

ANÁLISE COMPARATIVA MECÂNICA-TRIBOLÓGICA DE FERRAMENTAS DE CORTE APÓS REAFIAÇÃO – PROCESSO MECÂNICO DE USINAGEM POR FRESAMENTO

Gleibson Ernandes da Silva
Diego Antônio Becker da Silva
Samuel Monteiro Júnior
Ronaldo Câmara Cozza

CEETEPS – Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”, Faculdade de Tecnologia – FATEC-Mauá – Departamento de Fabricação Mecânica, Av. Antônia Rosa Fioravante, 804 – 09390-120, Mauá – SP
e-mails: gleibson123@hotmail.com, diegobeckersilva@hotmail.com, samuel_monteiro@terra.com.br, ronaldo.cozza@fatec.sp.gov.br

Resumo. Neste trabalho foi realizada uma comparação entre insertos intercambiáveis de metal-duro quanto ao rendimento tribológico de usinagem – em termos de vida-útil – e qualidade superficial do material quando submetido a um Processo de Usinagem por Fresamento. Para isto, foram utilizadas pastilhas intercambiáveis de metal-duro sob condições de trabalho classificadas como “sem uso” e “reafiadas”, em um Processo de Usinagem por Fresamento conduzido junto a um Centro-de-Usinagem. Os resultados mostraram que as pastilhas de usinagem reafiadas apresentaram um rendimento tribológico de, aproximadamente, 75% em relação aos insertos intercambiáveis de metal-duro na condição inicial “sem uso”. Adicionalmente, embora tenha sido reportado um aumento da rugosidade das superfícies fresadas, o valor médio obtido de R_a situa-se dentro da faixa correspondente a valores para Operações Mecânicas de Fresamento. Com isso, conclui-se que o procedimento de reafiação conduzido nas ferramentas de usinagem proporcionaram resultados que podem ser considerados relativamente bons quanto à performance tribológica – vida-útil e acabamento superficial obtido – quando comparados à uma ferramenta de usinagem na condição inicial “sem uso”.

Palavras-chave: Usinagem, Processo de Fresamento, Ferramentas de Corte, Rugosidade.

1. INTRODUÇÃO

A definição técnica correta de uma ferramenta de corte direcionada a um determinado processo de usinagem é um fator de extrema importância para que se possa elevar ao máximo a produtividade industrial e aproveitar todo o potencial que a máquina-operatriz dispõe ao trabalho (Tüchumantel, 2010). Na especificação da geometria adequada da ferramenta de usinagem deve-se levar em consideração o material da peça que será usinado – se dútil ou frágil – e o próprio material da ferramenta de corte – se tenaz ou frágil.

Nos processos de usinagem, as condições de trabalho da ferramenta de corte são consideradas severas, devido às elevadas temperaturas e às tensões de contato atuantes, decorrentes da interação mecânica entre a ferramenta de usinagem com a peça em processamento. Com isso, o desgaste da ferramenta de corte é inevitável e alguns fatores contribuem para diminuir a sua vida útil, como, por exemplo, as condições em que a usinagem está sendo conduzida, o material da peça e o próprio material da ferramenta de usinagem. Adicionalmente, o sinergismo entre a geometria da ferramenta de corte e o material que está sendo usinado apresenta influência direta no acabamento superficial da peça – rugosidade – e no próprio desgaste da ferramenta de usinagem.

A geometria da ferramenta de usinagem afeta, ainda, a formação do cavaco. Para tanto, quando a ferramenta de corte penetra na peça e o processo de usinagem é iniciado, há a deformação elástica e a deformação plástica do material que está sendo usinado, quando, então, a tensão de cisalhamento é ultrapassada, escoando o material e, assim, formando o cavaco. Por sua vez, o mesmo desliza sobre a cunha de corte da ferramenta, cujas designações e especificações são padronizadas pelas Normas Técnicas ABNT NBR ISO 3002-1 (2013) e DIN 6581 (2020).

Adicionalmente, além do acabamento superficial, a geometria da ferramenta de usinagem é dimensionada em função da resistência mecânica do material a ser usinado, apresentando influência direta sobre os esforços de corte, temperatura gerada no sistema “ferramenta de corte + peça”, zona de deformação – elástica e plástica – da peça e distribuições de tensões.

O tipo de desgaste mais comum observado nas ferramentas de corte é o “desgaste de flanco” (Pavim, 2005; SANDVIK, 2020), que ocorre em sua superfície de folga (Figura 1). O mesmo é causado pelo atrito entre a peça sob usinagem e a ferramenta de corte e é caracterizado pelas alterações geométrica e dimensional da aresta de corte original, prejudicando, conseqüentemente, a qualidade dimensional e superficial das peças fabricadas.

No mesmo setor, as indústrias metal-mecânica buscam, constantemente, técnicas para minimizar seus tempos de produção e, assim, reduzir o custo final na fabricação de seus produtos. No Brasil, um processo que tem grande participação na produção de peças para setores diversos é o “Processo de Usinagem por Fresamento” e, devido ao grande número de “micro” e “pequenas” empresas que prestam este tipo de serviço de usinagem, torna o mercado cada vez mais competitivo, forçando, assim, as empresas a implementarem diferenciais técnico-financeiros em seus processos de fabricação/produção.



Figura 1. “Desgaste de flanco” na aresta de corte de uma pastilha intercambiável de metal-duro utilizada no “Processo de Usinagem por Fresamento”.

Um ponto importante que pode influenciar aspectos econômicos de produção refere-se ao aproveitamento das ferramentas de corte, visto o seu valor de mercado. O custo-benefício de uma ferramenta de corte está relacionado ao seu valor de compra e ao número de peças produzidas por esta. Adicionalmente, de acordo com um estudo realizado por Wagner (2008), a redução de custos com a reafiação de insertos intercambiáveis pode chegar a 76% em relação ao valor de uma pastilha nova.

Desta forma, estudos que objetivam desenvolver procedimentos técnicos que prolonguem a vida útil das ferramentas de usinagem estará contribuindo, conseqüentemente, para reduzir o valor agregado ao produto final. Dentro deste contexto, sabendo-se que, na indústria metal-mecânica, insertos intercambiáveis de metal-duro são descartados com possibilidades de reafiação, este trabalho tem como propósito avaliar – tecnicamente – o reaproveitamento de ferramentas de corte utilizadas em Processos de Fresamento, por meio de sua reafiação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Corpos-de-prova – Insertos intercambiáveis de metal-duro

Os insertos intercambiáveis de metal-duro estudados no Processo de Usinagem por Fresamento foram o da Série VSM11 XDPT-MM – Número de Catálogo: XDPT110404PDSRMM – Fabricante: WIDIA (2020).

A Figura 2 (WIDIA, 2020) apresenta imagens dos insertos intercambiáveis referenciados, junto às suas respectivas dimensões principais.

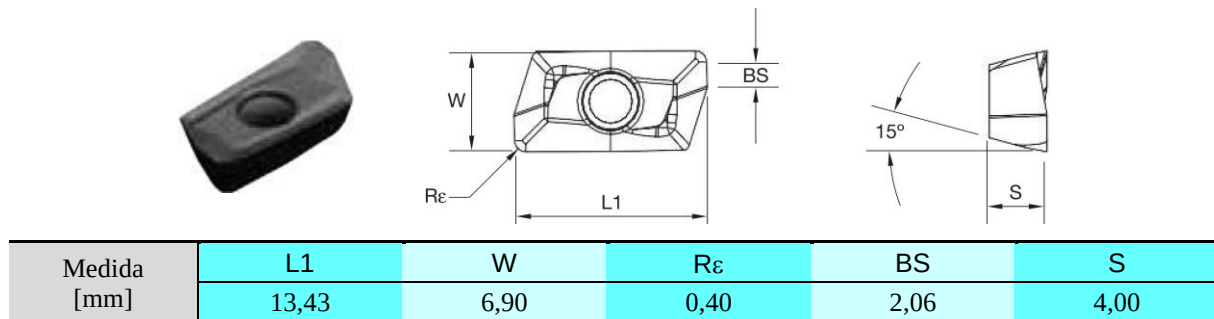


Figura 2. Imagens e dimensões principais dos insertos intercambiáveis de metal-duro analisados neste trabalho.

Foi utilizada um suporte de diâmetro D1 = 20 mm – Número de Catálogo: VSM11D020Z02B20XD11, também fabricado pela WIDIA (2020).

A Figura 3 exibe uma imagem do suporte adotado, junto com as suas dimensões principais.

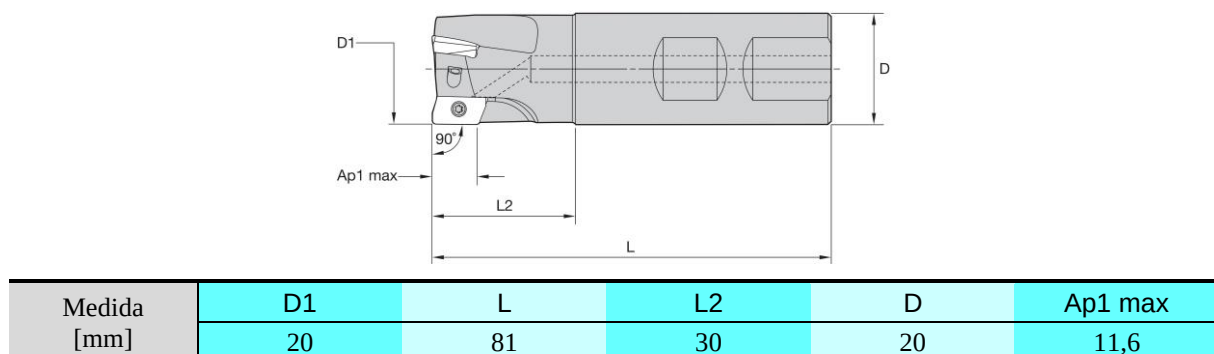


Figura 3. Imagem e dimensões principais do suporte utilizado no Processo de Usinagem por Fresamento.

2.2. Contra-corpo – Material usinado

O material usinado no Processo de Fresamento foi o aço-carbono SAE 1045, com dimensões de 80 x 80 x 40 mm – [Comprimento] x [Largura] x [Espessura] (Figura 4).

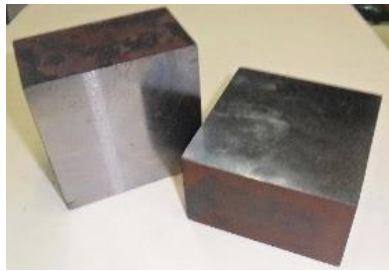


Figura 4. Material usinado no Processo de Usinagem por Fresamento deste trabalho.

Com o propósito de normalizar a dureza do contra-corpo, precedendo o processo de usinagem propriamente dito, foi realizado o tratamento térmico de recozimento pleno, conduzido por 2 horas sob uma temperatura de 830°C; o tempo de forno foi baseado nas recomendações técnicas do distribuidor de aços GGD Metals (2020), estabelecendo-se 1 hora de tratamento térmico para cada 25 mm de espessura de material.

Após o tratamento térmico de recozimento pleno, ensaios de Dureza Vickers foram realizados ao longo da superfície do aço-carbono SAE 1045, obtendo-se o valor de 177,4 HV com desvio-padrão de $\pm 3,3$ HV, garantindo, assim, uniformidade no Processo de Usinagem por Fresamento.

2.3. Máquina-Operatriz CNC & Dispositivo de Afiação

O Processo de Usinagem por Fresamento foi conduzido em um Centro-de-Usinagem “ROMI – Discovery 760” (Figura 5).



Figura 5. Centro-de-Usinagem “ROMI – Discovery 760” utilizado no Processo de Usinagem por Fresamento.

Para realizar as reafiações dos inserts intercambiáveis de metal-duro, foi projetado e construído um dispositivo de afiação, possibilitando o seu acoplamento junto a um esmeril (Figura 6) e o ajuste da altura da ferramenta de corte em alinhamento à linha de centro do rebolo.

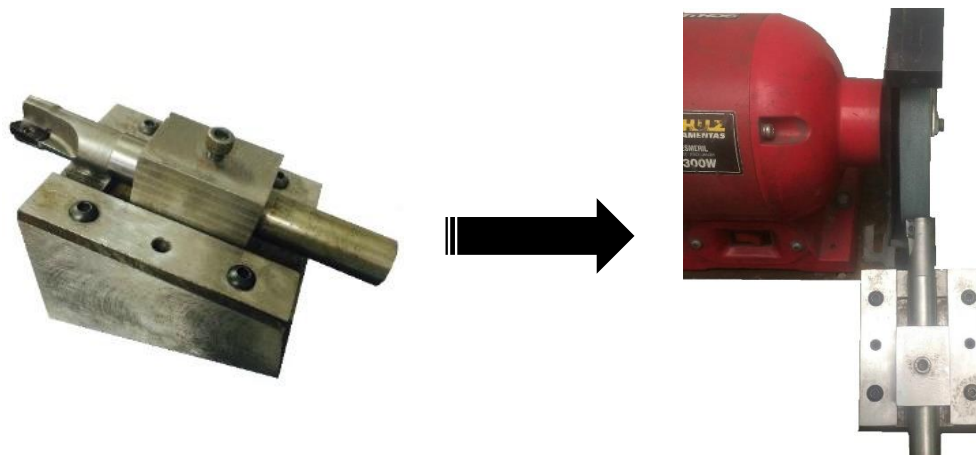


Figura 6. Dispositivo de afiação projetado e construído para reafiar os inserts intercambiáveis de metal-duro analisados neste trabalho, acoplado ao esmeril.

Com o propósito de manter as características geométricas originais das ferramentas de corte, o dispositivo de afiação foi desenvolvido de forma a proporcionar o ângulo de folga de 15° definido pelo fabricante, conforme exibiu a Figura 2.

2.4. Parâmetros de Usinagem & Metodologia Experimental

A Tabela 1 exibe os parâmetros de usinagem definidos para o Processo de Usinagem por Fresamento.

Tabela 1. Parâmetros de usinagem definidos para o Processo de Usinagem por Fresamento.

Parâmetros de usinagem	Valores
Velocidade de corte – V_c	230 m/min (valor máximo recomendado pelo fabricante do inserto intercambiável de metal-duro – WIDIA, 2020)
Rotação – n	3.660,6 rpm
Avanço por pastilha – f_z	0,12 mm
Profundidade de corte – a_p	1 mm
Passe lateral – a_e	10 mm

A velocidade de corte foi fixada em $V_c = 230$ m/min, sendo este, o valor máximo recomendado pelo fabricante; junto à um suporte de diâmetro $D1 = 20$ mm, o valor correspondente à rotação foi de $n = 3.660,6$ rpm. Seguindo-se as recomendações técnicas do fabricante dos insertos intercambiáveis de metal-duro analisados, o avanço por pastilha ficou estabelecido em $f_z = 0,12$ mm e, a profundidade de corte, em $a_p = 1$ mm. Sob um passe lateral de $a_e = 10$ mm – correspondendo à metade do diâmetro da fresa, a usinagem foi realizada sob as condições de “corte concordante” e “corte discordante”, sendo que todo o Processo de Usinagem por Fresamento foi conduzido sem qualquer tipo de refrigeração.

No aço-carbono SAE 1045 – contra-corpo – e para cada inserto intercambiável de metal-duro na condição inicial denominada “sem uso”, foram conduzidos cinquenta e seis (56) passes de usinagem por Fresamento sob “corte concordante”, conforme descrito: sob $a_p = 1$ mm, foram realizados oito (8) passes laterais com $a_e = 10$ mm – este sequenciamento foi repetido sete (7) vezes ao longo da espessura do material, ocasionando uma profundidade total de corte de $a_{p-T} = 7$ mm. Em seguida, utilizando-se o mesmo inserto intercambiável de metal-duro e seguindo-se o mesmo sequenciamento de usinagem, outros cinquenta e seis (56) passes de usinagem por Fresamento foram repetidos mas, agora, sob “corte discordante”. No total, cento e doze (112) passes de usinagem por Fresamento foram realizados com cada inserto intercambiável de metal-duro na condição inicial “sem uso”.

Finalizada cada série de usinagem – que consistiu, no total, na condução de cento e doze (112) passes de Fresamento – cada inserto intercambiável de metal-duro foi designado sob a condição final de “usado” e, então, a fresa foi retirada do eixo-árvore do Centro-de-Usinagem e fixada ao dispositivo de afiação descrito no Item 2.3., a fim de reafiar as ferramentas de corte que foram utilizadas no respectivo sequenciamento.

Em seguida, para cada inserto intercambiável de metal-duro reafiado – condição denominada de “reafiado” – foram conduzidas as mesmas sequências de usinagem detalhadas no parágrafo anterior e outros cento e doze (112) passes de usinagem por Fresamento foram realizados no aço-carbono SAE 1045, com cada ferramenta de corte recondicionada.

A Figura 7 esquematiza o sequenciamento de passes conduzidos no Processo de Usinagem por Fresamento, tanto para o inserto intercambiável de metal-duro na condição inicial “sem uso” quanto após a sua reafiação, referenciado como condição “reafiado”.

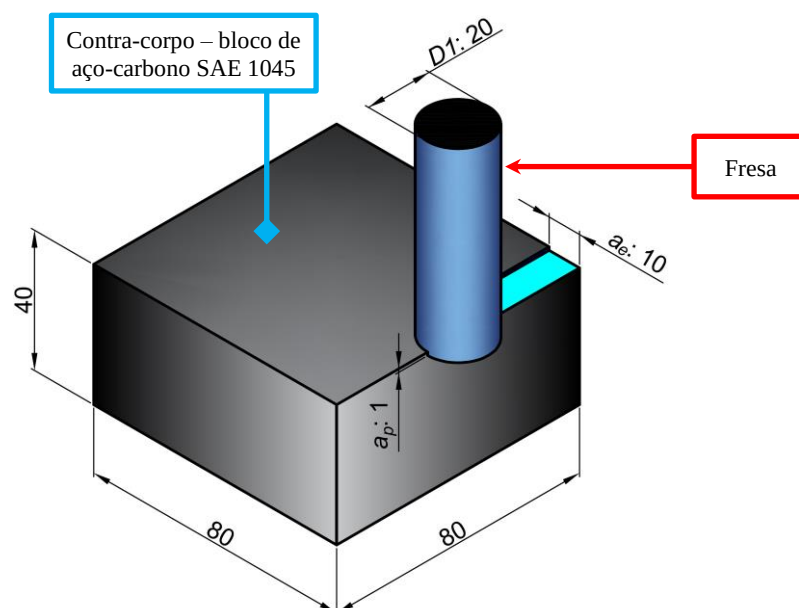


Figura 7. Esquematização do Processo de Usinagem por Fresamento conduzido neste trabalho – Figura em Escala.

2.5. Medição da Rugosidade do material fresado

A rugosidade do aço-carbono SAE 1045 foi medida em dois momentos:

- Após a finalização do processamento de usinagem conduzido com os inserts intercambiáveis de metal-duro na condição “sem uso”;
- Após a finalização do processamento de usinagem conduzido com os inserts intercambiáveis de metal-duro na condição “reafiado”.

Esta etapa do trabalho objetivou a avaliação das condições finais de acabamento superficial do material fresado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Imagens dos inserts intercambiáveis de metal-duro – antes e após o procedimento de usinagem e reafiação

A Figura 8 apresenta, inicialmente, a imagem de um dos inserts intercambiáveis de metal-duro utilizado no Processo de Fresamento, antes da usinagem do aço-carbono SAE 1045 propriamente dito – neste caso, sob a condição inicial classificada como “sem uso”.

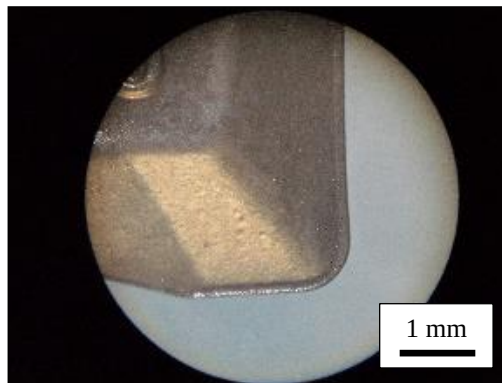


Figura 8. Inserto intercambiável de metal-duro antes do Processo de Usinagem por Fresamento – condição inicial: “sem uso”.

Na sequência, a Figura 9 apresenta um inserto intercambiável de metal-duro após o Processo de Usinagem por Fresamento do aço-carbono SAE 1045 – nesta fase, a condição de cada um dos inserts intercambiáveis de metal-duro foi classificada como “usado”.

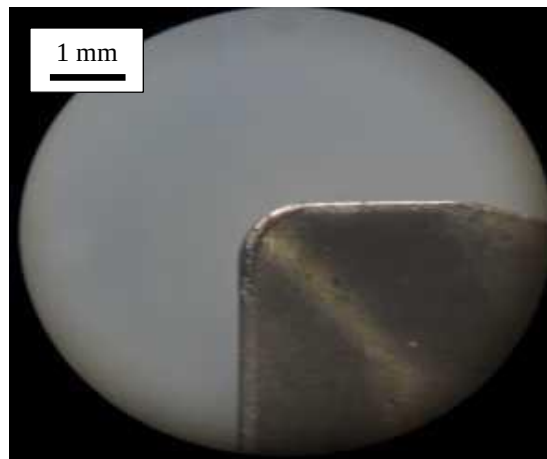


Figura 9. Inserto intercambiável de metal-duro após o Processo de Usinagem por Fresamento – condição: “usado”.

A geometria de uma ferramenta de corte apresenta influência significativa no valor da velocidade de corte que pode ser empregada em um Processo de Usinagem por Fresamento, proporcionando, conseqüentemente, menor ou maior taxa de remoção de cavaco durante a usinagem de um determinado material em particular. Conseqüentemente, em termos técnicos e financeiros, a definição correta da geometria de uma ferramenta de usinagem pode otimizar o tempo de produção de um dado componente mecânico e o seu custo de produção, respectivamente.

Entretanto, para que uma ferramenta de corte “reafiada” possa proporcionar desempenhos mecânicos e tribológicos significativos, o processo de reafiação necessita ser conduzido e executado de forma conceitual e técnica, de forma a evitar problemas industriais posteriores, como, por exemplo, baixo desempenho mecânico, baixo desempenho tribológico, quebra da própria ferramenta de corte reafiada, refugos de produção, paradas não programadas de máquinas-operatrizes e, conseqüente, diminuição da produtividade industrial.

A Figura 10 mostra uma ferramenta de usinagem em procedimento de corte de material durante um Processo de Usinagem por Fresamento, sendo indicadas a “superfície de saída do cavaco” e a “superfície principal de folga – entre a ferramenta de corte e o material sob usinagem”.

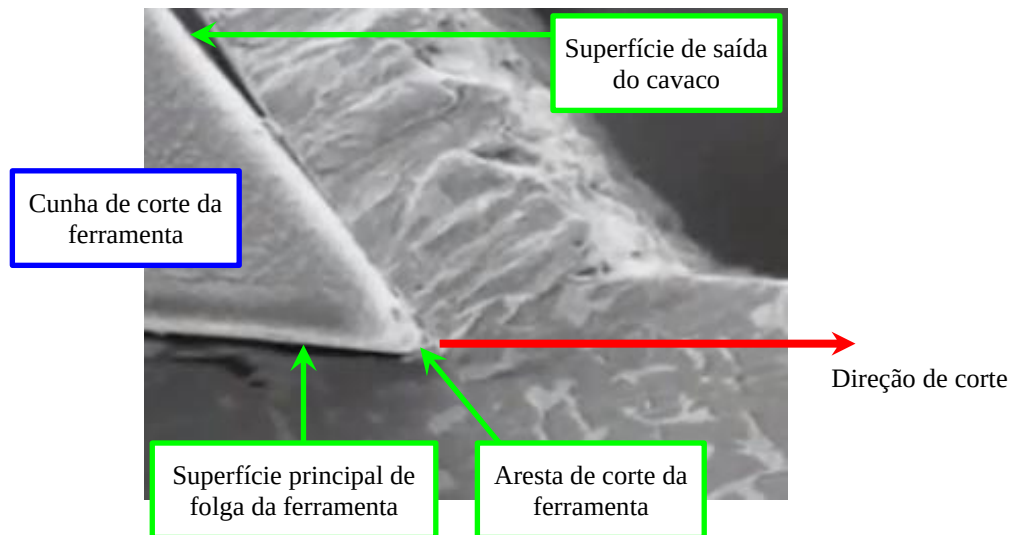


Figura 10. Ferramenta de usinagem em procedimento de corte de material: indicação da “superfície de saída do cavaco” e da “superfície principal de folga – entre a ferramenta de corte e o material sob usinagem”.

A “superfície de saída do cavaco” é a superfície na qual o cavaco escoar durante a sua saída da região de corte; por sua vez, a “superfície principal de folga – entre a ferramenta de corte e o material sob usinagem” é a superfície em que, geometricamente, está a aresta principal de corte, defrontando com a superfície sob usinagem. Finalmente, a “cunha de corte”, que é definida pela intersecção de ambas superfícies referenciadas, apresenta influência direta na usinagem dos materiais, mais especificamente nas zonas de deformações “elástica” e “plástica” da peça, distribuição da tensão de cisalhamento atuante no material sob ação de corte, temperatura, força de corte e potência de corte.

O ângulo da cunha de corte é dimensionado em função do material a ser usinado. Com o aumento do ângulo da superfície de saída do cavaco, a tensão gerada no plano de cisalhamento será menor. Logo, para materiais que apresentem elevada dureza (seja ela superficial ou em termos de “bulk”) e/ou elevada resistência mecânica e que passarão pelo Processo de Usinagem por Fresamento, deve-se adequar o valor do ângulo de saída do cavaco para que a tensão de cisalhamento do material sob corte seja ultrapassada.

Na Figura 11 estão imagens de um inserto intercambiável de metal-duro após o procedimento técnico de reafiação.

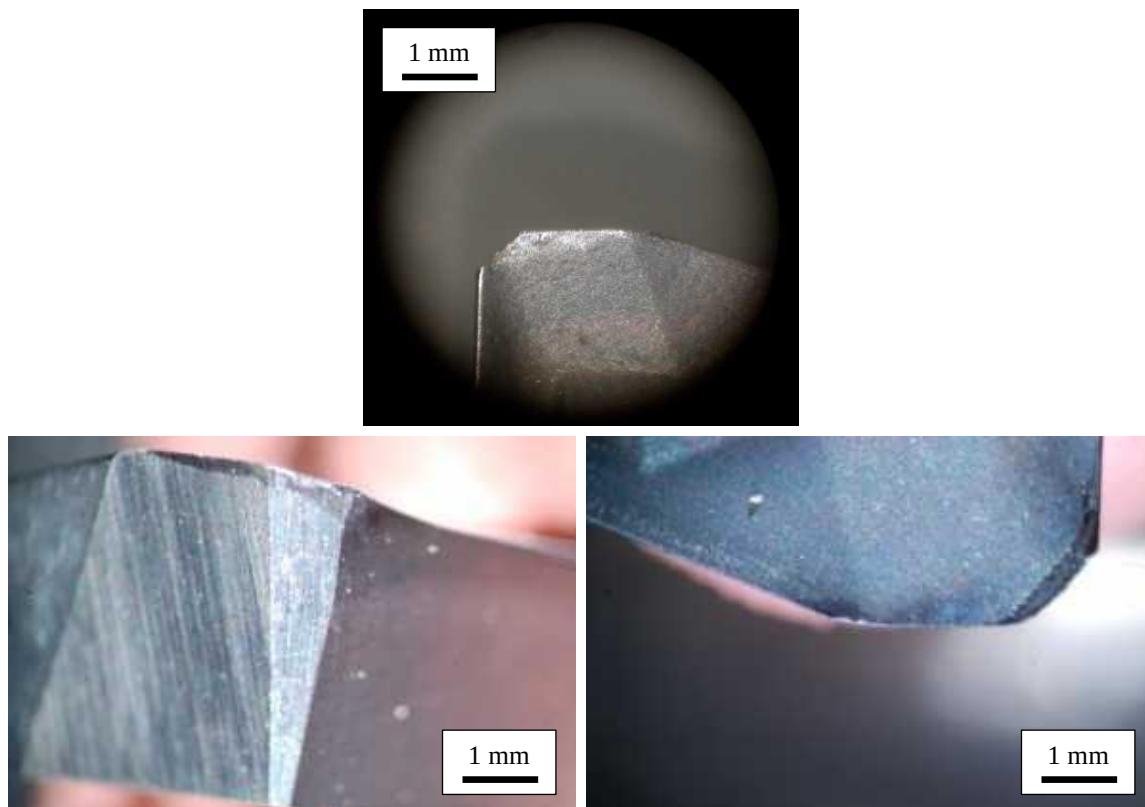


Figura 11. Inserto intercambiável de metal-duro na condição “reafiado”.

Todos os insertos intercambiáveis de metal-duro foram reafiados até que toda a aresta desgastada pelo processo de usinagem fosse removida. Em seguida, foi feito um chanfro na ponta da pastilha, com um ângulo de 45°, com o objetivo de fortalecer a aresta de corte; este chanfro foi inserido em substituição ao raio de ponta, inicialmente existente no inserto intercambiável de metal-duro na condição “sem uso” – Figura 2.

3.2. Análise do tipo de desgaste ocorrido nos insertos intercambiáveis de metal-duro

Os insertos intercambiáveis de metal-duro reafiados foram os que apresentaram o maior índice de “desgaste de flanco”, uma das classificações de desgaste reportada com maior frequência em ferramentas de corte.

Após o Processo de Usinagem por Fresamento e analisando-se cada um dos insertos intercambiáveis de metal-duro, foi reportado que o desgaste ocorreu, principalmente, na superfície de folga da ferramenta, em que foi realizado o procedimento de reafiação. Este comportamento tribológico ocorreu devido a remoção da cobertura de nitreto de titânio (TiN) da pastilha, no momento da reafiação da mesma, fazendo com que o metal-duro entrasse em contato direto com a peça sob usinagem.

3.3. Análise do rendimento tribológico dos insertos intercambiáveis de metal-duro após a reafiação

Em termos gerais, os insertos intercambiáveis de metal-duro, após serem submetidos ao processo de reafiação, apresentaram rendimento de, aproximadamente, 75% em relação a um inserto intercambiável de metal-duro na condição “sem uso”, baseando-se na magnitude do desgaste de flanco.

Esta diminuição de rendimento de corte ocorreu porque quando as ferramentas de usinagem foram reafiadas, a cobertura de TiN foi removida, fazendo com que, durante o Processo de Usinagem por Fresamento, o metal-duro – que possui menor dureza que o TiN – entrasse em contato direto com o aço-carbono SAE 1045.

3.4. Rugosidade – R_a

A seguir, tem-se os valores de Rugosidade – R_a para os insertos intercambiáveis de metal-duro, sob as condições “sem uso” e “reafiado”.

- “Sem uso”: $R_a = 0,55^{\pm 0,07} \mu\text{m}$
- “Reafiado”: $R_a = 0,85^{\pm 0,11} \mu\text{m}$

Nota-se que, sob a usinagem com o uso das pastilhas sob a condição “sem uso”, a rugosidade foi de $R_a = 0,55^{\pm 0,07} \mu\text{m}$. Sob o Processo de Usinagem por Fresamento com os insertos intercambiáveis de metal-duro “reafiados”, a rugosidade medida na superfície usinada atingiu o valor de $R_a = 0,85^{\pm 0,11} \mu\text{m}$, representando um aumento de 54,5% em relação ao valor de R_a obtido junto às ferramentas de corte “sem uso”.

Este aumento de rugosidade está relacionado ao fato de que, no lugar do raio de arredondamento original de valor $R_e = 0,40 \text{ mm}$ (Figura 2), foi definido um chanfro, conforme destacado na Figura 11. Por outro lado, o comportamento mecânico-tribológico reportado neste trabalho está em concordância qualitativa com resultados provenientes da literatura, na qual é formulado que a rugosidade de uma superfície é inversamente proporcional ao raio de ponta da ferramenta de usinagem.

Adicionalmente, mesmo com este aumento de rugosidade – de $R_a = 0,55 \mu\text{m}$ para $R_a = 0,85 \mu\text{m}$, o valor situa-se dentro da faixa de valores correspondentes às Operações de Fresamento, compreendida entre $R_a = 0,4 \mu\text{m}$ e $R_a = 12,5 \mu\text{m}$.

4. CONCLUSÕES

O objetivo desta pesquisa foi verificar a possibilidade da reutilização de insertos intercambiáveis de metal-duro desgastados após serem submetidos a um Processo de Usinagem por Fresamento. Com isso, após a finalização dos testes de usinagem, pôde-se concluir que:

1) Após a condução do procedimento técnico de reafiação, os insertos intercambiáveis de metal-duro apresentaram um rendimento de, aproximadamente, 75% em relação aos insertos intercambiáveis de metal-duro na condição “sem uso”. Pelo valor de eficiência obtido, em termos técnicos, pode-se, a princípio, considerar-se um comportamento mecânico-tribológico relativamente “bom”;

2) A rugosidade da superfície usinada com a pastilha intercambiável de metal-duro reafiada aumentou em 54,5% em relação à uma pastilha intercambiável de metal-duro na condição “sem uso”, atingindo um valor de $R_a = 0,85 \mu\text{m}$. Entretanto, tal valor está compreendido dentro da faixa de R_a reportados na prática para Operações Mecânicas de Fresamento;

3) Considerando-se o rendimento mecânico-tribológico e o nível de acabamento superficial obtidos, o procedimento de reafiação dos insertos intercambiáveis de metal-duro mostrou-se justificável e aplicável em Processos Mecânicos de Fresamento de Faceamento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR ISO 3002-1:2013 – Grandezas básicas em usinagem e retificação. Parte 1: Geometria da parte cortante das ferramentas de corte — Termos gerais, sistemas de referência, ângulos da ferramenta e de trabalho e quebra-cavacos.

Deutsches Institut für Normung – Technical Standard DIN 6581: Terminology of chip removing; reference systems and angles on the cutting part of the tool. Last publication: 2020/10.

GGD Metals – Aços para Construções Mecânicas, 2020. <<https://ggdmetals.com.br/>>.

Pavim, A.X., 2005. Contribuições na otimização de um sistema de visão para detecção, medição e classificação automática do desgaste de ferramentas de corte em processos de usinagem. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis-SC.

SANDVIK Coromant S.A. – Desgaste das arestas de corte, 2020. <<https://www.sandvik.coromant.com/>>.

Tüchumantel, T., 2010. Ferramenta adequada, produção alinhada. O Mundo da Usinagem, 64 Edição 02/2010, pg. 12-18. ISSN 1518-6091 RG BN 217-147. SANDVIK Coromant do Brasil S.A..

Wagner, C., 2008. Redução de custos através da afiação de ferramentas de corte: o caso de uma empresa do setor metal-mecânico. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual de Santa Catarina – Joinville-SC.

WIDIA Product Group. Indexable Milling • 90° Shoulder Mills, 2020. <<https://www.widia.com/>>.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

MECHANICAL-TRIBOLOGICAL COMPARATIVE ANALYSIS OF CUTTING TOOLS AFTER REGRINDING – MECHANICAL PROCESS OF MILLING MACHINING

Abstract. *In this work, was conducted a comparison between interchangeable carbide inserts regarding the tribological machining performance – in terms of useful life – and surface quality of the material submitted to milling machining process. For this purpose, were used interchangeable carbide inserts under work conditions classified as “unused” and “regrinded”, in a milling machining process carried out in a machining center. The results showed that the interchangeable carbide inserts presented a tribological performance of, approximately, 75% in relation to interchangeable carbide insert in the initial condition of “unused”. Additionally, although it has been reported an increase in the roughness of the milled surfaces, the average value of R_a is within the corresponding range of values to milling mechanical processes. Thereby, it is concluded that the regrinding procedure carried out on the machining tools provided results that can be relatively considered good in terms of tribological performance – useful life and surface finish achieved – when compared to a machining tool under the initial condition of “unused”.*

Key-words: Machining, Milling Process, Cutting Tools, Roughness.