

ROSQUEAMENTO INTERNO COM MACHOS DE CORTE EM FERRO FUNDIDO VERMICULAR

Paulo Rosa da Mota, prm@cefetgo.br¹
Alexandre Martins Reis, amreis@ufv.br²
Márcio Bacci da Silva, mbacci@mecanica.ufu.br³
Álison Rocha Machado, alissonm@mecanica.ufu.br³
Rafael Ariza Gonçalves, ltm-ariza@mecanica.ufu.br³
Cássio Luiz Francisco de Andrade, cassio@tupy.com.br⁴

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Rua 75, N° 46, Centro, 74055110, Goiânia/Go

² Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário UFV, 36570000, Viçosa/MG

³ Universidade Federal de Uberlândia, Bloco 1M, Campus Santa Mônica, 3840089, Uberlândia M/G

⁴ Tupy S.A – Joinville/SC.

Resumo: O ferro fundido vermicular tem obtido uma crescente aceitação na indústria automobilística, demonstrando possibilidades de utilização em diversos componentes, que normalmente são fabricados em ferro fundido cinzento. Entretanto, a maior dificuldade para a fabricação de peças em ferro fundido vermicular a preços competitivos é a sua baixa usinabilidade quando comparado ao ferro fundido cinzento. Diversas pesquisas sobre a usinabilidade deste material já foram desenvolvidas, principalmente para os processos de torneamento, fresamento e furação. Contudo, pouco foi feito com relação ao processo de rosqueamento interno com macho de corte. Dessa forma, o objetivo desse trabalho consiste em investigar o comportamento de machos de corte de metal duro com quatro canais retos (M13 X 1,5), revestido com TiAlN, no processo de rosqueamento interno de ferro fundido vermicular (CGI 450 - ASTM). O trabalho foi dividido em duas etapas: 1) A 1ª etapa foi realizada na no chão de fábrica da fundidora do material, visando obter diferentes níveis de desgaste nas ferramentas; 2) A 2ª etapa foi realizada em laboratório, onde foi feito o monitoramento direto do nível de desgaste atingido pelas ferramentas, analisando as formas e os principais mecanismos de desgaste desenvolvidos. Fez-se também a medição das forças de corte (F_x , F_y e F_z), além do torque (M_z).

Palavras Chave: Rosqueamento, Machos de Corte, Ferro Fundido Vermicular, Desgaste, Torque.

1. INTRODUÇÃO

O ferro fundido é um material muito empregado na indústria devido ao seu baixo custo, boa usinabilidade e fundibilidade, além da possibilidade de obtenção de um material com boas propriedades mecânicas, através da adição de elementos de liga e ou tratamentos térmicos adequados. Na indústria automobilística, devido a estes fatores os ferros fundidos têm sido utilizados em grande escala, compondo sistemas de freios, suspensão, girabrequins, blocos e cabeçotes de motores, dentre outros (Chiaverine, 1997; Canale, 2005; Silva, 2007).

Dentre os ferros fundidos, o vermicular (CGI – *Compacted Graphite Iron*) vem ganhando espaço na fabricação de peças automotivas, como na fabricação de motores a diesel, devido a suas propriedades mecânicas e térmicas, intermediárias entre os ferros fundidos cinzentos e nodulares, possibilitando a utilização de maiores pressões na câmara de combustão dos motores, quando comparada com os motores fabricados em ferro fundido cinzento. Com isto, há uma queima mais eficiente do combustível e, conseqüentemente, menor quantidade de poluentes lançados à atmosfera (Canale, 2005; Alves e Deminicis, 2007).

Porém, devido à sua maior resistência mecânica, aliada a uma maior dureza e rigidez e às características específicas de sua microestrutura, o ferro fundido vermicular também apresenta uma maior dificuldade na usinagem (Mocellin, 2002; Xavier, 2003; De Andrade, 2005; Skvarenina e Shin, 2006; Doré et al, 2007; Alves e Deminicis, 2007; Heck et al, 2007). Uma das razões para o pior desempenho das ferramentas que usinam ferro fundido vermicular, deve-se à ausência da formação de uma camada de sulfeto de manganês, normalmente encontrada na usinagem do ferro fundido cinzento. Essa camada lubrifica a interface cavaco-ferramenta, melhorando o desempenho das ferramentas de corte. Além disso, Sahn, Abele e Schulz (2002), afirmam que o ferro fundido vermicular é 33% mais abrasivo e 15% mais adesivo que o ferro fundido cinzento. De tal modo, faz-se necessário investigar o desempenho das várias ferramentas de corte existentes no mercado.

Para as ferramentas de metal duro com revestimento as velocidades no torneamento variam de 100 a 250 m/min, dependendo da matriz do ferro fundido. Estudos mostram que o corte com velocidades de 100 a 200 m/min, com as

ferramentas de metal-duro, fornece aproximadamente 50% da vida da ferramenta em relação ao ferro fundido cinzento em operações de corte contínuo como torneamento (Doré et al, 2007).

Assim sendo, para os processos convencionais de usinagem (torneamento, fresamento, furação) existem diversas pesquisas e publicações, tanto em nível nacional, quanto internacional, relacionadas ao estudo da usinabilidade dos ferros fundidos vermiculares. Entretanto, até o início deste século, devido à utilização relativamente recente deste material praticamente não existia trabalhos publicados para os processos de mandrilamento, brunimento, alargamento e principalmente rosqueamento (Xavier, 2002; De Andrade, 2005; Da Mota, 2006; Doré, 2007), que é objeto desta pesquisa.

O rosqueamento é um processo mecânico, de usinagem ou conformação, destinado à obtenção de filetes de rosca, por meio da abertura de um ou vários sulcos helicoidais de passo uniforme, em superfícies cilíndricas ou cônicas de revolução. Trata-se de um processo que envolve movimentos relativos de avanço e rotação entre a peça e a ferramenta, onde uma delas gira, enquanto a outra se desloca, simultaneamente, segundo uma trajetória retilínea paralela ou inclinada em relação ao eixo de rotação, ou apenas uma delas executa os dois movimentos, ou seja, gira e avança, enquanto a outra fica parada (Ferraresi, 1995).

A Figura (1) mostra o princípio do rosqueamento interno com macho de corte, destacando o pré-furo, antes do rosqueamento e a rosca após a usinagem. A ferramenta aproxima-se do pré-furo com uma determinada rotação e um avanço, proporcional ao passo da rosca. As velocidades de corte e avanço, devem ser sincronizadas, tanto para o corte da rosca quanto para o retorno da ferramenta. Acompanhar e definir as ferramentas de corte para esse processo de usinagem demanda conhecimento, prática e máquinas-ferramenta com tecnologia avançada, pois trata-se de uma das mais complexas operações de corte de metais.

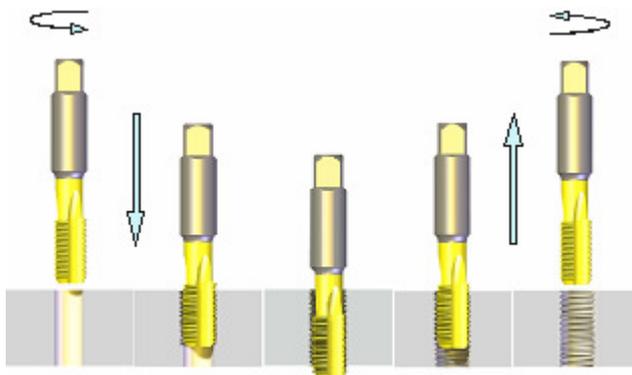


Figura 1. Princípio do rosqueamento com macho de corte

O monitoramento do desgaste do macho é de fundamental importância nas operações de rosqueamento, 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; Bezerra et al., 2000).

Este monitoramento pode ser feito de maneira direta, medindo-se o desgaste da ferramenta, muitas vezes com a ajuda de um microscópio (ferramenteiro, ótico, metalográfico), ou indireta, medindo-se alguns parâmetros relacionados com o desgaste, tais como força de usinagem, torque, vibrações mecânicas do sistema, potência, e qualidade da rosca produzida. Dentre estes parâmetros, o torque necessário para gerar uma rosca interna se destaca, pois está diretamente relacionado com o material da peça, o tipo de macho, o sistema de fixação, a porcentagem de rosca, a lubrificação, e também pelo fato de quaisquer alterações na geometria da ferramenta e na velocidade de corte, serem manifestadas em mudanças no torque (Agapiou, 1994; Da Mota, 2006).

O objetivo principal desse trabalho foi investigar o comportamento de machos de corte de metal duro com quatro canais retos (M13 X 1,5), revestido com TiAlN, no processo de rosqueamento interno de ferro fundido vermicular (CGI 450 - ASTM), utilizando-se para isso, o monitoramento direto dos desgastes sofridos pelas ferramentas, das forças e dos torques gerados durante o processo de rosqueamento.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste trabalho avaliou-se o nível de desgaste apresentado por diversos machos de corte de metal duro com quatro canais (M13 X 1,5 mm), utilizados na fabricação de roscas em blocos de motores da linha de produção da Tupy S.A. em Joinville (SC). As ferramentas são revestidas com TiAlN (TINAL - PROTOTYP), e foram retiradas da linha de produção com diversos estágios de desgaste. Foram fornecidas dezoito ferramentas para análise, agrupadas em seis grupos de três, sendo um em estado novo, e os demais com 20, 40, 60, 80 e 100% de vida. As últimas ferramentas (100%), ou seja, aquelas que já atingiram o fim de vida, usinaram doze mil (12.000) roscas.

Na indústria (Tupy S.A.) foi empregado fluido de corte no processo de rosqueamento investigado (Hysol 6545 - concentração de 10% a 12%), refrigeração interna, com pressão mínima de 30 bar. As roscas foram feitas em furos cegos, com extensão de 25 mm de profundidade e velocidade de corte de 50 m/min.

O material dos blocos usinados foi o ferro fundido vermicular, CGI (classe 450 da norma ASTM), cujas principais características são descritas na Tab. (1).

Tabela 1: Características do CGI (classe 450 da norma ASTM)

Matriz	Grafita			Dureza Brinell (HB 5/750)	Microdureza na Perlita (HV 01)	Tração LR (MPa)
	Forma	Nodular	Partículas p/mm ²			
Perlita com ~2% de Ferrita	III - VI	7 %	218	237	321 a 366	374

Neste trabalho realizou-se também o monitoramento das forças e do torque gerados durante o rosqueamento do ferro fundido vermicular. Este monitoramento foi realizado em laboratório, utilizando-se um Centro de Usinagem Vertical CNC da linha Discovery, modelo 760, com comando numérico Siemens 810, Fig. (2), cujas características estão descritas na Tab. (2). O programa utilizado para o ciclo de rosqueamento foi o Ciclo 84, próprio para rosqueamento com macho rígido. Nesta máquina não foi possível realizar os ensaios com fluido de corte em alta pressão. Entretanto, o monitoramento ocorreu em duas condições distintas: 1) a seco; 2) com fluido de corte em forma de jorro. Nesta etapa do trabalho foi utilizada barras de ferro fundido vermicular como corpos de provas (o mesmo utilizado nos blocos de motores a diesel) com seção retangular e com dimensões: 350 x 70 x 50 mm.



Figura 2 – Centro de usinagem vertical, modelo Discovery 760 (ROMI) utilizada nos testes de laboratório

Tabela 2 - Características do centro de usinagem Discovery 760

Especificações técnicas	Valores	Especificações técnicas	Valores
Faixa de velocidades	10 a 10.000 RPM	Potência total instalada	15 KVA
Avanço rápido (eixos x / y)	25.000mm/min	Curso long. da mesa (x)	762 mm
Avanço rápido (eixos z)	20.000 mm/min	Curso trans. da mesa (y)	406 mm
Avanço de corte	1 a 5.000 mm/min	Curso vert. do cabeçote	508 mm
Pot. do motor principal CA	9 KW/12,5 cv	Comando	Siemens 810

A Fig. 3 permite visualizar a configuração do monitoramento das forças e do torque na usinagem das barras fundidas de ferro fundido vermicular. Foi utilizada uma broca cilíndrica especial (escalonada) de metal duro com diâmetro de 11,5 milímetros, revestida com TiAlN. Utilizou-se fluido de corte em forma de jorro na furação e a velocidade de corte empregada foi de aproximadamente 54 m/min e o avanço de 300 mm/min (0,2 mm/rev). A profundidade de corte dos pré-furos previa uma folga de 5 mm entre o final do furo (30 mm) e a profundidade da rosca a ser usinada (25 mm).

Neste trabalho serão apresentados somente os resultados de medição das forças e dos torques referentes a um macho de corte (ferramenta nova). Neste caso, o principal objetivo foi o de validar os resultados obtidos utilizando-se um dinamômetro, que usa o princípio de telemetria para medição das forças e do torque gerados, adquirido pelo Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem – LEPUS da Faculdade de Engenharia Mecânica – FEMEC - UFU. Para isso foi verificado o comportamento dos sinais de força e de torque medidos com este equipamento durante o processo de rosqueamento, procurando-se identificar nos gráficos gerados (força e torque versus tempo), as diversas etapas inerentes a este processo, tais como entrada da região cônica do macho no pré-furo, entrada de região cilíndrica, parada da ferramenta no final do furo, inversão do sentido de rotação do eixo árvore, e retorno da ferramenta. Os resultados obtidos foram comparados com dados da literatura. Para o monitoramento das forças (em X, Y, e Z) e do torque foram utilizadas as mesmas condições de corte da Tupy S.A. (50 m/min) tanto para o corte, como para o retorno. O valor do

passo programado foi equivalente ao passo da rosca (1,5 mm) e o comprimento rosqueado (percurso de avanço) foi de 25 mm.



Figura 3 – Furação e Rosqueamento do ferro fundido vermicular

As demais ferramentas (com 20 a 100% de vida) foram avaliadas quanto aos mecanismos e aos níveis de desgaste apresentados. Para isso, foram feitas análises dos principais mecanismos de desgaste atuantes e principalmente da medição do nível dessas avarias. O aparato utilizado para a realização destas análises consistiu em um dispositivo construído em laboratório, no qual a ferramenta analisada era fixada e montado em um microscópio metalográfico, como pode ser visto na Fig. (4). Este dispositivo permite que a ferramenta seja fixada sempre na mesma posição, podendo ser girada de até 360°, garantindo assim a visualização dos principais ângulos e superfícies da ferramenta.



Figura 4 – (a) Dispositivo utilizado para analisar o desgaste nos machos de corte (microscópio metalográfico); (b) Macho de corte utilizado para o rosqueamento de ferro fundido vermicular

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Análise dos Desgastes

Procurou-se identificar os mecanismos de desgaste que atuaram nas ferramentas durante o rosqueamento do ferro fundido vermicular. Para isso, observou-se em microscópio metalográfico a superfície de todos os filetes das várias ferramentas de corte utilizada neste trabalho. Verificou-se que houve desgaste na superfície de saída e de folga de todos os machos de corte avaliados (20, 40, 60, 80 e 100% de vida). Em todos os machos de corte houve desgaste, independente da quantidade de roscas fabricadas. Entretanto, as dimensões e formas variaram de ferramenta para ferramenta.

A Figura 5 representa a evolução do desgaste nos machos de corte com 20, 40, 60, 80 e 100% de vida, respectivamente. Observa-se que em todos os machos de corte houve desgaste na superfície de folga. Os primeiros dentes, principalmente os três primeiros na região cilíndrica (D4, D5 e D6) foram os que mais sofreram desgaste. Para avaliar a evolução e os mecanismos de desgaste, resolveu-se plotar na Fig. 5 os principais dentes dos machos de corte, suprimindo os dentes 10, 11, 13 e 14 da carreira 2, de cada macho fotografado, pois avaliou-se que os mesmos representavam poucas novidades. Ou seja, para os últimos dentes de cada macho de corte o desgaste foi muito pequeno, e quase que constante, até o 15º dente.

Nota-se que o quarto dente do macho de corte (primeiro da parte cilíndrica) foi o que mais sofreu avarias. O desgaste foi maior nesses dentes, pois a ação de rosquear interno com machos de corte é um processo onde o ciclo completo dura normalmente poucos segundos e pode ser dividido em dois estágios: corte e retorno.

Durante o estágio de corte, os dentes do macho entram em ação de corte continuamente, um após o outro, até atingir a profundidade programada. Os primeiros dentes (cônicos) iniciam o corte e à medida que vão se desgastando, os dentes alisadores (cilíndricos) são os que efetuam o corte. O quarto dente da primeira carreira é o primeiro responsável para dar a forma ao perfil da rosca. Em seguida o primeiro dente da segunda carreira e assim sucessivamente. Dessa forma, diversos mecanismos de desgaste podem ter ocorridos simultaneamente nas ferramentas analisadas.

A abrasão pode gerar nas ferramentas de corte microsulcamento, microcorte ou microlascamento. As consequências desse mecanismo de desgaste para os machos de corte são graves, pois as ferramentas de corte podem perder a aresta de corte e afetar o detalhamento (alívio na superfície de folga do macho), aumentando a área de contato entre a ferramenta e a peça, implicando em maiores atritos e acréscimo das forças de corte (REIS, 2004).

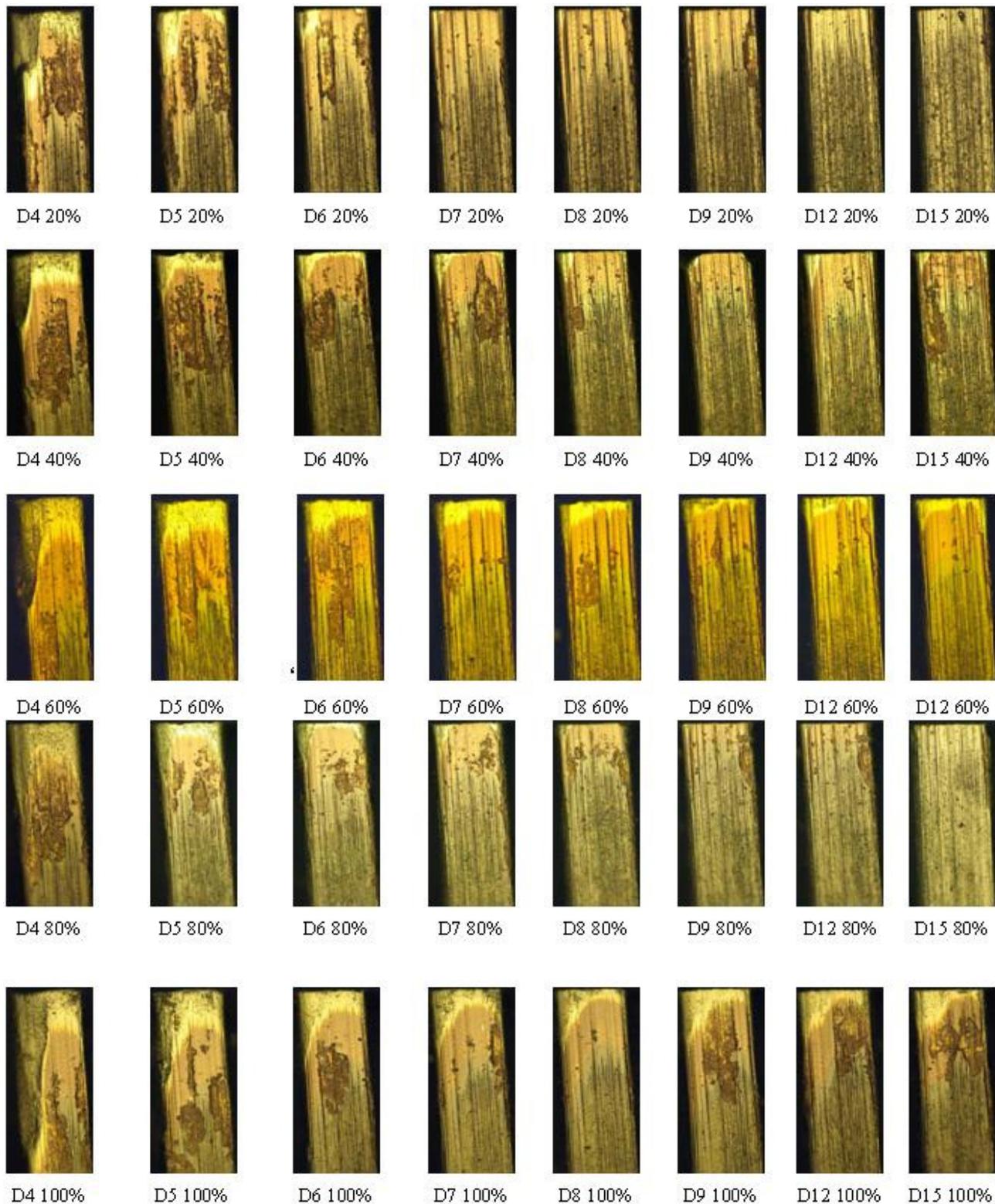


Figura 5 - Evolução do desgaste em cinco ferramentas (macho de corte de metal duro, 2ª carreira) que usinaram ferro fundido vermicular, série 450 (20%, 40%, 60%, 80% e 100% de vida); A velocidade de corte empregada foi de 50 m/min e o fluido de corte foi aplicado em forma de jorro

Acredita-se que além da abrasão, houve também adesão de material (ferro fundido vermicular) em todos os dentes que tiveram contato direto com o material a ser usinado. É necessário investigar essa hipótese utilizando MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura), em análises posteriores.

Além dos desgastes na superfície de folga apresentados e discutidos anteriormente, verificou-se que os desgastes também ocorreram em outras carreiras dos machos de corte. A Fig. (6) representa o estado que encontra-se um macho de corte após rosquear doze mil roscas (terceira carreira de dentes). Observa-se que a geometria da aresta de corte encontra-se bastante comprometida, principalmente nos dentes (3 e 4). No canto superior esquerdo do 3º dente é possível identificar um desgaste, provavelmente devido à abrasão existente entre a ferramenta de corte e o material que foi cortado (ferro fundido vermicular). É provável que houve deslocamento de massa (deformação plástica) na lateral esquerda do 3º dente desse macho de corte. Como a análise foi feita com o auxílio de um microscópio metalográfico, com ampliação máxima de 1000 vezes, faz-se necessário utilizar um microscópio eletrônico de varredura (MEV), para comprovar tais evidências.

A deformação plástica é a mudança da geometria da ferramenta de corte pelo deslocamento de massa. Ela ocorre por cisalhamento devido às altas tensões atuantes nas superfícies das ferramentas de corte. Em casos extremos pode causar a total destruição da cunha cortante da ferramenta, inclusive com perda de massa. É mais comum ocorrer em ferramentas com resistência ao cisalhamento relativamente baixa e com maior tenacidade, como o aço-rápido, as ligas fundidas e o metal duro (Machado e Da Silva, 2004).

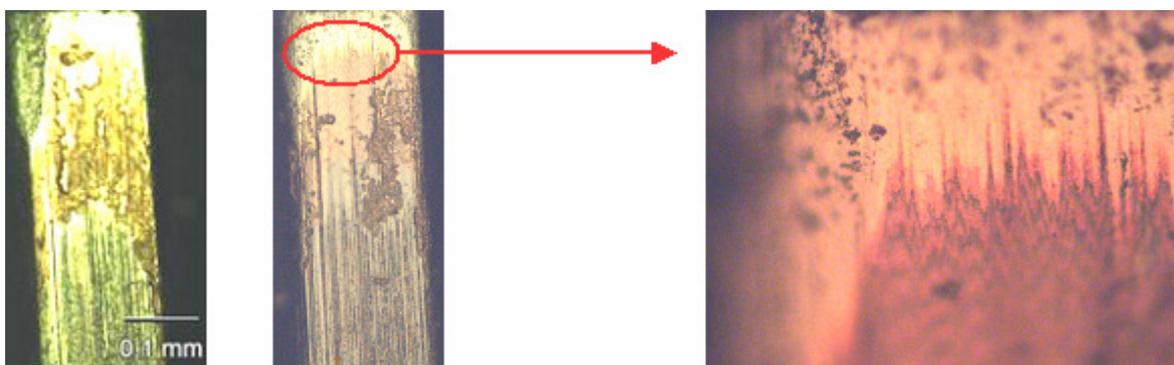


Figura 6 – Formas de desgastes presentes na superfície de folga em um macho de corte (3º e 4º dentes)

A deformação plástica da aresta de corte sob altas tensões de compressão não é propriamente um mecanismo de desgaste e sim um processo de destruição das ferramentas de corte, gerado durante a usinagem de metais com elevada dureza, principalmente com altas taxas de avanço e altas velocidades de corte. Nestas condições é comum acontecer falhas catastróficas, principalmente em ferramentas de aço-rápido e metal duro (Machado e Da Silva, 2004).

Nesse mesmo dente é possível notar que parte do revestimento provavelmente foi retirada da superfície da ferramenta, deixando o substrato (metal duro) descoberto. Esse material pode ter sido retirado da ferramenta por lascamento ou por um mecanismo de desgaste, denominado pela literatura de “*attrition*”, que é a adesão, seguida pelo arrancamento de grãos da ferramenta. Os cavacos retirados na usinagem, juntamente com partículas duras do revestimento e do próprio substrato que se destacaram por lascamento ou por *attrition* de certas regiões da superfície da ferramenta, são arrastados durante o processo e pressionados entre a superfície da rosca e as demais superfícies da ferramenta, provocando desta forma micro-riscos e micro-cortes nestas superfícies, caracterizando o mecanismo de desgaste abrasivo.

A Figura (7) ilustra o desgaste na superfície de saída ocorrido nos primeiros filetes (região cônica) de dois machos de corte que usinaram doze mil e quatro mil e oitocentas roscas, respectivamente. Nota-se que a forma do desgaste parece ser a mesma para todos os filetes analisados. Entretanto, acredita-se que o desgaste ocorreu logo no início da usinagem, pois os machos de corte que usinaram somente 40% do previsto (4800 roscas), Fig. 7(c) e 7(d), já apresentavam desgaste na superfície de saída semelhante ao macho de corte que chegou ao fim de vida (12.000 roscas), Fig. 7(a) e 7(b). Contudo, além do desgaste na superfície de saída ocorrido em uma das ferramentas com 40% de vida, houve alguns dentes que sofreram avarias severas, conforme pode ser constatado através da Fig. 7(d). Observa-se que o quarto (4º) dente de uma das carreiras do macho de corte quebrou, proporcionando um esforço maior para os demais dentes (subseqüentes), de forma que provavelmente essa ferramenta teria uma vida muito curta, se comparada com as demais.

A quebra desse dente pode ter provocado o lascamento de outros dentes, como será abordado posteriormente. Ou então, o lascamento de algum dente (alisador) pode ter provocado a ruptura de outros dentes alisadores ou cônicos, principalmente no retorno do rosqueamento, onde os cavacos aglomerados entre os dentes e nos canais da ferramenta, aumentam as forças de corte e o torque.

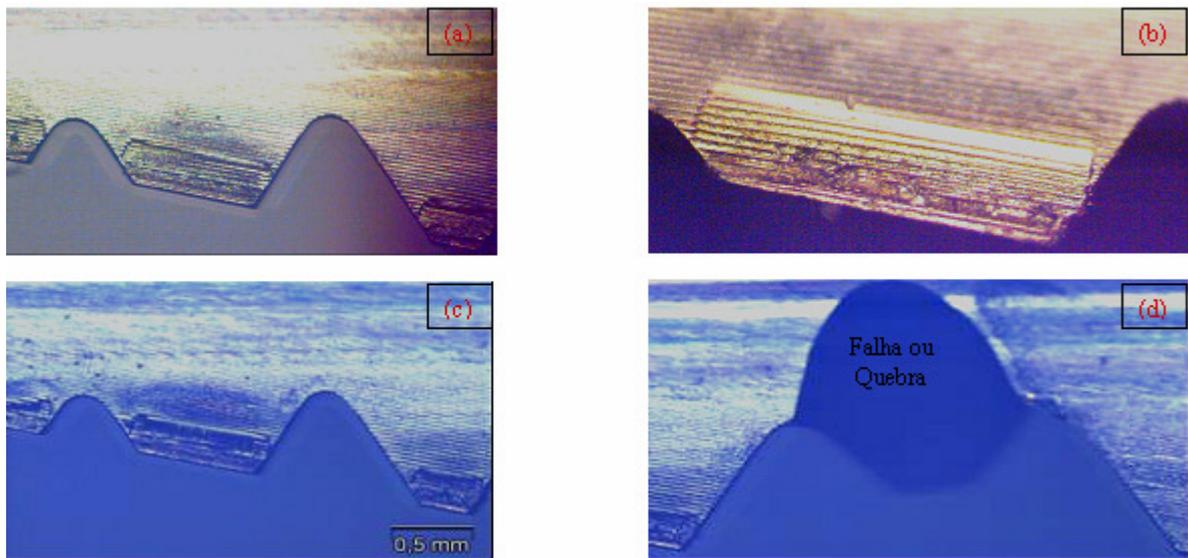


Figura 7 – a) e b) Superfície de saída da carreira 1 e 2, respectivamente, de um macho em fim de vida (usinou 100% das rosca previstas); c) e d) Superfície de saída da carreira 1 e 2, respectivamente, de um macho que usinou 40% das rosca previstas

A Figura (8) permite constatar que uma ferramenta de corte que rosqueou somente 40% das roscas previstas, possui vários dentes danificados. Para este caso, acredita-se que o lascamento ou a quebra de um dos primeiros dentes da ferramenta de corte pode ter ocasionado a ruptura dos demais dentes. Provavelmente pedaços de metal duro destacados, por lascamento, do dente quebrado (4º dente), foram arrastados juntamente com os cavacos retirados na usinagem, provocando o enclausuramento (entupimento) dos vãos dos filetes do macho de corte, causando desta forma, a ruptura de outros dentes da ferramenta.

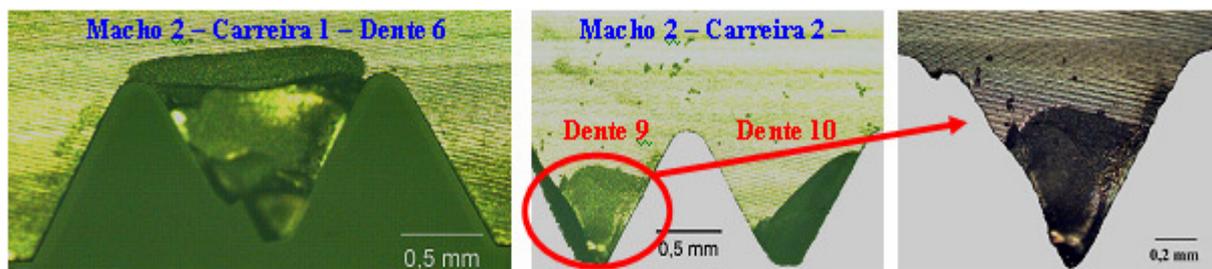


Figura 8 – Quebra de alguns dentes de um macho de corte que rosqueou ferro fundido vermicular (4800 roscas)

3.2. Análise das Forças e do Torque

Nas condições empregadas neste trabalho, os valores máximos de torque medidos foram da ordem de 10 N.m. As Forças em X e em Y foram inferiores a 200 N, enquanto as forças em Z atingiram aproximadamente 350 N. Afim de plotar simultaneamente todos os valores adquiridos em um único gráfico e analisar comparativamente estes sinais, dividiu-se a força em Z por 2 e o torque foi multiplicado por 10, e com os valores resultantes obteve-se o gráfico da Fig. (9).

As análises dos sinais das forças em X e em Y, no gráfico da Fig. (9), permitem verificar que embora eles tenham a mesma magnitude, os sinais de X estão simetricamente distribuídos em relação ao eixo de referência (linha 0), enquanto os sinais de Y não apresentam esta simetria. Acredita-se que esta falta de simetria esteja relacionada com um possível batimento do macho de corte. Essa ferramenta foi presa por pinça ao mandril na máquina, e esse sistema de fixação não garante o alinhamento das ferramentas, admitindo, assim, uma má centragem das ferramentas de corte.

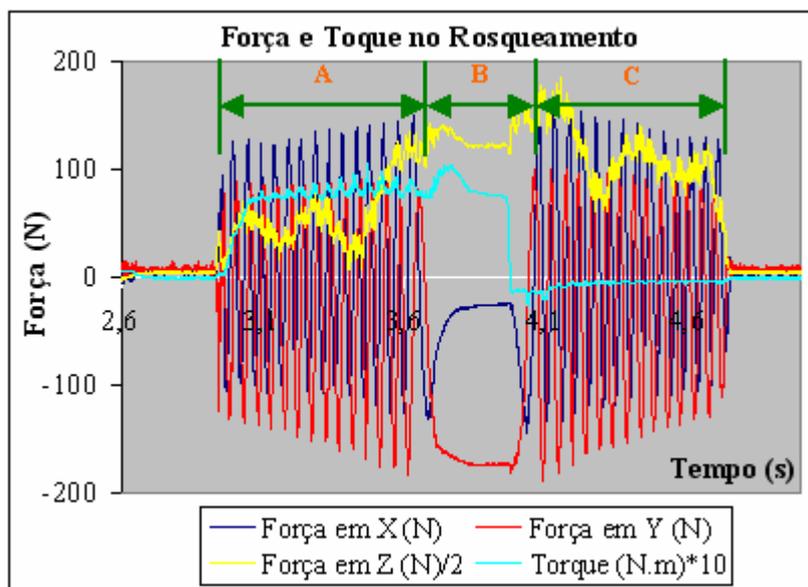


Figura 9 – Comparação das forças em X, Y e Z e o torque no rosqueamento interno.

Este gráfico permite também interpretar o princípio do rosqueamento com macho de corte. Na região A do gráfico pode-se verificar que após o contato dos primeiros filetes da ferramenta (região cônica) com a peça, há um ligeiro aumento dos valores de sinais das forças (X, Y e Z) e do torque e, em seguida, estes valores continuam aumentando, porém com uma intensidade menor, até a parada do eixo-árvore da máquina, representada pela letra B. Assim sendo, pode-se confirmar o que já é de conhecimento da literatura corrente (Bezerra, 2003; Reis, 2004; Da Mota, 2006), ou seja, os primeiros dentes da ferramenta de corte (parte cônica do macho de corte) ao tocarem a peça, promovem o início do corte da rosca. À medida que os dentes cônicos penetram no pré-furo, as forças de corte vão automaticamente alterando, até que os últimos dentes penetrem no pré-furo, garantindo o acabamento da rosca.

De forma semelhante, pode-se verificar que após a inversão da rotação do eixo-árvore, região C, há uma alteração do sinal das forças (X e Y) e do torque. Observa-se que os valores das forças neste momento são altos, pois a ferramenta encontra-se parada na profundidade máxima da rosca usinada, de forma que o torque pode ser inclusive negativo. Quanto maior o contato do flanco da ferramenta de corte com o material da peça, maior será o torque. Deste modo, quanto maior o nível de desgaste do macho de corte, maior será o torque e a probabilidade de haver falha catastrófica. Além disso, o volume de cavacos presos nos canais do macho e o nível de desgaste da ferramenta em trabalho podem inclusive acarretar a quebra do macho de corte.

A continuidade da investigação permitirá comparações do comportamento dos esforços de corte com a evolução do desgaste das ferramentas, resultados estes que deverão ser apresentados em futuras novas publicações.

4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados nesta pesquisa permitem concluir que houve desgaste na superfície de saída e de folga de todas as ferramentas de corte. Percebeu-se que o desgaste estava presente em todos os machos de corte, independente da quantidade de roscas fabricadas. Além disso, em uma ferramenta de corte houve lascamento de alguns dentes, provocando a ruptura de outros dentes, comprometendo a vida dessa ferramenta e corte.

Outro ponto importante a ser observado é o destacamento do revestimento. Como o ferro fundido vermicular é um material altamente abrasivo e adesivo, provavelmente o revestimento foi retirado da superfície de folga por estes mecanismos de desgaste. Para comprovar essa afirmação, faz-se necessários estudos mais detalhados, como a utilização de microscópio eletrônico de varredura (MEV).

Os sinais de torque e força medidos permitiram identificar nos gráficos gerados (força e torque versus tempo), as diversas etapas inerentes ao processo de rosqueamento interno com macho de corte, confirmando os resultados encontrados na literatura.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq, CAPES e FAPEMIG, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho, ao IFM – Instituto Fábrica do Milênio, ao CEFET/GO e a empresa Tupy S.A. pelo constante apoio às pesquisas realizadas pelo Grupo de Pesquisa em Usinagem do LEPU.

6. DIREITOS AUTORAIS

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

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agapiou, J.S., 1994, "Evaluation of the Effect of High Speed Machining on Tapping", Journal of Engineering for Industry – Transactions of the ASME, v. 116, n.4, pp. 457-462.
- Alves, S., M., Bossardi, J. C. S., Deminicis, F. e Pimentel, R., 2007, "Análise e Seleção de Fluidos de Corte para a Furação de Ferro Fundido Vermicular", 8º CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECANICA, Cusco – Peru.
- Bezerra, A. A., 2003, "Estudo do Desgaste no Roscamento com Alta Velocidade em Ferro Fundido", Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Bezerra, A. A., Coelho, R.T. e Da Silva, L.R., 2000, "Monitoração dos Processos de Roscamento: Revisão da Literatura", Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CONEM. Natal, Rio Grande do Norte, Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Associação Brasileira de Ciências Mecânicas – Abcm, 10p.
- Canale, A., J., 2005, "Estudo da Soldagem de Recuperação do Ferro Fundido Vermicular Através do Processo Oxiacetilênico", Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina Florianópolis - SC.
- Chiaverini, V., 1997, "Aços e Ferros Fundidos", Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 6.ed. S. P., 576 pág.
- Da Mota, P. R., 2006, "Investigação do Comportamento de Ferramentas de Aço-Rápido no Processo de Rosqueamento Interno em Alta Velocidade de Corte", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia.
- Silva, J., A., 2007, "Análise Térmica na Solidificação de Ferros Fundidos Cinzentos Hipoeutéticos", Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, SP.
- De Andrade, C. L. L., 2005, "Análise da Furação do ferro Fundido Vermicular com Brocas de Metal-Duro com Canais Retos com TiN e TiAlN", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC.
- Doré, C., Boehs, L. e Guesser, W. L., 2007, "Avaliação da Influência da Microestrutura na Usinabilidade do Ferro Fundido Vermicular", REMAUSME, CD, Campinas, SP.
- Doré, C., 2007, "Influência da Variação da Nodularidade na Usinabilidade do Ferro Fundido Vermicular Classe 450", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina-Sc.
- Ferraresi, D., 1995, "Fundamentos da Usinagem dos Metais", Ed. Edgard Blücher, São Paulo, Brasil, 751p.
- Heck, M., Ortner, H. M., Flege, S., Reuter, U. e Ensigner, W., 2007, "Analytical Investigations Concerning the Wear Behaviour of Cutting Tools Used for the Machining of Compacted Graphite Iron and Grey Cast Iron", International Journal of Refractory Metals e Hard Materials.
- Machado, A. R., Da Silva, M. B., 2004, "Apostila de Usinagem dos Metais", 8. ed. Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, 257p.
- Mocellin, F., 2002, "Estudo da Usinabilidade do Ferro Fundido Vermicular em Ensaios de Furação", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina-SC.
- Reis, A. M., 2004, "Avaliação do Desempenho de Diferentes Materiais de Ferramenta no Processo de Rosqueamento Interno de Ferro Fundido Cinzento, através do Monitoramento do Desgaste", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia.
- Sahm, A., Abele, E. e Schulz, H., 2002, "State of the Art in CGI Machining", In: Compacted Graphite Iron Machining Workshop, Darmstadt, Annals.
- Skvarenina, S. e Shin, Y.C., 2006, "Laser-Assisted Machining of Compacted Graphite Iron", School of Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette, USA International Journal of Machine Tools & Manufacture 46 pp. 7-17
- Wilcox, S. J., Reuben, R. L. e 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 Manufacture Design, Research and Application, v.37, n.4, p. 481-494.
- Xavier, F. A., 2003, "Aspectos Tecnológicos do Torneamento do Ferro Fundido Vermicular com Ferramentas de Metal-Duro, Cerâmica e CBN", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina-SC.

Wear, Force and Torque Monitoring during Tapping of Compact Graphite Iron (CGI)

Abstract: The compacted graphite iron - CGI has obtained a growing acceptance in the automobile industry, demonstrating possibilities of its use in several components, that normally are manufactured in grey cast iron. However, the greatest difficulty for manufacturing compacted graphite iron parts at competitive prices is its poor machinability when compared to grey cast iron. Several research works about machinability of this material have already been developed, mainly in turning, milling and drilling. Little, however, has been done with regards to tapping process. Therefore, the main objective of this work is to investigate the performance of cemented carbide taps with four straight flutes (M13 X 1,5), coated with TiAlN, in the tapping process of compacted graphite iron (CGI 450 – ASTM). The work was divided in two parts: 1) The 1st stage was carried out in the shop floor of a casting company., aiming to

achieve different levels of wear on the tools; 2) The 2nd stage was carried out in laboratory, where direct monitoring of the level of wear achieved by the tools were performed with the aid of an optical microscope and the main wear mechanisms were analyzed. The cutting forces (F_x , F_y e F_z) and the torque (M_z) were also monitored and the results are compatible with those found in the literature.

Keywords: Tapping; Tap; Compacted Graphite Iron; Wear, Momentum.