

APLICAÇÃO DE MQL COM FLUIDOS ALTERNATIVOS BIODEGRADÁVEIS NO PROCESSO DE ROSCAMENTO POR CONFORMAÇÃO

Jéssica Tito Vieira, jessica.tito@hotmail.com¹

Carlos Henrique Lauro, carloslauro@ufsj.edu.br²

Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufsj.edu.br²

Robson Bruno Dutra Pereira, robsondutra@ufsj.edu.br²

Richard Corrêa Esteves Júnior, richard.junior@ifsudestemg.edu.br³

¹ Universidade Federal de Itajubá - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção- Av. B P S, 1303 - Pinheirinho, Itajubá - MG, 37500-903

² Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ), Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del Rei- MG- CEP 36307-352

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais- Campus Muriaé, Cel. Monteiro de Castro, 550 - Barra, Muriaé - MG, 36884-036

Resumo. Peças roscadas estão presentes em praticamente todos os conjuntos mecânicos industriais. Roscas obtidas através do processo de conformação podem ser uma boa alternativa por não existir formação de resíduos, atendendo às exigências ambientais, mas podem apresentar, em alguns casos, esforços de corte maiores que as roscas usinadas. Neste trabalho foi estudado o processo de rosqueamento por conformação na liga de alumínio A306 com diferentes tipos de óleos de corte. O projeto do experimento consistiu em testar 16 condições diferentes com duas repetições. As diferentes condições de ensaio corresponderam à combinação de três fatores, a saber; velocidade de deformação, diâmetro inicial e sistema de lubrificação. A força axial F_z e o torque M_z foram considerados como resposta. Considerando a força axial, os fatores que se mostraram influentes foram a velocidade de deformação e o sistema de lubrificação. Da mesma forma, para o torque os fatores de influência foram a velocidade de deformação e o sistema de lubrificação. Considerando o uso de diferentes tipos de óleos, pode-se observar que a utilização do sistema de lubrificação PLANT foi o sistema que mais demonstrou tendência em aumentar os esforços de corte.

Palavras chave: rosqueamento por conformação, MQL, forças de corte

1. INTRODUÇÃO

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 sulcos helicoidais de passo uniforme, em superfícies cilíndricas ou cônicas de revolução. Podem ser produzidas roscas internas e roscas externas. É um processo que envolve movimentos de avanço e de rotação entre a ferramenta e a peça, onde uma delas gira enquanto a outra se desloca simultaneamente, segundo uma trajetória retilínea paralela ou inclinada em relação ao eixo de rotação, ou ainda, apenas uma delas executa os dois movimentos, ou seja, gira e avança enquanto a outra fica parada.

Peças roscadas estão presentes em praticamente todos os conjuntos mecânicos industriais. O rosqueamento interno por conformação com machos máquina é um dos processos mais utilizados para a fabricação dos diversos tipos de roscas devido à versatilidade e à variedade de ferramentas existentes no mercado (PICOLI e FONTANA, 2012).

Roscas obtidas através do processo de conformação pode ser uma boa alternativa por não existir formação de resíduos, atendendo às exigências ambientais, mas podem apresentar em alguns casos, esforços de corte maiores que as roscas usinadas. Nos processos de usinagem, o mecanismo ocorre com a remoção de cavacos, ou seja, parte do material trabalhado é retirada e descartada na forma de cavacos para dar ao produto a forma desejada. Nos processos de conformação existe um volume de material constante que sofre alterações em sua forma através do deslocamento de material, adquirindo o formato desejado por deformação plástica.

Na conformação de roscas internas o material sofre compressão e os grãos são direcionados no sentido do fluxo de deformação, ao invés de serem cortados, então a resistência no flanco e na raiz do filete pode, em alguns casos, ser aumentada (CARVALHO, 2011). A conformação de roscas internas pode ser utilizada tanto para furos passantes quanto para furos cegos, mas é especialmente indicada para furos cegos por não produzir cavaco (DESTEFANI, 2004).

Embora o uso da conformação de roscas internas tenha um crescimento moderado nas indústrias, comparado com o tradicional rosqueamento com geração de cavacos e com o rosqueamento externo por conformação, estudos e trabalhos sobre o assunto são ainda necessários e de grande importância. Estudar este processo sob a ótica do seu desenvolvimento é de extrema importância no intuito de encontrar as melhores condições para o seu desempenho, principalmente no que

diz respeito ao uso de fluidos e sistemas de lubrificação e refrigeração alternativos aos métodos tradicionais, considerando-se que é inevitável o uso de fluidos nos processos de rosqueamento interno.

O processo de rosqueamento está presente em quase todas as peças produzidas nas indústrias do setor metal mecânico. Pode-se considerar que não existe um componente mecânico que não apresente uma ou várias regiões com perfil roscado externo e/ou interno. Uma grande vantagem do processo de rosqueamento por conformação é a não geração de cavacos, evitando assim perda de tempo com a limpeza da região roscada, que tem como objetivo evitar a interferência de cavacos na montagem de componentes. Além disso, a não geração de cavacos no processo de rosqueamento por conformação coloca este processo em vantagem ao tradicional quando são considerados aspectos ambientais, pois não existe o descarte de refugos na forma de cavacos no meio ambiente.

Entretanto, o processo de conformação de roscas tem uma desvantagem que é o aumento significativo na potência da máquina quando comparado com a usinagem de roscas. Segundo Batalha (2003) as vantagens obtidas com a conformação de roscas são: alta precisão e produtividade, superfície lisa e uniforme, aumento da resistência do flanco da rosca, aumento da resistência à fadiga, redução da sensibilidade ao entalhe e economia de material, uma vez que as dimensões iniciais são menores que as dimensões desejadas para o diâmetro externo da rosca.

A conformação de roscas produz perfis com textura superficial melhor que o processo de rosqueamento com geração de cavacos, tanto para rosqueamento interno como para rosqueamento externo (IVANOV e KIROV, 1996). Aumentando-se a velocidade de deformação, a qualidade do perfil de rosca melhora proporcionalmente em ambos os processos com melhoria muito mais significativa no processo por conformação (AGAPIOU, 1994).

A Figura 1 mostra a diferença básica entre um perfil de rosca utilizando o processo de conformação, Figura 1a, e o processo de usinagem, Figura 1b. Percebe-se que na rosca usinada temos um perfil completo do filete e na rosca conformada temos um perfil incompleto na parte superior do filete denominada crista da rosca.



Figura 1. Diferenças entre os perfis de roscas usinadas e conformadas
(Emuge, 2010)

De acordo com Agapiou (1994), uma diferença importante entre os processos de usinagem e conformação de roscas internas é que na usinagem o menor diâmetro da rosca coincide geralmente com o pré-furo e na conformação o diâmetro inicial do furo não corresponde ao menor diâmetro da rosca. Isso se deve ao fato da existência da crista da rosca, a qual se torna cada vez mais saliente à medida que é formada. A minimização dos esforços de corte é basicamente obtida com o uso de fluidos de corte na forma de emulsões ou sistemas alternativos.

A aplicação de fluidos emulsionáveis é atualmente considerada a grande vilã dos processos de fabricação devido ao elevado volume de óleo empregado e descartado na natureza. O uso do sistema MQL (Mínima Quantidade de Lubrificação) é considerado uma alternativa devido ao baixo consumo de óleo, porém, apresenta uma baixa aplicação no setor industrial. O sistema de MQL tem se destacado de forma modesta com a aplicação em processos de fabricação que vão desde o uso na usinagem de aços ligados até ligas não ferrosas como o alumínio e o magnésio (DHAR et al., 2006; Le COZ et al., 2012 e RAHIM e SASAHARA, 2011).

Portanto, este trabalho teve como objetivo promover um estudo completo focando as vantagens e desvantagens do processo de rosqueamento por conformação aliando o uso de sistemas de lubrificação como o MQL e o uso de óleos alternativos, possibilitando um domínio mais completo deste processo de fabricação, conhecendo as vantagens e limitações não apenas do processo de rosqueamento, mas também do uso de óleos biodegradáveis e alternativos aos tradicionais óleos empregados nos processos produtivos.

2. METODOLOGIA

Os ensaios foram realizados em um centro de usinagem ROMI Discovery 560 com comando Siemens 840 D e rotação máxima do furo de 10.000 rpm. A potência do motor principal é 15 kW e os três eixos são acionados por servo-motores independentes.

O momento torçor M_z e a força de avanço axial F_z do macho foram obtidos durante a usinagem e a conformação das roscas no corpo de prova fixado sobre um dispositivo acoplado a um dinamômetro marca Kistler modelo conformação das roscas no corpo de prova fixado sobre sob um dispositivo acoplado a um dinamômetro marca kistler modelo 9272, Figura 2, com um software Dynoware, específico para este tipo de utilização. Assim, pôde-se monitorar os esforços de usinagem e conformação em tempo real a uma taxa de amostragem de 500 kHz.

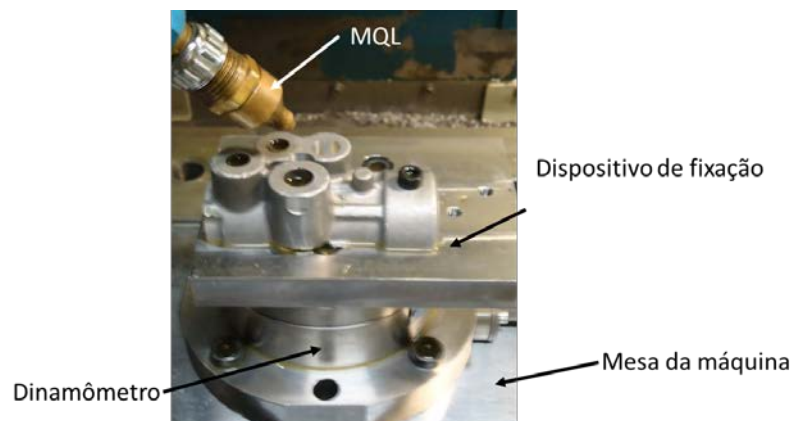


Figura 2. Dispositivo de fixação do corpo de prova
(Autoria própria, 2021)

As ferramentas utilizadas nos experimentos foram machos laminadores. A Tabela 1 mostra os fatores avaliados e os níveis investigados nos experimentos. Estes níveis foram estabelecidos com base no catálogo do fornecedor para materiais não ferrosos (EMUGE, 2010).

Tabela1. Parâmetros do processo de rosqueamento e respectivos níveis usados nos experimentos (Autoria própria, 2021)

Fatores Experimentais	Nível das variáveis de entrada			
Velocidade de deformação [m/min]	20		60	
Diâmetro [mm]	11,35		11,25	
Sistema de Lubrificação	MMS-1	PLANT	ECO	Emulsão

Inicialmente foi necessário usinar o alumínio A306 em 6 placas de 10 x 65 x 90 mm. O experimento consistiu em testar 16 condições diferentes com duas repetições. As diferentes condições de ensaio corresponderam à combinação de três fatores: Velocidade de Deformação, Diâmetro Inicial e Sistema de Lubrificação.

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

A análise dos resultados será discutida com base em tabelas e gráficos comparativos. Com o uso de métodos estatísticos teve o intuito de demonstrar quais os efeitos das variáveis significativas nas respostas, força axial F_z e momento M_z . A Figura 3 ilustra os gráficos de força axial em função do tempo monitorado durante o processo de rosqueamento dos corpos de prova. O gráfico da Figura 3a mostra que a força de avanço máxima atingida foi de aproximadamente 107,04 N, já o gráfico da Figura 3b mostra que a força de avanço máxima atingida foi de aproximadamente 204,63 N. Nessa representação, podem ser vistas as etapas onde ocorre a entrada da ferramenta no material para iniciar a deformação (menores tempos), em seguida o momento efetivo da deformação (quando as forças tendem a subir), e finalmente, a parada (queda abrupta das forças) e o retorno da ferramenta (quando as forças aumentam ligeiramente).

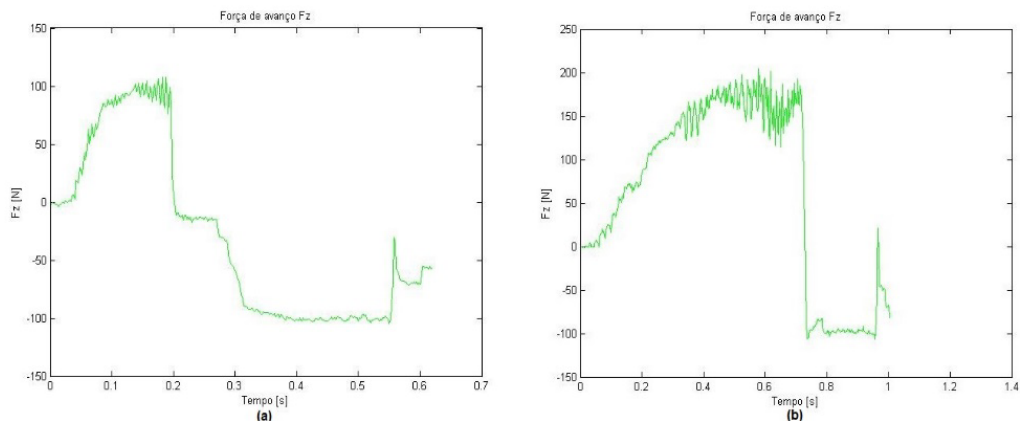


Figura 3. Gráfico de Força axial (Fz) (a) velocidade de deformação (60 m/min), diâmetro inicial (11,35 mm) e sistema de lubrificação (emulsão); (b) velocidade de deformação (20 m/min), diâmetro inicial (11,25 mm) e sistema de lubrificação (PLANT)
(Autoria própria, 2021)

A Figura 4 ilustra o comportamento do torque em função do tempo durante o processo de rosqueamento. O gráfico da Figura 4a mostra que o torque máximo atingido foi de aproximadamente 8,21 N.m. O gráfico da Figura 4b mostra que o torque máximo atingido foi de aproximadamente 19,82 N.m.

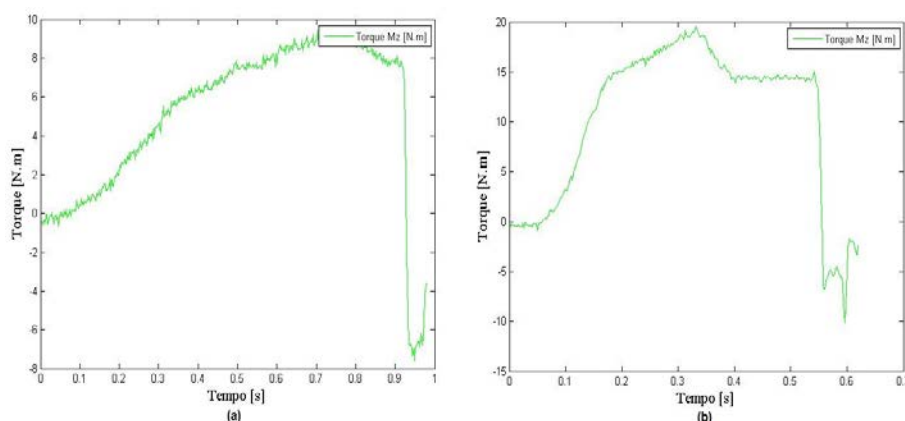


Figura 4. Gráfico de Torque (Mz) (a) velocidade de deformação (20 m/min), diâmetro inicial (11,35 mm) e sistema de lubrificação (ECO); (b) velocidade de deformação (60 m/min), diâmetro inicial (11,25 mm) e sistema de lubrificação (PLANT)
(Autoria própria, 2021)

A Tabela 2 exibe o resultado da análise de variância (ANOVA) realizado pelo software MINITABTM para as variáveis de entrada; velocidade de deformação, diâmetro inicial e sistema de lubrificação.

Tabela 2. Análise de Variância para as respostas FZ e MZ (Autoria própria, 2019)

Variáveis de entrada	Fz P-valor	Mz P-Valor
Velocidade de deformação	<u>0,002</u>	<u>0,002</u>
Diâmetro inicial	0,331	0,448
Sistema de lubrificação	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>
Velocidade de deformação * Diâmetro inicial	0,101	0,707
Velocidade de deformação * Sistema de lubrificação	<u>0,010</u>	<u>0,010</u>
Diâmetro inicial * Sistema de lubrificação	<u>0,000</u>	<u>0,028</u>
Velocidade de deformação * Diâmetro inicial * Sistema de lubrificação	<u>0,031</u>	0,187

Avaliando o nível de probabilidade “P – Valor” da Tabela 2, é possível verificar quais são as variáveis de entrada estatisticamente significativas nos esforços de corte (se encontram com valores sublinhados). Uma variável é considerada significativa se a probabilidade “P - Valor” for menor ou igual ao nível de significância, neste caso considerado de 0,05, que corresponde uma confiabilidade de 95%.

A Figura 5 ilustra os principais efeitos das variáveis de entrada utilizadas nos experimentos sobre F_z max [N]. Analisando os principais efeitos para F_z max, o menor valor de força de avanço foi obtido utilizando a maior velocidade de deformação (60 m/mm) e o sistema de lubrificação (emulsão). É possível confirmar, também, a análise de variância da Tabela 2 que apontou que o diâmetro inicial não foi significativo na resposta força de avanço F_z max.

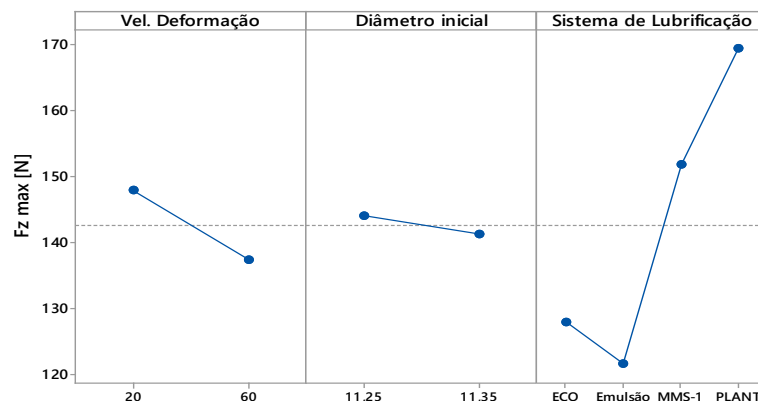


Figura 5. Gráfico de efeitos das variáveis de entrada sobre F_z max
(Autoria própria, 2021)

Analisando a Figura 6, podemos observar que o sistema de lubrificação PLANT com o diâmetro de 11,25 mm tende a aumentar a força de avanço F_z e a maior velocidade de deformação com sistema de lubrificação emulsão tendem a diminuir a força de avanço F_z . De acordo com a Tabela 2 somente as interações velocidade de deformação * sistema de lubrificação, diâmetro inicial * sistema de lubrificação e diâmetro inicial * velocidade de deformação são estatisticamente significativas na resposta força de avanço F_z .

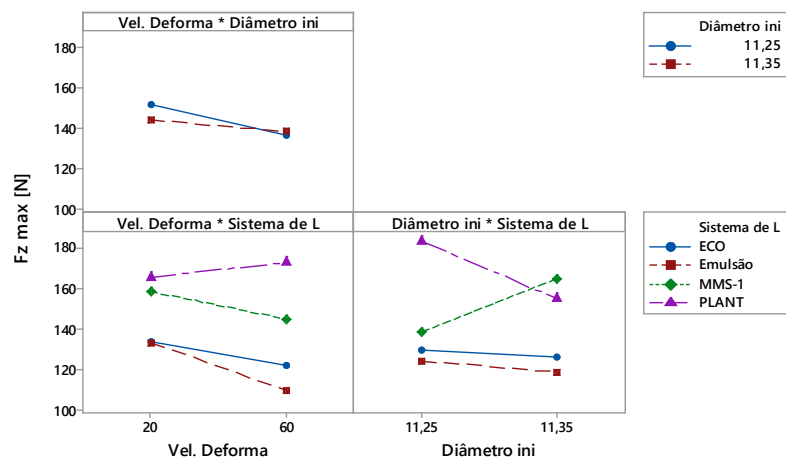


Figura 6. Gráfico de interações das variáveis de entrada sobre F_z max
(Autoria própria, 2021)

De acordo com a Figura 7, o sistema de lubrificação PLANT em relação ao sistema de lubrificação emulsão produz um aumento nos esforços de torque de aproximadamente 90%. Foi mostrado na Tabela 2 que a variável de entrada diâmetro inicial não foi significativa sobre o torque MZ, sendo os menores valores de torque MZ obtidos utilizando a menor velocidade de deformação (20 m/mm) e o sistema de refrigeração (emulsão). Considerando o torque como uma variável importante para definir a potência de máquinas ferramenta, podemos notar que a diminuição da velocidade de deformação de 60 m/mm para 20 m/mm produz uma diminuição nos esforços de torque de aproximadamente 20%.

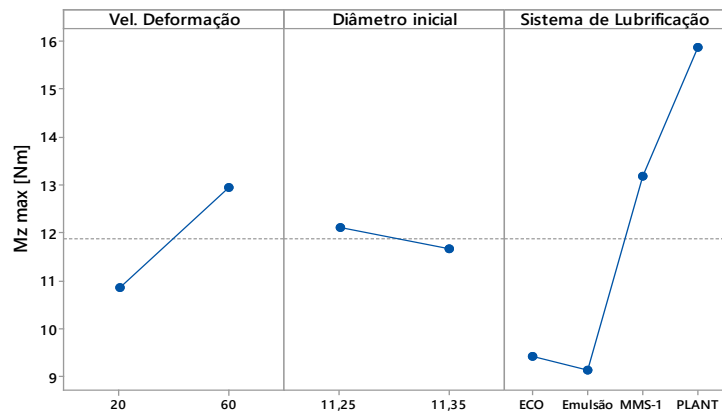


Figura 7. Gráfico de efeitos das variáveis de entrada sobre Mz max
(Autoria própria, 2021)

Com base na Figura 8, podemos perceber que a interação velocidade de deformação*diâmetro inicial não foi estaticamente significativa na resposta torque Mz. Já a interação velocidade de deformação * sistema de lubrificação e diâmetro inicial * sistema de lubrificação são significativos no torque Mz. Podemos perceber que o sistema de lubrificação PLANT com a maior velocidade de deformação (60 m/mm) e o menor diâmetro (11,25 mm), tendem a aumentar o torque Mz.

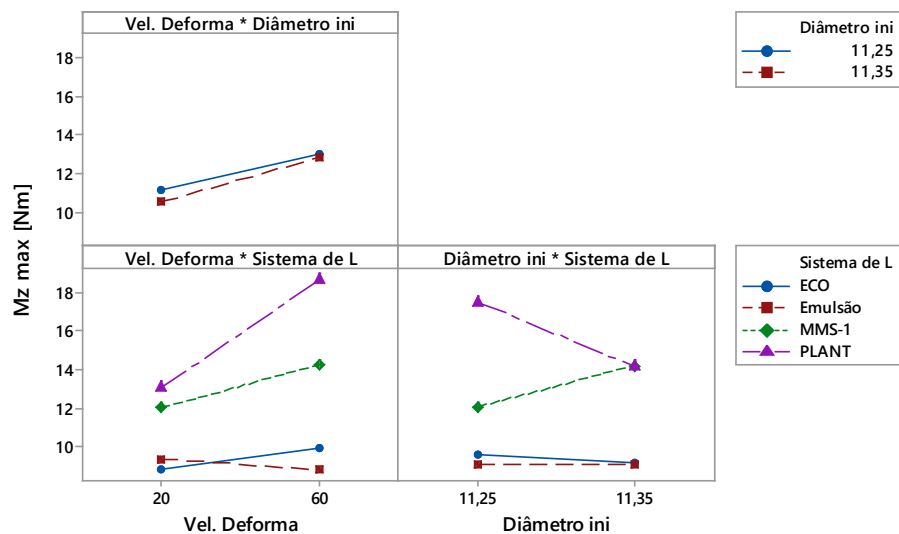


Figura 8. Gráfico de interações das variáveis de entrada sobre Mz max
(Autoria própria, 2021)

De acordo com as análises estatísticas realizadas para os experimentos, pode-se concluir que os gráficos tanto de força axial Fz quanto de torque Mz, gerados a partir da aquisição de sinais, apresentaram um comportamento semelhante em todos os experimentos, com crescimento na parte cônica do macho e constância na parte cilíndrica.

Considerando a força axial, os fatores que se mostraram influentes foram a velocidade de deformação, o sistema de lubrificação, a interação entre velocidade de deformação e o sistema de lubrificação, a interação entre diâmetro inicial e sistema de lubrificação e a interação entre diâmetro inicial do furo, velocidade de deformação e o sistema de lubrificação.

Avaliando o torque no processo, os fatores de influência foram o sistema de lubrificação, a velocidade de deformação e a interação entre diâmetro inicial do furo * sistema de lubrificação e a interação entre velocidade de deformação * sistema de lubrificação.

Podemos observar que a utilização do sistema de lubrificação PLANT, ocasionou uma tendência em aumentar os esforços de corte.

4. REFERÊNCIAS

- AGAPIOU, J.S. *Evaluation of the effect of high speed machining on tapping*. *Journal of Manufacturing Science & Engineering Technology*, ASME, vol. 116, p. 457-462, 1994.
- BATALHA, G.F. *Introdução a manufatura mecânica*, notas de aula, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.
- CARVALHO, A.O., 2011, *Análise da dinâmica do processo de roscamento por conformação na liga Magnésio AM60*. Mestrado (Dissertação de Mestrado), Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São João del Rei, São João del Rei. 86 pag.
- DHAR, N.R., KAMRUZZAMAN, M., AHMED, M. *Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel*, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 172, pag. 299-304, 2006.
- DESTEFANI, J. 2004, *Don't cut threads – form'em*, *Manufacturing Engineering*, vol. 32, n.4.
- IVANOV, V.; KIROV, V. *Rolling of internal threads: part 1*. *Journal of Materials Processing Technology*, Elsevier, vol. 72, ISSUE 2, p. 214-220, 1996.
- LE COZ, G., MARINESCU, M., DEVILLEZ, A., DUDZINSKI, D., VELNOM, L. *Measuring temperature of rotating cutting tools: Application to MQL drilling and dry milling of aerospace alloys*, *Applied Thermal Engineering*, vol. 36, pag. 434-441, 2012.
- PICOLI, F.; FONTANA, W.A., 2012, *Análise do torque no processo executado com machos*. *Máquinas e Metais*, n. 555, pp. 198 – 209, ano XLVIII, Aranda Editora, São Paulo.
- RAHIM, E.A., SASAHARA, H. A. *Study of the effect of palm oil as MQL lubricant on high speed drilling of titanium alloys*, *Tribology International*, vol. 44, pag. 309–317, 2011.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

MQL APPLICATION WITH BIODEGRADABLE ALTERNATIVE FLUIDS IN THE FORMING TAPPING PROCESS

Jéssica Tito Vieira, jessica.tito@hotmail.com¹

Carlos Henrique Lauro, carloslauro@ufsj.edu.br²

Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufsj.edu.br²

Robson Bruno Dutra Pereira, robsondutra@ufsj.edu.br²

Richard Corrêa Esteves Júnior, richard.junior@ifsudestemg.edu.br³

¹ Federal University of Itajubá - Postgraduate Program in Production Engineering- Av. B P S, 1303 - Pinheirinho, Itajubá - MG, 37500-903

² Federal University of São João del Rei- Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del Rei- MG- CEP 36307-352

³ Federal Southeast Institute of Minas Gerais - Campus Muriaé- Cel. Monteiro de Castro, 550 - Barra, Muriaé - MG, 36884-036

Abstract. Threaded parts are present in virtually all industrial mechanical assemblies. Threads obtained through the forming process can be a good alternative because there is no residue formation, meeting the environmental requirements. Still, in some cases, they may present more significant cutting efforts than the machined threads. In this work, the threading process was studied in the A306 aluminium alloy with different cutting oils. The design of the experiment consisted of testing 16 specific conditions with two repetitions. The various test conditions corresponded to the combination of three factors, namely, deformation speed, Initial diameter, and lubrication system. Axial force F_z and torque M_z were considered as the outcome. Considering the axial force, the factors that were shown to be influential were the deformation speed and the lubrication system. Likewise, for the torque, the influencing factors were the deformation speed and the lubrication system. Considering the different types of oils used in tests, the PLANT model oil demonstrated a more significant tendency to increase cutting forces.

Keywords: tapping forming. MQL. cutting forces

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.