

Estudo do processo de forjamento a frio para um componente pistão de freio
Cold forging process study for a brake piston component

Rafael da Silva Bichinho¹

José Lesina César²

José Carlos Krause de Verney³

Leonardo Haerter dos Santos⁴

Lírio Schaeffer⁵

RESUMO

A dinâmica do mercado atual exige a melhoria contínua dos processos industriais visando à qualidade, redução de custo e prazo de entrega dos produtos. Este trabalho tem por objetivo a otimização do processo de usinagem de uma linha de produtos de uma indústria de peças automotivas, do segmento de reposição. Para que isto fosse possível, buscou-se um produto com boa demanda de mercado, que fosse, até então, manufaturado através do processo de usinagem e que existisse a possibilidade de substituir a matéria-prima utilizada por um componente forjado a frio. Dois processos de fabricação de pistões de freios, escolhidos por atender aos critérios, foram comparados e demonstrados em fluxo, sendo possível realizar uma análise desde a aquisição da matéria-prima até o produto final. O processo atual consiste em usinar o produto acabado diretamente de uma matéria-prima aço-carbono SAE 1045 na forma de tarugo. No proposto por este trabalho, o produto final é obtido a partir da usinagem de um componente forjado a frio, que tem como matéria-prima um tarugo de aço SAE 1020, resultando em redução do número de operações do processo de usinagem e incremento na resistência mecânica do material. O forjamento a frio em uma etapa foi possível seguindo os critérios e limites do processo e análise através da simulação numérica utilizando o programa de computador Eesy-2-form. A otimização no processo

¹ Eng. Mecânico; empresa Viemar

² Prof. Dr. Eng. Curso Eng^a Mecânica / PPGEMPS – ULBRA.

³ Prof. Dr. Eng. Curso Eng^a Mecânica / PPGEMPS – ULBRA.

⁴ Prof. M.Sc.Eng. Curso Eng^a Mecânica – ULBRA

⁵ Prof. Dr. Eng. LDTM / PPGE3M - UFRGS

foi significativa, sendo possível reduzir operações subsequentes na usinagem do componente e possibilitou um aumento na capacidade de produção nas máquinas de usinagem, mesmo o componente passando pelo processo de forjamento a frio. Obteve-se um aumento na produção da primeira operação em 186 % e, na segunda operação, de 277 %, reduzindo perdas de matéria-prima em 50 %, descarte de cavacos no processo de usinagem além de ganho na qualidade do material.

Palavras-chave: pistão de freio; conformação mecânica; forjamento a frio; usinagem.

ABSTRACT

The dynamics of current market demands a continuous improvement of the industrial processes aiming costs reduction, quality and product's deadline. This work has the objective to optimize the machining process of a product line of automotive parts industry, from aftermarket segment. To make this possible, a product with good market demand, manufactured through a machining process and which the possibility of replace the raw material used until now to a cold forged component exists was chosen. Two piston break fabrication processes, chosen for meet the criteria, were compared and shown at the process sequence, where it was possible to make an analysis since the acquisition of raw material until the final product. The current process consists of machining the finished product directly of a carbon steel SAE 1045 raw material in the shape of a blank. The proposal of this work is to obtain the final product from machining of a cold forged component, which has as raw material a blank made of steel SAE 1020, resulting on a reduction of the machining's process operation number and increment on the mechanical resistance of the material. At the end, the results indicated that the new study process was capable of generate a gain on the productivity, through reduction of the used raw material and, mainly, optimization of the manufacture's time relative to current process.

Keywords: Piston break; Mechanical conformation; Cold Forging; Machining.

1 INTRODUÇÃO

O mercado de reposição para componentes da área automotiva apresenta uma perspectiva diferente das grandes montadoras, onde são produzidos grandes volumes de peças utilizando-se sistemas e máquinas automatizadas.

A indústria que trabalha direcionada para o mercado de reposição de componentes automotivos tem uma realidade diferente, trabalha com pequenos lotes e uma grande variedade de componentes que implica em muitas paradas para preparação da linha de produção. Para atender essa demanda de produção são necessárias melhorias nos processos de manufatura como, por exemplo, a transformação dos metais em produtos, redução de custos, tempos de produção, qualidade e adequação a normas. É de extrema importância, então, a necessidade de analisar novos processos de fabricação e revisar conceitos para atender de forma competitiva o mercado.

O produto analisado, pistão de freio, demonstrou potencial para melhoria de processo. Trata-se de um dos componentes do sistema de freio a disco utilizado na grande maioria dos veículos automotivos. O pistão de freio é parte do mecanismo que permite controlar o movimento de aceleração de um veículo, de retardar, parar e/ou impedir que o movimento seja reiniciado.

Para que uma peça seja competitiva no mercado é necessário reduzir custos e manter a qualidade do produto. Com isto definido, para atender o objetivo, partiu-se para uma análise de melhoria de processo, substituindo a matéria-prima de tarugo adequando-a para um forjado a frio.

2 PROCESSO DE CONFORMAÇÃO A FRIO

A conformação a frio apresenta-se como um processo economicamente competitivo em que a escolha adequada do material e do processo de fabricação do ferramental influi decisivamente. Considerando-se as limitações impostas pelo equipamento e pelas ferramentas, devem-se considerar as características específicas do processo que restringem a obtenção de produtos forjados.

Uma das grandes vantagens da conformação a frio é o efeito do encruamento que proporciona aumento da resistência mecânica.

As características mecânicas dos produtos conformados a frio estão relacionadas pela relação entre a resistência mecânica e o peso, resistência à fadiga, esforços de impacto, acabamento superficial, tolerâncias e a geometria do componente forjado muito próximo da peça final.

Os defeitos típicos que podem ocorrer durante o processo de forjamento a frio são causados basicamente por fatores como:

- Tratamento térmico incorreto e baixa qualidade superficial dos tarugos de partida;
- Deficiência de lubrificação na interface tarugo/ferramenta;
- Execução das etapas de extrusão ou recalque com graus de deformação excessivos;
- Uso de ferramentas com geometrias incorretas.

De um modo geral, existem dois tipos básicos de extrusão: a direta e a indireta ou inversa. Na extrusão direta a peça é extrudada no mesmo sentido em que se realiza a ação do punção sobre o material, enquanto que na extrusão indireta a peça é extrudada no sentido contrário à do avanço do punção. Na extrusão indireta, a energia dissipada é inferior à da extrusão direta devido ao fato de não existir praticamente movimento relativo entre o material e as paredes do punção. O processo proporciona benefícios relacionados com o aproveitamento da matéria-prima podendo chegar a 5 % de desperdício. A principal desvantagem consiste na maior complexibilidade e no custo das ferramentas [1].

Embora existam fundamentalmente estes dois tipos básicos de extrusão, pode-se classificar os processos de extrusão em quatro grupos distintos [2].

Para extrusão indireta ou inversa, a limitação de redução de secção deve-se principalmente às elevadas tensões desenvolvidas durante o processo que transmitidas às ferramentas podem causar sua falha. A lubrificação promove a redução dessas tensões.

Na extrusão inversa, os limites máximos de redução da área estão entre 70 e 75 %, para aços de boa conformabilidade e, entre 50 e 55 %, para aços de baixa e média conformabilidade. Também são limitados pela resistência mecânica, as características dos materiais empregados nas ferramentas.

Nos casos dos aços de boa conformabilidade a redução de área ideal está próxima de 50 % para qual a pressão de extrusão atinge um valor mínimo.

Já os valores mínimos de redução de área referem-se ao limite de rigidez do punção de extrusão, pois para reduções de área pequenas (relações d/D baixas), a razão diâmetro/comprimento do punção é reduzida, aumentando o risco de flambagem

A relação ente a altura e o diâmetro da peça extrudada está compreendida entre 1,5 (aços de baixa conformabilidade) a 2,5 - 3 (para aços de boa conformabilidade) [3].

A conformação a frio apresenta vantagens e desvantagens em sua aplicação, tem-se como vantagens:

- Menor quantidade de matéria-prima requerida: a peça pode ser obtida muito próxima do produto final;
- Redução de operações subsequentes;
- Melhoria nas propriedades mecânicas da peça, possibilitando o aumento do limite de ruptura, limite de escoamento e da dureza;
- Possibilita a utilização de matéria-prima mais barata;
- Obtenção de geometrias especiais com precisão dimensional;
- Bom acabamento superficial.

Como desvantagens:

- Prensas de maior capacidade;
- Pressões elevadas nas ferramentas;
- Necessidade de recozimento intermediário para se obter grandes deformações;
- Viável economicamente apenas para lotes grandes de peças;
- Tempos de preparação e ajuste do ferramental maiores.

Para a definição da matéria-prima, leva-se em consideração alguns fatores importantes do material, como:

- Tratamento térmico antes do processo de forjamento. Para se obter uma melhor conformabilidade o material deve estar esferoidizado com o objetivo de que o material tenha uma mínima dureza, máxima ductilidade e usinabilidade;
- Estrutura metalográfica;
- Tamanho de grão;
- Texturas e linhas de segregação;
- Velocidade de deformação;
- Comportamento da curva de escoamento;
- Ductilidade.

A Tabela 1 classifica alguns aços ligados e não ligados quanto a sua conformabilidade a frio.

Tabela 1 - Classificação dos aços ligados e não ligados [4].

CONFORMABILIDADE A FRIO DE AÇOS LIGADOS E NÃO LIGADOS			
ÓTIMA	BOA	REGULAR	RUIM
1008	1018	1035	1045
1010	1020	1038	1050
1013	1022	1040	1060
1016	1024	2330	1070
1017	1030	3140	1080
3115	3120	4130	1340
5015	3130	4130	4340
5115	4037	4140	4640
	5120	5140	6150
	8620	8640	52100

Deve ser lembrado que essa classificação é influenciada pelo processo de conformação a frio executado, pela lubrificação empregada e pelas condições de acabamento do ferramental.

No processo de extrusão inversa, o punção origina a forma interna da peça e no processo de extrusão direta comprime a peça através de um orifício que dá a forma a mesma [5].

A escolha do equipamento a ser empregado no processo de forjamento normalmente baseia-se em aspectos econômicos como, por exemplo, as instalações e máquinas disponíveis na planta fabril.

Entre os equipamentos normalmente utilizados para conformação de metais, destacam-se para o forjamento a frio, as prensas acionadas tanto mecânica como hidráulicamente, sendo as hidráulicas tanto de construção vertical como horizontal [6].

A metodologia de cálculo do processo de extrusão inversa é baseada em algumas equações, conforme seguem:

- Deformação na extrusão inversa (φ):

$$\varphi = \ln \cdot \frac{h_1}{h_0} \quad (1)$$

- Para peças de paredes finas na extrusão inversa a deformação é calculada por:

$$\varphi = \ln \left(\frac{D}{D-d_1} - 0,16 \right) \quad (2)$$

- Peças com paredes finas são consideradas quando:

$$\frac{D}{p} \geq 10 \quad (3)$$

- Força para conformação a frio (F), onde k_{fm} – tensão de escoamento médio:

$$F = \frac{A_0 \cdot k_{fm} \cdot \varphi}{\eta_F} \quad (4)$$

Na extrusão indireta de peças com paredes delgadas $\frac{D}{p} \geq 10$, a força de extrusão pode ser calculada por, onde η_F - rendimento:

$$F = A_p \frac{k_{fm}}{\eta_F} \cdot \left(2 + 0,25 \cdot \frac{h_0}{p} \right) \quad (5)$$

O fator de rendimento varia de 0,4 para geometrias mais complexas e pequenas deformações para 0,7 nas geometrias simples e grandes deformações [1].

- Força de atrito (entre o material e a parede da ferramenta):

$$F_{ap} = \pi \cdot d_0 \cdot \mu \cdot k_{f0} \cdot h_k \quad (6)$$

A Tabela 2 apresenta valores referenciais de atrito:

Tabela 2 – Valores referenciais de atrito [1].

Processo	Extrusão direta		Extrusão inversa
	Peças maciças	Peças vazadas	
Fator de atrito	0,04 até 0,08	0,1 até 0,125	0,03 até 0,06

- Volume do tarugo:

$$V_g = \frac{d_1^2}{4} \cdot \pi \cdot h_1 + \frac{(D^2 - d_1^2)}{4} \cdot \pi \cdot h \quad (7)$$

- Volume de perdas se considera um acréscimo de 1% devido a oxidação:

$$V_p = \frac{V_g}{100} \quad (8)$$

- Volume do perfil interno do componente forjado:

$$V_c = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot h}{3} \quad (9)$$

- Volume de perdas por oxidação do perfil interno do componente forjado:

$$V_{pc} = \frac{V_c}{100} \quad (10)$$

- Volume do componente forjado:

$$V = V_g + V_p + V_c + V_{pc} \quad (11)$$

- Área do tarugo:

$$A_0 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (12)$$

- Comprimento do tarugo:

$$h_0 = \frac{V}{A_0} \quad (13)$$

- Massa específica:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (14)$$

- Comprimento do tarugo para ensaio de compressão:

$$H < 2,5 \times D \quad (15)$$

- Diâmetro máximo resultante após ensaio de compressão:

$$d < 2 \times D \quad (16)$$

- Espessura mínima resultante após o ensaio de compressão:

$$h > 0,25 \times H \quad (17)$$

- Volume do tarugo utilizado no processo atual:

$$V_t = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (18)$$

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O conceito do processo de forjamento a frio foi analisado para que a matéria prima forjada atenda as especificações de produto e processo, conforme Figura 1 (desenho original do componente), e torne a peça mais competitiva no mercado. Baseado nos conceitos do referencial teórico foi projetado um componente conformado a frio que atenda as especificações de produto e a proposta de otimização, conforme Figura 1.

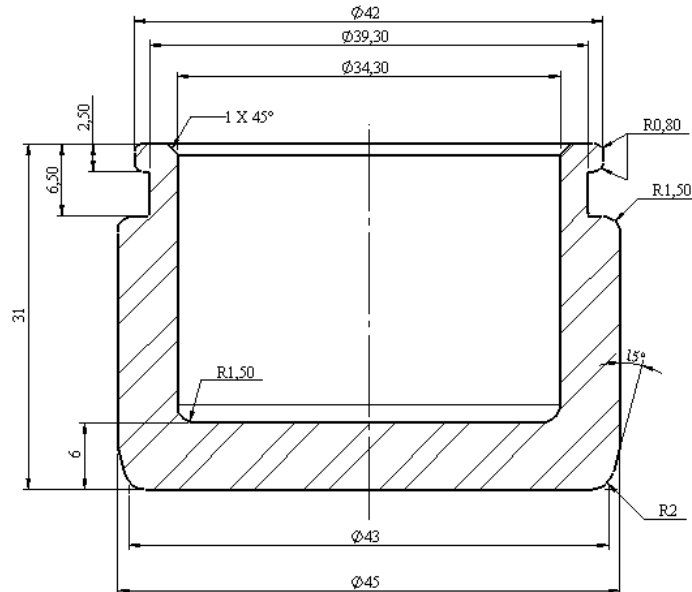


Figura 1 – Desenho original do pistão de freio (usinado).

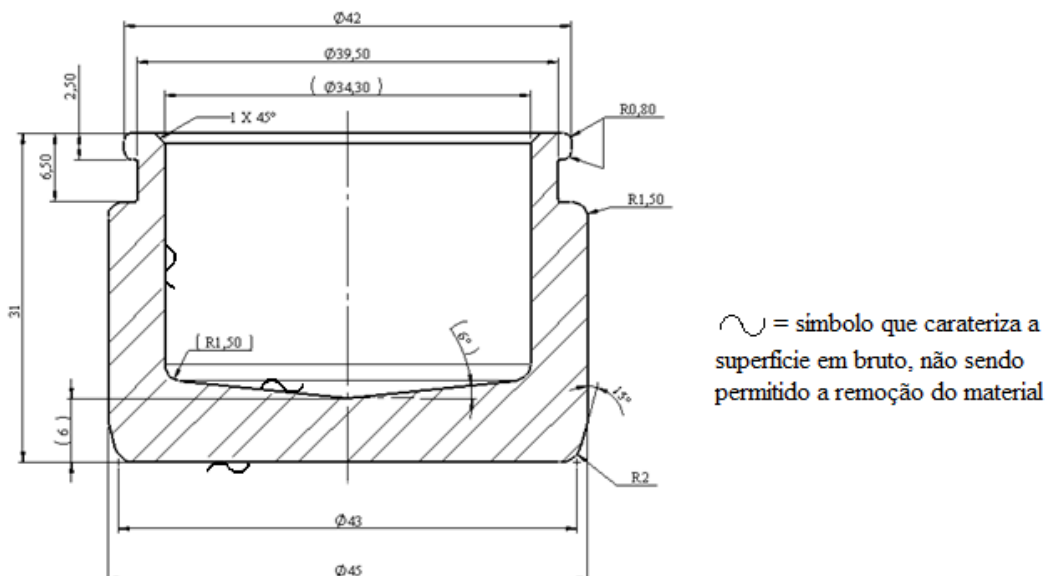


Figura 2 – Desenho proposto para componente pistão de freio partindo da matéria-prima conformada a frio.

Para substituir o material ABNT 1045, foi utilizado um aço ABNT 1020 laminado a frio. Este aço se justifica pela sua boa condição de conformabilidade e por ter oferta de mercado. Para se obter tal condição de conformabilidade, o mesmo deve estar no estado esferoidizado.

A definição da geometria do tarugo para forjamento a frio foi especificada através do volume do componente calculado pela equação (7) que considera constância de volume.

A Figura apresenta o desenho do componente forjado a frio que substituirá o tarugo utilizado no processo atual.

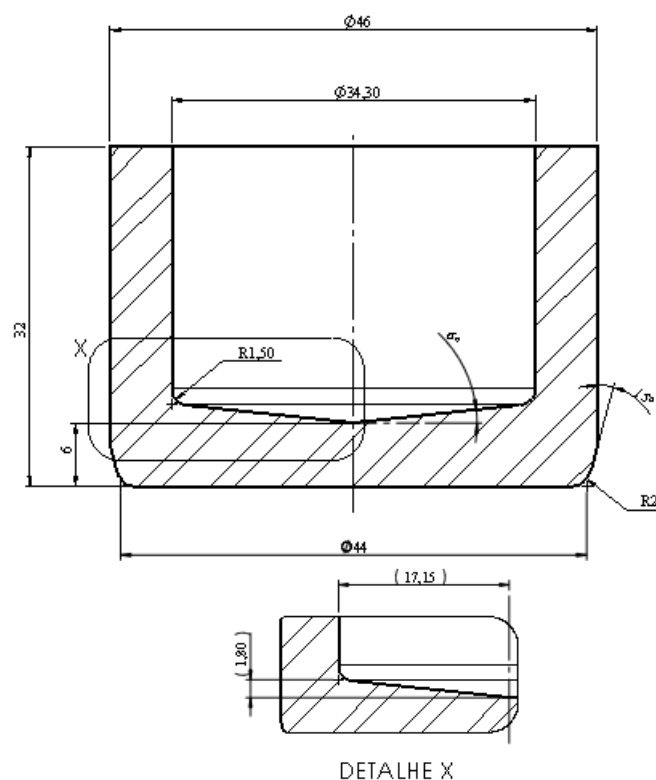


Figura 3 – Desenho do componente conformado a frio.

- Cálculo do volume do tarugo:

$$V_g = \frac{34,3^2}{4} \cdot \pi \cdot 6 + \frac{(46^2 - 34,3^2)}{4} \cdot \pi \cdot 31 \quad (7)$$

$$V_g = 29156,5 \text{ mm}^3$$

- Cálculo do volume de perdas V_p :

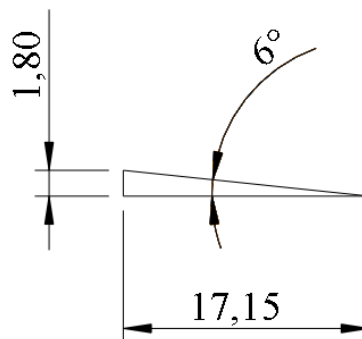
Para o cálculo do volume de perdas se considera um acréscimo de 1% devido à oxidação resultante do processo de esferoidização.

$$V_p = \frac{29156,5}{100} \quad (8)$$

$$V_p = 291,56 \text{ mm}^3$$

- Cálculo do volume da geometria interna do componente conforme “detalhe X” da Figura 3:

O perfil interno do componente forjado foi especificado conforme referencial teórico seguindo critérios para dimensionamento de punções de extrusão inversa, onde o ângulo de ataque do punção que pode ser de 6° a 15° é importante para manter a concentricidade do diâmetro interno em relação ao externo.



$$V_c = \frac{\pi \cdot 17,15^2 \cdot 1,8}{3} \quad (9)$$

$$V_c = 554,4 \text{ mm}^3$$

$$V_{pc} = \frac{554,4}{100} \quad (10)$$

$$V_{pc} = 5,5 \text{ mm}^3$$

$$V = 29156,5 + 291,565 + 554,4 + 5,5 \quad (11)$$

$$V = 30008 \text{ mm}^3$$

- Definição da geometria do tarugo para o processo de forjamento:

$$d_0 = 44,45 \text{ mm}$$

$$A_0 = \frac{\pi \cdot 44,45^2}{4} \quad (12)$$

$$A_0 = 1551,8 \text{ mm}^2$$

- A h_0 (comprimento do tarugo) é definido dividindo-se o volume do componente pela área inicial do tarugo

$$h_0 = \frac{30008}{1551,8} \quad (13)$$

$$h_0 = 19,3 \text{ mm}$$

- A geometria do tarugo baseado nos cálculos realizados apresenta um diâmetro de $\varnothing 44,45$ mm e comprimento de **19,3 mm**.

- Cálculo da massa através da massa específica do aço:

$$\rho = 7870 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho = 7,87 \cdot 10^{-3} \text{ g/mm}^3$$

- Para cálculo da massa foi utilizada a equação:

$$m = 7,87 \cdot 10^{-3} \cdot 30008 \quad (14)$$

$$m = 236 \text{ g}$$

Para atender o processo de conformação foram especificados alguns requisitos para o fornecimento do material, como a dureza do mesmo.

A tolerância especificada para o diâmetro do tarugo foi de $\pm 0,8$ mm e a ovalização 1,2 mm.

O tratamento térmico de recozimento para esferoidização antes do processo de forjamento torna globulares os carbonetos da microestrutura lamelar perlítica. Conforme mostra a Figura 4.

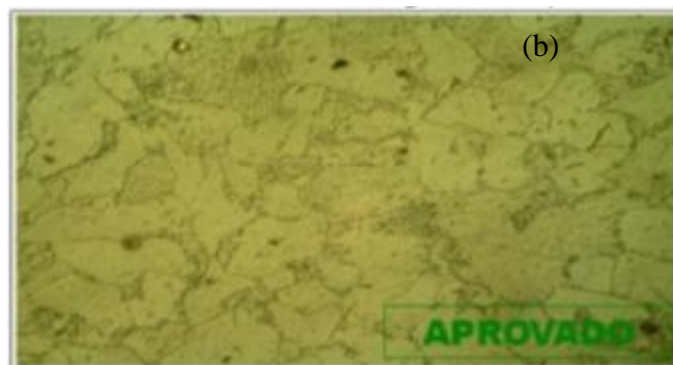
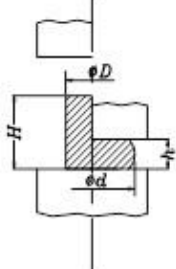


Figura 4 – Microestrutura resultante da esferoidização do aço ABNT 1020.

As amostras passaram por um ensaio de compressão, conforme Figura , com o objetivo de conhecer o comportamento do material submetido à deformação. Esse processo serve para verificar se o lote enviado pelo fornecedor está dentro das especificações para atender o processo de conformação a frio.

<i>Processo</i>	<i>Limite</i>
	$H < 2.5D$ $d < 2D$ $h > 0.25H$

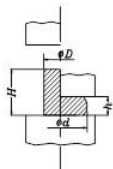
<i>Processo</i>	<i>Limite</i>
	$H < 2.5D$ $d < 2D$ $h > 0.25H$

Figura 5 - Limitações de deformação para os processos de forjamento a frio [3].

$$H < 2,5 \times D \quad (15)$$

$$H < 2,5 \times 44,45$$

$$H < 111,25$$

Onde:

H = comprimento do tarugo.

Para o presente trabalho utilizou-se: $H = 1,5 \times D$.

$$H = 1,5 \times 44,45$$

$$H = 66,7\text{mm}$$

$$d < 2 \times D \quad (16)$$

$$d < 2 \times 44,45$$

$$d < 88,9\text{mm}$$

Onde:

d = diâmetro máximo resultante após o ensaio de compressão.

$$h > 0,25 \times H \quad (17)$$

$$h > 0,25 \times 66,7$$

$$h > 16,7\text{mm}$$

Onde:

h = espessura mínima resultante após o ensaio de compressão.

$$H = 66,7 \text{ mm (altura do tarugo);}$$

$$D = 44,45 \text{ mm (bitola do tarugo);}$$

$$d < 88,9 \text{ mm (diâmetro máximo após ensaio de compressão);}$$

$$h > 16,7 \text{ (altura mínima após ensaio de compressão).}$$

Conforme cálculos realizados, as amostras foram fornecidas com diâmetro de 44,45 mm e comprimento de 66,7 mm.

Com o desenho do componente forjado, pode-se definir o processo de fabricação através da simulação numérica utilizando o programa de computador *Eesy-2-form*.

O processo de conformação a frio foi definido em uma etapa, isso foi possível devido aos critérios de escolha do material, limitações de deformação e dimensionamento do punção (geometria interna) e os resultados da simulação, conforme a sequência ilustrada nas Figura 6, que mostram que as linhas de fluxo do material se apresentam de forma uniforme, não ocorrendo possíveis defeitos como dobras.

O ângulo projetado na face do punção possibilita uma ótima concentricidade entre o diâmetro interno e externo do componente forjado, conforme especificação do referencial teórico que deve ser entre 6° a 15°.

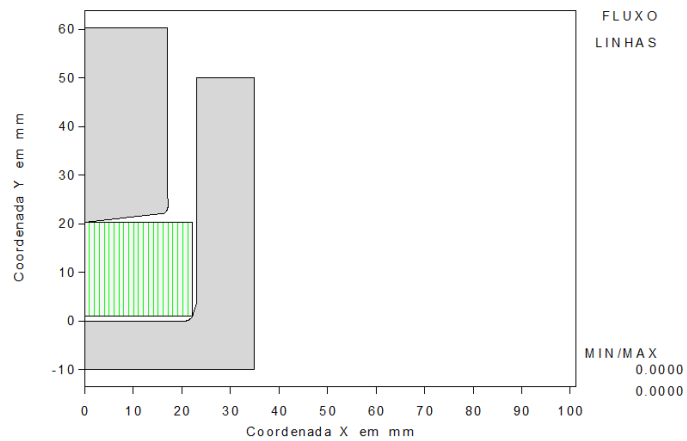


Figura 6 – Processo de forjamento, punção posicionado no início da operação.

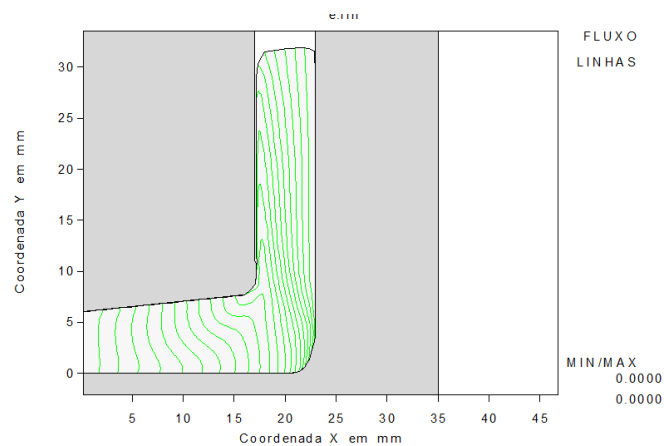


Figura 7 – Sequência processo de forjamento.

A matriz foi projetada com um ângulo e raio no fundo, de forma a guiar o tarugo para eliminar um possível defeito de descentragem.

Para especificação da força aplicada no processo de forjamento é necessário primeiro calcular a deformação do material. Para escolha da equação para o cálculo da deformação foi necessário analisar a parede da peça:

- Análise da parede da peça:

Peças com paredes finas são consideradas quando:

$$\frac{46}{6} \geq 10 \quad (3)$$

$$\frac{46}{6} = 7,66 \text{ logo, não tem paredes finas.}$$

- A equação para o cálculo da deformação para peças que não possuem parede fina é:

$$\varphi = \ln. \frac{19}{6} \quad (1)$$

$$\varphi = 1,152$$

- Para o cálculo da força que será realizada no processo de conformação utilizou-se a equação:

$k_{fm} = 295 \text{ N/mm}^2$ aço ABNT 1020 no seu estado de recozimento.

$$F = \frac{\frac{34,3^2 \cdot \pi}{4} \cdot 295 \cdot 1,152}{0,7} \quad (4)$$

$$F = 448,6 \text{ kN}$$

O volume do material empregado no processo atual é de

$$V_t = 58798 \text{ mm}^3$$

Sendo sua massa de

$$m = 462 \text{ g}$$

As etapas do processo de usinagem são:

1° Operação – A usinagem do primeiro lado (OP 1) e a sequência: Faceamento; Desbaste/Acabamento externo; Canal; Furação; Desbaste/Acabamento interno.

3° Operação - A usinagem do segundo lado (OP 2) e a sequência: Faceamento; Desbaste externo; Acabamento externo.

Observando-se a Tabela 3, é possível verificar os números de peças por hora, produzido no processo atual.

Tabela 3 - Capacidade produtiva processo atual.

OP	OPERAÇÃO	PEÇAS/h
1	USINAGEM 1° LADO OP 1	51
2	USINAGEM 2° LADO OP 2	65

A proposta para melhoria é substituir o processo de usinagem do pistão de freio pelo processo de forjamento a frio.

Etapas do processo conformação

1ª Operação - Lubrificação (película de sabão combinado com revestimento de fosfato de zinco);

2ª Operação – O forjamento é executado.

3ª Operação – A usinagem do primeiro lado (OP 1) e a sequência: Faceamento; Desbaste / Acabamento externo; Usinagem canal;

4ª Operação – A usinagem do segundo lado (OP 2) e a sequência: Acabamento externo.

O forjado deve atender as especificações de desenho visando o processo posterior e especificações do produto final. Para validação do processo, após análise do fluxograma e desenhos foi programada a produção dos primeiro protótipos.

Definiu-se que seriam fabricadas dez peças, sendo realizados pequenos ajustes nos dimensional e passando novamente pelo processo de polimento.

4 RESULTADOS

As peças forjadas foram produzidas dentro da especificação de projeto.

O processo de usinagem seguiu a sequência de operações, eliminando operações subsequentes e acabou por otimizar o tempo de usinagem. A melhoria no processo é significativa. Observando a Tabela 4 é possível verificar os números de peças/hora produzidas no processo proposto.

Tabela 4 – Capacidade produtiva processo proposto.

OP	OPERAÇÃO	PEÇAS/h
1	USINAGEM 1º LADO OP 1	95
2	USINAGEM 2º LADO OP 2	180

A análise das matérias-primas utilizadas nos dois processos apresenta o quanto foi significativa a economia com o processo de forjamento, sendo que a redução do material chega a 50% do peso da matéria-prima em relação ao processo atual:

- Material utilizado no processo atual – tarugo SAE 1045;
 - ✓ Dimensional - Ø 47,63 mm;

- ✓ Comprimento – 33 mm;
- ✓ Peso – 0,462 kg;
- Material utilizado no processo proposto – tarugo SAE 1020:
 - ✓ Dimensional - Ø 44,45 mm;
 - ✓ Comprimento – 19,3 mm;
 - ✓ Peso – 0,236 kg.

A redução de material no processo é significativa, observando a Tabela 5 é possível fazer o comparativo entre os processos atual e proposto.

Tabela 5 – Comparativo entre o tarugo do processo atual e proposto.

PROCESSO	DIÂMETRO (mm)	COMPRIMENTO (mm)	PESO (g)
Atual	47,63	33	462
Proposto	44,45	19,3	236

O comparativo entre o processo de usinagem atual e proposto demonstra a otimização do processo, eliminando operações que não forem mais necessárias com a matéria-prima conformada a frio. Os processos de furação e desbaste/acabamento interno na usinagem do primeiro lado, não foram mais necessários, assim como os processos de faceamento e desbaste externo na usinagem do segundo lado.

A Tabela 6 apresenta os dados de melhoria no processo de manufatura do componente pistão de freio. Nela observa-se a visível a otimização do processo proposto com relação ao processo atual, onde as peças produzidas por hora tem um aumento significativo.

Tabela 6 – Estudo do ganho percentual no processo de manufatura.

DESCRIÇÃO	PROCESSO ATUAL	PROCESSO PROPOSTO	GANHO %
MATÉRIA PRIMA (g)	0,462	0,236	50
FORJAMENTO	0	1	100%
USINAGEM 1ª OPERÇÃO (PEÇA/h)	51	95	186
USINAGEM 2ª OPERÇÃO (PEÇA/h)	65	180	277

5 CONCLUSÃO

O objetivo geral deste trabalho foi reduzir o custo de manufatura de um componente pistão de freio, otimizando o processo de usinagem atualmente empregado, reduzindo a geometria da peça e consequentemente a matéria-prima através do processo de forjamento a frio para uma forma mais próxima possível do produto final.

O material ABNT 1020, escolhido para o processo de forjamento a frio, atendeu todas as especificações do processo.

A utilização do simulador para forjamento a frio otimiza a viabilidade do processo reduzindo o tempo de projeto do componente e o ferramental necessário para o processo, sendo possível realizar uma avaliação virtual, consequentemente aumentando a chance de acerto nos primeiros testes.

O forjamento em uma etapa foi possível seguindo os critérios e limites do processo e análise do simulador para forjamento.

A alteração no processo foi significativa, sendo possível reduzir operações subsequentes na usinagem do componente que possibilitou um aumento na capacidade de produção nas máquinas de usinagem mesmo o componente passando pelo processo de forjamento a frio.

Obteve-se um aumento na produção da primeira operação em 186% e, na segunda operação, de 277%, reduzindo perdas de matéria-prima em 50%, descarte de cavacos no processo de usinagem além de ganho na qualidade do material.

6 REFERÊNCIAS

1. SCHAEFFER, L.. **Forjamento:** introdução ao processo. 2ª edição, Editora Imprensa Livre, Porto Alegre, 2006.
2. MARTINS, P.; RODRIGUES, J. **Tecnologia Mecânica:** Tecnologia da Deformação Plástica. Volume II, 2ª edição, Editora Escolar, 2010.
3. NATIONAL MACHINERY. **Tool design and part shape development for multi-die cold forming.** Tool Seminar, EUA, 1986.
4. BILLIGMANN, J.; FELDMANN, H. D.. **Estampado y Prensado à Máquina.** 2ª edição, Editora Reverté, Espanha, 1979.
5. BUTTON, S. T.. **Planejamento do processo e projeto de ferramentas para o forjamento a frio.** Campinas: UNICAMP, 1999. Departamento de Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.
6. VILLAS BÔAS, D. **Estudo do processo de forjamento a frio de peças automotivas.** Campinas: UNICAMP, 1999. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.