

**ANÁLISE DE DESGASTE EM INSERTOS DE METAL DURO REVESTIDO PARA TORNEAMENTO DO AÇO
SAE4140**

Arruda, José Dimas⁽¹⁾ (jdimasarrudaem@yahoo.com.br), Vigiani, Karine Madeira Nogueira⁽²⁾ (karinevigiani@gmail.com), Franco, Luciano José Vieira⁽³⁾ (lucianov_franco@hotmail.com), Leite, Jussara Fernandes⁽⁴⁾ (leite.jussara@yahoo.com.br), Neto, José Ambrósio⁽⁵⁾ (joseambrosio@unipac.edu.br).

⁽¹⁾ Fundação Presidente Antônio Carlos (FUPAC); Engenharia Mecânica

⁽²⁾ Fundação Presidente Antônio Carlos (FUPAC); Engenharia Mecânica

⁽³⁾ Fundação Presidente Antônio Carlos (FUPAC); Engenharia Mecânica

⁽⁴⁾ Fundação Presidente Antônio Carlos (FUPAC); Engenharia Mecânica

⁽⁵⁾ Fundação Presidente Antônio Carlos (FUPAC); Engenharia Mecânica

RESUMO: *O desenvolvimento e as melhorias das ferramentas, para realização do corte nos processos de fabricação, são cada vez mais exigentes, principalmente nas máquinas operatrizes mais modernas e eficientes. Ao se escolher corretamente os parâmetros e o inserto de corte adequado, se torna uma questão de acompanhar a tecnologia para que se possa reduzir custos e aumentar a qualidade final dos produtos. O trabalho realizado avaliou o parâmetro de velocidade de corte dos insertos de metal duro revestido no processo de torneamento de rolos de aço SAE4140 em torno CNC, no estado temperado e revenido, com dureza entre 45 e 48HRCs. Utilizou-se velocidades de corte de 100, 120 e 150m/min, avanço de 0,2mm/rot e profundidade de corte de 2mm. A avaliação e identificação do desgaste dos insertos foram realizados através da análise por microscopia ótica. Concluiu-se que fratura e lascamento das arestas de corte foram predominantes ao utilizar velocidade de corte igual a 150m/min. Foi realizado um cálculo de tempo de usinagem dos insertos utilizados, concluindo o custo final para cada inserto e custo total para o trabalho executado.*

PALAVRAS-CHAVE: *Aço SAE 4140, torneamento, insertos de metal duro, desgaste do inserto de corte.*

ANALYSIS OF WEAR ON HARD METAL INSERTS COATED FOR STEEL TURNING SAE4140

ABSTRACT: *The development and improvement of the tools, for the accomplishment of the cut in the manufacturing processes, are more and more demanding, especially in the most modern and efficient machine tools. By properly choosing the parameters and the appropriate cutting insert, it becomes a matter of monitoring the technology so that you can reduce costs and increase the final quality of the products. The work carried out evaluated the cutting speed parameter of the coated carbide inserts in the process of turning SAE4140 steel rolls around CNC in tempered and tempered state, with a hardness between 45 and 48HRCs. Cutting speeds of 100, 120 and 150m / min, feed rate of 0.2mm / rot and depth of cut of 2mm were used. The evaluation and identification of the wear of the inserts were performed through the analysis by optical microscopy. It was concluded that fracture and chipping of the cutting edges were predominant when using a cutting speed of 150 m / min. A calculation of the machining time of the inserts was performed, concluding the final cost for each insert and total cost for the work performed.*

KEYWORDS: *SAE 4140 steel, turning, carbide inserts, wear of the cutting insert.*

1. INTRODUÇÃO

O aço SAE 4140 é uma liga metálica usada em aplicações industriais, principalmente em indústrias de forjamento. A capacidade de encruar e a elevada tenacidade deste aço ocorrem em função dos elementos de liga adicionados, principalmente cromo (Cr) e molibdênio (Mo). Deste modo, este aço é um dos materiais mais importantes para as aplicações em que se requer resistência à deformação, possuindo elevada resistência à fadiga e custo relativamente baixo. Tratamentos térmicos ou termoquímicos são comumente usados para melhorar suas propriedades mecânicas. Ideal para aplicações que exigem boa temperabilidade, utilizado na fabricação de diferentes componentes mecânicos, que se deseja uma boa combinação de resistência mecânica e resistência à fratura (Corrêa, 2013). A composição química do aço SAE4140 é apresentada na Tabela 1.

TABELA 1. Composição Química do aço SAE4140.

C	Mn	P máx.	S máx	Si	Cr	Mo
0,38 – 0,43	0,75 – 1,00	0,030	0,040	0,15 – 0,35	0,9 – 1,10	0,15 – 0,25

Fonte: Chave dos Aços (2016).

O tratamento térmico de têmpera consiste basicamente em aquecer e manter o aço a uma temperatura em que se verifique a transformação para a estrutura austenítica e, em seguida, ser resfriado a uma taxa acima da velocidade crítica (velocidade de resfriamento a partir da qual há o aparecimento da microestrutura martensítica) (CHIAVERINI, 2008). De acordo com Becker (2012), revenimento é o tratamento térmico sequencial à têmpera, promovendo o alívio e a remoção das tensões internas geradas pela têmpera e corrigindo a dureza e fragilidade do material, aumentando sua ductilidade e resistência ao choque. Estes tratamentos térmicos sequenciais aplicados ao aço SAE4140 promove um aumento de dureza e resistência mecânica que favorecem aplicações como em cilindros de laminação de aço comum.

A usinagem é um dos mais importantes e principais processos de fabricação na área da mecânica. Machado (2009) define como um processo complexo e simples ao mesmo tempo, no qual se produz peças removendo excesso de material na forma de cavacos. Complexo pelo fato de que há dificuldade em seguir parâmetros de cortes eficientes. E simples, porque após a conclusão e adequação dos parâmetros de corte, a formação do cavaco se faz de forma correta, a fim de evitar intervenções do operador. Sendo assim, com as condições necessárias para a fabricação atendidas, à produção das peças são realizadas dentro das especificações do projeto, objetivando acabamentos com menores custos e tempo.

O torneamento é o processo mecânico destinado à usinagem de superfícies com auxílio de um ou mais insertos. Para isto, a peça gira em torno do eixo principal de rotação da máquina e o inserto se desloca em paralelo com o eixo principal. (FERRARESI, 1986). É, basicamente, a retirada progressiva de cavaco, por um inserto que deve ter dureza superficial maior que a do material usinado. O inserto penetra na peça, cujo movimento rotativo ao redor do eixo permite o corte contínuo e regular do material. A força necessária para se retirar o cavaco é feita sobre a peça, enquanto o inserto, preso ao porta ferramenta, contrabalança a reação desta força. A Figura 1 apresenta alguns parâmetros do processo de torneamento.

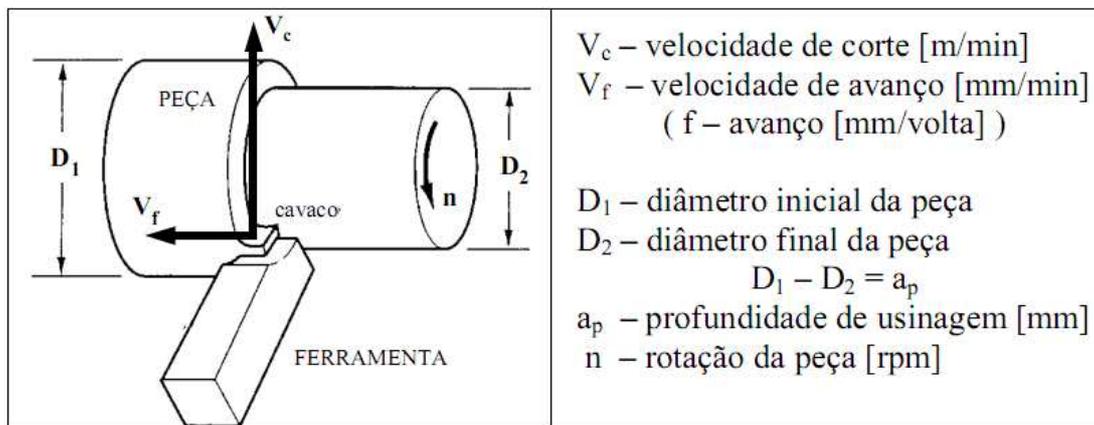


FIGURA 1. Operação de Torneamento. Fonte: Diniz *et al* (2000)

Para Tedesco (2007), os parâmetros de velocidade de corte (V_c), avanço (f) e profundidade de corte (a_p) afetam a taxa de material a ser removido e a vida útil do inserto utilizado. Aumentando qualquer um desses parâmetros, conseqüentemente aumenta a remoção do material, porém diminui a vida útil do inserto. Para se calcular a velocidade de corte é utilizada a Equação 1:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ (m/min)} \quad (1)$$

Onde: D = diâmetro inicial da peça (mm); n = número de rotações por minuto (rpm).

A velocidade de corte usada no torneamento tem um efeito sobre a vida útil do inserto maior que o efeito do avanço, e principalmente se comparado à profundidade de corte, por isso sua seleção é mais crítica. A vida útil do inserto é menos afetada por variações de profundidade de corte que qualquer outro parâmetro. A profundidade de corte (a_p) é limitada pela quantidade de material a ser removida, potência disponível da máquina, rigidez no sistema, capacidade do inserto,

qualidade superficial e precisão requerida. Além disso, uma redução no avanço melhora a qualidade da superfície (TEDESCO, 2007). O avanço (f) pode ser calculado através da Equação 2.

$$V_f = f \times n \text{ [mm/min]} \quad (2)$$

Onde: f = avanço (mm/rev).

Nas operações há uma relação entre velocidade de corte (V_c) e avanço (f), que deve fornecer a maior produtividade para a qualidade que se deseja obter. Quanto maiores forem V_c e f , menor será o tempo efetivo de corte, porém maior será o desgaste dos inserts. Conclui-se então que para se determinar os parâmetros, deve-se conhecer desde o material até a capacidade da máquina, pois os parâmetros de corte como velocidade, avanço e profundidade de corte são de suma importância ao se realizar a usinagem, atendo-se sempre à viabilidade econômica do processo. Mesmo que os fabricantes disponibilizem as informações técnicas das ferramentas, o acompanhamento do rendimento dos inserts é o mais indicado para a determinação dos parâmetros excelentes de usinagem nas condições para produção na fábrica.

Além dos parâmetros de usinagem, a forma do cavaco, o emprego de quebra cavaco e o ângulo de saída tem que ser considerado no processo. O quebra cavaco tem sido fortemente utilizado, uma vez que as melhorias nos inserts de corte e nas máquinas ferramentas têm favorecido a formação do cavaco helicoidal ou em fita, principalmente pelo aumento da velocidade de corte. Daí, a alternativa é recorrer à quebra mecânica do cavaco por flexão. (FERRARESI, 1986).

Os cavacos da classe fita, emaranhado e hélice plana, conforme Figura 2, que apresenta as classes de cavacos, são considerados desfavoráveis, por ocupar muito espaço na máquina ou para seu armazenamento. Isto ocorre porque o material não se separa em zonas de cisalhamento, ou seja, possui poucas zonas de ruptura (BESKOW, 2011).

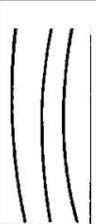
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FITA		HÉLICE					OUTROS		
FITA	EMARANHADO	HÉLICE PLANA	HÉLICE OBLÍQUA	HÉLICE LONGA	HÉLICE CURTA	HÉLICE ESPIRAL	ESPIRAL	VÍRGULA	ARRANCADOS
									
desfavorável		médio			favorável		médio		

FIGURA 2. Formas que os cavacos assumem na operação de torneamento. Fonte: Machado (2009)

Os parâmetros que facilitam a formação desse tipo de cavaco são velocidade de usinagem alta, altos ângulos efetivos e materiais resistentes. Porém, apresentam riscos para o operador, com temperaturas elevadas e arestas afiadas. Ocorrendo o enrolamento com a peça, causam danos na superfície usinada e a chegada do fluido de corte no inserto é dificultada. Nos cavacos das classes hélice oblíqua, longa, curta, espiral, vírgula e arrancados são os favoráveis, tendo como virtude o pouco volume gerado, não obstruindo a área de trabalho e sendo removidos com menor dificuldade. (BESKOW, 2011).

Muitas vezes o processo de usinagem é utilizado com o propósito de dar acabamento à peça, realizando ajustes finais e regularizando a superfície da mesma, removendo assim defeitos superficiais, diminuindo o atrito ou ainda removendo óxidos provenientes do processamento.

Existem insertos de corte indicados para as mais diversas formas de usinagem, dependendo da necessidade específica. É muito importante utilizar o inserto adequado, para se obter um processamento eficiente, não comprometendo ou danificando o mesmo. A composição química determina as condições em que esse inserto poderá ser operado com máxima eficiência.

Considera-se uma série de fatores na seleção do material do inserto de corte a ser utilizado, dentre eles a dureza e microestrutura do material a ser usinado, tipo de cavaco gerado, processo de usinagem, condições da máquina operatriz, forma e dimensões do inserto, custo do material do inserto, condições de usinagem, mão de obra, capacidade da máquina e características mecânicas do material do inserto de corte (dureza sob fluência, resistência ao desgaste, tenacidade, estabilidade química) (DINIZ, 1999). Os dois principais materiais utilizados na fabricação de insertos de corte são aços rápidos e metal duro.

Aços rápidos são ferramentas de aços especiais de alto desempenho que oferecem alta dureza e resistência ao desgaste em temperaturas até 500°C, graças a elementos de liga como

Tungstênio (W), Molibdênio (Mo), Vanádio (Va) e Cromo (Cr), que são capazes de formar carbonetos. Para o aumento da dureza a quente, Cobalto (Co) pode ser adicionado. Em algumas ferramentas de corte como brocas, machos, alargadores e alguns tipos de fresa, a aplicação de materiais mais resistentes ao desgaste como metal duro ou cerâmico.

O inserto de metal duro revestido é um produto da metalurgia do pó, feito de partículas duras. Representa atualmente em torno de 80-90% de todas as pastilhas para ferramenta de corte. Seu sucesso como material da ferramenta deve-se à sua exclusiva combinação de resistência mecânica, resistência ao desgaste e boa tenacidade, além de sua habilidade para conformidade com formatos complexos (Corrêa, 2013). A Figura 3 mostra alguns dos tipos de insertos de metal duros revestidos existentes no mercado, como losangular, triangular, quadrada e raizada.



FIGURA 3. Insertos de corte de metal duro revestido. Fonte: Sandvik, 2017

Durante o processo de usinagem, o inserto é submetido a esforços mecânicos, vibrações do sistema e atrito dinâmico entre peça/inserto e cavaco/inserto, levando este ao fim de sua vida útil com poucas horas de trabalho, ocorrendo quebra ou formação de aresta postiça de corte, ou ainda através do desgaste progressivo contínuo.

Santana (2011) fez um estudo analisando o desgaste em insertos de metal duro em torneamento de um aço SAE4140. Dentre os parâmetros avaliados, a variação da velocidade de corte afetou o tipo de desgaste apresentado pelas pastilhas. A Figura 4a mostra a pastilha apresentando desgaste de flanco após a usinagem com velocidade de corte (V_c) igual a 100m/min e avanço (f) igual a 0,3mm/min. A Figura 4b mostra a formação de desgaste por craterização e de flanco, para o processo utilizando velocidade de corte (V_c) igual a 200 m/min e avanço (f) igual a 0,3 m/min. Ferraresi (1986) afirma que o desgaste de flanco em insertos de corte é um dos menos prejudiciais durante o processo de usinagem.

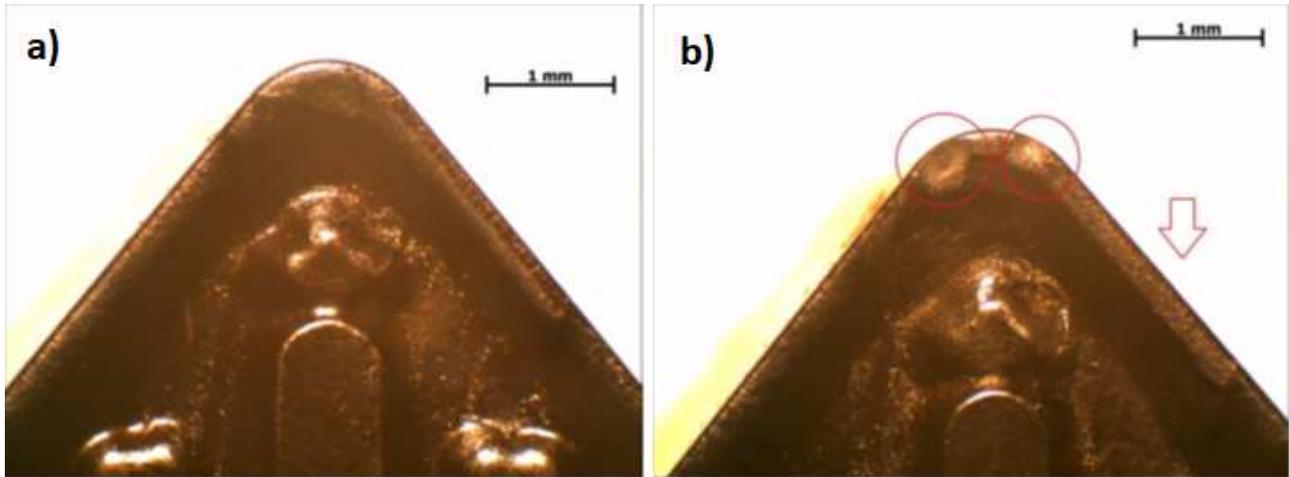


FIGURA 4. a) Análise de desgaste no inserto de corte para $V_c = 100\text{m/min}$; b) Análise de desgaste no inserto de corte para $V_c = 200\text{m/min}$. Fonte: Santana (2011).

Os principais fenômenos de desgaste em insertos de ferramenta de corte, de acordo com a danificação do inserto de corte, são apresentados na Figura 5.



FIGURA 5. Fenômenos de desgaste em insertos de ferramenta de corte. Fonte: SANDVIK (2017).

A aresta postiça de corte ocorre por fatores como: inserto muito duro, sensível aos choques mecânicos sofridos; geometria do inserto inadequado; velocidade de corte incorreta e corte interrompido. O desgaste com formação de trincas é causado devido a inconstantes temperaturas e variações dos esforços mecânicos (FERRARESI, 1986). Diniz (1999) afirma que fatores como corte interrompido e variação na espessura de corte são causadores de trincas por esforços mecânicos, as quais se desenvolvem paralelamente à aresta postiça de corte. No lascamento, partículas

relativamente grandes são retiradas de uma só vez do inserto de corte. Acontece principalmente em inserto com material frágil ou quando a aresta deste é pouco reforçada. Provoca deterioração do acabamento superficial da peça e pode levar a quebra da ferramenta. O lascamento, assim como as trincas, é mais comum no corte interrompido. (FERRARESI, 1986).

A pressão aplicada na ponta do inserto juntamente com alta temperatura gera deformação plástica na aresta do inserto de corte. Esta também ocorre quando o material do inserto é amolecido. Em geral as classes mais duras e as coberturas mais espessas melhoram a resistência ao desgaste por deformação plástica. O desgaste de cratera ocorre na superfície de saída do inserto, causado pelo atrito entre a ferramenta e o cavaco. O desenvolvimento deste tipo de desgaste está diretamente ligado à temperatura e à pressão de corte. O desgaste de flanco ocorre na superfície de folga do inserto de corte, causado pelo contato deste com a peça. É o tipo de desgaste mais comum e ocasiona deterioração do acabamento superficial da peça e, por modificar totalmente a forma da aresta do inserto de corte original, provoca uma alteração na dimensão da peça, podendo sair de sua faixa de tolerância. É incentivado pelo aumento de velocidade de corte (DINIZ, 1999).

Nos dias atuais, os processos de fabricação por usinagem com alto índice de complexidade e qualidade são executados em máquinas CNC (Comando Numérico Computadorizado). O CNC diminuiu as tarefas repetitivas para os operadores e aumentou a flexibilidade da produção com pequenos lotes e grandes variedades de produtos. Para gerar os dados é utilizada programação, que produz uma série de registros para cada peça. Os registros possuem os dados dimensionais e informações para operação da máquina. Dentro do sistema encontram-se os dados geométricos para a ferramenta ou peça, além de dados tecnológicos para controle da máquina (TELES, 1990).

Entretanto, estas vantagens ficam comprometidas quando os parâmetros de usinagem não são efetuados de forma correta, podendo assim ocasionar quebra, desgaste excessivo das ferramentas, atrasos na entrega do produto final e a utilização de máquinas em condições inadequadas. Ocorrendo tais problemas, a qualidade do produto final pode ser prejudicada gerando o aumento de máquinas paradas, podendo então elevar o custo da produção. (MARCIANO, 2012).

1.1 Objetivos e justificativas

O estudo buscou comparar o desgaste em insertos de metal duro revestido, de duas fabricantes diferentes, no torneamento do aço SAE4140. Identificando as principais dificuldades na usinagem, verificando o comportamento mecânico quanto ao desgaste dos insertos de corte e determinando o melhor inserto utilizado para usinagem do aço SAE4140.

A pesquisa se justifica na busca da determinação dos principais problemas que ocasionam as perdas de tempo ao realizar a usinagem deste aço, identificando as principais perdas de produtividade e os pontos críticos do processo, implantando alterações para que se possam alcançar os melhores índices de produtividade com a adequação do inserto, evitando paradas de máquinas e aumentando a produção sem desperdício de tempo utilizando ferramental correto. Assim, ao atingir os objetivos propostos de diagnosticar a principal dificuldade da usinagem do aço SAE4140 e fazer a análise dos parâmetros de corte utilizados, deu-se a este trabalho, uma importante fonte de pesquisa para atingir os objetivos e ganhos de produtividade, com menores custos e maior qualidade na fabricação de peças a partir do aço analisado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse trabalho, foi realizado um estudo comparativo do desgaste dos insertos WNMG080408MN KCP10B, fabricante A e WNMG080408-MF5-TH1000, fabricante B, para usinagem de rolos de laminação com diâmetro de 285mm, temperado e revenido, com dureza entre 45 a 48 HRC, realizando uma modificação com o processo de torneamento, alterando o diâmetro da pista do rolo de 282mm para 279,3 +0,03mm e rugosidade superficial final de 0.4 conforme solicitação do cliente. O trabalho foi desenvolvido na empresa Mecânica GG em Ouro Branco – MG, com finalidade de obter informações técnicas para que o operador pudesse utilizar o inserto adequado na usinagem do aço SAE 4140, visando aumento de produtividade, maior vida útil da ferramenta e máquina, qualidade na usinagem das peças e melhor eficiência na entrega do produto final. A máquina utilizada para a execução deste estudo, é o torno CNC Romi G550 que permite o aumento significativo de produtividade, resultando em maior rentabilidade. Projetado para operar em ambientes de alta produção. A Figura 6 mostra um torno idêntico ao utilizado na realização dos testes de usinagem desta pesquisa.

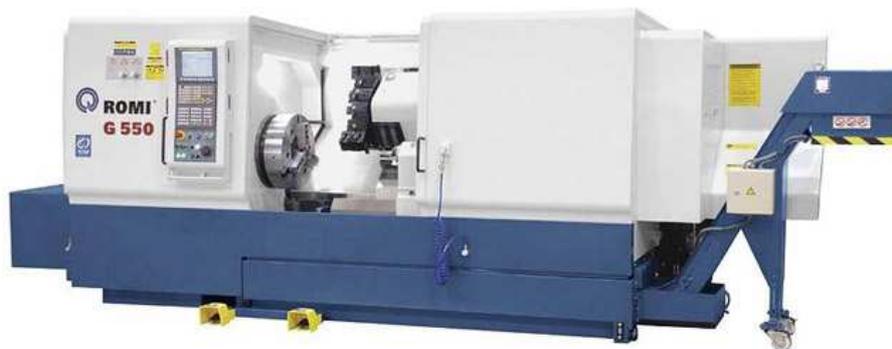


FIGURA 6. Torno CNC G550. Fonte: Romi (2011)

Os insertos WNMG080408MN KCP10B do fabricante A e WNMG080408-MF5 TH1000 do fabricante B, apresentam 6 arestas de corte, mais conhecidos como “trigon”, com raios das arestas igual a 0,8mm. Os testes de torneamento foram realizados com os parâmetros de avanço 0.2mm/rot e profundidade de corte 2mm recomendados pelos fabricantes A e B, variando a velocidade de corte nos valores de 150m/min, 120m/min e 100m/min, que foram definidos de acordo com a necessidade da operação de usinagem, para analisar um melhor resultado final na qualidade da peça usinada, atendendo as solicitações do cliente. Para cada parâmetro foi utilizada uma nova aresta de corte.

Foi realizado um estudo do desgaste do inserto de corte, observando o desempenho destes insertos dos Fabricantes A e B no processo de desbaste em um rolo de laminação de aço SAE 4140, temperado e revenido com dureza entre 45 e 48HRC, modificado conforme solicitação do cliente, e mostrado na Figura 2a. Após conferência das dimensões e verificação do sobremetal a ser usinado, o rolo de laminação foi fixado na máquina para início do processo de usinagem. Primeiramente ocorreu o desbaste, e logo em seguida foram realizados passes para acabamento da superfície, com dimensão tolerada $\varnothing 279,6 -0,03$ e rugosidade de $0,4\mu\text{m}$, acabamento superficial solicitada pelo cliente, de suma importância na usinagem em peças que irão sofrer desgaste, atrito, corrosão, entre outras condições adversas. A Figura 7b mostra os rolos de aço SAE 4140 após o torneamento.



FIGURA 7. a) Rolos recebidos do cliente para modificação; b) Rolo após usinagem final. Fonte: Pesquisa direta (2017)

Utilizou-se o Microscópio Digital USB 1000x, do laboratório da Faculdade Presidente Antônio Carlos em Conselheiro Lafaiete (FUPAC), que possibilitou um aumento de 50x para a análise de desgaste por microscopia óptica dos insertos de corte submetidos ao processo de desbaste. De acordo com o fabricante, este microscópio é muito utilizado para inspeção de circuitos eletrônicos,

peças de computadores, câmeras e celular. Possui iluminação de alta capacidade produzida por meio de *led* de alto brilho que melhoram a visibilidade. O foco é regulado através de um sistema giratório, que está integrado na parte superior do microscópio. Para maior funcionalidade, conta com cabo USB para a conexão direta no computador, possibilitando tirar fotografias e salvá-las diretamente no computador conectado.

3. ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS

Após inspeção feita no microscópio, foi realizada uma análise qualitativa das falhas nas arestas de corte dos insertos estudados. As avarias apresentadas são providas do processo de torneamento, que provocou o desgaste da ferramenta de corte, que ocorreu de maneira repentina e inesperada. Os desgastes apresentados foram os de cratera, lascamento, aresta postiça e a quebra das arestas de corte. A quebra e o lascamento podem levar à perda de uma quantidade considerável de material do inserto de corte instantaneamente, enquanto a trinca promove a abertura de uma fenda no corpo do inserto de corte (MACHADO, *et al.*, 2009). O desgaste dos insertos devem ser evitados, considerando os parâmetros corretos de usinagem para cada material, pois o aumento do desgaste, proporcionalmente, aumenta as avarias, gerando o aumento dos custos no processo e demandando mais tempo para a produção de peças.

No inserto de corte do Fabricante A foram observados falhas do tipo cratera, lascamento e aresta postiça. Como os parâmetros avanço e profundidade de corte não foram alterados, devido as especificações contidas no catálogo do fabricante, a análise foi feita baseada apenas na alteração da velocidade de corte. A situação mais crítica de usinagem foi a maior velocidade de corte, de 150m/min, gerando desgaste por cratera. Para a velocidade de corte de 120m/min, ocorreu o desgaste por lascamento e na velocidade de corte de 100m/min, apresentou o desgaste de formação de aresta postiça.

No inserto 1 observou-se desgaste por cratera, Figura 8, tal desgaste ocorre na superfície de saída do inserto, causado pelo atrito entre o inserto e o cavaco. Tem-se como principal forma de controle a atenção quanto ao aumento desse desgaste, podendo gerar a quebra da ferramenta quando o mesmo ocorre junto com o desgaste de flanco (DINIZ, 1999). As trincas formadas no corpo do inserto são evidenciadas pelas setas da Figura 8, e a formação destas podem levar a quebra prematura da ferramenta de corte.

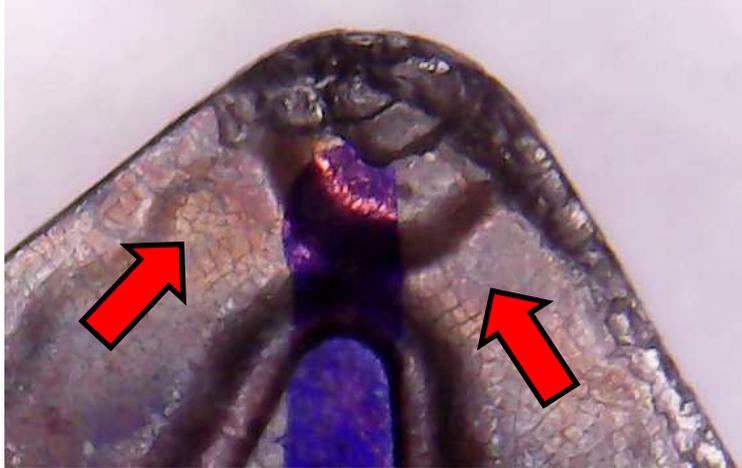


FIGURA 8. Desgaste de craterização para o inserto do fabricante A com velocidade de corte de 150m/min. Fonte: Pesquisa Direta (2017)

No inserto 2, Figura 9, observou-se o lascamento em diversos pontos, que ocorreu devido ao corte interrompido, pois o diâmetro solicitado para modificação estava com irregularidades. Apesar de observar desgaste por lascamento, que pode gerar deterioração no acabamento da peça, podendo levar a quebra da aresta de corte, foi observado um bom comportamento deste inserto, permitindo a aplicação deste no processo.



FIGURA 9. Desgaste de lascamento para o inserto do fabricante A com velocidade de corte de 120m/min. Fonte: Pesquisa Direta (2017)

Por fim, no inserto 3 foi apresentado o desgaste por formação de aresta postiça, Figura 10, que, ao ser detectada, deve ser acompanhada e analisada ao decorrer da usinagem pois se for permitido o aumento desta deformação plástica, pode ocasionar a quebra da aresta de corte. Isto

pode ser evitado pelo emprego de uma ferramenta com maior dureza e maior resistência à altas temperaturas, suportando maiores deformações plásticas (DINIZ, 1999).

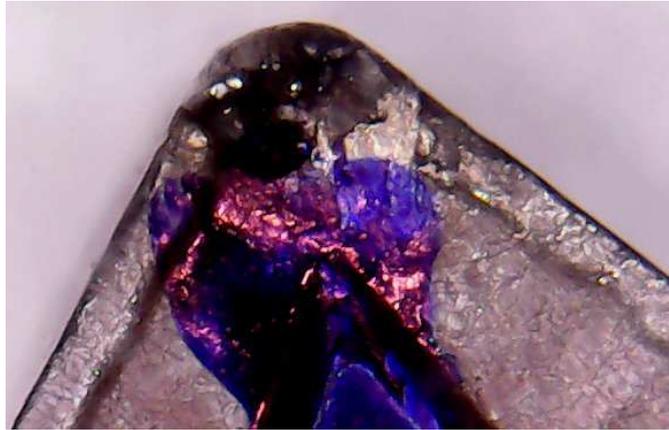


FIGURA 10. Desgaste por formação de aresta postiça para o inserto do fabricante A com velocidade de corte de 100m/min. Fonte: Pesquisa Direta (2017)

O inserto do Fabricante A apresentou desgaste considerável, porém, esperado, devido à dureza do material a ser usinado. Foram observadas as trincas que surgiram ao redor do corpo do inserto, pois a existência destas pode levar à fratura total da aresta de corte. Assim, ao alterar a velocidade de corte, para menores valores, observou a inexistência de formação de trincas, aumentando o índice de trabalho para usinagem do material por aresta, porém, não foi descartado o desgaste total, caracterizado em cada caso no anteriormente.

Os insertos do fabricante B apresentaram somente um tipo de desgaste em todas as 3 velocidades de corte aplicadas, havendo a quebra da aresta de corte. Iniciou-se o processo aplicando a maior velocidade de corte, 150m/min, ao ocorrer a quebra da aresta de corte, trocou-se o inserto utilizado modificando a velocidade de corte para 120m/min. A quebra voltou a acontecer no início do processo, que foi paralisado, para nova troca do ferramental e modificação da velocidade de corte para 100m/min. Observou-se novamente a quebra da aresta de corte, concluindo portanto que o inserto de corte do fabricante B utilizado não é adequado para o material usinado. A Figura 11a, 11b e 11c mostra a quebra da aresta de corte para as três velocidades de corte aplicadas no processo.



FIGURA 11. Quebra da aresta de corte a) 150m/min; b) 120m/min; c) 100m/min.

Fonte: Pesquisa direta (2017)

A quebra da aresta do inserto de corte pode ser esperada na utilização de valores altos para os parâmetros como velocidade de corte, avanço e profundidade de corte, porém nas pastilhas do fabricante B ocorreu em todas as velocidades de corte estudadas. Esse tipo de fratura é um dos mais graves, podendo gerar danos permanentes nas peças usinadas e na máquina ferramenta. A quebra total de um inserto acarreta no aumento dos custos com fabricação, uma vez que o inserto com uma aresta de corte quebrada compromete as demais arestas de corte novas. Além disso, a quebra repentina durante o corte pode ocasionar o contato direto do suporte do inserto com a peça, danificando o mesmo, necessitando de uma troca imediata, gerando custos elevados. Pode causar também o desalinhamento do porta-ferramenta, o que necessitaria de um tempo maior de manutenção.

Através da análise microscópica feita nos insertos de corte utilizados com diferentes velocidades de corte para melhor adequação do desgaste, foi observado que o inserto do Fabricante B não alcançou os objetivos desejados, tendo como principal desgaste a fratura da aresta de corte. Ocorrendo tal fratura, as demais arestas de corte no inserto foram danificadas, não podendo ser utilizadas no processo de torneamento do aço.

O inserto do Fabricante A, mesmo apresentando desgastes, foi o que mais se adaptou a usinagem do material, com maior rendimento, enquanto o inserto do fabricante B apresentou fratura independente da velocidade de corte utilizada, sendo descartada a utilização para o aço SAE 4140 com dureza entre 45 a 48 HRC, como o analisado neste estudo. De acordo com SANTANA (2011) os maiores desgastes sofridos pelos insertos ocorrem em velocidades de corte mais altas, desgastes estes identificados como lascamento e fratura. Neste trabalho observou-se que o maior desgaste no inserto de corte foi observado para a maior velocidade de corte, 150 m/min. Observaram-se diferentes desgastes para o Fabricante A, e a quebra da aresta de corte para o Fabricante B.

Para se determinar os custos da produção relacionados ao custo dos insertos, é necessário determinar o tempo de corte de cada inserto, sendo necessário o cálculo da rotação para cada velocidade de corte utilizada. Este cálculo foi realizado utilizando a Equação 3.

$$Vc = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ (m/min)} \quad (3)$$

Onde: Vc = velocidade de corte [m/min]; D = diâmetro da peça [mm]; n= número de rotação [rpm].

Determinada a rotação, calculou-se o tempo de corte para cada inserto utilizado, conforme Equação 4.

$$t_c = \frac{l}{f \cdot n} \cdot \frac{(df - do)}{2 \cdot ap} \quad (4)$$

Onde: t_c = tempo de corte [min]; l= comprimento usinado [mm]; f= avanço [mm/rot]; d_f = diâmetro final da peça [mm]; d_o = Diâmetro inicial da peça [mm]; ap= Profundidade de corte [mm].

O custo de um processo de usinagem é dado por K_p , mostrado na Equação 5, que é incorrido diretamente no processo, podendo ser obtido com o somatório dos custos das constantes apresentadas abaixo (DINIZ, 1999).

$$K_p = C_1 + \frac{t_c}{60} * C_2 + \frac{t_c}{T} * C_3 \quad (5)$$

Onde: C_1 é uma constante independente da velocidade de corte dado em R\$/peça; C_2 é o somatório das despesas com mão de obra e com maquinário dado em R\$/hora; C_3 é o custo referente ao inserto; T é a vida útil da ferramenta, dada em minutos, e fornecido pelo fabricante de cada inserto.

De acordo com o pedido do cliente para a usinagem de um rolo da laminação de chapas finas, para a modificação do projeto conforme solicitado pelo mesmo, as informações para realização dos cálculos utilizando a Equação 5, considerou diâmetro final (df) igual a 279,6 -0,03mm e comprimento (l) igual a 300mm, com diâmetro inicial (do) igual a 282mm, o custo por matéria prima foi zerado devido ao rolo ter sido fornecido pelo cliente para modificação, usinando o diâmetro de 282mm para 279,3 +0,03mm com rugosidade final da superfície igual a 0,4 μ m. O custo de mão de obra e maquinário foi considerado R\$ 80,00 por hora.

Devido à fratura de todas as arestas de corte de todos os insertos do Fabricante B, o tempo de corte foi desprezado para este, sendo assim o custo considerado foi de um inserto novo, chegando-se a conclusão que os insertos do Fabricante B não são adequados para a usinagem de materiais com a dureza analisada. O cálculo do tempo de corte foi realizado somente para Fabricante A, e os resultados são mostrados na Tabela 2:

TABELA 2. Tempo de corte para os insertos do fabricante A.

Vc = 150m/min f= 0,2MM/rot	Vc= 120m/min f= 0,2 mm/rot	Vc= 100m/min f= 0,2 mm/rot
Tc = 5,28 min	Tc = 6,6 min	Tc = 7,8 min

Fonte: Pesquisa direta (2017)

Utilizando a Equação 5, calcularam-se os custos de cada inserto do Fabricante A, que são mostrados na Tabela 3.

TABELA 3. Custos dos insertos do Fabricante A.

Material	Custo (R\$)
Inserto 1 – Vc = 150m/min	191,84
Inserto 2 – Vc = 120m/min	239,80
Inserto 3 – Vc = 100m/min	283,40
Total	715,04

Fonte: Pesquisa direta (2017)

Os custos dos insertos do Fabricante B, foram descartados nesta análise, pois obteve fraturas em todas as situações. O custo de um inserto novo do fabricante B é no valor de R\$40,00, mas este material não é indicado para tal aplicação. Portanto, não houve uma comparação de custos entre os dois fabricantes devido à constatação de o parâmetro mecânico ser determinante na escolha da utilização de insertos do Fabricante A.

4. CONCLUSÕES

O estudo permitiu concluir que:

- ✓ A principal dificuldade na usinagem do aço SAE4140 no estado temperado e revenido para dureza de 45 a 48 HRC foram as adequações dos parâmetros de corte e utilização do inserto correto;
- ✓ Os desgastes de craterização, lascamento e aresta postiça ocorreram para o Fabricante A, estes foram esperados devido à complexidade da usinagem, devido à alta dureza do material fornecido. Mesmo ocorrendo o desgaste nos insertos, os mesmos cumpriram a usinagem da modificação solicitada pelo cliente;
- ✓ Os insertos do Fabricante B apresentaram quebra em todas as velocidades de corte utilizadas, sendo assim, não devem ser utilizados em usinagem de materiais com dureza semelhante ou superior ao estudada neste trabalho;
- ✓ O comportamento dos insertos do Fabricante A em relação às velocidades analisadas, com avanço e profundidade de corte constante, possibilitou a usinagem por torneamento com obtenção do acabamento superficial conforme solicitado pelo cliente;
- ✓ Por fim, o melhor inserto para a usinagem solicitada foi o do Fabricante A, que mesmo com desgaste, possibilitou usinagem sem fraturas e conclusão da usinagem final conforme solicitado.

REFERÊNCIAS

BECKER, DANIELA. *Apostila Tratamento térmico*. UDESC, Joinville, 2012.

BESKOW, ARTHUR BORTOLIN. *Processos de Usinagem I*, Engenharia Industrial Mecânica, URI Campus de Erechim, Fátima, 2011.

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

Corrêa, F. J. Schaeffer, L. Comparação das Propriedades Mecânicas do Aço AISI 4140 no Estado Recozido e no Estado Normalizado, FIMMEPE, Mecânica Nordeste, 19ª Feira da Indústria Mecânica, Metalúrgica e de Material Elétrico de Pernambuco, Agosto de 2013.

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*. 6. Ed. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda. 1986.



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.

MARCICANO, JOÃO PAULO P. *Introdução ao Controle Numérico*. USP, 2012

SANDVIK, Desgaste de Ferramentas. Disponível em: https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/general_turning/troubleshooting-/tool-wear/pages/default.aspx. Acesso em: 30 de Maio de 2017.

SANTANA, M. S. *Estudo de Parâmetros de Usinagem do Aço SAE 4140 no Torneamento CNC*. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia Núcleo de Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Sergipe, 2011.

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

TELLES, G.N. S.P.A.T. *Sistema de Programação Automática de Tornos*, Tese de Doutorado, 114p, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas, São Paulo, 1990.