

ESTUDO DO ROSQUEAMENTO EXTERNO POR LAMINAÇÃO DO AÇO SAE 1035

Marcos Luiz de Souza Castro, marcosls_castro@hotmail.com¹

Wasley Amaral Coelho, wasleyamaral@hotmail.com¹

Lucas Fonseca Teixeira, engenheiro_lucas@hotmail.com¹

Jéssica Tito Vieira, jéssica.tito@hotmail.com¹

Samuel Alves de Freitas, samuelengmec@gmail.com¹

Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufsj.edu.br¹

¹ Universidade Federal de São João Del Rei – Departamento de Engenharia Mecânica, Praça Frei Orlando, 170 – Centro, São João Del Rei-MG, 36.307-352, Brasil.

Resumo. A fabricação de roscas através do processo de conformação está sendo cada vez mais difundido entre as indústrias, pois possui vantagens em relação às roscas usinadas. Este estudo aborda o processo de rosqueamento externo por laminação do aço SAE 1035. O objetivo foi averiguar a variação do diâmetro externo e interno do perfil de rosca, o torque e a força axial de laminação. Foram variadas a velocidade de laminação, o tipo de lubrificação e os diâmetros iniciais das hastes utilizadas. Os corpos de prova foram submetidos à laminação de roscas com dimensões M10 x 1,5 mm. Foi possível observar que a variação da velocidade de laminação e o tipo de lubrificação, produziram roscas com diferenças significativas nos diâmetros externos e internos.

Palavras chave: Rosca laminada, Esforços de corte, Variação do diâmetro.

1. INTRODUÇÃO

Conjuntos mecânicos com a utilização de peças roscadas são cada vez mais comuns devido à facilidade de montagem e desmontagem de tais componentes. Atualmente é difícil encontrar um produto industrial que não tenha pelo menos uma parte roscada.

O torneamento é um dos processos de fabricação por usinagem mais antiga e utilizada para a fabricação de roscas. O torneamento é um processo que visa à obtenção de peças com superfícies cilíndricas, utilizando ferramentas monocortantes (Santos e Sales, 2007). A ferramenta cortante penetra na peça, cujo movimento rotativo uniforme ao redor do seu eixo permite o corte do material (Machado *et al.*, 2009). A força necessária para retirar o cavaco é feita sobre a peça, enquanto a ferramenta, firmemente presa à porta-ferramenta, contrabalança à reação dessa força.

A fabricação de roscas através do processo de conformação está cada vez mais ganhando espaço nos processos de fabricação nas indústrias, pois possui várias vantagens em relação às roscas usinadas. O processo de conformação de roscas tem como vantagens maior economia de energia, vida longa da ferramenta laminadora, alta resistência mecânica da rosca, boa qualidade superficial e além de não desperdiçar material com a produção de cavacos (Fromentin, 2005).

O processo de rosqueamento por laminação de roscas a frio, o material da peça a ser trabalhada é submetido a uma tensão superficial realizada por uma ferramenta perfilada com o formato do filete da rosca. Essa ferramenta gera uma pressão, a ponto de deformar plasticamente a superfície do metal trabalhado em forma do perfil e dimensões da rosca desejada. Os filetes da rosca são formados com a pressão exercida entre o sincronismo do avanço da ferramenta contra o material juntamente com a rotação. Isso faz com que os filetes impressos sejam pressionados até terem atingido a profundidade total desejada.

Segundo Emuge (2010), a laminação de roscas faz parte do processo de estampagem. A rosca interna é gerada por meio da impressão de uma sequência helicoidal de dentes de rosca em um furo previamente preparado, o que permite laminar o perfil desejado mediante a aplicação de pressão.

Esse trabalho tem o objetivo de analisar o resultado da variação do diâmetro externo e interno dos filetes das roscas, o torque e a força axial gerada. Foi variada a velocidade periférica de laminação, a lubrificação e o diâmetro inicial das hastes.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Equipamentos e ferramentas utilizadas

A máquina utilizada para a realização dos experimentos foi um centro de torneamento ROMI GL 240-M que tem a potência máxima na árvore de 22,5 kW. Foram utilizados corpos de prova de hastes de aço SAE 1035. Para laminação da rosca foi utilizado um cabeçote laminador de três rolos, adaptado com três roletes para laminação de roscas M10 x 1,5 mm. Foi utilizada uma ferramenta para a preparação da haste de acordo com o diâmetro inicial e uma ferramenta de canal para cortar o corpo de prova após a laminação, conforme está ilustrado na Figura 1.

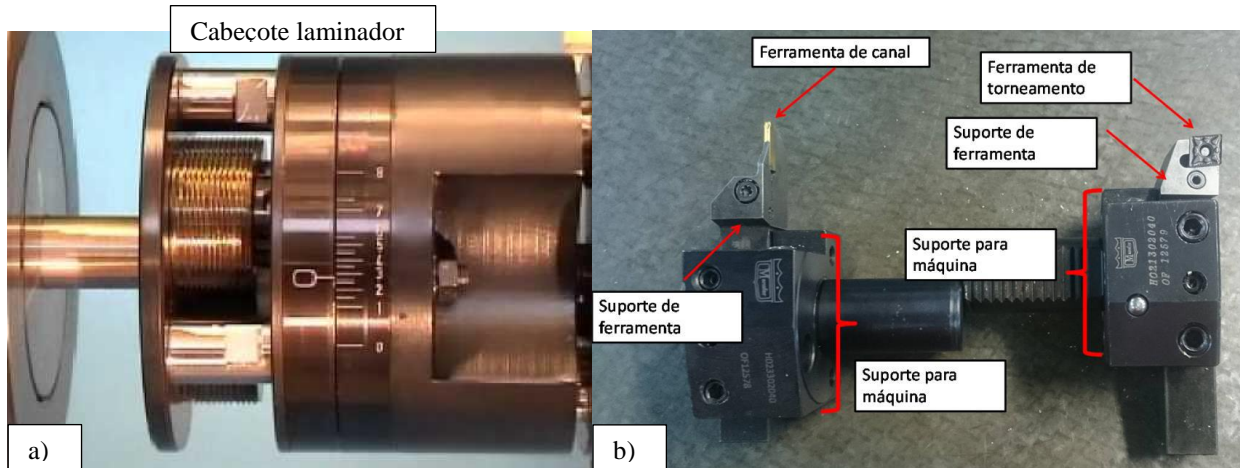


Figura 1. Ferramentas utilizadas para realização das roscas a) Cabeçote laminador, b) Suportes e ferramentas para preparação do corpo de prova (Autoria própria)

2.2. Planejamento dos experimentos

Os experimentos foram realizados aleatoriamente aplicando o método de planejamento de experimentos fatorial multi-níveis. O software estatístico MinitabTM 17 foi utilizado para o tratamento dos dados, sendo utilizado o planejamento de experimentos (DOE) e análise de variância (ANOVA). Os ensaios realizados foram aleatorizados, onde foi utilizado como fatores de entrada o diâmetro inicial da haste, método de lubrificação e velocidade de laminação. O fator diâmetro inicial da haste teve quatro níveis, sendo 9 mm, 9,3 mm, 9,5 mm e 9,8 mm. O fator tipo de lubrificação teve três níveis, sendo a seco, com emulsão e mínima quantidade de lubrificante (MQL). O fator velocidade de laminação teve três níveis, sendo 20 m/min, 40 m/min e 60 m/min.

A força axial e o torque foram 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 e interligado a um computador composto por um processador que armazena os dados coletados pelo dinamômetro.

Foram adotadas como variáveis respostas o diâmetro externo do filete da rosca, o diâmetro interno do filete da rosca, o torque médio e a força axial média. Para a medição do diâmetro externo do filete da rosca, foi utilizado um micrômetro com resolução de 0,01 mm e para a medição do diâmetro interno do filete da rosca foi utilizado um projetor de perfil com resolução de 0,001mm. Foram realizadas três réplicas e estabelecido à média aritmética para os resultados.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Nos resultados da análise de variância (ANOVA), se o P-valor for menor ou igual a 0,05 o efeito é considerado significativo, ou seja, se o fator analisado tem um valor de α menor ou igual a 0,05, existe uma probabilidade de 95% de a resposta esperada para indicar efeito significativo. A relação “F- Valor” mostra a quantidade que cada fator influencia na variável resposta. O R^2 (Ajustado) é a porcentagem de variação na resposta que é explicada pelo modelo. É utilizado para determinar a qualidade do ajuste do modelo aos dados quando se deseja ajustar o número de preditos no modelo (Montgomery, 2013). O valor R^2 (Ajustado) exibido na (ANOVA) indica que o ajuste do modelo é satisfatório, pois apresenta um valor de 90 %. Valores superiores a 70% de R^2 (Ajustado) sugerem modelos de maior capacidade preditiva (Wu; Hamada, 2000).

3.1. Resultados do diâmetro externo e interno das roscas

Na Tabela 1 está apresentada a análise de variância através da ANOVA, tendo como resposta os valores estatísticos do diâmetro externo e diâmetro interno do filete da rosca obtida nos experimentos, onde foram variados os fatores velocidade de laminação, diâmetro da haste e o tipo de lubrificação.

Tabela 1. Análise de variância para o diâmetro externo e interno da rosca do filete da rosca (Fonte: autoria própria)

Fatores e Interações	Diâmetro externo do filete da rosca		Diâmetro interno do filete da rosca	
	F- Valor	P-Valor	F-Valor	P-Valor
Velocidade de laminação	25,17	<u>0,000</u>	0,41	0,665
Diâmetro da haste	<u>1130,84</u>	<u>0,000</u>	<u>15,26</u>	<u>0,000</u>
Tipo de lubrificação	2,99	0,056	<u>24,16</u>	<u>0,000</u>
Velocidade de laminação * Tipo de lubrificação	1,31	0,274	1,39	0,247
Diâmetro da haste* Tipo de lubrificação	0,83	0,554	2,12	0,061
Velocidade de laminação * Diâmetro da haste	1,68	0,139	1,58	0,167
	R ² (ajustado) = 96,98%		R ² (ajustado) = 48,93%	

Na Figura 2 são apresentados os gráficos de efeitos principais para os resultados de diâmetro externo e diâmetro interno do filete da rosca com os fatores velocidade de laminação, diâmetro da haste e o tipo de lubrificação.

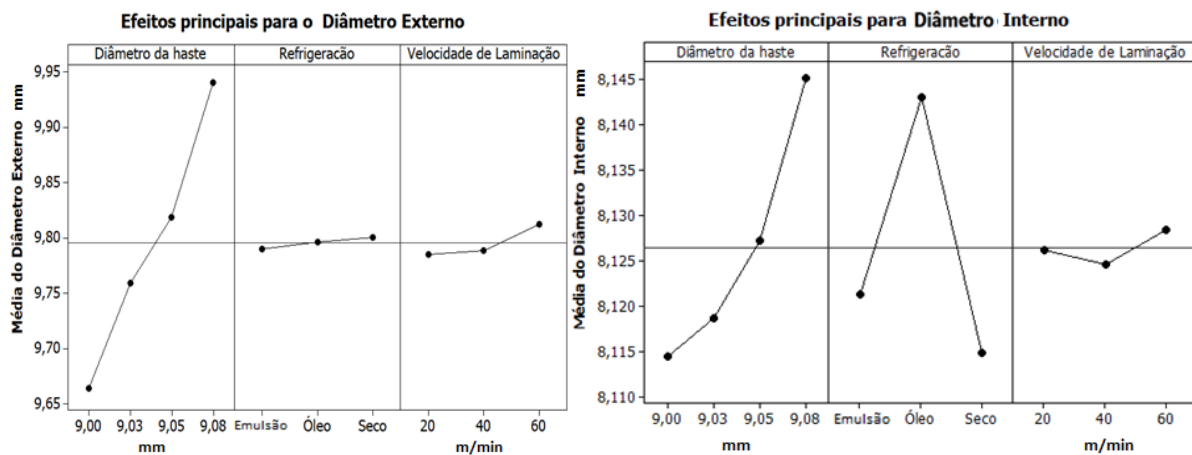


Figura 2. Gráficos dos efeitos principais para os resultados de diâmetro externo e diâmetro interno do filete da rosca (Fonte: autoria própria)

Foi possível observar através da ANOVA demonstrada na Tabela 1, que os fatores velocidade de laminação e o diâmetro da haste apresentaram influência significativa nos resultados de diâmetro externo, ou seja, teve P-valor com valores menor ou igual que 0,05. Analisando o F-valor, foi possível observar que o fator diâmetro da haste teve maior contribuição para os resultados de diâmetro externo. Para os resultados de diâmetro interno os fatores diâmetro da haste e o tipo de lubrificação apresentaram influência significativa nos resultados. Analisando o F-valor, foi possível observar que o fator diâmetro da haste e o tipo de lubrificação tiveram maior contribuição para os resultados de diâmetro interno do filete. Não ocorreram interações significativas entre os fatores.

Analisando a Figura 2, foi possível observar pelo gráfico de efeitos principais para o diâmetro externo da rosca, que com a diferença entre o menor e o maior diâmetro inicial da haste é de 0,08 mm, e após a laminação produziu uma variação de 0,28 mm no diâmetro externo da rosca, ou seja, variaram entre 9,66 mm e 9,94 mm. Pode-se deduzir que quanto maior o diâmetro da haste maior é a recuperação elástica do material. O tipo de filete em forma de triângulo prevê menos material para a formação dos diâmetros superiores fazendo com que apresente maiores diferenças no diâmetro externo da rosca. Segundo Maciel (2013), o diâmetro inicial é o fator mais relevante para a formação do diâmetro. A alta recuperação elástica do material pode ser confirmada em grandes diâmetros, onde não ocorre pouca redução do diâmetro da rosca. O autor constata também que para uma boa formação da rosca é necessário velocidades específicas de deformação que garantam a inércia de deformação devido ao alto índice de reposição elástica. Esses fenômenos podem ter acontecido nos experimentos deste trabalho, ou seja, ajudando na explicação dos resultados.

A variação do tipo de lubrificação para os resultados dos diâmetros externos dos filetes mantiveram mais precisos. Já para os resultados de diâmetro interno, foi possível observar que a variação da velocidade de laminação alterou pouco os resultados. Tanto o tipo de lubrificação quanto o diâmetro inicial da haste tiveram influência significativas nos resultados.

3.2. Resultados do Torque e da Força axial Fz

Na tabela 2 está apresentada a análise de variância através da ANOVA, tendo como resposta os valores estatísticos do torque e da força axial Fz obtida nos experimentos, onde foram variados os fatores velocidade de laminação, diâmetro da haste e o tipo de lubrificação.

Tabela 2. Análise de variância para o torque e a força axial Fz (Fonte: autoria própria)

Fatores e Interações	Torque		Força axial Fz	
	F- Valor	P-Valor	F-Valor	P-Valor
Velocidade de laminação	3,42	0,038	0,70	0,499
Diâmetro da haste	<u>79,94</u>	<u>0,000</u>	<u>48,62</u>	<u>0,000</u>
Tipo de lubrificação	<u>37,20</u>	<u>0,000</u>	<u>72,59</u>	<u>0,000</u>
Velocidade de laminação * Tipo de lubrificação	0,77	0,549	1,28	0,285
Diâmetro da haste* Tipo de lubrificação	1,12	0,358	1,10	0,371
Velocidade de laminação * Diâmetro da haste	1,59	0,161	0,23	0,965
	R ² (ajustado) = 74,44%		R ² (ajustado) = 72,15%	

Na Figura 3 são apresentados os gráficos de efeitos principais para os resultados de torque e força axial Fz com os fatores velocidade de laminação, diâmetro da haste e o tipo de lubrificação.

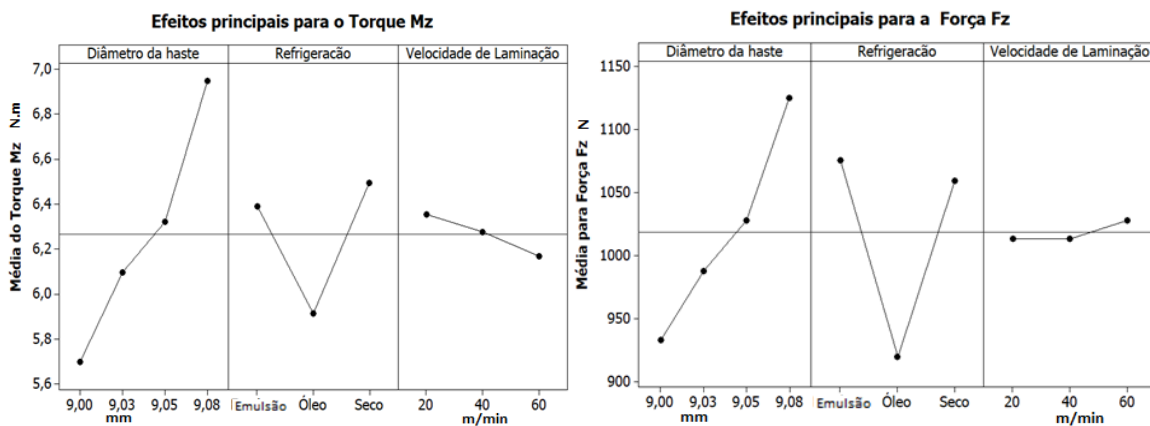


Figura 3. Gráficos de efeitos principais para os resultados de torque médio e força axial Fz (Fonte: autoria própria)

Foi possível observar através da ANOVA demonstrada na Tabela 2, que os fatores tipo de lubrificação e o diâmetro da haste apresentaram influência significativa nos resultados de torque e força axial Fz, ou seja, teve P-valor com valores menor ou igual que 0,05. Não ocorreram interações significativas entre os fatores. Analisando o F-valor, foi possível observar que o fator diâmetro da haste teve maior contribuição para os resultados de torque e que o fator diâmetro da haste e o tipo de lubrificação tiveram maior contribuição para os resultados de força axial Fz. Na laminação de maneira geral, é bastante comum a utilização de lubrificante com características de arrefecimento. Segundo Rodrigues (2015), o fluido tem características de dar estabilidade na lubrificação, aumentara a vida da ferramenta e melhorar o processo de conformação de rosca com o aumento de lubrificação.

Através da análise do gráfico de efeitos principais ilustrado na Figura 3, a variação da velocidade de laminação não alterou de forma significativa os resultados de torque e de força axial Fz, ou seja, os resultados foram mais precisos. Os resultados de torque e de força axial tiveram comportamentos semelhantes quando foram variados seus fatores.

4. CONCLUSÃO

As seguintes conclusões foram possíveis constatar no processo de rosqueamento por laminação do aço SAE 1035, variando a velocidade laminação, o tipo de lubrificação e o diâmetro inicial do corpo de prova:

- A partir do estudo experimental e da análise estatísticas ANOVA foi possível concluir que todos os três fatores estudados influenciaram os resultados de diâmetro final da rosca, porém de forma isolada.
- As variações do diâmetro da haste e do tipo de lubrificação foram os fatores mais significativos estatisticamente para o diâmetro interno do filete.

- A variação do diâmetro da haste foi o fator mais significativa para o diâmetro externo do filete da rosca.
- Apesar do fator velocidade de laminação ser estatisticamente significativa para os diâmetros externos do filete, foi o fator que ocorreu menor variação do diâmetro interno e externo, quando comparado aos outros fatores. Em casos onde a alta produção é prioridade, o aumento da velocidade de laminação não altera de forma significativa a precisão da força axial, do torque, e diâmetro interno e externo do filete da rosca da rosca.
- Analisando qualitativamente, os perfis das roscas laminada possuem ótimos acabamentoo.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG e a UFSJ pelo apoio financeiro para a participação no COBEF 2019.

6. REFERÊNCIAS

- Catálogo Emuge 2010, EMUGE Tecnologia de roscagem, p. 1-27, 2010.
- 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., Sousa M. N. e Da Silva, M.B., “Análise da força residual na usinagem do aço ABNT 1045”. 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2011.
- Fromentin, G., Poulachon, G., Moisan, A., Julien, B. e Giessler, J., 2005, “Precision and Surface Integrity of Threads Obtained by From Tapping”. *CIRP Anals*, 519-522.
- Maciel, D.T., 2013, “Estudo dos processos de roscamento 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.
- Machado, A. R., Abrão, A. M., Coelho, R. T. e Silva, M. B., 2015, “Teoria da usinagem dos materiais”. 3 ed. São Paulo: Blucher
- Montgomery, D. C., 2013, “Design and Analysis of Experiments”. Eighth Edi ed. p. 725.
- Oliveira, J. A. da., 2015, “Estudo do processo de rosqueamento por conformação na liga de alumínio 7075-T6”. 128f. *Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Universidade Federal de São João Del Rei*, São João Del Rei.
- Rodrigues, D.G., 2015, “Análise comparativa da formação de roscas internas por corte e laminação”. *Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Universidade Federal de São João Del Rei*, São João Del Rei.
- Santos, S. C., Sales, W. F., 2007, “Aspectos Tribológicos da Usinagem dos Materiais”, Artliber Editora, Brasil, 246 p.
- Wu, C.F.J. e Hamada, M., 2000. “Experiments: Planning, Analysis and Parameter Design Optimization”, John Wiley and Sons, USA.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

STUDY OF EXTERNAL THREADING THROUGH STEEL SAE 1035

Marcos Luiz de Souza Castro, marcosls_castro@hotmail.com¹

Wasley Amaral Coelho, wasleyamaral@hotmail.com¹

Lucas Fonseca Teixeira, engenheiro_lucas@hotmail.com¹

Jéssica Tito Vieira, jéssica.tito@hotmail.com¹

Samuel Alves de Freitas, samuelengmec@gmail.com¹

Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufsj.edu.br¹

¹Federal University of São João Del Rei – Department of Mechanical Engineering, Frei Orlando Square, 170 – Center, São João Del Rei - MG, 36.307-352, Brazil.

Abstract. The manufacture of threads through the forming process is becoming increasingly widespread among the industries, as it has advantages over machined threads. The objective of this study was to determine the external and internal diameter of the thread profile, the torque and the axial rolling force. The rolling speed, the type of cooling and the initial diameters of the rods used were varied. The specimens were submitted to rolling of threads with dimensions M10 x 1,5 mm. It was observed that the variation of the rolling speed and the type of cooling produced threads with significant differences in the external and internal diameters.

Keywords: Laminated thread, Cutting stresses, Diameter variation.

RESPONSIBILITY NOTICE

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