



ANÁLISE DA RAIZ DE CAVACO NO ÂMBITO DO GUME TRANSVERSAL DE BROCAS HELICOIDAIS VISANDO A MODELAGEM DE FORÇAS

Bruno Fioravante Saratt, bruno_saratt@hotmail.com¹

Régis Carpes Pontel, regpon@gmail.com¹

Rodrigo Blödorn, rodrigoblodorn@yahoo.com.br¹

Rolf Bertrand Schroeter, rolf@emc.ufsc.br¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Mecânica de Precisão (LMP), UFSC, Caixa Postal-476 EMC, 88.010-970 Florianópolis/SC, Brasil

Resumo: *O gume transversal, parte central deste estudo, localiza-se na ponta da broca, interligando os gumes principais. Nesta região, em decorrência do ângulo de saída negativo, ele praticamente não realiza corte e sim uma deformação plástica do material da peça e sua extrusão na direção das regiões cortantes do gume principal. Em função desta deformação plástica, o material da peça pode encruar, podendo conseqüentemente ocorrer modificações em suas propriedades, como dureza e força específica de corte. No entanto, poucas informações úteis sobre a formação do cavaco podem ser obtidas pelo estudo final do caminho de corte após o processo ter sido interrompido de maneira convencional – desengate do avanço da ferramenta e do eixo da árvore –, porque desta forma a ferramenta sofreria uma desaceleração em relação à peça, e não se poderia avaliar o real efeito da velocidade de corte. Para verificar as alterações nas propriedades do material que ocorreria na região do gume transversal, faz-se necessária a obtenção de raízes de cavaco - cavacos parcialmente formados presos à peça-, uma vez que, pela parada súbita do corte, é possível obter-se detalhes importantes do mecanismo de formação dos cavacos. A fim de se ter o “congelamento” da ação de corte, utiliza-se normalmente um dispositivo denominado Quick-Stop Device (QSD), que interrompe subitamente o processo de corte, possibilitando então a obtenção de raízes de cavaco. O presente trabalho apresenta os primeiros resultados obtidos do estudo da usinagem na região do gume transversal. Estes resultados foram possíveis mediante aplicação com sucesso de um QSD, cujas principais características de projeto e etapas de fabricação são também abordados neste trabalho, e posterior micrografia das amostras, sendo que tais dados serão utilizados no aperfeiçoamento de um modelo de forças para a furação já desenvolvido.*

Palavras-chave: *furação, gume transversal, broca helicoidal, raiz de cavaco, Quick Stop Device (QSD).*

1. INTRODUÇÃO

A furação é um processo de usinagem de grande utilização na indústria envolvendo aproximadamente 30% de todas as operações de usinagem de metal. Dentre as ferramentas de furação, as brocas helicoidais são as mais frequentemente empregadas, apresentando uma das mais complexas formas dentre todas as ferramentas de corte. A furação com brocas helicoidais constitui um gargalo nas operações de usinagem, tornando-se necessário um maior conhecimento deste processo, no sentido de promover sua otimização (Castillo, 2005; Bork, 1995).

Por tratar de um processo de corte bastante complexo e apresentar inúmeras dificuldades na sua compreensão, a furação ainda é considerada como um processo relativamente pouco compreendido, pois ocorre no interior da peça e o acesso é impedido pela ferramenta. Somente a força axial e o torque podem ser medidos através do eixo da ferramenta, e além disso o fluxo de cavaco e o amassamento produzido pelo gume secundário dificultam a interpretação dos resultados (Castillo, 2005; König, 2002).

A região do gume transversal localiza-se na ponta da broca unindo os gumes principais. O fato do ângulo de saída ser negativo no gume transversal, faz com que o esse não realize pleno corte do material da peça, mas também o deforme plasticamente. Com a deformação plástica, devido à movimentação das discordâncias, vários materiais sofrem encruamento, fenômeno caracterizado pela necessidade de maior tensão para provocar deformação plástica pela redução da mobilidade das discordâncias. Conseqüentemente, desta forma as propriedades do material usinado são alteradas.

O encruamento do material influencia significativamente as forças envolvidas durante o processo de furação com brocas helicoidais. Assim, torna-se importante a quantificação da influência do encruamento sobre as forças de usinagem no âmbito do gume transversal, para posterior elaboração de um modelo de forças completo na furação. Para

verificar as alterações nas propriedades do material, que ocorrem na região do gume transversal, faz-se necessária a obtenção de raízes de cavaco. A fim de se ter o “congelamento” da ação de corte, utiliza-se normalmente um dispositivo denominado *Quick-Stop Device (QSD)*, que repentinamente leva a velocidade relativa entre a ferramenta de corte e a superfície sendo usinada a zero, preservando a formação do cavaco tão precisamente quanto possível.

Neste contexto, este trabalho apresenta etapas do projeto e construção de um dispositivo *QSD* para obtenção de raízes de cavacos na região do gume transversal, detalhando a metodologia de projeto utilizada, suas etapas principais e funções específicas. Também é apresentada a modelagem por software *CAD 3D* de um protótipo com suas características estruturais e funcionais.

No sentido de melhorar o conhecimento da usinagem, são hoje cada vez mais empregadas ferramentas computacionais que permitem simular o processo de forma confiável e precisa e, assim, substituir dados empíricos utilizados no chão-de-fábrica por dados cientificamente comprovados. Na otimização da furação, as técnicas de modelagem e simulação são importantes, visto que há uma complexa relação entre as variáveis de entrada sobre os resultados obtidos (Boeira, 2010).

Considerando-se todos estes fatores, este trabalho tem como objetivo principal a realização de análises das propriedades das raízes de cavacos obtidas através de um *QSD* simples e de baixo custo. São apresentados os primeiros resultados obtidos de ensaios de microdureza e as micrografias na região afetada pelo gume transversal da broca. O objetivo final desse estudo é, através do emprego das informações colhidas em uma grande gama de ensaios, obter aperfeiçoamentos para um modelo de forças na furação já existente, especificadamente na região do gume transversal. Desse modo, procura-se verificar a hipótese de que o encruamento e alterações microestruturais sejam responsáveis por uma grande parcela da força de avanço.

2. MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE FORÇAS NA FURAÇÃO

De acordo com Boeira (2010), na modelagem de forças, especificamente na furação, a maioria dos modelos até hoje desenvolvidos baseia-se em dados de força obtidos experimentalmente e na formulação teórica de uma sistemática para previsão destas forças para casos gerais. Segundo Astakhov (1996), a determinação teórica das forças de usinagem é uma das principais preocupações na modelagem dos processos de usinagem.

Luttervelt et al (1998) afirma que o objetivo primário da modelagem dos processos de usinagem é o desenvolvimento da capacidade de predição do desempenho no intuito de facilitar o planejamento das operações de usinagem, objetivando uma otimização da produtividade, da qualidade e dos custos.

A simulação consiste na utilização de um modelo, que através de determinadas técnicas, permita reproduzir o funcionamento do processo ou sistema real em estudo. Pritsker *apud* Boeira (2010) define simulação como sendo um processo que consiste em criar um modelo de forma lógica e matemática de um sistema real e de experimentá-lo com o auxílio de um computador, o que permite obter conclusões sobre sistemas sem construí-los, se forem novos, e sem perturbá-los, se existentes.

Atualmente, entende-se simulação não só como um modelo, mas também como todo o método experimental que se segue, buscando descrever o comportamento do sistema, além de construir teorias e hipóteses considerando as observações efetuadas. Uma das maiores vantagens do uso das técnicas de modelagem e simulação é a obtenção de respostas a estas questões sem que os sistemas sob observação sofram qualquer perturbação, uma vez que os estudos são realizados principalmente através de programas computacionais, facilita que tais estudos sejam realizados sobre sistemas que ainda não existem, permitindo o desenvolvimento de projetos eficientes antes que qualquer construção ou mudança física tenha ocorrido (Boeira, 2010).

A simulação do processo de furação vem sendo cada vez mais utilizada, principalmente devido ao alto grau de complexidade que o processo apresenta no seu entendimento. Devido às inúmeras variações que o processo apresenta em termos do número de gumes, da geometria dos gumes, da forma de guiar a broca, da relação entre diâmetro e comprimento, entre outros, é necessária a utilização de modelos adaptados (Luttervelt *et al*, 1998). Em sua maioria, os modelos empregados buscam prever os esforços atuantes durante a obtenção do furo. Entretanto, alguns buscam uma otimização da ponta da broca com modificação da geometria dos gumes, enquanto outros modelos ainda descrevem o problema do transporte do cavaco para fora do furo e a melhor geometria dos canais da broca.

2.1. Modelagem das Forças no Gume Transversal

Por se tratar de uma região em que o corte ocorre com ângulos de saída extremamente negativos e a velocidade de corte tende a zero, o entendimento dos fenômenos que ocorrem no gume transversal se torna mais complexo. Segundo Risse (2006), a contribuição do gume transversal na força de corte total da broca é pequena, mas para a força de avanço sua contribuição pode atingir patamares elevados. Estima-se que estes valores situem-se entre 65 a 75% da força de avanço total da broca, enquanto que o gume principal é responsável por 17 a 25% e as outras partes da broca por uma parcela de força inferior a 10%. Existem diversos métodos que permitem o cálculo das forças no gume transversal. Dentre eles, destacam-se os que se baseiam em princípios de deformação, escoamento, atrito do material e cisalhamento, entre outros.

Os resultados do modelo de furação desenvolvido por Boeira (2010) mostraram que as diferenças entre os valores medidos e simulados são maiores na direção de avanço, visto que a força de avanço é mais influenciada pelos fenômenos que ocorrem na região do gume transversal. Segundo Dolinšek (2003), na região do gume transversal

ocorrem grandes deformações, encruamento do material usinado e, freqüentemente, a formação de gume postiço, o que traz perturbações adicionais ao processo. O estudo realizado por ele mostrou, a partir de experimentos com interrupção súbita do corte, que ocorre um processo de endurecimento do material próximo a região de corte.

De acordo com Boeira (2010), na região do gume transversal o endurecimento pode representar uma profundidade de até duas vezes o valor do avanço por gume, com valores de dureza do material até duas vezes maior que antes de se iniciar o processo de furação. Este fenômeno torna a modelagem das forças na região do gume transversal mais complexa, já que esse efeito depende do material a ser usinado e dos parâmetros de corte, além do próprio processo e da geometria da ferramenta empregada.

Com a utilização do modelo de forças desenvolvido por Boeira (2010), na região do gume transversal, os resultados apresentaram uma discrepância maior dos valores simulados, se comparados com o gume principal. Tal fato resultou em uma faixa de intervalo de confiança em torno de 11% para o limite inferior e superior, tanto para força de corte como para a força de avanço utilizando a broca helicoidal Standard (sem alívio do gume transversal) na furação em cheio do aço ABNT1045.

2.2. Alteração de Dureza e Microestrutura no Gume Transversal

Uma característica do processo de corte de metais é que o material da peça pode deformar sob condições extremas em um pequeno volume. A condição de deformação extrema faz o corte de metais um processo notável se comparado com os outros processos de produção e reflete alta influência mecânica e térmica (Kopac, 2005).

Uma grande parcela dos materiais utilizados na usinagem apresenta a característica de poder ser deformado. Na furação, o processo de deformação mecânica ocorre principalmente na região do gume transversal e altera não só as dimensões do material, mas também a microestrutura resultante e as propriedades no material deformado. Embora, a maior parte da energia gasta nos processos de conformação a frio seja perdida na forma de calor e apenas 2 a 10% dessa energia seja armazenada na forma de defeitos cristalinos, esses defeitos causam um aumento de dureza significativo no material metálico. A esse fenômeno de aumento de dureza e resistência mecânica com o processo de deformação plástica ou mecânica é dado o nome de encruamento (Dolinsek, 2003). A Figura (1) ilustra a microestrutura de um material encruado.

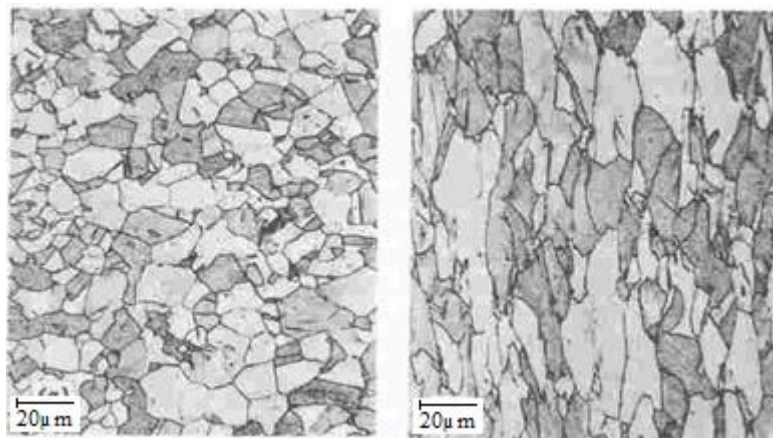


Figura 1. a) Microestrutura antes da deformação plástica, (b) Microestrutura de material encruado (Machado, 2001).

A deformação plástica ocorre por movimentação e multiplicação de discordâncias. O encruamento aparece como consequência do impedimento da movimentação das discordâncias durante a deformação plástica, de modo que uma tensão mais elevada deva ser imposta ao material para que a deformação prossiga (Eckhardt, 2003).

No estudo apresentado por Dolinsek (2003), sobre endurecimento na furação de aços inoxidáveis austeníticos, foi observado que os valores de microdureza são afetados pela deformação plástica do material, influenciados também pela formação de um gume postiço durante o processo, os valores de microdureza são afetados. A micrografia do corpo de prova e o perfil de microdureza são mostradas na Fig. (2).

Com relação à característica da microestrutura, quando são utilizadas altas velocidades de avanço e baixas rotações, a microestrutura apresenta maior refinamento de grãos. Tais estruturas são consequências diretas das deformações mais severas e temperaturas máximas localmente menores, pois o tamanho do grão final depende fortemente do grau de deformação do processo (Eckhardt, 2003).

Um dos modos de alcançar maior conhecimento do processo de furação é através da análise da formação de cavacos. Este método, entretanto, apresenta grandes dificuldades devido às altas velocidades de corte que ocorrem em condições industriais e por causa da pequena escala de fenômenos a serem observados. Poucas informações úteis sobre a formação do cavaco podem ser obtidas pelo estudo final do caminho de corte após o processo ter sido interrompido de

maneira convencional (desengate do avanço da ferramenta e do eixo da árvore). Já pela parada súbita do corte é possível obter detalhes importantes do mecanismo de formação dos cavacos.

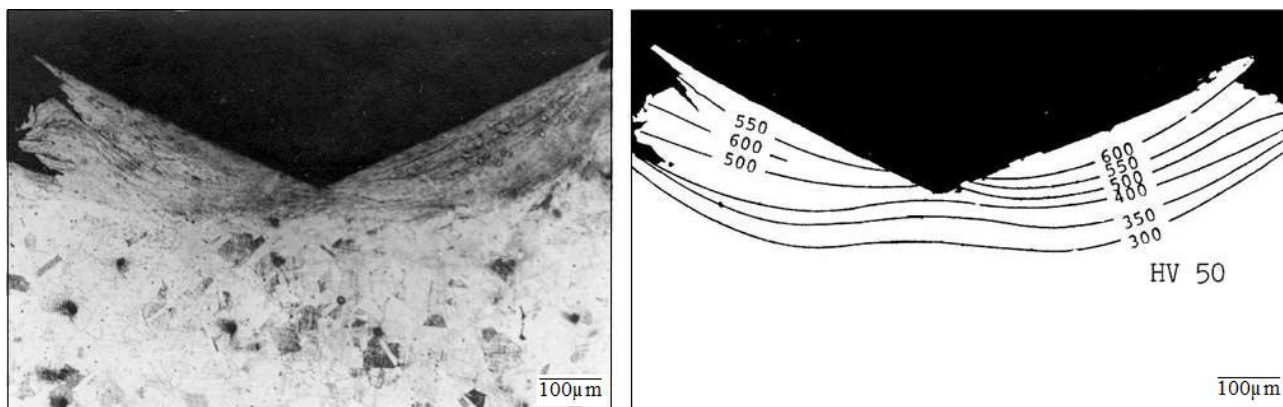


Figura 2. Micrografia e perfil de dureza (Dolinsek, 2003).

Para obter o “congelamento” da ação de corte utiliza-se normalmente um dispositivo denominado *QSD* (*Quick-Stop Device*), que interrompe subitamente o processo corte, possibilitando então a obtenção de raízes de cavaco. A seguir é apresentado o projeto e construção de um dispositivo *QSD* simples e de baixo custo pra o processo de furação.

3. PROJETO DE UM *QUICK-STOP DEVICE*

O projeto e construção de um *QSD* para a furação é um assunto menos abordado do que dispositivos *QSD* voltados ao torneamento. Por esse motivo, verifica-se a necessidade de dedicar esforços para o projeto de um dispositivo que venha a ser uma solução satisfatória em termos de baixo custo, estrutura suficientemente rígida, dimensões compactas e velocidade de separação superior à velocidade de corte. Dentro de uma gama de soluções possíveis, seja em termos de estrutura e acionamento (por exemplo: mecânico, pneumático, hidráulico), foram aplicadas ferramentas e conceitos da metodologia de projeto para que se pudesse chegar à melhor solução.

O projeto de um produto deve fazer uso de uma metodologia diferenciada para sua execução. Para auxiliar no projeto do *QSD* utilizou-se o modelo PRODIP de desenvolvimento de produtos, apresentado por Ogliari (2007), esquematizado sinteticamente na Fig. (3). Neste modelo faz-se necessária uma estrutura de funções consistente, que abranja todo o projeto, tornando-o organizado. Tal estrutura é chamada de Estrutura do Desdobramento do Trabalho (EDT). Na EDT, elabora-se uma lista de atividades a serem executadas para atender aos objetivos do desenvolvimento do produto. As estruturas de desdobramentos de trabalho para este projeto foram divididas em três módulos: projeto informacional, projeto conceitual e construção (engloba o projeto detalhado e toda a fase de implementação). Essas funções foram divididas em outras 13 funções específicas. Um diagrama simplificado pode ser visto na Fig. (4).



Figura 3. Modelo PRODIP de desenvolvimento de produtos (Ogliari, 2007).

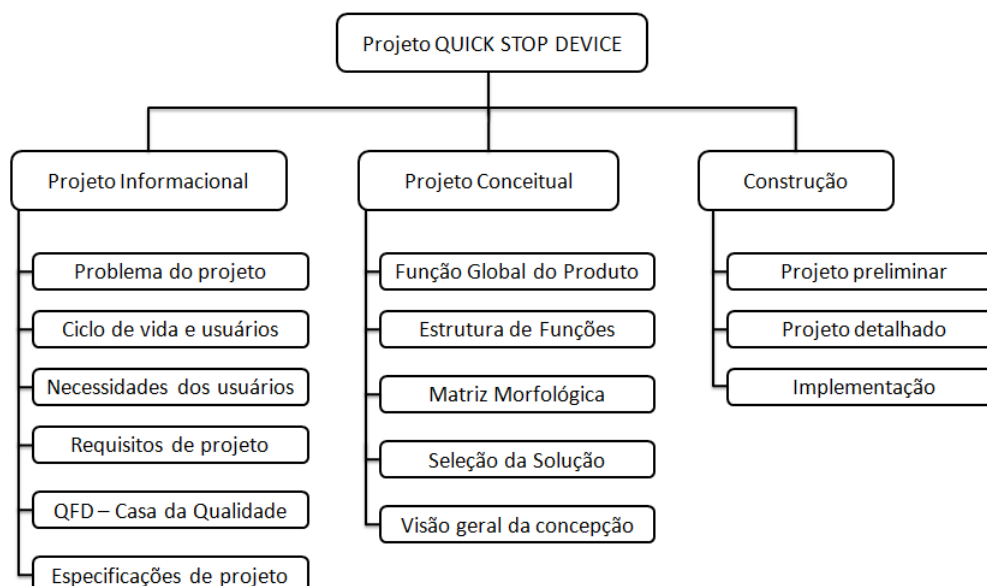


Figura 4. Diagrama esquemático da Estrutura do Desdobramento do Trabalho.

3.1. Projeto Informacional

Segundo Ogliari (2007), o projeto informacional tem como objetivo “desenvolver as especificações de projeto, os requisitos de projeto classificados e estabelecidos com valores-meta a serem atingidos com a solução proposta”.

Define-se primeiramente o problema do projeto, o que possibilita a realização de um estudo do ciclo de vida desejável para o produto e os seus possíveis usuários. O ciclo de vida do produto é caracterizado desde a idéia do produto até o seu descarte. O produto deve atender a todas as solicitações e com isso apresentar um longo período de vida útil. Os usuários do *QSD*, por sua vez, são professores, alunos e técnicos ligados à área da usinagem. As necessidades dos usuários foram obtidas através de interações com os envolvidos e interessados no projeto. Por meio destas foi possível verificar alguns outros aspectos considerados relevantes pelos usuários, como a necessidade de que o *QSD* garanta repetibilidade, seja compacto, eficiente, possua custo reduzido, seja de fácil manuseio, com peças modulares e ofereça segurança ao usuário. Estes aspectos destacados pelos usuários são chamados “necessidades dos usuários”. A seguir, há a conversão das necessidades do usuário para requisitos de usuário que, na definição de Ogliari (2007), “consiste em transformar declarações gerais e qualitativas em linguagem mais apropriada para o desenvolvimento do projeto”. Assim, encontram-se os seguintes requisitos: preço acessível dos componentes, poder ser utilizado várias vezes sem alteração nas variáveis de saída, apresentar estabilidade durante as solicitações, ser de fácil montagem e operação, oferecer a possibilidade de ser utilizado em diferentes máquinas e brocas, suportar solicitações, ter tamanho reduzido e prover segurança ao operador e equipamentos envolvidos. A seguir, devem ser obtidos os valores que indicam a importância de cada requisito, sendo cinco o valor de maior importância e zero o valor de menor importância. Tais valores serão definidos de acordo com os critérios da equipe do projeto e as respostas são obtidas do questionário da Tab. (1), respondido pelos envolvidos no projeto.

Tabela 1. Requisitos de usuários com seu valor de importância.

Requisito de usuário	Valor de importância
Suportar as solicitações	5
Estabilidade durante as solicitações	5
Rápida liberação do corpo de prova	5
Tamanho reduzido	4,5
Ser utilizado diversas vezes sem alterar as variáveis de saída	4
Possibilidade de ser utilizado em diferentes máquinas e com diferentes brocas	4
Preço acessível dos componentes	2,25
Ser fácil de montar e operar	1,5

Os requisitos de usuários são gerais e qualitativos e, para efeito de projeto de produto, devem ser introduzidos na forma de termos técnicos, ou seja, na “voz da engenharia”, resultando nos requisitos de projeto (Ogliari, 2007). Estes recebem valores meta, que possuem grande influência nas etapas subsequentes tornando-se limitantes do projeto.

A metodologia de projeto utilizada faz ainda uso da Casa da Qualidade como uma das etapas do projeto informacional. Após a obtenção de todos os dados para a casa da qualidade pode enfim ser montada uma tabela onde os requisitos de projeto são ordenados em grau de importância. Desta maneira aqueles que ocuparem as primeiras posições correspondem aos itens do produto aos quais se deve dar máxima atenção e esforço.

3.2. Projeto Conceitual

No projeto conceitual são geradas e comparadas as possíveis concepções do produto. Esta é a fase que exige maior criatividade, pois nela são gerados todos os princípios de solução para os problemas do projeto. Durante esta fase são definidas as funções do produto, bem como suas sub-funções, sempre tendo como base as informações obtidas no projeto informacional, de modo a gerar soluções o mais próximas possível das necessidades dos clientes. A função global do produto é liberar o corpo de prova de forma rápida sem danificá-lo. Após a definição da função global, podem-se definir suas funções parciais: fixar a peça durante o processo de furação e garantir que o corpo de prova ou pedaços da broca – visto que há a possibilidade de quebra - não sejam arremessados contra o operador após a liberação. A Figura (5) mostra o esquema da estrutura de funções.

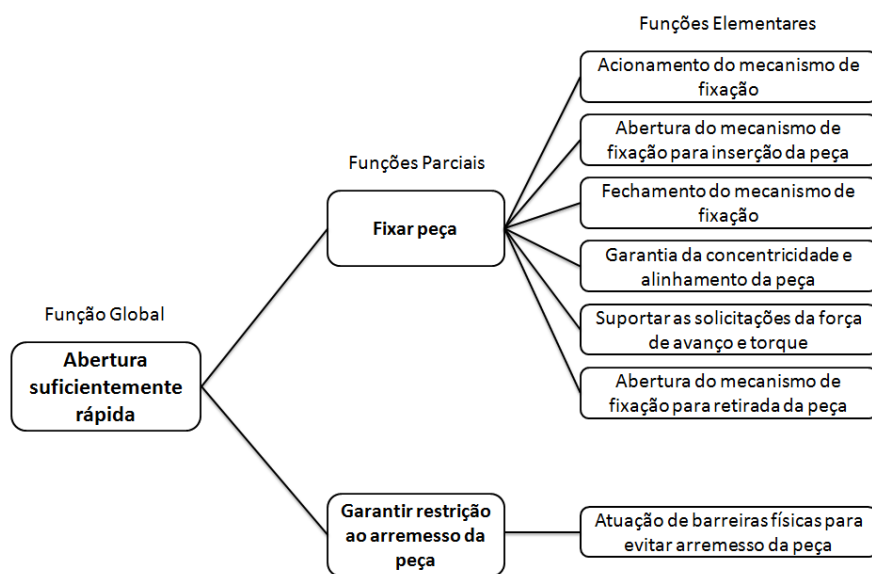


Figura 5. Estrutura de funções.

Nesta etapa do projeto foi utilizada a técnica do *brainstorming*, uma atividade desenvolvida para explorar a potencialidade criativa para solucionar os diversos problemas do produto. Assim, geraram-se vários princípios de solução para cada função do produto.

Após várias combinações de possíveis soluções, foi utilizada uma ferramenta chamada matriz de Pugh, através da qual se chegou a uma concepção final, escolhida por atender satisfatoriamente a todos os requisitos.

4. CONSTRUÇÃO DO QSD

Após toda a fase inicial de projeto do dispositivo partiu-se para sua modelagem em um *software* CAD 3D. Sua modelagem permitiu a análise prévia do comportamento do QSD. Foram realizadas várias simulações relativas à sua funcionalidade e eficiência. Com essas simulações, por exemplo, obtiveram-se valores aproximados do peso de cada componente. Também se pode ver através de animações a trajetória e o deslocamento das partes móveis do dispositivo. Assim, diversas alterações puderam ser feitas antes mesmo da construção do protótipo. Isso economiza tempo, material e recursos financeiros do projeto.

Concluída a fase de simulação foi iniciada a fabricação das peças do QSD. Para tal, utilizou-se o aço ABNT 1045 para as peças estruturais. O QSD é montado em uma morsa hidráulica e consiste em apenas seis componentes. Duas placas retangulares (batentes) apoiam as molas. Uma delas é utilizada em conjunto com uma peça prismática (um postigo, com encaixe por parafuso), sendo esta sempre em formato de um paralelepípedo, podendo variar sua forma e tamanho a fim de permitir a utilização de vários tipos de mola, diferentes corpos de prova e uma estimativa da contribuição de configurações de fixações diferentes nos resultados dos ensaios. A outra placa retangular possui um rasgo de 90° (cunha) que, juntamente com a face da peça prismática, possibilita o aperto do corpo de prova. Além disso, no centro da face oposta à cunha tem-se um pino guia (fixado por parafuso) que desliza no interior de um furo

localizado na face de outra peça que possui a forma de um “U”. O canal desta peça guia um gatilho. O pino somente se movimenta quando é liberado pelo gatilho. Este gatilho nada mais é que uma placa com um rasgo (que possibilita a passagem do pino) e um furo oblongo onde é inserido um pino fim de curso. Este sistema está sob ação de duas molas de tracionam as partes envolvidas no aperto do corpo de prova. O aperto é dado pelas placas da morsa. Ao liberar o gatilho, as molas empurram a placa da cunha soltando rapidamente o corpo de prova. A Figura (6) mostra todo o conjunto de peças do QSD na montagem final, além do gatilho no detalhe.

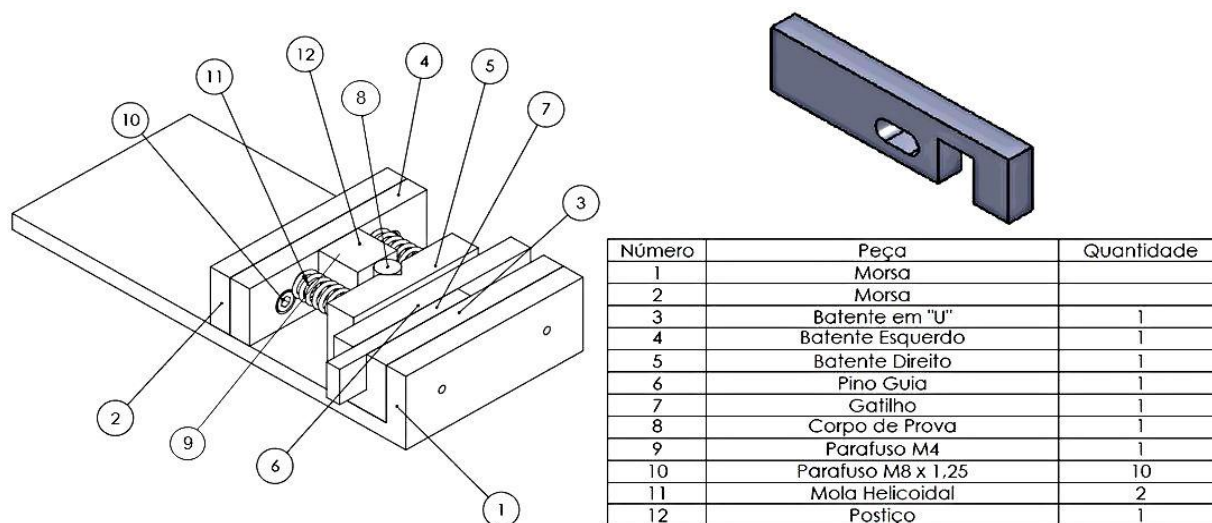


Figura 6. Montagem final do QSD.

5. TESTES EXPERIMENTAIS

O QSD desenvolvido foi testado em velocidades de corte relativamente baixas. A máquina utilizada nos teste foi uma furadeira de coordenadas WMWBKoE 315x500 com potência de 3 kW e rotação máxima de 3485 rpm, do Laboratório de Mecânica de Precisão (LMP). Os corpos de prova em aço ABNT 1045 possuem diâmetro de 15 mm e altura de 10 mm, e foram usinados com brocas helicoidais de aço rápido do tipo *standart* - sem alívio do gume transversal -, com diâmetro de 10 mm e comprimento total de 133 mm, haste paralela e canal helicoidal, sem afiação especial. A velocidade utilizada foi de 3,5 m/min, avanço de 0,125 mm e sem utilização de fluido de corte. Testes posteriores realizados com uma velocidade de corte de até 35 m/min com os mesmos materiais, apenas variando-se o avanço, foram bem sucedidos na obtenção da raiz de cavaco. Uma vez acionado o QSD, obteve-se a raiz de cavaco, conforme pode ser observado na Fig. (7).

Para análise da raiz do cavaco o corpo de prova passa por um processo de preparação metalográfica. Utilizando a metodologia proposta por Dolinšek (2003), faz-se um corte transversal conforme ilustrado pela Fig. (7). Depois de cortada, a peça é embutida em uma resina sintética, quimicamente estável e resistente ao calor, a baquelite, uma junção do fenol com o formaldeído (aldeído fórmico), formando um polímero chamado polifenol. Procede-se então o processo de lixamento e polimento da amostra. Em tais processos utilizam-se, respectivamente, lixas com água e com solução de alumina. A Figura (7) mostra a amostra depois de ter sido submetida a esses processos. Após ataque com Nital 3%, a amostra está pronta para ser analisada em um microscópio eletrônico, modelo Leica DM 4000M, com câmera CCD Leica DC 300. Posteriormente a amostra é submetida à medição de microdureza.

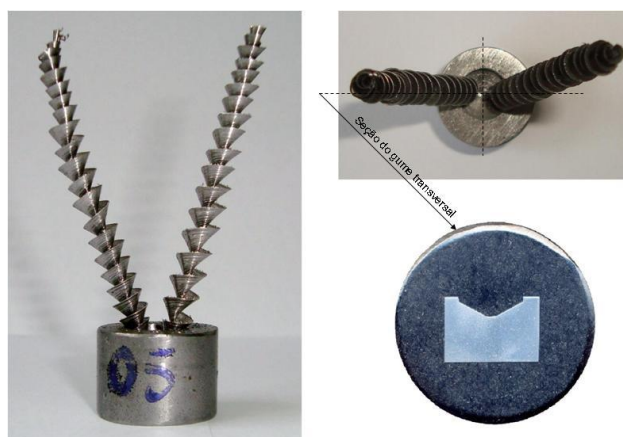


Figura 7. Raiz de cavaco obtida e seção transversal do gume transversal após preparação metalográfica.

6. RESULTADOS OBTIDOS

Com base nas micrografias obtidas, foi possível visualizar o processo de conformação e encruamento do material. Na Figura (9), as micrografias mostram a região do gume transversal, sendo que em alguns pontos verifica-se a formação de um cavaco de gume transversal; esse processo de formação é principalmente uma consequência da deformação plástica do material (velocidade de corte baixa no centro da broca e altas forças de compressão).

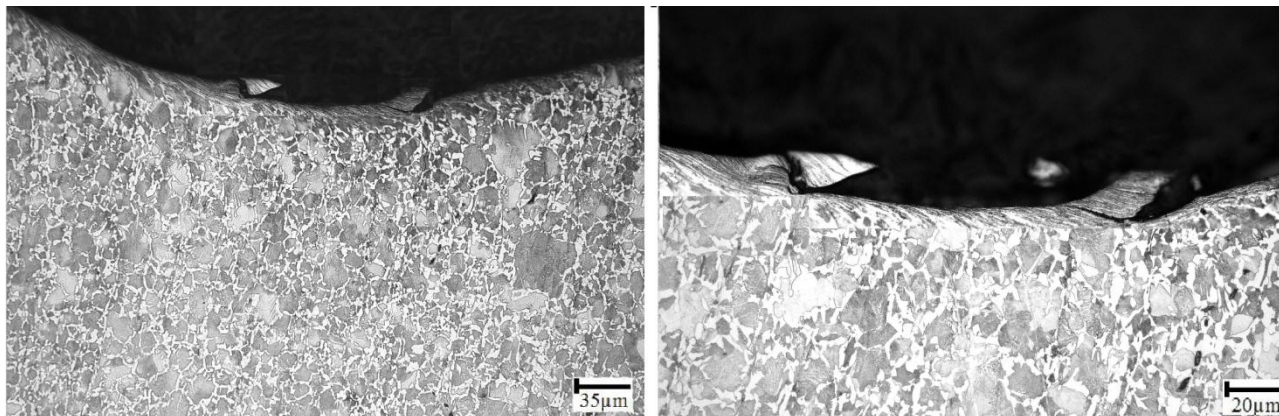


Figura 8. Micrografias dos corpos de prova.

Para a medição da microdureza, utilizou-se um Microdurômetro Shimadzu HMV-2, equipado com um penetrador de diamante indeformável, sendo a carga aplicada pelo penetrador de 0,5 kgf. Portanto, a notação do ensaio é dada como HV 0,5.

As medições de microdureza da região abaixo do gume transversal foram realizadas conforme ilustra a Fig. (8): foram realizadas doze linhas de medições, cada uma composta por três colunas, totalizando trinta e seis medidas por amostra. A primeira medição foi feita 0,2 mm abaixo da linha limite entre resina e peça, na parte central da região afetada pelo gume transversal. A partir desse primeiro ponto, foram realizadas mais duas medidas, uma ao lado esquerdo e outra do direito, ambas a 0,5 mm do ponto da primeira medição, obtendo-se assim a primeira linha de medidas. As outras linhas foram obtidas distanciando-se 0,16 mm da primeira. A Tabela (2) contém os valores medidos com as médias de cada linha.

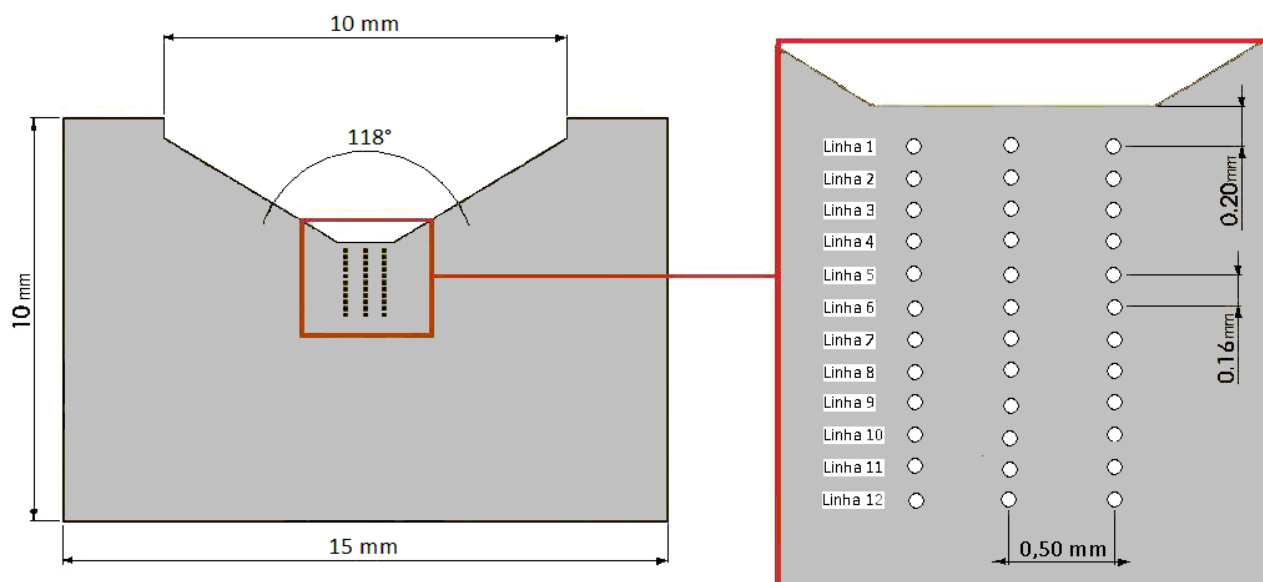


Figura 9. Esquema do procedimento de medição de microdureza utilizado.

Conforme já mencionado anteriormente, a camada afetada pelo encruamento em um processo de furação pode atingir valores de até duas vezes o valor do avanço por gume. Tal fato foi confirmado pelos resultados realizados neste trabalho. Uma vez que foi utilizado um avanço de 0,125 mm, esperava-se então que a profundidade de endurecimento atingisse um valor de até 0,25 mm. A primeira linha de medições foi realizada a uma distância de 0,2 mm da superfície

limítrofe resina-peça, e nessa área foram encontrados os maiores valores de dureza e a maior média das três medições. A partir da segunda linha, em todas as outras linhas de medição a média alcançou valores de até 261 HV. No entanto, para a primeira linha (exatamente na faixa citada por Boeira) a média subiu para 274 HV, ou seja, média 5% maior.

Tabela 2. Valores de microdureza medidos.

Medição	Esquerda [HV]	Centro [HV]	Direita [HV]	Média [HV]
1	266	279	277	274
2	255	253	258	255,33
3	272	267	265	268
4	269	257	254	260
5	270	264	257	263,67
6	263	252	266	260,33
7	265	256	261	260,67
8	272	250	269	263,67
9	253	257	260	256,67
10	263	258	273	264,67
11	265	252	262	259,67
12	268	256	261	261,67

7. CONCLUSÕES

O presente estudo apresenta resultados iniciais obtidos com um *QSD* projetado e construído para análise de raízes de cavaco no âmbito do gume transversal. O processo de encruamento é um fenômeno que depende principalmente do material utilizado, taxa de avanço e temperatura na ponta da broca. Muitos ensaios podem ser realizados a fim de se obter raízes de cavaco variando-se estes parâmetros. A partir daí, investiga-se a influência do encruamento na força de avanço da broca. No entanto, os resultados obtidos são muito satisfatórios.

O objetivo inicial de desenvolvimento de um dispositivo de parada súbita do processo de furação, simples e de baixo custo, foi alcançado. O *QSD* projetado e construído conseguiu a obtenção das raízes de cavaco na região do gume transversal com sucesso. Alguns problemas durante os testes do *QSD* puderam ser observados e corrigidos, o que possibilita também, no futuro, envidar esforços para melhoria do protótipo. O método de preparação metalográfica das amostras resultou bem sucedido, porque propiciou uma análise da região de interesse sem alterar as condições iniciais do material.

Os resultados obtidos pelos ensaios de microdureza dos corpos de prova analisados mostraram uma camada endurecida logo abaixo do gume transversal. Para o aço ABNT 1045, nas condições de corte utilizadas, os valores medidos na região afetada pelo gume transversal mostraram um aumento médio de 5% da microdureza em relação às regiões não afetadas. Sabendo-se que os valores de microdureza de uma camada encruada podem chegar a ser até 50% maiores em relação ao mesmo material não encruado, poderia se considerar o aumento de 5% não relevante. No entanto, levam-se em conta as baixas taxas de deformação do ensaio realizado, em virtude do pequeno avanço e velocidade de corte utilizado. No caso analisado, também se comprovou que a camada afetada pelo encruamento tem tamanho de até duas vezes o valor do avanço por gume (0,125 mm), visto que para as medições realizadas após 0,25 mm, os valores de microdureza apresentaram valores médios semelhantes.

A microestrutura analisada apresenta, na região afetada pelo gume transversal, um alongamento dos grãos na direção da deformação. Nota-se também a formação de um pequeno cavaco nessa região, o que ratifica a hipótese de que efetivamente ocorre corte na região do gume transversal, mesmo para ângulos de saída muito negativos. Essa é uma informação importante para a modelagem do processo, porque indica ser possível utilizar a equação de Kienzle nos cálculos do modelo. A camada endurecida logo abaixo do gume transversal comprova que realmente ocorre encruamento do material durante a furação, e isto precisa ser considerado na modelagem das forças atuantes no gume transversal.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem o apoio da CAPES e do CNPq, através da concessão de bolsas de estudos, bem como ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica (POSMEC) da Universidade Federal de Santa Catarina pelo auxílio financeiro e administrativo. Agradecem também ao Laboratório de Mecânica de Precisão (LMP), pela infra-estrutura cedida, professores, técnicos e profissionais que atuaram nesta pesquisa.

9. REFERÊNCIAS

- Astakhov, V.P., Osman, M.O.M., 1996, "An analytical evaluation of the cutting forces in self-piloting drilling", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 36, No. 11, pp. 1187-1200.
- Boeira, A.M.G., 2010, "Modelagem e Simulação das Forças na Furação com Brocas Helicoidais a Partir de Dados Obtidos no Torneamento de Segmentos Cilíndricos", Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Bork, C.A.S., 1995, "Otimização de Variáveis de Processo para a Furação do Aço Inoxidável Austenítico DIN 1.4541", Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Castillo, W.J.G., 2005, "Furação profunda de ferro fundido cinzento GG25 com brocas de metal-duro com canais retos", Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Dolinšek, S., 2003, "Work-hardening in the Drilling of Austenitic Stainless Steels", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 133, pp. 63-70.
- Eckhardt, M., 2003, "Relação entre Processo, Microestrutura e Propriedades Mecânicas na Furação por Escoamento de Aços de Baixo Carbono", Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Kopac, J., Pusavec, F., and Jurkovic, J., 2005, "Wear Mechanisms and Material Flow Analysis in High Speed Turning of Soft Grey Cast Iron", Faculty of Mechanical Engineering, Ljubljana, Slovenia.
- Konig, W., and Klocke, F., 2002, "Tecnologia de usinagem com Ferramenta de Corte de Geometria Definida – Parte I. Tradução de Walter L. Weingaertner e Rolf Bertrand Schroeter", Florianópolis, 471p.
- Luttervelt, C.A., et al., 1998, "Present situation and future trends in modelling of machining operations", CIRP Annals, Vol. 47, Issue 2, pp. 587-626.
- Machado, I. F., 2001, "Tratamentos térmicos e de superfície", Apostila da disciplina de Introdução à Manufatura Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Ogliari, A., 2007, "Metodologia de Projeto em Engenharia Mecânica", Notas de Aula da Disciplina EMC 5302, Cap. 2, pp. 2-24, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Risse, K., 2006, "Einflüsse von Werkzeugdurchmesser und Schneidkantenverrundung beim Bohren mit Wendelbohrern in Stahl", Tese de doutorado, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Aachen, Alemanha.

10. DIREITOS AUTORAIS

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

CHIP ROOT ANALYSIS IN THE CHISEL EDGE AREA OF HELICAL DRILLS SEEKING FORCE MODELLING

Bruno Fioravante Saratt, bruno_saratt@hotmail.com¹

Régis Carpes Pontel, regpon@gmail.com¹

Rodrigo Blödorn, rodrigoblodorn@yahoo.com.br¹

Rolf Bertrand Schroeter, rolf@emc.ufsc.br¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Mecânica de Precisão (LMP), UFSC, Caixa Postal-476 EMC, 88.010-970 Florianópolis/SC, Brasil

Abstract. *The chisel edge, an important subject of this study, is located in the point of the drill, joining the main cutting edges. In this area, due a negative rake angle, it doesn't accomplish material cutting. Instead of that, there is a plastic deformation of the workpiece material and an extrusion of this material in the main edge cutting areas direction. Due the plastic deformation, the workpiece material can work harden, could happen modifications in their properties, as hardness and specific cutting force. However, few useful information about chip formation can be obtained by the final study of the cutting after the process was interrupted by a conventional way - to disengage the tool feed and the spindle -, because this way the tool would suffer a deceleration relative to the workpiece, and one couldn't evaluate the real effect of the cut speed. To verify the changes in material properties, happened in the chisel edge area, it is necessary to obtain chip roots (partially formed chips attached to the workpiece), once, for the sudden stop of the cutting, it is possible to obtain important details about the chip formation mechanism. In order to have the "freezing" of the cutting action, it is used, usually, a device called Quick-Stop Device (QSD). It interrupts the cutting process all of a sudden, making possible the obtaining of chip roots. The present work shows the first obtained results of the machining study in the area of the chisel edge. These results were possible due the successful application of a QSD and subsequent micrography of the samples, and this results will be applied in a drilling force model already developed.*

Keywords: *drilling, chisel edge, helical drill, chip root, Quick Stop Device (QSD).*

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.