

## ESTIMATIVA DA PRÉ-FORMA PARA FORJAMENTO<sup>1</sup>

Fabiano da Silva Brites<sup>2</sup>  
Itanara da Silva Barbosa<sup>3</sup>

### Resumo

A economia mundial exige que as empresas dos mais diversos ramos de atuação, inclusive a indústria de forjamento, desenvolvam produtos de elevada qualidade com custo baixo e/ou pelo menos condizente à realidade econômica de seus mercados consumidores. Baseado neste panorama as forjarias, sejam elas pequenas, médias ou de grande porte procuram desenvolver metodologias e técnicas que elevem ainda mais sua produtividade, melhorando a qualidade de seus produtos, e reduzindo o desperdício de material, *set-up* de operação, mão-de-obra, etc. Nesse sentido, um dos pontos chave para evitar o desperdício da matéria-prima, aplicada aos produtos forjados, é o cálculo da pré-forma de forjamento. O uso da pré-forma é indicado quando a geometria da peça possui elevada complexidade e a obtenção desta não se dá adequadamente numa única etapa de operação. Assim, um dos métodos mais utilizados na estimativa desta pré-forma é o Método das Áreas Projetadas ou também chamado de Método de Drabing. Assim, pretende-se com este artigo contextualizar esta técnica e apresentar as vantagens e desvantagens do uso desta metodologia para produtos forjados, principalmente, quanto à economia de material.

**Palavras-chave:** Forjamento; Pré-forma; metodologia, Drabing.

### ESTIMATES OF FORGING PREFORM

### Abstract

The global economy requires that companies in various areas of activity, including the forging industry, develop high-quality products with low cost and/or at least conducive to the economic reality of its consumer markets. Based on this scenario the forges, whether small, medium or large seeking to develop methodologies and techniques that will increase your productivity even more, improving the quality of their products, and reducing material waste, set-up operation, labor force, etc.. In this sense, one of the key points to avoid wastage of raw material, applied for forged products, is the calculation of the forging preform. The use of the preform is indicated when the part geometry has high complexity and obtain this does not occur adequately in a single stage operation. Thus, one of the most used methods in estimating this preform is the method of Projected Areas or also called Drabing Method. Thus, it is intended with this article contextualize this technique and present the advantages and disadvantages of using this methodology for forged products, especially as the economy of material.

**Keywords:** Forging; Preform; Methodology; Drabing.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro mecânico. Professor. Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). São Leopoldo, RS, Brasil.*

<sup>3</sup> *Administradora de Empresas. Graduanda em Engenharia Civil. Unisinos. São Leopoldo, RS, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva de componentes forjados é composta por diversos grupos de forjarias (pequenas, médias ou de grande porte), algumas mais especializadas do que outras, e que juntas empregam milhares de pessoas pelo mundo. Logo, é possível destacar a importância da indústria de forjados para a economia e, porque não dizer, para a sociedade de qualquer país, inclusive o Brasil.

Geier<sup>(1)</sup> destaca que o projeto de fabricação de um produto forjado não é uma tarefa simples, já que requer testes e ajustes até se atingir uma condição satisfatória de produção. Para Santos et al.<sup>(2)</sup>, apud Mendonça,<sup>(3)</sup> e Pacheco,<sup>(4)</sup> o projeto de forjamento deve contemplar as seguintes etapas: a) desenho da peça a ser forjada (análise crítica); b) escolha da geratriz (matéria-prima, formato e dimensões); c) desenvolvimento de pré-formas (se for necessário); d) projeto e fabricação das matrizes (material, tipo de fixação, número e disposição das cavidades, número de etapas, etc.); e) escolha do equipamento; f) acabamento (rebarbação e tratamento térmico). Fases estas que devem estar embasadas pelo conhecimento técnico e científico, bem como, pelos resultados de simulações através da aplicação de softwares dedicados.

Porém, e mesmo com todo o esforço para o desenvolvimento das técnicas de simulação, é comum encontrar em forjarias de pequeno a médio porte, ou até mesmo aquelas de grande porte, a adoção das técnicas de “tentativa e erro” ou “empirismo” visando o projeto e fabricação de componentes forjados, conforme destaca Peres.<sup>(5)</sup> Situação esta muito comum, principalmente, na etapa de desenvolvimento de pré-formas de forjamento.

### 1.1 Pré-formas de Forjados

A utilização de pré-formas para os produtos forjados é indicada quando a geometria destes possui elevada complexidade, e sua obtenção não se dá adequadamente numa única etapa de operação. Onde, em muitos casos a forma da peça é tão complexa que mesmo adotando geratrizes (matérias-primas) semelhantes ocorrem defeitos que comprometem a qualidade do produto final. Sendo assim, para suavizar a deformação do material entre as matrizes e garantir sua qualidade devem ser previstas as pré-formas.

A pré-forma pode ser definida como aquela geometria e/ou volume de material que antecede a etapa final de forjamento. Para um processo com apenas uma etapa a própria geratriz pode ser considerada a pré-forma deste processo. Brito et al.,<sup>(6)</sup> e Flach,<sup>(7)</sup> destacam que as pré-formas podem ser fabricadas por processos como: recalçamento, estiramento, forjamento em rolo, dobramento e/ou junto à matriz principal, bastando para isso usinar cavidades que antecedem à cavidade final, e fazer seu adequado dimensionamento. O que pode ser considerado, em alguns casos, como uma desvantagem com relação ao tempo de processo, já que se torna em mais uma etapa a ser realizada, além daquelas já previstas à peça.

O dimensionamento correto da pré-forma proporciona um fluxo uniforme de material na matriz, evitando choques entre o material que está sendo deformado e a matriz, possibilitando ainda maior vida útil da ferramenta e melhor acabamento superficial do forjado. Outro fator que favorece a utilização de pré-formas é minimizar a força necessária à deformação, possibilitando a utilização de maquinário com menor capacidade. Assim, um dos métodos mais indicados para seu

dimensionamento é o Método das Áreas Projetadas ou também chamado de Método de Drabing.

## 1.2 Método das Áreas Projetadas ou de Drabing

Este método que é detalhado no Metals Handbook,<sup>(8)</sup> e citado por Flach,<sup>(7)</sup> tem seus procedimentos descritos resumidamente a seguir e ilustrados na Figura 1:

- 1º) Desenhar a peça em duas vistas: sendo uma o plano da rebarba e a outra perpendicular a este plano, em escala reduzida ou tamanho natural;
- 2º) Estimar a rebarba (largura/espessura) e desenhá-la junto às vistas;
- 3º) Traçar planos perpendiculares ao plano da rebarba, interseccionando a peça, pelo menos, em suas discontinuidades (quanto mais planos melhor);
- 4º) Calcular a área da seção correspondente à intersecção de cada plano com as vistas da peça, lançando num gráfico de valores das áreas;
- 5º) A partir dos valores das áreas, e com a forma geométrica básica escolhida, deve-se definir a grandeza de referência, conforme tabela 1, lançando os valores num gráfico da pré-forma;
- 6º) A partir do gráfico da pré-forma, dimensiona-se a geratriz pelo maior valor obtido da grandeza de referência. Logicamente, deve-se considerar a disponibilidade comercial dessa grandeza, ou seja, sua bitola. Posteriormente, a pré-forma pode ser dimensionada através do gráfico da pré-forma, porém, neste caso, devem ser previstas operações que antecedem o forjamento propriamente dito, ou ainda, a confecção de matrizes progressivas. Vale destacar que a pré-forma ainda deve ter seu contorno suavizado, eliminando vértices acentuados.

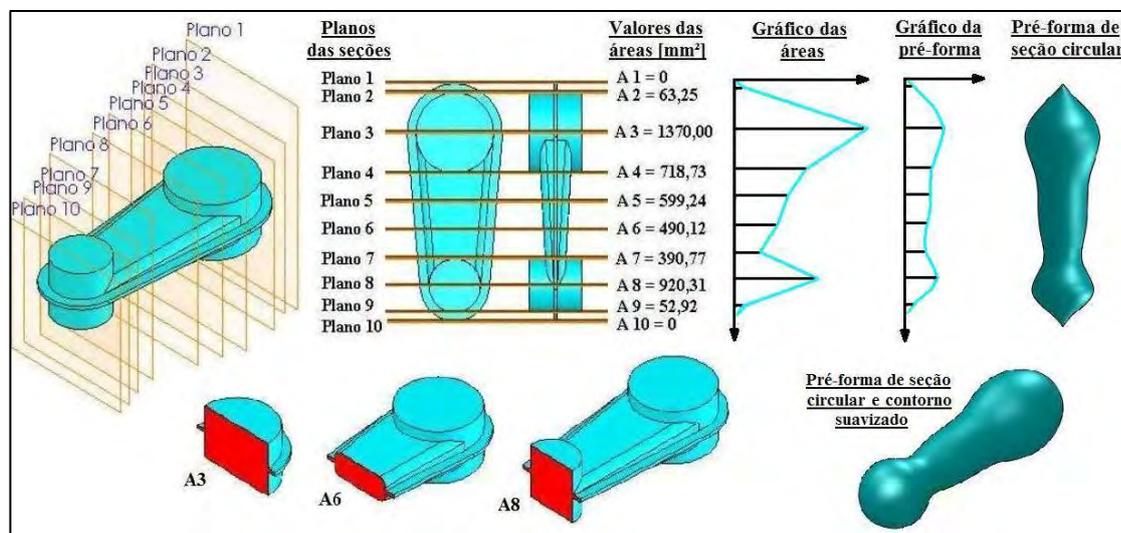


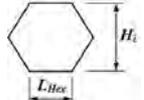
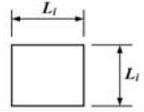
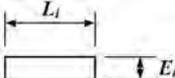
Figura 1. Ilustração do método das áreas projetadas ou de *drabing*.

A aplicação de softwares de desenho em 3D auxilia no desenvolvimento deste método, já que os procedimentos 1 a 4 são facilmente obtidos, bem como, do modelamento das geratrizes e pré-formas para posterior aplicação em simulações computacionais do processo real.

Brito et al.,<sup>(6)</sup> ressaltam que no forjamento em matriz é frequente a utilização de pré-formas, as quais têm impacto sobre a viabilidade técnica e/ou econômica do processo, já que o uso otimizado destas gera uma redução no custo da produção, em virtude da matéria-prima ser responsável por 30 a 50% do custo total unitário dos

forjados. Logo, toda e qualquer redução na quantidade de material empregado no forjamento se reflete em economia para as empresas, conforme exemplificado na Figura 2.

**Tabela 1.** Grandezas de referência conforme a geometria básica<sup>(9)</sup>

| Geometrias básicas   | Área da seção                   | Grandezas de referência   |
|--|---------------------------------|---|
| <p>Circular</p>                 | $A_{seção} = \pi(R_i)^2$        | $R_i = \sqrt{\frac{A_{seção}}{\pi}}$  |
| <p>Poligonal hexaédrica</p>     | $A_{seção} = 2,5981(L_{Hex})^2$ | $L_{Hex} = \sqrt{\frac{A_{seção}}{2,5981}} \therefore H_i = \frac{2}{3} \left( \frac{A_{seção}}{L_{Hex}} \right)$ |
| <p>Quadrada</p>                 | $A_{seção} = (L_i)^2$           | $L_i = \sqrt{A_{seção}}$  |
| <p>Retangular ou em chapa</p>  | $A_{seção} = E_i(L_i)$          | $E_i = \sqrt{\frac{A_{seção}}{3}} \therefore L_i = \frac{A_{seção}}{E_i}$   |

(R<sub>i</sub> = Raio da seção; L<sub>i</sub> = Largura da seção; L<sub>Hex</sub> = Lado do hexágono; H<sub>i</sub> = Altura da seção; E<sub>i</sub> = Espessura da seção)

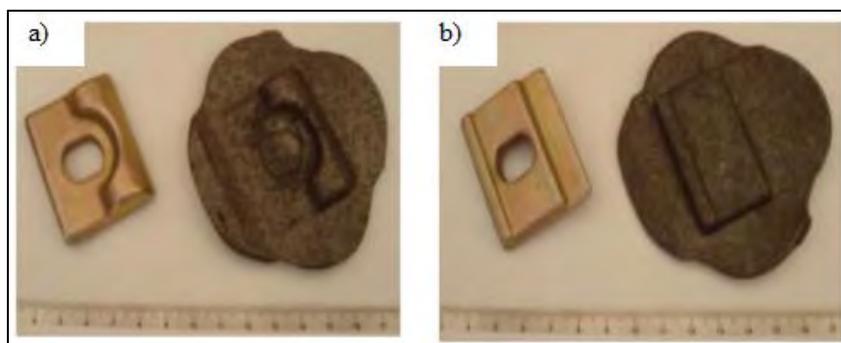


**Figura 2.** Economia de material que pode ser obtida com o uso de pré-formas.<sup>(6)</sup>

Flach,<sup>(7)</sup> destaca em seu trabalho que devido à variação de forma e volume que muitos produtos forjados apresentam torna-se difícil o dimensionamento da geratriz inicial e das pré-formas, resultando num percentual de rebarba elevado, e comprometendo assim os custos da produção e o poder de competitividade das empresas. Nesse sentido, na sequência será apresentado o dimensionamento de uma pré-forma para uma peça forjada aplicando o Método das Áreas Projetadas ou de Drabing.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O produto escolhido, para o desenvolvimento da pré-forma, consiste num componente utilizado em guias de elevadores denominado “grampo de 3/8” (ver figura 3), que é forjado a quente a 1100°C numa prensa mecânica de fricção, cuja lote de produção mensal é entorno de 4.500 peças. O material utilizado neste grampo é o aço ABNT/SAE/AISI 1020, a partir de uma geratriz de diâmetro 22,22mm e altura de 52mm, com posterior recalque até 43mm. As principais dimensões da peça escolhida são: 38mm de largura, 48mm de comprimento e 15mm de altura, porém vale destacar que a totalidade de suas dimensões não serão citadas aqui devido a este produto ser fabricado por uma empresa privada. Além disso, verifica-se ainda na figura 3, que esse componente apresenta, durante sua fabricação, um excesso de rebarba junto às arestas laterais e um comprometimento dessa junto a seus vértices (cantos), o que torna plenamente indicado o uso e desenvolvimento de uma pré-forma.



**Figura 3.** Grampo de 3/8” acabado e com rebarba. a) Vista superior. b) Vista inferior.

Essa não uniformidade na largura da rebarba, que caracteriza a não homogeneidade do fluxo do material se deve, em geral, pela adoção de uma geratriz e/ou pré-forma inadequadas, além de outros possíveis parâmetros influentes, como: complexidade de forma, velocidade de forjamento, posicionamento inadequado do material junto à cavidade da matriz, etc.

Logo, e devido à elevada produção desse componente, toda e qualquer otimização no consumo de matéria-prima, principalmente com relação ao dimensionamento correto da geratriz e/ou pré-forma, significaria uma economia para a forjaria. Favorecendo a redução dos custos de produção e, conseqüentemente, o aumento da lucratividade das empresas.

Nesse sentido, e visando agilizar o método de cálculo da pré-forma, a peça escolhida foi modelada em 3D, contendo uma rebarba de 1mm de espessura e com 8mm de largura, conforme definido por Grüning<sup>(11)</sup> para um processo de alargamento, e considerando uma área projetada da peça no plano de partição igual a 1.824mm<sup>2</sup>.

Para isso foi empregado o software SolidWorks, que consiste num programa de CAD utilizado em projetos industriais para o detalhamento de peças, conforme demonstrado na Figura 4.

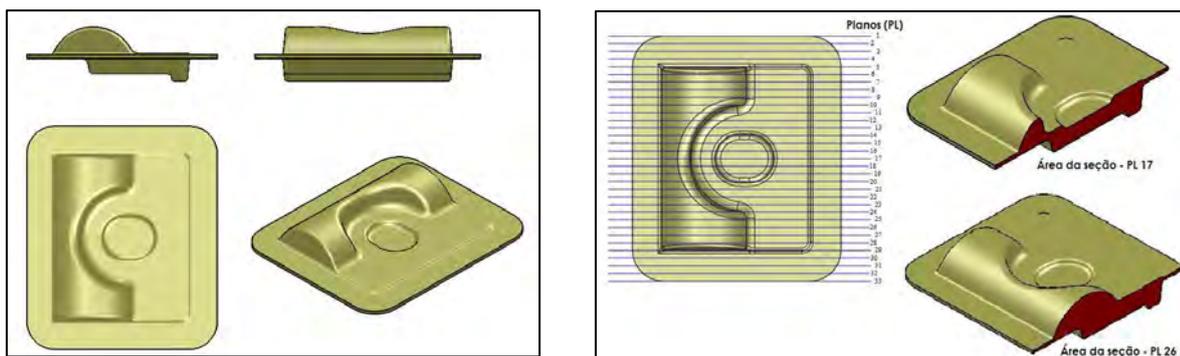


Figura 4. Grampo de 3/8" modelado em 3D com rebarba.

A partir da peça modelada em 3D com rebarba, foram definidos 33 planos defasados 2mm cada um, visando o cálculo da área das seções interseccionadas pelos planos, conforme também apresentado na figura 4. Devido à complexidade de forma da peça, esse cálculo se torna de difícil solução manual, sendo por isso novamente utilizado os recursos do SolidWorks.

Então, e segundo o Método das Áreas Projetadas ou de Drabing, foi desenvolvida uma pré-forma de seção circular a partir dos valores obtidos das áreas (Figura 5), sendo esta também modelada no SolidWorks através do comando *loft* – que une todas as seções defasadas para a formação de um sólido com contorno suavizado. O comprimento total da pré-forma ficou em 48mm, diâmetro máximo igual a 25,04mm e mínimo igual a 16,73mm. Esta pré-forma teve seu processo de forjamento simulado através do software Simufact.Forming visando verificar o aspecto de sua rebarba, principalmente quanto à sua uniformidade ao final do processo simulado de forjamento.

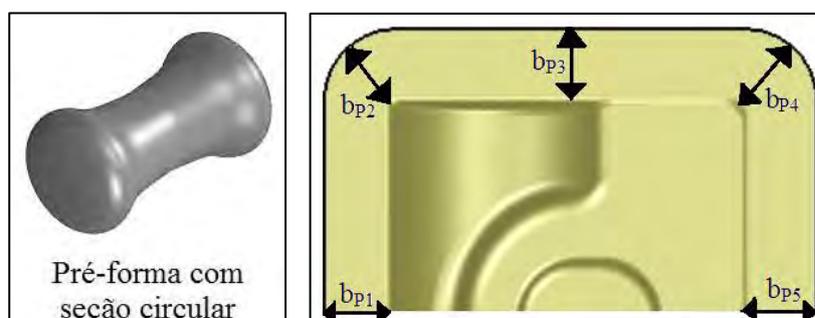


Figura 5. Pré-forma de seção circular desenvolvida e os pontos de verificação da largura da rebarba.

Ao final da simulação de forjamento via software foi obtida uma imagem da pré-forma deformada (peça ao final do processo com a rebarba) visando avaliar a largura da rebarba com o auxílio de um software de análise de imagens chamado ImageTool – desenvolvido pela *University of Texas Health Science Center de San Antonio/USA*. E, devido à peça escolhida para as análises ter uma simetria planar, foi verificada a largura da rebarba em cinco pontos ( $b_{p1}$ ,  $b_{p2}$ ,  $b_{p3}$ ,  $b_{p4}$  e  $b_{p5}$ ) ao longo da periferia da peça, partindo do centro desta para cima conforme é apresentado na Figura 5. Sendo então realizada a medição cinco vezes nestes pontos de verificação para a obtenção das suas médias, bem como, dos desvios padrões em cada ponto.

### 3 RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos com relação a largura da rebarba nos pontos de verificação escolhidos. Vale destacar que estes valores foram resultantes dos aspectos finais de simulação via software, bem como, dos parâmetros desta. Os quais foram escolhidos e visam retratar fielmente aqueles relativos e utilizados junto ao processo real de forjamento.

**Tabela 2.** Largura da rebarba obtida através de simulações e considerando a pré-forma

| Ponto de verificação | $b_{P1}$ | $b_{P2}$ | $b_{P3}$ | $b_{P4}$ | $b_{P5}$ |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Valores obtidos [mm] | 6,33     | 6,37     | 9,75     | 7,17     | 7,73     |
|                      | 6,71     | 6,46     | 9,62     | 6,90     | 7,47     |
|                      | 6,33     | 6,57     | 9,75     | 6,90     | 7,35     |
|                      | 6,46     | 6,47     | 9,63     | 7,02     | 7,48     |
|                      | 6,46     | 6,46     | 9,88     | 6,64     | 7,35     |
| Largura média [mm]   | 6,46     | 6,47     | 9,73     | 6,93     | 7,48     |
| Desvio padrão [mm]   | 0,16     | 0,07     | 0,11     | 0,19     | 0,16     |

Analisando a Tabela 2 nota-se, que a pré-forma de seção circular, quando simulada via Simufact.Forming, apresentou a maior largura média de rebarba junto ao ponto  $b_{P3}$  com 9,73mm, seguido dos pontos  $b_{P5}$ ,  $b_{P4}$ ,  $b_{P2}$ ,  $b_{P1}$  com 7,48mm, 6,93mm, 6,47mm e 6,46mm, respectivamente. Sendo verificada, também, uma certa uniformidade junto aos cantos (vértices) do grampo de 3/8" em relação às demais arestas, o que pode indicar que esta pré-forma, tende a garantir um melhor preenchimento da cavidade da matriz. Além disso e com relação aos desvios padrão apresentados na Tabela 2, o maior valor desta grandeza ocorreu junto ao ponto  $b_{P4}$  com 0,19mm, seguido dos pontos  $b_{P1}$  e  $b_{P5}$  com 0,16mm,  $b_{P3}$  com 0,11mm e pelo ponto  $b_{P2}$  com 0,07mm.

### 4 DISCUSSÃO

Garcia et al.,<sup>(12)</sup> destacam que o comportamento mecânico de qualquer material utilizado na engenharia é função de sua estrutura interna e de sua aplicação no projeto. Logo, o comportamento de um material durante o forjamento, seja a geratriz ou sua pré-forma também é resultado da maneira como estas são aplicadas ao projeto. Principalmente com relação ao seu dimensionamento e uso correto.

Bresciani Filho et al.,<sup>(13)</sup> e Norton,<sup>(14)</sup> afirmam que a utilização do forjamento para a fabricação de peças se deve à melhoria das propriedades mecânicas obtidas pelo material em comparação a outros processos, como: usinagem, fundição, etc. Logo, o forjamento quando realizado de maneira correta, e visando eliminar e reduzir qualquer desperdício, permitiria significativos índices de lucratividade, qualidade e competitividade junto às empresas.

Além disso, e conforme Lino et al.,<sup>(15)</sup> as tecnologias de fabricação assistida por computador: CAD (*Computer Aided Design*) e CAM (*Computer Aided Manufacturing*), além da prototipagem rápida e da rápida fabricação de ferramentas possibilitam às empresas diminuir o tempo de lançamento (*time-to-market*) de um dado produto, tornando-as mais competitivas junto ao mercado consumidor. Assim, o uso de metodologias técnico-científicas alicerçadas com o uso de softwares de simulação aumenta a confiabilidade dos processos de conformação, principalmente, o forjamento.

Geier<sup>(1)</sup> e Santos et al.,<sup>(2)</sup> destacam que os softwares de simulação são grandes ferramentas para auxiliar no desenvolvimento dos produtos. Sendo que, para o forjamento, estes são utilizados desde a seleção da máquina (a partir da força necessária), previsão de dobras e outros defeitos, análise do fluxo de material, previsão das tensões atuantes, definição das etapas e possíveis pré-formas ao processo, redução no tempo de processo, etc. Portanto, ao fazer uso do Método das Áreas Projetadas ou de Drabing em conjunto com softwares de simulação visando a estimativa no dimensionamento da pré-forma de forjamento se torna plenamente favorável e recomendável.

## 5 CONCLUSÃO

Durante a aplicação da metodologia para o desenvolvimento de pré-forma ficou evidente o quão simples é a utilização do Método das Áreas Projetadas ou de Drabing, que permite um controle mais apurado da homogeneidade da largura da rebarba, e da matéria-prima empregada na fabricação dos forjados. Vale destacar que o controle e a otimização do consumo de matéria-prima, bem como, seu custo representam significativos diferenciais para as empresas de forjados, agregando qualidade e versatilidade e, conseqüente, lucratividade a este ramo industrial.

O Método das Áreas Projetadas ou de Drabing possui um embasamento teórico mais aprofundado do que àquelas técnicas de “tentativa e erro” e “empirismo” ainda muito empregadas nas forjarias por todo o Brasil. Além disso, e a partir das simulações numérico-computacionais verificou-se uma largura de rebarba mais homogênea através do uso da pré-forma de seção circular, porém esta propriedade, quando simulada ou obtida por processo real, é resultante não apenas da geometria da pré-forma mas também das condições de simulação e forjamento, sendo os principais parâmetros de influência: o atrito e a lubrificação, dimensões e acabamento das cavidades da matriz, velocidade e tipo de maquinário (prensas), etc.

Sendo assim, sugere-se que, além das condições do processo de forjamento em si, a geometria da pré-forma influencia na geometria final da peça forjada. Principalmente, quanto ao movimento e ao preenchimento do material no interior da cavidade da matriz, além da homogeneidade da rebarba resultante, distribuição de tensões, desgaste das matrizes, entre outros parâmetros já citados neste trabalho.

## Agradecimentos

Os autores agradecem aos colegas, amigos e professores da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), por todo apoio e auxílio.

## REFERÊNCIAS

- 1 GEIER, M. Considerações sobre o atrito para processos de forjamento a frio através do ensaio de compressão do anel. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais, Porto Alegre, 2007, 82 p.
- 2 SANTOS, M. R.; et al. Simulações física e numérica de rotas alternativas para a fabricação de parafuso de rosca métrica. Artigo apresentado no 17<sup>o</sup> CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2006, 12 p.

- 3 MENDONÇA, A. A. Desenvolvimento de fio-máquina de aço ultra baixo carbono para estampagem a frio. Dissertação de mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas – Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 1995, MG.
- 4 PACHECO, J. L. Apostila da disciplina de Fabricação por Deformação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica (PROMEC), 2007, 51 p.
- 5 PERES, G. C. Comparação de métodos da análise de processo de forjamento. Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Mecânica, 2000/2001, Porto Alegre: Escola de Engenharia da UFRGS, 2002, 23 p.
- 6 BRITO, A. M. G.; et al. Processos de obtenção de pré-formas na produção de forjados em matriz. Artigo publicado na Revista Ferramental, jan.-fev., 2009, p. 15-21.
- 7 FLACH, A. Otimização de pré-forma para forjamento de chave combinada. Trabalho de diplomação do curso de Engenharia Mecânica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), 2007, 49 p.
- 8 METALS HANDBOOK. Forging and casting. [s.l], v.5, 1988, 7a.
- 9 BRITES, F. S. Desenvolvimento integrado de produto para forjamento. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Porto Alegre, 2009, 107 p.
- 10 ERXLEBEN, S.; SUTTAN, F. Preforming processes in the production of forgings. XI Conferência Internacional de Forjamento, Bento Gonçalves, 2007.
- 11 GRÜNING, K. Técnica da conformação. São Paulo, Polígono, 1973, 251 p.
- 12 GARCIA, A.; et al. Ensaios dos materiais. Rio de Janeiro, LCT, 2000, 247 p.
- 13 BRESCIANI FILHO, E.; et al. Conformação plástica dos metais. 5 ed., Campinas, SP, Unicamp, 1997, 385 p.
- 14 NORTON, R. L. Projeto de máquinas - Uma abordagem integrada. São Paulo, Bookman, 2004, 931 p.
- 15 LINO, F. J.; et al. Utilização da prototipagem rápida no apoio ao desenvolvimento de produtos forjados e fundidos. Artigo publicado nos anais do XXVI Senafor (IX Conferência Nacional de Conformação de Chapas), 2006, 12 p.