

REUTILIZAÇÃO DE MACHOS NO FRESAMENTO DE ROSCAS

Gustavo P. Marcos¹, Alessandro R. Rodrigues², Reginaldo T. Coelho¹, Peterson P. Pressato³, Hidekasu Matsumoto³ e Wyser J. Yamakami^{3*}

1 - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP.

2 - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP.

3 – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, SP. Av. Brasil Centro, 56, Ilha Solteira, SP, CEP 15.385-000. wyser.yamakami@unesp.br

RESUMO

O fresamento de rosca (thread milling) é um processo que, em relação aos processos de rosqueamento mais usuais utilizando machos de corte manuais ou macho-máquina, possui fatores positivos como tais como, maior produtividade, menores esforços de usinagem, necessidade de menor inventário de ferramentas e fácil remoção do inserto de dentro do furo, caso se quebre durante rosqueamento. Os machos utilizados sofrem um desgaste inicialmente na sua parte cônica e, posteriormente, na parte cilíndrica, adjacente à parte cônica. Nesta pesquisa, machos de corte, novos e desgastados, utilizados no rosqueamento interno, foram adaptados para realização do “thread milling” em alumínio e aço SAE 1045, utilizando somente os dentes de sua parte cilíndrica. A adaptação consistiu em retirar a parte cônica e deixar somente um pente de dentes da parte cilíndrica do macho. Diferentes programações CNC e parâmetros de corte foram testados de forma a obter-se uma rosca com perfil adequado às especificações da norma NBR 5876, ou o mais próximo possível delas. Os perfis das roscas foram analisados utilizando-se projetor de perfil e estereomicroscópio e comparados com aqueles especificados na norma ABNT. De forma rápida, uma análise qualitativa foi realizada verificando-se o acoplamento, ou não, de porcas comerciais nas roscas fresadas, com dimensões correspondentes. Comparando-se a geometria da ferramenta de “thread milling” com aquela do macho de corte comum observa-se que a segunda possui um perfil ligeiramente diferente da primeira. Algumas roscas obtidas foram satisfatórias, permitindo o encaixe da porca comercial, enquanto em outras isto não foi possível, pois o diâmetro ou perfil do filete da rosca fresada estavam fora dos padrões mínimos exigidos. Apesar das limitações, a adaptação de machos para o “thread milling” pode ser uma alternativa econômica, uma vez que permite a reutilização destas ferramentas de corte, as quais seriam descartadas, prolongando a vida útil das mesmas.

Palavras-chave: reutilização, adaptação, macho, rosqueamento, thread milling.

INTRODUÇÃO

O rosqueamento é empregado na produção de diversas de peças e componentes, sendo realizado por deformação plástica ou usinagem. Roscas produzidas por deformação plástica apresentam maior resistência mecânica, enquanto a usinagem permite maior precisão e pode ser realizada em materiais frágeis⁽¹⁾.

O fresamento de rosca (*Thread milling*) interna e externa, utilizando fresa específica, atende aos requisitos de complexidade, diversidade e flexibilidade dos processos nas indústrias

biomédica, aeroespacial e de manufatura por matriz e molde^(2, 3, 4, 5). O *thread milling* tem maior exatidão, rapidez, menores esforços de usinagem, melhor remoção de cavaco, menor probabilidade de quebra da ferramenta, sendo uma boa alternativa para peças de alto valor^(6,7). No rosqueamento interno o macho de corte deve ter um diâmetro específico para cada do furo a ser rosqueado, enquanto no *thread milling* uma fresa para rosqueamento pode usinar roscas de diferentes diâmetros maiores que ela, com mesmo passo, eliminando a necessidade da troca de ferramentas. Porém, a maioria dos fabricantes trabalha por tentativa e erro para obtenção das superfícies helicoidais da rosca, que dependem não somente da ferramenta, mas também dos parâmetros de usinagem e do *know-how* do operador⁽⁸⁾.

No rosqueamento interno utilizando macho de corte, a remoção de cavaco é realizada pelos dentes da parte cônica mais o primeiro dente da parte cilíndrica do mesmo⁽⁹⁾. Quando os desgastes nas superfícies de saída e de folga atingem níveis críticos, a ferramenta chega ao fim de vida, tendo os dentes superiores da parte cilíndrica pouco desgastados.

Assim, a adaptação de machos de corte, que chegaram ao fim de vida, para serem reutilizados no *thread milling* externo pode diminuir o inventário de ferramentas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados em um centro de usinagem ROMI, modelo D-560, potência de 5,5 kW, rotação máxima de 7500 rpm e comando CNC Siemens Sinumerik 810 D.

Macho de corte convencional M10 x 1,5 mm, já desgastado, e um macho de corte novo de aço rápido M10 x 1,5 mm Sandvik CoroTap 200 E00M10 6H foram modificados retirando-se dois dos três pentes de dentes destes machos, e toda a ponta cônica (Fig. 1).

Corpos de prova (CDPs) Alumínio (Al) Comercial de 10x60 mm (diâmetro x comprimento), Aço SAE 1045 de 10x60 mm e de 25x60 mm foram utilizados nos ensaios. Os corpos de prova foram fixados em uma placa de três castanhas a qual foi presa à mesa do centro de usinagem com grampos.

Inicialmente o *thread milling* foi realizado utilizando-se um programa CNC com código *cycle 90* (C90) para interpolação helicoidal, com aproximação do macho pela parte superior do CDP, sendo obtido um filete de rosca a cada volta do macho em torno do CDP. O primeiro dente do pente de dentes do macho modificado corta desbastando o material, e os demais dentes atuam fazendo o acabamento dos filetes da rosca. Num segundo programa CNC com ciclo *Turn*, o macho modificado aproxima-se pela lateral do CDP, de forma que os vários dentes do pente deste macho usinem o CDP obtendo se a rosca pronta em poucas voltas do macho em torno do CDP. A Tabela 2 mostra os ensaios realizados.

A validação do processo utilizando o macho modificado foi realizada, de forma qualitativa, verificando-se o acoplamento, ou não, de uma porca comercial na rosca usinada nos CDPs de Al e de aço 1045.

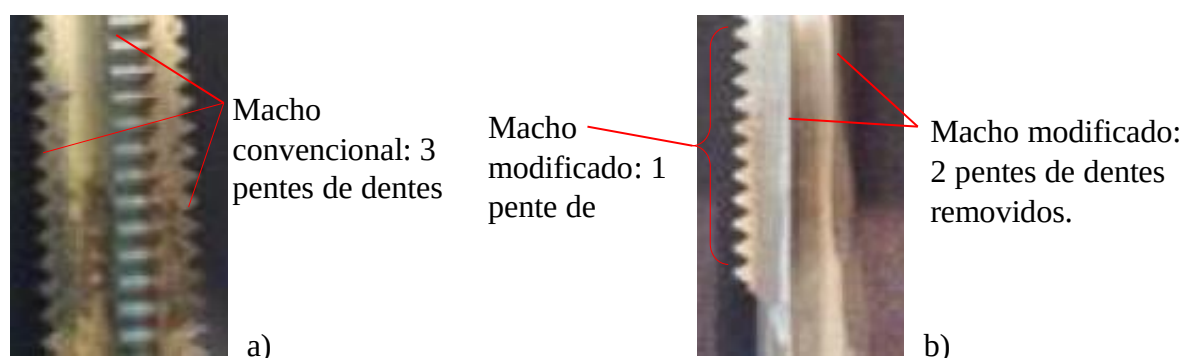


Figura 1. a) Macho sem modificação.. b) Macho modificado: um pente de dentes.

Tabela 2. Planejamento dos ensaios de *thread milling*.

Material	Comando	Macho	Diâmetro CDP [mm]	Nº de passes	vc [m/min]	vf [mm/min]
Alumínio	C90	Usado	10	1	50	100
Alumínio	C90	Usado	10	5	50	100
Alumínio	C90	Novo	10	1	50	100
Alumínio	C90	Novo	10	2	50	100
Aço 1045	C90	Novo	10	2	44	100
Aço 1045	C90	Novo	25	1	44	100
Alumínio	Turn	Novo	10	1	50	32
Alumínio	Turn	Novo	10	3	50	32
Alumínio	Turn	Novo	10	2	50	32
Aço 1045	Turn	Novo	25	1	25	20
Aço 1045	Turn	Novo	25	2	25	20

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se que os comandos C90 e *Turn* permitiram a obtenção de roscas M10x1,5 mm e M25x1,5 mm que se acoplaram à porca M10x1,5mm e M25x1,5mm e outras que não se acoplaram, utilizando-se machos desgastado e novo.

De forma geral, as roscas que não permitiram acoplamento com a porca apresentaram o diâmetro interno maior que o especificado pela norma ABNT NBR 5876 e/ou forma geométrica fora dos limites definidos por ela. Estas distorções foram causadas pela deflexão do macho modificado e/ou dos CDPs, principalmente aqueles de menor diâmetro e resistência mecânica, como o Al. CDPs de diâmetros maiores e mais resistentes, como os de aço 1045, tendem a defletir menos, ocasionando, por outro lado, uma maior deflexão do macho. Estas deflexões tendem a serem maiores quando se realiza o fresamento em um único passe.

Além da deflexão do macho e/ou CDP, o atrito da superfície de folga dos dentes do macho com os filetes da rosca durante a usinagem da mesma também contribuiu para a distorção destes filetes, alterando a inclinação dos mesmos, tanto para o Al quanto para o aço 1045.

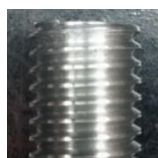
As formas adotadas para amenizar estes problemas foram as seguintes:

a) Definir no programa CNC um diâmetro interno da rosca menor que o definido pela norma ABNT de modo a compensar as deflexões do macho e/ou do CDP. Neste caso, pode ocorrer ainda a formação de uma rosca com perfil distorcido caso a remoção de material seja feita em um único passe do macho ao redor do CDP.

b) Adotar vários passes para remoção de material, de forma a minimizar os esforços de usinagem e, conseqüentemente, a deflexão do macho e/ou CDP.

Uma rosca usinada em CDP de Al com macho desgastado, em único passe, com o comando C90 não permitiu o acoplamento da porca (Fig. 2a). Outro CDP usinado com C90, em cinco passes, diminuindo-se o valor do diâmetro interno da rosca (valor menor que o da norma ABNT) a cada passe, permitiu o acoplamento da porca à rosca obtida (Fig. 2b).

A fim de ampliar o entendimento das características dimensionais e geométricas das roscas



a)



b)

Figura 2. Comando C90. Macho desgastado. CDP Al. a) Passe único: porca M10x1,5 mm não acoplou. b) Cinco passes: porca acoplou.

obtidas, utilizando diferentes estratégias e condições de usinagem, macho de corte novo modificado foi utilizado nos ensaios de *Thread milling*.

Utilizando-se o macho novo, o *thread milling* no Al em dois passes, $V_c = 50$ mm/min., $V_f = 100$ mm/min., comando C90 e diâmetros internos de 8,5 e 8,16 mm, obteve-se o acoplamento da porca na rosca (Fig. 3a), o que não ocorreu quando usinado em um único passe (maior flexão da ferramenta e/ou do CDP).

Thread milling em aço 1045, diâmetro externo de 10 mm, $V_c = 44$ mm/min., $V_f = 100$ mm/min., comando C90, em dois passes com diâmetros internos de 8,5 e 8,16 mm, o acoplamento não ocorreu. O aumento da vibração do conjunto macho modificado - CDP à medida que o macho desce usinando gradualmente os filetes da rosca provavelmente contribuiu para distorção do seu perfil. A utilização de um CDP de diâmetro 25 mm (maior rigidez), definindo-se um diâmetro interno de 23,16 mm, não resolveu este problema.

A rosca obtida no CDP de aço 1045 de 10 mm de diâmetro (comando C90) apresentou um comprometimento do ângulo de 60° em um dos lados do filete da rosca, distorcendo o perfil triangular desejado (Fig. 3b). Observaram-se degraus na base dos primeiros filetes da rosca que gradualmente foram diminuindo. No Al todas as bases apresentaram degraus (Fig. 3a).

Utilizando o comando *turn* observou-se também o problema de vibração. A usinagem do Al, $V_c = 50$ m/min. e $V_f = 32$ mm/min., com diâmetro interno de 8,16 em um único passe não resultou no acoplamento da porca M10x1,5 mm. Em outro ensaio com Al, utilizando-se o comando *turn*, realizou-se dois passes com mesmo diâmetro interno de 8,0 mm, e um terceiro passe com diâmetro interno de 7,8 mm. Nestas condições houve o acoplamento da porca M10x1,5 mm e um acabamento, qualitativamente, melhor em relação ao ensaio com passe único.

Apesar do acoplamento, o CDP de Al (comando *turn*) apresentou um diâmetro externo de 9,92 mm, interno de 8,00 mm, he igual a 0,96 mm e passo 1,5 mm. Observaram-se degraus nos dois primeiros filetes da rosca, e um comprometimento do ângulo de 60° , distorcendo o perfil triangular desejado, semelhante ao da Fig. 3b para o aço 1045 (comando C90). A maioria dos filetes apresenta material sobressalente, semelhante a uma rebarba de usinagem, ou como se o filete tivesse sido conformado plasticamente. Percebe-se também que a largura da parte superior do filete é maior do que deveria ser, maior que a proporção de $1/8$ do passo. No ensaio com Al, utilizando comando C90, macho novo, realizando-se dois passes com diâmetros internos de 8,5 e 8,16 mm, V_f de 100 mm/min., obteve-se o acoplamento da porca com a rosca de Al.

Observa-se de forma geral que a realização do *thread milling* em vários passes, com profundidades de corte pequenas, tende a garantir uma rosca com melhor qualidade dimensional e geométrica, além de menores níveis de vibração.

Para o aço 1045, com diâmetro de externo de 25 mm, usinado com V_c de 25 m/min, V_f de 20 mm/min, comando *turn* com diâmetro interno de 22,8 mm, em um único passe, obteve-se o acoplamento da porca M25. Porém, em geral, a obtenção dos acoplamentos das porcas nas roscas usinadas não foi possível realizando-se um único passe, seja para o Al ou aço 1045.

Assim como realizado no comando C90, a realização do *thread milling* em mais de um passe, com a diminuição do diâmetro interno da rosca definido no comando *turn* a cada passe, permitiu o acoplamento das porcas nas roscas feitas de Al e aço 1045. Para usinagem do Al

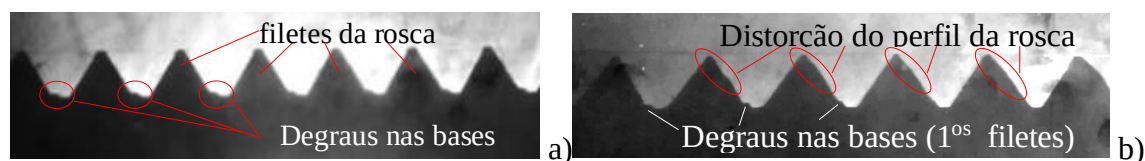


Figura 3: Comando C90. Macho novo. a) Al: Degraus nas bases. Porca acoplou b) Aço 1045: Degraus nos 1^{os} filetes. Distorção do perfil triangular. Porca não acoplou.

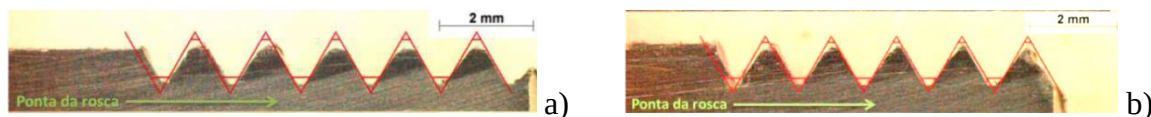


Figura 4: Comando *turn*. Macho novo modificado. Al. a) Porca não acoplou na rosca. b) Porca acoplou.

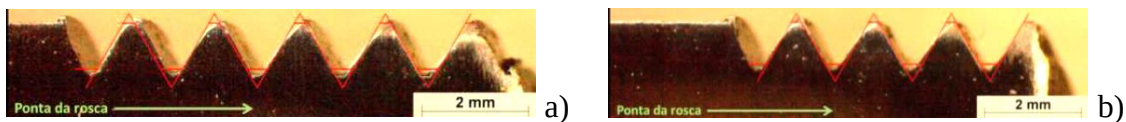


Figura 5: Comando *turn*. Macho novo modificado. Aço 1045. a) Porca M25 x 1,5 mm não acoplou na rosca. b) Porca acoplou.

com um passe com comando *turn*, adotaram-se diâmetros internos de 7,9 mm (Fig. 4a) e de 7,8 mm (Fig. 4b), ocorrendo o acoplamento da porca somente para este diâmetro menor.

As Figuras 5a e 5b apresentam os perfis das roscas no aço 1045, usinadas nas mesmas condições, a menos do diâmetro interno (22,8 mm) definido no comando *turn* para este último perfil (Fig. 5b), o qual foi 0,1 mm menor que o anterior (22,9 mm) (Fig. 5a), possibilitando o acoplamento da porca M25x1,5 mm,

Dos resultados obtidos utilizando o comando *turn* observa-se que é possível obterem-se roscas com qualidade adequada, baseada no teste de acoplamento das roscas usinadas com as porcas, tanto para os CDPs de Al e de aço 1045, usando macho novo. No entanto, com o comando C90 foi possível obterem-se roscas com qualidade adequada, baseada no referido teste, somente para os CDPs de Al, utilizando-se machos usados e novos.

Com relação ao processo de controle da qualidade das roscas, baseado no acoplamento ou não delas em porcas comerciais, pode-se dizer que ele possui limitações, pois não avalia os aspectos dimensionais e geométricos com maior precisão e exatidão exigidas em determinados tipos de roscas com aplicações específicas. Destaca-se neste sentido que foram observadas roscas que se acoplaram às porcas usando os comandos C90 e *turn*, porém suas geometrias e dimensões apresentaram desvios em relação ao padrão ABNT para rosca métrica, conforme mostrado nas Figuras 3, 4 e 5.

Não é possível também afirmar qual dos comandos permite uma melhor qualidade dimensional e geométrica, tendo em vista que ambos os comandos C90 e *turn* apresentaram desvios, observados visualmente, que não foram mensurados por algum método específico.

CONCLUSÕES

É possível realizar *thread milling* externo do Al, com comando C90 e *turn*, utilizando macho modificado, novo ou desgastado, adotando-se condições específicas de usinagem.

Para o aço 1045, o *thread milling* externo só foi viável utilizando o comando *turn*, com macho modificado novo.

De modo geral, o *thread milling* realizado em vários passes, com pequena profundidade de corte, pequeno avanço e velocidade de corte adequada ao material da ferramenta foram as condições mais adequadas para a obtenção de perfis de roscas com padrões dimensionais e geométricos próximos aos definidos pela ABNT.

Para um mesmo número de passes, com pequenas profundidades de corte, o comando *turn* permite um tempo de usinagem menor que o comando C90, permitindo uma maior produtividade do processo.

A geração de rosca com perfil distorcido, fora do padrão ABNT, pode ocorrer tanto em material dútil como o Al, como em material mais duro e resistente como o aço 1045.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos técnicos e pós-graduandos do NUMA (Núcleo de Manufatura Avançada) do Dep. de Eng^a de Produção da USP - EESC na realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

1. ARAÚJO, A.C.; FROMENTIN, G.; POULACHON, G. Analytical and experimental investigations on thread milling forces in titanium alloy, *Int. J. Mach. Tools and Manuf.*, v. 67, p. 28-34, April 2013.
2. LEE, S.W.; KASTEN, A.; NESTLER, A. Analytic mechanistic cutting force model for thread milling operations, *Proc. CIRP* 8, p. 546–551, 2013.
3. FROMENTIN, G.; POULACHON, G. Geometrical analysis of thread milling – part 1: evaluation of tool angles, *The Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 49, p. 73–80, 2010.
4. FROMENTIN, G., POULACHON, G. Geometrical analysis of thread milling – part 2: calculation of uncut chip thickness, *The Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology* v. 49, p. 81–87, 2010.
5. NOGUEIRA, R. S. Estudo da qualidade de roscas métricas fabricadas por fresamento. 2013, 55 p. (Projeto Final. Graduação Engenharia Mecânica) UFRJ, Escola Politécnica, Rio de Janeiro - RJ.
6. ARAÚJO, A.C.; SILVEIRA, J.L.; JUN, M.B.G.; KAPOOR, S.G.; DEVOR, R. A model for thread milling cutting forces, *Int. J. Mach. Tools and Manuf.*, v. 46, Issue 15, p. 2057-2065, December 2006.
7. ARAUJO, A. C.; MELLO, G. M.; CARDOSO F. G. Thread milling as a manufacturing process for API threaded connection: Geometrical and cutting force analysis, *Journal of Manufacturing Processes*, v. 18, p. 75-83, April 2015.
8. LEE, S. W.; NESTLER, A. Simulation-aided design of thread milling cutter, *5th CIRP Conference on High Performance Cutting, Procedia CIRP*, v. 1, p. 120-125, 2012.
9. BEZERRA, A. A. Estudo do desgaste no rosqueamento com alta velocidade em ferro fundido. 2003, 188 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos.

REUSING TAP TO THREAD MILLING

ABSTRACT

When compared to other tapping processes, thread milling is more productive, generates lesser cutting forces, needs smaller stocktaking of tools and easy removal when broken. Taps wears initially in conical region and after in cylindrical adjacent zone. In this research new and worn taps has been successfully adapted aiming at thread milling of different part materials by using only one thread row of cylindrical tap region. Different CNC routines and cutting parameters were tested for obtaining standard screws (ABNT NBR 5876 standard). Threads geometries were measured by using profile projector as well as stereomicroscope and compared to standard references. Nuts were also applied to evaluate suitable assembly. Results indicates that some thread parts complied with the ABNT standard allowing nut-screw assembly, whereas other thread parts presented geometry and dimensions out of specifications. Despite some technical limitations, tap adaptation to usage in thread milling can be economical and feasible alternative to reuse and extend tools life.

Keywords: reuse, adaptation, tap, threads, thread milling.