE 4140 foram investigadas por Samir e Lyn [6]. Segundo seu estudo, o melhor desempenho das pastilhas revestidas com TiAlN, em corte a seco, ocorreu com velocidades de corte inferiores a 260 m/min. Em velocidades de corte mais altas (por exemplo, 310-410 m/min), micro-abrasão e micro-fadiga foram os principais tipos de mecanismos de desgaste observados.

Veiga et al. [7], Gupta e Sood [8], Muhl [9], Barbosa [10], Denkena et al. [11], Kikukawa et al. [12] e Aouici [13] avaliaram a relação da variação dos parâmetros de corte no acabamento superficial e no desgaste de ferramentas de metal duro no torneamento de diferentes tipos de aços, demonstrando que o aumento do avanço em cerca de 2,5 vezes levou a um ganho de 5 vezes na rugosidade média da superfície, sendo o parâmetro mais influente nessa variável, visto que a altura média dos vales das marcas de avanço tende a aumentar em proporção quadrática a ele. Para finalizar, os autores mencionam que baixos valores de rugosidade podem ser conseguidos com baixos valores de avanço e profundidade de corte, e raios de gume maiores.

A forma mais usual de determinar o fim da vida de uma ferramenta de corte em um processo de torneamento é através da norma ISO 3685 [14], que estabelece, entre os critérios de fim de vida que devem ser adotados para ferramentas de metal duro, o

desgaste de flanco médio (VB) igual a 0,3mm, e a falha catastrófica. Estes parâmetros serviram de base na definição de nosso procedimento experimental.

Este artigo enfoca os efeitos do processo de torneamento externo a seco na usinagem de peças de aço SAE 4140, buscando otimizar os parâmetros e entender os mecanismos de desgaste das ferramentas de metal duro sinuosas com tripla camada de revestimento. A investigação realizada envolve a análise da rugosidade da superfície da peça, nos mecanismos de desgaste e na vida útil da ferramenta.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O aço SAE 4140 utilizado como material de trabalho teve a composição química caracterizada quantitativamente através de espectrometria ótica de emissão (tabela 1), realizada em triplicata em um Espectômetro Foundry – Master Pro, da Oxford Instruments.

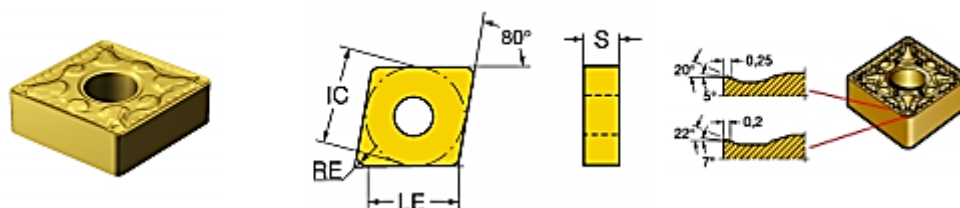
Tabela 1 – Composição química do aço SAE 4140.

C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo
0,38 -0,43	0,75 - 1,00	0,035	0,040	0,15 - 0,35	0,80 - 1,10	0,15 - 0,25

Os corpos de prova, barras cilíndricas do aço SAE 4140, foram obtidos obedecendo a norma NBR ISO 3685:2017 [14], que não recomenda uma relação comprimento/diâmetro maior que 10. Neste trabalho, as peças foram cortadas usando relação igual a 2, com 50 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento.

Os experimentos de torneamento cilíndrico externo foram realizados com pastilhas de metal duro (Figura 1), modelo CNMG120404-PM 4025, com tripla camada de cobertura, da marca Sandvik [15]. Segundo Ferraresi [16], as três coberturas servem para melhorar o desempenho de usinagem.

Figura 1: Representação Genérica da Pastilha modelo 4025, Fonte: Sandvik [15].



Foram realizados ensaios de torneamento em um torno mecânico universal Mascote MS 205 AS, da marca Nardini, com duração total de 50 minutos que, segundo

Panjan et al. [17], para velocidade de corte superior a 120 m/min, representa o tempo de ocorrência de fratura da ferramenta.

Os parâmetros de corte aplicados estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros de corte dos procedimentos experimentais

Ensaio	Velocidade de corte (m/min)	Avanço (mm/rev)	Profundidade de corte (mm)
1	160	0,100	1
2	160	0,316	1
3	250	0,100	1
4	250	0,316	1

Para cada ensaio foram preparados 25 corpos de prova, que foram submetidos a 2 passes de 1 mm de profundidade por corpo de prova. O acabamento superficial da peça usinada foi avaliado com a utilização de um rugosímetro portátil Surftest SJ 201P, da marca Mitutoyo, realizando-se 3 medidas consecutivas de rugosidade média (Ra) em duas regiões no comprimento da peça, para avaliar toda extensão da peça e fazer a média destas. O critério de fim de vida adotado foi o de desgaste de flanco médio (VB) de 0,3mm (300 μ m).

O desgaste da ferramenta de corte foi avaliado por meio de microscópio ótico Olympus GX51, sendo medida a largura do desgaste de flanco. Após o término dos ensaios, as ferramentas de corte foram analisadas no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), com objetivo de avaliar mecanismos de desgaste dos insertos. Também se utilizou um recurso do MEV, que usa o *Back scattered electrons* (BEC), que diferencia por tonalidades os elementos químicos de acordo com seu número atômico. Os tons mais claros representam os elementos com maior número atômico e os tons mais escuros, por consequência, os elementos com número atômico mais baixo.

Tanto a rugosidade superficial da peça, quanto a avaliação do desgaste largura de flanco foram medidos a cada intervalo de tempo de 5 minutos de torneamento, até atingir o tempo total de usinagem, que foi de 50min.

3 RESULTADOS

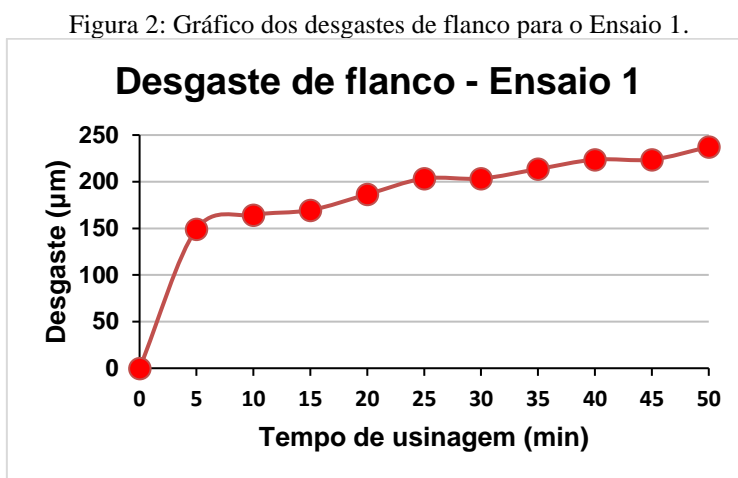
3.1 ANÁLISE DO DESGASTE DA FERRAMENTA DE CORTE

Os ensaios de usinagem demonstraram que o tipo de desgaste da ferramenta de corte que se destacou durante os ensaios foi o desgaste de flanco, fato provavelmente relacionado ao raio de ponta da ferramenta, que possui um valor abaixo de 0,4 mm, o que gera maior instabilidade no gume quando exposto a altas temperaturas e abrasão

mecânica, bem como a cobertura da ferramenta que minimiza o desgaste de cratera, fato relatado por Ferraresi [16].

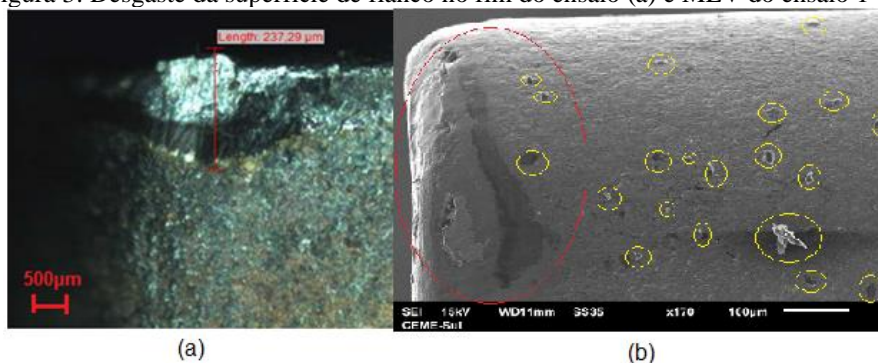
3.1.1 Ensaio 1 - velocidade de corte 160 m/min e avanço 0,1 mm/rev

Na Figura 2 é possível observar o desgaste crescendo continuamente com o aumento do tempo de usinagem, chegando a um valor de 196 μm para o desgaste médio no flanco principal, com 20 minutos de ensaio e 237 μm ao seu final, valores inferiores ao parâmetro de fim de vida da ferramenta usado neste experimento.



Na figura 3(a) se observa que o flanco apresenta um desgaste relacionado com abrasão mecânica, gerando uma retração do flanco e sulcos abrasivos paralelos à direção do fluxo de material. Não são notadas avarias de deformação plástica nem trincas na aresta principal, mas é possível visualizar um pequeno lascamento e também marcas de queima ao longo da superfície, que caracteriza o aumento de temperatura durante o processo. Na imagem do MEV (figura 3 b) percebe-se que na superfície do flanco principal houve adesão de partículas.

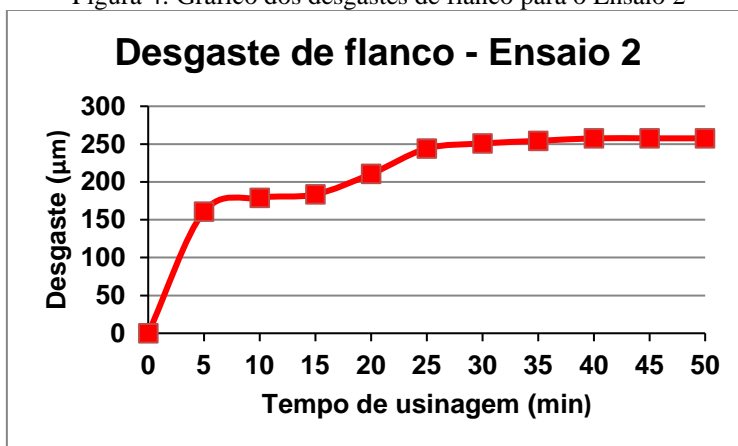
Figura 3: Desgaste da superfície de flanco no fim do ensaio (a) e MEV do ensaio 1 (b).



3.1.2 Ensaio 2 - velocidade de corte 160 m/min e avanço 0,316 mm/rev

No segundo ensaio, como apresentado na figura 4, o desgaste do flanco estabilizou em 30 minutos de usinagem, chegando a um valor máximo 257 μm para o desgaste médio. O aumento do avanço sem a modificação da velocidade de corte não afetou significativamente o desgaste do flanco em comparação com o primeiro ensaio, tendo um leve aumento. Samir [6] explica que Isso se deve ao fato que a velocidade de corte é o principal parâmetro que afeta as forças de corte, que aumenta a vibração no processo, deteriorando o acabamento superficial e enfraquecendo a ferramenta, gerando aumento no desgaste que pode levar a quebra da mesma.

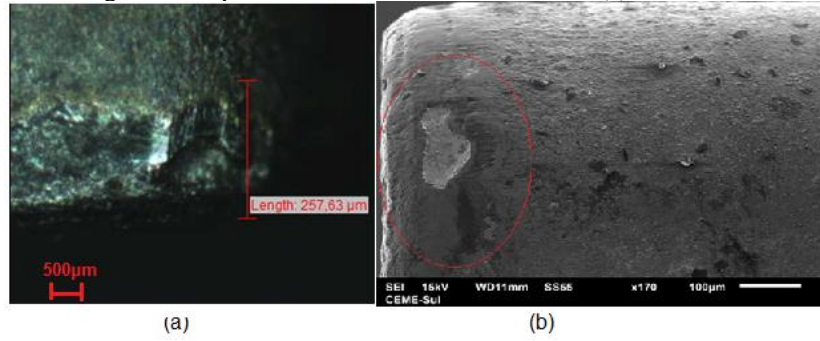
Figura 4: Gráfico dos desgastes de flanco para o Ensaio 2



Samir [6] também já havia notado, em seu estudo, que o avanço não é um fator crucial que interfere na vida da ferramenta, causando maior influência na qualidade superficial da peça usinada.

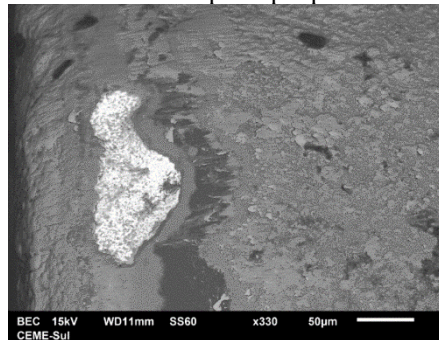
Na Figura 5 (a) é possível notar que, assim como no primeiro ensaio, houve desgaste por abrasão, apresentando maior presença de partículas aderidas e sinais de temperaturas mais elevadas, com aparente queima na superfície de folga. Não são notadas avarias como lascamentos, deformação plástica, nem trincas. A imagem do MEV (5b) mostra que o desgaste atingiu uma maior profundidade do que no ensaio 1, uma vez que, em algumas partes, a ferramenta chegou a perder todas as camadas de cobertura, deixando exposto o metal duro do seu núcleo.

Figura 5: Desgaste da superfície de flanco no fim do ensaio (a) e MEV do ensaio 2 (b).



A figura 6 mostra o BEC da superfície de flanco do ensaio 2, onde camadas de nitreto de titânio e óxido de alumínio foram desgastadas.

Figura 6: BEC do flanco principal para o Ensaio 2.

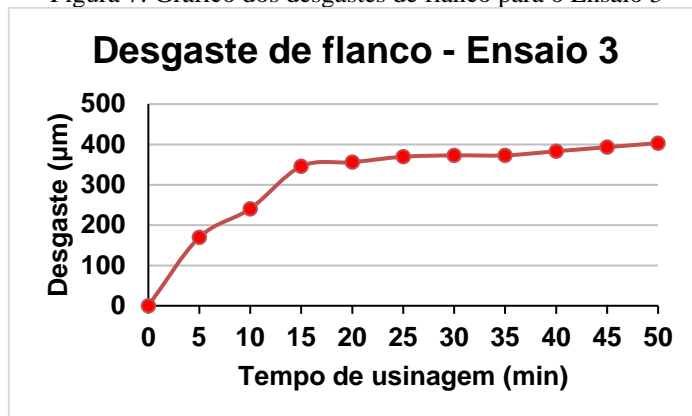


A parte mais clara, ao longo da camada de carbonitreto de titânio, se refere à partículas que foram arrancadas por adesão, expondo o metal duro, que por ter em sua composição o carboneto de tungstênio, apresenta maior número atômico e, por consequência, representado em uma tonalidade mais clara que as demais.

3.1.3 Ensaio 3 - Velocidade de corte 250 m/min e avanço 0,1 mm/rev

Analisando-se o comportamento da curva na figura 7, é possível notar que os valores de desgaste na superfície de flanco ultrapassaram o limite de desgaste de flanco médio imposto como critério de fim de vida da ferramenta, desde os primeiros 5 minutos de torneamento, chegando a 403,39 µm ao final do ensaio.

Figura 7: Gráfico dos desgastes de flanco para o Ensaio 3

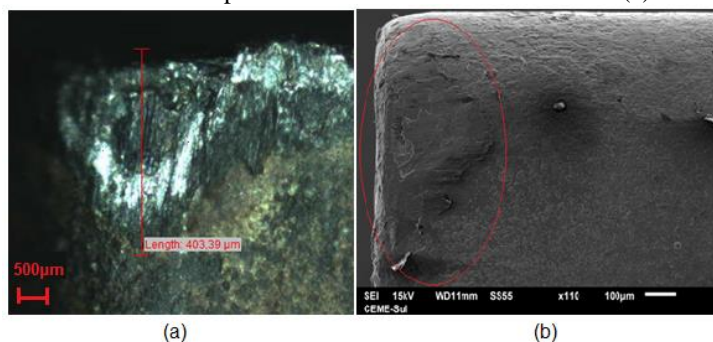


Pereira [18] já haviam observado, anteriormente, que a velocidade de corte é o parâmetro mais influente no desgaste de flanco médio, afetando diretamente a vida da ferramenta de corte

Veiga et al. [7] afirma que o aumento da velocidade influencia na vida útil da ferramenta de corte por ser o principal parâmetro responsável pelo aumento da temperatura na região de geração do cavaco, acelerando o mecanismo de desgaste.

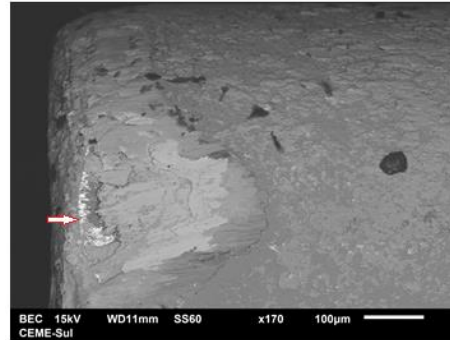
Na Figura 8 (a) é possível observar marcas de queima bem mais visíveis, em relação aos ensaios anteriores e alguns sulcos verticais. Na figura 8 (b), a foto do MEV mostra as perdas de material por abrasão mecânica e adesão de partículas no flanco.

Figura 8: Estado final da superfície de flanco ao fim do ensaio 3 (a) e o MEV (b).



A imagem por BEC (figura 9) mostra um desgaste principalmente das camadas de nitreto de titânio e óxido de alumínio. Nota-se que o desgaste na superfície de flanco se deu em várias finas camadas de cobertura, apresentando uma pequena região de metal duro exposta.

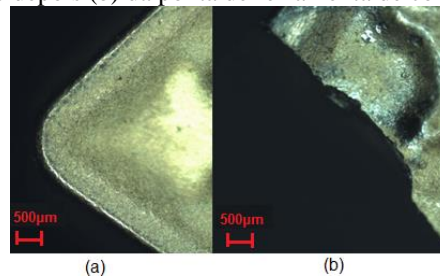
Figura 9: BEC do flanco principal para o Ensaio 3.



3.1.4 Ensaio 4 - Velocidade de corte 250 m/min e avanço 0,316 mm/rev

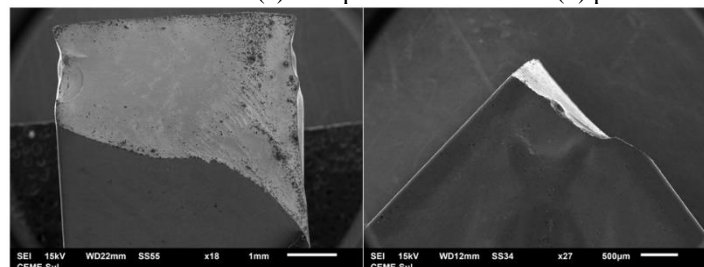
O ensaio durou 1 minuto e 30 segundos, devido a utilização de parâmetros excessivos de velocidade e avanço, que aumentaram muito processos vibratórios elevando as forças de corte e rapidamente enfraqueceram a ferramenta, levando a fratura (figura 10).

Figura 10: Antes (a) e depois (b) da ponta de ferramenta de corte ao final do Ensaio 4.



As imagens do MEV mostram como se deu a quebra da ponta da ferramenta de corte.

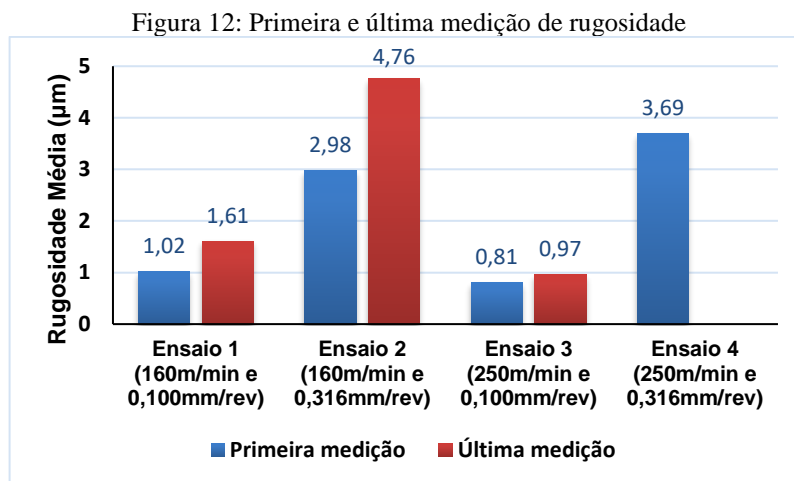
Figura 11 - MEV do flanco (a) e da ponta da ferramenta(b) para o Ensaio 4.



3.2 ANÁLISE DE RUGOSIDADE

O ensaio que apresentou menores valores de rugosidade média superficial foi o terceiro, onde houve aplicação da maior velocidade de corte, e o menor avanço. Comportamento semelhante também foi observado por outros autores em seus trabalhos.

Muhl [9] e Kikukawa et al. [12] constataram que a rugosidade de uma peça usinada tende a reduzir com o aumento da velocidade de corte, quando se utiliza baixos valores de avanço. A figura 12 mostra que os resultados obtidos estão em consonância com estas pesquisas.



4 DISCUSSÃO

4.1 DESGASTE

Analisando-se os ensaios realizados, foi possível notar que o desgaste de flanco foi o fenômeno dominante. Pereira [18] descreve que isto deve-se ao fato da angulação da ponta da ferramenta utilizada ser baixo, o que permite que a superfície de flanco esteja em contato com a peça por mais tempo, gerando mais atrito e consequente maior temperatura nessa região. Comparando os ensaios com relação aos seus parâmetros aplicados, é possível notar que a velocidade de corte é o parâmetro que mais influência no desgaste de flanco.

Embora não cause uma diferença tão expressiva, o aumento do avanço também ocasionou um aumento do desgaste, se comparados os ensaios.

Com relação ao comportamento analisado para o ensaio 4, a ruptura da ponta ou da aresta cortante da ferramenta originou-se pela ação de grandes forças de usinagem que geraram grande vibração na interface ferramenta-peça, conforme já visualizado por Muhl [9] em seus estudos.

4.2 RUGOSIDADE

O aumento do avanço gera um aumento da atuação da força de corte, o que leva a uma deterioração do acabamento superficial e ao enfraquecimento da ferramenta.

Enquanto o avanço se provou importante parâmetro para regular a rugosidade da peça, a velocidade de corte teve uma influência relativamente pequena.

Denkena et al. [11] observaram que aumentando o valor de avanço, obtém-se uma piora significativa na qualidade superficial, com um conseqüente aumento na rugosidade média do material usinado. Barbosa [10] constatou que o avanço é o parâmetro mais influente sobre a rugosidade superficial em um processo de usinagem.

Aouici [13] afirma que a rugosidade de uma superfície aumenta com o avanço devido a geração de sulcos helicoidais, resultado do movimento da ferramenta sobre a superfície da peça. Esses sulcos se tornam mais amplos e profundos à medida que o avanço aumenta.

5 CONCLUSÕES

Com a realização dos experimentos ao longo deste trabalho foi possível concluir que:

- A velocidade de corte foi o parâmetro que apresentou influência mais acentuada no desgaste de flanco da ferramenta de corte;
- Os principais mecanismos de desgaste atuantes foram a abrasão mecânica e adesão termomecânica;
- A combinação de parâmetros que propiciou o menor desgaste de flanco e conseqüente maior vida da ferramenta foi a de velocidade de corte de 160m/min e avanço de 0,1mm/rev;
- O parâmetro que mais influenciou na rugosidade média foi o avanço de corte, sendo a melhor situação analisada para este caso a de maior velocidade, 250m/min, e menor avanço, 0,1mm/rev.

REFERÊNCIAS

1. Ribeiro BR, Souza J, Beluco A, Biehl LV, Medeiros JB, Sporket , et al. Application of the single-minute exchange of die system to the CNC sector of a shoe mold company. *Cogent. Eng.* Disponível em: <https://www.cogento>. 2019 [acesso em 10 nov 2019]; 6: 1-11.
2. Oliveira UM, Biehl LV, Medeiros JB, Avellaneda O, Martins CD, Souza J, et al. Manufacturing against corrosion: Increasing materials performance by the combination of cold work and heat treatment for 6063 aluminium alloy. *Materials Science*. 2020; 26: 30-33.
3. Krolczyk GM, Maruda RW, Krolczyk JB, Wojciechowski S, Mia M, Nieslony P, et al. Ecological trends in machining as a key factor in sustainable production - A review. *Journal of Cleaner Production*. 2019: p. 601-615.
4. Sharma AK, Tiwari AK, Dixit AR. Effects of Minimum Quantity Lubrication (MQL) in machining processes using conventional and nanofluid based cutting fluids: a review. *Journal of Cleaner Production*. 2016: p. 1-18.
5. Koné F, Czarnota C, Haddag B, Nouari M. Modeling of velocity-dependent chip flow angle and experimental analysis when machining 304L austenitic stainless steel with groove coated-carbide tools. *Journal of Materials Processing Technology*. 2013: p. 1166-1178.
6. Samir KK, Lin YJ. Wear mechanisms and tool performance of TiAlN PVD coated inserts during machining of AISI 4140 steel. *Wear*. 2007: p. 64-69.
7. Veiga C, Davim JP, Loureiro R. Review on machinability of titanium alloys: the process perspective. *Reviews on Advanced Materials Science*. 2013: p. 148-164.
8. Gupta M, Sood PK. Surface roughness measurements in NFMQL assisted turning of titanium alloys: An optimization approach. *Friction*. 2017: p. 155-70.
9. Muhl RT. Otimização dos Parâmetros de Usinagem de Acabamento Através da Rugosidade no Torneamento do aço ABNT 4340 [Dissertação de Mestrado]. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo; 2019.
10. Barbosa LG. Influência dos parâmetros de usinagem na integridade superficial da liga biomédica de CoCr ASTM F75 [Dissertação de Mestrado] Campinas: Universidade Estadual de Campinas; 2019.
11. Denkena B, Grove T, Maiss O. Influence of the cutting edge radius on surface integrity in hard turning of roller bearing inner rings. *Production Engineering*. 2015: p. 299-305.
12. Kikukawa JK, Helena FL, Silva TR, Leite SS. Análise do processo de torneamento em relação a rugosidade superficial do aço SAE 1010. *Revista Engenharia em Ação UniToledo*. 2019: p. 96-113.

13. Aouici H. Experimental investigation of cutting parameters influence on surface roughness and cut-ting forces in hard turning of X38CrMoV5-1 with CBN tool. *Sadhana*. 2013; p. 429-445.
14. ABNT. NBR ISO 3685: Ensaio de vida da ferramenta de ponta única para torneamento; 2017.
15. Coromant S. Manual Técnico de Usinagem. Brasil: AB Sandvik Coromant; 2005.
16. Ferraresi D. Fundamentos da Usinagem dos Metais. 17th ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda; 2014.
17. Panjan J, Navinsek B, Cekada M. A new experimental method for studying the cracking behaviour of PVD multilayer coating. *Surface and Coating Technology*. 2003; p. 55-62.
18. Pereira VP. Análise da temperatura ótima de corte para o par: metal duro revestido vs. aço ABNT 1045 [Dissertação de mestrado] Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2019.
19. Vieira, Eduardo Da Rosa ; Biehl, Luciano Volcanoglo ; Medeiros, Jorge Luis Braz ; Costa, Vagner Machado ; Macedo, Rodrigo Jorge . Evaluation of the characteristics of an AISI 1045 steel quenched in different concentration of polymer solutions of polyvinylpyrrolidone. *Scientific Reports*, v. 11, p. 1313-1321, 2021.
20. Vieira, E. R.; Medeiros, J. L. Braz. ; Biehl, L. V. ; Costa, V.M. ; Nunes, L.dos S. ; Bicharra, E.H. ; Silva, Marcos Saalfeld da . Investigation on the capacity of PVP polymer in tool steel cooling in the quenching process. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, p. 50199-50206, 2020.
21. Oliveira, R. C. L. M. ; Biehl, L. V. ; Medeiros, J. L. Braz. ; Ferreira Filho, D. ; Souza, J.D. . Análise comparativa entre a têmpera e partição versus a têmpera e revenimento para o aço SAE 4340. *Materia-Rio de Janeiro*, v. 24, p. 1-11, 2019.
22. Vieira, E. R. ; Biehl, L. V. ; Medeiros, J. L. Braz. ; SILVA, A. B. ; Silva, Marcos Saalfeld da . Efeitos da variação da concentração de solução polimérica aquosa a base de PVP na têmpera de aço AISI 4140. *Materia-Rio de Janeiro*, v. 24, p. 1-11, 2019.
23. Cozza, L.M. ; Medeiros, J. L. Braz. ; Biehl, L. V. ; Ferreira Filho, D. ; Souza, J.D. . 'Escolha das Energias de Soldagem para Aplicação na Técnica da Dupla Camada na Soldagem do Aço ASTM 131 Grau AH 36'. *Revista Soldagem e Inspeção*, v. 24, p. 1-12, 2019.