

Estudo da Relação Entre as Forças Axial e Radial e o Desgaste da Ferramenta para o Processo de Rosqueamento Interno

Alexandre Martins Reis

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Bloco 1M, Campus Santa Mônica, Cep: 38400- 089 , Uberlândia- MG- Brasil; amreis@mecanica.ufu.br

Guilherme Andrade Bichuette Coelho

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Bloco 1M, Campus Santa Mônica, Cep: 38400- 089 , Uberlândia- MG- Brasil; gbichuette@bol.com.br.

Fúlvio Queiroz Barbosa

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Bloco 1M, Campus Santa Mônica, Cep: 38400- 089 , Uberlândia- MG- Brasil; fqbarbosa@mecanica.ufu.br .

Marcio Bacci da Silva

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Bloco 1M, Campus Santa Mônica, Cep: 38400- 089 , Uberlândia- MG; mbacci@mecanica.ufu.br

Resumo. *Este trabalho tem como principal objetivo verificar o comportamento das componentes radial e axial da força de corte, durante o processo de rosqueamento interno com machos de corte, e sua relação com o estado de desgaste da ferramenta. As componentes da força de corte foram obtidas utilizando um dinamômetro piezoelétrico Kistler 9265. Foram utilizados quatro tipos de materiais de ferramenta de aço-rápido (convencional, com adição de vanádio, nitretado e obtido pela metalurgia do pó) em cinco estágios de desgaste diferentes: ferramenta nova, após a usinagem de 450 roscas, 900 roscas, 1350 roscas e 1800 roscas. Análises de variância dos resultados obtidos indicam que o desgaste das ferramentas e o material da ferramenta exercem influência significativa nos valores máximos negativos da componente da força de corte axial, durante o retorno da ferramenta. Os resultados relativos à componente de força radial indicam que um aumento da força tem relação direta com a perda de simetria da ferramenta de corte, que acontece devido aos desgastes e avarias heterogêneas geradas durante a vida do macho de corte.*

Palavras-chave: *rosqueamento interno, monitoramento, força de corte, desgaste.*

1. INTRODUÇÃO

O rosqueamento interno com macho de corte é uma das operações de usinagem mais comuns, e frequentemente, uma das últimas realizadas sobre a peça que neste caso já possui um alto valor agregado ⁽¹⁾, ou seja, qualquer falha neste processo, pode resultar em refugo ou re-trabalho. Esta operação é uma das mais complicadas, dentre os processos de usinagem, devido aos problemas ocasionados pelas dificuldades de remoção do cavaco e de lubrificação na zona de corte, adicionados à necessidade de uma relação fixa e inalterável entre a velocidade de corte e o avanço, definida pelo passo da rosca ⁽²⁾. É também uma operação onde o ciclo completo dura alguns segundos e se divide em dois estágios: corte e retorno ⁽¹⁾. O primeiro pode ser dividido em imersão e estado estável de corte ⁽³⁾. A imersão corresponde ao momento em que os filetes cortantes do macho, ou seja, os filetes da parte cônica mais o primeiro filete da parte cilíndrica ⁽⁴⁾, entram na peça. Neste estado, os esforços de corte variam com o tempo. No estado estável de corte, todos os

dentada da porção cortante, estão em ação, e os esforços se mantêm praticamente constantes, sendo, a região mais indicada para monitoramento de sinais.

Desgastes e avarias gerados durante o rosqueamento aparecem em maior intensidade nas arestas da região cônica, que é a primeira porção do macho a cortar a peça ⁽⁵⁾. Alguns fabricantes de ferramentas reconhecem 4 tipos de avarias e desgastes no macho (Figura 1): 1) O lascamento; 2) O desgaste propriamente dito; 3) O rasgamento que é o arrancamento da camada superior da crista de um ou mais filetes do macho; 4) Adesão de materiais da peça sobre os filetes do macho, seguida ou não de arrancamento de material da ferramenta. O desgaste dos machos, assim como em outras ferramentas de usinagem, se desenvolve tanto na superfície de saída como na de folga, dependendo do material da peça e das condições de corte, e podem influenciar diretamente as variáveis do processo, como temperatura, potência, e força de corte. Deste modo, o monitoramento de tais variáveis pode ser útil na determinação do estado de desgaste do macho.

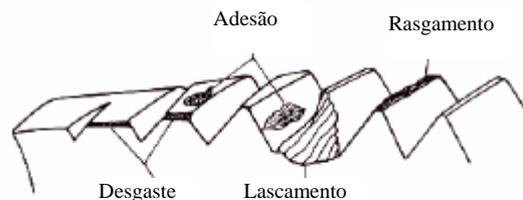


Figura 1. Avarias e desgastes que ocorrem em machos de corte ⁽⁴⁾.

O monitoramento indireto do desgaste de ferramentas de corte, via análise de sinais de força, já foi bastante estudado, e mostrou sua eficiência no torneamento, fresamento e furação. Contudo, devido às características, citadas anteriormente, poucos trabalhos abordam este assunto, para o rosqueamento interno com machos. Assim, o principal objetivo deste trabalho é monitorar os sinais de força axial e radial gerados no rosqueamento interno com machos em diversos graus de desgaste, verificando como estas forças se comportam nos diferentes estágios do rosqueamento, e determinando a influência que o desgaste do macho exerce sobre estes sinais.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foram utilizadas 15 ferramentas de HSS AISI M7 convencional (HSS), 15 de HSS AISI M7 com tratamento superficial de nitretação a plasma (HSS-NI), 15 de HSS-E (HSS-AISI-M3 com 3% de vanádio), e 15 de HSS AISI M7 fabricadas pelo processo de metalurgia do pó (HSS-PM), totalizando 60 machos. Os machos utilizados neste trabalho têm a designação ISO 529 M6 6H, e as seguintes características geométricas: canal reto; 4 canais; 2 filetes no chanfro (parte cônica); ângulo de entrada: 20°; ângulo de saída: de 12° a 14°; diâmetro externo: 6mm (M6); passo : 1mm.

O trabalho teve duas etapas: 1) Na primeira foram feitos ensaios de usinagem na FIAT GM POWERTRAIN para atingir quatro estados de desgaste; 2) Na segunda realizaram-se, ensaios de rosqueamento, em laboratório, para medição dos sinais de força radial e axial gerados no processo.

A primeira etapa foi realizada em uma linha Transfer de Usinagem Huller Hille, onde os machos fabricaram roscas em furos cegos com 16,65 mm de profundidade em blocos de motores de ferro fundido cinzento GH-190⁽⁶⁾. As condições de rosqueamento foram: $V_c = 8,5$ m/min e $f = 1$ mm/volta. Utilizaram-se 12 ferramentas de cada tipo de material divididas em quatro grupos de três ferramentas (cada uma em uma posição da máquina: 209, 210 e 211). Cada grupo fabricou as seguintes quantidades de roscas: 450, 900, 1350 e 1800.

Ao fim da primeira etapa passou-se a medição e avaliação das formas de desgaste apresentadas nas superfícies de folga dos machos. A forma como foram feitas estas análises e medições, e os resultados alcançados, foram apresentados em um trabalho anterior ⁽⁷⁾.

Os sinais de força, foram medidos com um dinamômetro Kistler 9265, na fabricação, sem fluido de corte, de roscas de 6 mm de diâmetro externo e 8,25 mm de profundidade em furos de 5 mm de diâmetro e 15,65 mm de profundidade, com 3 ferramentas novas de cada material, e as ferramentas empregadas na primeira etapa. Os corpos de prova, foram barras de ferro fundido cinzento GH-190,

com 200x120x30 mm. Esta etapa foi realizada em uma Fresadora ROMI Interact IV de potência máxima 10 KW e 4000 rpm de rotação máxima do eixo árvore, utilizando-se um cabeçote flutuante Sanches Blanes MRCK – 112-7 ISO 40, com função principal de evitar a falta de sincronismos entre os movimento de avanço e de rotação do eixo árvore que normalmente ocorrem nas máquinas ferramentas CNC ⁽⁸⁾.

Com cada macho foram fabricadas roscas em três furos consecutivos, e durante esse tempo adquiriram-se os sinais de força a uma taxa de 3000 pontos por segundo. Assim, a cada três furos, trocava-se a ferramenta e repetia-se o ensaio. Todas as roscas feitas neste trabalho, foram verificadas periodicamente com um calibre passa-não-passa para rosca M6x1,0 6H.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com relação ao estado de desgaste e avaria, os materiais de ferramenta podem ser classificados em ordem decrescente de desgaste, da seguinte forma: HSS, HSS-NI, HSS-E, HSS-PM. Estes resultados foram apresentados e discutidos em um trabalho anterior ⁽⁷⁾.

As forças radiais F_x e F_y , e axial F_z são as componentes da força de corte nas direções, indicadas na Figura 2. No caso do rosqueamento, apesar dos sinais de F_x e F_y estarem defasados de 90°, para um mesmo dente, eles representam na verdade o mesmo fenômeno, ou seja, a força radial exercida pela ferramenta sobre a peça. Neste trabalho optou-se por medir apenas uma delas (F_x).

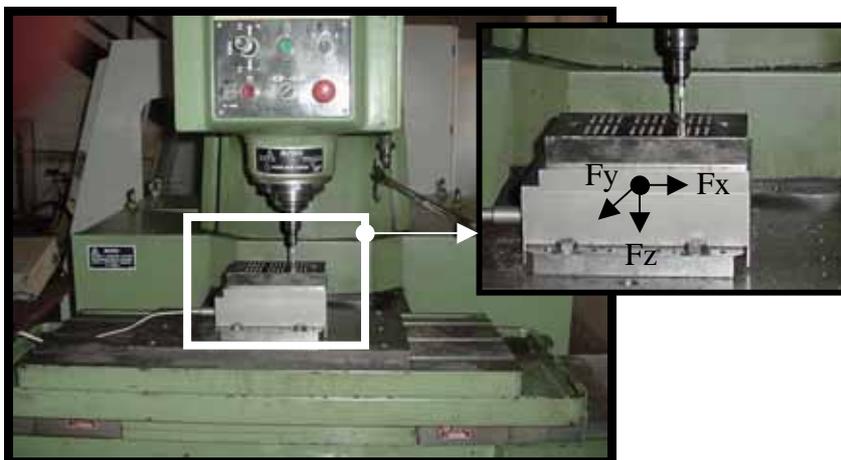


Figura 2. Aparato para medição de F_z , F_x e F_y , mostrando no detalhe os sentido de F_z , F_x e F_y .

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados relativos aos sinais de F_z e F_x monitorados neste trabalho, destacando o comportamento destas forças nos diferentes estágios do rosqueamento, e procurando relacionar os sinais de F_z e F_x com o grau de desgaste do macho, e com o material de ferramenta utilizado.

3.1. Resultados relativos a F_z

O aspecto do sinal de força axial medido é mostrado no gráfico de F_z versus tempo (Figura 3.a). Neste gráfico pode-se distinguir 8 regiões: A, B, C, D, E, F, G e H. Percebe-se inicialmente que quando o motor do eixo de rotação da máquina está em “vazio”, região A, a força F_z é zero, pois não há contato da ferramenta com a peça fixa sobre o dinamômetro. Uma vez que o macho encosta-se à peça, surge uma força F_z positiva que cresce até atingir aproximadamente 30 N (região B), indicando que a ferramenta passou a comprimir a peça. Esta região B caracteriza o momento em que os filetes cortantes do macho (os dois filetes da parte cônica, mais o primeiro da parte cilíndrica) entram na peça, e é denominada por alguns autores ⁽³⁾, de estado de imersão. Ao final de B, inicia-se o estado estável de corte C, durante o qual F_z permanece aproximadamente constante. Esperava-se que esta força se mantivesse constante e positiva durante todo o estágio de corte, contudo isto não ocorreu, pois na região D do gráfico houve uma queda de F_z e esta deixou de ser uma força positiva (de compressão) e passou a ser negativa (de tração). Este comportamento de F_z

está relacionado com dois fatores principais: 1) Máquina Ferramenta: O motor responsável pelo avanço do mandril da máquina pára (exatamente no ponto de transição da região C para a região D) antes do motor de rotação do eixo árvore; 2) Cabeçote utilizado: As características do cabeçote flutuante (Figura 3.a), que possui uma mola, de tal forma que quando o mandril interrompe o avanço, mas continua girando, esta mola se distende, para impedir que a ferramenta se quebre no interior do furo e garantir o sincronismo entre os movimentos de avanço e de rotação do eixo árvore. É esta distensão da mola que provoca a força de tração medida. Na região E do gráfico de força onde a ferramenta está sujeita a uma desaceleração até que a velocidade de corte chegue a zero no final do furo, a força de tração que a ferramenta exerce sobre a peça atinge um valor máximo quando a ferramenta pára. A região F corresponde ao repouso da ferramenta de corte. Nesta região F, como a ferramenta fica parada no final do furo, ela deixa de tracionar a peça, e a força cai gradualmente até chegar a zero. Em seguida, tem início o estágio de retorno (região G), com uma fase inicial onde a força é zero, e depois passa a existir uma pequena força de tração. Na transição de G para H ocorre uma mudança brusca em F_z , de tração para compressão, pois neste ponto a ferramenta deixa a peça, e a partir daí a força se mantém constante e bem próxima de zero.

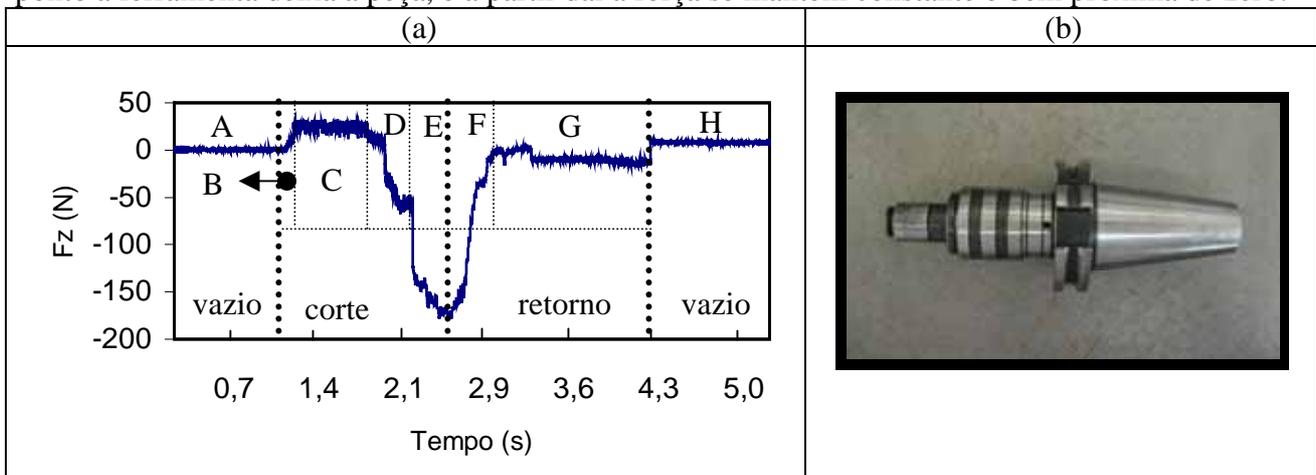


Figura 3. (a) Gráfico dos sinais de F_z versus tempo, para uma ferramenta nova de HSS; (b) Cabeçote flutuante, utilizado na segunda etapa.

Pelo comportamento de F_z nas regiões D, E, F e G, da Figura 3.a, percebe-se que a flutuação axial que o cabeçote concede ao macho durante o rosqueamento interno, não tem somente a missão de evitar erros de sincronismos entre os movimento de avanço e de rotação do eixo árvore que normalmente ocorrem nas máquinas ferramentas CNC⁽⁸⁾, mas também exerce uma função importante no rosqueamento de furos cegos, evitando que a ferramenta se quebre durante a desaceleração no final do furo, que ocorre neste tipo de operação. Para entender melhor o comportamento apresentado por F_z , deve-se conhecer a origem desta força. Segundo Sha *et al.*⁽⁸⁾ existem três fontes possíveis para a força axial F_z durante o estágio de corte no rosqueamento:

1. Força normal sobre a superfície de folga nas condições de estado estável de corte;
2. Força normal sobre a superfície de folga na entrada da rosca;
3. Força normal sobre a superfície de saída nos machos de corte cujos canais não são retos.

Neste trabalho onde os canais das ferramentas são retos não existe uma componente da força axial proveniente da superfície de saída. Desta forma, a força F_z medida é gerada basicamente no contato da superfície de folga da ferramenta com a superfície da peça. Na Figura 4.a estão ilustradas as forças normais (F_N) exercidas pela peça sobre as arestas de corte na superfície de folga da ferramenta, para o primeiro filete, onde apenas duas arestas de corte estão em ação. Nesta mesma figura, são mostradas também as componentes destas forças na direção axial e radial, bem como as forças normais reativas que a ferramenta exerce sobre a peça, nas mesmas direções e com as mesmas intensidades, mas com sentidos opostos. No entanto, em um estágio mais avançado de corte, existirão regiões onde para um mesmo dente três arestas cortantes estarão em ação, fazendo com que apareça uma terceira força normal, com suas respectivas componentes F_{z3} e F_{x3} que possuem o mesmo sentido de F_{z1} e F_{x1} respectivamente (Figura 4.b).

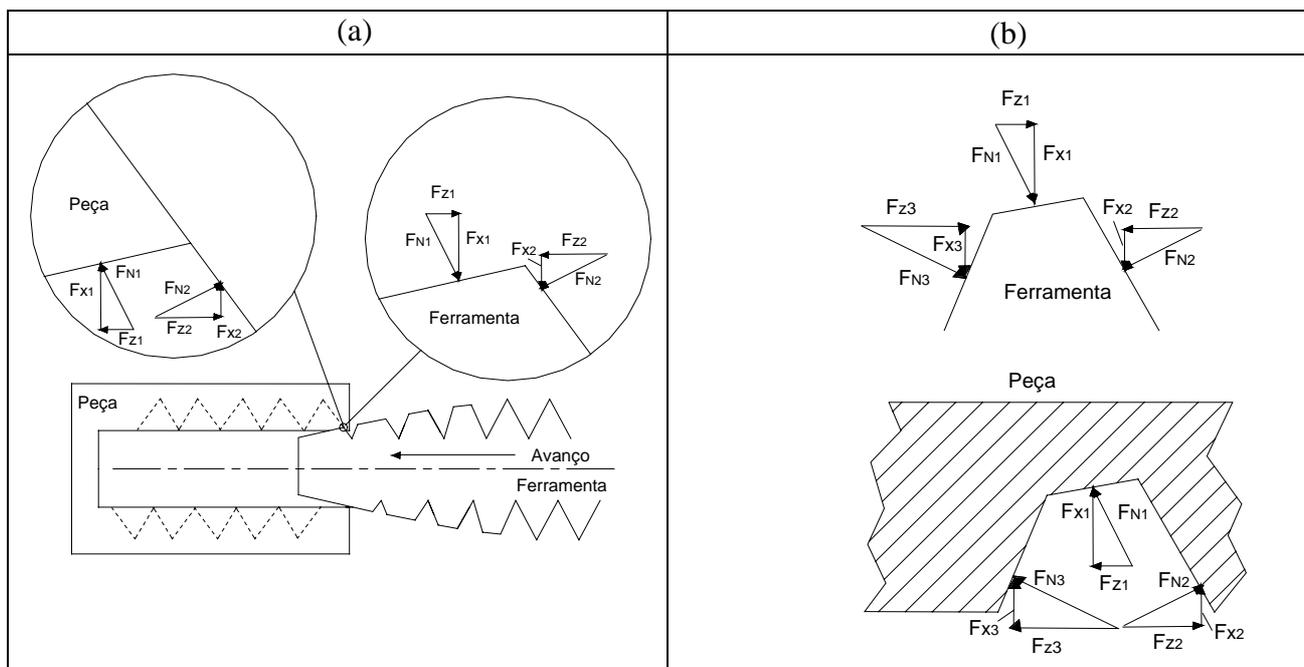


Figura 4. Forças normais exercidas pela peça sobre a ferramenta e vice-versa: a) Para o primeiro filete (duas arestas atuantes); b) Para o segundo filete em diante (três arestas em ação).

Neste trabalho, como a peça está fixada ao dinamômetro, as forças medidas são as que agem sobre a mesma. Assim, a força F_z medida é igual à soma vetorial de $F_{z1} + F_{z2} + F_{z3}$ para todas as arestas da ferramenta. Quando a ferramenta avança o somatório de F_{z2} , em todas as arestas, é menor que o somatório de F_{z1} com F_{z3} , e a força medida é positiva, ou seja, a ferramenta empurra a peça. Quando o motor de avanço é desligado, a ferramenta desce graças ao movimento de rotação do eixo árvore e à somatória das componentes F_{z2} da força que a peça exerce sobre a ferramenta, que neste caso é maior que somatório de F_{z1} com F_{z3} exercidas por todas as arestas, e deste modo a força F_z medida é negativa, indicando que a ferramenta puxa a peça.

Os sinais da componente F_z medidos na segunda etapa, seguiram o comportamento padrão mostrado no gráfico da Figura 3.a, contudo existiram algumas variações, relacionadas principalmente com os valores médios atingidos durante o estágio C, com o valor negativo máximo atingido entre os estágios E e F, e com o valor negativo máximo atingido entre o estágio G e H. Estas variações são ilustradas na Figura 5, onde são mostrados gráficos do sinal medido de F_z em função do tempo de rosqueamento, relativos a duas ferramentas distintas. A fim de se verificar se estas variações seguiram alguma tendência em função do grau de desgaste da ferramenta, ou do material de ferramenta utilizado, foram coletados 3 valores representativos do sinal de força para cada ferramenta testada. O primeiro valor foi calculado da seguinte maneira: tomou-se a média de 2000 pontos da região C, e de 2000 pontos da região A e subtraiu-se uma da outra, a este valor denominou-se F_{zME} . Os outros valores são, o valor negativo máximo entre os estágios E e F ($F_{\max E-F}$), e o valor negativo máximo entre os estágios G e H ($F_{\max G-H}$), tomados diretamente no gráfico.

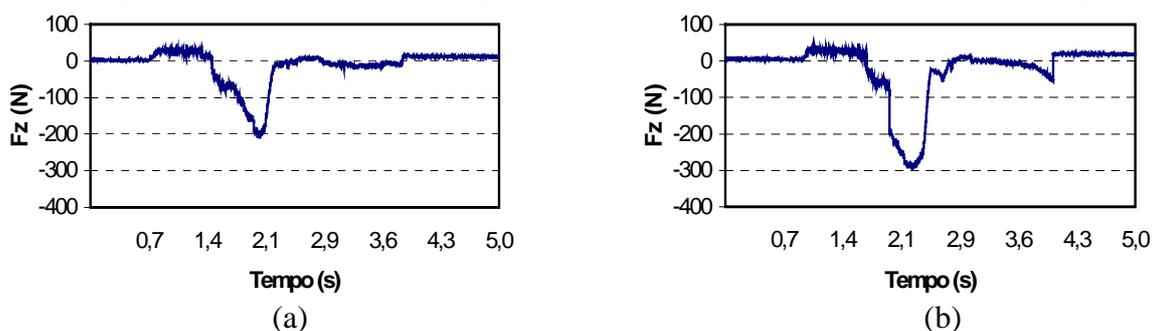


Figura 5. Gráficos de F_z versus o tempo para: a) uma ferramenta de HSS, posicionada no eixo 210, após 450 roscas; b) uma ferramenta de posicionada no eixo 211, após 1800 roscas;

Os valores de F_{zME} , variaram de 22 N a 26 N, ou seja, além de serem baixos, a variação entre eles também é muito pequena. Análise de ANOVA com estes dados confirmaram não haver variação deste parâmetro com o número de furos roscados e com o material de ferramenta utilizado.

O valor $F_{\max E-F}$ variou bastante, de um teste para outro, inclusive para aqueles ensaios tidos como repetições, ou seja, houve casos que para uma mesma condição testada, estes valores apresentaram uma diferença entre si de aproximadamente 100 N. Esta variação pode estar relacionada com o estado de “empacotamento” ou “enclausuramento” do cavaco dentro do furo ⁽⁹⁾, ou seja, o comportamento do cavaco no interior do furo pode estar influenciando o balanço das componentes F_{z1} , F_{z2} , e F_{z3} apresentado anteriormente nas Figuras 4.a e 4.b. A ocorrência e a severidade deste “empacotamento” pode variar de teste para teste, resultando, portanto, em uma variação do valor $F_{\max E-F}$. Apesar dessa variação, análises de ANOVA permitiram verificar que o número de roscas feitas bem como os materiais de ferramenta utilizados influenciaram os valores $F_{\max E-F}$, nos ensaios realizados. Esta influência é ilustrada nos gráficos das Figuras 6.a e 6.b, onde as barras verticais representam um intervalo de 95% de confiança. Quanto à influência do número de roscas feitas (Figura 6.a), o comportamento apresentado no gráfico segue a lógica de que com a evolução de desgaste e avarias nas ferramentas aumentam-se os esforços de corte e conseqüentemente F_z aumenta. Já com relação aos materiais de ferramenta (Figura 6.b), o resultado apresentado, não era exatamente o esperado, pois a princípio acreditava-se que os materiais de ferramenta que apresentaram os piores resultados relativos a desgaste e avarias (HSS e HSS-NI)⁽⁷⁾, seriam também os responsáveis pelos maiores valores de $F_{\max E-F}$. Este último resultado pode também estar relacionado com o “empacotamento” do cavaco.

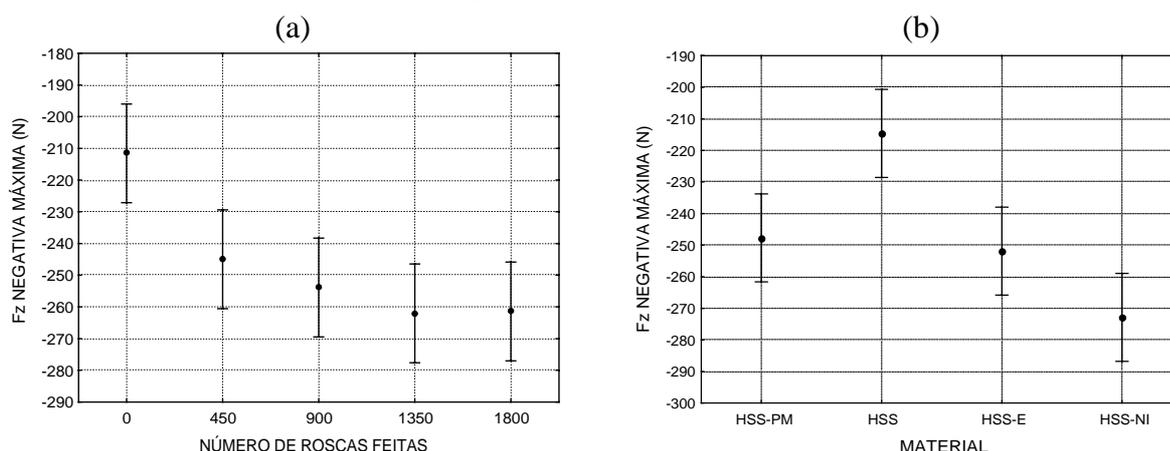


Figura 6. F_z negativa máxima ($F_{\max E-F}$) versus: a) o número de roscas; b) material de ferramenta.

Os valores máximos negativos de F_z na saída da ferramenta ($F_{\max G-H}$) também variaram bastante, de um ensaio para outro, inclusive para as repetições, indicando que estes resultados são frutos de fenômenos aleatórios que neste caso ocorrem durante o retorno da ferramenta. Novamente a explicação pode estar relacionada com o comportamento do cavaco no interior do furo roscado. É provável que no retorno da ferramenta, os cavacos gerados durante o corte e que ficaram aderidos à superfície de folga e aos canais dos machos, ou ainda sobre os filetes de roscas produzidos, sejam conduzidos pelo macho de maneira que no momento no qual os filetes da parte cônica do macho deixam a peça, existe uma concentração de cavacos e até mesmo de resíduos tais como partículas de ferramenta provenientes de lascamentos, entre os filetes do macho e a peça. Este fato altera as condições de força entre a peça e a ferramenta tendendo a aumentar o valor da componente F_{z2} . Assim, quanto maior for a concentração de cavacos, maior será o valor $F_{\max G-H}$. Deve-se observar que o estado de desgaste e de avaria da ferramenta também pode influenciar estes valores. Análises de ANOVA indicaram que tanto o grau de desgaste do macho quanto o tipo de material de ferramenta usado, influenciaram os valores $F_{\max G-H}$. No gráfico de F_z versus o número de roscas feitas (Figura 7.a), onde as barras verticais representam um intervalo de confiança igual a 95%, observa-se que para uma ferramenta bastante desgastada o valor de $F_{\max G-H}$ em módulo é menor que para uma ferramenta nova. Isto também pode estar relacionado com a condição na qual o cavaco se

encontra no interior do furo. Acredita-se que quanto mais desgaste e avarias a ferramenta apresenta, menor será a capacidade dela conduzir o cavaco através de seus filetes, durante o estágio de retorno. Assim uma grande quantidade de cavaco vai ficando pelo caminho, de tal forma que uma mínima porção chegue no final da rosca, diminuindo as tensões nesta região e conseqüentemente os valores de $F_{\max G-H}$ em módulo. Além disso, a ferramenta desgastada retira menos material da peça, e assim a quantidade de cavaco gerado é menor, do que quando se usina com uma ferramenta nova. O comportamento de $F_{\max G-H}$ em função do material de ferramenta empregado é apresentado na Figura 7.b.

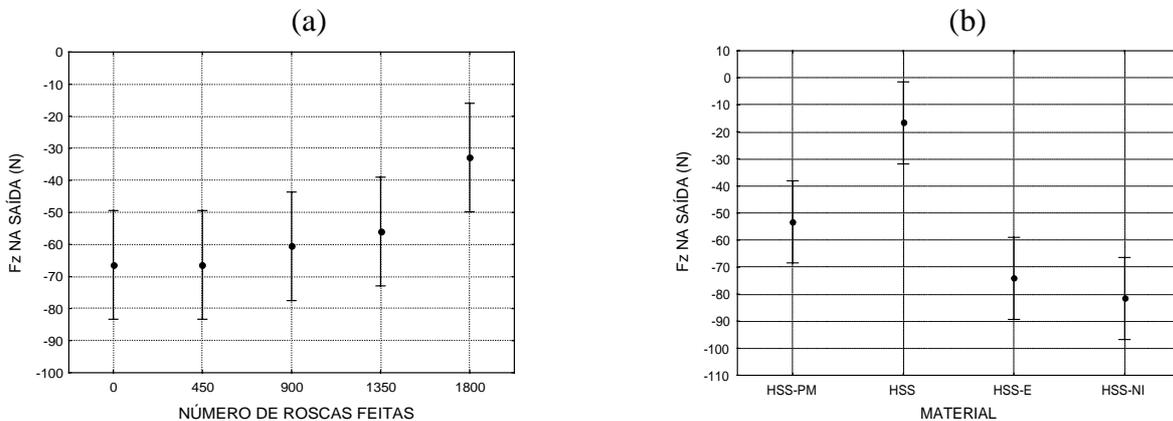


Figura 7. Fz na saída da rosca versus: a) o número de roscas feitas; b) o material de ferramenta.

3.2. Resultados relativos a Fx

É importante salientar que a componente da força radial (F_x) medida, no caso do rosqueamento com um macho de quatro canais, é na verdade uma resultante (na direção x) das forças exercidas pelas arestas de corte geradas nestes quatro canais (Figura 8) ao longo do comprimento da parte cortante do macho. Assim os valores medidos de F_x em função do tempo são dados pela equação 1.

$$F_x(t) = d \left(\sum_{i=1}^n F_{x_{1i}} + F_{x_{2i}} + F_{x_{3i}} + F_{x_{4i}} \right) (t) \quad (1)$$

onde, n = número de dentes (filetes) do macho.

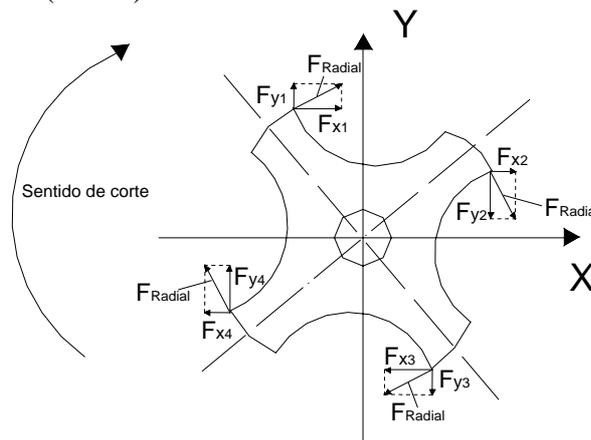


Figura 8. Esquema mostrando as direções e sentidos da força radial e de suas componentes F_x e F_y , nas arestas de corte de um macho com quatro canais.

Como os canais são simetricamente distribuídos no corpo dos machos, as arestas duas a duas são quase que diametralmente opostas (Figura 8), assim enquanto uma exerce um esforço positivo, a outra realiza um esforço semelhante só que negativo, de tal modo que a força resultante (F_x) é pequena. Na Figura 9, é plotado o sinal de F_x versus o tempo, medido para uma ferramenta de HSS com 450 roscas feitas. Nesta figura são destacadas as regiões A, B, C, D, E, F, G e H. Na região A (momento em que a ferramenta se aproxima da peça) o sinal permanece em torno de zero. Do início

da região B (região de imersão) até a região D (região de distensão da mola do cabeçote flutuante, relativa a parada no avanço), o formato do sinal de F_x se assemelha a uma senóide, reproduzindo o movimento helicoidal que a ferramenta descreve ao usinar a peça. O período desta senóide equivale a uma volta completa do macho, assim os três períodos da região de imersão (B), correspondem à entrada dos três primeiros filetes na peça. Na região C (região estável de corte), ocorre à entrada de mais cinco filetes da parte cilíndrica do macho na peça, e nela a magnitude dos picos e vales do sinal de força radial (F_x) permanecem praticamente constante. Por esse motivo, a região C é recomendada para se fazer as análises relativas a detecção de falhas (tais como desalinhamento, batimento, e quebra de dentes) no rosqueamento, através do sinal da força radial ⁽³⁾. Na região D entram mais dois filetes do macho na peça, e a magnitude dos picos e vales e o período do sinal se mantêm aproximadamente constante. Na região E (região de distensão da mola do cabeçote, relativa a desaceleração da rotação do eixo árvore) o sinal continua tendo uma forma senoidal só que com um período um pouco maior, devido à redução da velocidade de rotação. Na região F (repouso) o sinal de F_x se iguala a zero. A região G corresponde ao retorno da ferramenta, onde aparece um pequeno sinal de força radial cujo valor máximo da diferença entre picos e vales gira entorno de 10 N. Esta pequena força no retorno pode ser relacionada com a presença de cavacos nos canais do macho e o atrito entre a superfície de folga dos filetes do macho e a peça. Por fim na região H, a ferramenta já está fora da peça, e F_x é igual a zero.

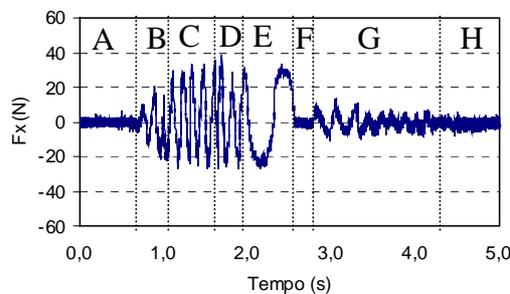


Figura 9. F_x em função do tempo, para uma ferramenta de HSS com 450 roscas feitas.

Para verificar se existe alguma relação perceptível, entre o estado de desgaste da ferramenta e possíveis alterações na magnitude do sinal de força radial, determinaram-se os valores das forças radiais correspondentes à média de cinco pontos, relativos às diferenças entre cinco picos e cinco vales do sinal durante o estado estável de corte, para todas as ferramentas testadas. Com estes valores, obtiveram-se os gráficos de F_x versus o número de roscas feitas, para os materiais de ferramenta utilizados. Estes gráficos são apresentados, na Figura 10, onde as barras verticais correspondem a um intervalo de 95% de confiança. Percebe-se que F_x tende a aumentar com a evolução dos desgastes e avarias. Este aumento está relacionado a dois fenômenos: a) aumento dos esforços de corte, devido principalmente à perda de afiação da ferramenta; b) perda de simetria da ferramenta de corte, que acontece devido aos desgastes e avarias gerados durante a vida do macho. Um eventual lascamento ou perda total de uma aresta, por exemplo, faz com que o trabalho realizado por ela passe a ser feito pela aresta seguinte, provocando uma distribuição assimétrica do carregamento ⁽³⁾ e conseqüente aumento da resultante F_x . Todavia, se existir mais de uma aresta lascada, o comportamento do sinal de F_x dependerá do posicionamento destas arestas no macho. Assim existem pelo menos 3 situações distintas :

1) Mais de uma aresta lascada no mesmo canal: A magnitude do sinal de F_x aumenta. Isto acontece, pois as seções do macho que contêm as arestas quebradas, são completamente assimétricas (assimétricas em relação aos eixos X e Y da Figura 9, em qualquer instante do corte), de tal forma que existem duas componentes de F_x em um sentido e apenas uma no sentido contrário;

2) Mais de uma aresta lascada em canais diferentes, mas consecutivos: A magnitude do sinal de F_x aumenta. As seções do macho que contêm as arestas lascadas são completamente assimétrica, no caso de três arestas lascadas na mesma seção, ou parcialmente assimétricas (são assimétricas em relação ao eixo X ou ao eixo Y, dependendo da posição do macho no corte), no caso de duas arestas lascadas em cada seção, de tal forma que existem apenas uma ou duas componentes de F_x . No caso

de duas componentes, dependendo da posição do macho durante o corte, elas poderão se somar, aumentando o valor medido de F_x , ou se subtrair, gerando um sinal de magnitude semelhante ao obtido por uma ferramenta sem nenhum lascamento, sendo que no geral F_x aumenta;

3) Mais de uma aresta lascada em canais diferentes, mas opostos: F_x apresenta valores próximos aos gerados por ferramentas sem arestas lascadas. Isto ocorre porque para cada seção, em qualquer instante do corte, haverá apenas duas componentes de F_x e com sinais contrários.

Os mesmos efeitos, provocados por arestas lascadas, citados anteriormente, podem ser também causados por desgastes excessivos nos machos.

Nos gráfico da Figura 10, observa-se que os maiores valores de F_x foram obtidos com as ferramentas de HSS, que por sua vez, foram as que apresentaram, os maiores níveis de desgaste medidos, e também um maior número de arestas lascadas⁽⁷⁾. As ferramentas de HSS, com apenas 450 roscas feitas já apresentam elevados valores de F_x , pois se encontram em um estado avançado de desgaste e lascamento⁽⁷⁾. Estes valores de F_x , praticamente se mantêm constantes, para os machos que usinaram 900 roscas. Contudo, os machos de 1350 e 1800 roscas apresentaram valores de F_x menores que os anteriores. Isto pode estar relacionado com uma possível passagem de uma condição onde predominam as situações de lascamento e desgaste 1 e 2, citadas anteriormente, para uma outra condição onde a situação 3 passa a predominar. Para os demais materiais de ferramenta, a medida que se aumenta o número de furos roscados, parece predominar as situações 1 e 2.

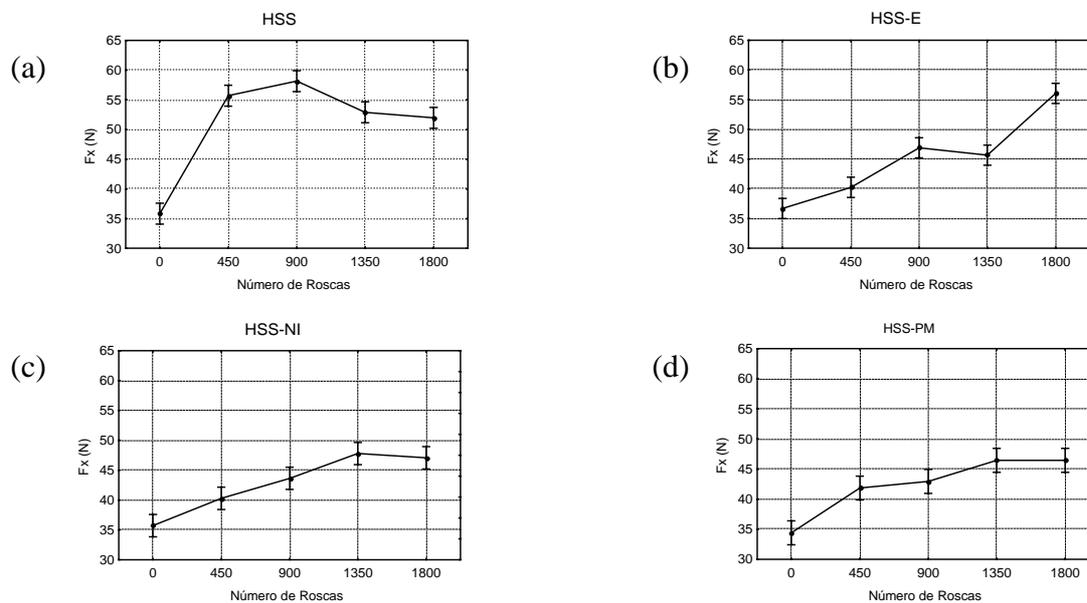


Figura 10. F_x versus o número de roscas feitas, para os diferentes materiais de ferramenta utilizados neste trabalho.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho, para as condições de corte, materiais e ferramentas utilizados, permitem as seguintes conclusões:

1. O tipo de máquina ferramenta (Fresadora ROMI Interact IV) e cabeçote utilizado (cabeçote flutuante Sanches Blanes MRCK – 112-7 ISO) exerceram influência direta no comportamento das componentes da força de corte, durante o rosqueamento.
2. Análises de ANOVA permitiram verificar que o número de roscas feitas e os materiais de ferramenta utilizados influenciaram os valores negativos máximos medidos de F_z bem como os valores máximos negativos de F_z na saída, nos ensaios realizados.
3. O aumento da magnitude do sinal de F_x , além de estar intimamente ligado aos esforços de corte, tem também uma relação direta com a perda de simetria da ferramenta de corte, que acontece devido aos desgastes e avarias heterogêneas gerados durante a vida do macho.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, à FAPEMIG, à FIAT-GM POWERTRAIN, à OSG FERRAMENTAS DE PRECISÃO LTDA, e ao IFM, pelo apoio financeiro, técnico e fornecimento de materiais.

6. REFERÊNCIA

1. SHA, J., NI, J., WU, S. M., Development of a Tap Wear Monitoring Scheme. In: Proceedings of Manufacturing International '90. Part 4: Advances in Materials and Automation, Atlanta, GA, USA, 1990. Proceedings. New York, NY, USA, American Society of Mechanical Engineers (ASME), 1990 (a), p. 137-142.
2. SKF, Manual Técnico SKF. São Paulo: SKF Ferramentas S.A. , 1987, 261p.
3. MEZENTSEV, O. A., ZHU, R., DE VOR, R. E., KAPOOR, S. G., KLINE, W. A., Use of Radial Force for Fault Detection in Tapping, International Journal of Machine Tools & Manufacture 42, 2002, pp. 479-488.
4. OSG ferramentas de precisão Ltda, Manual Técnico/Machos, V.1, São Paulo, 1999, pp. 1-58.
5. BEZERRA, A. A., COELHO, R.T., DA SILVA, L.R, BRAGHINI JR., A., Investigação do Processo de Rosqueamento com Alta Velocidade de Corte em Ferro Fundido. XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Uberlândia – MG, proceedings of COBEM 2001, 2001, Manufacturing Process, v. 14, p. 66-75.
6. NORMAZIONE FIAT Auto S.p.A., Ghisa Grigia, Norma Materiali 52205, 1991, pp. 1-6.
7. REIS, A. M., VIOLATTI, D. C., SEPPE JÚNIOR, W., SOUZA JÚNIOR, A. M., DA SILVA, M. B., Avaliação do Desempenho de Ferramentas de Aço-Rápido no Rosqueamento Interno do Ferro Fundido Cinzento Gh – 190, II Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Uberlândia – MG, proceedings of II COBEF, 2003, 10p.
8. SHA, J.; YUAN, J.X. ; WU, S.M., “Tapping Process Improvement Through Adaptive Thrust Control. In: WINTER ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, Dallas, TX, USA, 1990. *Meeting*. New York, NY, USA, American Society of Mechanical Engineers (ASME), Production Engineering Division – PED, v.44, 1990, p. 407-420.
9. Cao, T., Sutherland, J. W., Investigation of Thread Tapping Load Characteristics through mechanistics modeling and experimentation, Journal of Machine Tools & Manufacture 42, 2002, p. 1527-1538.

Study of the Relationship Between Machinig Forces and Tool Wear for the Tapping Process

Abstract. *The main goal of this work is to verify the behavior of the radial and axial components of machinig forces, during the tapping process, and its relation with tool wear. A 9265 Kistler dynamometer was used to measure the components forces. Four different material for the taps were used: ordinary high speed steel (HSS); with high vanadium content (HSS-E); treated by nitriding (HSS-NI); and high speed steel taps obtained by powder metallurgy(HSS-PM). All of them with five distinct degree of wear(new and after, 450, 900, 1350 e 1800 machining threads). The results showed that the tools wear and the tool material have significant influence on the maximum negative values of axial force, d uring the return of the tool. It, was also verified that exist a significative relationship between the tool wear and the magnitude of radial force signal, measuredduring the cutting stage.*

Keywords: Tapping, Tool Wear, Machining Forces.