

ANÁLISE DO DESGASTE DE INSERTOS DE METAL DURO PARA TORNEAMENTO DE AÇOS SAE1020 E SAE1045

ANALYSIS OF WEAR ON CARBIDE INSERTS FOR TURNING SAE1020 AND SAE1045 STEELS

; ¹BORGES, Thiago José Rogério; ¹AMORIM, Fabiano Henrique de
¹GONÇALVES, Gustavo José Corrêa; ¹MUNHOZ, Marcelo Rodrigo; ²BREGANON, Ricardo;
¹RIBEIRO, Fernando Sabino Fonteque.

¹Departamento de Engenharia Mecânica – Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

²Departamento de Controle e Processos Industriais – Instituto Federal do Paraná - Jacarezinho - IFPR

RESUMO

O progresso e o aprimoramento nas ferramentas de corte destinadas à execução de cortes nos processos de fabricação estão se tornando cada vez mais exigentes, especialmente nas máquinas operatrizes de última geração, que primam pela eficiência. A seleção criteriosa dos parâmetros e dos insertos de corte adequados não é apenas uma necessidade, mas também a busca constante por acompanhar a evolução tecnológica, visando à redução de custos e ao aumento da qualidade dos produtos finais. Este estudo analisou o desgaste de insertos de metal duro revestido no processo de torneamento de aços SAE1020 e SAE1045 em um torno CNC. Os aços foram submetidos ao processo de usinagem. Foram empregadas velocidades de corte de 200 a 300 m/min para os materiais, com avanços de 0,36 mm e profundidade de corte de 3,5 mm. A avaliação e identificação do desgaste dos insertos foram realizadas por meio de análise utilizando um microscópio tipo lupa. Verificou-se que, ao empregar tais condições de usinagem, houve predominância de desgaste de flanco e desgaste abrasivo na superfície de saída, bem como a presença de aresta postiça de corte durante a usinagem de aço SAE 1020. No geral, o revestimento de nitreto de titânio apresentou ligeira superioridade ao óxido de alumínio.

Palavras-chave: Desgaste de Insertos; Metal Duro Revestido; Torneamento; Aços.

ABSTRACT

The progress and improvement in cutting tools designed for manufacturing processes are becoming increasingly demanding, especially in state-of-the-art machining equipment that prioritizes efficiency. The careful selection of parameters and appropriate cutting inserts is not only a necessity but also a constant pursuit to keep up with technological advancements, aiming for cost reduction and higher product quality. This study analyzed the wear of coated carbide inserts in the turning process of SAE1020 and SAE1045 steels on a CNC lathe. The steels underwent machining processes, with cutting speeds ranging from 200 to 300 m/min, a feed rate of 0.36 mm, and a cutting depth of 3.5 mm. The evaluation and identification of insert wear were performed through analysis using a magnifying glass-type microscope. It was observed that when using these machining conditions, there was a predominance of flank wear and abrasive wear on the exit surface, as well as the presence of a built-up edge during the machining of SAE 1020 steel. Overall, the titanium nitride coating showed slight superiority over aluminum oxide.

Keywords: Insert Wear; Coated Carbide; Turning; Steels.

INTRODUÇÃO

Os aços SAE 1020 e SAE 1045 desempenham papéis significativos na indústria devido às suas propriedades mecânicas distintas e aplicações versáteis. De acordo com Smith et al. (2008), o aço SAE 1020 é um aço-carbono de baixo teor,

conhecido por sua excelente soldabilidade e facilidade de usinagem. Possui uma composição química que inclui aproximadamente 0,20% de carbono e 0,50% de manganês, conferindo-lhe resistência razoável, combinada com boa ductilidade. Essas características o tornam um candidato ideal para componentes que exijam conformação a frio, como engrenagens, por exemplo.

Por outro lado, o aço SAE 1045, de acordo com Callister et al. (2017), possui uma maior quantidade de carbono, em torno de 0,45%, o que contribui para sua maior resistência mecânica. É frequentemente utilizado em aplicações que requerem maior dureza e resistência ao desgaste, como hastes de pistões e eixos. A presença de maior carbono torna o SAE 1045 menos maleável do que o SAE 1020, porém, sua capacidade de tratamento térmico proporciona a oportunidade de ajustar suas propriedades de acordo com a necessidade.

No processo de usinagem, aços como o SAE 1020 e o SAE 1045 são amplamente empregados devido à sua usinabilidade. De acordo com Machado et al. (2015), a usinagem desses aços é facilitada pela baixa quantidade de elementos de liga, que reduz a formação de difícil controle. Além disso, aços de baixo carbono, como o SAE 1020, demonstram menor tendência à formação de arestas desgastadas durante a usinagem. Para o SAE 1045, onde a dureza e a resistência ao desgaste são cruciais, são adotadas técnicas de usinagem apropriadas para minimizar o desgaste da ferramenta de corte. As Tabelas 1 e 2 apresentam a composição química dos aços SAE 1020 e 1045 respectivamente.

Tabela 1 - Composição Química do aço SAE1020.

C	Mn	P máx.	S máx	Si
0,18 – 0,23	0,30 – 0,60	0,030	0,050	0,15 – 0,35

Tabela 2 - Composição Química do aço SAE1045. Fonte: SACCHELLI (2023).

C	Mn	P máx.	S máx	Si
0,43-0,50	0,60 – 0,90	0,030	0,050	0,15 – 0,35

Fonte: SACCHELLI (2023).

A usinagem representa um dos processos cruciais na indústria mecânica. De acordo com Machado (2009), é um método que, apesar de simultaneamente complexo e simples, envolve a remoção de excesso de material na forma de cavacos. Sua complexidade reside na desafiante definição de parâmetros de corte

eficientes, enquanto sua simplicidade emerge quando, após ajustar esses parâmetros, a formação de cavacos ocorre de maneira precisa, minimizando a necessidade de intervenção do operador. Dessa forma, ao atender às condições necessárias de fabricação, a produção das peças é executada de acordo com as especificações do projeto, visando obter acabamentos com menor custo e tempo.

O torneamento é uma operação de usinagem fundamental na indústria de fabricação principalmente metal mecânica e metalúrgica, permitindo a criação de componentes cilíndricos e cônicos com alta precisão dimensional e qualidade superficial (CHIAVERINI, 2008). O processo de torneamento é uma técnica de usinagem na qual uma peça gira em torno de seu eixo enquanto uma ferramenta de corte se move na direção axial para remover material. Tedesco (2007) observa que os parâmetros a serem considerados na usinagem da velocidade de corte (V_c), que é a velocidade da superfície da peça em relação à ferramenta de corte, medida em metros por minuto (m/min); a velocidade de avanço (f), que é a velocidade com que a ferramenta se move na direção axial, medida comumente em milímetros por revolução (mm/rev) e a profundidade de corte, afetam a taxa de material a ser removido e a vida do inserto.

Uma consideração crítica e muito importante no processo de torneamento é a vida das ferramentas de corte, que desempenham um papel central na eficiência e na qualidade da usinagem. A vida das ferramentas de corte é influenciada por vários fatores, incluindo a escolha do material da ferramenta, os parâmetros de usinagem e as características da peça de trabalho. Como mencionado por Ferraresi (1970), "a seleção adequada do material da ferramenta é essencial para prolongar a vida útil da ferramenta e melhorar a eficiência da usinagem."

Ao se torneir uma peça, o inserto no utilizado no processo está exposto a mecanismos de desgaste, esses mecanismos desempenham um papel crítico na degradação das ferramentas de corte ao longo do tempo. Existem vários mecanismos de desgaste, dos quais os principais incluem desgaste por abrasão, desgaste por adesão, desgaste por difusão e desgaste por craterização (Chiaverini, 2008). A Figura 1 apresenta os principais mecanismos de desgaste ocorridos no processo de torneamento.

Figura 1 – Fenômenos de desgaste em insertos de ferramenta de corte.



Fonte: Adaptado de SANDVIK (2017).

Isto posto, este artigo apresenta uma avaliação experimental do desgaste de ferramentas de corte de metal duro revestidas submetidas ao processo de torneamento a seco de aços SAE 1020 e 1045, sendo comparados os mecanismos de desgaste em função dos tipos de revestimentos aplicados e dos materiais de trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

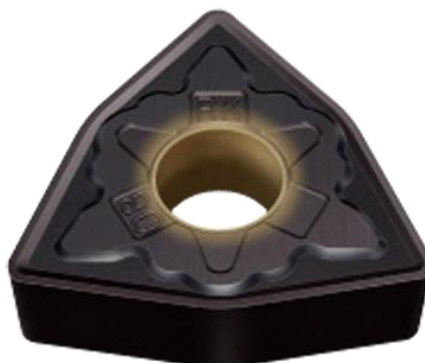
No presente trabalho, foi realizado uma comparação do desgaste em dois tipos de insertos de metal duro (WC-Co), o inserto WNMG080412-MP MC6025 e o inserto WNMG080412-RK MC5015, ambos do mesmo fabricante (MITSUBISHI MATERIALS), para usinagem em dois tipos de aços extremamente comuns dentro da indústria mecânica, os aços SAE1020 e SAE1045. As Figuras 2 e 3 ilustram os dois insertos respectivamente.

Figura 2 – Inseto WNMG080412-MP MC6025.



Fonte: Toolsunited (2023).

Figura 3 – Inseto WNMG080412-RK MC5015.



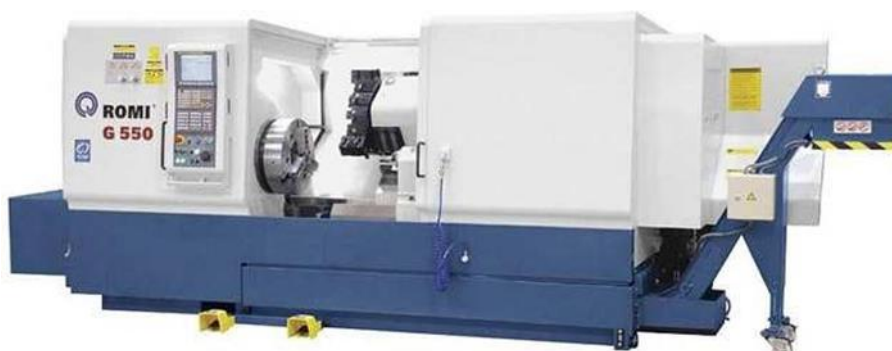
Fonte: Toolsunited (2023).

Os insertos WNMG080412-MP MC6025 e WNMG080412-RK MC5015 são amplamente usados em operações de torneamento, ambos os insertos apresentam um formato triangular do tipo W como já apresentado nas Figuras 2 e 3. As principais distinções entre esses insertos residem em seus revestimentos e características específicas de corte e as geometrias de quebra cavaco. O WNMG080412-MP MC6025 possui como revestimento nitreto de titânio e é conhecido por sua

resistência ao desgaste versátil, já o inserto WNMG080412-RK MC5015 que possui revestimento de óxido de alumínio se destaca por sua tenacidade, tornando-o adequado para geometrias de corte de maior complexidade. A escolha entre qual inserto utilizar depende das propriedades do material da peça e das condições de corte. Selecionar a ferramenta de corte mais adequada para uma tarefa específica de usinagem é essencial no dia-a-dia de uma indústria.

A máquina ferramenta utilizada no trabalho foi um torno CNC ROMI G550, conforme mostrado na Figura 4. Este torno possui um curso longitudinal (eixo z) de 1340 mm e um curso transversal (eixo x) de 280 mm, além de um diâmetro máximo torneável de 550 mm, sendo uma máquina ótima dentro da indústria para produção de peças em grande escala com dimensões maiores, além da alta robustez e qualidade obtida pela mesma.

Figura 4 – Torno CNC Romi G550.



Fonte: Adaptado de Romi (2011)

Foram utilizados dois tipos de insertos, o WNMG080412-MP MC6025 e o WNMG080412-RK MC5015 como mencionados, que apresentam 6 arestas de corte, com raios das arestas medindo 1,2 mm. Os testes de torneamento foram conduzidos com um avanço de 0,36 mm/rot e uma profundidade de corte de 3,5 mm. A velocidade de corte variou entre 220 m/min e 300 m/min, para o primeiro e segundo ciclo de usinagem, respectivamente, ajustada de acordo com as exigências específicas da operação de usinagem.

As peças de trabalho adotadas nos aços citados continham um diâmetro de 9 polegadas (228,6 mm) e um comprimento de 1000 mm. Inicialmente, ocorreu o

desbaste no aço SAE 1045 utilizando o inserto WNMG080412-MP MC6025. Posteriormente, foi utilizado o inserto WNMG080412-RK MC5015. Foram realizados dois passes no material com cada inserto, cada um com 930 mm de comprimento. Não foi possível usinar o tamanho total da peça (1000 mm) devido à fixação de parte do material na placa. Em seguida, após finalização dos testes no aço SAE1045, os mesmos testes foram realizados no aço SAE1020 seguindo exatamente os mesmos parâmetros do aço SAE1045. Os parâmetros da usinagem desse trabalho estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros de usinagem

Parâmetro	Valor adotado
Velocidade de corte (V_c)	220-300 m/min
Rotação (n)	318-332 rpm
Profundidade de corte (a_p)	3,5 mm
Avanço (f)	0,36 mm/rot

Ressalta-se que a cada ciclo de usinagem as ferramentas de corte foram fotografadas através de um microscópio tipo lupa em ampliações de 10x, da marca OPTON, presente no Laboratório de Metalografia do Centro Universitário das Faculdade Integradas de Ourinhos. A utilização desse microscópio desempenha um papel fundamental na análise e visualização do desgaste de insertos de metal duro, tornando-se uma ferramenta essencial para engenheiros e técnicos de usinagem. Este dispositivo, conhecido por sua capacidade de ampliação, oferece vantagens significativas na inspeção detalhada das arestas de corte dos insertos de metal duro, podendo identificar e avaliar com precisão diferentes tipos de desgaste, como desgaste por abrasão, lascamento, formação de cratera e trincas, entre outros. Além disso, essa análise ajuda a determinar o momento adequado para substituir os insertos em fim de vida, otimizando assim a eficiência do processo de usinagem. Além disso, essa análise facilita a documentação visual do desgaste, permitindo que os operadores registrem imagens para referência futura e análise comparativa. Essa documentação pode ser valiosa para o monitoramento da vida das ferramentas de corte e para o desenvolvimento de estratégias de manutenção preventiva.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após uma inspeção detalhada realizada com o auxílio do microscópio, conduziu-se uma análise qualitativa das falhas observadas nas arestas de corte dos insertos em estudo. As falhas identificadas originaram-se do processo de torneamento, que resultou no desgaste das ferramentas de corte. Entre os tipos de desgaste observados, incluem-se o desgaste de flanco, formação de aresta postiça e o desgaste abrasivo. É importante ressaltar que também poderiam ocorrer outros tipos de desgastes com maiores volumes de material removido ou a adoção de outros parâmetros de usinagem, como a quebra, lascamento, trincas e desgaste de cratera. Ressalta-se que a quebra e lascamento podem resultar na perda significativa de material do inserto de corte de forma instantânea, enquanto a formação de trincas causa a abertura de fendas no corpo do inserto de corte (MACHADO, et al., 2009).

No inserto com revestimento de nitreto de titânio, ao usinar o aço SAE1045, observou-se que houve desgaste de flanco, sendo esse desgaste caracterizado pela abrasão do flanco com a peça de trabalho, onde partículas abrasivas presentes no material da peça erodem gradualmente o revestimento de TiN na superfície do inserto. Além disso, elevadas forças de corte devido a parâmetros de usinagem como velocidade de corte, profundidade de corte e avanço, podem submeter o inserto a pressões excessivas, levando a maiores taxas de desgaste de flanco. Também as altas temperaturas geradas durante a usinagem do aço SAE 1045 podem enfraquecer o revestimento, especialmente em altas velocidades de corte.

Além disso, verifica-se que o escoamento do cavaco na superfície de saída da ferramenta de corte promoveu o desgaste abrasivo. Não havendo evidências da presença de aresta postiça de corte nesta aplicação, determina-se que a abrasão do cavaco em altas temperaturas removeu parcialmente a camada do revestimento, evidenciando (na cor cinza) o substrato base de metal duro. A continuidade deste mecanismo de desgaste culminará em um desgaste de cratera, caso não ocorra um desgaste catastrófico antes.

A Figura 5 apresenta o resultado da usinagem do inserto com revestimento de nitreto de titânio no aço SAE 1045.

Figura 5 – Desgaste no inserto com revestimento de nitreto de titânio no torneamento do aço SAE1045



No inserto com revestimento de óxido de alumínio, ao usinar o aço SAE1045, foram verificados os mesmos mecanismos de desgaste. Sendo adotados os mesmos parâmetros de corte, verifica-se que o revestimento de óxido de alumínio apresentou maior desgaste de flanco se comparado a ferramenta anterior. Quanto ao desgaste na superfície de saída da ferramenta de corte, observa-se uma nítida região de desgaste próxima a aresta de corte, onde é possível notar o substrato da ferramenta de corte revelado pelo desgaste abrasivo. Tratando-se de uma geometria de corte simples e sem a presença de corte interrompido, a maior tenacidade do óxido de alumínio não superou a maior resistência térmica e abrasiva do nitreto de titânio. A Figura 6 ilustra o desgaste por flanco no inserto de óxido de alumínio no torneamento do aço SAE1045.

Figura 6 – Desgaste no inserto com revestimento de óxido de alumínio no torneamento do aço SAE1045

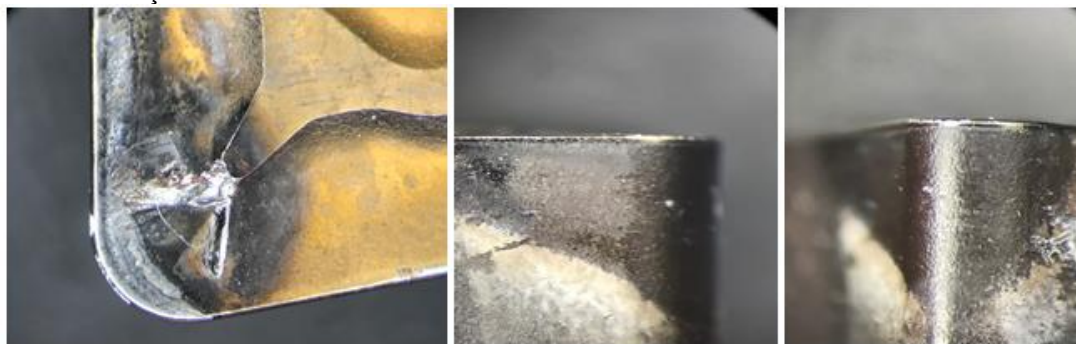


Ao usinar o aço SAE 1020 com o inserto revestido por nitreto de titânio, observou-se mecanismos de desgaste semelhantes ao observados anteriormente, mas em menor magnitude. Embora o aço SAE 1020 seja relativamente menos resistente ao SAE 1045, ele ainda pode gerar desgaste para as ferramentas de

corte, especialmente em altas taxas de remoção de material ou em condições propícias para a formação de arestas postiças. A abrasividade do material pode levar ao desgaste prematuro do revestimento de nitreto de titânio nas faces laterais do inserto.

Apesar de ser visível a área de contato na aresta de corte, na região do flanco, ainda há maior preservação do revestimento, sendo que há menor destaque do substrato na aresta de corte. Na superfície de saída, também verifica-se menor taxa de desgaste abrasivo, se comparado a mesma ferramenta na usinagem de aço SAE 1045. Tal observações devem-se a menor resistência do presente aço, o que reduz a temperatura de usinagem nas regiões primária (plano de cisalhamento), secundária (região de escorregamento na superfície de saída) e terciária (região de contato com o flanco da ferramenta). Apesar de o mesmo volume de material removido, o revestimento de nitreto de titânio apresentou melhor resistência a estas temperaturas de usinagem. A Figura 7 ilustra o desgaste no inserto com revestimento de nitreto de titânio no torneamento do aço SAE1020.

Figura 7 – Desgaste no inserto de com revestimento de nitreto de titânio no torneamento do aço SAE1020.



Por fim, com o uso do inserto com revestimento de óxido de alumínio durante a usinagem do aço SAE1020 observou-se que além dos mecanismos anteriores, houve a presença de aresta postiça de corte. O desgaste por aresta postiça de corte durante a usinagem de aço SAE1020 e aços carbonos é um fenômeno comum e pode ser atribuído a várias causas inter-relacionadas, principalmente em ferramentas de corte sem revestimento. Embora o aço SAE 1020 apresente fácil usinabilidade em comparação com outros materiais metálicos, ele pode conter partículas abrasivas e inclusões que desafiam a integridade das ferramentas de corte. Essas partículas abrasivas agem como agentes de desgaste, erodindo

gradualmente a aresta de corte do inserto revestido (SMITH, 2020). Diferentemente da difusão, que ocorre em escala atômica, a adesão é visível e caracteriza-se por adesão mecânica do material de trabalho na ferramenta de corte. A subsequente adesão e escorregamento dessas partículas deteriora o revestimento, que permite a exposição do metal duro base. Nesta região agredida, ocorrem a adesão por compressão mecânica de maiores dimensões, determinadas como aresta postiça de corte. A constante formação de escorregamento dessas partículas (*attrition*) leva consigo partes da ferramenta de corrobora para um desgaste de cratera severo (DINIZ, 1999). A Figura 8 ilustra o desgaste por aresta postiça de corte no inserto de óxido de alumínio no torneamento do aço SAE1020.

Figura 8 – Desgaste no inserto com revestimento de óxido de alumínio no torneamento do aço SAE1020.



CONCLUSÃO

Neste estudo, foram investigados os efeitos do desgaste em insertos de metal duro revestidos com nitreto de titânio e óxido de alumínio durante o processo de torneamento de aços SAE1020 e SAE1045 em um torno CNC. Os resultados revelaram conclusões significativas. Observou-se que, nas condições de usinagem utilizadas, o desgaste por flanco dos insertos foi predominante, com um dos insertos demonstrando um desgaste acentuado na aresta postiça de corte.

Durante a análise de desempenho do revestimento de nitreto de titânio observou-se que o nos insertos com revestimento de nitreto de titânio os testes realizados apresentaram aspectos como desgaste de flanco e desgaste abrasivo, sendo a camada do revestimento de TiN parcialmente removida devido as altas temperaturas geradas pelas forças aplicadas durante os teste, mesmo sabendo que

em relação a este revestimento o mesmo é altamente resistente a desgastes por fricção no qual geram elevadas temperaturas.

Já nas análises com o revestimento óxido de alumínio pode-se notar que em ambos os testes o revestimento apresentou uma eficiência térmica e abrasiva menor do que a do nitreto de titânio, demonstrando também a aparição de arestas postiças de corte sendo gerada pela remoção gradual do revestimento gerando assim, um contato maior com o metal duro na peça teste. Podemos notar ainda que em ambos os testes realizados, tanto no de nitreto de titânio quanto no de óxido de alumínio, os resultados apresentados foram distintos com relação ao material no qual foi feito os testes, em ambos os desgastes no SAE1045 foram maiores do que no SAE1020. Contudo nos testes no SAE1020 ambos os revestimentos apresentaram a formação de aresta tangente de corte.

Este estudo é de extrema relevância e destaca seu impacto na busca contínua pela excelência na usinagem de materiais, num contexto em que a eficiência e a qualidade são elementos cruciais para o sucesso da indústria. Como futuros trabalhos, sugere-se observar a curva de vida da ferramenta e avaliação das condições de acabamento superficial da peça em função da vida das ferramentas de corte.

REFERÊNCIAS

ARRUDA, José Dimas et al. **Análise de desgaste em insertos de metal duro revestido para torneamento do aço SAE4140**. In: XVII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial, 2017.

CALLISTER Jr., William D. et al. **Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução**. 10ª edição. Wiley, 2017.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 599p, 7 ed. São Paulo, 2008.

Diniz A. E.; Marcondes F. C.; Coppini N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. MM Editora, São Paulo, Brasil 1999.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Editora Blucher, 1970.

Machado A. R.; Abrão A. M.; Coelho R. T.; Silva M. B. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 2ª Edição Edgard Blucher Ltda, São Paulo, Brasil 2009.

SACCHELLI. Disponível em: sacchelli.com.br. Acesso em: 07 set. 2023.

SANDVIK, Desgaste de Ferramentas. Disponível em: https://www.sandvik.coromant.com/ptpt/knowledge/general_turning/troubleshooting-tool-wear/pages/default.aspx. Acesso em: 07 set. 2023.

SMITH, William F.; HASHEMI, Javad. **Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais**. 5ª edição.

ROMI. Centros de Torneamento Romi G. Disponível em: romi.com/produtos/centros-de-torneamento-romi-g/. Acesso em: 07 set. 2023.

TEDESCO, M.E. **Varição Dimensional e Microestrutural do Aço AISI 4140 em Peças Usinadas por Torneamento**. Dissertação de Mestrado, 69p, Universidade de Caxias do Sul, 2007.

TOOLS UNITED. Disponível em: toolsunited.com. Acesso em: 07 set. 2023.