

ANÁLISE COMPARATIVA DE DIFERENTES CONCEPÇÕES DE FERRAMENTAS DE MANDRILAR NA USINAGEM DE CILINDROS DE BLOCO DE MOTOR.

Rolf Bertrand Schroeter

e-mail: rolf@lmp.ufsc.br

Allan Frederico C. E. Godinho

e-mail: allang@weg.net

Laboratório de Mecânica de Precisão - LMP
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Departamento de Engenharia Mecânica – EMC
Campus Universitário – Trindade
Caixa Postal 476
CEP: 88010-970, Florianópolis, SC, Brasil

Cássio L. F. de Andrade

e-mail: cassio@tupy.com.br

Tupy Fundições
Rua Albano Schmidt, 3400, Boa Vista.
CEP 89227-901, Joinville/SC – Brasil

Resumo. Atualmente existem mais de 800 milhões de automóveis no mundo. Da imensa quantidade de peças que compõem um automóvel, o motor é considerado uma das mais importantes. O motor é composto de várias peças, e dentre elas o bloco do motor. Este é uma peça fundida que passa por uma série de processos de usinagem. A usinagem dos cilindros do bloco normalmente é realizada por dois processos: o mandrilamento e o brunimento. O mandrilamento é um processo de usinagem com ferramentas de geometria definida, que geralmente consta de três etapas: desbaste, semi-acabamento e acabamento. Os detalhes e as diferenças das ferramentas de mandrilar fazem, muitas vezes, com que sua escolha seja feita sem conhecimento acerca dos resultados que as mesmas podem proporcionar em relação à qualidade de forma e dimensional da peça usinada e à produtividade. O objetivo do trabalho é analisar 4 ferramentas de mandrilar de diferentes concepções, responsáveis pelo desbaste dos cilindros. As ferramentas apresentam algumas diferenças construtivas como a presença ou não de elementos de guias, o número de insertos e escalonamento dos mesmos. Referentes a cada ferramenta são apresentados os resultados das medições de desvios geométricos de circularidade e de retitude obtidos em cada cilindro dos blocos usinados, nas condições de início e final da vida da ferramenta. Com a análise dos resultados, pretende-se avaliar quão influente são as diferenças construtivas das ferramentas sobre os desvios geométricos de circularidade e retitude.

Palavras-chave: Ferramenta de mandrilar, cilindros do bloco, qualidade de forma.

1. INTRODUÇÃO

O mandrilamento pode ser definido como sendo uma operação de usinagem de pré-furos fundidos, forjados ou extrudados com ferramenta de geometria definida, onde tanto a ferramenta quanto a peça podem executar o movimento de rotação. Segundo a Sandvik¹, o processo é chamado também de torneamento interno, o qual é usado para aumentar o diâmetro de furos previamente realizados por um outro processo de furação ou fundição.

Segundo Mühle², a operação de mandrilamento (Figura 1) é utilizada para aumentar o diâmetro de pré-furos garantindo boa qualidade de forma, boa qualidade da superfície e estreitas

tolerâncias dimensionais dos cilindros. Estas exigências estão relacionadas principalmente às variações construtivas existentes nas ferramentas de mandrilar.

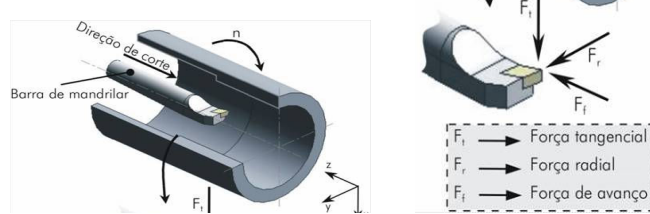


Figura 1. Operação de mandrilamento

Nos cilindros de blocos de motores, a qualidade geométrica e dimensional dos cilindros usinados, e conseqüentemente a estabilidade e produtividade dos processos envolvidos, resultam de um conjunto de fatores como: geometria e material das ferramentas de corte, material da peça de trabalho, força de usinagem, fixação da peça, rigidez da máquina-ferramenta e condições de corte, entre outros [3, 4, 5].

Existem vários desvios de geométricos nos cilindros do bloco do motor. Estes são provenientes do processo de fundição, os quais devem, ao longo do processo de usinagem, ser reduzidos aos valores limites especificados em projeto (Figura 2).

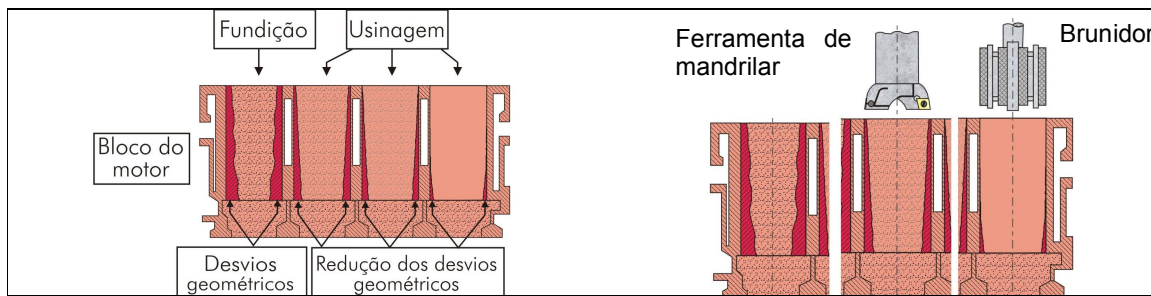


Figura 2. Desvios geométricos e dimensionais na usinagem dos cilindros

Cada etapa da operação de mandrilamento deve fornecer como resultado peças com qualidade geométrica e dimensional conforme os limites de tolerância especificados. Caso uma das etapas não esteja desempenhando bem a sua função, isso pode acarretar na redução da vida das ferramentas das etapas e de operações posteriores ao mandrilamento e ao brunimento, provocando problemas de instabilidade da linha e elevação do custo de produção.

Visando o desenvolvimento do processo de mandrilamento dos cilindros do bloco do motor em ferro fundido vermicular, neste trabalho são analisadas diferentes concepções de ferramentas de mandrilar, fornecidas por diferentes fabricantes, na operação de desbaste dos cilindros do bloco. As ferramentas diferem por possuir elementos de guias ou não, números de insertos e diâmetros escalonados. Estas variações resultam na obtenção de diferentes valores de vida, potência, qualidade de superfície, dimensional e de forma na peça usinada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Corpos de Prova

Os corpos de prova utilizados foram blocos V6 (Figura 3) provenientes de um mesmo lote de fundição, visando diminuir os riscos de variações significativas em relação às propriedades mecânicas entre os blocos, visto que essas variações repercutem nos resultados de usinagem.

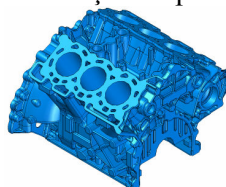


Figura 3. Bloco V6 utilizado como corpo de prova

2.1.1. Ferramentas

Foram realizados ensaios com 4 ferramentas, as quais são apresentadas abaixo. A ferramenta A (Figura 4) apresenta as seguintes características construtivas:

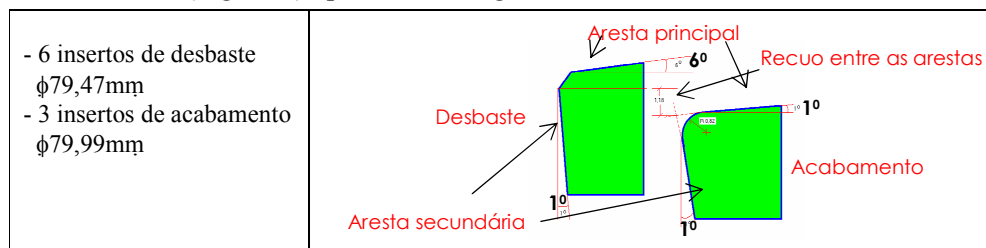


Figura 4. Características construtivas da ferramenta A

A ferramenta B (Figura 5) apresenta as seguintes características construtivas:

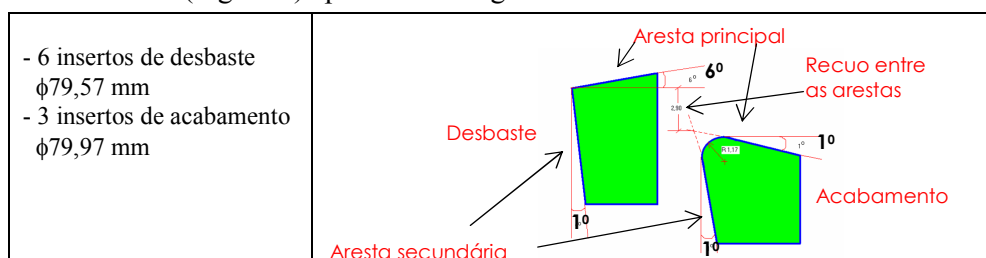


Figura 5. Características construtivas da ferramenta B

A ferramenta C (Figura 6) apresenta as seguintes características construtivas:

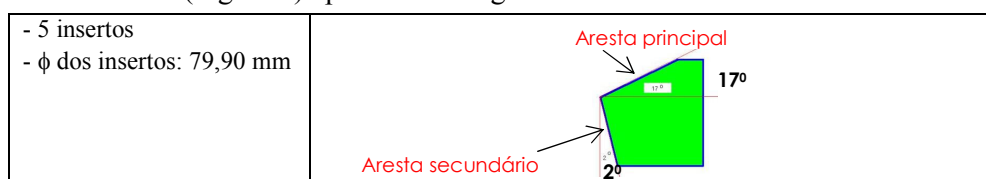


Figura 6. Características construtivas da ferramenta C

A ferramenta D (Figura 7) apresenta as seguintes características construtivas:

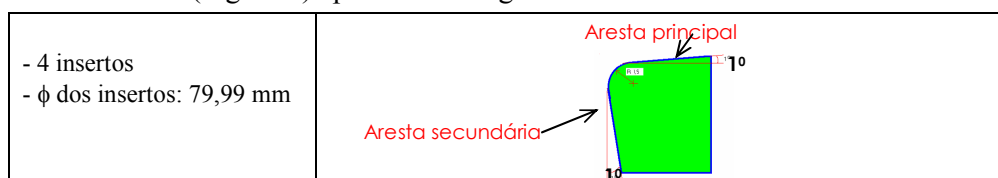


Figura 7. Características construtivas da ferramenta D

2.1.2. Medições

Foram realizadas as medições dos seguintes parâmetros: retitude e circularidade. As medições desses desvios estão de acordo com a norma ISO 12180-2, para a medição de desvios geométricos de cilindros com diâmetro de 80 mm.

3. ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1 Análise do Desempenho das Ferramentas na Condição de Mesma Produtividade

Nesta análise são avaliados os resultados de circularidade e de retitude, nas condições de início e final de vida. As condições de corte dos ensaios estão apresentadas na Tabela 1. A mesma produtividade deve-se ao mesmo avanço utilizado.

Tabela 1. Condições de corte das ferramentas nos ensaios

Parâmetros	Ferramentas			
	A	B	C	D
Avanço [mm/min]	517	517	517	517
Vel. de corte [m/min]	120	120	135	100

3.1.1. Análise de Circularidade

A Figura 8 apresenta os resultados de circularidade dos cilindros na condição de início de vida da ferramenta.

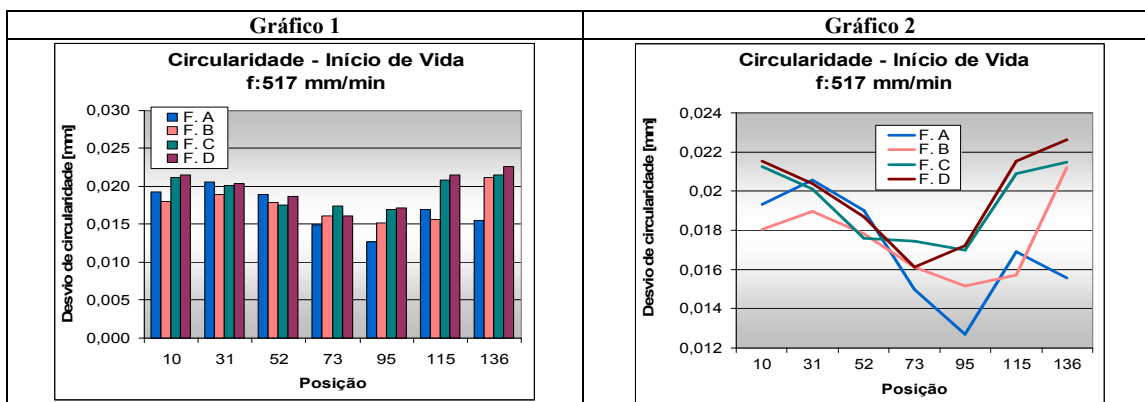


Figura 8. Valores de circularidade na condição de início de vida

Pela análise do gráfico 1, observa-se que os valores de circularidade são semelhantes ao longo de cada posição do cilindro. Verificam-se valores de circularidade superiores para as ferramentas C e D em relação aos valores obtidos com as ferramentas A e B. Com as ferramentas C e D foram obtidos valores de circularidade aproximadamente 12% superiores aos comparados com os valores obtidos com as ferramentas A e B.

A maior média dos valores encontrados nas curvas das ferramentas C e D pode estar relacionada à ausência de insertos escalonados nestas ferramentas, os quais são encontrados nas ferramentas A e B. Este tipo de concepção favorece a obtenção de melhores resultados de circularidade e de retitude, podendo ser esta a explicação para os melhores resultados de circularidade observados no gráfico 1^[6, 7].

No gráfico 2 são mostradas as curvas de tendência dos resultados. Observa-se nestas curvas a mesma tendência de comportamento ao longo do cilindro. Tal comportamento pode estar relacionado à variação de rigidez ao longo do comprimento do cilindro e distorções elásticas devido às solicitações impostas pelo dispositivo de fixação do bloco.

Na Figura 9 é mostrado o resultado do desvio de circularidade na condição de fim de vida da ferramenta. Como as ferramentas atingiram o fim de vida sob critérios diferentes, torna-se possível fazer apenas uma análise qualitativa sobre as tendências dos resultados.

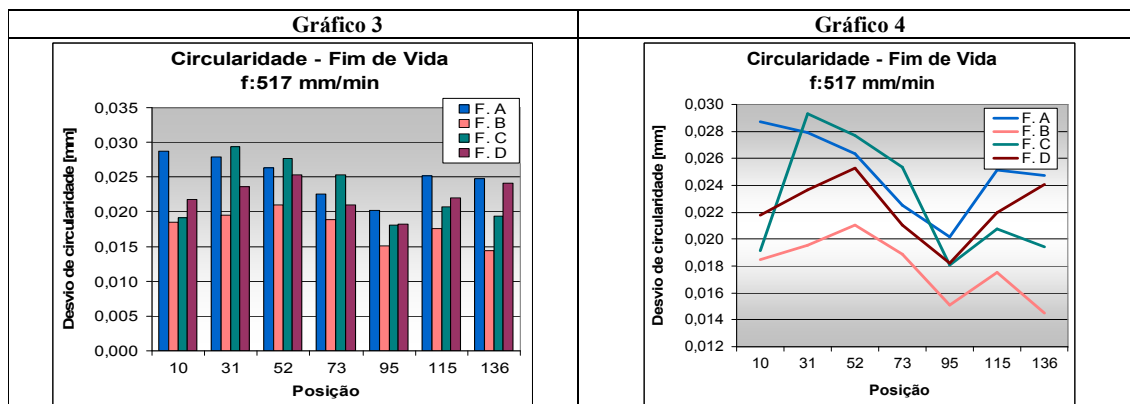


Figura 9. Valores de circularidade na condição de fim de vida

Verifica-se no gráfico 3 que os maiores valores de circularidade foram obtidos com a ferramenta A e os menores com a ferramenta B. No gráfico 4 são mostradas as curvas de tendência das ferramentas. Observa-se nestas curvas a mesma tendência da variação dos valores ao longo do cilindro. Tal comportamento, conforme mencionado anteriormente, pode ser imputado à influência da variação de rigidez e distorções dos cilindros pelo dispositivo de fixação. Apesar dos diferentes critérios de fim de vida atingidos pelas ferramentas, verifica-se que as ferramentas com as quais foi possível usinar as maiores quantidades de peças foram também as que apresentaram as maiores médias dos valores de circularidade. Pode-se dizer que o desvio de circularidade sofre influência das variações das concepções das ferramentas testadas, para as condições de corte apresentadas no mandrilamento de desbaste. Contudo a evolução dos valores de circularidade está mais associada ao desgaste da ferramenta do que à concepção da mesma, para os tipos de ferramentas analisados.

3.1.2. Análise de Retitude

Na Figura 10 são mostrados os resultados de retitude dos cilindros na condição de início de vida de ferramenta.

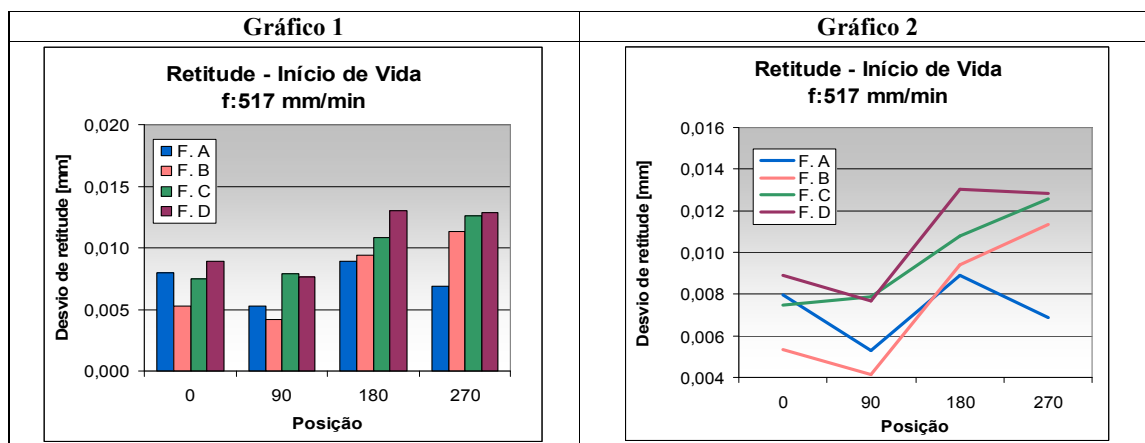


Figura 10. Resultados de retitude na condição de início de vida

Pelas análises dos gráficos 1 e 2, verificam-se a mesma tendência das curvas ao longo das posições de medição para todas as ferramentas e maiores valores de retitude para a ferramenta D e C. Tal tendência de comportamento pode estar associada à variação de rigidez ao longo da circunferência do cilindro e às distorções dos mesmos devido às solicitações impostas pelo dispositivo de fixação.

Os maiores valores de retitude obtidos com as ferramentas C e D em comparação com os obtidos com as A e B podem estar relacionados às características construtivas das ferramentas. As ferramentas C e D diferem principalmente das A e B por não apresentarem insertos escalonados.

Em relação à condição de fim de vida (Figura 11), constata-se algumas tendências do comportamento das ferramentas.

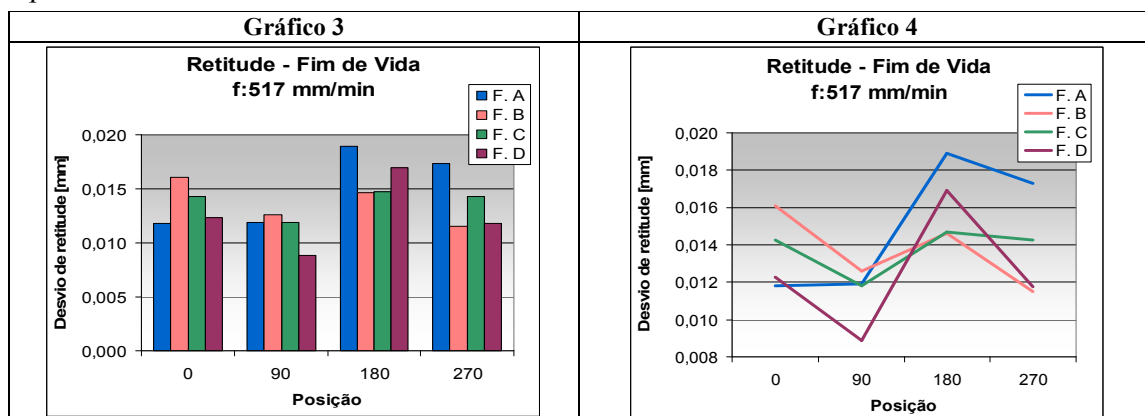


Figura 11. Resultados de retitude na condição de fim de vida

Verifica-se que os resultados de retitude não apresentaram significativas variações entre as ferramentas em cada posição de medição (gráfico 3).

No gráfico 4 observam-se as curvas de tendência. Estas, assim como na condição de início de vida, apresentam comportamentos semelhantes nas posições de medição dos cilindros. Conforme mencionado anteriormente, tal comportamento pode ser resultado de distorções devidas às forças de fixação do bloco e variações de rigidez ao longo do cilindro.

4. CONCLUSÕES

Com este trabalho foi possível obter maior conhecimento sobre o processo de mandrilamento dos cilindros do bloco de motor em ferro fundido vermicular.

Através da análise dos desvios geométricos, pode-se concluir que as variações nas concepções das ferramentas influenciam nos resultados de circularidade e retitude dos cilindros.

As ferramentas C e D que não possuem insertos escalonados foram as que apresentaram os piores resultados, tanto para os resultados de circularidade quanto para os de retitude. Na condição de fim de vida de ferramenta a ferramenta B permitiu alcançar os menores valores de circularidade.

O desgaste das ferramentas influencia sobre a qualidade geométrica, pois na condição de fim de vida de ferramenta ocorre o aumento dos valores de circularidade e retitude em todas as condições de corte e para todas as ferramentas.

Foram verificadas as mesmas tendências dos resultados de circularidade ao longo do comprimento do cilindro e dos resultados de retitude nas diferentes posições de medição, o que leva a concluir que o dispositivo de fixação da peça influencia sobre a qualidade de forma dos cilindros.

5. AGRADECIMENTOS

À UFSC pela estrutura fornecida para a realização do trabalho. À Capes pela concessão da bolsa de estudos. À empresa Tupy Fundições Ltda. pelos corpos de prova, estrutura e equipamentos.

6. REFERÊNCIAS

1. SANDVIK. **Modern metal cutting: a practical handbook**. 1. ed. Depto Technical Sandvik Coromant, 1994. 500 p.
2. MÜHLE, H. B., **Mandrilamento com cabeçotes de excentricidade regulável e sistema de balanceamento**. 2000. 142 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
3. REUTER, U.; SCHULZ, H. Compact and bijou: The problems associated with compacted graphite iron manufacturing can be overcome. **Engine Technology International**, v. 4, p. 58-60; 1999.
4. SCHROETER, R. B., WEINGAERTNER, W. L., et al. **Otimização do processo de furação e acabamento guias de válvulas**. Florianópolis: UFSC, 2004. 80 p. (2º Relatório Interno – Projeto Verde-Amarelo).
5. KÖNIG, W.; KLOCKE, F. **Tecnologia da Usinagem com Ferramentas de Corte de Geometria Definida** – parte 1. Traduzido e adaptado por Rolf Bertrand Schroeter e Walter Lindolfo Weingaertner do livro “Fertigungsverfahren – Drehen, Bohren, Fräsen”. 2001.
6. AN ARNOLD PUBLICATION. West manufacturing case study. n. 5, jun 2002.
7. EQUIPE TÉCNICA DA INGERSOLL WERKZEUGE GmbH. Ferro fundido vermicular: avanços na usinagem. **Revista Ipesi Metal-Mecânica**. São Paulo, p 63-65, nov. 2004.

COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFERENT BORING TOOLS CONCEPT IN THE CYLINDER BLOCK BORING PROCESS

Rolf Bertrand Schroeter

e-mail: rolf@lmp.ufsc.br

Allan Frederico C. E. Godinho

e-mail: allang@weg.net

Laboratório de Mecânica de Precisão - LMP
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Departamento de Engenharia Mecânica – EMC
Campus Universitário – Trindade
Caixa Postal 476
CEP: 88010-970, Florianópolis, SC, Brasil

Cássio L. F. de Andrade

e-mail: cassio@tupy.com.br

Tupy Fundições
Rua Albano Schmidt, 3400, Boa Vista.
CEP 89227-901, Joinville/SC – Brasil

***Abstract:** Nowadays there are more than 800 millions automobiles in the world. Of huge amount of components that makes part of an automobile, the engine is considered one of the most important. There are lots of pieces that assemble the engine, from among the cylinder block, which is made of cast iron. After casting, the cylinder block is machined with boring tools in order to get more accuracy. Normally there are three steps in the cylinder block boring process: rough boring, pre-finish boring and finish boring. There are different boring tooling concepts. Those can be designed with different number of insert, with staggering of the insert and guide elements. Form deviations and dimensional tolerances of cylinders machined are regarding with details and tooling concept. The target of this job is to analyse four different roughing boring tooling concepts, whose have different number of inserts, staggering of the inserts, and guide elements. Regarding each tool are showed results of roundness and straightness in the initial and end tooling life conditional, making associations of these results with the different tooling concept.*

***Keywords:** boring tool, cylinder block, form deviation.*