

INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE CORTE NA FURAÇÃO PROFUNDA DO AÇO SAE 4144

Fabio Augusto Wosniak, fabio.wosniak@terra.com.br
Milton Luiz Polli, polli@utfpr.edu.br
Paulo André de Camargo Beltrão, beltrao@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Mecânica, Av. Sete de Setembro, 3165.
CEP 80230-901, Curitiba-PR – Brasil.

Resumo: *Este trabalho apresenta um estudo de usinabilidade do Aço SAE4144 para a operação de furação profunda, onde os parâmetros de corte e características da ferramenta são avaliados com o auxílio da Metodologia de Projeto de Experimentos (DOE). A base do estudo é um problema real de uma empresa fabricante de auto-peças a qual produz um componente do sistema de injeção diesel em dois materiais diferentes (C45PbK e SAE4144). O material SAE4144, ao contrário do C45PbK, apresenta uma usinabilidade bastante ruim, gerando cavacoem forma de fita, quebra de broca, variações de medidas, o que torna o custo do produto muito elevado. Utilizando um procedimento de otimização com base em planejamento de experimentos e análise estatística determinou-se os parâmetros de corte mais adequados para o melhor desempenho possível do processo. Os resultados indicam que existem duas combinações de velocidade de corte e velocidade de avanço ótimas para o processo. Além disso foi verificado uma grande influência da cobertura PVD-TiN e da pressão do óleo lubri-refrigerante. O uso dos parâmetros otimizados resulta em menor quebra das brocas, redução do tempo de usinagem e melhora na qualidade da superfície.*

Palavras-chave: *Furação profunda, Forma do Cavaco, SAE 4144, DOE, Superfície de Resposta.*

1. INTRODUÇÃO

Os processos de usinagem passaram nestes últimos anos por profundas mudanças visando principalmente o aumento da produtividade e a garantia da qualidade dos produtos fabricados em larga escala. Estas altas taxas de produtividade podem ser alcançadas desenvolvendo máquinas mais modernas, ferramentas de alta tecnologia e automatizando os processos de fabricação. Porém, para que se tenha um processo totalmente otimizado é fundamental estudá-lo em detalhes, analisar a fundo o processo de formação de cavaco, assim como o mecanismo de desgaste da ferramenta, para então encontrar os parâmetros ótimos que permitirão elevar ao máximo o rendimento do processo.

Em geral, as estratégias utilizadas para determinar os parâmetros de usinagem nas indústrias são baseadas em estudos empíricos e catálogos de fornecedores. Nesses estudos avalia-se a usinabilidade de um determinado material através de alguns fatores e eventos relacionados ao processo, tais como: tipo de cavaco gerado, desgaste da ferramenta, nível de vibração, qualidade superficial da peça obra e o tempo de ciclo. Porém, esse método nem sempre garante a melhor condição de uso do equipamento de usinagem. O fornecedor da máquina ou ferramenta também pode sugerir parâmetros de trabalho, no entanto muitas vezes estes não conseguem atingir o rendimento máximo do processo, pois se baseiam em resultados obtidos em laboratório, os quais não representam a realidade da empresa. Por conta disto, os trabalhos focados na otimização de processos dentro da área fabril ganham considerável importância.

Assim como sugere Machado (1998), a usinabilidade pode ser definida como sendo uma grandeza que indica a facilidade ou dificuldade de se usinar um material. Em termos gerais, a usinabilidade não depende apenas das propriedades da matéria-prima, mas também do “modo” como este é usinado.

Segundo um estudo feito pela empresa Sandvik Coromant, um aumento de 50% na vida da ferramenta reduz em determinados casos apenas 1% o custo do produto final. Já uma otimização de 20% nas condições de usinagem reduz em 15% este custo. Assim, a otimização dos parâmetros de processo tem sido cada vez mais almejada com o intuito de buscar uma alta produtividade.

A partir destas mesmas tendências, desenvolveu-se um estudo na área de manufatura, tomando por base um problema real em uma empresa do seguimento de auto-peças, no setor de produção de componentes de sistemas diesel focando o componente porta-injetor. O componente em questão é utilizado para transportar o combustível da tubulação de alta pressão até a câmara de combustão. Por se tratar de uma aplicação crítica, utiliza-se um material com alta resistência à pressão e fadiga. A empresa especificou o aço SAE 4144, por se tratar de um material nobre (aço liga) o

qual possui as características de resistência ao trabalho sob pressão de até 2000 bar na injeção do fluido combustível; além do material possuir poucas inclusões e permitir um tratamento térmico de endurecimento por completo.

No entanto, para uma operação de furação profunda sua usinabilidade torna-se complicada, fazendo com que este processo cause uma série de problemas que impactam no custo do produto acabado (König (1997)). Isto se deve ao alto índice de quebra de broca, baixa vida útil da ferramenta e alto tempo de ciclo, e ainda impacto na produtividade e prazos de entrega. Na Figura 1 é apresentado o cavaco tipo fita formado na operação de furação profunda.



Figura 1. Cavaco tipo fita e helicoidal longo: ampliado (à esquerda) e enrolado na ferramenta.

Neste contexto foi proposto um estudo dos parâmetros de usinagem para o processo de furação profunda do material SAE 4144. O problema foi abordado com o auxílio do modelo de projeto de experimentos (DOE). Este modelo tem a vantagem de analisar a influência de “n” fatores de forma organizada, confiável e segura, mostrando o efeito de cada parâmetro de entrada sobre o processo em questão, permitindo assim identificar com quais destes parâmetros a operação pode ser otimizada (Montgomery (2001)). Em seguida foi utilizada a metodologia de Superfície de Resposta para encontrar o ponto de máximo rendimento do processo.

2. METODOLOGIA

Os experimentos foram conduzidos em um centro de furação profunda Nagel com quatro eixos- árvore horizontais com rotação máxima de 15.000 rpm. A máquina possui quatro fusos porta ferramentas, o que permite furar quatro peças simultaneamente. Os corpos de prova utilizados para os ensaios foram os porta-injetores de aço SAE 4144 com o 74 mm de comprimento e 26 mm de diâmetro, já pré-usinado como mostrado na Fig. (2).

Foram utilizados durante todos os ensaios brocas canhão de metal duro com formato de guia G, diâmetro de 1,8 mm e comprimento de 210 mm. As rodadas dos experimentos avaliaram a influência da cobertura de PVD-TiN e a qualidade de afiação (afiadora CNC ou Manual). O meio lubri-refrigerante utilizado no ensaio foi o óleo integral mineral Ecocut 610B da empresa Fuchs, e aplicado com pressões de 140 e 160 bar.

Os experimentos foram divididos em 2 etapas: primeiramente objetivou-se encontrar o motivo para a quebra de ferramentas, depois foi feito um estudo para se determinar a melhor combinação de parâmetros para proporcionar uma boa usinabilidade (Wosniak et al. (2007)). Os parâmetros de corte avaliados na primeira etapa foram: a velocidade de corte, com os valores de 73 e 84 m/min; a velocidade de avanço, com os valores de 90 e 115 mm/min; a pressão do óleo, com valores de 140 e 160 bar. Na segunda etapa foram avaliadas com maior detalhe a velocidade de corte e a velocidade de avanço, onde a velocidade de corte assumiu os valores de 83,6 m/min; 80,6 m/min; 77,6 m/min; 84,8 m/min; 76,3 m/min e a velocidade de avanço assumiu os valores de 90 mm/min; 94 mm/min; 103 mm/min; 111 mm/min e 115 mm/min.

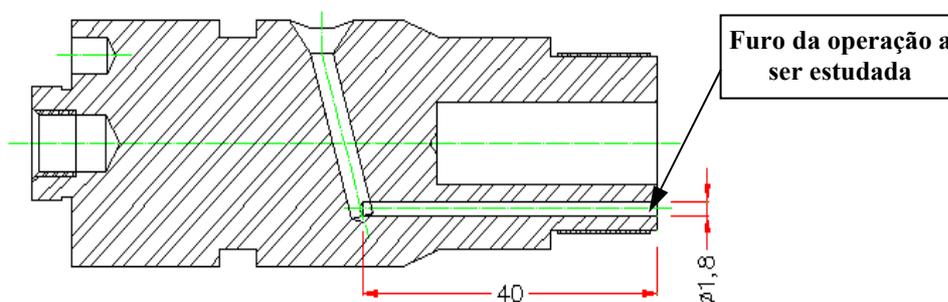
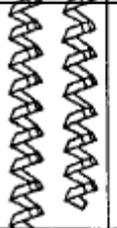
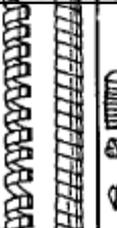
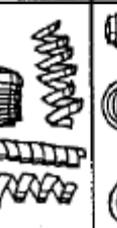
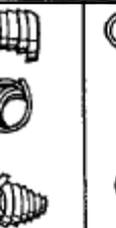
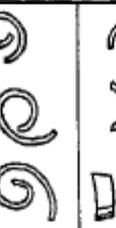


Figura 2. Corpos de prova ensaiados.

2.1. Medição de Usinabilidade: Critério Forma de Cavaco

Para a avaliação da usinabilidade utilizou-se uma metodologia que consiste em realizar a medição da forma do cavaco de modo qualitativo. Os cavacos foram coletados na máquina e em seguida classificados conforme o padrão mostrado na Tab. (1). O cavaco do tipo fita recebeu maior pontuação (10), pois apresenta maior perigo para usinabilidade, enquanto o cavaco vírgula curto recebeu a menor pontuação (1) por apresentar menor perigo (Ferraresi (1977)).

Tabela 1. Padrão utilizado para classificar a forma do cavaco.

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
									
Cavaco Fita	Cavaco Fita embolado	Cavaco Helicoidal chato	Cavaco Helicoidal inclinado	Cavaco Helicoidal longo	Cavaco Helicoidal curto	Cavaco Helicoidal espiral	Cavaco Espiral	Cavaco Vírgula	Cavaco Vírgula curto

Para tornar a análise mais confiável, foram feitas avaliações com mais de uma pessoa para cada análise. Em seguida, foi calculada a média para cada resultado obtido das análises individuais, reduzindo assim a influência da opinião pessoal de cada indivíduo.

2.2. Ensaio de identificação das causas de quebra de ferramenta

O ensaio de identificação das causas da quebra das ferramentas teve como objetivo encontrar o motivo e os fatores responsáveis pela quebra. Para isso, foram levantados todos os fatores de possível influência na quebra de ferramenta através de entrevistas, e também, foi feito um acompanhamento durante um período de três semanas das entradas (parâmetros de usinagem, tipo de ferramenta) e das saídas do processo (vida útil da broca, quantidade de quebras), a partir de uma folha de coleta de dados.

Após coletadas as informações sobre o problema do processo, foram analisados e estratificados os dados obtidos, a fim de gerar gráficos para interpretação dos fatores de maior potencial de influência nos problemas do processo. Para identificar os parâmetros de entrada de maior efeito sobre os parâmetros de saída do processo, e compreender como estes parâmetros se comportam, foi planejado um experimento fatorial DOE auxiliado pelo software MINITAB®, no qual foram realizadas 16 rodadas de teste e analisados 5 parâmetros de entrada do processo.

Durante o acompanhamento do processo, foi verificado que a quebra era causada principalmente pelo cavaco do tipo fita que se enrolava na broca. Por isso foi tomado como variável resposta do experimento a ocorrência do cavaco fita.

2.2.1. Metodologia dos ensaios

A sistemática empregada para realização do experimento foi seguida conforme a metodologia do DOE fatorial. Cada fator analisado sofreu variação em dois níveis: alto e baixo, para parâmetros quantitativos; e duas características, para os parâmetros qualitativos, conforme pode ser visto na Tab. (2).

Tabela 2. Projeto de experimentos Fatorial Fracionado (DOE).

FATOR	NÍVEL	
Vel. de Corte [m/min]	73,5	84,8
Avanço [mm/min]	90	100
Pressão [bar]	140	160
Cobertura	Com	Sem
Afiação	CNC	Manual

Os parâmetros foram alimentados no Software de estatística MINITAB®, o qual forneceu a combinação de rodadas para teste mostrados na Tab. (3). Para cada rodada determinou-se furar 20 peças (10 peças por broca e 2 brocas por

rodada para aumentar a confiabilidade do experimento), sendo coletado o cavaco enrolado na broca ao final de cada ciclo de furação. Desta forma foi possível avaliar a influência dos parâmetros na formação do cavaco tipo fita, permitindo saber como evitar que este se enrola na broca.

Tabela 3. Combinação de rodadas para teste processada pelo MINITAB®: DOE Fatorial Fracionado.

Rodada	Rotação (rpm)	Vel. Corte (m/min)	Avanço (mm/min)	Pressão (bar)	Afiação	Cobertura	Quant cavaco (g)	Perigo	Risco
1	13000	73,5	100	140	CNC	Com	3,16	3	9,48
2	13000	73,5	100	140	Manual	Sem	1,33	10	13,30
3	15000	84,8	100	160	CNC	Com	0,03	1	0,03
4	15000	84,8	100	160	Manual	Sem	0,43	10	4,30
5	13000	73,5	80	160	CNC	Com	0,00	1	0,00
6	13000	73,5	80	160	Manual	Sem	0,36	10	3,60
7	15000	84,8	80	140	CNC	Com	0,11	10	1,10
8	15000	84,8	80	140	Manual	Sem	1,38	10	13,80
9	15000	84,8	80	160	CNC	Sem	0,00	10	0,00
10	15000	84,8	80	160	Manual	Com	0,03	3	0,09
11	13000	73,5	100	160	CNC	Sem	0,06	3	0,18
12	13000	73,5	100	160	Manual	Com	0,00	1	0,00
13	13000	73,5	80	140	CNC	Sem	0,52	10	5,20
14	13000	73,5	80	140	Manual	Com	0,03	1	0,03
15	15000	84,8	100	140	CNC	Sem	0,24	10	2,40
16	15000	84,8	100	140	Manual	Com	0,01	1	0,01

2.2.2. Metodologia de avaliação

Para avaliação dos resultados da influência dos parâmetros na formação do cavaco tipo fita e no risco de quebra pelo cavaco, foram avaliados o tipo do cavaco (Perigo) e a quantidade acumulada na broca [gramas] (Wosniak et al. (2007)).

Como todos os cavacos coletados foram do tipo fita, criou-se um padrão específico para este tipo de cavaco conforme a Fig. (3), onde intitula-se o perigo 10, 3 e 1.



Figura 3. Critério de avaliação dos cavacos.

Para o cálculo do risco de quebra de broca foi adotada a Eq. (1), onde perigo refere-se ao tipo do cavaco e quantidade ao valor em gramas.

$$\text{Risco} = \text{Perigo} \times \text{Quantidade [gramas]} \quad (1)$$

O resultado de cada rodada de teste foi alimentado na tabela das rodadas de teste e em seguida analisado no software MINITAB®.

2.3. Ensaio de Melhoria da Usinabilidade

O ensaio de usinabilidade tem como objetivo aprofundar a análise sobre a influência dos parâmetros relacionados à formação do cavaco. Os parâmetros avaliados foram velocidade de corte e velocidade de avanço. Os resultados obtidos permitiram o estabelecimento de relações entre os parâmetros do ensaio com a usinabilidade, o que conseqüentemente tornou possível melhorar os resultados do processo de furação, principalmente a qualidade dos furos e os mecanismos de falha da ferramenta.

2.3.1. Metodologia dos ensaios

Nestes ensaios foi utilizado o modelo de delineamento de experimento de Superfície de Resposta. Ao definir os parâmetros a serem analisados, foram considerados os resultados obtidos no primeiro experimento. Portanto, a faixa dos parâmetros definidos foram velocidade de corte entre 76 m/min e 85 m/min e velocidade de avanço entre 90 mm/min e 115 mm/min, sendo introduzidos no software MINITAB®, o qual indicou as variações e a seqüência do teste Tab. (4).

Tabela 4. Combinação de rodadas para o teste dos parâmetros processado pelo MINITAB®: DOE Superfície de Resposta.

Rodada	Rotação (rpm)	Vc (m/min)	Avanço (mm/min)	Bloco	Risco Cavaco
1	14780	83,6	94	1	1
2	14250	80,6	103	1	15
3	13720	77,6	111	1	75
4	14250	80,6	103	1	1
5	14780	83,6	111	1	3
6	14250	80,6	103	1	45
7	13720	77,6	94	1	3
8	14250	80,6	115	2	45
9	14250	80,6	90	2	3
10	14250	80,6	103	2	75
11	15000	84,8	103	2	27
12	14250	80,6	103	2	25
13	13500	76,3	103	2	45
14	14250	80,6	103	2	25

Para cada rodada, determinou-se furar 40 peças, das quais ao final de cada rodada de teste foi coletado o cavaco na caixa de cavaco atrás da máquina, identificado para posterior análise.

Neste experimento foram mantidos os parâmetros de pressão e cobertura da broca, respectivamente fixados em: pressão 160 bar, com cobertura PVD-TiN.

2.3.2. Metodologia de avaliação

Para avaliação dos resultados da influência dos parâmetros na formação do cavaco tipo fita e montagem do modelo matemático de predição superfície de resposta, foram avaliadas para cada rodada de teste, as seguintes características: o tipo do cavaco (Perigo), quantidade de cavaco perigoso (Quantidade), e a homogeneidade da amostragem de cavaco (Mistura) (Wosniak et al. (2007)).

A classificação de perigo foi feita como base no padrão apresentado no item 2.1. Para classificação da quantidade de cavaco perigoso foi determinado o critério: 10 (bastante), 3 (médio) e 1 (pouco). E para Mistura foi determinado: 10 (pouca homogeneidade), 3 (média homogeneidade) e 1 (boa homogeneidade).

Para calcular o risco de quebra foi adotada a Eq. (2), onde se multiplica os critérios de Perigo, Quantidade e Mistura.

$$\text{Risco} = \text{Perigo} \times \text{Quantidade} \times \text{Mistura} \quad (2)$$

O resultado de cada rodada de teste foi avaliado e pontuado por mais de uma pessoa, para aumentar assim a confiabilidade do experimento. Em seguida foram alimentados os dados no software MINITAB®, para posterior análise.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Influência dos parâmetros de corte e das condições da broca na ocorrência de quebras da ferramenta

Os resultados de forma do cavaco foram analisados separadamente como perigo, quantidade, e depois como produto destas duas características o risco. Isto permitiu identificar os fatores que mais influenciam na forma do cavaco (perigo), e os que influenciam na quantidade de cavaco ruim gerado e acumulado na broca (quantidade). Também podem-se classificar os parâmetros mais críticos e os parâmetros ótimos para o processo através da análise do risco.

3.1.1. Análise do risco do cavaco

Conforme os resultados obtidos, é possível observar na Fig. (4) que a cobertura é o fator que apresenta maior influência na forma do cavaco (Perigo). Os demais fatores não foram considerados com influência significativa no perigo do cavaco.

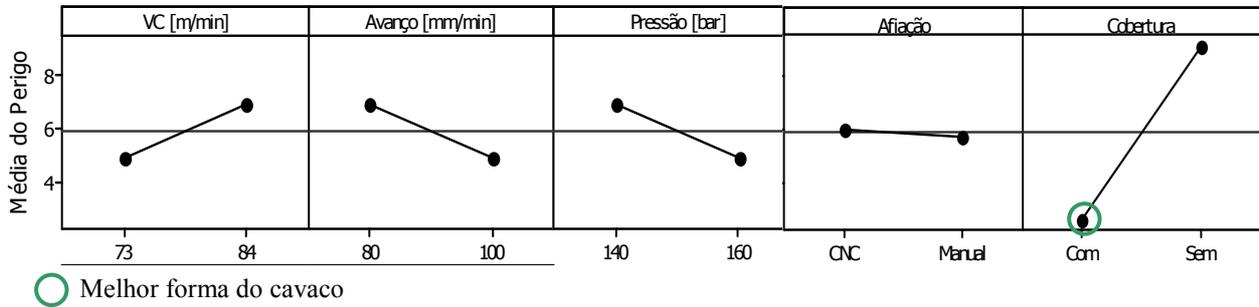


Figura 4. Gráfico de efeito principal dos fatores no perigo do cavaco.

A cobertura da ferramenta reduz o atrito entre o cavaco e a ferramenta, o que melhora o escoamento do cavaco. Além disso, foi observado uma redução na formação de aresta postiça na região de corte da ferramenta quando utilizada a cobertura de PVD TiN. Isto porque a cobertura da ferramenta evita a adesão do material da peça na ferramenta, mantendo assim a geometria original da aresta de corte. A Fig. (5) mostra um comparativo entre a formação do cavaco para ferramentas com e sem cobertura. Conforme pode ser observado, o material soldado na aresta de corte modifica a geometria de corte da ferramenta, o que provoca uma mudança no fluxo do cavaco (König (1997)).

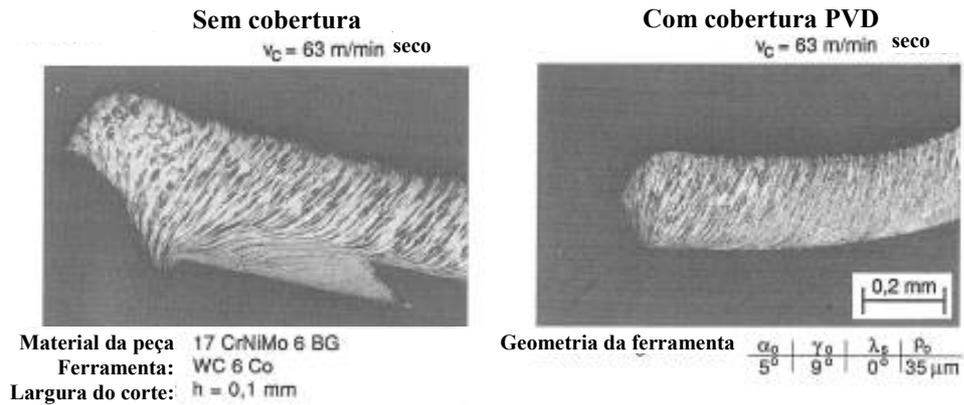


Figura 5. Comparativo entre o cavaco formado por ferramentas com e sem cobertura (König (1997)).

A Figura 6 mostra um comparativo da aresta de corte da ferramenta e o cavaco produzido pelas condições: sem cobertura e com cobertura, para as brocas utilizadas no experimento.

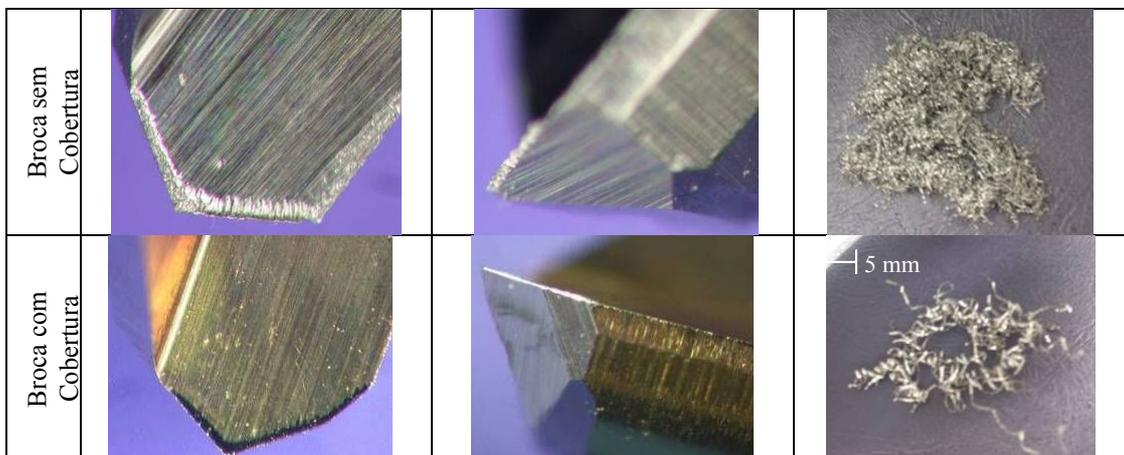


Figura 6. Efeito da cobertura na formação de aresta postiça e no cavaco tipo fita.

Na condição mais crítica sem cobertura, a adesão do material na aresta de corte forma um ângulo de saída extremamente positivo, isto diminui a deformação do cavaco, o que leva a formação do cavaco mais longo.

3.1.2. Análise da quantidade de cavaco

A análise da Figura 7 permite observar os fatores de maior influência para o aumento da quantidade de cavaco: a pressão do óleo refrigerante, e em menor proporção a velocidade de corte e o avanço da ferramenta.

A influência da pressão do óleo pode ser explicada pelo fato de que à medida que a pressão aumenta, ocorre um aumento da velocidade de saída do óleo pelo canal reto da ferramenta, isto faz com que o cavaco caia direto na caixa de cavaco evitando o enrolamento do cavaco na broca. A influência dos fatores da velocidade de corte e do avanço serão tratados com maiores detalhes na análise de risco de quebra.

Nas condições testadas, a menor quantidade de cavaco acumulado na broca foi observada na condição de máxima pressão, 160 bar, contrariando as expectativas.

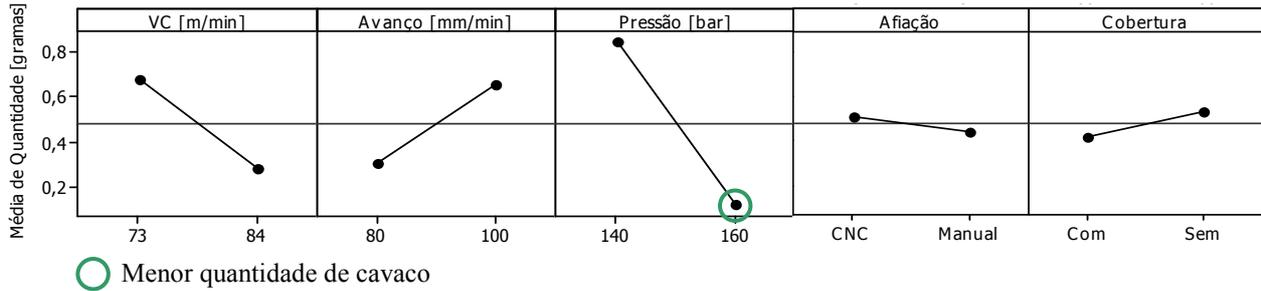


Figura 7. Gráfico de efeito principal dos fatores na quantidade de cavaco.

3.1.3. Análise do risco de quebra pelo cavaco

Conforme os resultados de perigo e quantidade, foi obtido o resultado para risco de cavaco, os quais podem ser observados no gráfico Pareto da Fig. (8). A interação entre cobertura e qualidade de afiação aparece como fator de maior influência, seguido da pressão do refrigerante, cobertura e a interação entre velocidade de corte e avanço.

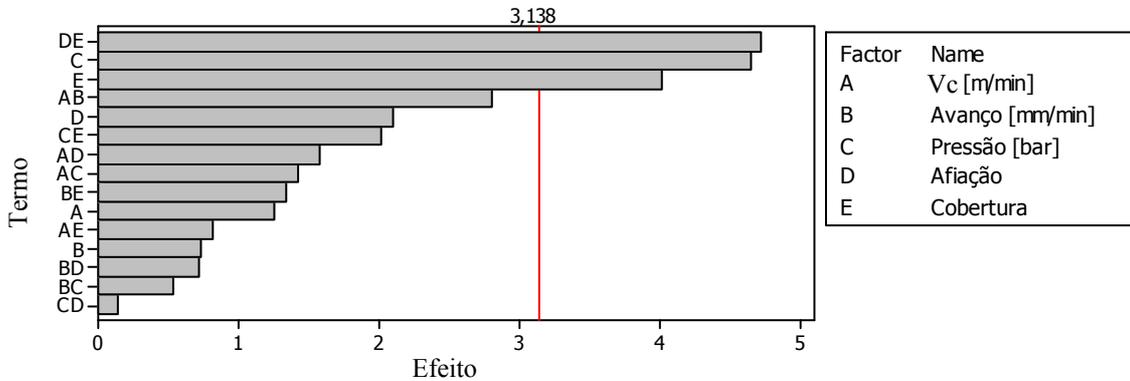


Figura 8. Gráfico Pareto dos fatores mais importantes para o processo de furação profunda.

A análise do efeito principal dos fatores a partir da variável risco, pode ser observada na Fig. (9). Esta confirma as melhores condições dos parâmetros, pressão do refrigerante 160 bar e ferramenta com cobertura TiN.

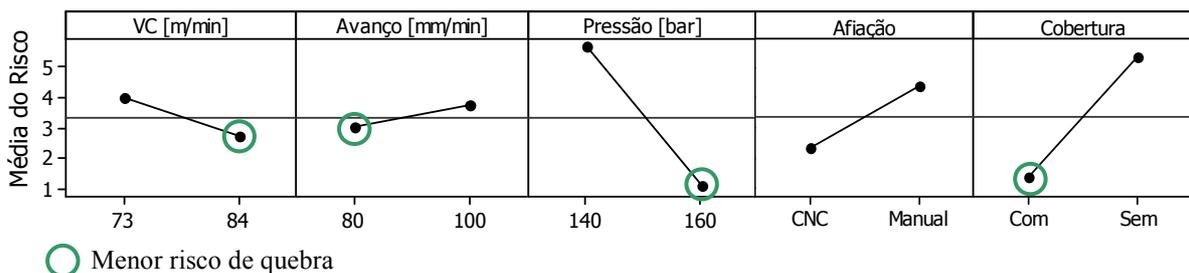


Figura 9. Gráfico da influência principal dos parâmetros na variável de resposta risco de quebra pelo cavaco.

O gráfico de interação entre qualidade de afiação e cobertura mostra que na condição de melhor acabamento de afiação (Máquina CNC) o resultado é bom independente da cobertura da ferramenta (Fig. 10 à esquerda). Na condição de afiação manual, a diferença entre a broca com e sem cobertura é bastante acentuada. A condição de maior risco se encontra na combinação de afiação manual e broca sem cobertura, pois o atrito entre cavaco e ferramenta aumenta sensivelmente dificultando seu escoamento tornando mais propensa a formação de cavaco do tipo fita emaranhado. Na Figura 11 é possível observar a diferença entre o acabamento da afiação CNC feita com rebolo de diamante, e a afiação manual feita com rebolo convencional.

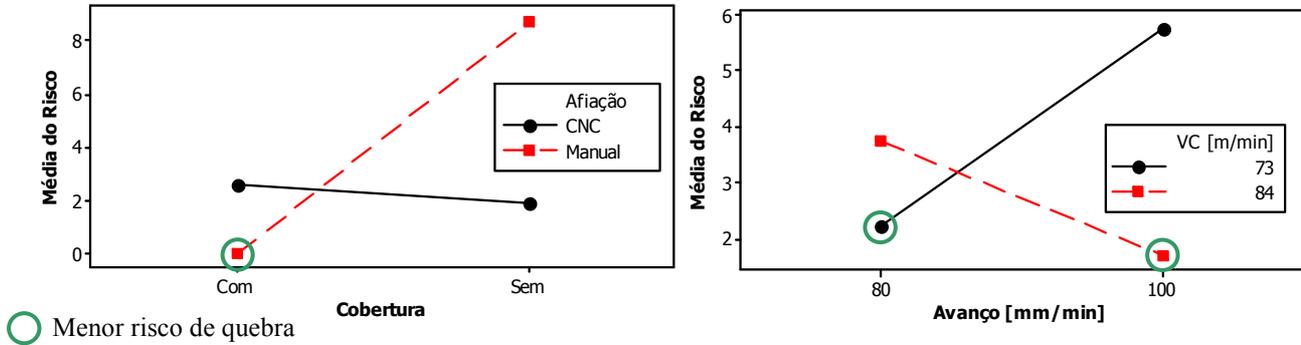


Figura 10. Gráfico da influência da interação dos fatores qualidade da afiação da broca e cobertura da ferramenta (esquerda), e velocidade de corte e avanço (direita) na variável de resposta risco de quebra pelo cavaco.

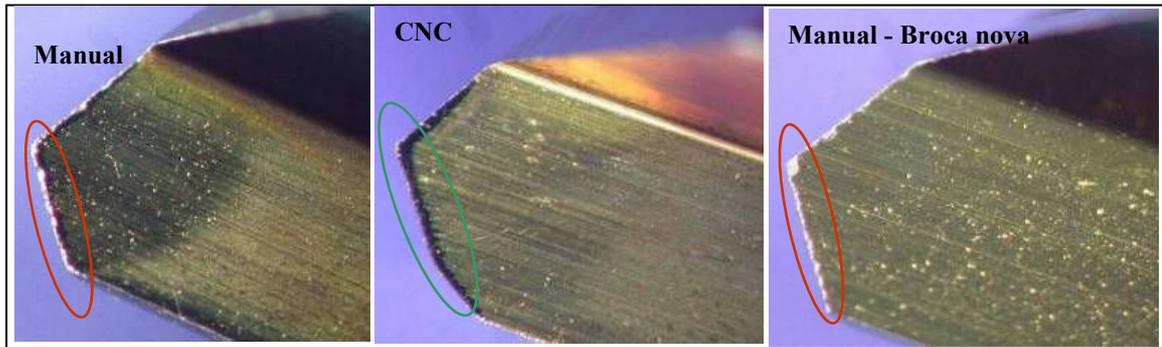


Figura 11. Comparativo entre o acabamento da broca para afiação em máquina manual e máquina CNC. (Avaliação visual do acabamento).

A interação entre V_c e avanço pode ser observada na Fig. (10) à direita. Comparando o resultado do efeito principal Fig. (9) destes fatores com a interação, é possível perceber que isoladamente a melhor combinação é: velocidade de corte 84 m/min e avanço 80 mm/min, porém no gráfico de interação observamos outras duas combinações, uma para baixa velocidade de corte e outra para alta. Isto mostra a importância da análise de interação, pois na combinação velocidade de corte 84 m/min e avanço 100 mm/min é possível reduzir o risco de quebra e ainda reduzir o tempo de ciclo.

3.2. Validação da Influência da Velocidade de Corte e do Avanço na Usinabilidade

3.2.1. Resultados de Usinabilidade

Analisando a Figura 12 observa-se a existência de duas áreas com baixo risco de quebra, ou seja, boa usinabilidade. Dessa forma, comprova-se que a metodologia utilizada proporciona resultados válidos para a otimização do processo. Conforme os resultados obtidos neste ensaio, torna-se possível reduzir o número de quebras e encontrar os parâmetros que proporcionarão o melhor rendimento ao processo. A faixa de velocidade de corte que vai de 76 a 79 m/min, juntamente com a faixa de avanço de 104 a 115 mm/min, representada pela cor verde, é muito crítica para o processo, pois gera o cavaco do tipo fita emaranhado. A duas faixas recomendáveis para o processo são representadas pela cor azul-escuro (velocidade de corte 76 a 80 m/min e avanço de 90 a 93 mm/min; e V_c 84 m/min e avanço 111 a 115 mm/min).

Pode ser notado que os parâmetros utilizados pela área produtiva encontrava-se numa faixa de risco médio. Estes parâmetros haviam sido definidos baseando-se na hipótese de que com o aumento da velocidade de corte e redução do avanço, conseguiria uma boa usinabilidade. Porém o resultado do experimento mostra outra situação, sendo que para uma alta velocidade de corte, é necessário aumentar a velocidade de avanço da ferramenta para provocar a quebra do

cavaco. Outra opção seria reduzir o avanço mantendo a velocidade de corte para alcançar a condição de quebra do cavaco.

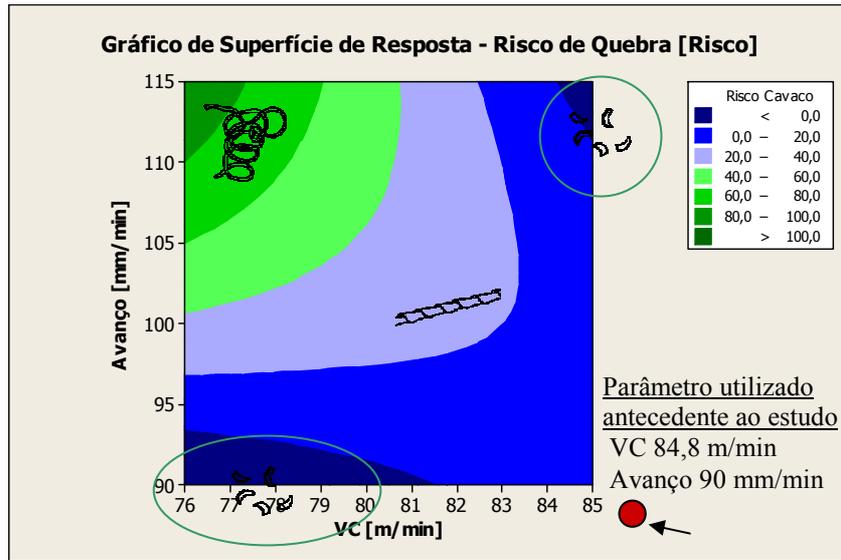


Figura 12. Gráfico de superfície de reposta dos fatores Vc e avanço para a variável resposta risco de quebra para forma do cavaco.

Segundo Ferraresi (1977) no mecanismo de formação do cavaco, quanto menor o avanço existe uma tendência de formação de cavacos contínuos de pequena espessura. Já com avanços maiores, aumenta-se a espessura do cavaco tornando-o menos dúctil, o que leva a formação de cavacos mais curtos. O gráfico da Figura 13 (Avanço) mostra que existe uma tendência de haver cavacos curtos quando se aumenta o avanço, porém existe um forte dependência do valor de velocidade de corte, podendo este levar ao aparecimento de cavacos longos. Também foi verificado que é possível gerar cavacos curtos (virgula) com avanço baixo.

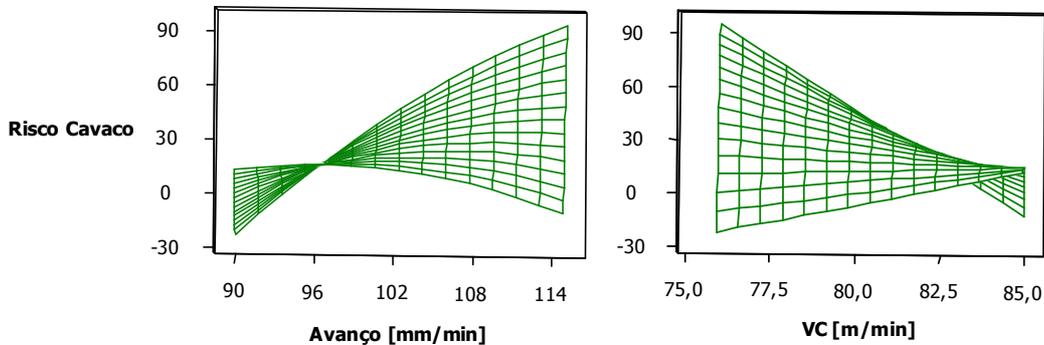


Figura 13. Gráfico do efeito da velocidade de avanço (à esquerda) e da velocidade de corte no risco de quebra pelo cavaco.

O gráfico da Figura 13 (Velocidade de corte) mostra uma condição bastante favorável para valores de velocidade de corte acima de 82,5 m/min. Segundo Ferraresi (1977), através da diminuição da velocidade de corte ou do ângulo de saída, a fragilidade dos cavacos de materiais não muito elásticos aumenta, devido à maior deformação do cavaco. No entanto, no experimento tal o fenômeno não ocorreu para a velocidade de corte. Desta forma, conclui-se que a formação de aresta postiça provocada pelo uso de baixas velocidades seria a responsável pela formação de cavacos longos.

4. CONCLUSÕES

É possível constatar a relevância da metodologia de projeto de experimentos (DOE) no auxílio à solução de problemas de processo, devido a sua capacidade de avaliar a influência principal e a interação entre as variáveis de um processo industrial a partir de uma quantidade satisfatória e confiável de experimentos. Aliado a uma estratégia de experimentação, o DOE pode contribuir significativamente para o melhor entendimento do processo. Neste trabalho foi empregada a estratégia de experimentação na seguinte seqüência: entrevista e folha de coleta de dados para estratificar os fatores de possível influência; DOE Fatorial para avaliar a influência principal e interação entre fatores; DOE Superfície de Resposta para encontrar o ponto de máximo rendimento do processo.

Desta forma foi possível concluir que os parâmetros de corte assim como a cobertura da ferramenta apresentam grande influência sobre o mecanismo de formação do cavaco na furação profunda. A pressão do óleo por sua vez é importante para fazer o transporte do cavaco expulsando-o e evitando que o mesmo se enrole na broca. Na condição de afiação manual e sem cobertura se encontra a pior combinação de fatores, como prova disto foi observada alta formação do cavaco emaranhado. Os efeitos da velocidade de corte e da velocidade de avanço foram evidenciados com o experimento de superfície de resposta, no qual conclui-se que a faixa de velocidade de corte de 76 m/min a 79 m/min, juntamente com a faixa de velocidade de avanço 104 mm/min a 115 mm/min, é muito crítica para o processo, pois gera o cavaco do tipo fita emaranhado, o que aumenta o risco de quebra da ferramenta. As duas faixas que apresentaram bons resultados para o processo foram a velocidade de corte de 76 m/min a 80 m/min, em conjunto com o avanço de 90 mm/min a 93 mm/min, e a velocidade de corte de 84 m/min, juntamente com o avanço de 111 mm/min a 115 mm/min.

5. REFERÊNCIAS

- Castillo, W., 2005, “Furação Profunda de Ferro Fundido Cinzento GG25 com Brocas de Metal Duro com Canais Retos”, Tese de Mestrado. Florianópolis - SC.
- Ferraresi, D., 1977, “Fundamentos da Usinagem dos Metais”, Editora Edgard Blücher Ltda. Campinas.
- König, W., Klocke, F., 1997, “Fertigungsverfahren Drehen, Fräsen, Bohren”, Editora Springer. 5ª edição. Aachen.
- Machado, A. R., Silva, M. B. 1998, “Usinagem dos Metais”, Tese de Doutorado, Uberlândia-MG.
- Montgomery, D. C., 2001, “Design and Analysis of Experiment”, John Wiley & Sons.
- Wosniak, F. A., Oliveira, D. V., Machado, E. B., 2007, “Estudo de Usinabilidade do Aço SAE 4144 no processo de furação profunda utilizando metodologia de design of experiment e Emissão Acústica”, Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia Mecatrônica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

6. DIREITOS AUTORAIS

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

INFLUENCE OF CUT PARAMETERS ON THE STEEL SAE 4144 DEEP DRILL PROCESS

Fabio Augusto Wosniak, fabio.wosniak@terra.com.br
Milton Luiz Polli, polli@utfpr.edu.br
Paulo André de Camargo Beltrão, beltrao@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Mecânica, Av. Sete de Setembro, 3165. CEP 80230-901, Curitiba-PR – Brasil.

Abstract: *This work presents a study of the machinability of the Steel SAE4144 for deep-hole drilling operation, where the cutting parameters and characteristics of the tool are evaluated by application of Design of Experiments (DOE) Method. The case of the study is a real problem of a company which produces a component for diesel injection system in two different materials (C45PbK and SAE4144). The material SAE4144, unlike C45PbK, presents a bad machinability, generating long chip, tool breakage, variation of measures that increase the cost of product. By using the design of experiments and statistical analyzes the optimal cutting parameters for the process were determined. The results indicate that are two optimal combinations of cutting speed and feed rate for the process. Besides, it was verified that the coating PVD-TiN and the pressure of the coolant exert great influence on the process. The use of the optimal parameters result in a less tool breakage, cycle time reduction and an improvement of the workpiece surface quality.*

Keywords: *Deep drill, Chip form, SAE 4144, DOE, Surface Response.*

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