

ESTUDO COMPARATIVO DA RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE ROSCAS INTERNAS LAMINADAS E USINADAS

Denison Baldo, denison_db@yahoo.com.br
Jefferson Caneschi Fintelman, caneschi.j@ig.com.br
Carlos Henrique Lauro, caiquelauro@gmail.com
Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufsj.edu.br

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

Resumo: *Montagens com roscas estão entre os sistemas de fixação mais utilizados na indústria em todo o mundo. Praticamente, todos componentes mecânicos necessitam de uma rosca interna ou externa para unir peças. Roscas são produzidos pelo processo de usinagem usando machos e centros de usinagem gerando um grande volume de cavacos e sucata. Roscamento interno é uma operação de usinagem muito exigente e pode ser produzida por dois processos básicos, usinagem e laminação, empregando uma ferramenta chamada macho. O objetivo deste trabalho é investigar e comparar a resistência à tração de fios produzidos por estes dois processos e corpos de prova de alumínio. Ligas de alumínio classe 7000, com 32 mm de diâmetro e 15 mm de espessura foram usinadas e laminadas com machos com velocidade de acordo com especificações do fornecedor da ferramenta. Ensaio de tração foram realizados em um dispositivo específico para acompanhar o limite de ruptura dos fios. Os resultados mostraram que apesar de um perfil incompleto as roscas laminadas tiveram boa resistência nos filetes. Entretanto, esta condição não ocorreu para a formação de filetes com diâmetros 15% acima do valor recomendado pela normalização.*

Palavras-chave: *Laminação de Roscas, Roscamento, Resistência a Tração, Alumínio.*

1. INTRODUÇÃO

O processo de roscamento está presente em todas as aplicações de montagem nas indústrias de transformação metal mecânica. Praticamente não existe um componente mecânico que não apresente uma ou várias regiões com perfil roscado externo e/ou interno. Blocos de motores de combustão apresentam diversos furos roscados e.g. no cabeçote, na tampa do Carter, em outras regiões para a fixação de componentes mecânicos como bombas de óleo, etc, componentes estes necessários ao seu funcionamento. Aviões apresentam praticamente toda a sua fuselagem arrebentada, porém as fixações internas da estrutura são na sua maioria roscadas. Moldes apresentam regiões específicas para a montagem de postigos necessários a modificações de detalhes do seu design, normalmente estes postigos são fixados por pinos roscados.

Basicamente o processo de roscamento é realizado na indústria com ferramentas denominadas machos máquinas. Este processo promove, assim como nos processos de torneamento, fresamento e furação, a geração de cavacos que são na sua maioria expulsos pelos fluidos de corte durante a usinagem. Porém no caso do roscamento de furos cegos a expulsão do cavaco por completo tem que ser realizada em uma operação subsequente empregando ar comprimido. Além disso, o processo de roscamento com macho máquina apresenta o fundo do filete com um raio mínimo, devido ao perfil da ferramenta empregada, podendo gerar a nucleação de trincas superficiais e ocasionando a falha do componente. Considerando-se a confiabilidade de peças de aviação, o emprego deste processo tradicional na indústria aeronáutica tem sido reavaliado em função dos aspectos de segurança.

O processo de roscamento pode ser definido como: “processo de usinagem no qual a função é produzir roscas internas e externas” é um dos processos mais complexos de usinagem, pois se utiliza de uma ferramenta de forma específica para produzir o perfil desejado. Podem ser realizados os mais diversos padrões de roscas onde podemos citar: Rosca métrica – normal (DIN 13-1), fina (DIN 13-2...10), Rosca métrica cônica (DIN 158-1), Rosca Whitworth, Rosca GAS (DIN ISO 228-1), Rosca ISO trapezoidal (DIN 103-1), Rosca de dente de serra (DIN 513), Roscas UNF (EUA+Inglaterra), Roscas Edson e Roscas especiais. A Figura (1) apresenta um perfil padrão para roscas.

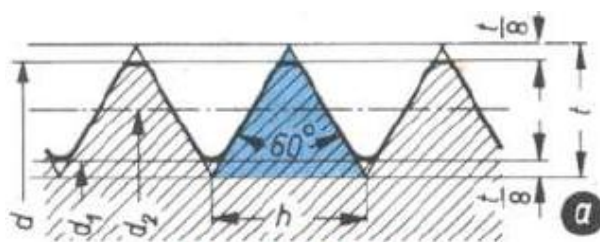


Figura 1 – Rosca padrão métrico ((Stoeterau, 2010)

No processo de roscamento pelo menos 5 dimensões devem ser ajustadas; diâmetro maior, diâmetro menor, diâmetro efetivo, passo e ângulo de rosca. Se uma dessas medidas estiver incorreta, o ajuste ou a transmissão de forças ou movimentos entre a rosca interna (peça fêmea) e a rosca externa (peça macho) será deficiente. Outros fatores complicadores são: o grande número de tipos e formas usadas na indústria, tanto padronizadas como especiais, as diversas classes de ajuste e precisão exigidas, a seleção do melhor processo de roscamento com a escolha das ferramentas correspondentes e a seleção do método de inspeção (DeGARMO et al., 1997).

O processo de produção de roscas pode ser dividido em duas subáreas distintas que são o processo de usinagem e o processo de conformação. No processo de usinagem, roscas podem ser produzidas por torneamento com ferramenta simples ou múltipla, cabeçotes automáticos com pentes, tangenciais radiais ou circulares, com machos e cossinetes, fresamento com fresas simples e múltiplas e retificação com rebolos de perfil simples ou múltiplo.

Já no processo de conformação ocorre uma laminação entre rolos ou entre placas planas formando o perfil da rosca no caso externa. Essa é a maior aplicação para a produção de parafusos comercialmente encontrados em lojas de ferragens. Recentemente machos foram desenvolvidos para também produzirem roscas internas por conformação. Este processo tem sido amplamente estudado apenas em empresas e universidades estrangeiras com o objetivo de aumentar o domínio e conhecimento deste processo. No Brasil estudos de pesquisa nesta área ainda são mínimos com trabalhos escassos e de investigações modestas. Nas empresas brasileiras este processo é praticamente desconhecido.

Diversos autores como Formentin et al. (2007) tem estudado o processo de roscamento por conformação com o objetivo de conhecer as variáveis influentes neste processo como a precisão e integridade superficial de roscas produzidas por conformação. Neste trabalho os autores analisaram o fluxo plástico do material e as altas tensões de deformação geradas durante o processo. As conclusões demonstram que o processo de roscamento por conformação é uma boa alternativa ao processo de roscamento com geração de cavaco.

A conformação de roscas internas produz perfis com textura superficial melhor que o processo de roscamento com geração de cavacos, tanto para roscamento interno como para roscamento externo (IVANOV & KIROV, 1996). Com o aumento da velocidade de deformação empregando a técnica de “High Speed Machining” a qualidade deste perfil de rosca tende a aumentar proporcionalmente em ambos os processos com melhora muito mais significativa no processo por conformação (AGAPIOU, 1994).

Além disto, a estrutura metalográfica do material deve ser considerada após a conformação do perfil finalizado. A Figura (2) mostra a diferença básica entre um perfil de roscado utilizando o processo de usinagem e o processo de conformação.

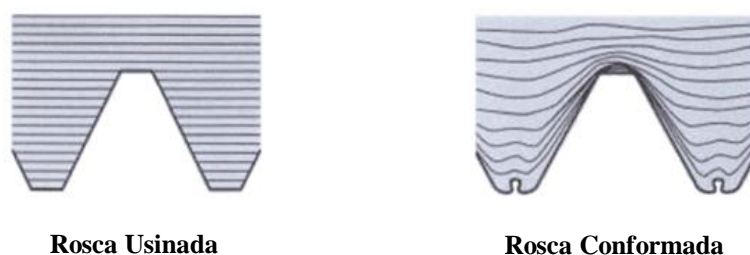


Figura 2 – Diferenças entre os perfis de roscas usinadas e conformadas (Stoeterau, 2010)

Com a deformação do material durante o processo de roscamento por conformação devem ser analisadas as características metalográficas do material, com objetivo de avaliar os aspectos metalúrgicos e as falhas que podem surgir com o aquecimento da peça ou da região roscada. Frometin et al. (2002) & Henderer et al. (1974) fizeram uma análise destas variáveis e concluíram que o endurecimento provocado pela conformação durante o processo de roscamento foi benéfico aumentando a dureza da região do perfil da rosca. Entretanto, neste trabalho os autores analisaram a resistência da rosca considerando sua tração e deformação do perfil roscado no sentido axial, condição esta na qual, peças roscadas estão submetidas com mais frequência na montagem de componentes industriais.

Além disso, o torque máximo definido para o processo de roscamento por conformação é maior que o torque na geração de cavacos. Estudos mostram que máquinas que realizam roscamentos por conformação necessitam de 15 a 25% a mais de energia disponível para a confecção da rosca (Hayama, 1972; Chowdhary et al. 2003). Neste trabalho o autor desenvolveu um modelo, usando o método de energia mínima e deformação plástica parcial na parede de furos cilíndricos para prever o torque máximo durante os experimentos. Frometin et al. (2002) também empregaram um

método de medição do torque máximo na medição de torque no roscamento de aços ligados. Estes trabalhos não demonstraram o valor do torque máximo em função de um furo inicial básico, sendo que não se fez a variação do diâmetro inicial do furo relacionada com o torque e com a resistência da rosca. Dessa forma, parte-se de um furo inicial padrão baseado nas informações do fabricante da ferramenta, ou seja, o mesmo furo inicial é empregado para materiais ferrosos e não ferrosos desconsiderando as variáveis como torque, preenchimento do perfil da rosca, etc.

Assim, mais pesquisas experimentais com o objetivo de conhecer a influência das variáveis quando essas são alteradas torna-se importante para a melhoria do processo e para a formação de uma base de dados científica consolidando todas as informações necessárias. Este projeto propõe a variação de algumas variáveis para uma melhor compreensão do processo de roscamento por conformação.

2. METODOLOGIA

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizados corpos de prova em alumínio 7475, usado com liga aerospacial, com composição de 88,5 a 91,5% de Al, 0,18 a 0,25% de Cr, 1,20 a 1,90% de Cu, 0,12% de Fe, 1,90 a 2,60% de Mg, 0,060% de Mn, 0,10% de Si, 0,060% de Ti, 5,20 a 6,20 de Zn e 0,15% de Outros. A geometria dos corpos de prova foi definida como cilíndrica apresentando um diâmetro de 32 mm e uma altura de 15 mm, conforme Fig. (3).



Figura 3. Detalhe do corpo-de-prova

Em todos os corpos de prova foi usinado um rasgo de chaveado de 10mm de largura por 5 mm de profundidade para evitar o giro destes durante o processos de roscamento em função do torque gerado durante o processo. Os corpos de prova também foram pré-furados com diâmetros de 8,5 mm. Todos os processos de furação e roscamento foram realizados em um centro de usinagem CNC da marca Romi[®] modelo Discovery 560. Os corpos de prova foram fixados à mesa do centro de usinagem por um dispositivo desenvolvido especificamente para estes experimentos conforme Fig. (4).



Figura 4. Dispositivo para fixação do corpo-de-prova

Para o processo de roscamento foram utilizados macho M10 com passo 1,5 fornecidos pela empresa Emuge[™], sendo um macho InnoForm para laminação de roscas cobertura de TiN e outro para o processo de usinagem das roscas. Os parâmetros do experimento definidos foram o diâmetro do furo inicial e a velocidade de laminação, sendo recomendado pelo fabricante um furo padrão para o processo de laminação de 9,3 mm e uma velocidade de laminação de 80 m/min (experimento C1 da Tab. (1)). Assim, decidi-se utilizar uma variação nos valores do diâmetro padrão e da velocidade de laminação, considerando que maiores velocidades proporcionam em média aumentos de produção. As Tabela (1) e (2) apresentam a variação dos valores do diâmetro do furo inicial/velocidade de deformação e do diâmetro inicial/velocidade de usinagem com macho para roscas usinadas, respectivamente.

Tabela 1. Valores dos parâmetros dos experimentos realizados com macho laminador

Diâmetro do Furo (mm)	Velocidade de Laminação (m/min)			
	60	80	100	120
9,50	A1	–	B1	D1
9,45	A2	–	B2	D2
9,40	A3	–	B3	D3
9,35	A4	–	B4	D4
9,30	A5	C1	B5	D5
9,25	A6	–	B6	D6
9,20	A7	–	B7	D7
9,10	A8	–	B8	D8

Tabela 2. Valores dos parâmetros dos experimentos realizados com macho com roscas usinadas

Diâmetro do Furo (mm)	Velocidade de corte (m/min)		
	60	80	100
8,50	A9	–	B9

O diâmetro dos furos foram aumentados utilizando uma fresa de metal duro inteiriça com diâmetro de 8 mm usando a programação de interpolação de furos disponível no centro de usinagem. Após o fresamento para o alargamento no centro de usinagem as dimensões de cada furo era medida e calibrada com um medidor de diâmetros internos de três contatos marca da MitutoyoTM modelo ABSOLUTE BOREMATIC, Fig. (5).

**Figura 5. Medição dos furos sendo realizada com o equipamento Borematic da Mitutoyo**

Para que se pudesse fazer uma comparação da resistência das roscas e do deslocamento do material foi utilizado um corpo de prova com dimensões padrão com furo de diâmetro de 8,5 mm e velocidade de corte de 60 m/min mantendo-se uma relação de velocidade de laminação por quantidade de material. Para o ensaio de resistência dos filetes, foi desenvolvido um dispositivo em aço SAE 1045, Fig. (6), sendo este dispositivo adaptado a uma máquina universal de ensaios de tração da marca EMICTM. Os corpos de prova foram submetidos a uma força de tração e assim, foi monitorada sua resistência a deformação.

**Figura 6. Dispositivo de para ensaio de tração.**

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os corpos de prova foram cortados axialmente e lixados até lixa 1000 para que se pudesse analisar a formação da área de filetes de cada rosca, conforme Fig. (7). As medições foram realizadas com auxílio de um microscópio TM-505 da Mitutoyo™ e do Software MotiC™ Images Plus, A Tabela (3) apresenta a média das áreas medidas para cada experimento.

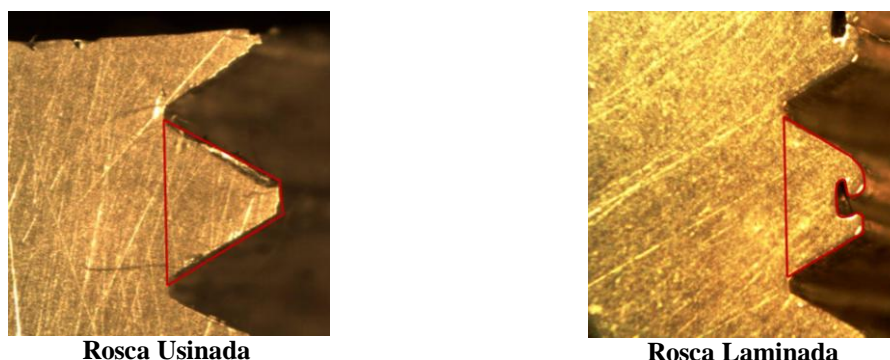


Figura 7. Definição da área transversal do perfil da rosca usinada e laminada.

Tabela 3 – Valores das áreas médias dos perfis transversais de roscas

Experimento	Área Média (mm ²)	Experimento	Área Média (mm ²)
A1	0,334	B1	0,281
A2	0,525	B2	0,425
A3	0,549	B3	0,292
A4	0,641	B4	0,647
A5	0,672	B5	0,562
A6	0,790	B6	0,687
A7	0,736	B7	–
A8	0,676	B8	0,791
C1	0,785	–	–

Os experimentos B7 e B8 foram cancelados, pois foi observado que durante a realização dos experimentos ocorria uma sobrecarga e o fuso da máquina travava para a velocidade de laminação de 120 m/min impossibilitando a continuidade do experimento. Após o corte dos corpos de prova, observou-se que essa velocidade deslocava um volume maior de material para baixo e não ocorria a deformação do material para a formação dos filetes. Dessa forma, uma diminuição do diâmetro do furo ocorria causando sobrecarga no eixo árvore da máquina não possibilitando o término da rosca. Também foi observado que ocorreu uma “acomodação” de material na ferramenta causando uma incrustação entre os filetes de rosca. A Figura (8a) exemplifica as falhas da velocidade de 120 m/min na formação da rosca e a Fig. (8b) as incrustações ocorridas entre os filetes de roscas.



a) Falta de filetes.

b) Aglomeração do material na ferramenta.

Figura 8. Falha no roscamento em 120 m/min.

O ensaio com diâmetro de furo inicial de 8,5 mm e velocidade de corte de 60 m/min também corroborou para validar a observação acima. O material foi deslocando-se para a parte inferior do furo, diminuindo o seu diâmetro e travando a ferramenta provocando sua quebra em um dos experimentos. Na Figura (9), pode-se observar o material deslocado com a ponta do macho que ficou incrustado no corpo de prova.

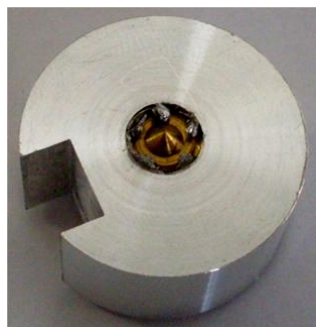


Figura 9. Deslocamento de material.

Para o ensaio de resistência, os corpos de prova foram tracionados até sua ruptura. Na Tabela (3) estão os valores de resistência encontrados no ensaio.

Tabela 4. Resultado dos ensaios de tração.

	Velocidade de Laminação (m/min)							
	60				100			
Diâmetro do Furo (mm)	9,5	9,4	9,3	9,2	9,1	9,5	9,4	9,3
Força Máxima (t)	5,85	6,00	6,21	5,97	6,06	5,85	6,06	6,02

Conforme os dados da Tab. (4) foi plotado um gráfico para traçar um comparativo do comportamento da relação diâmetro dos furos por resistência a tração, para as roscas laminadas e usinadas conforme Fig. (10).

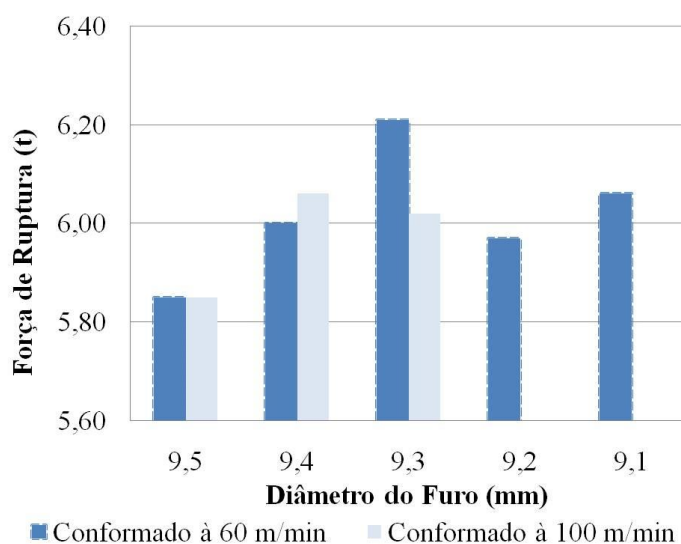


Figura 10. Gráfico de Diâmetro do Furo vs. Resistência a tração.

Observa-se no gráfico acima que para a velocidade de conformação de 60 m/min, a resistência máxima ocorre com o furo de diâmetro inicial de 9,3 mm. Para diâmetros maiores, a resistência a tração dos filetes foi menor devido a formação destes ser incompleta e apresentando uma área menor. Para diâmetros maiores, o encruamento do material foi elevado, tornando os filetes de rosca mais frágeis. Para a velocidade de 100 m/min, há a falha na formação dos filetes ocorrendo uma má formação das áreas e o no número de filetes ao longo do comprimento do furo. Assim, comparando

a resistência à tração e as áreas dos filetes para os processos de roscamento por laminação e por usinagem nota-se que os valores dos perfis de rosca e de resistência a tração dos filetes ficaram bem próximos, conforme Tab. (5).

Tabela 5. Comparação entre os processos de roscamento.

	Usinado	Conformado
Diâmetro do Furo (mm)	8,5	9,3
Carga Máxima (t)	6,24	6,21
Área (mm²)	0,676	0,672

Finalmente, foi realizada uma comparação do deslocamento de corpos de prova sob o ensaio de tração de acordo com a deformação que sofreram. Foram utilizados os corpos de prova com roscas usinadas com furo inicial de 8,5 mm de diâmetro e velocidade de corte de 60 m/min, roscas laminadas com furo inicial de 9,3 mm de diâmetro e velocidade de laminação de 60 m/min e roscas laminadas e furo inicial de 9,3 mm de diâmetro com velocidade de laminação 80 m/min, sendo este último a recomendação padrão do fabricante. Observando os resultados, observa-se no gráfico da Fig. (11), um comportamento semelhante para o roscamento por usinagem com velocidade de 60 m/min e no roscamento por laminação com velocidade de 60 m/min, porém ambos foram inferiores ao deslocamento sofrido pelo roscamento por conformação com velocidade de corte de 80 m/min.

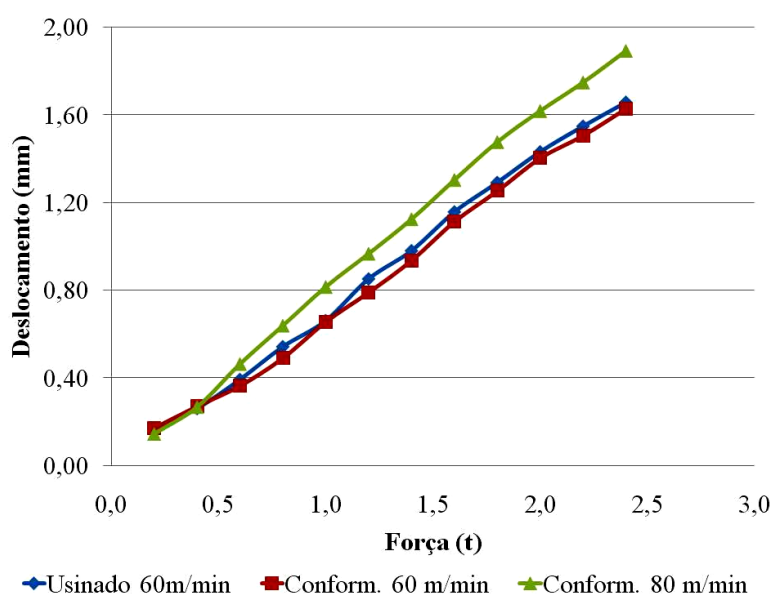


Figura 11. Comparação do deslocamento para roscas laminadas e usinadas

4. CONCLUSÕES

Pela análise dos resultados encontrados neste trabalho, pode-se concluir sobre as comparações dos processos de roscamento por laminação e por usinagem que:

- ✓ Velocidades altas de conformação não devem ser aplicadas no processo de roscamento por conformação, pois geram filetes incompletos e podem provocar danos aos equipamentos;
- ✓ Os diâmetros dos furos menores geram a fragilização do material, diminuindo a resistência e expulsando material para fora do furo;
- ✓ Os resultados dos roscamento por conformação e usinagem são bastante semelhantes, não sendo notadas diferenças significativas principalmente na resistência a tração dos filetes;
- ✓ A velocidade de laminação de 80 m/min recomendada pelo fabricante, apresentou resultados de deformação até 12,5% maiores que a velocidade de 60 m/min, ficando também nessa faixa para as roscas usinadas com essa mesma faixa de velocidade.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Prof. Dr. Jefferson de Oliveira Gomes do ITA e o Sr. Breno Siqueira da Emüge-Fragen pelo fornecimento do material e do ferramental, respectivamente.

6. REFERÊNCIAS

- Agapiou, J.S., 1994, "Evaluation of the effect of high speed machining on tapping", Journal of Manufacturing Science & Engineering Technology, ASME, 116:457- 462.
- Chowdhary, S., Kapoor, S.G., DeVor, R.E., 2003, "Modeling forces including elastic recovery for internal thread forming", Journal of Manufacturing Science & Engineering, ASME, 125:681-688.
- DeGarmo, E.P; Black, J. T.; Kohser, R.A. , 1997, "Materials and Processes in Manufacturing", John Wiley & Sons Inc, 1254 pp.
- DIN 13-1 - Deutsches Institut Fur Normung E.V. 2004, "General purpose ISO metric screw threads - Nominal sizes for 1 mm to 68 mm diameter coarse pitch threads", Ed. Beuth Verlag GmbH.
- Fromentin, G., Poulachon, G., Moisan, A., 2002, "Metallurgical aspects in cold forming tapping", NCMR Proceedings, Leeds, UK, 373-377.
- Fromentin, G., Poulachon, G., Moisan, A., 2007, "Thread forming tapping of alloyed steel", ICME Proceedings, Naples, Italy, 11 5-1 18.
- Hayama, M., 1972, "Estimation of torque in cold forming of internal thread", Bulletin of the Faculty of Engineering, Yokohama National University, Vol. 21, pp. 77-90.
- Henderer, W.E., B.F. von Turkovich, 1974, "Theory of the cold forming tap", Annals of the CIRP, 23:51-52.
- Ivanov, V., Kirov, V., 1996, "Rolling of internal threads: Part 1", Journal of Materials Processing Technology,
- Stoeterau, R.L. 2010. "Processos de Usinagem de roscas". <http://www.hlam.com.br/Usinagem%20de%20Roscas.pdf>, acesso em 25 de maio de 2010.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

COMPARATIVE ESTUDY OF THE TENSILE STRENGTH OF INTERNAL FORMING AND MACHINING THREADS

Denison Baldo, denison_db@yahoo.com.br
Jefferson Caneschi Fintelman, caneschi.j@ig.com.br
Carlos Henrique Lauro, caiquelauro@gmail.com
Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufsj.edu.br

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

Abstract. *The assemblies with thread are among the fixing systems more using in the worldwide industry. Generally, all mechanical components need an internal or external thread aiming the union of parts. Threads are manufactured by machining process using taps and machine centre generating a large volume of chips and scraps. Internal tapping is an operation of machining much critical and can be manufacture by two basics processes, machining and forming, using a tool called tap. The purpose this paper is to investigate and to compare the tensile strength of thread fillets generated by theses two processes in workpiece of aluminium. Aluminium alloys 7000 grade, with 32 mm of diameter and 15 mm of thickness have machined e formed with taps with speed according to specification of tool's supplier. Tests of strength have realized on a specific device to define the fillets' strength limit. The results showed that despite of an incomplete profile, the forming thread had good strength tensile. However, these conditions have not occurred to a generation of fillets with diameter 15% above of the value recommended by supplier.*

Keywords: *Forming Thread, Tapping, Tensile Strength, Aluminium.*