

INVESTIGAÇÃO DE DESVIOS GEOMÉTRICOS NO ALARGAMENTO DO FERRO FUNDIDO CINZENTO COM FERRAMENTAS REVESTIDAS

Déborah Oliveira Almeida, deborah@mecanica.ufu.br¹

Éder Silva Costa, eder@div.cefetmg.br¹

Álison Rocha Machado, alisonm@mecanica.ufu.br¹

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2.121, Uberlândia, MG, 38.408-100, Brasil.

Resumo: Durante a produção de um bloco de motor a execução de furos é a operação de usinagem mais comum, e exige operações posteriores a fim de melhorar a qualidade superficial, a precisão de forma e dimensional. Isso é conseguido empregando-se, entre outras, a operação de alargamento. Este trabalho utilizou um planejamento de experimentos estatístico para investigar a influência da variação na geometria do alargador (guia cilíndrica), dos parâmetros de corte (sobremetal, velocidade de corte e avanço), e de revestimentos da ferramenta (TiAlN, Alcrona® e Helica®) na operação de alargamento cilíndrico de ferro fundido cinzento (GH 190) sobre os desvios geométricos (erros de circularidade e cilíndricidade e rugosidade da superfície) de furos produzidos em corpos de provas. Os resultados mostraram que o melhor revestimento para alargar o ferro fundido cinzento foi a Helica®, e que o sobremetal maior (0,25mm), guias cilíndricas mais finas (0,10mm), velocidades de corte menores (40m/min) e avanços maiores (0,5mm/volta) produzem furos alargados com melhor qualidade no material pesquisado.

Palavras-chave: alargamento, desvios geométricos, ferramentas revestidas, ferro fundido cinzento.

1. INTRODUÇÃO

A produção de um bloco de motor é uma seqüência de várias operações de usinagem até chegar totalmente pronto ao final do processo. Dentre essas operações a execução de furos é a mais comum, e exige operações posteriores a fim de melhorar a qualidade superficial, a precisão de forma e dimensional. Isso é conseguido empregando-se, entre outras, a operação de alargamento.

O alargamento é um processo de usinagem onde uma ferramenta rotativa com geometria especial, faz um leve corte nos furos cilíndricos ou cônicos, a fim de reduzir a rugosidade superficial e melhorar acabamento dos mesmos [Metals Handbook, 1989]. Essa operação também pode ser definida, segundo a norma DIN 8589, como um tipo de furação que utiliza uma ferramenta de alargar (alargadores) para produzir pequenas espessuras de cavacos e criar superfícies com alta qualidade dimensional e de forma [Da Silva, 2001]. Dentre os componentes mecânicos que sofrem operações de alargamento, se destacam os blocos de motores de combustão, que normalmente são feitos de ferro fundido cinzento, embora hoje exista no mercado a utilização de ferros fundidos vermiculares e até mesmo os blocos de motores feitos de ligas de alumínio.

Dentro deste contexto, sabe-se que existem na literatura poucos trabalhos técnico-científicos sobre alargamento, embora várias recomendações práticas sejam oferecidas pelos fabricantes de ferramentas, as quais são às vezes conflitantes entre os concorrentes ou se confrontadas com resultados de testes práticos [Da Silva, 2001]. Além disso, os trabalhos encontrados na literatura, incluindo catálogos de fabricantes e artigos científicos, ainda não respondem a todas as dúvidas e problemas encontrados durante a operação de alargamento que na maioria das vezes implicam em prejuízos ou redução de lucro para empresas.

A produção de ferros fundidos cresceu muito nos últimos anos, e representa boa parte do mercado dos materiais utilizados na indústria metal-mecânica e, por isso, a busca contínua pelas melhorias de propriedades tem levado várias indústrias siderúrgicas e centros de pesquisas ao aprimoramento dos materiais a se manterem competitivas no mercado. Um maior controle nos teores de elementos tais como o silício, magnésio, cromo, molibdênio e cobre, e também a aplicação de tratamentos térmicos adequados tem contribuído muito para a melhoria das propriedades mecânicas destes materiais como, por exemplo, a rigidez e a ductilidade, tornando viável o emprego de ferros fundidos em certas aplicações que eram até então exclusivas dos aços médio teor de carbono [Da Silva, 2001]. Uma dessas aplicações é a produção de blocos de motores de combustão interna. Porém, os teores destes elementos influenciam a usinabilidade dos ferros fundidos.

As ferramentas de corte são revestidas quando se desejam garantir características duras, resistentes ao desgaste e quimicamente inertes na superfície das mesmas [Machado e Da Silva, 2004]. O TiAlN é um revestimento que tem sido muito utilizado na indústria para a usinagem de ferros fundidos, principalmente no processo de furação. Nos últimos anos, porém, novos revestimentos foram desenvolvidos e se mostraram bastante competitivos, já que podem elevar os limites de performance das ferramentas. Um desses revestimentos, desenvolvidos pela empresa Balzers, é o Balinit Alcrona, o nitreto de cromo-alumínio (AlCrN). Este revestimento possui uma elevada resistência à oxidação e dureza a quente, ou seja, uma ótima resistência à abrasão. Outro revestimento desenvolvido pela mesma empresa é o Balinit Helica, especialmente utilizado para melhorar a vida de ferramentas de furação, já que proporciona a utilização de velocidades de corte mais elevadas, excelente evacuação dos cavacos e melhor qualidade dos furos. À base de AlCr, o Helica oferece performance superior à dos revestimentos com base em titânio, e pode ser aplicado em todas as classes de aço e ferro fundido, com refrigeração interna ou externa e ainda em trabalhos a seco ou com mínima quantidade de lubrificante [Balzers, 2006].

Este trabalho utilizou um Planejamento de Experimentos Estatístico para investigar a influência da variação na geometria do alargador (guia cilíndrico), dos parâmetros de corte (sobremetal, velocidade de corte e avanço), e de vários revestimentos da ferramenta (TiAlN, Alcrona e Helica) na operação de alargamento cilíndrico sobre os desvios geométricos (rugosidade da superfície, cilíndricidade, circularidade) de furos produzidos em ferro fundido vermicular (CGI 450). Pretende-se com isso identificar as variáveis de corte mais significativas nesta operação e conseqüentemente oferecer diretrizes (modelos estatísticos) para o alargamento de ferros fundidos vermiculares.

1.1. Ferro Fundido Cinzento

Dentre todos os tipos de ferro fundido apresentados, o ferro fundido cinzento é o mais utilizado devido às suas propriedades, tais como fácil fusão e moldagem, boa resistência mecânica, boa usinabilidade e boa resistência ao desgaste. As propriedades dos ferros fundidos cinzentos são determinadas pela sua composição química, principalmente pelos teores de carbono grafítico e de silício, e pela forma em que se encontra a grafita. A presença da grafita é a responsável pela característica de ótima usinabilidade desses materiais [Santos, 1999]. A ASTM classifica os ferros fundidos cinzentos conforme sua composição química, de acordo com a Tabela 1:

Tabela 1: Classificação dos ferros fundidos cinzentos segundo ASTM (apud Santos, 1999)

Classe	Composição Química (%)				
	C	Si	Mn	P	S
20	3,10 – 3,80	2,20 – 2,60	0,50 – 0,80	0,20 – 0,80	0,08 – 0,13
25	3,00 – 3,50	1,90 – 2,40	0,5 – 0,80	0,15 – 0,50	0,08 – 0,13
30	2,90 – 3,40	1,70 – 2,30	0,45 – 0,80	0,15 – 0,30	0,08 – 0,12
35	2,80 – 3,30	1,60 – 2,20	0,45 – 0,70	0,10 – 0,30	0,06 – 0,12
40	2,75 – 3,20	1,50 – 2,20	0,45 – 0,70	0,07 – 0,25	0,05 – 0,12
50	2,55 – 3,10	1,40 – 2,10	0,50 – 0,80	0,07 – 0,20	0,06 – 0,12
60	2,50 – 3,00	1,20 – 2,20	0,50 – 1,00	0,05 – 0,20	0,05 – 0,12

O ferro fundido cinzento é considerado um material de fácil usinagem segundo quase todos os critérios: as forças e potências de corte requeridas são relativamente baixas, a taxa de remoção de material é alta e a taxa de desgaste da ferramenta é considerada baixa. Os cavacos produzidos são descontínuos, portanto não apresentam problemas de controle. Apesar disso, a usinagem do ferro fundido cinzento produz partículas pequenas de grafite que são lançadas ao ar, o que exige o uso de equipamento de proteção individual (EPI) pelo operador da máquina. Este problema diminui quando a operação é realizada a baixas velocidades ou com aplicação de fluido de corte [Santos, 1999]. A dureza não é um indicador muito eficiente da usinabilidade, ao contrário da microestrutura e dos elementos de liga presentes no material.

1.2. O Processo de Alargamento

O alargamento é um processo de usinagem onde uma ferramenta rotativa com geometria especial, faz um leve corte nos furos cilíndricos, a fim de reduzir a rugosidade superficial e melhorar acabamento dos mesmos [Metals Handbook, 1989]. Essa operação também pode ser definida, segundo a norma DIN 8589, como um tipo de furação que utiliza uma ferramenta de alargar (alargadores) para produzir pequenas espessuras de cavacos e criar superfícies com alta qualidade dimensional e de forma [Da Silva, 2001].

A operação de alargamento pode ser realizada no mesmo tipo de máquinas-ferramenta usadas para a operação de furação. Empregando-se condições apropriadas e parâmetros de corte adequados é possível atingir tolerâncias apertadas e boa qualidade superficial [Schroeter, 1989].

A ocorrência de vibrações durante o alargamento é prejudicial sobre a vida da ferramenta e sobre o acabamento do furo. Elas podem ser conseqüências de vários fatores, como o avanço excessivo ou insuficiente, a rigidez insuficiente da máquina ou da fixação da ferramenta e/ou da peça, o comprimento excessivo do alargador ou uma folga no cabeçote. [Bezerra, 1998]. A dureza dos aços ao carbono e aços de baixa liga tem um efeito maior que a composição desses

materiais sobre a facilidade de serem alargados, de acordo com o Metals Handbook (1989). Metais moles como alumínio ou latão podem ser alargados a velocidades cinco a dez vezes maiores que as velocidades usadas para aços recozidos.

O resultado da operação de alargamento vai depender de vários fatores, entre eles a aplicação manual ou mecânica do alargador, o tipo, a profundidade e a qualidade do furo após a operação de furação, tipo e rigidez da máquina-ferramenta, fixações da ferramenta e da peça, propriedades do material do alargador, propriedades do material da peça, condições de usinagem (velocidade, avanço, profundidade de corte), efeitos térmicos, etc.

1.3. Revestimentos de Ferramentas

Uma ferramenta é revestida quando se desejam garantir características duras, resistentes ao desgaste e quimicamente inertes na superfície, mantendo um núcleo relativamente tenaz. O revestimento das ferramentas de metal duro ganhou grande importância nas últimas décadas porque proporciona desempenho muito superior ao da ferramenta sem revestimento na usinagem de materiais, principalmente dos ferrosos [Machado e Da Silva, 2004].

O TiAlN é um revestimento que tem sido muito utilizado na indústria para a usinagem de ferros fundidos, principalmente no processo de furação. Uma característica relevante dos filmes de TiAlN é quanto a sua dureza a quente durante a usinagem, pois segundo alguns pesquisadores ocorre uma reação de oxidação na superfície do revestimento, dando origem à alumina (Al_2O_3) mantendo a dureza do revestimento mesmo a altas temperaturas e, por conseguinte aumentando a resistência ao desgaste [Viana, 2004].

Nos últimos anos, porém, novos revestimentos foram desenvolvidos e se mostraram bastante competitivos, já que podem elevar os limites de performance das ferramentas. Um desses revestimentos, desenvolvidos pela empresa Balzers, é o Balinit Alcrona®, o nitreto de cromo -alumínio (AlCrN). Este revestimento possui uma elevada resistência à oxidação e dureza a quente, ou seja, uma ótima resistência à abrasão e baixo coeficiente de atrito contra o aço. Pesquisas realizadas durante o processo de torneamento de aços endurecidos mostraram um ganho de 60% de produtividade, ou seja, produziram 60% de peças a mais do que ferramentas revestidas com o TiAlN. Durante o fresamento, essas ferramentas também demonstraram que possuem uma vida muito maior, usando como comparação o desgaste de flanco da ferramenta.

Outro revestimento desenvolvido pela mesma empresa é o Balinit Helica®, especialmente utilizado para melhorar a vida de ferramentas de furação, já que proporciona a utilização de velocidades de corte mais elevadas, excelente evacuação dos cavacos e melhor qualidade dos furos. À base de AlCr, o Helica® oferece performance superior à dos revestimentos com base em titânio, e pode ser aplicado em todas as classes de aço e ferro fundido, com refrigeração interna ou externa e ainda em trabalhos a seco ou com mínima quantidade de lubrificante. Comparando-se uma broca revestida com TiAlN e outra com Helica usinando um aço AISI 1045, esta última, além de produzir mais furos, apresentou um desgaste bem menor que o da broca revestida com o TiAlN.

2. METODOLOGIA

Neste trabalho foram usadas barras de ferro fundido cinzento (GH190), fornecidas pela Teksid do Brasil. Os testes experimentais foram divididos em duas etapas. Na primeira etapa, foi feito um planejamento fatorial fracionário 2^{5-1} , objetivando comparar os revestimentos das ferramentas de corte TiAlN e Alcrona® (AlCrN), e foram utilizados os 8 níveis para as variáveis indicados na Tabela 2. Os níveis das variáveis foram escolhidos de acordo com recomendações do fabricante, a OSG Tungaloy Sulamericana de Ferramentas Ltda., e do Machining Data Handbook (1980).

Tabela 2: Planejamento fatorial fracionário da primeira etapa

Níveis:	-1	+1
Revestimento	TiAlN	Alcrona® (AlCrN)
Sobremetal (no raio)	0,10 (broca ϕ 11,8)	0,25 (broca ϕ 11,5)
Guia Cilíndrica	0,10	0,30
Velocidade de corte	40	70
Avanço da ferramenta	0,1	0,5
Total de testes	16 testes + repetições	

Na segunda etapa, comparou-se o revestimento que obteve melhor resultado nos testes com a Helica®. O planejamento realizado nessa etapa também foi um fatorial fracionário 2^{5-1} , com as variáveis em níveis iguais aos do planejamento anterior, mas agora com revestimentos diferentes, conforme mostrado na Tabela 3.

Ao serem realizadas as análises dos resultados da primeira etapa, constatou-se que o melhor revestimento para usinar o ferro fundido cinzento foi o TiAlN. Tanto o planejamento experimental como a análise dos resultados foi feita utilizando o software Statística 6.0.

Os ensaios de furação e alargamento foram realizados em um centro de usinagem ROMI Discovery 760. Para a furação foram usadas brocas de metal duro revestidas com TiN, fixas por um mandril mecânico e com diâmetros diferenciados de acordo com o sobremetal necessário para realizar cada teste de alargamento. Os alargadores usados possuíam diâmetro nominal de 12 mm e eram de metal duro integral da classe K20 revestidas. Sempre que o alargador apresentava valores influentes de desgaste, geralmente visível a olho nu, a ferramenta era substituída por outra nova.

Tabela 3: Planejamento fatorial fracionário da segunda etapa

Níveis:	-1	+1
Revestimento	Helica® (AlCr)	TiAlN
Sobremetal (no raio)	0,10 (broca ϕ 11,8)	0,25 (broca ϕ 11,5)
Guia Cilíndrica	0,10	0,30
Velocidade de corte	40	70
Avanço da ferramenta	0,1	0,5
Total de testes	16 testes + repetições	

Os furos foram cegos com comprimento de 20 mm, e o comprimento de alargamento foi de 15 mm. Essa folga de 5mm foi deixada no fundo do furo para que os cavacos se acumulassem ali, e a ferramenta não corresse o risco de quebrar devido a este acúmulo de material. Todos os testes foram realizados sem a utilização de fluidos de corte.

Para os ensaios de usinagem, foram usados corpos de prova diferentes para materiais diferentes. O corpo de prova feito em ferro fundido cinzento era um blanque retangular, com medidas de 510 mm X 190 mm X 45 mm de espessura. Por causa do tamanho e do peso deste corpo de prova não serem compatíveis com as dimensões suportáveis pelo circularímetro, após a usinagem ele foi cortado nas medidas 70 mm X 65 mm, com identificação dos testes. O desenho do blanque com os respectivos cortes está mostrado na Figura 1, e foi feito utilizando o software AutoCAD 2007.

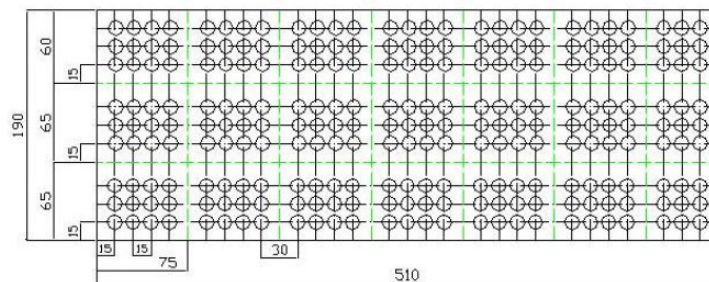


Figura 1: Desenho esquemático do corpo de prova de ferro fundido cinzento

Para cada furo foi medida a circularidade, a cilíndricidade e a rugosidade na parede do mesmo. A circularidade e a cilíndricidade foram medidas em um circularímetro, fabricado pela Taylor Hobson, modelo Talyrond 131 e disponível no Laboratório de Metrologia da UFU, mostrado na Figura 2. A precisão deste equipamento é de 0,03 μ m e sua capacidade máxima de medição é de 370 mm e 225 mm para o diâmetro e altura, respectivamente. A circularidade foi medida em três posições ao longo do furo alargado: 3 mm, 7,5 mm e 12 mm de profundidade. A partir dessas medições o equipamento fez a medição da cilíndricidade de cada furo e forneceu ilustrações e os valores das medições.



Figura 2: Circularímetro Talyrond 131 – Taylor Hobson

A rugosidade da parede dos furos foi medida utilizando-se um rugosímetro portátil Surtronic 3+, modelo 112/1590, fabricado pela Taylor Hobson. Este instrumento possui agulha do apalpador de diamante com raio de ponta de 5 μm , resolução de 0,01 μm e trabalha com carga de 150 a 300 mg. Foram medidos os parâmetros Ra, Rz e Rt, utilizando um cut-off de 0,8mm. Na análise de todos os parâmetros de qualidade (variáveis de saída) foi utilizada a análise de variância (ANOVA) com índice de confiabilidade de 95%. Os quadros de ANOVA foram gerados utilizando o software Statistica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após as medições dos parâmetros de rugosidade e dos desvios de forma (circularidade e cilíndricidade), elas foram analisadas, e de maneira geral, foram obtidos os resultados qualitativos mostrados na Tabela 4.

Ao usinar o ferro fundido cinzento, o sobremetal produziu efeitos diferentes nos erros de forma e nos parâmetros de rugosidade, sendo que, tanto na primeira etapa como na segunda, os erros de forma tendiam a ser menores, por volta de 20 a 24 μm , quando usinando com sobremetal maior (0,25mm), e os parâmetros de rugosidade tendiam a piorar, ficando em torno de 3 μm o Ra, 14 μm o Rz e 22 μm o Rt (ao usinar com o menor sobremetal esses valores eram menores).

A guia cilíndrica maior piorou os erros de forma, que ficaram entre os valores de 20 a 24 μm , e os parâmetros de rugosidade (Ra=3 μm , Rz=12 μm e Rt=20 μm) obtidos durante os testes com o ferro fundido cinzento, o que se explica pela própria função da guia, que é de alisar a parede do furo. Portanto, uma guia maior produz mais atrito, o que aumenta a temperatura gerada na usinagem e piora a qualidade dos furos obtidos.

No caso da velocidade de corte, sempre que se usavam maiores valores (70 m/min) os parâmetros de qualidade dos furos obtidos ficavam piores. Por exemplo os erros de forma chegaram a valores em torno de 32 a 36 μm e os parâmetros de rugosidade, Rz, que ficaram em torno de 15 a 25 μm nos casos mais críticos. Isso é explicado pelo maior efeito do batimento das ferramentas ao usinar com maiores velocidades de corte, e também devido à presença da aresta postiça de corte na usinagem do material em questão.

Tabela 4: Resultados gerais da análise dos parâmetros de qualidade dos furos

- 1 ? +1	1a Etapa		2a Etapa	
	Erros Circul. e Cilindr.	Parâmetros Ra, Rz	Erros Circul. e Cilindr.	Parâmetros Ra, Rz
Sobremetal	Melhora	Piora	Melhora	Piora
Guia Cilíndrica	Piora	Piora	Piora	Piora
Revestimento	Piora	Piora	Piora	Piora
Velocidade de Corte	Piora	Piora	Piora	Piora
Avanço	Melhora	Melhora	Piora	Melhora

Na usinagem do ferro fundido cinzento, no geral, o avanço maior tendia a melhorar a qualidade dos furos, produzindo erros de forma médios aproximadamente iguais a 24 μm e parâmetros de rugosidade médios de Ra=2 μm , Rz=11 μm e Rt=18 μm , apenas piorando os erros de forma durante a segunda etapa dos testes.

Ao usinar o ferro fundido cinzento com ferramentas revestidas com Alcrona®, notou-se que os erros de forma e os parâmetros de rugosidade eram piores. Por esse motivo foi utilizado o TiAlN para comparar com a performance da Helica® na segunda etapa dos testes, e este revestimento produziu furos com melhor qualidade. Isso pode ser explicado pelo fato de que o revestimento Helica® foi desenvolvido principalmente para auxiliar a usinagem de furos em ferros fundidos [Balzers, 2006].

Logo, para garantir uma maior qualidade dos furos, as recomendações para alargar o ferro fundido cinzento é utilizar um maior sobremetal, ou seja, menores diâmetros dos furos iniciais, guias cilíndricas mais finas, que proporcionam menor contato entre a ferramenta e a peça, menores velocidades de corte e maiores avanços. Além disso, o melhor revestimento para alargadores que vão usinar este material é a Helica®, à base de AlCr.

4. CONCLUSÕES

Para a usinagem do ferro fundido cinzento, as variáveis que se mostraram influentes, com confiabilidade estatística de 95%, foram: a velocidade de corte, para as rugosidades Ra, Rz e Rt, durante a primeira etapa dos testes, e a guia cilíndrica para os erros de forma, durante a segunda etapa dos experimentos. As demais variáveis não apresentaram influências significativas, para a produção de furos com qualidade. As tendências, entretanto, indicam que as demais variáveis devem ser escolhidas conforme segue:

- ✓ O nível maior de sobremetal (no caso, 0,25 mm no raio do furo) obteve melhores resultados em praticamente todas as variáveis de saída.

- ✓ A guia cilíndrica influencia na qualidade pelo fato de alisar a superfície do furo, gerando assim um maior atrito entre ferramenta e peça. Por esse motivo, as guias cilíndricas mais finas (0,10mm) se mostraram melhores e proporcionaram furos com melhores parâmetros de qualidade.
- ✓ As velocidades de corte menores, 40 m/min, proporcionaram melhor qualidade nos furos produzidos, o que se explica pelo fato de estar presente a aresta postiça de corte na usinagem do material testado. Quando a velocidade de corte era menor, ela se mostrava mais estável e prejudicava menos a qualidade superficial dos furos produzidos. Além disso, a maior velocidade de corte (70 m/min) aumentava o efeito da vibração da ferramenta, o que prejudicava a qualidade dos furos.
- ✓ O avanço maior, de 0,5 mm/rot, no geral produziu furos com melhores parâmetros de qualidade, o que aconteceu por causa do menor tempo de corte a que foram submetidos os corpos de prova, e consequentemente pela menor ação alisadora das guias cilíndricas.
- ✓ O revestimento Helica® se mostrou melhor na usinagem do ferro fundido cinzento.

5. AGRADECIMENTOS

- ⇒ À Teksid do Brasil, que forneceu as barras de ferro fundido cinzento.
- ⇒ À empresa OSG Tungaloy Sulamericana de Ferramentas Ltda., por fornecerem os alargadores e brocas para a realização dos testes.
- ⇒ Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia.
- ⇒ A Capes, pelo apoio financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- Bezerra, A.A., 1998, “Influência dos principais parâmetros no processo de alargamento de uma liga de alumínio-silício”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 139 pags.
- Balzers, 2006, Catálogo de produtos G6 Generation. Jundiaí, SP.
- Da Silva, R.B., 2001, “Alargamento cônico de Ferro Fundido Nodular”, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFMG.
- Machado, A.R. e Da Silva, M.B., 2004, “Usinagem dos Metais”, apostila, Universidade Federal de Uberlândia – EDUFU, 224 pags.
- Metals Handbook, 1989, “Machining”, Ninth Edition, ASM International, vol.16.
- Santos, S.C., 1999, “Furação de ferro fundido cinzento com brocas de metal duro integral”, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFU.
- Schroeter, R.B, 1989, “Alargamento de precisão em alumínio aeronáutico com ferramentas de gume único regulável”, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFSC.
- Viana, R., 2004. “Desempenho de brocas de HSS revestidas na furação de ligas de Al-Si”. 81 p. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

7. ANEXOS

Estão dispostas nessa seção algumas tabelas da análise de variância e alguns gráficos obtidos na análise dos resultados.

Tabela 5: ANOVA – Erro de Circularidade – Primeira Etapa

	SS	df	MS	F	p
Sobremetal	384,263	1	384,2629	0,869084	0,37317
Guia Cilíndrica	24,016	1	24,0158	0,054316	0,820417
Revestimento	42,485	1	42,4849	0,096088	0,762939
Velocidade de Corte	565,077	1	565,0768	1,27803	0,284651
Avanço	10,012	1	10,0124	0,022645	0,883376
Erro	4421,468	10	442,1468		
Total SS	5463,098	15			

Tabela 6: ANOVA – Erro de Cilindricidade – Primeira Etapa

	SS	df	MS	F	p
Sobremetal	188,928	1	188,9280	0,465062	0,510753
Guia Cilíndrica	43,864	1	43,8642	0,107975	0,749238
Revestimento	4,529	1	4,5290	0,011148	0,917998
Velocidade de Corte	698,590	1	698,5898	1,719638	0,219050
Avanço	9,388	1	9,3881	0,023110	0,882196
Erro	4062,424	10	406,2424		
Total SS	5010,400	15			

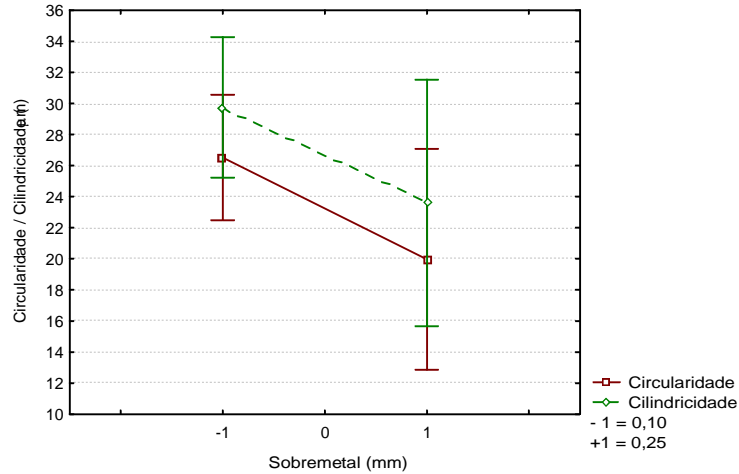


Figura 3: Erros de Circularidade e Cilindricidade x Sobremetal – Primeira Etapa

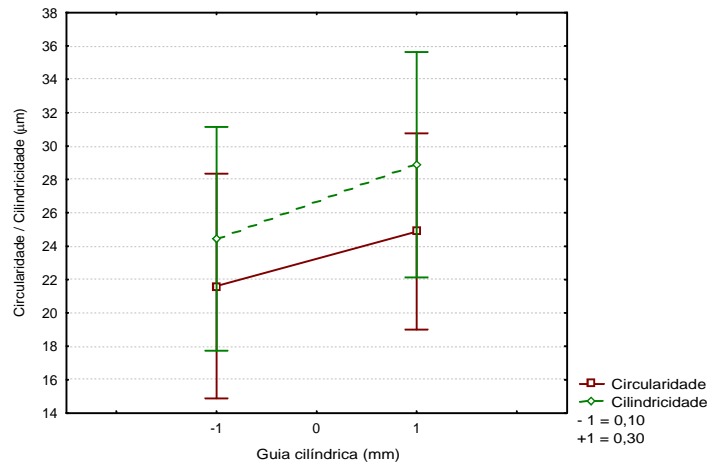


Figura 4: Erros de Circularidade e Cilindricidade x Guia Cilíndrica – Primeira Etapa

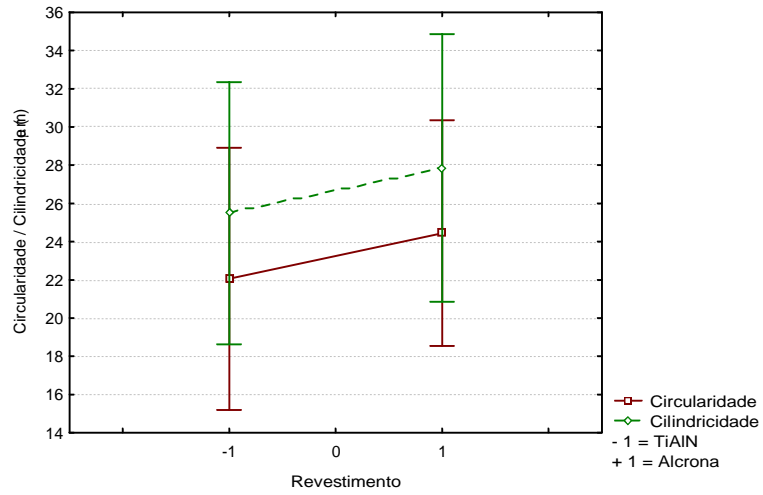


Figura 5: Erros de Circularidade e Cilindricidade x Revestimento – Primeira Etapa

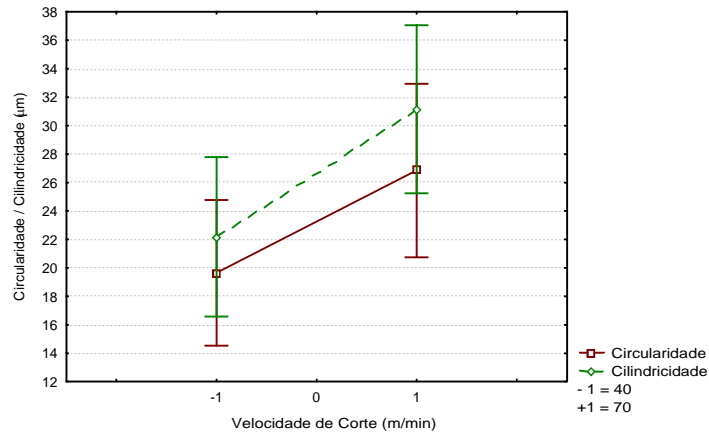


Figura 6: Erros de Circularidade e Cilindricidade x Velocidade de Corte – Primeira Etapa

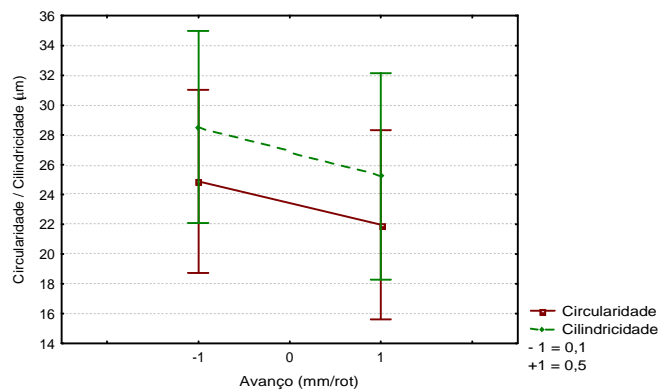


Figura 7: Erros de Circularidade e Cilindricidade x Avanço – Primeira Etapa

INVESTIGATION OF GEOMETRIC DEVIATION IN REAMING OF GREY CAST IRON WITH COATED TOOLS

Déborah Oliveira Almeida, deborah@mecanica.ufu.br¹

Éder Silva Costa, eder@div.cefetmg.br¹

Álison Rocha Machado, alissonm@mecanica.ufu.br¹

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2.121, Uberlândia, MG, 38.408-100, Brasil.

Abstract: *During the manufacturing of an internal combustion engine block, the drilling is the most common machining operation, and the holes produced require further operations in order to improve the form quality and the surface finish. Reaming is such operation, frequently used after drilling. The present work uses a Statistical Experimental Design to investigate the influence of the reamer geometry (margin width), the cutting parameters (cutting speed, feed rate and depth of cut) and the tool coatings (TiAlN, Alcrona® e Helica®) on the hole qualities (roundness, cylindricity and surface roughness) during reaming of grey cast iron (GH190). The results showed that Helica® was the best coating to machine that material. It was also found that the bigger depth of cut (0.25mm), the thinner margin width (0.10mm), the lower cutting speed (40m/min) and the higher feed rate (0,50mm/rev) produced holes with better quality in terms of form deviation and surface roughness.*

Keywords: *reaming, form deviation, coated reamers, grey cast iron.*