

ESTUDO DO PROCESSO DE ROSQUEAMENTO EM AÇOS CARBONO EMPREGANDO MACHOS DE CORTE COM E SEM QUEBRA CAVACO

Breno Santos de Siqueira, breno.siqueira@emuge-franken.com.br¹

Samuel Alves de Freitas, samuelengmec@gmail.com¹

Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufsj.edu.br¹

¹Universidade Federal de São João Del Rei, Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João Del Rei, Minas Gerais, CEP 36307-352.

Resumo: A competitividade industrial faz com que o setor produtivo busque renovações tecnológicas constantemente, melhorando os produtos já disponíveis ou até mesmo criando novos projetos. Na usinagem os fabricantes de máquinas e ferramentas pesquisam soluções para a melhoria da linha de produção e qualidade dos produtos, com um acompanhamento constante dos clientes e da realidade das fábricas. Um processo presente nas etapas de produção de peças é o rosqueamento que se apresenta na maioria dos componentes mecânicos apresenta várias regiões com perfis roscados. O presente trabalho investigou os efeitos da velocidade de corte, no processo de rosqueamento comparando machos de corte com e sem quebra cavaco, e variando os ângulos de hélice para os machos sem o quebra cavaco. Os machos com quebra cavaco foram desenvolvidos recentemente pela indústria de ferramentas com o intuito de otimizar o processo de rosqueamento, aumentar a vida útil de ferramenta, garantindo a qualidade requerida pelo processo. O material utilizado foi SAE 1020 que apresenta boa usinabilidade e dentre outras características que justificam a alta empregabilidade em componentes automobilísticos. O macho com ângulo de 15 graus gerou uma força axial superior ao macho com 35 graus em todos os parâmetros analisados. O macho com quebra-cavaco gerou um torque superior em todos os parâmetros analisados ao contrário do macho sem quebra-cavaco que apresentou melhores resultados para o torque.

Palavras-chave: Ângulo de Hélice, Rosqueamento, Quebra cavaco, TiN.

1. INTRODUÇÃO

Uma das principais formas de união entre peças na indústria mecânica é a fixação por rosca. A usinagem de roscas, seja externa ou interna, por conformação ou corte, representa uma ampla variedade de escolhas para o campo da engenharia. A correta seleção de ferramentas para confecção do perfil rosqueado garante alta produtividade e qualidade de seus produtos. Como as operações de rosqueamento são realizadas nas etapas finais da produção industrial, um risco associado está presente, devido ao alto valor agregado dos componentes nessas etapas de produção. Além disso, a quebra de uma ferramenta durante o processo de rosqueamento compromete toda a linha de produção, acarretando, dessa forma, atrasos e prejuízos para a indústria (Carvalho *et al.*, 2012).

Segundo Haag; Amancio, (2012) as grandezas físicas que são influentes no processo de rosqueamento interno com macho de corte são a força axial e o torque. Estudos observam que a força axial está relacionada a estabilidade do processo e ao consumo energético da máquina. O torque está ligado aos danos do processo, como a quebra da ferramenta e perda das qualidades mecânicas do perfil rosqueado (Childs *et al.*, 2008; Rivero *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2016).

Devido a alta aplicabilidade do processo de rosqueamento interno por macho de corte, existe um grande interesse científico e tecnológico em investigar os parâmetros que otimizam a produção em larga escala e possibilitam o desenvolvimento de novas tecnologias voltadas para a indústria.

Nas aplicações industriais o processo de usinagem por rosqueamento está presente na maioria dos componentes do setor metal mecânico. Normalmente na indústria automobilística as peças produzidas contém mais de um perfil rosqueado (Carvalho *et al.*, 2012). O rosqueamento é um processo mecânico, de usinagem ou conformação, que se destina à obtenção de filetes com perfis roscados, por meio da abertura de um ou mais canais helicoidais de passo uniforme, em superfícies cilíndricas ou cônicas de revolução. Sendo assim podem ser produzidas roscas internas e roscas externas. O processo de rosqueamento interno com a ferramenta Macho de Corte ocorre a partir de movimentos combinados entre o avanço e rotação da ferramenta, onde os movimentos de avanço e rotação da ferramenta precisam ocorrer simultaneamente, garantindo o passo da rosca. Esse sincronismo entre a rotação da ferramenta e o avanço vertical do eixo da máquina é fonte de estudos de outros autores, onde observaram que o mesmo está relacionado a velocidade empregada e que caso não ocorra um perfeito sincronismo, a qualidade e resistência do perfil ficará comprometida (Ahn *et al.*, 2003; Chen; Pan; Chou, 2012).

Nos processos de usinagem de roscas internas, segundo Agapiou, (2016), a fabricação pode ser realizada por diferentes ferramentas, entretanto, todas as opções necessitam de uma operação prévia de furação. A ferramenta pode cortar ou deformar plasticamente o material do furo, formando os filetes da rosca. A alternativa de laminar a rosca em

furos é aplicada em materiais dúcteis, como aços de fácil usinagem, aços de baixa liga, bronze, latão, alumínio, entre outros.

A operação de rosqueamento, apesar de ser um processo muito utilizado na indústria, é pouco pesquisado se comparado a processos como torneamento, furação ou fresamento. Armarego; Chen, (2002) desenvolveram um trabalho analisando o torque, a pressão e a força lateral na usinagem de roscas e concluíram que esse é ainda um campo que merece mais estudos para melhor entendimento. Também através de testes experimentais e de simulação computacional, notou que é necessária uma boa combinação entre o material de trabalho, velocidade e a ferramenta a serem utilizados para se atingir o menor torque possível na operação. De acordo com Cao; Sutherland, (2002) o grande problema na usinagem de roscas é a ruptura do macho de corte durante o processo, essa falha está ligado aos altos valores médios do torque, esse travamento da ferramenta gera uma quebra imediata de suas arestas de corte.

Segundo Chowdhary *et al.*, (2002), outros fatores que interferem na força axial do processo são a velocidade de corte e a profundidade do perfil de rosca. Observaram também que alterações no ângulo de entrada da ferramenta afetam a força axial e tem grande influência na vida da ferramenta.

Todavia, o controle dos níveis de atrito é efetuado com a utilização de meios lubrificantes, assim a caracterização destes agentes de redução de atrito deve ser bem entendida neste processo. É visto que utilização de emulsão é pouco eficaz para a redução dos valores do torque. A lubrificação por emulsão se demonstra inferior a outros métodos de lubrificação e refrigeração, como Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL), Criogenia e a utilização de graxas específicas para o rosqueamento. Contudo tendo em vista que o poder de refrigeração da água e o seu baixo custo, a mistura de óleo e água (emulsão) basicamente atende a necessidade de refrigeração e lubrificação da maioria dos processos de rosqueamento. Por isso, a emulsão é amplamente utilizada nos processos industriais de grande escala. Entretanto, é importante salientar, que apesar de apresentar uma capacidade de minimização do atrito, deve se atentar para as possíveis reações químicas propensas a ocorrer entre o óleo e o material usinado FROMENTIN *et al.*, (2010). Segundo Fromentin *et al.*, (2013) o atrito entre peça e ferramenta está diretamente relacionado ao torque, sendo essa interação cuidadosamente analisada, a fim de se obter um fluido mais indicado como lubrificante e refrigerante, atingindo a maior eficácia de suas aplicações.

Nas operações de torneamento, ferramentas com quebra cavacos são mais utilizados do que ferramentas sem quebra cavaco, devido ao resultado obtido do tipo de cavaco, sendo ele em pequenos pedaços ou em formato de vírgulas. É conhecido que o cavaco do tipo de lascas (pequenos) contribui para uma redução do desgaste da ferramenta Ee; Balaji; Jawahir, (2003).

O presente trabalho busca investigar a aplicação de diferentes ângulos de hélices das ferramentas, que são responsáveis pela saída do cavaco, variando a velocidade de corte e verificando a influenciam diretamente destes nas respostas da força axial e torque. Além disso, em busca de ampliar essa análise a inserção de quebra cavacos nessas ferramentas pode reduzir os problemas envolvidos com a saída do cavaco e entupimento desses canais. Todos os experimentos foram realizados com a utilização de emulsão e barras de aço SAE 1020.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para os testes experimentais utilizou-se de um centro de usinagem da Romi Discovery 560, com 10.000 RPM e 15 kW de potência. A sincronização dos movimentos axial e rotacional baseou-se no software CNC Siemens Sinumerik 810D da máquina por meio do ciclo fixo de rosqueamento (CYCLE 84). Todos os experimentos foram realizados com o uso de refrigeração por emulsão com 6% de concentração e vazão de 20 l/min, aplicado por jorro a uma distância média de 50 - 100 mm do corpo de prova. Uma distância inicial de 10 mm foi definida a partir do corpo de prova para assegurar a completa aceleração da ferramenta. Para o retorno da ferramenta foi empregada à mesma velocidade para todos os experimentos.

O material utilizado foi SAE 1020 amplamente aplicado a indústria principalmente por apresentar ótima resposta para a sua usinagem. Este tipo de aço também se torna atrativo para engenharia por permitir a aplicação do processo termoquímico de cementação de sua superfície, que consiste na difusão atômica de carbono, aumentado a sua resistência ao desgaste e dureza, técnica normalmente aplicada a engrenagens. Além disso, o aço 1020 tem aplicação para componentes como chassis, disco de freios, rodas, motores e peças em geral para máquinas e veículos. É um aço altamente tenaz, particularmente indicado para fabricação de peças que podem receber tratamento superficial, otimizando o acabamento e consequentemente a qualidade.

A sua composição química de acordo com o fornecedor é apresentada na Tab. (1), é comparado a composição segundo a norma e de acordo com a medição via dispersão em energia (EDS) realizado pelo mesmo.

Tabela 1. Composição química do aço SAE 1020 utilizado nos experimentos (Fonte: GERDAU, 2013)

Composição [%]	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
Padrão	0,18-0,23	0,3-0,6	0,040	0,050	0-0,3	0-0,05	0-0,4	0-0,2
EDS	0,20	0,45	0,03	0,025	0	0	0	0,05

Os corpos de prova foram produzidos a partir de uma única chapa nas dimensões de 10x14x125 mm em uma barra com seção retangular. As ferramentas utilizadas foram machos de corte com e sem quebra cavaco HSS-E e cobertura de Nitreto de Titânio (TiN) fabricados pela Emuge-Franken e selecionados com o intuito de avaliar a influência do ângulo de hélice e do quebra cavaco na força axial e torque do processo de rosqueamento. Os machos com o dimensional M8 x 1,25 mm são fabricados de acordo com a norma DIN-371 padrão para rosca métrica. O diâmetro inicial do furo foi constante para todos os experimentos e definido conforme o fabricante em Ø 6,8 mm.

O revestimento superficial nos machos proporciona um aumento de dureza e um menor coeficiente de atrito. Para este estudo foram selecionadas 3 ferramentas com a mesma cobertura. A cobertura TiN é um revestimento que tem uma única camada aplicada ao corpo de aço rápido a fim de obter uma dureza aproximada superior ao material base da ferramenta. Todas as ferramentas apresentavam a mesma geometria de corte, ângulo de folga, ângulo de ataque e o chanfro de entrada são da forma C com uma entrada de 2-3 fios. A única diferença entre as ferramentas é o ângulo de hélice e a existência de quebra-cavaco. Durante os experimentos foram monitorados os valores da Força de Axial [N] e o Torque [N.m] utilizando um dinamômetro Kistler 9272, conforme exibido pela Fig. (1) **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, com taxa de aquisição de 500 Hz sendo os resultados exportados para o Manita™.



Figura 1. Detalhe da montagem do experimento (Fonte: autoria própria).

As Tabelas (2) e (3) mostram os fatores e os níveis investigado nos experimentos para ângulo de hélice e quebra cavaco. Dois planejamentos fatoriais completos ($3^1 \times 2^1$), foram utilizados para identificar os principais efeitos e interação de fatores de entrada sobre as respostas, com três repetições de cada condição experimental, resultando em um total de 36 experimentos aleatorizados. A repetição da condição experimental proporciona uma estimativa do erro experimental de uma resposta individual. A análise desse erro é importante na decisão se existem ou não efeitos significativos que possam atribuir à ação dos fatores. O software estatístico Minitab™ 17 foi empregado para o planejamento dos experimentos, Design de Experimentos (DOE) de acordo com (Montgomery, 2006) e a análise dos resultados para a força axial e torque obtidos foram tratamentos através da ferramenta de análise de variância (ANOVA).

Tabela 2. Fatores e níveis do experimento para ângulo de hélice (Fonte: autoria própria).

Parâmetro de entrada	Níveis dos Parâmetros		
	-1	0	+1
Velocidade de corte [m/min]	15	30	45
Ângulo de Hélice	15° ângulo de hélice sem quebra cavaco		35° ângulo de hélice sem quebra cavaco

Tabela 3. Fatores e níveis do experimento para ferramenta com e sem quebra cavaco (Fonte: autoria própria).

Parâmetro de entrada	Níveis dos Parâmetros		
	-1	0	+1
Velocidade de corte [m/min]	15	30	45
Quebra cavaco	15° ângulo de hélice sem quebra cavaco		15° ângulo de hélice com quebra cavaco

O sistema de compensação axial utilizado em todos os experimentos foi o semirrígido fornecido pela Emuge-Franken e a refrigeração por emulsão foi a mesma para todos os experimentos.

3. RESULTADOS

3.1. Análise dos Experimentos

O resultado da análise de variância (ANOVA) foi utilizado para avaliar a influência exata de um e/ou mais fatores nas variáveis respostas, apresentando se o fator principal e/ou a interação entre os fatores foram estatisticamente significantes no intervalo de confiança de 95%. A Tabela (4) exhibe os resultados da ANOVA para o torque e força axial, nos experimentos. Com o P-valor menor ou igual a 0,05 (5%) pode-se concluir que o efeito e/ou a interação são significantes, baseados nos dados a partir dos experimentos e suas réplicas (Montgomery, 2006).

Os resultados experimentais são descritos através dos gráficos de efeito principal e interação, onde são apresentadas a variação e a significância dos efeitos. Os gráficos de efeitos e interações ilustram os fatores que influenciam os resultados dos experimentos e a variação significantes desses valores que aperfeiçoam o processo. A interação existe quando a variação média da resposta depende do nível de outro fator. É possível visualizar o efeito da interação de dois ou mais fatores do experimento sobre a variável resposta nos gráficos de interação, permitindo uma ou mais comparações da relativa significância dos efeitos (Montgomery, 2006).

O valor de R^2 (ajustado) exibido na ANOVA apresenta a proporção em que o modelo de previsão pode prever as respostas para novas observações. O coeficiente de determinação (R^2) fornece a medida da variabilidade observada nos valores das respostas que pode ser explicada pelos fatores controláveis e suas interações. Um coeficiente próximo de 100% sugere um modelo com ótima predição.

3.1.1. Análise para o Ângulo de Hélice

Os valores em negrito na coluna do P-valor na Tab. (4) representam os fatores e interações significantes que tem influência nas respostas, sendo a velocidade o fator de maior significância na variável resposta força axial e o fator ângulo para a resposta do torque.

Tabela 4. Análise de variância (ANOVA) para os fatores ângulo e velocidade de corte.

Fatores	Torque [N.m]		Força Axial [N]	
	F	P-valor	F	P-valor
Ângulo [°]	2,43	0,170	2906,7	0,000
Velocidade [m/min]	202,33	0,000	114,38	0,000
Ângulo [°]*Velocidade [m/min]	32,44	0,001	87,57	0,000
R^2(ajus)	99,67%			

3.1.2. Torque para o ângulo de hélice

O torque é o resultado da soma das forças de corte na operação realizada por cada aresta cortante. Os resultados do torque é a soma das forças de corte vezes o raio da ferramenta, somado as porções da força de atrito. A porção do torque originada do atrito pode ser prevista. Durante o retorno da ferramenta, mesmo sem a realização do corte, é notada a presença de torque no eixo da máquina. Tal torque pode representar a influência do atrito entre a ferramenta e a peça (Pereira *et al.*, 2016).

O ângulo de hélice é o ângulo formado pela linha tangente para uma hélice e um plano através do eixo axial da ferramenta. Para materiais metálicos o ângulo de hélice está diretamente ligado as forças desenvolvidas no processo e no acabamento (Ema; Davies, 1989). Além disso, está ligado ao carregamento axial desenvolvido ao longo da ferramenta. Geralmente cortes com ferramentas elípticas gera uma maior força axial do que uma ferramenta reta

(Chatelain; Zaghbani, 2012). Sendo para a furação e fresamento quanto maior o ângulo de hélice maior é o número de vezes que uma aresta realiza o corte ao longo do processo para uma dada profundidade de corte (Baowan; SAIKAEW; Wisitsoraat, 2016).

A Figura 6 exibe o resultado da interação da velocidade com os ângulos de hélice. A velocidade de 15 m/min o macho de ângulo de 15 graus apresentou a média do torque em 13,54% maior que o macho com ângulo de 35 graus. A mudança para a velocidade de 30 m/min, apresentou uma inversão, sendo para o macho de ângulo de 35 graus notou-se uma média do torque em 9,05 % maior que o macho com ângulo de 15 graus e para a velocidade de 45 m/min o macho com ângulo de 35 graus apresentou um valor do torque médio de 6,81% maior do que o macho com 15 graus. É possível notar que para a velocidade acima de 30 m/min a ferramenta com 35 graus de ângulo de hélice apresenta os maiores valores para o torque. A variação do ângulo de hélice leva a variação da pressão de contato do cavaco na superfície da ferramenta e o seu aumento pode causar uma perda de estabilidade do processo.

As taxas de velocidade de corte empregadas no processo alternam os valores dos esforços, devido a variação do tipo de escorregamento desenvolvido pelo cavaco na superfície da ferramenta, os resultados são as combinações entre o tipo de cavaco formado e as taxas de velocidade empregada (Ee *et al.*, 2006). Para a broca o ângulo de hélice está ligado a capacidade e a eficiência de remoção do cavaco da área de usinagem (Hsieh, 2006). Menores ângulos de hélice desenvolve menores valores para os esforços (Ema; Davies, 1989). Normalmente quanto maior o ângulo de hélice maior os esforços (Chatelain; Zaghbani, 2012).

Em estudo recente Merino-Pérez *et al.*, (2015) avaliaram a influência dos constituintes dos compósitos em fibra de carbono e resina epóxi, com diferentes tipos de resina e arranjo de fibras na furação, os experimentos foram realizados com velocidades de corte entre 50 m/min e 200 m/min. Onde notaram que para as forças de furação dos compósitos, a velocidade é um fator influente no torque.

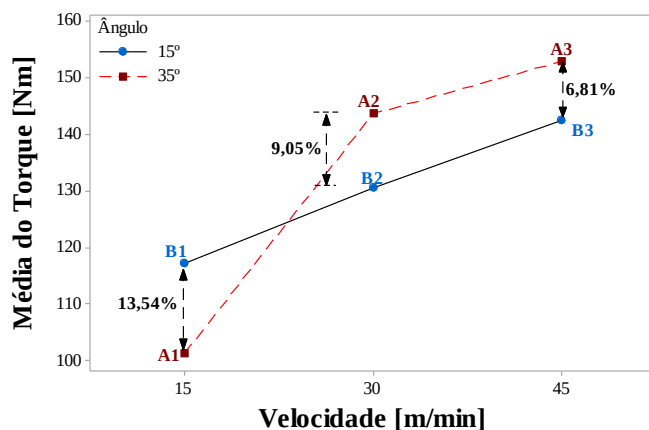


Figura 6. Média do torque para as velocidades de 15, 30 e 45 m/min com ângulos de 15 e 35 graus.

3.1.3. Força Axial para o ângulo de hélice

A Figura 7 mostra a interação da velocidade de corte e do ângulo de hélice dos machos de corte na resposta da força axial. A velocidade de 15 m/min o macho de ângulo de 15 graus apresentou a média da força axial em 55,79% maior que o macho com ângulo de 35 graus. A velocidade de 30 m/min o macho de ângulo de 15 graus apresentou a média de força axial em 51,67 % maior que o macho com ângulo de 35 graus e para a velocidade de 45 m/min o macho com 15 graus apresentou uma força de 85,79% maior. Nota-se uma força axial maior para a ferramenta com ângulo de hélice de 15 graus.

O comprimento de corte aumenta com o aumento do ângulo de hélice, reduzindo o desgaste e produzindo menores cavacos, mas uma consequência é o aumento da temperatura no local de usinagem. Esse aumento acarreta na redução da vibração no local de usinagem (Baowan; Saikaew; Wisitsoraat, 2016). Através do método de análise dos elementos finitos é possível observar que a instabilidade compromete a usinagem e está ligada ao ângulo de hélice empregado (Imani; Sadeghi; Nasrabadi, 2008).

Para o processo de fresamento de material compósito com reforço em fibra de carbono, Hosokawa *et al.*, (2014) avaliaram a qualidade da usinagem utilizando ângulos de hélice de 30 e 60° onde observaram que essa variação afetou os esforços. Sendo a força tangencial e normal menores para o maior ângulo de hélice. A redução do ângulo de hélice aumenta os esforços devido ao aumento da vibração no local de usinagem (Omar *et al.*, 2007).

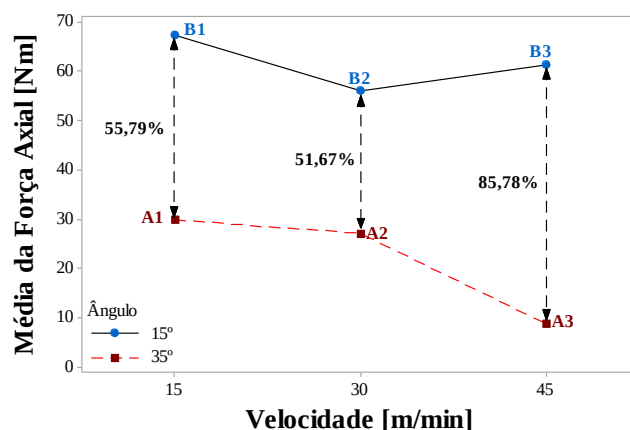


Figura 7. Média da força axial para as velocidades de 15, 30 e 45 m/min com ângulos de 15 e 35 graus.

3.1.4. Análise para o quebra cavaco

Os valores em negrito na coluna do P-valor na Tab. (6) representam os fatores e interações significantes que tem influência nas respostas, sendo a superfície de saída o fator de maior significância na variável resposta força axial e torque.

Tabela 6. Análise de variância (ANOVA) para os fatores superfície de saída e velocidade.

Fatores	Torque [N.m]		Força Axial [N]	
	F	P-valor	F	P-valor
Quebra cavaco	752,68	0,000	533,23	0,000
Velocidade [m/min]	76,14	0,000	94,42	0,000
Sup. Saída [°]*Velocidade [m/min]	32,22	0,000	31,85	0,001
R²(ajus)	98,61%			

3.1.5. Torque para o quebra cavaco

A Figura 8 exibe o resultado da interação da velocidade com a superfície de saída dos machos com e sem quebra cavaco. A velocidade de 15 m/min o macho com quebra cavaco apresentou a média do torque 29,03% maior que o macho sem quebra cavaco. A velocidade de 30 m/min o macho com quebra cavaco apresentou uma média do torque 15,46% maior que o macho sem quebra cavaco. A velocidade de 45 m/min o macho com quebra cavaco apresentou uma média de torque 17,96% maior que o macho sem quebra cavaco. Nota-se um valor médio do torque maior para a ferramenta com quebra cavaco.

Na maioria dos casos, o aumento dos valores dos esforços leva a um aumento no desgaste da ferramenta, isso ocorre devido a interface da superfície de escorregamento da ferramenta e o cavaco, a alteração para uma ferramenta com quebra cavaco leva a uma modificação do escoamento do cavaco, podendo não ser favorável e resultando em obstrução e consequentemente a falha da ferramenta (Jawahir et al., 1995). O aumento da força de contato entre cavaco e ferramenta resulta em um aumento do torque.

Para diferentes tipos de conjunto de condições de corte, a efetividade do tipo de quebra cavaco varia, resultando em diferentes tipos de ondulação do cavaco e escorregamento do mesmo. Assim, a compreensão do atrito envolvido produzido na interação ferramenta e material de trabalho são de difíceis compreensões. Mas acredita-se que a partir da análise dos esforços no processo pode-se definir se existe ou não um aumento no desgaste da ferramenta de acordo com a condição escolhida (Ee; Balaji; Jawahir, 2003).

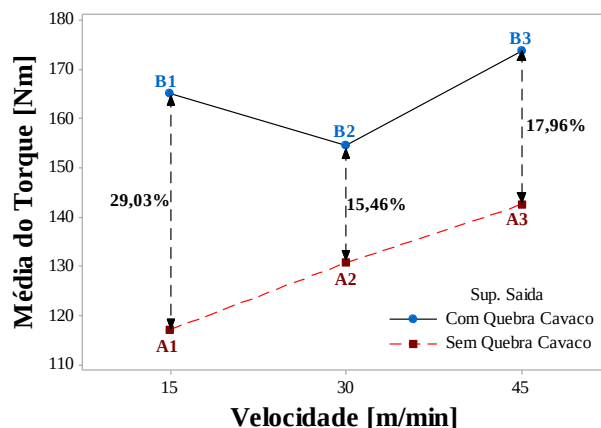


Figura 8. Média do torque para as velocidades de 15, 30 e 45 m/min nas superfícies de saída com e sem quebra cavaco.

3.1.6. Força axial para o quebra cavaco

A Figura 9 mostra o resultado da interação da velocidade com a superfície de saída dos machos com e sem quebra cavaco. A velocidade de 15 m/min o macho com quebra cavaco apresentou a média de força axial 31,18% maior que o macho sem quebra cavaco. A velocidade de 30 m/min o macho com quebra cavaco apresentou uma média da força Axial 32,14% maior que o macho sem quebra cavaco. A velocidade de 45 m/min o macho com quebra cavaco apresentou uma média de Força Axial 16,40% maior que o macho sem quebra cavaco. É possível observar que a ferramenta com quebra cavaco apresenta os maiores valores médios da força axial. A utilização de quebra cavaco pode gerar um aumento da vibração.

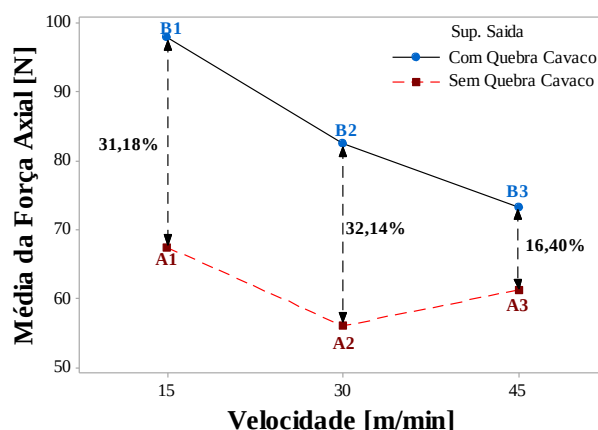


Figura 9. Média da Força axial para as velocidades de 15, 30 e 45 m/min na superfície de saída com e sem quebra cavaco.

4. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, após os testes experimentais, as seguintes conclusões puderam ser obtidas:

- Os valores de força axial apresentaram grandes variações em seus valores nos experimentos realizados, oscilando de 8,7 N a 97,9 N.
- Os valores de torque ficaram entre 101,2 N.m e 173,7 N.m para todas as condições experimentais.
- O macho com ângulo de 15 graus gerou uma força axial superior ao macho com 35 graus em todos os parâmetros de corte analisados.

- O macho com quebra cavaco gerou um torque e uma força axial superiores em todos os parâmetros analisados a contrário do macho sem quebra cavaco que apresentou melhores resultados.

5. AGRADECIMENTOS

À empresa Emuge-Franken pelo fornecimento das ferramentas, equipamentos. à Universidade Federal de São João del Rei, e o PPMEC pelo uso do laboratório. A FAPEMIG pelo apoio financeiro para participação do COBEF 2017.

6. REFERÊNCIAS

- Agapiou, J. S. Evaluation of the Effect of High Speed Machining on Tapping. v. 116, n. November 1994, p. 457–462, 2016.
- Ahn, J. H. et al. Effects of Synchronizing Errors on Cutting Performance in the Ultra-High-Speed Tapping. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 52, n. 1, p. 53–56, 2003.
- Armarego, E. J. A.; Chen, M. N. P. Predictive Cutting Models for the Forces and Torque in Machine Tapping with Straight Flute Taps. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 51, n. 1, p. 75–78, 2002.
- Baowan, P.; Saikaew, C.; Wisitsoraat, A. Influence of helix angle on tool performances of TiAlN- and DLC-coated carbide end mills for dry side milling of stainless steel. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 2016.
- Cao, T.; Sutherland, J. W. Investigation of thread tapping load characteristics through mechanistics modeling and experimentation. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 42, n. 14, p. 1527–1538, 2002.
- Chatelain, J.; Zaghbani, I. Effect of Tool Geometry Special Features on Cutting Forces of Multilayered CFRP Laminates. **International Journal of Mechanics**, v. 6, n. 1, p. 52–59, 2012.
- Chen, S. L.; Pan, C. I.; Chou, C. Y. Reduction of synchronous errors in rigid tapping by iterative learning control. **IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, AIM**, p. 467–471, 2012.
- Childs, T. H. C. et al. Surface finishes from turning and facing with round nosed tools. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 57, n. 1, p. 89–92, 2008.
- Carvalho, A. O. et al. Analysis of form threads using fluteless taps in cast magnesium alloy (AM60). **Journal of Materials Processing Technology**, v. 212, n. 8, p. 1753–1760, 2012.
- Ee, K. C. et al. Performance-based predictive models and optimization methods for turning operations and applications: Part 1 - Tool wear/tool life in turning with coated grooved tools. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 8, n. 1, p. 54–66, 2006.
- Ee, K. C.; Balaji, A. K.; Jawahir, I. S. **Progressive tool-wear mechanisms and their effects on chip-curl/chip-form in machining with grooved tools: An extended application of the equivalent toolface (ET) model**Wear, 2003.
- Ema, S.; Davies, R. Cutting performance of end mills with different helix angles. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 29, n. 2, p. 217–227, 1989.
- Fromentin, G. et al. An experimental study on the effects of lubrication in form tapping. **Tribology International**, v. 43, n. 9, p. 1726–1734, 2010.
- Fromentin, G. et al. An Experimental and Analytical Method for Investigating Plastic Flow in Form Tapping To cite this version : Science Arts & Métiers (SAM). 2013.
- Haag, C.; Aamancio, M. R. M. Estudo Comparativo Entre O Processo De Rosqueamento Interno Com Macho De Corte E O Rosqueamento Interno Com Macho Laminador Em Ferro Fundido Nodular Austemperado : Uma Abordagem Das Grandezas Físicas. **E-Tech Atualidades Tecnológicas para Competitividade Industrial**, p. 48–68, 2012.
- Hosokawa, A. et al. High-quality machining of CFRP with high helix end mill. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 63, n. 1, p. 89–92, 2014.
- Hsieh, J. F. **Mathematical model and sensitivity analysis for helical groove machining**International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2006.
- Jawahir, I. S. et al. **An investigation of the effects of chip flow on tool-wear in machining with complex grooved tools**Wear, 1995.
- Imani, M.; Sadeghi, M. H.; Nasrabadi, M. K. Effects of helix angle variations on stability of low immersion milling. **Journal of Manufacturing Science and Engineering** 134(5), v. 19, n. 5–1, p. 115–122, 2008.
- Merino-Pérez, J. L. et al. On the temperatures developed in CFRP drilling using uncoated wc-co tools part I: Workpiece constituents, cutting speed and heat dissipation. **Composite Structures**, v. 123, p. 161–168, 2015.
- Montgomery, D. C. Design and Analysis of Experiments. **Technometrics**, v. 48, n. 1, p. 158–158, fev. 2006.
- Omar, O. E. E. K. et al. An improved cutting force and surface topography prediction model in end milling. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 47, n. 7–8, p. 1263–1275, 2007.
- Pereira, I. C. et al. Analysis of tapping process in three types of cast iron. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 82, n. 5–8, p. 1041–1048, 2016.
- Rivero, A. et al. An experimental investigation of the effect of coatings and cutting parameters on the dry drilling

performance of aluminium alloys. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 28, n. 1–2, p. 1–11, 2006.

Chowdhary, S.; OZDOGANLAR, B. O. , KAPOOR, R. E. Modeling and Analysis of Internal Thread Forming. [s.d.].

Santos, M. C. et al. Machining of aluminum alloys: a review. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, p. 1–14, 2016.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

A STUDY OF THE TAPPING PROCESS IN CARBON STEEL USING TAPS WITH AND WITHOUT CHIP BREAKER

Breno Santos de Siqueira, breno.siqueira@emuge-franken.com.br¹

Samuel Alves de Freitas, samuelengmec@gmail.com¹

Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufs.br¹

¹Universidade Federal de São João Del Rei, Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João Del Rei, Minas Gerais, CEP 36307-352.

Abstract: The industrial competitiveness makes the productive sector constantly researches for new technologies, improving the product or creating new projects. In the machining world many manufacturers is looking for solutions that improve the quality of the products and helps to save money on the productions lines this is a consequence caused by the constant monitoring of customers and the reality of the factories. One of the process present on the production lines steps when is building a part is the tapping process and was noted that many of the mechanical parts can be present a lots of threads. The objective of this study is investigate the effect of the cutting speed on the tapping process with taps using or not chip breaker. The taps without chip breaker was perform by recent development on the tools business in order to improve the life of the tool ensure the quality requirement by the process. In this study was used the steel SAE 1020 that show a good machinability and many characteristics that's justify the high used in automotive components. The tap with 15° of helix angle generated a bigger axial force than the tap with 35° Helix angle in all parameters analyzed. The taps with chip breaker create a bigger torque if compared with the tap without chip breaker.

Keywords: Chip Breaker, Helix Angle, Tapping, TiN.