

AVALIAÇÃO DA ENERGIA ESPECÍFICA DE FORMAÇÃO DE CAVACO UTILIZANDO O PRINCÍPIO DO ENSAIO CHARPY

Alessandro Roger Rodrigues

Reginaldo Teixeira Coelho

Universidade de São Paulo-USP

Escola de Engenharia de São Carlos-EESC

Departamento de Engenharia Mecânica

Av. Trabalhador São Carlense, 400 - São Carlos-SP - Brasil

CEP: 13.566-590

roger@sc.usp.br

rtcoelho@sc.usp.br

Resumo. *Este trabalho apresenta uma técnica alternativa de medida da energia específica de formação de cavaco, baseada no princípio pendular do ensaio Charpy. Foram investigadas as influências da velocidade de corte, dureza dos corpos-de-prova, profundidade de usinagem, raio de ponta da ferramenta, geometria de quebra-cavaco e aplicação de revestimento dos insertos na energia específica. Amostras constituídas dos aços ABNT 1213, 1020, 1045, H13 recozido, H13 temperado e liga de alumínio AA2024 foram empregadas nos ensaios. Testes em torno CNC nas mesmas condições foram efetuados para validação dos resultados obtidos na máquina Charpy. Todos os parâmetros pesquisados mostraram exercer influência sobre a energia específica. O aumento da velocidade de corte conduz a uma sensível queda da energia específica. O aumento da profundidade de usinagem influi significativamente na energia específica, apresentando comportamento inversamente proporcional. O uso de insertos revestidos, usinando alumínio 2024, permitiu verificar o aumento da energia específica. Em geral, a energia específica aumenta com a dureza do corpo-de-prova do material ensaiado. Por fim, foi possível concluir que as propriedades mecânicas do material da peça, as características geométricas e superficiais das ferramentas e os parâmetros de corte influem nos valores de energia específica de corte.*

Palavras-chave: *energia específica, ensaio Charpy.*

1. INTRODUÇÃO

A energia específica de corte é uma das grandezas físicas importantes provenientes da fenomenologia da usinagem. Obviamente, outras variáveis como força, tempos de corte, desgaste da ferramenta, temperatura de corte, entre diversas mais, também têm seu grau de relevância neste cenário (Rodrigues & Coelho, 2003).

A energia específica é um conceito muito útil não apenas para a usinagem, mas também para processos de conformação (Shaw, 1995). Pode-se estimar as forças de usinagem as quais, em projeto, determinam as necessidades estruturais da máquina e, em processo, influem na qualidade dimensional e geométrica do produto acabado. A energia específica de corte pode ser usada também para estimar a potência requerida para realizar a operação de usinagem para um dado material.

A energia específica de formação de cavaco pode ser compreendida como uma quantidade de energia consumida na remoção de uma unidade de volume de cavaco. Quando maior esse parâmetro, mais energia por volume é requerida na usinagem.

Assim, o objetivo básico é minimizar essa quantidade intensiva. Pode também ser obtida dividindo-se a potência de corte pela taxa temporal volumétrica de remoção de material ou, equivalentemente, a força de corte pela área da seção de corte. No primeiro caso, tem-se à energia específica e no segundo, a pressão específica. A primeira é expressa em J/mm^3 e a segunda em N/mm^2 , porém se expressas em unidades do SI, ambas têm as mesmas unidades, N/m^2 .

Em geral, a energia específica depende de quatro principais grupos de fatores: da ferramenta de corte, material da peça, parâmetros de corte e operação executada. A geometria da ferramenta e suas condições superficiais podem afetar a eficiência da remoção de cavaco. Raios de aresta elevados, por exemplo, podem aumentar a zona de deformação elástica na peça sem propriamente cisalhar e remover material, quando aplicadas pequenas profundidades de usinagem.

A velocidade de corte apresenta um comportamento paradoxal. Altas velocidades fazem elevar a temperatura na zona de corte, diminuindo o consumo de energia específica. Por outro lado, o aumento da velocidade conduz a uma elevação na taxa de deformação do material, aumentando sua resistência mecânica. Geralmente, materiais com melhor usinabilidade apresentam valores de energia específica menores.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Banco de Ensaios

Os testes pendulares foram conduzidos em uma máquina de ensaio Charpy WOLPERT AMSLER com fundo de escala igual a 300 J. Maiores detalhes das alterações da máquina, sistema de aquisição, métodos de cálculo da energia específica e avaliação do desempenho do equipamento podem ser encontrados em Rodrigues et al., (2003) e Rodrigues & Coelho (2003).

Os testes para validação dos resultados fornecidos pela máquina Charpy foram realizados em um torno CNC INDEX GU 600 com 30kW de potência. Um dinamômetro KISTLER modelo 9121 tipo *toolholder* forneceu as forças de corte. Os sinais de força foram integrados numericamente no tempo para determinação da energia total de remoção de material e as medições da massa da peça antes e após cada teste permitiram estimar o volume de cavaco removido com precisão. Uma balança analítica digital METLER TOLEDO com resolução de 0,1 mg foi utilizada. Os corpos-de-prova foram alojados de forma sobressalente em um eixo preso entre pontas no torno. Um total de 6 sulcos eram usinados em cada ensaio.

Tanto na máquina Charpy como no torno CNC, as profundidades de usinagem foram 0,3, 0,5 e 0,7 mm. O ângulo de saída negativo de -7° , dado pelos suportes das ferramentas, foi mantido constante. A Figura (1) ilustra os bancos de ensaio adotados.

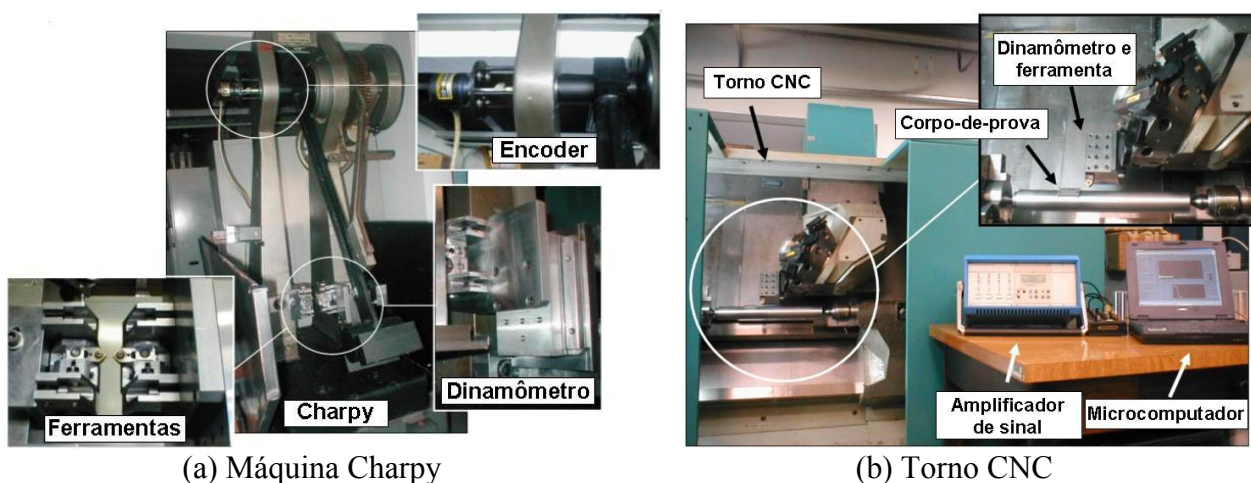


Figura 1. Montagem experimental na máquina Charpy e no torno CNC.

2.2 Corpos-de-Prova

As especificações dos materiais dos corpos-de-prova e as respectivas durezas são apresentadas na Tab. (1). Os valores de dureza foram medidos em 6 amostras de cada tipo de material com o propósito de estabelecer uma escala de dureza e oferecer materiais distintos que permitam investigar o comportamento da energia específica. As medidas de densidade foram realizadas pelo método do deslocamento de volume, à temperatura de 20 °C, com uma proveta de 250 ml e incerteza igual a ± 1 ml. Um total de 11 amostras de cada material foi considerado. Os corpos-de-prova, posicionados no pêndulo, apresentam dimensões de 17 x 23,5 x 32 mm.

Tabela 1. Dureza e densidade dos materiais empregados nos ensaios de energia específica.

Material	Dureza [HB]	Condição	Densidade [kg/m ³]
Al AA2024	118,7 \pm 18,2	Envelhecido	2777,0 \pm 133,3
Aço SAE 1020	98,3 \pm 3,0	Como fornecido	7842,0 \pm 177,9
Aço SAE 1045	180,2 \pm 3,0	Como fornecido	
Aço SAE 1213	95,2 \pm 2,9	Como fornecido	
Aço ASTM H13	188,6 \pm 2,9	Recozido	
Aço ASTM H13	474,4 \pm 11,0	Temperado	

2.3 Ferramentas de Corte

As ferramentas utilizadas nos ensaios foram insertos quadrados com 12 mm de lado e 4 mm de espessura, diferentes raios de ponta, geometria de quebra-cavaco e revestimento. A Tabela (2) condensa todas as características dos insertos. O formato e as dimensões do quebra-cavaco das ferramentas podem ser encontrados em Rodrigues & Coelho, 2003.

Tabela 2. Especificação das ferramentas de corte adotadas nos ensaios.

Variável	Denominação		
Raio de ponta [mm]	0,8	1,2	1,6
Geometria do quebra-cavaco	Com quebra-cavaco		Sem quebra-cavaco
Revestimento	TiN		Sem revestimento

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados todos os resultados e discussões acerca das variáveis que influem na energia específica de corte. O aumento da velocidade de corte causou ligeira queda da energia específica. Os testes foram feitos em alumínio AA2024 e aço SAE 1020 na máquina de ensaio Charpy. Apenas um teste para cada material foi adotado. Para o alumínio foram empregados os seguintes parâmetros de corte: profundidade de usinagem 0,4 mm, inserto com quebra-cavaco, sem revestimento e raio de ponta 0,8 mm. Para o aço SAE 1020 foram utilizados: profundidade de usinagem de 0,2 mm, inserto com quebra-cavaco, revestido e raio de ponta de 0,8 mm.

A dureza dos corpos-de-prova também influenciou diretamente no comportamento da energia específica. Em geral, quanto maior a dureza do material, mais energia específica é requerida na usinagem. Um total de cinco réplicas para cada material foi considerado. Os parâmetros de corte adotados foram: profundidade de usinagem 0,3 mm, inserto com quebra-cavaco, revestido e raio de ponta 0,8 mm. Os ensaios foram realizados na máquina de ensaio Charpy. A Figura (2) ilustra tais comportamentos.

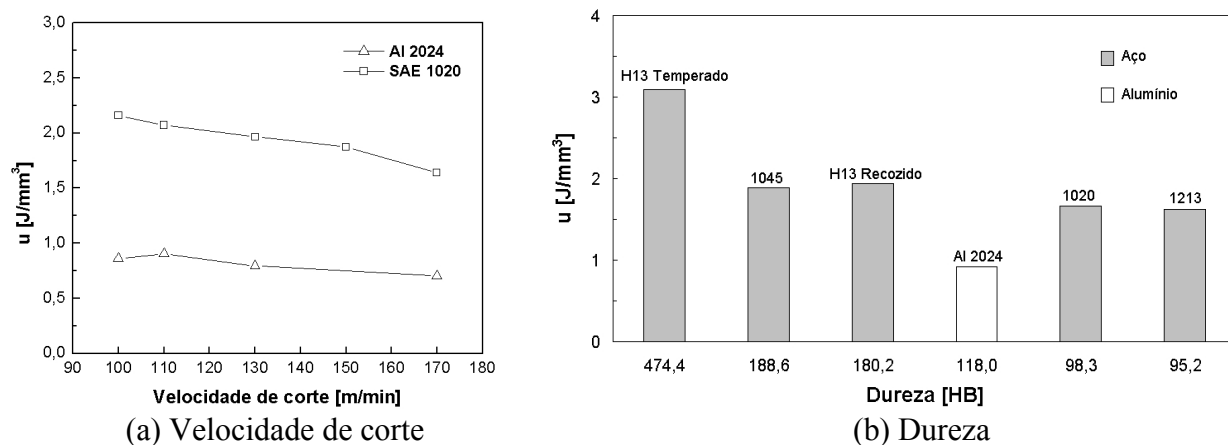


Figura 2. Influência da velocidade de corte e da dureza dos corpos-de-prova na energia específica de formação de cavaco.

De fato, conforme Ferraresi (1977) e Boothroyd (1989) declaram, a velocidade de corte causa sensível variação na energia específica. Com o aumento de 70 % da velocidade de corte, a energia específica diminuiu cerca de 18 % para o alumínio AA2024 e 24 % para o aço SAE 1020, Fig. (2a).

Estima-se que o aumento da velocidade de corte tenha aumentado, mesmo que minimamente, a temperatura na zona de corte e favorecido a ductilidade do material durante o processo de formação de cavaco. Outro aspecto pode referir-se à diminuição do grau de recalque R_c do material da peça, causando queda da força de corte. Neste caso, parece que o aumento na velocidade de corte foi mais significativo para o aumento da temperatura, que do encruamento desses materiais.

Por último, o atrito na interface cavaco-ferramenta pode diminuir com a elevação da velocidade de corte. A aresta postiça de corte na usinagem de materiais dúcteis, que poderia ser outra causa, pode ser descartada, uma vez que a análise dos inserts não indicou sua presença.

Nitidamente, a Fig. (2b) indica que o aumento da dureza da peça causa, em geral, aumento da energia específica de corte. Essa conclusão pode ser estendida para vários materiais, mas deve-se ter cautela em casos de componentes mecânicos com elementos de liga ou de microestruturas distintas, mesmo apresentando durezas semelhantes.

Especificamente neste trabalho, a estrutura cristalina CFC do alumínio, diferente da dos aços estruturais CCC ou do aço H13 temperado pode ter influenciado na dinâmica de formação do cavaco. O maior número de planos preferenciais da estrutura CFC pode ter contribuído no processo de cisalhamento e remoção do cavaco. Mesmo com aumento da dureza em torno de 20% do alumínio AA2024 em relação ao aço SAE 1020, a energia específica caiu aproximadamente 45%.

Embora se saiba que a usinagem de ligas de alumínio, cobre e latão pode causar endurecimento por deformação (encruamento) e aderência do material na ferramenta, conclui-se que esses fatores não influíram na magnitude da energia específica.

Por fim, sabendo-se que o aço SAE 1213 apresenta teores de fósforo e enxofre de 3 e 5 vezes, respectivamente, maior que o dos aços 1020, 1045 e H13, observou-se que não houve diferença significativa na energia específica em relação ao aço 1020, se estabelecendo em torno de 2,6 % para o 1020. No entanto, para o aço SAE 1045, H13 recozido e H13 temperado, os aumentos foram de 17, 20 e 91%, respectivamente.

A Figura (3) a seguir traz a variação da energia específica devido ao raio de ponta dos inserts, profundidade de usinagem, geometria do quebra-cavaco e revestimento. Um total de 72 testes (36 ensaios com 2 réplicas cada), organizado em um arranjo fatorial completo, foi conduzido na máquina de ensaio Charpy em alumínio 2024, considerando as combinações da Tab. (2) associadas às profundidades de usinagem mencionadas no item 2.1. Os resultados foram tratados por análise de variâncias, mostrando a influência de cada fator.

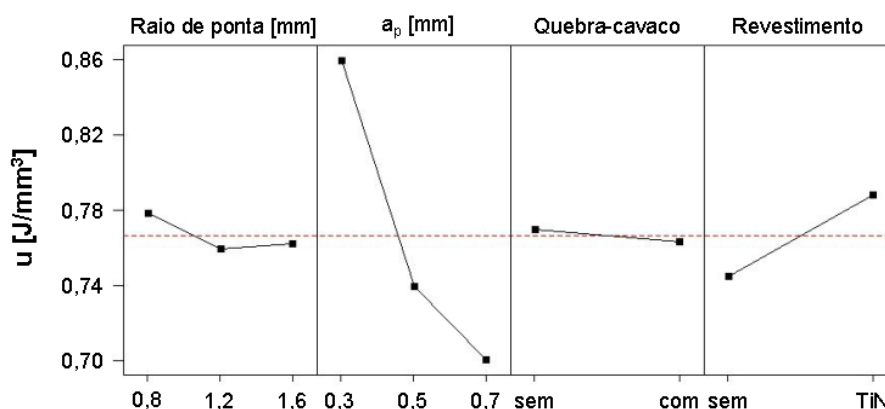


Figura 3. Efeitos do raio de ponta, profundidade de usinagem, geometria do quebra-cavaco e revestimento na energia específica de corte.

Observando a Fig. (3), nota-se que o comportamento da energia específica de corte diante da variação do raio de ponta da ferramenta apresentou-se, em primeira vista, de forma adversa daquela comumente encontrada na literatura científica. Segundo Cohen (1989), quanto maior o raio de ponta, maior a força de corte e a energia específica. Na literatura especializada, valores de raio de ponta acima de 3,2 mm conduzem a um rápido aumento da energia específica em torneamento.

Em contrapartida, o aumento do raio de ponta, considerando constante a profundidade de usinagem, promove um conseqüente aumento da área da seção de corte, que faz diminuir a energia específica de corte. Portanto, estima-se que a combinação desses dois efeitos possa ditar o comportamento da energia específica. Neste trabalho, a energia específica parece mostrar uma tendência de queda, o que indica uma influência maior do efeito da área da seção de corte que propriamente da força de corte.

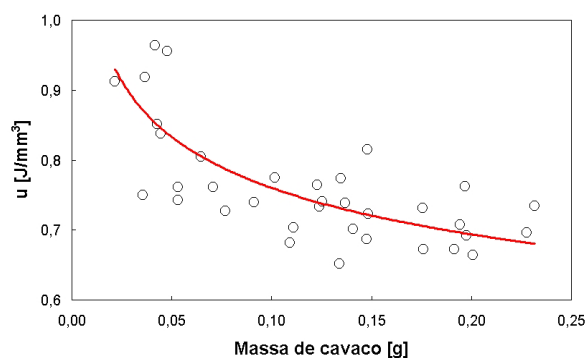
A profundidade de usinagem mostrou exercer a maior influência sobre a energia específica. Para pequenos aumentos da profundidade, grande queda da energia específica ocorreu. Esse resultado, de certa forma, já era esperado, uma vez que vários pesquisadores mostram resultados convergentes a respeito do “efeito de escala”, que tenta explicar o motivo pelo qual a energia específica de corte aumenta exponencialmente com a diminuição da profundidade de usinagem.

O emprego de insertos munidos de quebra-cavaco causou ligeira diminuição das amplitudes da energia específica. Neste caso, foi possível provar que pequenas diferenças na microgeometria da ferramenta podem favorecer o processo de cisalhamento e remoção de material. Nota-se que a ausência de quebra-cavaco fez aumentar, mesmo que de maneira pouco significativa, a energia específica. A inserção de um ângulo resultante positivo de 8° gerou um grau de recalque menor, diminuindo a energia específica consumida na usinagem.

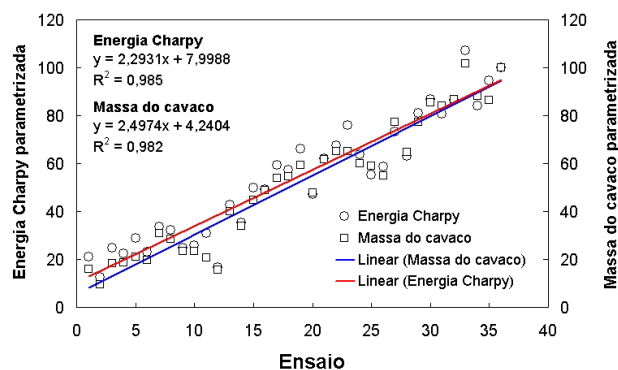
Finalmente, é possível observar que o emprego de revestimento na usinagem de alumínio causou aumento da energia específica. De fato, a metodologia pendular utilizada permitiu captar com certa sensibilidade a variação da energia específica decorrente do uso de revestimento, tal como ocorre em condições reais de usinagem de alumínio.

Recorrendo a um microscópio eletrônico de varredura, marca ZEISS e modelo DSM 940A, foi possível verificar que o revestimento causou uma pequena aderência na superfície de saída da ferramenta, aumentando o atrito na interface cavaco-ferramenta. Além disso, houve um aumento do raio de aresta do inserto que faz aumentar a energia consumida para cisalhar o material, sobretudo em pequenas profundidades de usinagem.

O efeito de escala, como já citado, é um fenômeno pelo qual a diminuição da profundidade de usinagem ou da massa de cavaco removida causa elevação na energia específica de corte. Em função da forma com que a literatura enfatiza essa teoria, este trabalho também retrata esse efeito, levantando algumas curvas características. A Figura (4) a seguir ilustra o fato.



(a) Curva tradicional



(b) Curva proposta

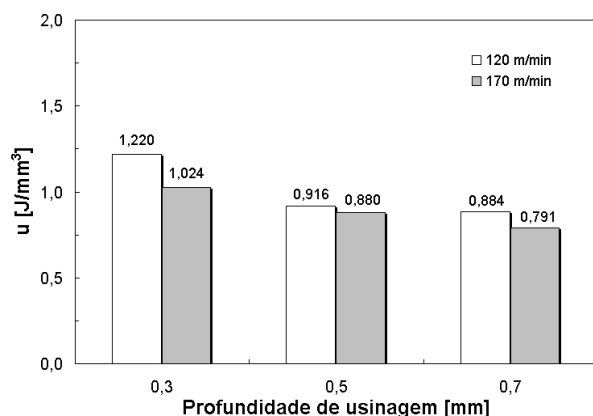
Figura 4. Verificação do efeito de escala.

A Figura (4a) apresenta a curva tradicional representativa do efeito de escala. Nela é possível observar que o aumento da massa removida conduz a uma queda da energia específica de corte, embora a remoção de material tenha ocorrido por diferentes geometrias de aresta e de coberturas. Na Figura (4b), são apresentadas as parcelas separadas que compõem a energia específica. Assim, é possível estudar isoladamente os coeficientes angulares de cada variável parametrizada.

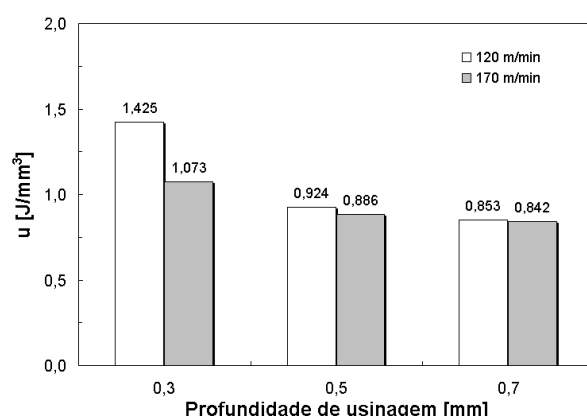
A parametrização da energia Charpy e da massa do cavaco foi proposta em função das distintas ordens de grandeza que cada variável intrinsecamente carrega. Esse procedimento levou em conta os valores máximos de energia Charpy e massa do cavaco, considerando-os 100% de ambas as variáveis. Portanto, as escalas de energia Charpy e massa do cavaco são percentuais. Uma ordenação crescente dos valores médios da energia Charpy e da massa do cavaco foi feita anteriormente à parametrização.

Embora o coeficiente de determinação linear para os dois casos esteja razoavelmente satisfatório, em função de uma certa dispersão dos pontos, nota-se que o coeficiente angular da energia Charpy (2,2931) é ligeiramente menor que o da massa do cavaco (2,4974). Isso mostra que ao aplicar profundidades de usinagem cada vez maiores, a massa do cavaco cresce em uma razão maior que a da energia Charpy e, dessa forma, diminui a energia específica de formação de cavaco.

A seguir, na Fig. (5), é apresentado o efeito da velocidade de corte na energia específica usinando alumínio AA2024. Apenas dois valores foram adotados: 120 e 170 m/min. As condições de usinagem foram: (a) inserto sem revestimento, sem quebra-cavaco, raio de ponta 0,8 mm e (b) inserto com revestimento, sem quebra-cavaco, raio de ponta 0,8 mm.



(a) Inserto sem revestimento



(b) Inserto revestido

Figura 5. Efeito da velocidade de corte na energia específica medida no torno CNC.

Nos testes realizados no torno CNC, também foi possível constatar o efeito da variação de velocidade de corte na energia específica. Para ambas as ferramentas utilizadas, sem revestimento

em (a) e com revestimento em (b), as amplitudes da energia específica diminuíram para todas as profundidades de usinagem adotadas. Os motivos do ocorrido podem ser fundamentados nas mesmas explicações anteriores em referência aos resultados da máquina Charpy.

As influências do revestimento e raio de ponta são mostradas abaixo na Fig. (6). Em (a) pode-se notar que o revestimento de TiN desfavorece o corte quando se usina alumínio 2024, causando aumento da energia específica, da mesma forma que apresentado no ensaio Charpy. Os parâmetros de corte adotados foram: velocidade de corte 170 m/min, raio de ponta da ferramenta 0,8 mm, insertos sem quebra-cavaco. As condições de usinagem para o ensaio de verificação do efeito do raio de ponta foram: velocidade de corte 170 m/min, profundidade de usinagem 0,3 mm, inserto sem revestimento e sem quebra-cavaco.

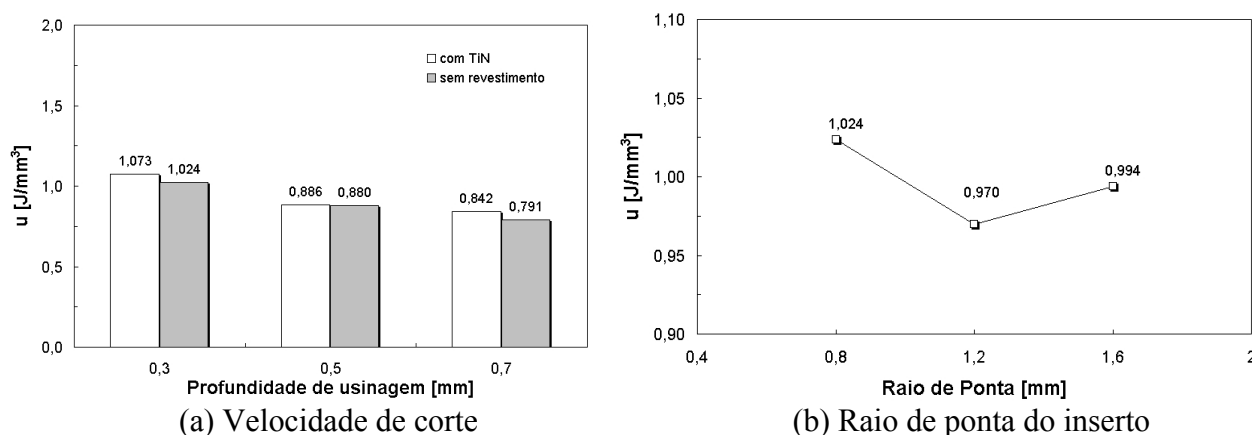


Figura 6. Efeito da velocidade de corte e raio de ponta na energia específica medida no torno CNC.

Em (b), observa-se o mesmo comportamento da energia específica quando se variou o raio de ponta da ferramenta nos testes realizados na máquina Charpy ao usinar o alumínio AA2024. Acredita-se que as bases para a explicação desse fenômeno estejam relacionadas, como dito anteriormente, a maior influência do aumento da área da seção de corte que o aumento da força de corte. A combinação desses dois efeitos pode estar conduzindo a uma tendência de queda da energia específica de formação de cavaco, o que foi validade nos ensaios realizados no torno CNC.

A verificação do efeito de escala no torno CNC também mereceu atenção. Da mesma forma que no ensaio Charpy, o aumento do volume de cavaco removido gerou menores valores de energia específica de corte. A Figura (7) traz o perfil das curvas. Em (a) as condições de corte foram: velocidade de corte 170 m/min, raio de ponta da ferramenta 0,8 mm, inserto sem revestimento e sem quebra-cavaco. Em (b) os parâmetros de corte adotados foram: velocidade de corte 170 m/min, raio de ponta da ferramenta 0,8 mm, inserto com revestimento de TiN e sem quebra-cavaco.

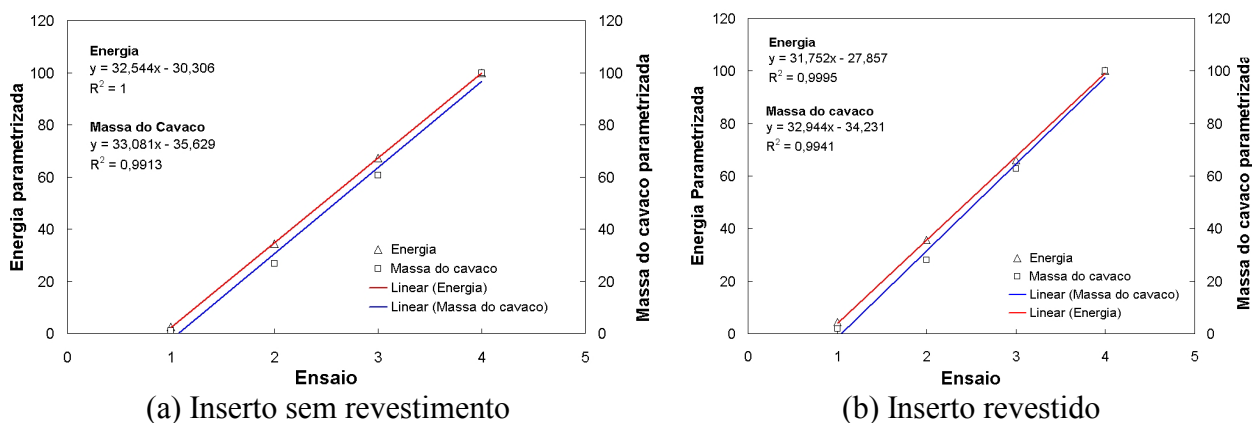


Figura 7. Verificação do efeito de escala nos ensaios realizados no torno CNC.

Da mesma forma que no ensaio Charpy, é possível verificar para ambas as ferramentas, (a) não revestida e (b) revestida, que os coeficientes angulares da massa do cavaco são sensivelmente maiores que os da energia, o que traduz, mesmo para uma quantidade bem menor de ensaios, a maior taxa de crescimento da massa em relação à energia.

Finalmente, as comparações dos valores de energia específica de formação de cavaco medidas na máquina Charpy o no torno CNC são mostradas na Fig. (8) abaixo. Ambos os dados foram obtidos sob velocidade de corte 170 m/min, usinando alumínio AA2024 e utilizando ferramenta com raio de ponta 0,8 mm e sem quebra-cavaco.

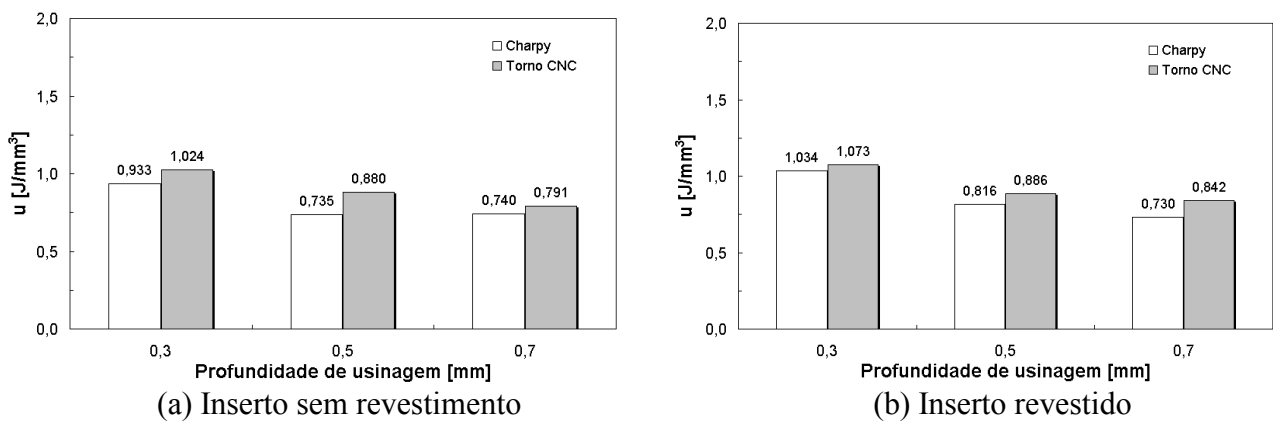


Figura 8. Comparação da energia específica usando (a) ferramenta sem revestimento e (b) com TiN.

Observa-se que os resultados comparativos entre a energia específica de corte medida na máquina Charpy e no torno CNC apresentam boa concordância de valores. Para ambas as ferramentas utilizadas, a diferença percentual das magnitudes encontra-se na faixa de 9,44%. Entretanto, nota-se que os resultados de energia específica, extraídos do torno CNC, são, em todas as condições, maiores que os obtidos na máquina Charpy.

Possivelmente, esses valores sensivelmente superestimados possam estar relacionados ao número de sulcos usinados pela ferramenta em um único ensaio. O comprimento do corpo-de-prova utilizado no torno permitiu gerar 6 sulcos sucessivos. Pela análise da superfície de saída da ferramenta de corte, um nível de aderência bem mais acentuado foi identificado visualmente em comparação aos testes feitos na máquina Charpy. Talvez, essa maior aderência tenha ocasionado o aumento em torno de 10% da energia específica.

4. CONCLUSÕES

Com base nos ensaios apresentados neste trabalho, as seguintes conclusões são delineadas:

- O princípio da máquina de ensaio Charpy permite medir a grandeza energia específica de corte. Pelo fato de o equipamento ser pendular, a energia é facilmente extraída;
- A metodologia da máquina Charpy, no contexto de usinagem, se aproxima de um processo de corte interrompido com ferramentas de geometria definida. Além disso, a rigidez da estrutura é condizente com a de máquinas-ferramentas convencionais, tais como fresadoras universais;
- A energia específica depende da velocidade de corte. Aumentos na velocidade causam diminuição da energia. Elevação da temperatura na zona de corte, mesmo que pequena, causa diminuição do grau de recalque e da dureza do material. O atrito na interface cavaco-ferramenta tende a diminuir com o aumento de v_c . Estes podem ser os motivos de tal comportamento.

Verificações da queda da energia específica devido ao aumento da velocidade de corte puderam ser constatadas tanto na máquina de ensaio Charpy como no torno CNC;

- A dureza mostrou exercer influência na energia específica. Quanto maior seu valor, maior é a energia consumida no processo de corte. Diferenças na microestrutura da peça também alteram a energia específica. A liga de alumínio AA2024, apesar de ter maior dureza que o aço SAE 1020, apresentou menor valor de energia específica de corte;
- O aumento do raio de ponta da ferramenta fez diminuir a energia específica. O aumento da área da seção de corte, causado pelo aumento do raio de ponta, superou o efeito do aumento da força de corte. Essa combinação dos efeitos gerou uma tendência de queda dos valores de energia específica, comprovada nos ensaios realizados no torno CNC;
- A profundidade de usinagem gerou a maior variação significativa na energia específica. Para pequenos aumentos da profundidade, uma diminuição acentuada da energia específica ocorreu. Estima-se que o efeito de escala seja responsável por tal fenômeno;
- O uso de quebra-cavaco proporcionou redução da energia específica medida na máquina Charpy. Alterações na microgeometria da ferramenta, mesmo que pequenas, influem no processo de formação de cavaco e nas magnitudes da energia específica;
- O revestimento de TiN, usinando o alumínio AA2024, causou aumento da energia específica. Em condições reais de usinagem, não se empregam insertos revestidos na usinagem de ligas de alumínio. Aderência do material da peça nos insertos, constatada em microscopia eletrônica de varredura, pode ter aumentado o atrito e causada elevação na energia específica de corte;
- O efeito de escala, observado pelos resultados extraídos da máquina Charpy usinando o alumínio AA2024, foi constatado no torno CNC. Uma nova abordagem matemática foi proposta neste trabalho, isolando as componentes que constituem a energia específica de corte. Foi possível comprovar que a taxa de aumento da massa removida de cavaco supera a taxa com que a energia consumida aumenta, na medida em que se eleva a profundidade de usinagem. Justamente a diferença nas taxas de aumento dessas variáveis causa a diminuição da energia específica;
- Por fim, é possível considerar válidos os resultados de energia específica medidos na máquina de ensaio Charpy. Uma pequena diferença entre aqueles obtidos no torno CNC foi observada, em princípio, devido ao maior número de sulcos usinados nos corpos-de-prova utilizados no torno, causando talvez maiores níveis de aderência na superfície de saída da ferramenta de corte.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, pelo suporte financeiro e ao Departamento de Engenharia de Produção da Escola de Engenharia de São Carlos-USP pelo uso das instalações.

6. REFERÊNCIAS

- Boothroyd, G.; Knight, W. A., 1989, “Mechanics of metal cutting”, Marcel Dekker, EUA, pp.73-108.
- Ferraresi, D., 1970, “Fundamentos da Usinagem dos Metais”, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, Brasil, 754p.

- Rodrigues, A.R., Coelho, R.T., Martins, R.O., 2003, “Adaptação e Instrumentação de uma Máquina de Ensaio Charpy para Medição de Energia Específica na Formação de Cavacos”, Proceedings of the II Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Uberlândia-MG, Brasil.
- Rodrigues, A.R., Coelho, R.T., 2003, “An Investigation of Specific Energy on the Chip Formation Process using an Instrumented Charpy Test Machine”, Proceedings of the 17th International Congress of the Mechanical Engineering, São Paulo-SP, Brasil.
- Shaw, M.C., 1995, “Principles of Abrasive Processing”, Oxford University Press, New York, USA, pp.1-12.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

EVALUATION OF THE SPECIFIC CUTTING ENERGY BY USING THE CHARPY TEST PRINCIPLE

Alessandro Roger Rodrigues

Reginaldo Teixeira Coelho

University of São Paulo-USP

São Carlos School of Engineering-EESC

Mechanical Engineering Department

Av. Trabalhador São Carlense, 400 - São Carlos-SP - Brazil

CEP: 13.566-590

roger@sc.usp.br

rtcoelho@sc.usp.br

Abstract. *This work presents a technique for measuring the specific cutting energy. It is based on Charpy test principle. The influences of cutting speed, specimens hardness, depth of cut, nose radius, chip-breaker microgeometry, and coating on specific energy were investigated. The materials of specimen were ABNT 1213, 1020, 1045, annealed and tempered H13 steels and AA2024 aluminium. Some tests were carried out on CNC turning machine under the same Charpy test conditions for comparisons and validations of results. All researched parameters showed to have influence on specific cutting energy. The increase of cutting speed causes a little decrease of the specific energy. The increase of depth of cut influences on specific cutting greatly, presenting an inversely relation. The use of TiN coating inserts machining AA2024 aluminium permitted to verify the increase of the specific energy. In general, the greater specimen hardness, the greater specific energy. Finally, it is possible to conclude that the specific cutting energy is influenced by mechanical properties of specimens, superficial and geometrical characteristics of tools and cutting parameters.*

Keywords. *specific cutting energy, Charpy test.*