



21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ANÁLISE DOS ESFORÇOS DE USINAGEM NO ROSCAMENTO DO AÇO ABNT1045 QUANDO UTILIZADO ESTRATÉGIA DE CORTE RADIAL COM DIFERENTES AJUSTES.

Natália Fernandes Pinto, natyferf@hotmail.com ¹

Durval Uchôas Braga, durval@ufsj.edu.br ¹

Frederico Ozanan Neves, fred@ufsj.edu.br ¹

¹ Universidade Federal de São João Del Rei, Praça Frei Orlando, 170 - CEP: 36.307-352 - São João Del Rei - MG.

Resumo: O processo de roscamento está presente em muitas peças produzidas na indústria do setor metal mecânico. Uma das principais formas de união entre peças na indústria mecânica é a fixação por rosca. Por se tratar de um processo muito utilizado e também apresentar grande complexidade, este trabalho foi motivado mediante a avaliação dos esforços de usinagem no roscamento do Aço ABNT 1045 quando utilizado estratégia de corte radial com diferentes ajustes da ferramenta. Foram planejadas estratégias de ajustes em dois níveis, sendo o radial com profundidade de corte (ap) constante e radial com (ap) variável. Os ajustes foram realizados considerando a usinagem da rosca em seis passes. Com auxílio de um planejamento de experimento aleatorizado por níveis, foi possível organizar as variáveis de entrada e avaliar suas interferências nas variáveis de resposta: força de corte (F_c), força de avanço (F_f), e força Passiva (F_p). Para análise dos resultados com 95% de confiabilidade, tratados por meio de ferramenta estatística, ANOVA, para uma distribuição normal, destacam-se as influências tanto dos ajustes da ferramenta como dos passes nos esforços de usinagem.

Palavras-chave: Usinagem; Roscamento; Esforços de usinagem.

1. INTRODUÇÃO

O processo de fabricação por usinagem tem grande relevância em pesquisas científicas por ser empregado na cadeia de fabricação de produtos mecânicos e acompanha todo desenvolvimento tecnológico do mundo moderno. De modo geral, na indústria metal-mecânica, existe um número significativo de componentes que são submetidos a um processo de usinagem.

De acordo com Degarmo (2008), estima-se que apenas nos Estados Unidos o montante gasto anualmente em processos de usinagem supere os 100 bilhões de dólares, o que demonstra a importância que tais processos possuem na economia e justifica as pesquisas realizadas visando à melhoria dos processos de usinagem.

Todos os processos de usinagem apresentam dinâmicas de trabalho variadas com parâmetros de processos específicos e que influenciam diretamente na qualidade dos produtos. Entretanto, esses processos têm em comum a classificação como processos com remoção de cavaco (CARVALHO, 2011).

O entendimento das variáveis que influenciam os esforços de usinagem tem grande importância para o desenvolvimento da indústria metal-mecânica, possibilitando que o processo se torne mais eficaz, agregando valor e reduzindo custos, tornando o mais competitivo.

O processo de roscamento está presente em quase todas as peças produzidas nas indústrias do setor metal mecânico. Uma das principais formas de união entre peças na indústria mecânica é a fixação por rosca (RODRIGUES, 2011).

Segundo Amaral (2013), a busca para obter o aumento da produtividade visando à redução de custo vem se tornando um diferencial principalmente quando se trata de usinagem de roscas.

O roscamento é geralmente um dos últimos processos a ser executado em uma peça representando aumento do risco de perda de tempo e custo das operações anteriores caso haja rejeição na inspeção da rosca (SALES et al., 2008).

Diante dos fatos supracitados, teve-se por finalidade desenvolver esta pesquisa científica para analisar o comportamento dos esforços de usinagem no roscamento do Aço ABNT 1045 quando utilizados dois níveis de entrada da ferramenta ou movimentos de ajustes para seis níveis de passe de rosca.

Os ensaios foram realizados segundo um planejamento fatorial aleatorizado por níveis, modelo de efeito fixo, para os níveis ajuste ferramenta e passe da ferramenta. Cada ensaio foi repetido três vezes, totalizando seis ensaios e dezoito resultados para os esforços de corte e/ou momento torçor, de avanço e passivo da ferramenta. Utilizou-se corpos de prova de aço ABNT 1045 cilíndricos com diâmetro Ø30mm e 40mm de comprimento.

Os esforços de usinagem foram monitorados por um conjunto de instrumentos da KISTLER e analisados através de um tratamento estatístico pela análise de variância (ANOVA), cujo objetivo é discutir o comportamento dos esforços de usinagem em função das variáveis citadas acima.

2. REVISÃO DA LITERATURA .

2.1. Roscamento

Conforme descreve Ferraresi (1995) e Carvalho (2011), o roscamento é um processo mecânico complexo de usinagem ou conformação, que se destina à obtenção de filetes com perfis roscados, por meio da abertura de um ou mais sulcos helicoidais de passo uniforme, em superfícies cilíndricas ou cônicas de revolução. Podem ser produzidas roscas internas e roscas externas. O processo envolve movimentos de avanço e de rotação entre a ferramenta e a peça, onde uma delas gira enquanto a outra se desloca, simultaneamente, segundo uma trajetória retilínea paralela ou inclinada em relação ao eixo de rotação, ou ainda, apenas uma delas executa os dois movimentos, ou seja, gira e avança enquanto a outra fica parada.

Dentre os processos que envolvem a remoção de cavacos, ou seja, de usinagem, esse é um dos mais utilizados, já que no sistema de montagem de peças a rosca é mais indicada devido à sua versatilidade.

Segundo Rodrigues (2011), os principais aspectos que devem ser observados ao planejar e solucionar problemas em roscamento são: a definição da tecnologia mais adequada de roscamento, o tipo de ferramenta e os parâmetros de corte para a operação. Para definir o roscamento é necessário, antes de qualquer decisão, conhecer o perfil da rosca que será produzida.

O perfil da rosca define sua geometria e inclui os diâmetros da peça (diâmetro principal (d), diâmetro secundário (d_1) e diâmetro de flanco ou efetivo (d_2)), passo (P), ângulo do perfil da rosca ou ângulo de flanco (β), ângulo do filete da rosca (α) e ângulo de hélice (ϕ), conforme mostra a Figura 1.

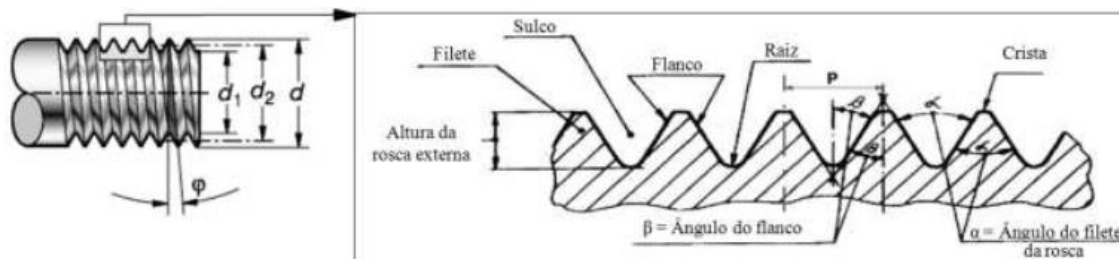


Figura 1. Perfil básico de rosca (adaptado de CRUZ, 2008 e SANDVIK, 2010)

2.2. Torneamento de Rosca

A operação de usinagem da rosca por torneamento, conforme Figura 2, é um processo fácil e muito conhecido. É um método muito produtivo de fabricação de rosca e abrange o maior número de perfis apresentando uma demanda considerável de produção. A rosca é obtida através de passes consecutivos da ferramenta de corte sendo ajustada gradativamente até a obtenção do filete completo (Sandvik, 2010).



Figura 2. Torneamento de rosca (SANDVIK, 2010)

Muitos conjuntos disponíveis de ferramentas permitem aplicações internas e externas, possibilitando também a produção de rosas de todos os tamanhos e perfis.

Conforme Sandvik (2010) existem alguns estágios no processo de roscamento que são considerados críticos e devem ser analisados antes do início do processo. São eles: a faixa de avanço que deve ser igual ao passo da rosca; a escolha adequada do número de passadas para a usinagem da rosca; o ajuste da ferramenta ou profundidade de corte; a forma de cavacos; alinhamento da ferramenta e altura do centro; balanço da ferramenta e escoamento do cavaco (roscamento interno).

2.2.1. Estratégias de corte no Roscamento

De acordo com Lira (2000) existem três estratégias de corte utilizadas durante os passes para chegar até a profundidade de corte plena, que é a profundidade total da rosca. São elas: penetração radial, avanço de flanco modificado e penetração incremental.

O método de ajuste determina como a ferramenta é aplicada à peça para criar o formato da rosca e influencia diretamente no controle de cavacos, na qualidade da rosca, no desgaste da pastilha e, conseqüentemente, na vida da ferramenta, ver Figura 3. (SANDVIK, 2010).

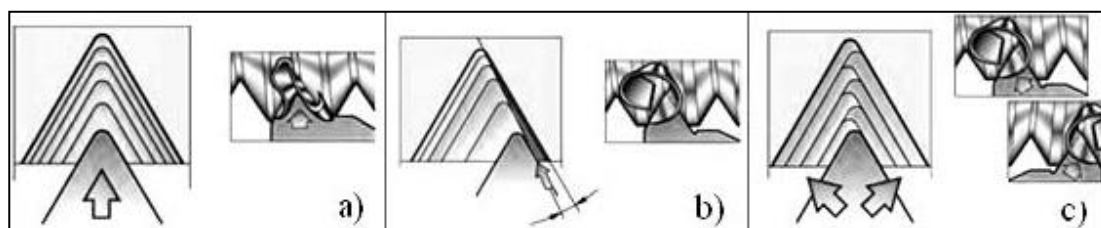


Figura 3. Estratégias de corte: a) radial; b) flanco modificado; c) incremental (adaptado de SANDVIK, 2010)

Independente da estratégia de corte da ferramenta utilizada, duas maneiras diferentes de ajustes ou profundidade de corte por passe podem ser escolhidas. Profundidades de corte constantes (PCC), com áreas das secções de corte variáveis, Figura 4-a. e profundidades de corte variáveis (PCV), com as áreas das secções de corte constantes, Figura 4-b.

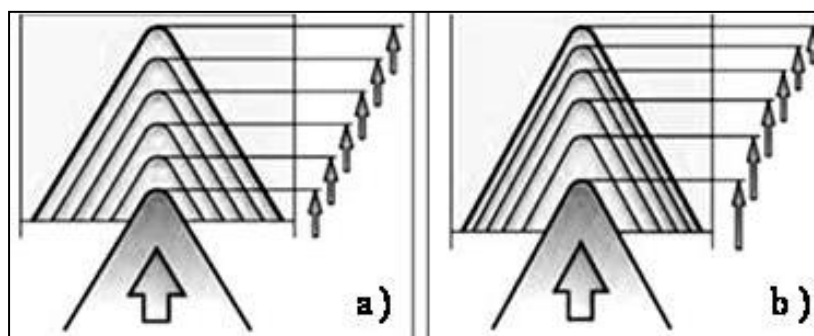


Figura 4. Profundidade de corte: a) constante; b) variável (adaptado de SANDVIK, 2010)

Conforme descreve (Lira, 2000), a profundidade de corte variável (PCV) é o método mais comumente usado para melhorar o resultado da usinagem. Apesar do primeiro passe da ferramenta ser mais profundo, a área da secção de corte apresenta-se de forma equilibrada, influenciando em cargas uniformes na pastilha de corte.

A profundidade de corte constante (PCC) é mais exigente com a pastilha de corte, pois cada passe tem a mesma profundidade com aumento sucessivo da área de corte, independente do número de passes.

2.3. Esforços de Usinagem

O conhecimento do comportamento e da ordem de grandezas dos esforços de usinagem é fundamental nos processos de usinagem. (DINIZ et al., 2008). A obtenção das forças presentes nos processos de usinagem possui grande importância pelo fato de determinarem a potência efetiva de usinagem, sendo utilizadas no projeto de máquinas-ferramentas e, também, servirem como um indicativo da usinagem dos materiais, pois quanto maior a força empregada, mais difícil tende a ser a usinagem do material. Esta medição normalmente ocorre por meio do emprego de dinamômetros extensométricos ou piezelétricos (MACHADO et al., 2009).

As forças de usinagem são consideradas como uma ação da peça sobre a ferramenta, sendo a força resultante (tridimensional), chamada força de usinagem (F_u), que atua sobre a cunha cortante, conforme mostrado na Figura 5, da qual nem a direção nem o sentido são conhecidos, o que torna muito difícil sua medição direta. (AMORIM 2002).

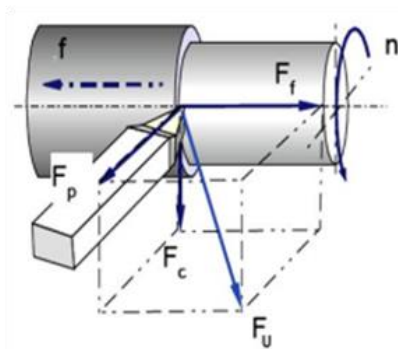


Figura 5. Representação das componentes das forças de corte atuantes no torneamento (STOETERAU, 2004)

A força de corte pode ser expressa pela Equação (1):

$$F_c = K_s \cdot A \quad (1)$$

Sendo:

F_c : força de Corte, K_s : pressão específica de corte e A : área da secção de corte.

Alguns fatores influenciam na força de corte. O avanço (f) e o ajuste da ferramenta ou profundidade de corte (a_p), são dois parâmetros que tem influencia na elevação da força de corte. Conforme descreve Amorim (2002), o conhecimento das variáveis que afetam as forças de usinagem é importante para o correto projeto do processo, levando em consideração principalmente os aspectos econômicos envolvidos na usinagem. Dentre esses parâmetros podem-se citar: material da peça, velocidade de corte (v_c), avanço (f), profundidade de corte (a_p), material da ferramenta, fluido de corte e força específica de corte (K_s).

3. METODOLOGIA

Os procedimentos experimentais foram realizados no Laboratório de Usinagem da Área de Processos de Fabricação do DEMEC / UFSJ. Foram executados ensaios de roscamento, em corpos de prova cilíndricos de Aço ABNT 1045 com diâmetro Ø30mm x 40 mm de comprimento, conforme mostrado na Figura 6.

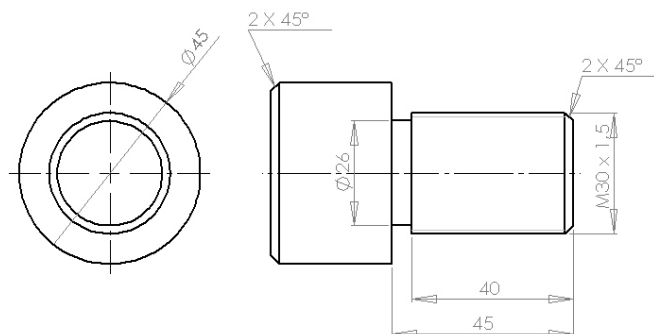


Figura 6. Corpo de prova

Os ensaios de rocamento foram executados com a estratégia de corte radial para diferentes ajustes, conforme descrito na Tabela 1. Foram realizados sem o uso de fluido de corte, $vc = 60$ m/mim para a rosca métrica M30 x 1,5.

Tabela 1. Estratégia de corte

Ajuste da ferramenta (ap)	
Radial	Constante
Radial	Variável

Para os ensaios foi selecionada a ferramenta de metal duro com cobertura 266RG-16VM01A002M 1125 e porta ferramenta 266RFG-2020-16, conforme Sandvik.

As variáveis de controle adotadas na pesquisa foram o passe da rosca e o movimento de ajuste da ferramenta. A Tabela 2 representa os fatores de controle adotados na pesquisa.

Tabela 2. Fatores de controle adotado

Variáveis de controle	Nº de níveis	Especificação
Movimento de ajuste da ferramenta	2	Radial (ap) constante
(j)		Radial (ap) variável
Passe da ferramenta (i)	3	2º 4º e 6º passe

Os valores de ajustes da ferramenta (ap), foram obtidos considerando a usinagem da rosca em seis passes, conforme mostrado Tabela 3. Com valores de (ap) constante e, também, variável para manutenção da área de corte (A). Assim, a profundidade da rosca foi de 0,975 (mm) para todos os níveis de ajustes da ferramenta.

Tabela 3. Dados de profundidade de corte

		ap (constante)	ap (variável)
Passes	1º	0,1625	0,398
	2º		0,164
	3º		0,127
	4º		0,107
	5º		0,094
	6º		0,085

Foi utilizado para a usinagem o Centro de Torneamento ROMI GL 240M com velocidade de avanço rápido longitudinal e transversal de 30 m/mim, potência máxima na árvore de 15 KW, rotação máxima de 6000rpm e CNC Fanuc Oi TD.

As variáveis de respostas como a força de corte, força de avanço e força passiva foram monitoradas com auxílio de um dinamômetro piezoelétrico estacionário com quatro canais Kistler 9272, um amplificador de sinais Kistler 5070A e o software DynoWare também fornecido pela Kistler. O sistema de aquisição destas variáveis foi interligado com um microcomputador com processador Intel Pentium Dual Core 2.2GHz com 2GB de memória RAM, cujos resultados foram analisados e discutidos após procedimentos estatísticos.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Serão apresentados e discutidos os resultados obtidos no roscamento do aço ABNT 1045, para uma rosca de diâmetro 30 (mm) e passo de 1,5 (mm), ou seja: M30 x 1,5 mm.

Foram analisados os resultados dos esforços de usinagem para as condições de ajustes da ferramenta radial (ap) constante, seção de corte (A) variável e radial (ap) variável com seção de corte (A) constante.

4.1. Análise da força de corte (F_c [N])

De posse dos resultados da força de corte (F_c) nos três níveis de passe da rosca e nos dois níveis de movimento de ajuste da ferramenta, conforme previsto no planejamento dos experimentos, pôde-se verificar a uniformidade da distribuição dos esforços de corte e a análise do teste de hipótese, com 95% de confiança, para o aceite ou não da igualdade dos tratamentos propostos, assim como suas correlações.

Da análise de variância para força de corte (F_c), verificou-se que pelo menos uma de cada variável nível do passe da ferramenta (i) e ajuste da ferramenta (j) ou um par entre ambas influenciam a força de corte (F_c).

Aplicando-se a técnica de contraste, que permite avaliar a igualdade ou não entre as médias de dois níveis para as variáveis, observou-se que todos os três passes da ferramenta (i) analisados interferiram na força de corte (F_c), sendo que para o ultimo passe, correspondente ao final da rosca, a força de corte demonstrou ser mais intensa independente do método de ajuste da ferramenta (j).

Isto pode ser explicado pelo maior comprimento de aresta de corte da ferramenta, tanto principal como secundária, em contato com a seção usinada.

Na análise da força de corte (F_c), com relação ao movimento de ajuste da ferramenta (j), observou-se um aumento menos significativo comparado aos níveis dos passes (i). Porém, a mesma manteve-se maior para o ajuste da ferramenta (ap) mantido constante, devido ao efeito crescente da seção de corte (A) no processo.

Ainda, da análise da interação entre os movimentos de ajustes (j) e passe da ferramenta (i), pode-se dizer que houve maior influência significativa de, pelo menos um par de variáveis passe e ajuste, quando comparada a variável em separada ajuste (j). E, neste caso, apresenta-se o maior valor para força de corte (F_c) também no final da rosca, ou seja, no último passe quando o movimento de ajuste radial (ap) é mantido constante.

Este fato se explica pelo acréscimo da seção de corte (A) com o decorrer dos passes (i) e, conseqüentemente, da força de corte que mantém uma relação direta com esta.

A Figura 7. representa os valores médios da força de corte (F_c), e sua variabilidade com 95% de confiança, em função do movimento de ajuste no decorrer dos passes. Observam-se maior coeficiente de crescimento para a condição de ajuste radial (ap) constante, pois para a escolha do primeiro passe a secção da área removida correspondente a este ajuste, foi menor quando comparado ao método de ajuste variável.

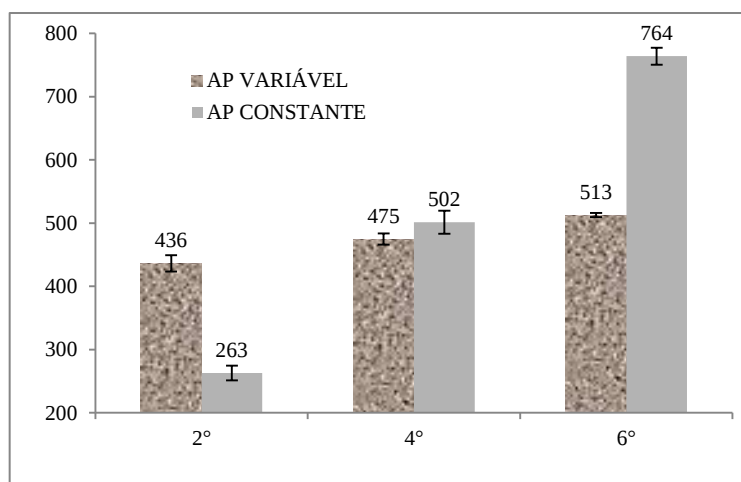


Figura 7. Força de corte para penetração radial (N)

4.2. Análise da força de avanço (F_f [N])

Continuando a análise dos esforços de usinagem, observou-se pelos resultados da força de avanço da ferramenta (F_f) em função dos passes (i) e da penetração radial da ferramenta (j), e pela análise de variância, que ambas variáveis e suas interações interferem nesta variável do processo.

Assim, da análise de contraste, observou-se que todos os passes da ferramenta influenciam na força de avanço, mostrando uma resposta crescente em função da progressão dos passes da mesma, conforme Figura 8. Isto se deve ao aumento da resistência ao avanço da ferramenta pelo aumento da aresta efetiva de corte.

Observou-se maior resíduo para a força de avanço na condição de primeiro passe da ferramenta para ajuste radial variável. Isto se deve ao fato de se ter estimado um valor maior para o primeiro passe comparado ao ajuste constante da ferramenta.

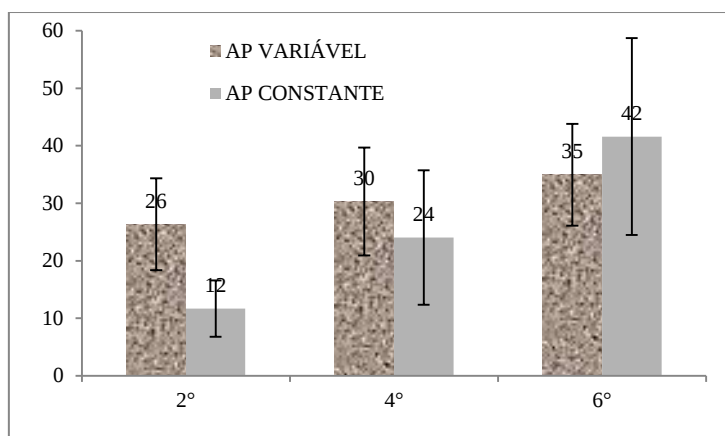


Figura 8. Força de avanço para penetração radial [N]

4.3. Análise da força passiva (F_p [N])

A análise da força passiva (F_p) conduziu a resultados com as mesmas tendências observadas para força de corte, cujos dados estão mostrados na Figura 9.

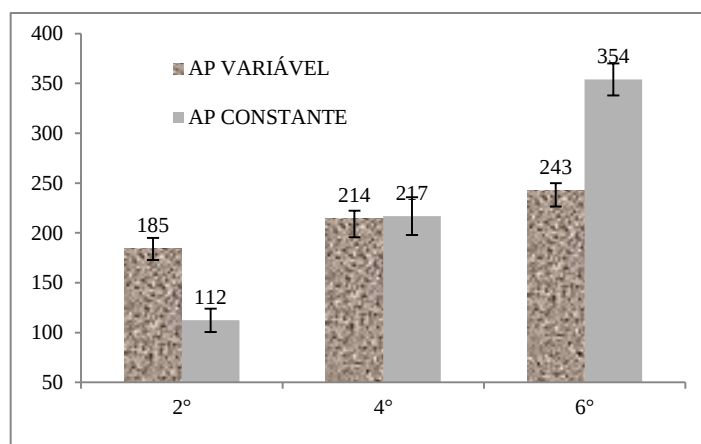


Figura 9. Força passiva para penetração radial [N]

Destaca-se, neste caso, que para uma rosca métrica o ângulo de posição da aresta principal de corte (χ_r) é de 60°, o que representa uma projeção da superfície de folga da ferramenta significativa com relação à direção normal a esta força passiva. Este fato aumenta o esforço como mostrado pelos resultados acima.

5. CONCLUSÕES

Da análise dos resultados da pesquisa de roscamento do aço ABNT 1045, sem uso de meio auxiliar de corte, e ferramenta de metal duro com cobertura GC1125 e tipo 266RG-16VM01A002M 1125 e suporte direito 266RFG-2020-16, pode-se concluir que:

- As componentes ortogonais da força de usinagem (F_u) se mostraram diferentes e influenciadas pelo passe e juste da ferramenta;
- Existe relação de dependência entre o método de entrada, ou ajuste, da ferramenta com os passes da rosca;
- Devido à projeção da aresta de corte na direção do avanço ser significativamente diferente, observou-se uma dispersão grande nos resultados para a força de avanço;
- Com base nos resultados encontrados nos ensaios de roscamento dessa pesquisa, quando mantido o ajuste radial da ferramenta, recomenda-se o uso de seção de corte constante, ajuste (ap) variável, para minimizar os efeitos das elevadas forças por ocasião do término das roscas.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UFSJ pelo apoio para realização deste trabalho. Agradecemos a FAPEMIG e a CAPES/CNPQ pelo apoio financeiro para realização da pesquisa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, H. B. Análise de diferentes estratégias no processo de roscamento do aço inoxidável duplex. 2013. 94f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica. Faculdade de Tecnologia do SENAI, Joinville, 2013.
- Amorim, H. J. Estudo da Relação Entre Velocidade de Corte, Desgaste de Ferramenta, Rugosidade e Forças de Usinagem em Torneamento com Ferramenta de Metal Duro. 2002. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica. Porto Alegre, 2002.
- Carvalho, A. O. Análise da dinâmica do Processo de roscamento por conformação na Liga de Magnésio AM60. 2011. 113 p.. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São João del Rei, São João del Rei, 2011
- Degarmo, E.P.; Black, J.T; Kosher, R.A. Materials and processes in manufacturing. Eighth edition. NJ: Prentice Hall, 2008.
- Diniz, Anselmo Eduardo; Marcondes, Francisco Carlos; Coppini, Nivaldo Lemos. Tecnologia da Usinagem dos Materiais. 8. ed. São Paulo: Artiber, 2013.
- Ferraresi, D. Fundamentos da usinagem dos metais: usinagem dos metais. São Paulo (SP): Edgard Blucher, 1970. 751 p.

- Lira, V. M. Otimização de parâmetros do corte na usinagem de roscas em tornos CNC. 2000. 102 p Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2000.
- Machado, A. R.; Abrão, A. M.; Coelho, R. T.; Silva, M. B. Teoria da Usinagem dos Materiais. São Paulo: E. Blücher, 2009. 384p.
- Rodrigues, Marcelo Acácio. Visão geral da fabricação de elementos roscados por usinagem. Revista do parafuso. Editora Milatias Ltda. São Paulo. 25 ed., Mar.2011. Disponível em: <www.revistadoparafuso.com.br>. Acesso em 14 dez. 2014.
- Sandvik. Guia de aplicação – Rosqueamento. São Paulo: SandvikCoromant, 2010.
- Stoeterau, R. L. Processos de Usinagem: Fabricação por Remoção de Material. Apostila do Curso de Engenharia Mecânica UFSC. Santa Catarina, 2004

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ANALYSIS OF MACHINING FORCES IN THE ABNT 1045 STEEL THREADING WHEN USED RADIAL CUTTING STRATEGY DIFFERENT MOVEMENTS OF TOOL SETTINGS.

Natália Fernandes Pinto, natyferf@hotmail.com ¹

Durval Uchôas Braga, durval@ufsj.edu.br ¹

Frederico Ozanan Neves, fred@ufsj.edu.br ¹

¹ Universidade Federal de São João Del Rei, Praça Frei Orlando, 170–CEP: 36.307-352 São João Del Rei MG.

Abstract: The threading process is present in many parts produced in the mechanical metal sector industry. One of the main forms of union between parts in the mechanical industry is fixing with screw. Because it is a widely used process and also present great complexity, this work was motivated by evaluating the machining efforts in threading the ABNT 1045 steel when used radial cutting strategy with different tool settings. adjustments strategies were planned on two levels, with the radial with cutting depth (ap) with constant radial (ap) variable. The adjustments were made considering the machining of the thread in six passes. With the aid of an experiment planning for randomized levels, it was possible to organize the input variables and evaluate its influences on response variables: cutting force (Fc), feed force (Ff) and passive force (Fp). To analyze the results with 95% reliability, treated by statistical tool, ANOVA, for a normal distribution, there are the influences of both the tool settings as the passes in machining efforts.

Keywords: Machining. Threading. Machining Forces.