

ESTUDO DO ROSQUEAMENTO EXTERNO POR LAMINAÇÃO NA LIGA DE ALUMÍNIO 7075-T6

Lincoln Maia Teixeira, lincoln.teixeira@ifmg.edu.br
Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufsj.edu.br
Marcos Luiz de Souza Castro, marcosls_castro@hotmail.com
Samuel Alves de Freitas, samuelengmec@gmail.com
Thiago Castro Freitas, thiagocastrofreitas@hotmail.com
Waslley Amaral Coelho, waslleyamaral@hotmail.com

¹ Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Avançado Conselheiro Lafaiete, Rua Padre Teófilo Reyn, 441, São Dimas, Conselheiro Lafaiete – MG, 36400-000

^{2,3,4,5,6} Universidade Federal de São João del-Rei, Praça Frei Orlando, 170 - Centro, São João Del Rei - MG, 36307-334

Resumo: As ligas de alumínio têm grande aplicação na indústria aeronáutica, automobilística e metal-mecânica quando se deseja uma boa resistência mecânica associada a um baixo peso específico. Roscas conformadas na liga de alumínio 7075-T6 atualmente são amplamente usadas como elementos internos, porém existe um mercado promissor para roscas externas. Devido a esse mercado promissor, este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento de roscas externas fabricadas por conformação, variando-se o diâmetro inicial do corpo de prova, o tipo de lubrificação e a velocidade de laminação para verificar a influência desses parâmetros no diâmetro final de roscas. Foi utilizado um micrômetro para a medição do diâmetro externo e da altura das roscas e um microscópio eletrônico de varredura para a análise da topografia dos filetes. Os resultados demonstram que o diâmetro inicial da haste, tipo de lubrificação, velocidade de laminação e as interações diâmetro do corpo de prova com a velocidade de laminação e diâmetro do corpo de prova com o tipo de lubrificação influenciaram no diâmetro final da rosca. Além disso, mostram também que o tipo de lubrificação tem grande influência no acabamento superficial dos filetes. O sistema MQL (Mínima quantidade de lubrificante), foi responsável pelos menores diâmetros externos das roscas associados a um acabamento não satisfatório, sendo o rosqueamento a seco a melhor opção para melhorar o acabamento superficial.

Palavras-chave: Roscas conformadas. Acabamento superficial. Topografia dos filetes. Velocidade de laminação. MQL.

1. INTRODUÇÃO

A liga de alumínio 7075-T6, conhecida como alumínio aeronáutico tem sido empregada constantemente na indústria metal-mecânica em geral. As propriedades de leveza e resistência mecânica, associadas a essa liga tem destacado sua utilização principalmente na indústria aeronáutica, automobilística e naval.

O processo de usinagem é um dos mais utilizados na indústria metal mecânica, devido a grande diversidade de peças que podem ser produzidas através dele. Esse método também é aplicado para produção de componentes rosqueados que estão presentes em todos os conjuntos mecânicos industriais. Segundo Juliano (2015), rosqueamento é um processo de fabricação destinado a obter um perfil, interno ou externo, por meio da abertura de um ou mais canais helicoidais com passo definido em uma superfície cônica ou cilíndrica de revolução.

Para a produção de roscas existe outro processo que é o de conformação. A fabricação de roscas por esse processo tem grande vantagem sobre o de usinagem. Segundo Fette (2012), o processo de laminação de rosca, além de economia de tempo-máquina, eleva a qualidade da superfície e repetibilidade no processo, não há geração de cavaco ou formação de arestas cortantes. Podemos destacar ainda, que o processo permite uma vida extremamente longa para as ferramentas e aumenta a resistência da rosca. Entretanto, conceitos técnicos e manuais específicos com boas informações sobre o processo ainda não são encontrados para uma efetiva aplicação nos materiais utilizados nos produtos manufaturados (CARVALHO, 2011).

Segundo Emuge (2010), a laminação de roscas faz parte do processo de estampagem. A rosca interna ou externa é gerada por meio da impressão de uma sequência helicoidal de dentes de rosca no orifício de rosca previamente preparado, o que permite laminar o perfil desejado mediante a aplicação de pressão.

Pelo fato de roscas laminadas serem fabricadas em um único passe, o tempo de execução é muito inferior ao processo convencional, porém a indústria ainda utiliza o método de tentativa e erro para a calibração dos cabeçotes o que gera uma grande perda de tempo e às vezes inviabiliza a implantação desse sistema em uma linha de produção.

O objetivo desse trabalho foi estudar a relação do diâmetro inicial da haste, o tipo de lubri-refrigeração e velocidade de laminação, relacionado ao diâmetro maior da rosca, bem como o acabamento superficial no filete da rosca em seu diâmetro maior, menor e na superfície de flanco relacionado com o tipo de lubrificação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos de laminação com a liga de alumínio 7075-T6 foram realizados no Laboratório de Fabricação do Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC) da Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ. A máquina ferramenta utilizada nos experimentos de laminação foi um centro de torneamento ROMI, modelo GL 240M. Esse equipamento possui potência máxima de 22,5 kW na árvore, rotação máxima de 6.000 RPM, comando CNC Fanuc OiTD Figura.



Figura 1: Centro de torneamento ROMI (Fonte: Autoria Própria)

Os corpos de prova utilizados durante os experimentos foram hastes de alumínio 7075-T6, provenientes de um bloco, que possui como principal aplicação industrial a produção de componentes aeronáuticos, automobilísticos e navais. As dimensões das hastes utilizadas nos experimentos foram inicialmente 11 mm de diâmetro externo e comprimento igual a 200 mm. Os corpos de prova antes de serem conformados foram usinados para chegar ao diâmetro inicial 9,0 9,1 ou 9,2 milímetros com um comprimento igual a 15mm. Para a laminação da rosca foi utilizado um cabeçote laminador de três rolos da marca Fette, adaptado com roletes para laminação de rosca M10x1,5. A Figura 2 ilustra o material utilizado e o laminador.

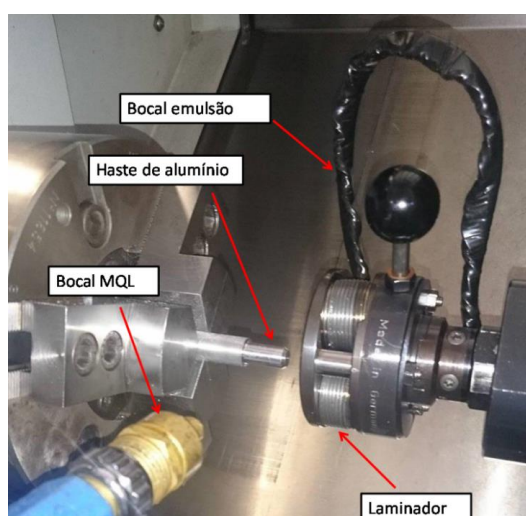


Figura 2: Sistema para laminação (Fonte: Autoria Própria)

O inserto utilizado nos experimentos para a preparação da haste de acordo com o diâmetro inicial foi de carbeto de tungstênio, com código CNMG 120408 PM. O código do suporte para a ferramenta utilizado era DCLNL 2020H. Para cortar as peças laminadas, foi utilizada uma ferramenta de canal código L123G2-0300-0502-CM2135

inserido no suporte código DGTR 20B-2D35. O conjunto de ferramentas e suporte que foram utilizados são todos da marca Sandvik Coromant e pode ser visto na Figura 3.

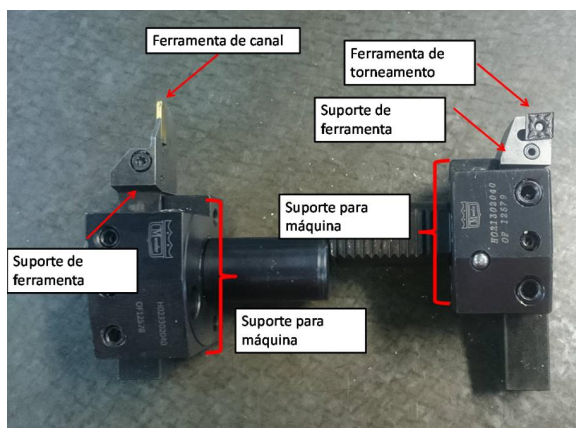


Figura 3: Suportes e ferramentas montadas (Fonte: Autoria Própria)

Os ensaios realizados foram aleatorizados aplicando o método de planejamento de experimentos fatorial multi-níveis, onde utilizou-se como variáveis de entrada o diâmetro inicial da haste, método de lubri- refrigeração e velocidade de laminação. A variável diâmetro inicial da haste possuiu três níveis, sendo 9,0 mm, 9,1 mm e 9,2 mm. A variável método de lubri-refrigeração teve três níveis, sendo seco, MQL e emulsão, onde nesse último utilizou-se uma concentração de 10% de óleo do tipo semi-sintético. A variável velocidade de laminação também teve três níveis, sendo 20 m/min, 40 m/min e 60 m/min. Para a preparação do diâmetro externo da haste foi utilizado uma velocidade de corte constante de 300m/min, avanço de 0,2 mm/volta onde todo o material era removido em apenas um passe. Para sangrar a peça depois de pronta foi utilizada uma velocidade de corte de 150 m/min com avanço radial de 0,15 mm/volta.

Como variáveis respostas foram adotadas duas, o diâmetro maior da rosca e acabamento do perfil da rosca, fatores que exercem influência significativa na funcionalidade de um sistema. Para cada condição experimental estudada, foram realizadas três repetições a fim de garantir a consistência das respostas obtidas, portanto foi realizado um total de 81 experimentos. A Tabela 1 apresenta as variáveis de entrada aplicadas nos testes experimentais.

Tabela 1. Variáveis de entrada (Fonte: autoria própria)

Variáveis de entrada	Níveis das variáveis		
	-1	0	1
Diâmetro da haste (mm)	9,0	9,1	9,2
Tipo de lubrificação	Seco	Emulsão	MQL
Velocidade de laminação (m/min)	20	40	60

Os parâmetros definidos nas operações de torneamento, como velocidade de corte, avanço da ferramenta e rotação foi determinado a partir da recomendação do fabricante dos insertos. Essas informações foram fornecidas através de catálogos, e os valores foram fixados para todas as condições experimentais realizadas. A Tabela 2 apresenta os parâmetros fixados para a preparação.

Tabela 2. Parâmetros fixados para a preparação dos corpos de prova (Fonte: autoria própria)

Parâmetros	Valores	
	Torneamento	Sangramento
Velocidade de corte (m/min)	300	150
Avanço (mm/volta)	0,2	0,15
Condição de refrigeração	Seco	Seco

Para a medição do diâmetro maior da rosca foi utilizado um micrômetro da marca Starrett com precisão de 0,01 mm, ilustrado na Figura 4.

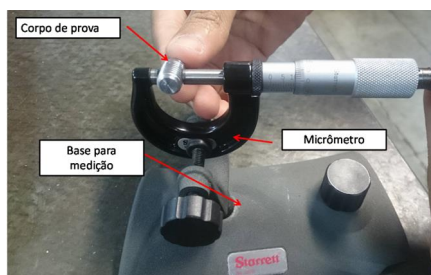


Figura 4: Medição dos corpos de prova (Fonte: Autoria própria)

Para a análise do perfil da rosca e sua topografia foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura da marca HITACHI® e modelo TM3000 na faixa de ampliação entre 30X e 100X, conforme a Figura 5.



Figura 5: Microscópio eletrônico de varredura (Fonte: Autoria Própria)

Os dados obtidos nos ensaios experimentais foram analisados estatisticamente através da técnica de análise de variância ANOVA com 95% de significância. A finalidade de se aplicar essa análise está na necessidade da certeza de que as variáveis respostas avaliadas têm ou não influência significativa no processo produtivo. Para a realização dessa análise foi utilizado o software Minitab®. Para a geração dos gráficos que relacionam o diâmetro final da rosca com o tipo de lubrificação, velocidade de laminação e diâmetro inicial da haste foi utilizado o mesmo software citado.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Análise do Perfil das Roscas

A Figura 6 traz os perfis de roscas ampliados com a ajuda do MEV. Para poder comparar a influência do tipo de lubrificação no acabamento superficial da rosca foram fixados os parâmetros velocidade de laminação de 20 m/min e diâmetro inicial da haste de 9,1mm tendo como parâmetro variável a condição de refrigeração, seco, MQL e emulsão.

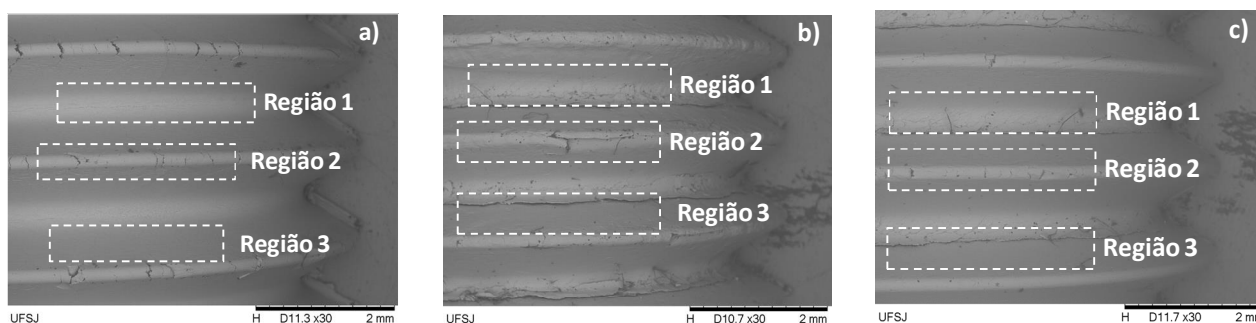


Figura 6: Análise da topografia dos filetes da rosca a) Seco b) MQL c) Emulsão (Fonte: autoria própria)

Após análise da topografia dos filetes, pode-se verificar que a condição seco obteve os melhores acabamentos. Na região 1, que retrata o diâmetro menor da rosca o acabamento ficou liso e não teve a ocorrência de trincas. Na região 2, onde retrata o diâmetro maior da rosca o acabamento foi satisfatório, porém já foi possível observar a incidência de algumas micro trincas, ainda é possível perceber que nessa região foi alcançado uma menor espessura. Na região 3, que retrata o flanco da rosca o acabamento ficou liso e não teve a ocorrência de trincas. Esse acabamento melhor e a não ocorrência de trincas, pode ser explicado devido a uma maior temperatura de laminação, onde o material tem maior facilidade de escoar para o preenchimento dos sulcos existentes no rolete.

A condição com mínima quantidade de lubrificante (MQL) foi a que demonstrou os piores resultados. Na região 1 o material conformado não teve um bom escoamento, além disso, é possível verificar a ocorrência de diversas trincas. Na região 2, é possível verificar que o material também não teve um bom escoamento devido a grande espessura existente nessa região, também é possível verificar diversas trincas e desprendimento de micro partículas. Na região 3, o acabamento superficial ficou liso, mas já é possível verificar o início de algumas pequenas trincas.

A condição com emulsão apresentou resultados intermediários. Na região 1, o material conformado não teve um bom escoamento e também teve o aparecimento de algumas micro trincas. Na região 2, o material também não teve um bom escoamento, mas a incidência de trincas foi menor do que o sistema MQL. Na região 3, a superfície ficou lisa, mas também é possível verificar o início de algumas pequenas trincas.

3.2 Análise do Diâmetro das Roscas

Os valores para as variáveis respostas obtidos durante os experimentos foram analisados com o auxílio da análise de variância (ANOVA), com 95% de intervalo de confiança. Baseado na ANOVA, com o intervalo de confiança utilizado, os fatores são estatisticamente significantes se o $\hat{n}P$ -valor for menor ou igual a 0,05. A $\hat{n}$ relação- $\hat{F}_0$, representada pela letra $\hat{n}F_0$, mostra a quantidade que cada fator influencia na variável resposta. Ou seja, entre os fatores estatisticamente significantes, de acordo com o $\hat{n}P$ -valor, o fator com maior valor na $\hat{n}$ relação- $\hat{F}_0$ apresentou mais influência na variável resposta, se comparado a outro valor que também foi estatisticamente significativo, porém com o valor da $\hat{n}$ relação- $\hat{F}_0$ mais baixo.

A Tabela 3 representa os resultados da análise de variância para a velocidade de laminação, diâmetro da haste, e tipo de lubrificação. A partir da avaliação do $\hat{n}P$ -valor observou-se que as três variáveis de entrada do processo, velocidade de laminação, diâmetro da haste e tipo de lubrificação, tiveram influência na resposta medida. Além disso, as interações entre velocidade de laminação e tipo de lubrificação e entre diâmetro da haste e tipo de lubrificação influenciaram nas respostas, encontradas durante os experimentos realizados. Os fatores que influenciaram estão destacados.

Tabela 3: Análise de variância para velocidade de laminação, diâmetro da haste e tipo de lubrificação.
(Fonte: autoria própria)

ANOVA	Diâmetro final da rosca	
	F	P-valor
<i>Velocidade de laminação</i>	6,42	0,003
<i>Diâmetro da haste</i>	38,71	0,000
<i>Tipo de lubrificação</i>	69,27	0,000
Velocidade de laminação*Diâmetro da haste	1,87	0,129
Velocidade de laminação*Tipo de lubrificação	10,34	0,000
Diâmetro da haste*Tipo de lubrificação	15,99	0,000
R ² (ajustado)	87,66%	

Ao realizar a investigação do parâmetro F, foi possível observar que o tipo de lubrificação foi o fator de entrada que mais influenciou na resposta diâmetro final da rosca, por isso a escolha desse parâmetro como estudo do acabamento superficial mostrado anteriormente. A interação entre o diâmetro da haste e tipo de lubrificação caracterizou a maior influência na variável resposta.

Na Figura 9, são apresentados os gráficos de efeitos principais para o diâmetro final da rosca. A lubrificação foi o fator que mais influenciou no parâmetro resposta, é possível verificar que com o sistema de MQL consegue atingir diâmetros menores de roscas, bem abaixo da média. Já o sistema seco e emulsão atingem valores maiores de diâmetro, ambos com valores acima da média. Sendo o sistema de emulsão com o valor máximo. Em relação ao diâmetro inicial da haste verificou que com a haste de 9,0 mm e 9,2 mm os valores ficaram bem próximos, ambos abaixo da linha média, já com a haste de 9,1 mm foi possível atingir os maiores valores de diâmetro. Em relação à velocidade de laminação é possível perceber que com as velocidades de 20 m/min e 40 m/min houve uma diferença mínima entre eles, porém ambos assumiram valores acima da média dos diâmetros. Com a velocidade de 60 m/min é possível perceber uma queda nos valores do fator resposta sendo este o que atingiu os menores valores e ainda abaixo da média.

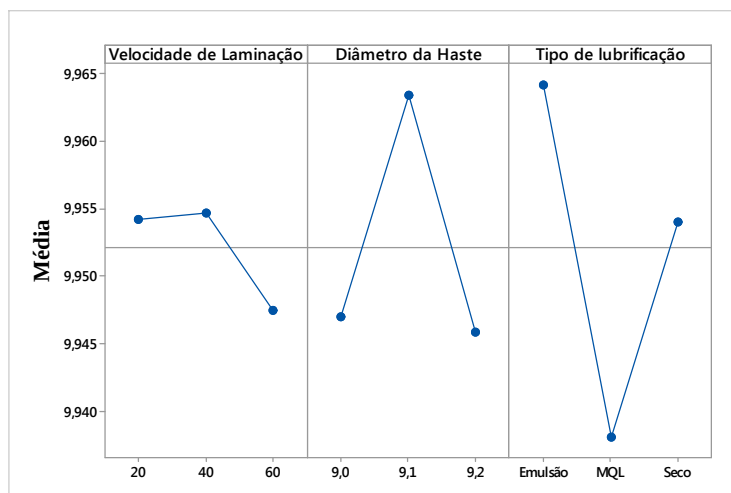


Figura 9: Gráficos dos efeitos principais para velocidade de laminação, diâmetro da haste e tipo de lubrificação (Fonte: autoria própria).

Os gráficos das interações que influenciaram na variável resposta são apresentados na Figura 10. A interação entre a velocidade de laminação e o tipo de lubrificação é a que teve maior influência de acordo com o fator F encontrado. Nesse gráfico é possível verificar que com o sistema de lubrificação MQL continua obtendo os menores valores de diâmetro final da rosca esse fator juntamente com a velocidade de laminação de 20 m/min gera o menor nível de diâmetro da rosca. O comportamento da velocidade de laminação para os níveis de 40m/min e 60 m/min para o sistema MQL não há diferença alguma na variável resposta. Para o sistema de lubrificação emulsão com a velocidade de laminação de 20 m/min obteve o maior valor de diâmetro.

Na interação entre o tipo de lubrificação e o diâmetro da haste no sistema MQL, pode-se observar que na variável resposta diâmetro maior da rosca, o diâmetro inicial da haste de 9,2 mm obteve os menores valores, para os diâmetros de 9,0 mm e 9,1 mm o valor permanece basicamente o mesmo. O sistema seco e emulsão tiveram praticamente o mesmo valor para a haste com diâmetro de 9,1 mm.

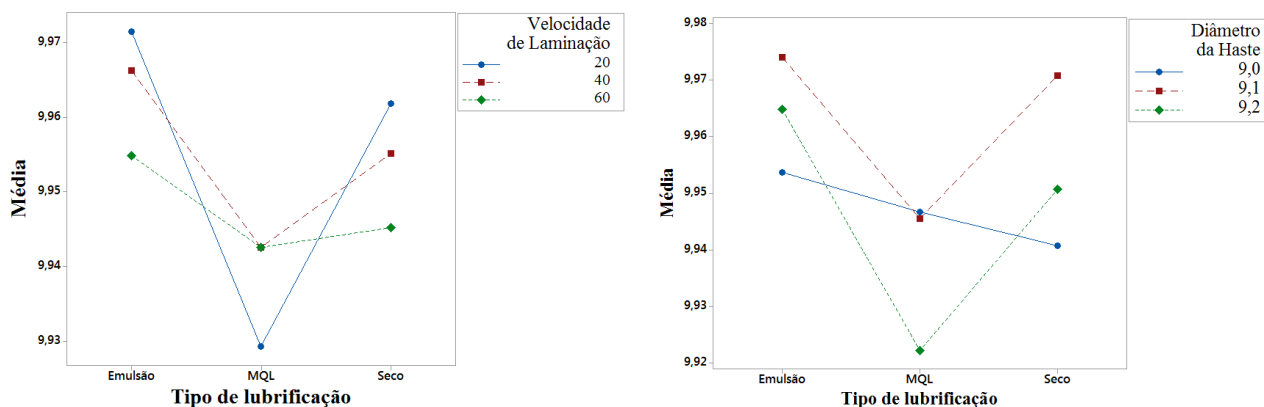


Figura 10: Gráficos das interações para velocidade de corte e diâmetro da haste com o tipo de lubrificação (Fonte: autoria própria)

4. CONCLUSÃO

As seguintes conclusões podem ser obtidas após a análise dos resultados desse presente trabalho:

- ✓ Os fatores estudados, velocidade de corte e tipo de ataque, juntamente com a interação entre eles influenciam nas variáveis respostas, força de corte, força passiva e força de avanço.
- ✓ Os menores valores para a força de corte foram alcançados de forma individual com a utilização do tipo de ataque incremental e para velocidade de corte de 40 m/s.
- ✓ Os menores valores para a força passiva foram obtidos de forma individual com o uso do tipo de ataque incremental e para a velocidade de corte de 60 m/min.
- ✓ Os menores valores para a força de avanço foram atingidos de forma individual com o emprego do tipo de ataque flanco modificado e velocidade de corte 40 m/s.
- ✓ Na interação entre velocidade de corte e tipo de avanço para as variáveis respostas força de corte e força passiva, onde se obteve o menor valor de força foi com a associação da velocidade de corte de 40m/min e tipo de ataque incremental.
- ✓ Na interação entre velocidade de corte e tipo de avanço para a variável resposta força de avanço, onde gerou-se o menor valor de força foi com a associação da velocidade de corte de 40m/min e tipo de ataque flanco modificado.
- ✓ A superfície com o melhor acabamento é atingida quando se utiliza o tipo de ataque flanco modificado, o pior foi com o tipo ataque incremental, isso para as velocidades de corte de 40 m/min. A superfície das peças usinadas com velocidade de corte de 60 m/min ficou com acabamento muito ruim e com grande vibração.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de São João del-Rei pelo apoio na realização desse trabalho e a FAPEMIG pelo apoio financeiro para participação no COBEF 2017.

6. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação de Normas Técnicas, **NBR ISO 724**. Rosca Métrica ISO de uso geral. 2004. Dimensões básicas. Rio de Janeiro.

CARVALHO, A. O.; **Análise da dinâmica do processo de rosqueamento por conformação na liga de Magnésio AM60**. 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei.

Catálogo Fette. Disponível em < <http://www.lmt-tools.com.br/wp-content/uploads/2015/10/Sistemas-de-Lamina%C3%A7%C3%A3o.pdf> >. Acesso em: 20 de outubro de 2016

DINIZ, A. E.; Marcondes, F.C.; Coppini N. L., 1999, **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**, 1ª Edição, MM Editora, 242 pgs.

EMUGE-FRANKEN.; Machos de laminação InnoForm. 2010, Germany

FERRARESI, D., 1977, **Fundamentos da Usinagem dos Metais**, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, Brasil, 751 p.

HUAWEI, C. et al, 2014 –Development of ultrasonic thread root rolling technology for prolonging the fatigue performance of high strength thread, Journal of Materials Processing Technology 214 (2014) 2395–2401

KAWAI, K. et al, 2007 –Fatigue strength and residual stress of groove-rolled products, Journal of Materials Processing Technology 194 (2007) 46–51

KUKIELKA, K.; KUKIELKA, L.; BOHDAL, L.; KULAKOWSKA, A.; MALAG, L.; PATYK, R. 3D Numerical Analysis the State of Elastic/Visco-Plastic Strain in the External Round Thread Rolled on Cold. **Applied Mechanics and Materials** v. 474, p. 436-441, 2014

LEE, W; LIN, C. Deformation behavior and microstructural evolution of 7075-T6 aluminum alloy at cryogenic temperatures. **Cryogenics** v. 79, p. 26-34, 2016

OLIVEIRA, J. A. da. Estudo do processo de rosqueamento por conformação na liga de alumínio 7075-T6. 2015. 128f. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei.

MACHADO, A.R., Abrão, A.M., Coelho, R.T., Silva, M.B., 2009, Teoria da Usinagem dos Materiais, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, Brasil, 371 p.

ZHANG, D; ZHAO, S; O, H. Analysis of motion between rolling die and workpiece in thread rolling process with round dies, **Mechanism and Machine Theory** v. 105, p. 471-494, 2016

A STUDY OF THE EXTERNAL THREADING BY LAMINATION IN ALUMINUM ALLOY

Lincoln Maia Teixeira, lincoln.teixeira@ifmg.edu.br

Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufsj.edu.br

Marcos Luiz de Souza Castro, marcosls_castro@hotmail.com

Samuel Alves de Freitas, samuelengmec@gmail.com

Thiago Castro Freitas, thiagocastrofreitas@hotmail.com

Wasley Amaral Coelho, wasleyamaral@hotmail.com

¹ Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Avançado Conselheiro Lafaiete, Rua Padre Teófilo Reyn, 441, São Dimas, Conselheiro Lafaiete – MG, 36400-000

² Universidade Federal de São João del-Rei, Praça Frei Orlando, 170 - Centro, São João Del Rei - MG, 36307-334

Abstract: Aluminum alloys have a large application in the aeronautics industries, automobilists and in the machining process when is desire a good mechanical resistance associated to a low weight. Laminated threads in the aluminum alloy 7075-T6 currently are widely used in internal elements, however, there is a promissory market to external threads. Due this market, this work investigated external threads manufactured by rolling process, varying the initial diameter of the workpieces, type of lubrication, rolling speed aiming to check the influence of these on the final diameter of the threads. The external diameter and the height of the threads were measured using a micrometer and a SEM was used to evaluate the threads topography. The results showed that the initial diameter of the workpieces, lubrication, rolling speed, interaction between diameter of the workpieces with rolling speed and diameter of the workpieces with lubrication influenced the final thread diameter. Furthermore, these results showed that the type of lubrication has a significant influence on the surface quality of the threads. The Minimum quantity of lubrication (MQL) showed the smaller threads external diameter associated to an unsatisfactory surface finishing being the dry condition the best option to improve the surface finishing.

Keywords: rolling threads, threads topography, lamination speed, MQL.