

- Lorenz, G., 1980, "On Tapping Torque and Tap Geometry", *Annals of the CIRP*, Vol. 29/1, pp. 1-4.
- Merchant, M.E., 1998, "An Interpretive Look at the 20th Century Research on Modeling of Machining", *Machining Science and Technology*, Vol. 2,n.2, pp. 157-163.
- Micheletti, G.F., Koenig, W., Victor, H.R., 1976, "In Process Tool Wear Sensors for Cutting Operations", *Annals of the CIRP*, Vol. 25/2, pp. 483-496.
- Müller, P., Ice, M.S., 1999, "Usinagem sem Refrigeração de Furos e Roscas", 4º Seminário Internacional de Alta Velocidade, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, São Paulo, Brasil, pp. 127-133.
- Nikitin, E.A., Tregubov, G.S., 1989, "Ultrasound Speeds Up Thread-Tapping Jobs", *Soviet Engineering Research*, Vol. 9, n. 4, pp. 118-119.
- Patil, S.S., Pande, S.S., Somasundaram, S., 1987, "Some Investigations on Vibratory Tapping Process", *International Journal of Machine Tools Manufacture Design, Research and Application*, Vol. 27, n. 3, pp. 343-350.
- Santhanam, A.T., Tierney, P., 1989, "Cemented Carbides", *Metals Handbook*, 9th Ed., Vol. 16 - Machining, American Society for Metals, Ohio, USA, pp. 71-89.
- Sha, J., Ni, J., Wu, S.M., 1990a, "Development of a Tap Wear Monitoring Scheme", *Proceedings of Manufacturing International - Part 4: Advances In Materials And Automation*, Atlanta, GA, USA, pp. 137-142.
- Sha, J., Yuan, J.X., Wu, S.M., 1990b, "Tapping Process Improvement through Adaptive Thrust Control", *Winter Annual Meeting of the American Society of Mechanical Engineers*, Vol. 44, Dallas, TX, USA, pp. 407-420.
- Schulz, H., 1997, "State of Art and Trends of High-Speed Machining", 2º Seminário Internacional de Alta Tecnologia - Usinagem com Altíssima Velocidade de Corte e Alta Precisão, Santa Bárbara D'Oeste, SP, Brasil.
- Tanguy, J.-C., 1993, "Monitoração Automática da Usinagem: Como e Por Quê", *Máquinas e Metais*, n. 325, pp. 78-90, fev.
- Wakabayashi, T., Ogura, S., 1990, "Evaluation of Cutting Fluids by Consumption Energy in Tapping Test", *Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineering*, Vol. 46, n. 11, pp. 715-720, Nov.
- Weingaertner, W.L., da Silva, H.R., Tikal, F., Vollmer, C., 1997, "Dependendo do Cabeçote, Pode-se Rosquear Ferro GGG 40 a mais de 100 m/min", *Máquinas e Metais*, n. 383, pp. 132-138, dez.
- Wilcox, S.J., Reuben, R.L., Souquet, P., 1997, "The Use of Cutting Force and Acoustic Emission Signals for the Monitoring of Tool Insert Geometry During Rough Face Milling", *International Journal of Machine Tools and Manufacturing*, Vol. 37, n. 4, pp. 481-494.
- Zhang, D., Chen, D., 1998, "Relief-Face Friction in Vibration Tapping", *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 40, n. 12, pp. 1209-1222, Dec.

- Dan, L., Mathew, J., 1990, "Tool Wear and Failure Monitoring Techniques for Turning - A Review", *International Journal of Machine Tools Manufacture Design, Research and Application*, Vol. 30, n. 4, pp. 579-598.
- Dewes, R.C., Aspinwall, D.K., 1997, "A Review of Ultra High Speed Milling of Hardened Steels", *Journal of Materials Processing Technology*, n. 69, pp.1-17.
- Du, R., Elbestawi, M.A., Wu, S.M., 1995, "Automated Monitoring of Manufacturing Processes, Part 2: Applications", *Journal of Engineering for Industry – Transactions of the ASME*, Vol. 117, n. 2, pp. 133-141, May.
- Ezugwu, E.O., Okeke, C.I., Machado, A.R., 1999, "High Speed Threading of Inclusion-Modified Steels with Coated Carbide Tools", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 86, pp. 216-225.
- Fantin, J.-P., 1992, "Ensaio com Machos: Em Busca de Bons Resultados na Usinagem", *Máquinas e Metais*, n. 320, pp. 58-60, set.
- Ferraresi, D., 1977, "Fundamentos da Usinagem dos Metais", Ed. Edgard Blücher, Vol. 1, S. Paulo, Brasil, 571p.
- Finzer, T., 1997, "High Speed Machining (HSM) in Die and Mold Manufacturing", 2^o Seminário Internacional de Alta Tecnologia - Usinagem com Altíssima Velocidade de Corte e Alta Precisão, Santa Bárbara D'Oeste, SP, Brasil.
- Hernandez, P.M., Nichols, D.R., 1986, "An Internal Standard Method for the Falex n° 8 Tap Torque Tester", *Journal of the American Society of Lubrication Engineering*, Vol. 42, n. 10, pp. 608-613, Oct.
- Hernandez, P.M., Shiraki, H., 1987, "Comparison of Aqueous Extreme-Pressure Cutting Fluids on the n° 8 Tap Torque Tester and Other Cutting Methods", *Journal of the American Society of Lubrication Engineering*, Vol. 43, n. 6, pp. 451-458, June.
- Hewson, W.D., Gerow, G.K., 1996, Development of New Metal Cutting Oils with Quantifiable Performance Characteristics", *Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineering*, Vol. 52, n. 1, pp. 31-38, Jan.
- Hong, H., Riga, A.T., Cahoon, J.M., 1995, "Evaluation of Overbased Sulfonates as Extreme Pressure Additives in Metalworking Fluids - Part II: Lithium and Potassium Overbased Sulfonates", *Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineering*, Vol. 51, n. 2, pp. 147-150, Feb.
- Ishikawa, K., Hori, R., Unno, N., 1992, "Development of High Precision Tightening Methods of Plastic Parts for Office Automation Appliances by Means of Tapping Screws", *Proceedings of the Symposium on Flexible Automation*, Vol. 2, San Francisco, CA, USA, pp. 925-932.
- Johnson, M., 1989, "Tapping", *Metals Handbook*, 9th Ed., Vol. 16 - Machining, American Society for Metals, Ohio, USA, pp. 255-267.
- Klocke, F., Krieg, T., 1999, "Coated Tools for Metal Cutting - Features and Applications" *Annals of the CIRP*, Vol. 48/2.
- Kluft, W., 1994, "A Monitoração dos Processos Reduz Custos e Desperdícios", *Máquinas e Metais*, n. 345, pp. 60-80, out.
- Kluft, W., 1997, "Monitorando a Ferramenta e Visualizando o Processo de Corte, Melhora-se a Produção", *Máquinas e Metais*, n. 378, pp. 20-49, jul.
- Komura, A., Yamamoto, M., Okusima, K., 1990a, "Study of a Tapping Method for Large Size Threads (1st Report). Consideration for the Initial Thrust Force at Tapping", *Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering*, Vol. 24, n. 2, pp. 100-105, June.
- Komura, A., Yamamoto, M., Ikawa, N., 1990b, "Study of Tapping Method for Large Size Threads (2nd Report). Consideration for the Oversized Effective Diameter by Tapping", *Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering*, Vol. 24, n. 3, pp. 178-183, Sept.

material da peça nas zonas de deformação e ajuda na quebra do cavaco. Ao longo dos experimentos realizados no alumínio, nenhuma APC foi observada. A quebra do cavaco foi bastante predominante no roscamento vibratório. O roscamento de dimensões M3 e M6 das roscas em alumínio não foi possível com o acessório desenvolvido. Nikitin & Tregubov (1989) registraram uma redução das forças de atrito e do torque sobre os flancos dos dentes dos machos quando usou-se esta técnica, resultando no aumento da produtividade de roscas em peças fabricadas de materiais de difícil usinagem. Zhang & Chen (1998) trabalharam com roscamento de furos pequenos e profundos (abaixo de M6) em liga de titânio. A tecnologia de vibração no corte tem vários efeitos, isto é, redução da força de corte melhorando a qualidade superficial e contendo o desgaste da ferramenta, entre outros. Com a aplicação desta técnica, registrou-se menores valores de torque e um consequente aumento da vida da ferramenta. Pode-se observar a importância dos sinais de força e torque registrados na aplicação de técnicas que otimizam o processo de corte do roscamento.

Muitos pesquisadores (Hernandez & Nichols, 1986, Hernandez & Shiraki, 1987, Wakabayashi & Ogura, 1990, Hong et al., 1995, e Hewson & Gerow, 1996) utilizaram o torque no processo de roscamento interno com macho para avaliar o desempenho de fluidos de corte. Isto porque o roscamento é uma operação realizada com múltiplas arestas e é considerada como uma das mais difíceis operações na remoção de metal. A vida da ferramenta é um importante parâmetro associado à qualidade dos óleos de corte (Hewson & Gerow, 1996). Na análise teórica do torque no roscamento, fatores que contribuem para este são o coeficiente de atrito e a tensão necessária para romper um material usinado sobre a superfície de saída da aresta de corte de um macho. A redução de tais fatores é apontada como função dos fluidos de corte. Entretanto, a contribuição teórica do coeficiente de atrito para o torque no roscamento é pequena em comparação àquela encontrada no valor medido. Acredita-se que os fluidos de corte influenciam o processo de corte de uma maneira global, e não apenas pela redução do atrito sobre a superfície de saída (Wakabayashi & Ogura, 1990).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sinais de torque e de força de um processo de roscamento interno com macho estão intimamente relacionados à condição de desgaste do macho. Quando um macho se desgasta, o nível de energia bem como os componentes de alta frequência dos sinais de torque e de força aumentam. Monitorando-os, pode-se otimizar o processo de forma a evitar desgaste excessivo da ferramenta e garantir precisão dimensional e acabamento superficial da rosca fabricada.

Acredita-se que outros tipos de sensores, que são comumente aplicados na monitoração de outras operações de usinagem, tais como no torneamento, fresamento e furação, possam também ser aplicados ao processo de roscamento com sucesso. Com isso, poderia ter-se uma faixa maior de opções de sensoriamento.

4. REFERÊNCIAS

- Agapiou, J.S., 1994, "Evaluation of the Effect of High Speed Machining on Tapping", *Journal of Engineering for Industry – Transactions of the ASME*, Vol. 116, n. 4, pp. 457-462, Nov.
- Byrne, G., Dornfeld, D., Inasaki, I., Ketteler, G., König, W., Teti, R., 1995, "Tool Condition Monitoring (TCM) – The Status of Research and Industrial Application", *Annals of the CIRP*, Vol. 44/2, pp. 541-561.
- Coelho, R.T., 1994, "The Machinability of Aluminium-Based SiC Reinforced Metal Matrix Composite (MMC) Alloy with Emphasis on Hole Production", Ph.D. Thesis, University of Birmingham, Birmingham, England, 328p.

encontradas quando usou-se o inserto B revestido com Al_2O_3 , portanto a vida da ferramenta registrada foi maior. A dureza sub-superficial da superfície roscada é aproximadamente 10 % inferior à dureza original da peça. Isto sugere um efeito de revenido o qual pode também estar associado com um gradiente de temperatura entre a peça e a superfície da ferramenta durante o ciclo de corte da rosca (Ezugwu et al., 1999). Em temperaturas de 500 e 1000°C, o revestimento de TiN tem duas e quatro vezes, respectivamente, a condutividade térmica do revestimento Al_2O_3 (Santhanam & Tierney, 1989). Isto também explica porque o inserto B revestido por Al_2O_3 proporcionou maior vida da ferramenta que o inserto B revestido de TiN (Ezugwu et al., 1999). A menor condutividade térmica do revestimento Al_2O_3 permitiu maior concentração de calor, facilitando o corte e como consequência menores valores de força de corte registrados, os quais são claramente observados na Fig.5.

O fenômeno de sobremedida encontrado no diâmetro interno, na entrada de roscas de grandes dimensões (aproximadamente 50 mm de diâmetro), é função da força axial adicionada para sua abertura (Komura et al., 1990a, e Komura et al., 1990b). Ensaio de roscamento foram realizados em peças de bronze BsBM2 com macho M42x4,5 e ângulo do chanfro θ de 7,5°. As medidas do erro do diâmetro efetivo variaram de 0,08 a 0,22 mm. Komura et al. (1990b) concluíram que quando o sentido de uma força axial é o mesmo da progressão do macho, a sobremedida do diâmetro efetivo é gerado no flanco posterior, enquanto no caso de sentido reverso, ela é gerada no flanco anterior. Além disso, quando a força axial é constante, o trabalho da força axial por unidade de comprimento da aresta de corte diminui gradualmente junto com um aumento no número de arestas de corte do macho. Assim a expansão do filete de rosca torna-se maior quando está próxima da seção de entrada. Sha et al. (1990b) conseguiu resolver o problema de sobremedida no roscamento do aço 1018 com macho de aço rápido 1/4"-20 fios/pol revestido com TiN a 440 rpm e avanço de 22 pol/min. Com um dispositivo que controla a força axial, conseguiram reduzi-la em mais de 70 %. Como resultado, o erro de sobremedida da rosca reduziu em mais de 92 %.

Patil et al. (1987) utilizou a técnica de vibrações torsionais para eliminar o problema de aresta postiça de corte (APC) e entupimento de cavaco no roscamento de furos de pequenas dimensões (abaixo de M6). Usando uma máquina de furação radial, foram rosqueadas peças de ferro fundido (Rc 17-25) e alumínio (Rb 46-50) com machos M3x0,5, M6x1,0 e M10x1,5 mm (especificações DIN 371/B). Os furos cegos foram alargados com as dimensões $\phi 2,5 \times 25$, $\phi 5,0 \times 25$ e $\phi 8,0 \times 25$ mm. A porcentagem da altura da rosca foi de 77 % e o comprimento do furo roscado de 20 mm. A usinagem a seco foi realizada com velocidade de 7 a 23 m/min e avanços de 0,4, 0,8 e 1,1 mm/rev para machos M3, M6 e M10, respectivamente. Amplitude das vibrações torsionais de 16 a 185 μm e frequência das vibrações torsionais de 20 a 98 Hz. Os valores de torque e força, registrados durante o roscamento sem vibrações formam a base para comparação. Os mesmos experimentos foram realizados novamente, pela introdução de vibrações, com o acessório desenvolvido, para investigar os valores de torque e força durante o roscamento vibratório. Os resultados experimentais sobre os machos M3, M6 e M10 no roscamento do ferro fundido indicam que, para machos M3 e M6, a introdução de vibrações torsionais conduzem a uma redução no torque e na força. Visto que os machos usados nestes experimentos foram de geometria idêntica (isto é, número de canais e ângulo do chanfro, etc.), a variação na espessura do cavaco foi diretamente proporcional ao tamanho do macho. Este efeito da espessura do cavaco indica que, numa dada faixa de amplitude e frequência, existe uma espessura do cavaco crítico onde o processo de roscamento vibratório é benéfico. Com o alumínio, entretanto, a utilização desta técnica para machos M10 foi benéfica. A diferença no desempenho pode possivelmente ser atribuído às diferentes propriedades mecânicas dos dois materiais das peças. No caso de materiais mais moles, as flutuações das tensões de cisalhamento nas zonas de deformações são atribuídas mais ao aumento na amplitude de vibrações. O aumento na deformação adicional da amplitude endurece o

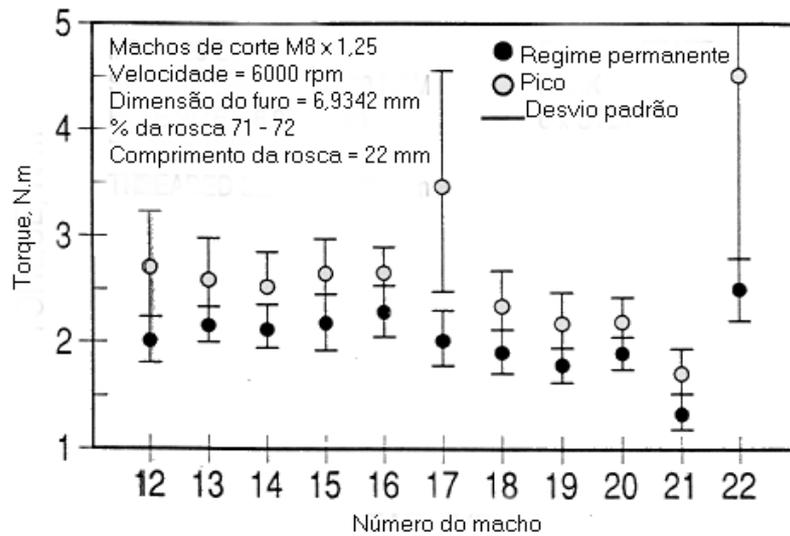


Figura 4. Efeito da geometria dos machos de corte sobre o torque (Agapiou, 1994).

Ezugwu et al. (1999) realizou ensaios de roscamento relacionando o desgaste de flanco com a força de corte. Foram utilizadas barras de aço 708M40T (273 HV), com 470 mm de comprimento por 150 mm de diâmetro num torno. Dois tipos de insertos de metal duro revestido de PVD foram usados a seco. O primeiro (A) consistiu de um substrato P20-P30 com arestas de corte revestidas com uma camada simples de TiN (3-4 μm). O outro (B) consistiu de um substrato K05-K20 com arestas afiadas (< 1 mm de raio) e revestidas com uma camada simples de Al_2O_3 (3-4 μm). A Fig.5 ilustra a relação entre as forças de corte registradas, a vida da ferramenta e os valores de dureza das superfícies roscadas do aço 708M40T a uma taxa de avanço de 0,4 mm/rev e a várias velocidades de corte.

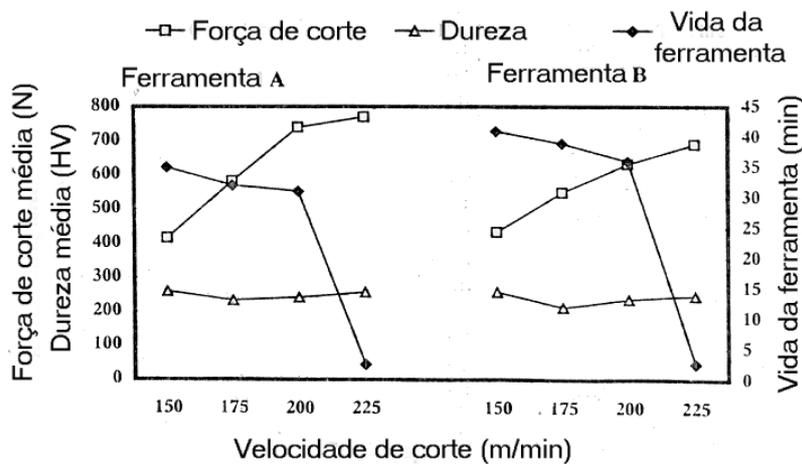


Figura 5. Comparação das forças de corte, dureza e vida da ferramenta obtidas após o roscamento do aço 708M40T com insertos do tipo A e B sob diferentes condições (Ezugwu et al., 1999).

O aumento na força observado com maiores velocidades de corte pode estar associado à redução na vida da ferramenta e a um leve aumento na dureza das superfícies roscadas obtidas a altas velocidades de corte. Observa-se também na Fig.5 que forças menores foram

canal de lubrificação ou externa). Com velocidades de corte, v_c , de 20 e 70 m/min e profundidades de 20 ou 30 mm em furos não-passantes, foram adquiridos valores de força axial e torque para cada combinação (γ , v_c , aplicação do fluido de corte e material) em três medições distintas, para fins estatísticos. A ferramenta que apresentou o melhor comportamento em relação ao torque, à força axial, à qualidade da rosca usinada e ao desgaste, principalmente desgaste de flanco (VB), foi aquela cujo ângulo de hélice era de 40° e com aplicação de fluido de corte pelo seu interior, tanto para o GGG 40 como para o GGG 60. Isto pode ser explicado pela facilidade de transporte do cavaco, possibilitado pelo maior ângulo de hélice, e pelo adequado efeito de lubrificação/refrigeração da região de corte. Observou-se no geral, bons resultados para o GGG 40, com um único fator limitante a faixa operacional da rotação do cabeçote de rosquear, e necessidade de um retrabalho da geometria da ferramenta para se usinar o GGG 60. O efeito da velocidade e da geometria da ferramenta, para o roscamento de roscas M11x1,27 no aço CS 1114, sobre o torque em furos cegos foi estudado por Lorenz (1980). Os resultados mostraram que a velocidade e o ângulo do chanfro afetaram significativamente o torque no roscamento.

Agapiou (1994) avaliou as respostas de torque e força axial em função da variação da geometria dos machos M8x1,25 (ISO-6H) de conformação (machos 1 até 11) e de corte (machos 12 até 22) no roscamento a alta velocidade no alumínio 319. Um total de 20 furos foram testados para cada condição de teste, calculando-se com isso a média e o desvio padrão (Figs.3 e 4).

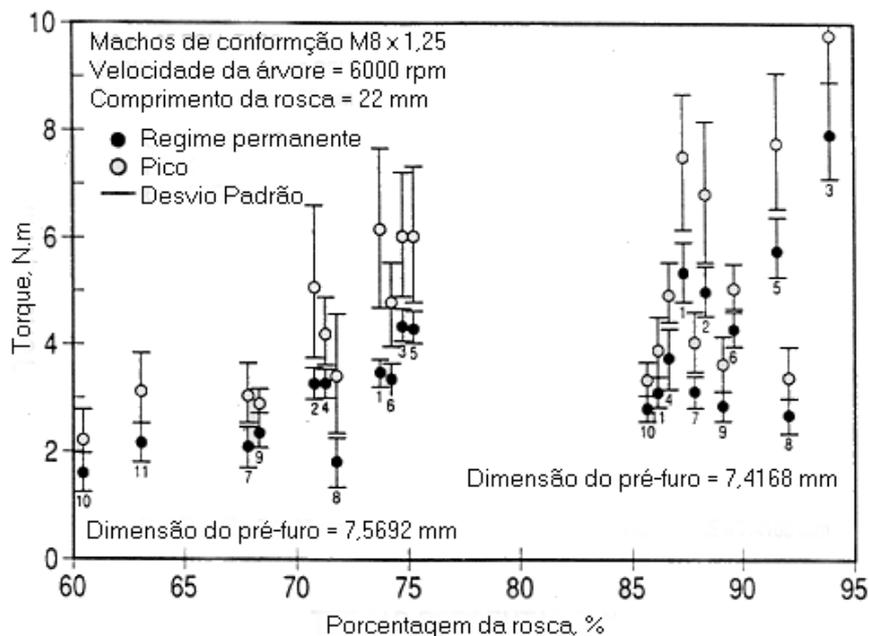


Figura 3. Efeito da geometria dos machos de conformação sobre o torque (Agapiou, 1994).

Em geral, o torque foi influenciado significativamente pela geometria dos machos de conformação, mas não pelos de corte. O torque proveniente dos machos de conformação foram maiores que aqueles dos machos de corte. O torque durante o movimento de retração do macho foi quase zero para todos os de corte, sendo muito menores que aqueles dos machos de conformação. Os altos valores para o torque de pico sobre os machos de corte é atribuído à compactação de cavaco no meio do furo. Similarmente, o torque de conformação aumentou com a velocidade devido a um aumento na área de contato entre os flancos do macho e as roscas conformadas (Agapiou, 1994).

torque no roscamento interno com macho está diretamente relacionada com o desgaste do macho. Monitorado em tempo real, o torque aumenta no corte à medida que mais dentes entram em ação, enquanto no retorno o torque diminui com a liberação das arestas. Os principais fatores que afetam os sinais de torque incluem a condição de desgaste do macho e a variação na dimensão dos furos usinados no processo anterior. Quando um macho começa a se desgastar, especialmente na forma de desgaste de flanco, o nível dos sinais de torque aumenta.

Fantin (1992) destacou que o sinal representativo do torque na operação de roscamento se compõe de diferentes fases (Fig.2). Apenas duas são exploradas no processamento de dados: a fase 1 para os valores médio e máximo do sinal; e a fase 2 para o valor máximo do pico de reversão.

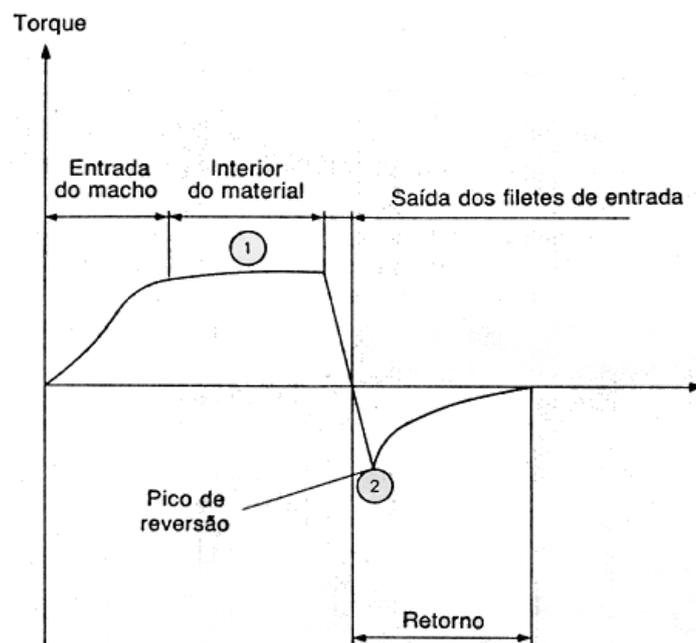


Figura 2. Evolução do sinal representativo do torque no roscamento (Fantin, 1992).

A exploração da fase 1 permite otimizar as condições de corte e controlar o desgaste da ferramenta. Estes dados são utilizáveis para a pesquisa de geometrias ótimas de machos. Na fase 2, o valor máximo do pico de reversão informa sobre a qualidade do furo realizado. Este pico é representativo do torque de atrito quando do retorno do macho (Fantin, 1992).

2.3 Influência do Torque e da Força nos Resultados do Roscamento

A seguir apresentam-se alguns trabalhos de pesquisa que envolvem a aplicação do sensoriamento do torque e da força axial no processo de roscamento. Através destes sensores, a monitoração é realizada de forma a otimizar as condições de corte, reduzir o desgaste das ferramentas, melhorar a produtividade e a qualidade das peças usinadas.

Weingaertner et al. (1997) realizaram ensaios para verificar o comportamento de machos na usinagem dos ferros fundidos GGG40 e GGG60. Utilizando um centro de usinagem, uma plataforma piezoelétrica Kistler 9273, um software de armazenamento de dados REMUS e machos de aço rápido especial M10x1,5 revestidos com TiN, avaliou-se os valores de torque em processo e os desgastes das ferramentas de forma a selecionar a ferramenta mais adequada em função do ângulo de hélice, γ (15° ou 40°), e da aplicação de fluido de corte (através do

2.2 Monitoração do processo de roscamento

O sensoriamento do desgaste da ferramenta pode ser direto, onde o desgaste da ferramenta é medido, e indireto, onde mede-se um parâmetro relacionado com o desgaste (Micheletti et al., 1976, e Dan & Mathew, 1990). Tais parâmetros também podem estar relacionados com a dimensão e funcionalidade da peça. As medições indiretas são, via de regra, baseadas na monitoração das forças de usinagem, nas vibrações mecânicas do sistema, na emissão acústica, na potência ativa ou ainda através da medição de algum outro parâmetro do processo (Kluft, 1997).

As funções de um sistema de monitoração automática da usinagem consistem em: detectar falhas de funcionamento da ferramenta utilizada na máquina (ferramenta quebrada ou além do limite de utilização); e executar ações de prevenção ou correção (interrupção do avanço, da rotação do avanço e retração da ferramenta) para proteger ferramenta, máquina e peça, minimizando os danos (Tanguy, 1993, e Kluft, 1994). Ainda que a aresta de corte, com custo comparativamente baixo, seja danificada, o suporte da ferramenta, a máquina, o dispositivo e a peça são protegidos tanto quanto possível. O dano resultante e os tempos ociosos da máquina são eliminados ou minimizados (Kluft, 1997).

Byrne et al. (1995) afirmam que os sensores utilizados em sistemas de monitoração devem possuir certas características tais como: possibilitar a medição o mais próximo possível da região de corte, não reduzir a rigidez da máquina ferramenta, não restringir o espaço de trabalho e os parâmetros de corte, ser resistente ao desgaste, ao ataque químico dos fluidos de corte, aos cavacos e às influências mecânicas, eletromagnéticas e térmicas, ser de fácil reposição, ter baixos custos, funcionar independentemente das formas da ferramenta e da peça, possuir características metrológicas adequadas e possuir uma capacidade de transmitir os sinais de forma confiável. Certos sistemas de monitoração atendem apenas a algumas destas características, sendo inadequados para uso industrial, ou restritos ao uso acadêmico.

As principais características do roscamento interno com macho são (Sha et al., 1990a):

- a) É um processo altamente transiente. O ciclo completo é realizado em poucos segundos e pode ser dividido em: corte e retorno. No início, os dentes executam o corte e o número de arestas em ação aumenta continuamente, praticamente não havendo um período estável, que permita a monitoração;
- b) Operações anteriores, tais como furação e alargamento, têm forte influência sobre o processo de roscamento. Existem muitas incertezas associadas com as operações de roscamento interno com macho, isto é, variação da dimensão do furo, desalinhamento do macho com o furo (Du et al., 1995), erro síncrono entre os movimentos rotacional do macho e o avanço, etc;
- c) Um macho tem normalmente vários canais e sua ponta é cônica ou chanfrada. A ação de corte é realizada primeiramente pelas arestas da região cônica e pelos canais. Assim, o desgaste ocorre principalmente nesta região. Similar a outros tipos de arestas, o desgaste desenvolve-se sobre as superfícies de saída e de folga, dependendo do material da peça e das condições de corte.

Devido às características acima, o desgaste de um macho é relativamente difícil de monitorar comparado com os desgastes das ferramentas de torneamento e fresamento (Sha et al., 1990a). Por esta razão poucos trabalhos de pesquisa tem sido dedicados à monitoração dos processos de roscamento (Sha et al., 1990a, e Du et al., 1995).

O torque necessário para gerar uma rosca interna é um parâmetro fundamental nesse processo porque depende de fatores tais como: material da peça, tipo do macho, porcentagem de rosca, lubrificante, etc. Toda alteração na geometria da ferramenta e na velocidade são manifestadas em mudanças no torque (Agapiou, 1994). Sha et al. (1990a) afirmam que o

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Processos de roscamento

O roscamento é um processo empregado para obtenção de filetes com perfil constante desenvolvidos em trajetórias helicoidais com passo uniforme. Roscas são usadas em elementos de fixação, transmissão e transformação de movimento e ainda em elementos de transporte de materiais. Podem ser internas ou externas sobre superfícies cilíndricas ou cônicas.

O processo de roscamento interno pode ser realizado com: ferramenta de perfil único; ferramenta de perfil múltiplo; macho; e fresa. O roscamento externo é realizado com: ferramenta de perfil único; ferramenta de perfil múltiplo; cossinete; jogo de pentes; fresa de perfil múltiplo; e fresa de perfil único (Ferraresi, 1977).

Segundo Weingaerter et al. (1997), a principal exigência do roscamento interno é a aplicação de fluido de corte para transportar melhor os cavacos e quebrá-los adequadamente. Os machos de corte e de conformação são os mais usados para o roscamento interno (Agapiou, 1994). A operação com macho de corte envolve o corte e a remoção de material, conforme ilustra um modelo de uma seção de roscamento interno com macho de corte na Fig.1.

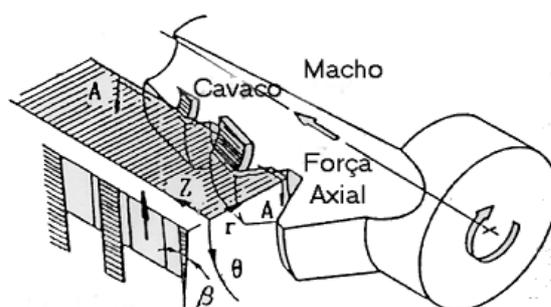


Figura 1. Ilustração de uma seção de roscamento (Komura et al., 1990b).

O macho de conformação lamina uma rosca sobre a superfície lateral do furo inicial (Johnson, 1989, e Coelho, 1994). Uma importante diferença é que com os machos de corte, o diâmetro menor é gerado pelo pré-furo. Com os machos de conformação, o material é deformado radialmente para dentro de modo que o menor diâmetro é menor que o furo original. Com isso, os pré-furos para os machos de conformação devem ser maiores que os furos para os machos de corte. Os machos de conformação são de construção bastante diferente em comparação com machos de corte; pois não tem arestas de corte e normalmente não possuem canais (Agapiou, 1994). São geralmente utilizados em materiais que podem ser facilmente trabalhados a frio, ou seja, aço doce (até 0,5 % de C) e ligas de cobre e alumínio (Coelho, 1994). O macho de conformação requer uma grande precisão no pré-furo e um torque de roscamento mais elevado. Além disso, o calor gerado devido ao atrito com os machos de conformação é mais alto que aquele produzido com machos de corte. Com isso, o emprego de fluido de corte torna-se muito importante para o roscamento por conformação (Agapiou, 1994). Por outro lado, suas vantagens são ausência de cavacos, não há necessidade de afiação, velocidade de corte elevada e melhor resistência mecânica dos filetes (Fantin, 1992). O roscamento externo também pode ser realizado por processo de corte ou conformação, porém com variadas operações e ferramentas.

MONITORAÇÃO DOS PROCESSOS DE ROSCAMENTO: REVISÃO DA LITERATURA

Alexandre Araújo Bezerra
Reginaldo Teixeira Coelho
Leonardo Roberto da Silva

Escola de Engenharia de São Carlos - USP, Departamento de Engenharia Mecânica, 13560-250, São Carlos, SP, Brasil. E-mail: aab@sc.usp.br, rtcoelho@sc.usp.br e lrsilva@sc.usp.br.

Resumo

Este artigo reuni trabalhos que contemplam temas relacionados à aplicação de sistemas de monitoração adequados às condições de corte do processo de roscamento ao longo da vida da ferramenta. As técnicas de monitoração são fundamentadas na medição de parâmetros que direta ou indiretamente estão relacionados com o desenvolvimento dos mecanismos de desgaste da ferramenta de corte e com a qualidade final da peça usinada. Segundo a literatura, os sinais de torque e de força axial são amplamente utilizados no sensoriamento do processo de roscamento.

Palavras-chave: Monitoração, Roscamento, Torque, Força axial.

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa em usinagem tem grande importância, pois este processo representa a classe mais largamente empregada na fabricação de produtos, representando mais de 15% do valor total dos produtos industrializados, quer sejam ou não mecânicos. Ganhos de produtividade nessa área certamente causarão significativo impacto econômico, aspecto já apontado por diversos trabalhos nacionais e internacionais (Merchant, 1998, Klocke & Krieg, 1999, Dewes & Aspinwall, 1997, Schulz, 1997, e Finzer, 1997).

Dentro deste contexto, o roscamento é um dos mais importantes processos de usinagem, pois frequentemente é um dos últimos realizados sobre uma peça, a qual possui um alto valor agregado, e por isso deve ser confiável para evitar refugos e retrabalhos (Sha et al., 1990a, e Müller & Ice, 1999). Além disso, as roscas representam o sistema de fixação mais usado em componentes mecânicos dentro da indústria, sobretudo no setor automotivo (Ishikawa et al., 1992, e Coelho, 1994). Uma má escolha de ferramenta, condições de corte críticas ou uma lubrificação inadequada são fatores que levam, na melhor das hipóteses, a um roscamento fora da tolerância, e, na pior, à quebra da ferramenta e ao refugo da peça, além do tempo gasto na remoção de um macho quebrado (Sha et al., 1990a, e Fantin, 1992). Monitorar o desgaste de uma ferramenta é de grande interesse nas operações de usinagem, para a prevenção da quebra ou do próprio desgaste da mesma, da melhoria na produtividade e do aumento da qualidade das peças usinadas (Wilcox et al., 1997).

Especificamente no processo de roscamento, os sinais de torque e força axial são amplamente monitorados para diversos fins: controle do desgaste da ferramenta, otimização das condições de usinagem, obtenção da qualidade superficial da rosca fabricada, otimização da geometria da ferramenta e obtenção de precisão dimensional. Neste artigo serão discutidos apenas a utilização de sensores de torque e de força aplicados ao processo de roscamento.