

ESTUDO DO PROCESSO DE ROSQUEAMENTO EXTERNO POR CONFORMAÇÃO USANDO CABEÇOTE LAMINADOR NO AÇO SAE 1035

Marcos Luiz de Souza Castro, marcosls_castro@hotmail.com¹

Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufs.br¹

Lincoln Maia Teixeira, Lincoln.teixeira@ifmg.edu.br²

¹Universidade Federal de São João del Rei, Praça Frei Orlando, 170 - Centro, São João del Rei, MG

²Instituto Federal de Minas Gerais, Padre Teófilo Reyn, 441, Conselheiro Lafaiete, MG

Resumo: Na indústria são utilizados muitos prontos que contém uma ou mais peças com rosca interna ou externa. Este estudo identifica o processo de rosqueamento externo por laminação. Este mesmo foi desenvolvido com o objetivo de averiguar o diâmetro externo e interno, o torque e a força axial de laminação utilizando três níveis de velocidade de laminação sendo 20 m/min, 40 m/min, 60 m/min. Variou-se também o tipo de fluido de lubrificação sendo seco, emulsão e óleo lubrificante. Os diâmetros iniciais das hastes utilizadas foram 9mm, 9,03mm, 9,05mm, 9,08mm. O material dos corpos foi o aço SAE 1035 para a laminação de rosca M10 x 1,5 mm. Os diâmetros maiores das rosca foram medidos com o micrometro e para as medições dos diâmetros menor das rosca foi utilizado um projetor de perfil. O torque e a força axial foram obtidos utilizando um dinamômetro piezoelétrico estacionário com quatro canais Kistler 9272, um amplificador de sinais Kistler 5070^o e o software DyanoWare. Pode-se observar que a maior velocidade de laminação produziu rosca de maiores diâmetros externos e com óleo lubrificante maiores diâmetros internos.

Palavras-chave: Rosqueamento, Laminação de Roscas, Aço SAE 1035

1. INTRODUÇÃO

Conjuntos mecânicos com a utilização de peças roscadas são cada vez mais comuns isso devido a facilidade de montagem e/ou desmontagem de tais componentes. Hoje, dificilmente, existe um produto industrial que não tenha uma ou mais parte roscada.

A fabricação de rosca através do processo de conformação está sendo cada vez mais difundido entre as indústrias, pois possui várias vantagens em relação às rosca usinadas. Podemos destacar que o processo é mais econômico, permite uma vida extremamente longa para as ferramentas, aumenta a resistência da rosca, eleva a qualidade da superfície, possui alta precisão e não apresenta a geração de cavacos.

O objetivo desse trabalho foi estudar as variáveis de influência nesse processo como velocidade periférica de laminação, esforços de corte durante a laminação, diâmetro inicial das hastes laminadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Processo de laminação de rosca

Na laminação de rosca a frio o material da peça a ser trabalhada é submetido a uma ferramenta perfilada com o formato do filete da rosca. Isso resulta em uma pressão maior do que a de deformação, assim faz com que a ferramenta deixe impresso gradualmente sua forma mais suave sobre o metal que está sendo trabalhado. Como os fios começam a formar, a ponta da ferramenta é avançada em direção ao material bruto mantendo a pressão exercida contra ela. Isso faz com que os fios impressos sejam pressionados até terem atingido a profundidade total.

Segundo Emuge (2010), a laminação de rosca faz parte do processo de estampagem. A rosca interna 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. Para ferramentas, o macho de laminação dispõe de uma redução de guia para entrada e uma peça de guia cilíndrica para fixação. A hélice da rosca estende-se por ambas as peças. Se for observada a seção transversal da ferramenta, pode-se apreciar uma forma poligonal que forma um ângulo reto com o eixo da ferramenta. Essa forma poligonal cria arestas de laminação responsáveis pelo perfil de rosca efetivo.

Segundo Detroit (2006), as vantagens obtidas com a conformação de rosas são: alta precisão, maior resistência das rosas à tração, sem remoção de cavacos, economia de material, tempos de usinagem e ciclos reduzidos, alta qualidade de acabamento superficial entre outras. Assim pretende-se com esse projeto estudar o comportamento do material e da ferramenta no processo externo de roscamento, analisar os esforços com o objetivo de mensurar a velocidade máxima que se podem produzir peças, verificar quais parâmetros de processo que tem influência direta no formato do perfil da rosca e ainda desenvolver um equacionamento que permita definir claramente o diâmetro ótimo para iniciar a laminação. Pois, atualmente grande parte dos produtos roscados são produzidos por processos de roscamento tradicionais ou por métodos limitados de dimensionamento sem a possibilidade de inclusão de novas tecnologias no chão de fábrica.

2.2. Aço

Um dos fatores metalúrgicos predominantes direcionados ao aço é a sua dureza, sendo que aços que possuem baixa dureza e boa ductilidade podem proporcionar uma redução da vida útil da ferramenta e um ruim acabamento, devido a tendência a geração de aresta postiça de corte (APC) na região da aresta cortante (DINIZ E COPPINI, 2010).

2.2.1. Aço SAE 1035

Segundo a fabricante de aços Gerdau esse tipo de aço são de médio carbono e geralmente aplicados em perfis e tubos soldados, ferramentas, componentes estruturais de máquinas, moveis e veículos de media resistência

Segundo a norma SAE J403:2001 , que estabelece as composições químicas dos aços, o aço SAE 1035 deve apresentar a composição química compatível com os limites apresentados na tabela-1.

Tabela 1: Composição química do aço SAE 1035

C	Mn	P _{máx}	S _{máx}
0,32 – 0,38	0,60 – 0,90	0,03	0,05

2.3. Tolerância dimensional

A tolerância dimensional tem como conceito básico a variação admitida, em sua dimensão, no projeto de uma determinada peça. Essa variação é resultante do processo de fabricação e está intrínseca em todos os processos. Embora o conceito seja único, existem diferentes tipos de representações para a especificação de tolerâncias dimensionais em componentes. Um mesmo componente, dependendo dos requisitos, pode considerar diferentes tipos de representações (UMARAS,2010).

Segundo ABNT (2004), para cada um dos elementos existentes em uma rosca, diâmetro de flanco, diâmetro menor ou diâmetro maior, sejam eles para rosca externa, sejam para interna, é estabelecida uma série de graus de tolerâncias e posições dos campos de tolerância.

3. MATERIAIS E METODOS

O experimento foi realizado no laboratório de usinagem do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade federal de São João del Rei- UFSJ. O estudo foi focado no processo industrial de laminação de rosas externas M10 x 1,5 mm com a utilização de cabeçote laminador axial de três rolos fixado em um centro de torneamento ROMI GL 240-M com velocidades de avanço de 20, 40 e 60 m/min e uma rotação máxima de 6000 rpm e potência máxima na árvore de 22,5 kW.

Os corpos de prova utilizados durante os experimentos utilizados foram hastes de aço SAE 1045. Para laminação da rosca foi utilizado um cabeçote laminador de três rolos da marca Fette (fig.1), adaptado com três roletes para laminação de rosas M10x 1,5.



Figura 1. Cabeçote laminador Fette (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 Fig.2.

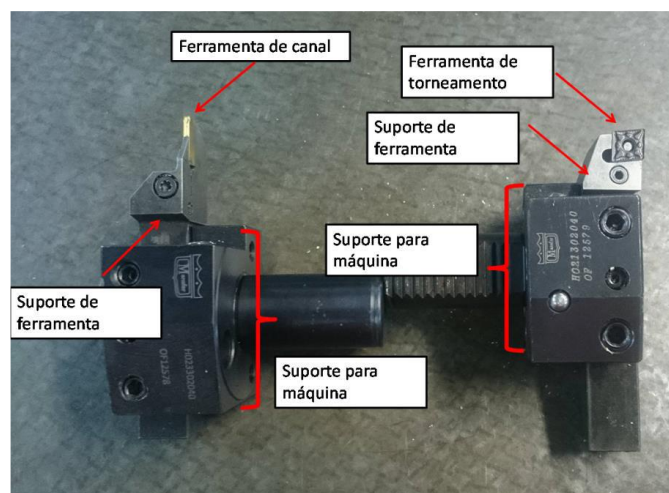


Figura 2. Suportes e ferramentas montadas (autoria própria)

Os ensaios realizados foram aleatorizados aplicando o método de planejamento de experimentos fatorial multi-níveis, onde foram utilizados como variáveis de entrada o diâmetro inicial da haste, método de lubri- refrigeração e velocidade de laminação. A variável diâmetro inicial da haste tinha quatro níveis, sendo 9 mm, 9,3 mm, 9,5 mm e 9,8 mm. A variável método de lubri-refrigeração tinha três níveis, sendo seco, emulsão e MQL. A variável velocidade de laminação 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. Para cada condição experimental estudada, foram realizadas três repetições a fim de garantir a consistência das respostas obtidas, portanto foi realizado um total de 108 experimentos. A Tabela 1 apresenta as variáveis de entrada aplicadas nos testes experimentais.

Tabela 1. Variáveis de entrada

Variáveis de entrada				
Diâmetro da haste	9	9,3	9,5	9,8
Tipo de lubrificação	Seco	Emulsão	MQL	
Velocidade de laminação (m/min)	20	40	60	

A força axial e o torque serão obtidos através de um dinamômetro piezoelétrico estacionário com quatro canais Kistler 9272, um amplificador de sinais Kistler 5070A e o software DynoWare. O dinamômetro integrado ao centro de usinagem que é utilizado para a aquisição de dados, esta interligado a um computador composto por um processador Dual Core com 2.2 GHz com 2GB de memória RAM, que armazena os dados coletados pelo dinamômetro.

Foram adotadas como variáveis respostas, o diâmetro maior da rosca, diâmetro menor da rosca, torque e força axial.

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

Para a medição do diâmetro menor da rosca foi utilizado um projetor de perfil 400.400 da marca DIGIMESS com precisão de 0,001mm, ilustrado na Fig.3.



Figura 3. Projetor de perfil

Após as medições de diâmetros os corpos de prova foram embutidos em resina baquelite. Para fazer o embutimento, foi utilizado uma embutidora metalográfica da marca Teclago modelo EM30D, com 30 mm de diâmetro. O corpo de prova foi colocado dentro da câmara de prensagem e inserido o baquelite. Com o fechamento da câmara é imposto uma pressão de 120 kgf/cm² e é aquecido até uma temperatura de 170 °C, quando se alcança essa temperatura, contam-se regressivamente 4 min regressivamente. Ao termino do tempo, inicia-se o processo de resfriamento. Na Figura 4 tem-se a máquina de embutir e o corpo de prova já finalizado.



Figura 4. Embutidora metalográfica com corpo de prova (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.

4. RESULTADOS

4.1. Análise do diâmetro externo 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 “P-valor” for menor ou igual a 0,05. A “relação-F”, representada pela letra “F”, mostra a quantidade que cada fator influencia na variável resposta. Entre os fatores estatisticamente significantes, de acordo com o “P-valor”, o fator com maior valor na “relação-F” apresentou mais influência na variável resposta, se comparado a outro valor que também foi estatisticamente significativo, porém com o valor da “relação-F” mais baixo. Os valores das medidas do diâmetro do perfil da rosca externa conformada variaram entre 9,64 mm e 9,96mm.

A Tabela 2 representa os resultados da análise de variância para a velocidade de laminação, diâmetro da haste, e tipo de lubrificação. A partir da avaliação do “P-valor” observou-se que duas das três variáveis de entrada do processo, todas as variáveis tiveram influência na resposta medida. A interação entre velocidade de laminação e diâmetro da haste mostrou uma influência significativa nas respostas encontradas durante os experimentos realizados.

Tabela 2. Análise de variância para velocidade de laminação, diâmetro da haste e tipo de lubrificação

Anova	Diâmetro final da rosca	
	F	P-valor
Velocidade de laminação	48,97	0
Diâmetro da haste	2021,03	0
Tipo de lubrificação	4,54	0,014
Velocidade de laminação * Tipo de lubrificação	3,65	0,009
Diâmetro da haste* Tipo de lubrificação	1,68	0,139
Velocidade de laminação * Diâmetro da haste	4,34	0,001
Diâmetro da haste*Tipo de lubrificação*Velocidade de laminação	0,83	0,623
R ² (ajustado)	98,30%	

Ao realizar a investigação do parâmetro F, foi possível observar que o diâmetro da haste utilizada foi o fator de entrada que mais influenciou na resposta diâmetro final da rosca.

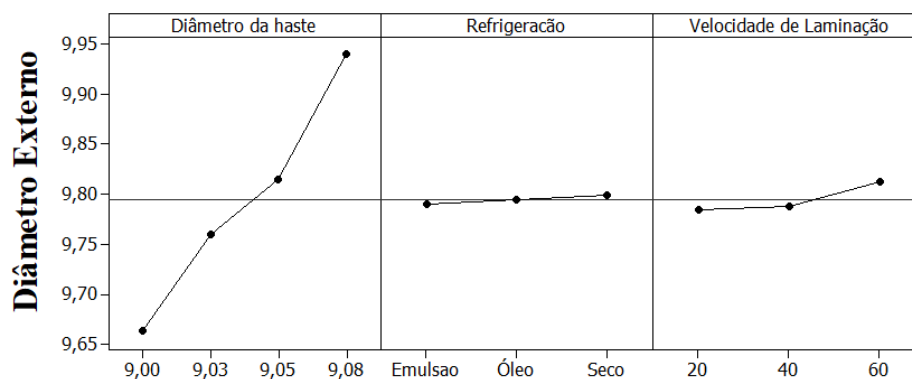


Figura 5. Gráficos dos efeitos principais para tipo de lubrificação, diâmetro da haste e velocidade de laminação

4.2. Análise do diâmetro interno das roscas

A Tabela 3 representa os resultados da análise de variância para a velocidade de laminação, diâmetro da haste, e tipo de lubrificação. Pode-se observar que o diâmetro da haste e o tipo de lubrificação tiveram influência na variável resposta, e que a interação entre diâmetro da haste e o tipo de lubrificação também obteve influencia. E analisando o parâmetro F pôde observar que o tipo de lubrificação foi o que mais influenciou no diâmetro interno.

Tabela 3. Análise de variância para velocidade de laminação, diâmetro da haste e tipo de lubrificação

Anova	Diâmetro interno da rosca	
	F	P-valor
Velocidade de laminação	0,02	0,983
Diâmetro da haste	56,61	0

Tipo de lubrificação	69,61	0
Velocidade de laminação * Tipo de lubrificação	1,20	0,317
Diâmetro da haste* Tipo de lubrificação	8,94	0
Velocidade de laminação * Diâmetro da haste	5,94	0,167
Velocidade de laminação * Diâmetro da haste*Tipo de lubrificação	4,13	0
R ² (ajustado)	79,62%	

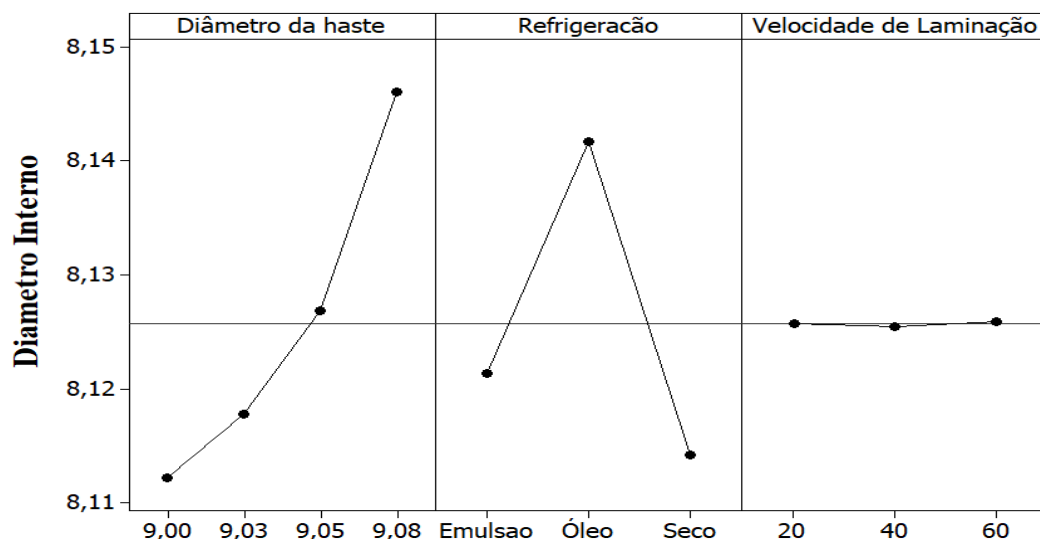


Figura 6. Gráficos dos efeitos principais para tipo de lubrificação, diâmetro da haste e velocidade de laminação

4.3. Análise do Torque

A Tabela (4) representa os resultados da análise de variância para a velocidade de laminação, diâmetro da haste, e tipo de lubrificação. Pode-se observar que os três fatores tiveram influência na variável resposta, e que o diâmetro da haste é o que fator que mais influência na variável resposta e que o a interação entre a velocidade de laminação e o diâmetro da haste também influencia. Na figura 8 observa-se que utilizando óleo como lubrificação foram obtidos os menores Torques (Mz).

Tabela 4. Análise de variância para velocidade de laminação, diâmetro da haste e tipo de lubrificação

Anova	Torque	
	F	P-valor
Velocidade de laminação	4,21	0,019
Diâmetro da haste	112,36	0
Tipo de lubrificação	51,28	0
Velocidade de laminação * Tipo de lubrificação	1,35	0,259
Diâmetro da haste* Tipo de lubrificação	1,62	0,154
Velocidade de laminação * Diâmetro da haste	2,59	0,025
Velocidade de laminação * Diâmetro da haste*Tipo de lubrificação	0,93	0,523
R ² (ajustado)	80,96%	

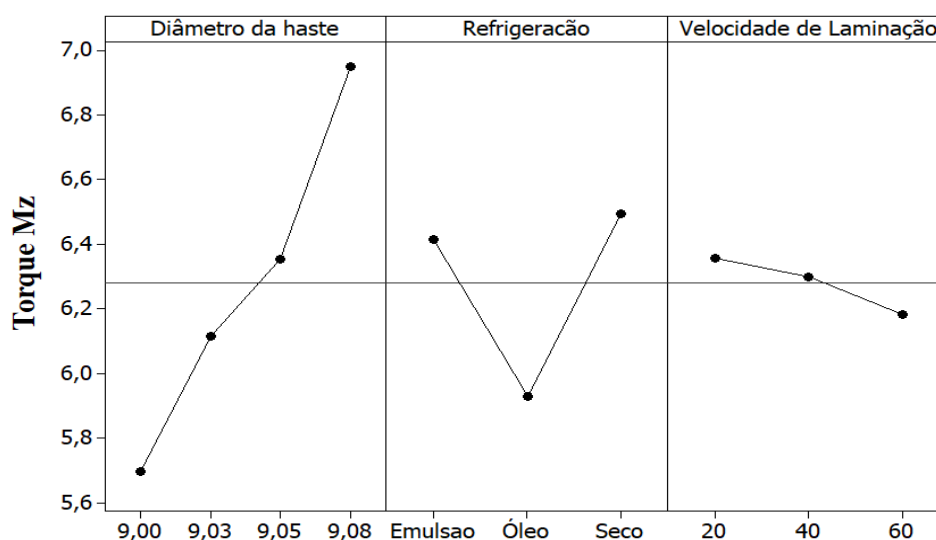


Figura 7. Gráficos dos efeitos principais para tipo de lubrificação, diâmetro da haste e velocidade de laminação

4.4. Análise da Força Axial

Na análise da força axial pode observar que o diâmetro da haste e o tipo de lubrificação tiveram influência assim como a interação entre velocidade de laminação e o tipo de lubrificação, sendo que o tipo de lubrificação foi o que mais teve influência na variável resposta.

Tabela 5. Análise de variância para velocidade de laminação, diâmetro da haste e tipo de lubrificação

Anova	Força Axial	
	F	P-valor
Velocidade de laminação	1,23	0,298
Diâmetro da haste	79,97	0
Tipo de lubrificação	140,82	0
Velocidade de laminação * Tipo de lubrificação	2,65	0,040
Diâmetro da haste* Tipo de lubrificação	1,19	0,320
Velocidade de laminação * Diâmetro da haste	0,55	0,767
Velocidade de laminação * Diâmetro da haste*Tipo de lubrificação	0,65	0,796
R ² (ajustado)	79,62%	

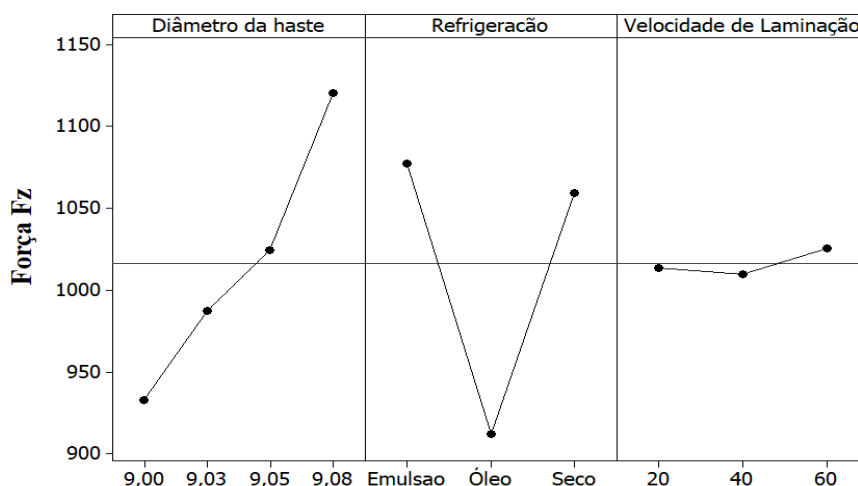


Figura 8. Gráficos dos efeitos principais para tipo de lubrificação, diâmetro da haste e velocidade de laminação

4.5. ANÁLISE DA TOPOGRAFIA DOS FILETES

Foram analisadas as superfícies formadas pelos filetes da rosca: a crista o flanco e a raiz. Para essa análise, utilizou-se um microscópio eletrônico de varredura que serviu para maximizar a visualização da superfície.

Pode-se observar que nenhuma das variáveis de entrada não obteve diferença no acabamento superficial. Na figura 10 tem 3 imagens de filetes de um diâmetro da haste de entrada de 9,08 e velocidade de laminação de 60 m/min variando-se os 3 tipos de fluido lubrificante.

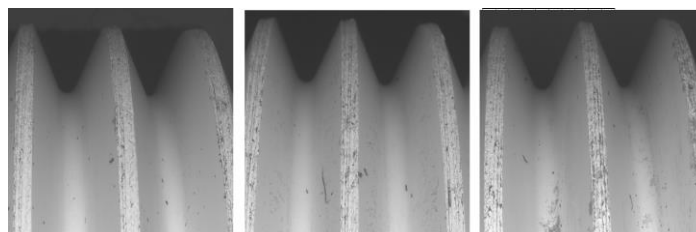


Figura 9. Microscopia eletrônica de varredura de 3 corpos de prova de diâmetro inicial da haste de 9,08 e velocidade de laminação variando-se os tipos de fluido lubrificante.

4.6. TOLERANCIA DAS ROSCAS

Segundo a norma ABNT (2004), a tolerância mais fina em roscas M10 x 1,5 mm está na classe h4 para parafusos e H4 para porcas, portanto foi essa a classe buscada durante os experimentos. A tabela 7 mostra as variações de diâmetro externo permitidas de acordo com a posição de tolerância.

Tabela 6. Tolerâncias para parafusos na classe mais fina

Posição de tolerância	Grau de tolerância	
	Diâmetro maior	Diâmetro menor
e	9,933	9,783
f	9,955	9,805
g	9,968	9,818
h	10	9,85

De acordo com os resultados obtidos o menor diâmetro externo alcançado quando utilizado o diâmetro da haste de entrada de 9,08 mm foi de 9,90 mm que se encaixa na melhor tolerância.

Isto mostra que fazendo-se um ajuste de parâmetros no processo de rosqueamento por laminação, como por exemplo, o diâmetro inicial da haste é possível produzir roscas com excelente qualidade.

5. CONCLUSÃO

Este estudo demonstra que deve sempre haver um balanço de informações, pontuando a qualidade e o tempo de produção, com o objetivo de produção de peças com o menor tempo, porém sempre com a melhor qualidade.

A partir do estudo experimental e da análise estatísticas ANOVA foi possível concluir que todos os três fatores estudados influenciam os resultados de diâmetro final da rosca. Baseado nos dados obtidos nesse trabalho podemos perceber que o diâmetro da haste e o tipo de fluido lubrificante foram os fatores que mais influenciaram no diâmetro externo da rosca. E podemos concluir que a rosca laminada possui uma boa qualidade.

6. REFERÊNCIAS

- Diniz, A. E.; Marcondes, F.C.; Coppini N. L., 1999, “Tecnologia da Usinagem dos Materiais”, 1ª Edição, MM Editora, 242 pgs.
- 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.
- 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.
- Catto, M. C. Circular informativa engenharia de aplicação. Telecurso 2000. Processos de fabricação mecânica. Senai (1999). Mecânica processos de fabricação, 2004.
- Da Silva, M.A.; Souza M.N.; Da Silva, M.B. Análise da força residual na usinagem do aço ABNT 1045. 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2011.
- Emuge. Tecnologia de roscagem. 2010.
- Ferraresi, D. Fundamentos da usinagem dos metais. 8. ed. São Paulo: E. Blücher, 1990. cap. 11, v. 1.
- Tubertini, D. M. estudo dos processos de rosqueamento por laminação e usinagem na liga de titânio TI-6AL-4V. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) - Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei. 2013.
- Teixeira, L. M.. estudo do processo de rosqueamento externo por conformação usando cabeçote laminador na liga de alumínio 7075-T6. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Universidade Federal de São João del Rei, 2017.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste trabalho”.

STUDY OF THREADING PROCESS BY FORMING APPLYING THEADING HEAD IN THE STEEL SAE 1035

Marcos Luiz de Souza Castro, marcosls_castro@hotmail.com¹

Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufsj.edu.br¹

Lincoln Maia Teixeira, Lincoln.teixeira@ifmg.edu.br²

¹Federal University of São João del Rei, Praça Frei Orlando, 170- Centro, São João del Rei, MG

² Federal Institute of Minas Gerais, Padre Teófilo Reyn, 441, Conselheiro Lafaiete, MG

Abstract. In the industry many products are used that contain one or more pieces with internal or external threads. This study identifies the process of external threading by rolling. It was developed with the objective of investigating the external and internal diameter, the axial thrust and the rolling force using three lamination speed levels, being 20 m / m, 40 m / min, 60 m / mi. The type of lubricating fluid being dried, emulsion and lubricating oil were also varied. The initial diameters of the rods used were 9mm, 9,03mm, 9,05mm, 9,08mm. The material of the bodies was the steel SAE 1035 for lamination of threads M10 x 1,5 mm. The largest diameter of the threads were measured with the mechrometer and for the smaller diameter of the threads a profile projector was used. Torque and axial force were obtained using a stationary piezoelectric dynamometer with four Kistler 9272 channels, a Kistler 5070a signal amplifier and DyanoWare software. It can be observed that the higher rolling speed produced threads with larger external diameters and with lubricating oil larger internal diameters.

Keywords: Threading, thread rolling, SAE 1035 steel