

INVESTIGAÇÃO DA QUALIDADE DO FURO GERADO NA FURAÇÃO DE CHAPA DE AÇO INOXIDÁVEL AISI 304

Andressa Caroline da Silva Carvalho, engandressacarvalho@gmail.com

Fábio Telles, tellesfabio@outlook.com

Alexandre José Baumgaertner Filho, alexandre.baumgaertner@ufrgs.br

André João de Souza, ajsouza@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica, Rua Sarmento Leite, nº425, Cidade Baixa, CEP 90050-170, Porto Alegre, RS.

Resumo: Aços inoxidáveis austeníticos são utilizados em diversos ramos industriais, fazendo parte de um vasto grupo de produtos. Isto se deve às características técnicas deste material como alta ductilidade e elevada resistência a corrosão. Por outro lado, estes aços possuem baixa usinabilidade, influenciada principalmente pela baixa condutividade térmica e pela alta capacidade de endurecimento por deformação. Com o objetivo de investigar os esforços de corte gerados e correlacioná-los com a qualidade dos furos passantes, verificou-se estatisticamente a furação do aço inoxidável AISI 304 (brocas, rotação, avanço e aplicação do lubrificante) sobre quatro variáveis de resposta (força de avanço, momento torsor, desvio dimensional e de circularidade do furo) através de um projeto fatorial 2^k . Como principais resultados, a força de avanço e o momento torsor foram influenciados pelo avanço e pelo tipo de broca; a circularidade dos furos pela aplicação do fluido lubrificante; e o desvio dimensional dos furos pelo tipo de broca. Realizou-se também uma comparação das tolerâncias encontradas nos experimentos e na literatura. Por fim, obteve-se a otimização do experimento considerando a minimização das intensidades da força de avanço, do momento torsor, e dos desvios dimensional e de circularidade dos furos.

Palavras-chave: Furação, Aço inoxidável AISI 304, Qualidade do furo, Otimização.

1. INTRODUÇÃO

Devido a sua reconhecida elevada resistência à corrosão, soldabilidade (em comparação aos demais aços inoxidáveis) e ductilidade, os aços inoxidáveis austeníticos representam cerca de 70% do total dos aços inoxidáveis produzidos mundialmente (Camargo, 2008; Silva e Mei, 2010). O aço AISI 304 possui alta plasticidade e capacidade de encruamento, conservando sua estrutura austenítica estável mesmo após ser submetido a uma grande deformação a frio, atingindo altos valores de limite de escoamento e ruptura. Quando encruado, a estrutura austenítica se desestabiliza, apresentando um aumento considerável na dureza do material (Chiaverini, 2005).

Camargo (2008) cita que as vantagens apresentadas pelos aços inoxidáveis austeníticos se tornam desvantagens quando analisadas pela perspectiva da usinagem. Alguns fatores que afetam a usinabilidade são a baixa condutividade térmica, o alto coeficiente de dilatação térmica, o alto coeficiente de atrito e a grande resistência à deformação (alta pressão específica de corte). Menciona ainda que dentre os vários processos de usinagem a que o aço inoxidável pode ser submetido durante a sua produção, a furação, processo mais comum e importante, provavelmente será uma delas.

Diniz *et al.* (2013) relatam que para furos muito profundos, a extração do cavaco atrapalha o processo, principalmente para materiais dúcteis como o aço inoxidável austenítico AISI 304, podendo ocorrer o entupimento na superfície de saída da broca, além da dificuldade em se fazer a lubrificação/refrigeração da zona de corte. Essas condições, consideradas relativamente severas, acabam reduzindo a qualidade do furo usinado.

Ao executar o corte, a broca helicoidal é sujeita a esforços devido à rotação e ao avanço da broca, sendo esta submetida a diferentes resistências quanto a sua penetração. Uma dessas resistências ocorre nas arestas principais da ferramenta em relação ao corte do material, onde atuam as forças de corte (F_c), as quais são responsáveis pelo momento torsor (M_t) a que a broca é submetida. Outra resistência acontece na aresta transversal de corte da broca devido ao corte e ao esmagamento do material no fundo do furo, onde uma grande parcela da força de avanço (F_f) atua em sentido contrário ao deslocamento da ferramenta, gerando esforços de compressão. Cerca de 40-58% da força de avanço atua sobre a aresta transversal de corte, devido a algumas características da região central da broca, como a baixa rotação e o ângulo de saída negativo. Ainda, devido ao atrito, têm-se as resistências entre as guias da broca e a parede do furo e entre o cavaco e a superfície de saída da broca (Castillo, 2005; Diniz *et al.*, 2013).

Guilbert *et al.* (2009) desenvolveram um modelo de determinação dos esforços na furação através de simulação numérica. Os pesquisadores analisaram a evolução da força de avanço em três momentos distintos durante a penetração da broca no material. Inicialmente tem-se o centro da aresta transversal de corte em contato com o material. Neste ponto, praticamente, a aresta não apresenta capacidade de corte e a velocidade tangencial local é perto de zero, tendo, por consequência, a deformação plástica no local fazendo a força aumentar. Em seguida, tem-se a entrada de toda a aresta transversal de corte, começando o corte do material, levando a um acréscimo nos valores da força de avanço. Posteriormente, a maior parte da remoção do material ocorre com a penetração total da aresta principal de corte, formando efetivamente o cavaco, chegando a um valor máximo da força de avanço.

Ao se executar a furação podem ocorrer desvios dimensionais e geométricos que levam a uma perda da qualidade do furo devido a diversas inexatidões no processo. De acordo com Miranda (2003), desvios dimensionais podem ser entendidos como os desvios em relação à medida nominal do projeto. Já desvios geométricos, como o de circularidade, são os desvios ocorridos em relação a sua forma circular teórica. Segundo Silva (2001), ovalizações são as diferenças que ocorrem entre o círculo real e o círculo teórico, assim, um elemento é considerado circular quando o desvio geométrico se situa dentro das tolerâncias dimensionais do diâmetro. Se o furo ou eixo apresenta um grau de tolerância padrão até e inclusive IT8, a tolerância de circularidade não deverá passar a tolerância dimensional; caso a tolerância padrão esteja acima e inclusive IT9, a tolerância de circularidade deverá ser metade da tolerância dimensional. Tavares (2010) *apud* Carvalho Jr. *et al.* (2011) apresentam alguns valores indicativos de tolerância de circularidade para diferentes funções da superfície: grosseira ($\pm 50 \mu\text{m}$), corrente ($\pm 20 \mu\text{m}$) e de precisão ($\pm 10 \mu\text{m}$). Conforme Diniz *et al.* (2013), em relação à tolerância dimensional, a furação com brocas helicoidais de aço rápido tem a imprecisão como grande desvantagem, gerando usualmente furos da ordem de IT11.

Os desvios dimensionais e de circularidade estão normalmente relacionados com a fixação inadequada da peça a ser furada, com a afiação e com a geometria da ponta da broca, e com a falta de rigidez da máquina-ferramenta. Além disso, na furação profunda utilizando brocas helicoidais, os desvios podem ocorrer devido à diferença da afiação das arestas de corte que causam um desvio do trajeto normal (Miranda, 2003; Silva, 2001; Teixeira, 1995).

Em relação à geometria da broca helicoidal, Shaw (2005) explica que um ângulo de ponta pequeno é indicado para a furação de metais relativamente frágeis (gera cavacos curtos), onde o suporte da aresta de corte pode ser suprimido na intenção de diminuir as forças de corte na periferia da broca. Já um maior ângulo de ponta deve ser usado em materiais mais resistentes e dúcteis (gera cavacos longos), visto que é mais comum ocorrerem falhas no centro da broca ao se furar materiais duros. Em sua pesquisa, Pinto (2010) analisou a influência de diferentes geometrias de brocas helicoidais especiais na furação de chapas finas aeronáuticas e verificou que o aumento do ângulo de hélice (por conseguinte, do ângulo de saída na periferia da broca), levou a uma redução da força de avanço e do momento torsor.

Sendo assim, este estudo objetiva investigar os esforços de corte gerados (força de avanço e momento torsor) e correlacioná-los com a qualidade dos furos passantes realizados na furação do aço inoxidável AISI 304 utilizando duas brocas helicoidais de aço rápido com diferentes características construtivas, dois avanços, duas rotações e duas técnicas de aplicação de fluido lubrificante (em abundância e em mínima quantidade). A avaliação da qualidade será dada pelos desvios dimensionais e de circularidade.

2. METODOLOGIA

Para a realização dos experimentos utilizou-se como corpo de prova uma chapa plana de aço inoxidável austenítico AISI 304 de dimensões $190 \times 127 \times 3 \text{ mm}$ com a composição química presente na Tab. (1).

Tabela 1. Composição química da chapa ensaiada (% em massa)

C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Cu
0,022	1,86	0,045	0,001	0,329	19,8	7,90	0,341	0,434

A Figura (1) exhibe os furos necessários para a fixação da chapa no dinamômetro piezelétrico e as posições dos furos passantes realizados no procedimento experimental. Os furos passantes foram numerados para melhor organizar a execução dos mesmos. Foram realizados previamente pré-furos para guiar a broca no início da furação de forma a evitar um corte excêntrico. Para isso, usou-se uma broca de centro de aço-rápido com 3,15 mm de diâmetro, 118° de ângulo de ponta e escareamento plano de 60° .

Para a execução dos furos foram utilizadas duas brocas helicoidais de aço-rápido, ambas com diâmetro nominal de 8,0 mm, mas com características construtivas diferentes (Fig. 2):

- Broca 1 (Irwin): ângulo de ponta $\sigma_1 = 118^\circ$ ($\chi_{r1} = 59^\circ$), ângulo de hélice $\delta_1 = 28^\circ$, afiação padrão.
- Broca 2 (Dormer): ângulo de ponta $\sigma_2 = 135^\circ$ ($\chi_{r2} = 67^\circ 30'$), ângulo de hélice $\delta_2 = 40^\circ$, afiação cruzada.

A Broca 1 é classificada em relação ao ângulo de hélice como tipo N, sendo comercialmente muito utilizada, devido ao seu baixo custo, na furação de metais de um modo geral. A Broca 2, no entanto, possui características construtivas voltadas para furação passante de aço inoxidável, tendo também o revenimento a vapor como tratamento superficial. Segundo o fabricante (Dormer, 2013) o revenimento a vapor é utilizado por criar uma película de óxido que adere fortemente à superfície da broca, retendo o lubrificante e impedindo a formação de aresta postiça de corte ao evitar a aderência do cavaco à ferramenta.

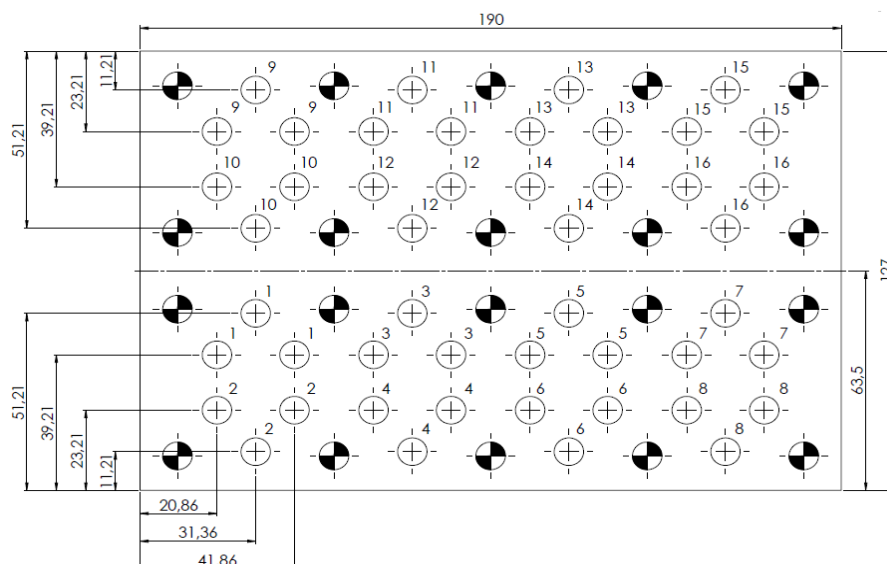


Figura 1. Indicação da posição dos furos realizados durante os experimentos.

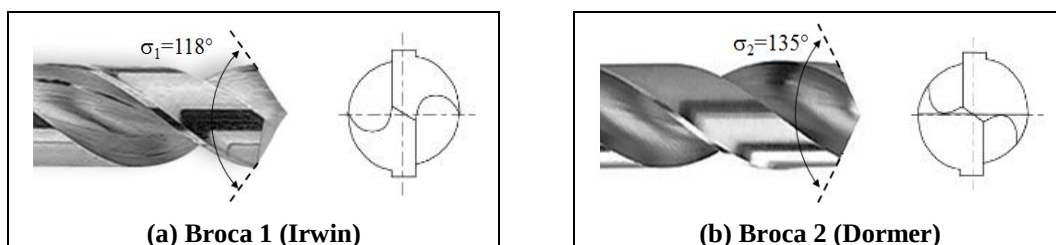


Figura 2. Imagens das brocas utilizadas nos experimentos.

Os parâmetros de corte foram selecionados baseando-se nas recomendações dos fabricantes, variando em dois níveis: rotação (n) de 358 e 557 rpm (respectivamente 9 e 14 m/min); e avanço (f) de 0,08 e 0,16 mm/volta.

A máquina-ferramenta utilizada foi o centro de usinagem Romi modelo Discovery 308, empregando dois métodos diferentes técnicas de aplicação externa de fluidos de corte em função da vazão do lubrificador (abundante e em mínima quantidade). Para a vazão abundante, utilizou-se o fluido biodegradável BD Fluid B90 (Bondmann Química) a uma vazão de 540 l/h; para a vazão em mínima quantidade (MQL), aplicou-se o fluido integral sintético à base de água Quimatic Jet (Tapmatic) a uma pressão de 2 bar e a uma vazão de 70 ml/h com auxílio do sistema aspersor Quimatic IV apresentado na Fig. (3a).

Para adquirir os sinais de força de avanço (F_f) e momento torsor (M_t) gerados com a furação, o corpo de prova foi fixado a um dinamômetro piezelétrico Kistler modelo 9272 com o auxílio de dois calços em alumínio, como mostra a Fig. (3b). O amplificador de carga Kistler modelo 5070A foi utilizado para condicionar os sinais de F_f e M_t provenientes do dinamômetro. A aquisição de sinais foi realizada a uma taxa de 2000 pontos por segundo, e o processamento dos dados foi feito via software LabVIEW 8.6.



(a)



(b)

Figura 3. Sistema experimental: (a) aplicação de MQL; (b) fixação do corpo de prova.

O dinamômetro piezelétrico Kistler 9272 é projetado para compensar variações mínimas na sensibilidade sob a ação de carga excêntrica (Kistler, 2008). Em testes preliminares, observou-se que o momento tursor não sofreu alterações significativas quando da realização de furos com distâncias específicas tomadas a partir do centro e dentro do espaço delimitado pelo dinamômetro (diâmetro de 100 mm).

Uma vez selecionados todos os parâmetros (brocas, rotação, avanço e técnica de aplicação do lubrificador) com os valores indicados anteriormente, os experimentos foram planejados de modo que todas as combinações entre eles fossem feitas (arranjo fatorial completo), como pode ser visto na Tab. (2). Objetivando estimar a repetitividade, para cada combinação de parâmetros, foram realizadas então duas repetições resultando em um total de 48 furos. A numeração dos furos presente na Tab. (2) corresponde a da apresentada na Fig. (1).

Tabela 2. Matriz de planejamento e execução dos furos.

Fluido em Abundância				Fluido em Mínima Quantidade			
Furo nº	Tipo de Broca	n [rpm]	f [mm/volta]	Furo nº	Tipo de Broca	n [rpm]	f [mm/volta]
1	1	358	0,08	9	1	358	0,08
2	1	358	0,16	10	1	358	0,16
3	1	557	0,08	11	1	557	0,08
4	1	557	0,16	12	1	557	0,16
5	2	358	0,08	13	2	358	0,08
6	2	358	0,16	14	2	358	0,16
7	2	557	0,08	15	2	557	0,08
8	2	557	0,16	16	2	557	0,16

Para a medição do diâmetro real e do erro de circularidade dos furos usinados, foi utilizada a máquina de medição por coordenadas (MMC) tridimensional Mitutoyo modelo QM-Measure 353, com 3 μ m de exatidão. Para quantificar o diâmetro real, foi necessário medir três pontos na borda interna de cada furo. Para quantificar o erro de circularidade foi preciso medir 11 pontos, três pontos no plano ao redor do furo, e oito pontos na borda interna do furo. Para avaliar a repetitividade, foram feitas três medições de cada diâmetro e de cada erro de circularidade para cada um dos 48 furos.

A análise de variâncias (ANOVA) foi realizada com o auxílio do software Minitab® 16 para verificar a significância dos parâmetros de entrada do processo (brocas, rotação, avanço e vazão do fluido lubrificante), assim como a significância da interação entre os parâmetros sobre as variáveis de resposta (força de avanço, momento tursor, diâmetro e circularidade do furo).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados dos esforços de corte (força de avanço “ F_f ” e momento tursor “ M_t ”) foram coletados para todos os 48 furos realizados (16 combinações com duas repetições cada). A Figura (4a) mostra o gráfico dos valores médios da força de avanço e a Fig. (4b) dos valores médios do momento tursor. As barras de erro representam a incerteza expandida com 95% de confiança.

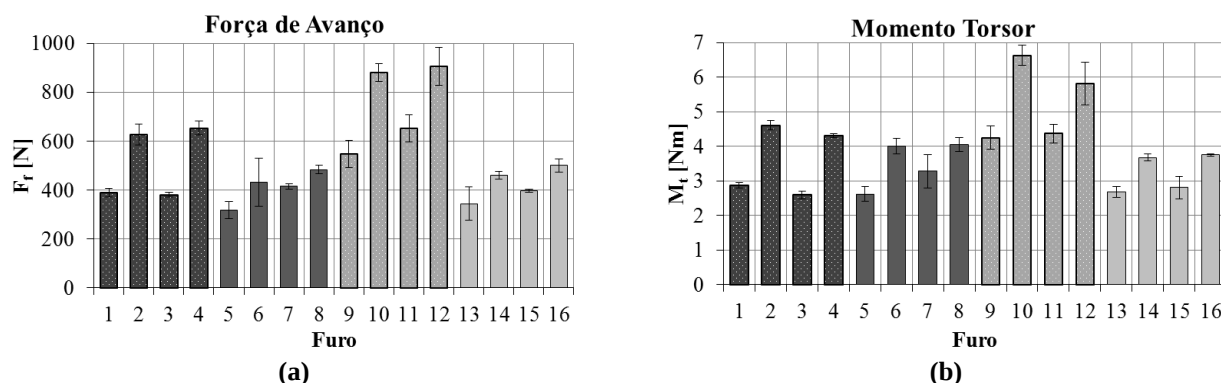


Figura 4. Gráficos dos esforços para cada combinação de parâmetros: (a) F_f ; (b) M_t .

Os gráficos da Fig. (4) mostram que, em relação às magnitudes da força de avanço (F_f) e do momento tursor (M_t), houve um aumento das mesmas com o incremento do avanço (f); isso era esperado, pois há um crescimento da área da seção transversal de corte na mesma proporção.

De maneira geral, percebeu-se que a Broca 2 (Dormer) gerou menores valores de “ F_f ” e “ M_t ” que a Broca 1 (Irwin). Isso provavelmente se deve ao maior ângulo de ponta ($\sigma_2 > \sigma_1$), resultando em um maior ângulo de posição ($\chi_{r2} > \chi_{r1}$)

que aumenta a espessura do cavaco facilitando a sua quebra, ao diminuir a sua ductilidade. Verificou-se que variação da rotação (n) testada não foi suficiente para gerar instabilidades no processo de furação, provavelmente não alterando a formação do cavaco, de modo que tanto a " F_f " quanto o " M_t " não sofreram grandes alterações com sua mudança.

Pôde-se observar que os valores de " F_f " e " M_t " aumentaram com o uso de mínima quantidade de lubrificante (MQL) para a Broca 1. Diferente da lubrificação em abundância, a aplicação de MQL não forneceu uma lubrificação adequada nas zonas de corte, não auxiliou na quebra e retirada do cavaco, e não diminuiu o atrito das guias da broca com a parede dos furos. Para a Broca 2 a presença do revenimento a vapor, o que gera uma película de óxido na superfície da ferramenta, atendeu ao objetivo de reter as gotículas de lubrificante do MQL, diminuindo o atrito e consequentemente a força de corte (F_c) média (percebida pela redução de " M_t "). Por outro lado, o uso de MQL produziu certo aumento nos valores de " F_f ".

Uma análise de variâncias (ANOVA) foi realizada para verificar a significância dos parâmetros de entrada (Fig. 5), assim como a significância da interação entre os parâmetros (Fig. 6).

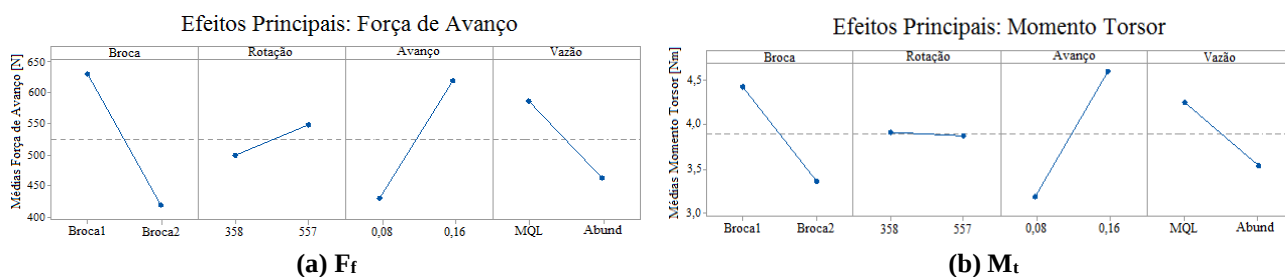


Figura 5. Efeitos principais dos parâmetros de entrada em relação aos valores de: (a) F_f ; (b) M_t .

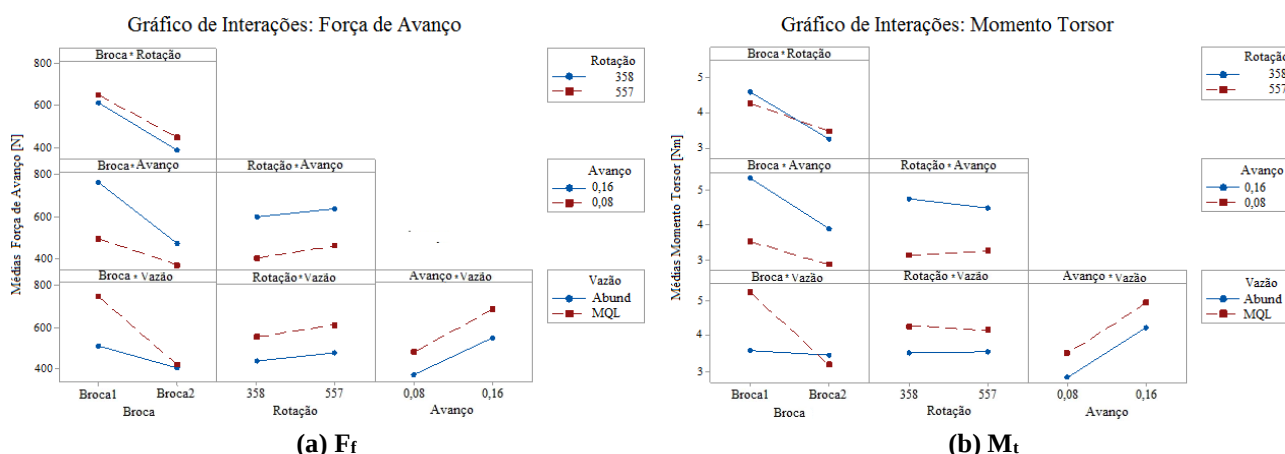


Figura 6. Interações de segunda ordem dos parâmetros de entrada em relação aos valores de: (a) F_f ; (b) M_t .

Pôde-se constatar pelas Fig. (5) e Fig. (6) que os quatro parâmetros são significantes para a força de avanço (F_f), assim como grande parte das interações de segunda ordem. Para o momento torsor (M_t), em relação aos efeitos principais, o parâmetro rotação (n) não é significativo. Na Fig. (6) observa-se a interação entre o tipo de broca e a vazão do lubrificante, em que a combinação da Broca 1 (Irwin) com a utilização de MQL tem influência significativa sobre a " F_f " e " M_t ", no sentido de aumentá-los. Também se verifica que os esforços de corte são mais sensíveis à utilização da Broca 1 (Irwin) com um avanço maior ($f = 0,016$ mm/volta). Ambas as afirmações condizem com os argumentos expostos a partir da análise dos gráficos presentes na Fig. (4).

Os desvios dimensionais (aumento do diâmetro em relação ao valor nominal) e os desvios geométricos de circularidade foram mensurados para todos os 48 furos realizados (16 combinações com duas repetições cada). Os gráficos dos desvios dimensionais e de circularidade são mostrados respectivamente pela Fig. (7a) e Fig. (7b).

Observando o gráfico da Fig. (7a), pode-se constatar que as variações da broca e da vazão do lubrificante são expressivas nas variações dos valores nominais dos diâmetros dos furos. Avaliando de um modo geral, notou-se que a Broca 2 (Dormer) gerou maiores desvios dimensionais que a Broca 1 (Irwin), e a aplicação de MQL produziu furos com maiores desvios dimensionais para ambas as brocas.

Analisando especificamente a Broca 1 ($\sigma_1 = 118^\circ$, $\delta_1 = 28^\circ$, afiação padrão), observou-se que a combinação do menor avanço ($f = 0,08$ mm/volta) com a menor rotação ($n = 358$ rpm) geraram os menores desvios nominais dos diâmetros dos furos. Isto possivelmente ocorreu, pois à medida que a rotação e o avanço da broca aumentam, pode ocorrer um crescimento do grau de deformação do material nas laterais do furo, fazendo com que o seu diâmetro sofra alterações. Para Diniz *et al.* (2013), a grande desvantagem da furação com brocas helicoidais de aço rápido é a

imprecisão, gerando furos usualmente com tolerância dimensional da ordem de IT11, o que corresponde neste trabalho a desvios aceitáveis de até 90 μm . Assim, a Broca 1 atenderia a esta tolerância.

Já para a Broca 2 ($\sigma_2 = 135^\circ$, $\delta_2 = 40^\circ$, afiação cruzada), percebe-se que, independente da rotação aplicada e da vazão de lubrificador, a utilização do menor avanço ($f = 0,08 \text{ mm/volta}$) resultou em maiores variações dos diâmetros nominais dos furos. O comportamento da Broca 2 foi o oposto da Broca 1, a condição teórica de maior estabilidade (menor avanço e rotação) e consequentemente menores esforços de corte provocou maiores variações no diâmetro nos furos. De acordo com o fabricante (Dormer, 2013), a tolerância dimensional esperada do furo produzido pela Broca 2 é H12, o que corresponde a um desvio admissível de até 150 μm . Então, pode-se afirmar que os furos gerados neste estudo com a Broca 2 atendem ao proposto pelo fabricante da mesma.

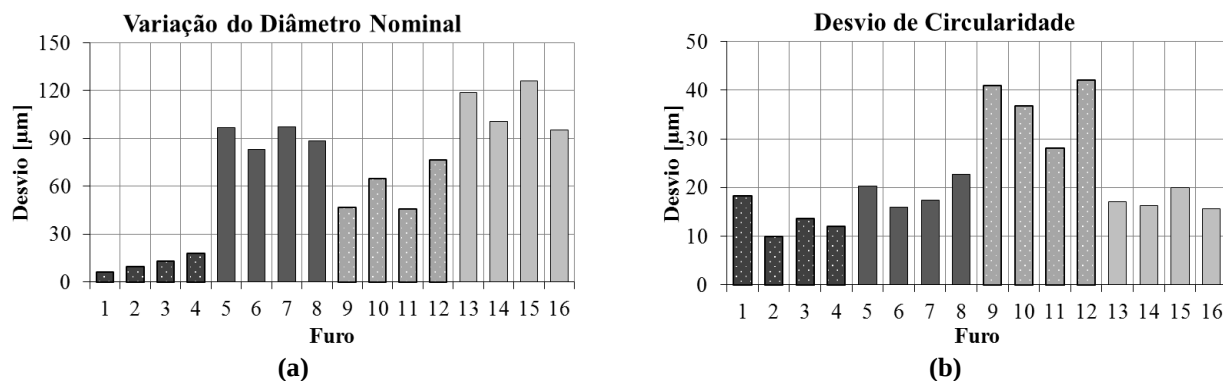


Figura 7. Gráficos dos desvios do furo para cada combinação de parâmetros: (a) dimensional; (b) circularidade.

Em relação à circularidade, Fig. (7b), observa-se que a Broca 1 (Irwin) gerou os melhores resultados com o fluido em abundância aplicando $f = 0,16 \text{ mm/volta}$ (desvios em torno de 10 μm) e os piores resultados com MQL (desvios ficaram aproximadamente entre 30 e 40 μm). Pode-se dizer que a utilização de um maior avanço permitiu um corte mais efetivo, proporcionando uma quebra de cavaco mais efetiva (aumenta a espessura de corte, facilitando a quebra), levando a um menor erro de forma. Os maiores desvios associados à aplicação do MQL podem estar relacionados a uma lubrificação reduzida provocando um maior atrito com a parede do furo, podendo aumentar a temperatura, alterando o erro de circularidade.

Já a Broca 2 (Dormer) gerou resultados semelhantes (desvios próximos de 20 μm) para as diferentes combinações de parâmetros de usinagem. Uma possível explicação para este caso está na configuração geométrica da Broca 2, que produz cavacos de maior espessura, associada à presença da película de óxido, que permitiu uma lubrificação constante, proporcionando esta regularidade nos desvios de circularidade. Conforme Silva (2001), a tolerância de circularidade é, no máximo, igual à tolerância dimensional para furos com qualidade de trabalho até IT8, ou metade da tolerância dimensional para qualidades iguais ou maiores que IT9. Assim, para Diniz *et al.* (2013), metade da tolerância dimensional usual para furação seria 45 μm . Portanto, todos os furos realizados apresentaram-se dentro deste limite.

Uma análise de variâncias (ANOVA) foi realizada para verificar a significância dos parâmetros de entrada, assim como a significância da interação entre os parâmetros. Os resultados da análise estão nas Fig. (8) e Fig. (9).

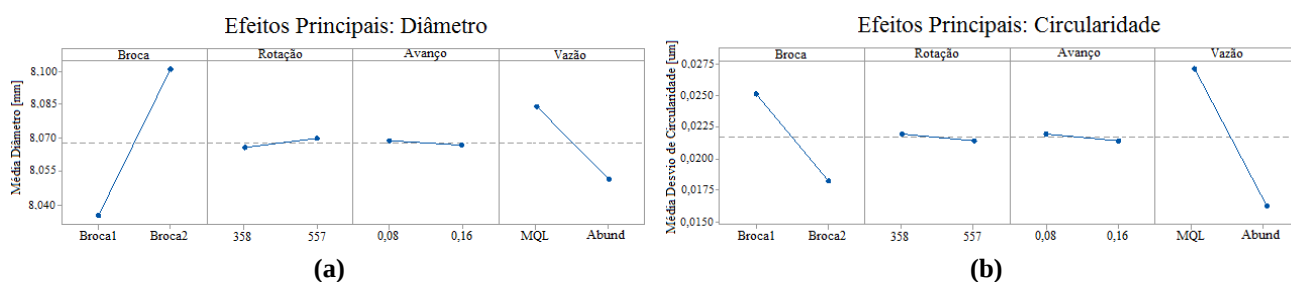


Figura 8. Efeitos principais dos parâmetros de entrada em relação aos desvios: (a) dimensional; (b) circularidade.

Através dos gráficos nas Fig. (8) e Fig. (9), observa-se que a interação da broca com a vazão de lubrificador (MQL e abundância) e a interação da broca com o avanço (0,08 e 0,16 mm/volta) são significativos e, por sua vez, têm influências no valor final do diâmetro do furo e no desvio de circularidade. Percebeu-se que os furos usinados com a Broca 2 apresentaram o maior valor de desvio dimensional independente da vazão, avanço ou rotação utilizados, provavelmente devido às suas características construtivas que permitiram uma tolerância dimensional H12. Pode-se observar também, na Fig. (9), que a combinação “Broca 1 com MQL” influencia significativamente o desvio de circularidade a ponto de apresentar o seu maior valor para as condições de furação.

Por fim, foi utilizado o recurso de otimização do software Minitab® 16 com o objetivo de prever uma combinação ótima entre os parâmetros de corte selecionados que produzisse um furo com a maior qualidade possível, ou seja, um furo com o diâmetro real mais próximo do nominal. Para isso foram consideradas as quatro variáveis de resposta, minimizando os valores da força de avanço, do momento torsor, do desvio dimensional e de circularidade, e almejando 8 mm para o diâmetro do furo. A Figura (10) apresenta o gráfico da análise de otimização onde para cada parâmetro de entrada apresentados nas colunas, têm-se os menores valores para as variáveis respostas, representados pelas linhas tracejadas. Teve-se então a combinação ótima dentre os valores utilizados: Broca 1, $n = 557$ rpm, $f = 0,08$ mm/volta e fluido em abundância.

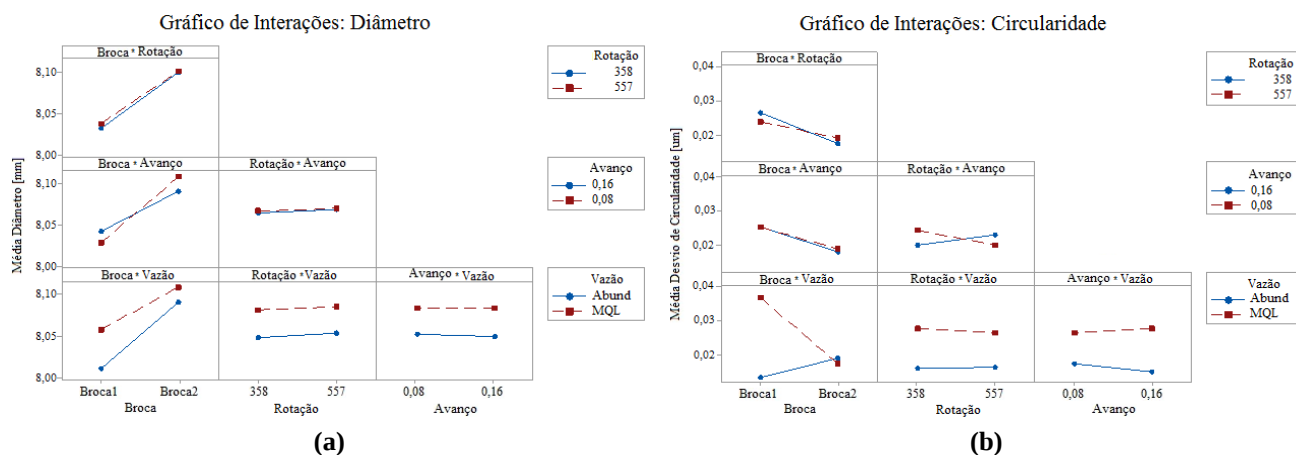


Figura 9. Interações de segunda ordem dos parâmetros de entrada em relação aos desvios: (a) dimensional; (b) circularidade.

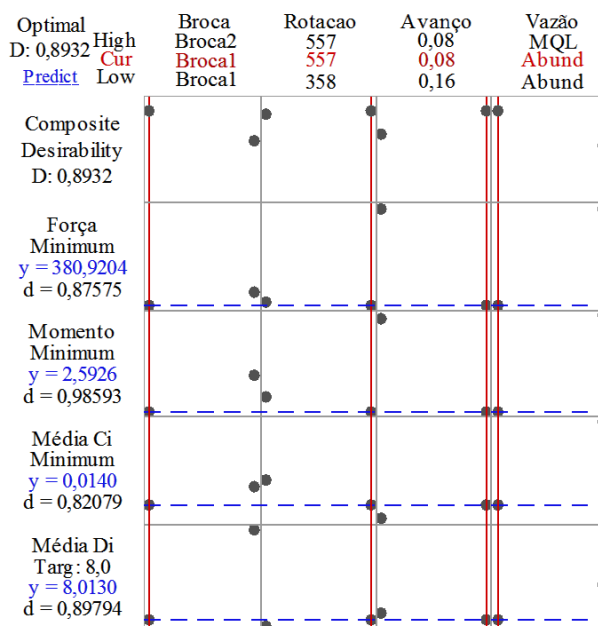


Figura 10. Análise de otimização para as quatro variáveis de resposta.

4. CONCLUSÕES

A Broca 2 (Dormer), que possui características construtivas recomendadas para a furação de aço inoxidável, apresentou menor variação nos valores médios da força de avanço e do momento torsor, com o uso de mínima quantidade de lubrificante (MQL), em comparação à Broca 1 (Irwin). Pela análise estatística, o tipo de broca teve a maior contribuição sobre os resultados da força de avanço (cerca de 46%), enquanto que o valor do avanço contribuiu em 55% sobre os resultados do momento torsor.

A Broca 2 (Dormer) atendeu ao proposto pelo fabricante produzindo furos com qualidade, tendo desvios dimensionais bem abaixo da tolerância por ele requerida (H12), mas ainda maiores do que os gerados pela Broca 1 (Irwin). A aplicação de fluido em abundância produziu furos com menores desvios dimensionais para ambas as brocas.

Os menores desvios de circularidade ocorreram para a Broca 1 (Irwin) com o uso de lubrificador em abundância, mas a Broca 2 (Dormer) produziu furos com valores de desvios mais regulares independente da lubrificação. Todos os furos apresentaram desvios menores que metade da tolerância dimensional usual para furação (45 µm) apresentando uma boa qualidade em relação à circularidade.

Através da análise estatística de otimização teve-se como a melhor combinação para as condições estudadas, objetivando um furo de melhor qualidade (diâmetro de 8 mm), a Broca 1 (Irwin), não específica para a furação de aço inoxidável, com o fluido lubrificante em abundância, associado a maior rotação e menor avanço propostos pelos fabricantes das brocas.

Ressalta-se que provavelmente a Broca 1 (Irwin) teria um tempo de vida menor do que a Broca 2 (Dormer), tendo em vista que aquela sofreu os maiores esforços de corte quando combinada com as diferentes aplicações de lubrificação, rotação e avanço, devido possivelmente às suas características construtivas. Além disso, a Broca 1 não possui a película de óxido presente na Broca 2, que auxilia na lubrificação, diminui o atrito e consequentemente a temperatura nas interfaces peça-ferramenta-cavaco, tendendo a sofrer menores desgastes.

5. AGRADECIMENTOS

À empresa Quimatic/Tapmatic, pelo Nebulizador IV e pelo fluido Quimatic Jet utilizado nos experimentos. Ao técnico do LAUS, Guilherme Vargas Schirmer, e ao Me. Bruno Santana Sória, pela ajuda na execução dos experimentos. À Capes, pela bolsa de estudos concedida.

6. REFERÊNCIAS

- Camargo, R., 2008, “Verificação da Usinabilidade de Aços Inoxidáveis Austeníticos Através do Processo de Furação”, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 118 p.
- Carvalho Junior, R.A., Oliveira, J.E.F., Silva, L.R.O., 2011, “Desenvolvimento de um Programa Computacional para a Determinação das Tolerâncias Geométricas em Sistemas Mecânicos”, Anais do XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Belo Horizonte, Brasil, 4 p.
- 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, Brasil, 134 p.
- Chiaverini, V., 2005, “Aços e Ferros Fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos”, 7.ed.ampl e rev., Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 599 p.
- Dormer Tools S.A., 2013, “A108 Broca HSS para Aços Inoxidáveis”. 8 p.
- Diniz, A.E., Marcondes, F.C., Coppini, N.L., 2013, “Tecnologia da Usinagem dos Materiais”, Artliber Editora, São Paulo, 270 p.
- Guilbert, N., Paris, H., Rech, J., Claudin, C., 2009, “Identification of thrust force models for vibratory drilling”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 49, pp 730-738.
- Kistler, 2008, “Instruction Manual – Quartz 4-Component Dynamometer Type 9272”, Kistler Group, 39 p.
- Miranda, G.W.A., 2003, “Uma Contribuição ao Processo de Furação sem Fluido de Corte com Broca de Metal Duro Revestida com TiAlN”, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 182 p.
- Pinto, G.T.B., 2010, “Análise da Influência da Geometria de Brocas Especiais na Furação de Chapas Finas Aeronáuticas”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 164 p.
- Silva, A.L.V.C., Mei, P.R., 2010, “Aços e Ligas Especiais” 3ª ed., Ed. Edgard. Blücher Ltda., p. 417-425.
- Silva, R.B., 2001, “Alargamento Cônico do Ferro Fundido Nodular GGG40”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, 121 p.
- Shaw, M.C., “Metal Cutting Principles”, 2nd ed., Oxford University Press, 2005, 651 p.
- Tavares, J. M. R. S., “CFAC: Requisitos de Toleranciamento”. Universidade do Porto - FEUP, 2010.
- Teixeira, C.R., 1995, “Influência dos Erros Geométricos de Afição nas Brocas Helicoidais de Aço Rápido na Qualidade dos Furos Produzidos”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 123 p.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

HOLE QUALITY RESEARCH GENERATED IN DRILLING STEEL SHEET STAINLESS AISI 304

Andressa Caroline da Silva Carvalho, engandressacarvalho@gmail.com

Fábio Telles, tellesfabio@outlook.com

Alexandre José Baumgaertner Filho, alexandre.baumgaertner@ufrgs.br

André João de Souza, ajsouza@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica, Rua Sarmento Leite, nº425, Cidade Baixa, CEP 90050-170, Porto Alegre, RS.

Abstract: *Stainless steels austenitic are used in several industries and we can find them being part of a large group of products. This is due to great characteristics of this material as high ductility and high corrosion resistance. On the other hand, these steels have a difficult machining, affected mainly by the low thermal conductivity and by the high capacity of strain hardening. Thus, there was a statistically drilling (drill, rotation, feed rate and the application technique lubricant) on four response variables (feed force, torsional moment, dimensional deviation and hole circularity) through a factorial design 2^k . As a main result of the analysis of the influence of the drilling quality of stainless steel 304 through the analysis of influence of four parameters in the process as, type of drill used and feed rate in the torsional moment and feed force, and application technique lubricant in the circularity of the holes and of the type of drill not dimensional deviation of the holes. A comparison of the tolerances found in the experiments and in the literature was performed. Finally, the optimization of the experiment was obtained considering the minimization of the intensities of the feed force, the torsional moment, and the dimensional and circularity deviations of the holes.*

Keywords: *Drilling, Stainless Steel AISI 304, Quality of hole, Optimization.*

RESPONSIBILITY NOTICE

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