

LUCAS BOEIRA MICHELS - lucasboeira@ifsc.edu.br
 DIEGO RODOLFO SIMÕES DE LIMA - diego.lima@luzerna.ifc.edu.br
 LÍRIO SCHAEFFER - schaefer@ufrgs.br
 VILSON GRUBER - vilson.gruber@ufsc.br



Uma visão geral sobre os equipamentos utilizados no processo de forjamento

O forjamento é uma técnica muito antiga de transformação mecânica. No início o processo era manual e as principais ferramentas eram o martelo de forja e a bigorna. Neste artigo são apresentados os equipamentos atuais para o processo de forjamento.

O processo de forjamento vem sendo empregado por diversas indústrias do mundo inteiro para produção de peças em diversas áreas. Esta técnica oferece vantagens sobre outros processos, pois não gera grandes desperdícios do material bruto e apresenta boas propriedades mecânicas. O objetivo desta técnica é alterar o formato de um determinado material bruto aplicando-se forças sobre ele. Na figura 1 é demonstrado esquematicamente um tipo de processo de forjamento. A situação ilustra que as matrizes entram em contato com a peça bruta até a forma final da peça. Neste exemplo, a matriz superior é de onde vem a força e o movimento para o trabalho de deformação do material. Este processo é conhecido no forjamento por recalque de matriz fechada.

No início da história do forjamento, o trabalho de deformação das peças era realizado manualmente pelos

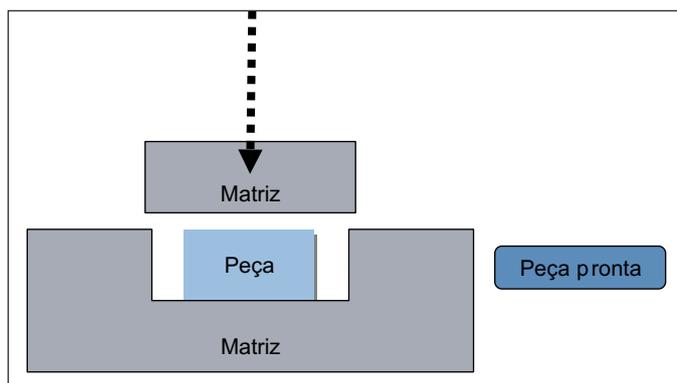


Figura 1 - Processo comum de forjamento

“ferreiros” conforme figura 2. Estes profissionais apoiavam a peça bruta aquecida sobre uma bigorna e martelavam-na gradativamente até que ela atingisse a forma desejada.

Nos últimos séculos, com a necessidade de peças com maior tamanho, melhor acabamento, maior repetibilidade, e em menor tempo, as grandes máquinas foram sendo incorporadas aos processos de forjamento. As operações de forjamento podem ser feitas de duas formas, basicamente: por martelamento (impacto) ou por pressão (prensagem gradual). O objetivo neste artigo é abordar alguns tipos de equipamento destinados ao processo de forjamento industrial.



Figura 2 - Ilustração de um ferreiro

FORJAMENTO POR PRESSÃO

Prensas Hidráulicas

As prensas hidráulicas podem atingir 50.000 toneladas ou mais [1]. Mostram-se mais eficientes para processos de recalque, dobramento e parcialmente de estiramento [2]. Apresentam versatilidade proporcionando usá-las em muitos processos de conformação. As vantagens são: precisão, curso variável com grande

deslocamento, força e velocidade controláveis. Entretanto, o custo é elevado, a manutenção é cara e demanda profissionais qualificados na área de hidráulica. Por serem lentas são equipamentos que podem oferecer limitações em processos de forjamento como o “a morno”, pois precisam ter tempos de contatos entre peça e matriz reduzidos para evitar excessiva transferência de calor [3].

Em uma prensa hidráulica (figura 4b), a força é realizada através da transformação da energia hidráulica (pressão do óleo) em energia mecânica. O elemento que realiza esta transformação é conhecido por cilindro hidráulico (atuador linear) de duplo efeito (figura 3), o qual precisa do deslocamento de óleo em sua cavidade para movimentar-se e realizar forças. É um elemento de simples composição e assemelha-se a uma seringa. É formado por: uma camisa, um êmbolo ligado a uma haste e as conexões das mangueiras (detalhes figura 3c). Quando o óleo entra no cilindro, o êmbolo é empurrado e por consequência a haste também.

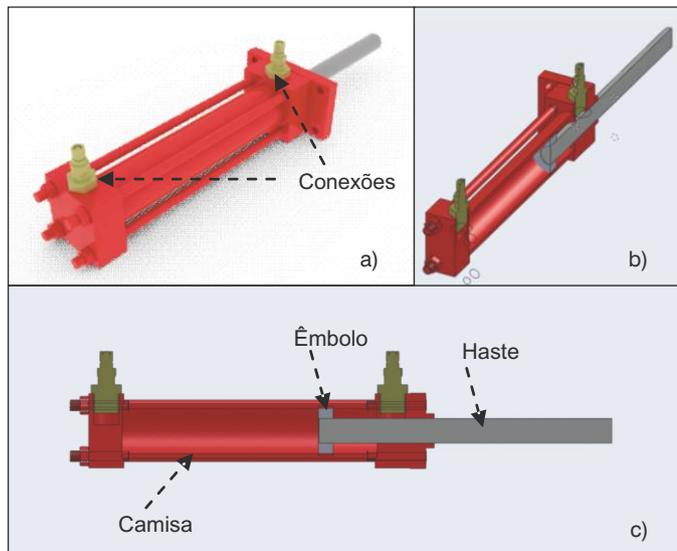


Figura 3 - a) Cilindro hidráulico; b) Cilindro em vista isométrica e em corte, c) Cilindro em corte

O funcionamento dos cilindros hidráulicos baseia-se no princípio da lei de Pascal¹ a qual define que “uma variação de pressão em qualquer ponto de um fluido em repouso em um recipiente transmite-se integralmente para todos os pontos do fluido” [4]. A equação 1, extraída da lei de Pascal, demonstra que a força de uma prensa usando um sistema hidráulico dependerá de dois fatores: da área do êmbolo do atuador linear utilizado e da pressão da bomba.

Equação 1

$$F = P \times A$$

Onde:

- F = Força do cilindro (N);
- P = pressão do óleo (Pa);
- A = Área do êmbolo (m²).

Essa relação indica que, para atingir forças maiores, o cilindro deve possuir êmbolos com áreas (A) maiores ou, também, que a pressão (P) da bomba seja maior. A pressão máxima do cilindro deve ser respeitada. Algumas prensas chegam a ter mais de um cilindro. Na prática é como se um cilindro tivesse o diâmetro do êmbolo aumentado. A figura 4a apresenta o circuito básico de uma prensa hidráulica.

Para armazenar picos de pressão, alguns circuitos utilizam acumuladores hidráulicos. Quando ocorre uma queda de pressão do sistema o acumulador automaticamente fornece uma pressão extra. Isso ajuda a reduzir o consumo energético também.

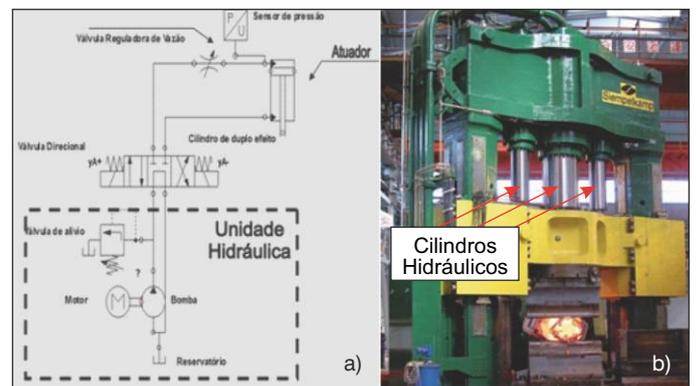


Figura 4 - a) Circuito hidráulico; b) Prensa de forjamento hidráulico (empresa Siempelkamp)

Prensas Excêntricas

As prensas excêntricas (figura 5) podem atingir até 12.000 toneladas. São compostas de um sistema mais simples que o das prensas hidráulicas. O princípio de funcionamento é baseado na transformação do movimento de rotação em movimento linear. Para funcionar, o sistema possui um eixo principal, que de um lado tem

¹Pascal: Blaise Pascal (nasceu em Clermont-Ferrand, 19 de junho de 1623 - faleceu em Paris, 19 de agosto de 1662). Foi físico, matemático, filósofo moralista e teólogo francês. Contribuiu decisivamente para a criação de dois novos ramos da matemática: a Geometria Projetiva e a Teoria das probabilidades. Em Física, estudou a mecânica dos fluidos, e esclareceu os conceitos de pressão e vácuo, ampliando o trabalho de Evangelista Torricelli. É ainda o autor de uma das primeiras calculadoras mecânicas, a Pascaline, e de estudos sobre o método científico. Pascal também esclareceu os princípios barométricos, da prensa hidráulica e da transmissibilidade de pressões. Estabeleceu o princípio de Pascal que diz: em um líquido em repouso ou equilíbrio, as variações de pressão transmitem-se igualmente e sem perdas para todos os pontos da massa líquida. É o princípio de funcionamento do macaco hidráulico. Na Mecânica é homenageado com a unidade de tensão mecânica (ou pressão) denominada de Pascal (1Pa = 1 N/m²; 10⁵ N/m² = 1 bar) [www.wikipedia.org].

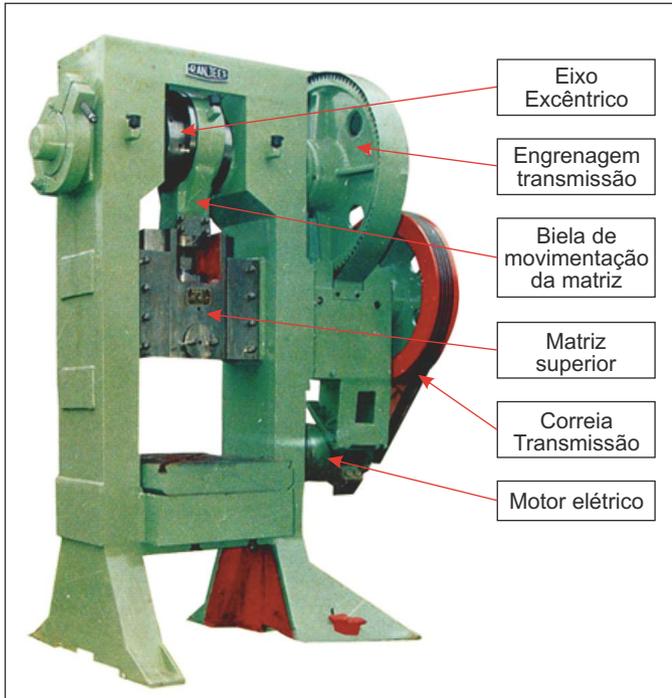


Figura 5 - Prensa excêntrica (empresa Ranjeet). Fonte: <http://www.ranjeetpowerpresses.com/>

um volante (engrenagens de transmissão) e em outro ponto está um excêntrico (figura 6). É um sistema similar ao de virabrequim/biela.

O lado do volante é onde fica o acionamento da prensa. Quem aciona o volante é um conjunto formado por motor elétrico, polia motora, correia, polia movida (detalhes figura 5). Por ter grande massa (inércia²) o volante contribui para manter o sistema em movimento contínuo, principalmente nos momentos de maior esforço do sistema. No eixo onde fica o excêntrico é que se transforma a rotação no movimento linear necessário ao processo de forjamento (detalhes figura 6).

A capacidade da prensa depende da potência e torque do motor. Entretanto, o resultado final de atuação

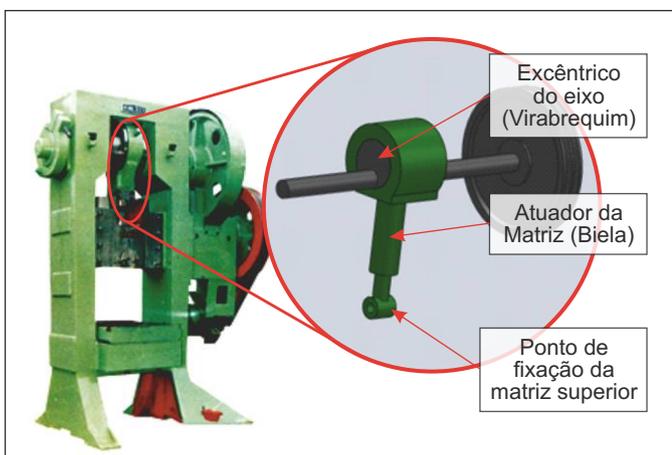


Figura 6 - Detalhes do eixo excêntrico

da prensa depende das relações dos diâmetros das engrenagens, polias e do excêntrico da prensa. A variação destes diâmetros influencia diretamente na força final do equipamento.

Normalmente estas prensas possuem ajuste no curso de atuação. O controle da velocidade do motor pode alterar a velocidade do trabalho da prensa e é realizado com inversores de frequência conectados ao motor. Outra característica desse tipo de prensa é o curso de trabalho cíclico, tornando o processo do forjamento repetitivo e contínuo.

Prensas de Fuso

Prensas de fuso possuem golpes de alta velocidade [5]. Apresentam boa produtividade e pouco ruído. São preferidas para forjamento à quente, estampagem e outros. Possuem vantagens sobre as prensas excêntricas devido à maior precisão. Ao contrário das prensas hidráulicas, o mecanismo é mais simples tanto na fabricação quanto na manutenção, já que possuem componentes simples e em menor quantidade. Podem ser automatizadas, através de inversores de frequência, proporcionando controle automático do motor, e por consequência aumentando a precisão e o controle da prensa. Além da precisão, a velocidade relativamente alta proporciona vantagem no forjamento, resultando em golpes precisos, rápidos e com menor tempo, levando a uma menor transferência de calor da peça para a matriz superior. Como consequência, a vida útil da matriz é aumentada.

São prensas que realizam o trabalho mecânico através do fuso. Estas prensas são diferenciadas conforme o acionamento, podendo ser das seguintes formas:

- Por discos de fricção;
- Por acoplamento direto de motor elétrico ou;
- Por engrenagens.

Quanto ao funcionamento do fuso podem ser classificadas em dois modelos:

²*Inércia*: é uma propriedade física da matéria (e segundo a Relatividade, também da energia). Considere um corpo não submetido à ação de forças ou submetido a um conjunto de forças de resultante nula; nesta condição esse corpo não sofre variação de velocidade. Isto significa que, se está parado, permanece parado, e se está em movimento, permanece em movimento em linha reta e a sua velocidade se mantém constante. Tal princípio, formulado pela primeira vez por Galileu e, posteriormente confirmado por Newton é conhecido como primeiro princípio da Dinâmica (1ª Lei de Newton) ou princípio da Inércia. Podemos interpretar seu enunciado da seguinte maneira: todos os corpos são "preguiçosos" e não desejam modificar seu estado de movimento: se estão em movimento, querem continuar em movimento; se estão parados, não desejam mover-se. Essa "preguiça" é chamada pelos físicos de Inércia e é característica de todos os corpos dotados de massa [www.wikipedia.org].

- Fuso fixo ou;
- Fuso móvel.

Esta última classificação está mais bem detalhada abaixo no tópico sobre a prensa de fuso por fricção.

Prensas de fuso por fricção

A figura 7 ilustra uma prensa acionada por fricção. Os discos, tanto os laterais (e) quanto o central (b) possuem um revestimento em couro. Os discos laterais (rodas de fricção) estão fixados em um eixo (g). Este eixo é acionado pela polia motora, normalmente conectado a um motor elétrico por correias. Não há mudança de sentido de giro do motor durante o processo. Quando um dos discos laterais está em contato com o disco central (volante), o fuso é rotacionado gerando o deslocamento vertical do quadro. Para mudar o sentido de giro do fuso deve-se deslocar axialmente os discos laterais para um ou para outro lado, por meio de uma alavanca seletora (f). Os dois discos nunca encostam ao mesmo tempo no disco central.

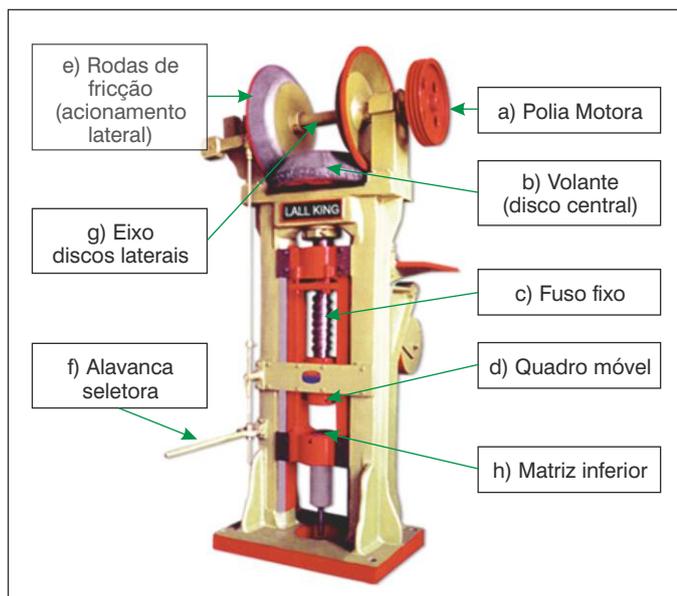


Figura 7 - Prensa de fuso por fricção e fixo (empresa Lall King). Fonte: <http://www.lallkingindia.com/>

A prensa mostrada na figura 7 é uma prensa de fuso fixo. Nelas, o fuso e o disco central permanecem na mesma posição vertical durante o processo de rotação. O que se desloca é o quadro com a matriz inferior. A função do quadro é aproximar ou afastar a peça bruta da matriz superior que é fixa.

Nas prensas de fuso móvel (figura 8) há o deslocamento do conjunto formado pelo fuso/disco central. Neste caso, observa-se que o disco central move-se ver-

tualmente durante o processo de rotação do fuso. Isto quer dizer que além do movimento de rotação há também o deslocamento axial do disco central (volante).

Na figura 9 há um comparativo entre as prensas de fuso fixo e móvel. Na prensa de fuso fixo, o contato do disco de fricção lateral com o disco central é constante. Porém, na prensa de fuso móvel, a distância do disco central (volante) se altera em relação ao disco lateral resultando na alteração da velocidade de rotação do fuso para mais quando o volante está na posição mais alta e, como consequência, há uma diminuição de torque. Na prática o retorno na prensa é mais rápido quando o fuso está na posição mais alta próximo do centro do disco de fricção.



Figura 8 - Prensa de fuso por fricção e móvel (empresa Gutmann)

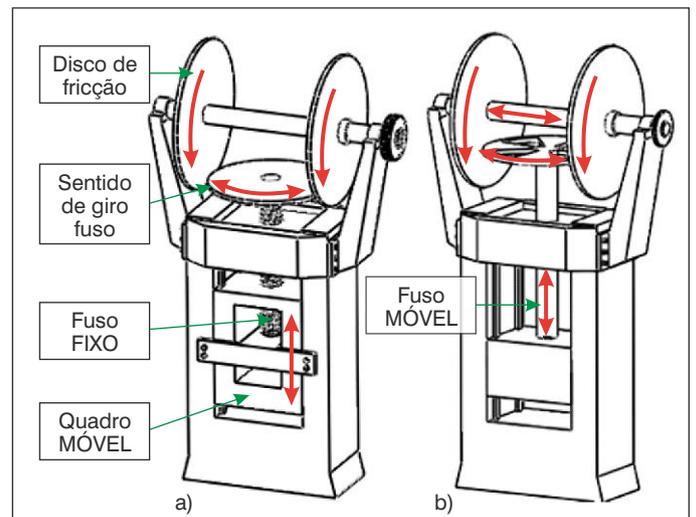


Figura 9 - a) Prensa de fuso fixo por fricção e; b) Prensa de fuso móvel por fricção

Para as prensas de fuso fixo, além do acionamento por fricção, existem os modelos com motor acoplado diretamente ao volante central ou por transmissão de engrenagens que fica entre o motor e o volante. Nestes modelos a mudança de sentido de rotação do fuso é realizada alterando o sentido de giro do motor. Além disso, a frenagem da prensa é feita pelo próprio motor.

Prensas acionadas dessa forma oferecem algumas vantagens quando possuem controladores, pois podem controlar a prensagem com maior precisão. Entretanto estes dispositivos adicionais encarecem o preço final do equipamento [5].

MARTELOS DE FORJAMENTO

Para realizar o forjamento por martelamento são utilizados equipamentos com alta velocidade causando impactos através de golpes rápidos e sucessivos. Estes equipamentos são chamados de martelos de forjamento ou martelos de queda. Nestas máquinas a pressão atinge a máxima magnitude quando o martelo toca a peça. E neste instante a energia se consome e deforma o material [1].

Os martelos normalmente possuem um atuador que eleva o punção até a altura máxima. Apesar dos martelos realizarem grande parte do impacto através da queda, atuadores podem auxiliar e fornecer mais força. Os atuadores normalmente são cilindros que operam por pressão de ar, vapor ou, até mesmo, hidráulica (exemplo na figura 10).



Figura 10 - Martelo de forja eletrohidráulico (empresa Anyang). Fonte: <http://chinesehammers.tradeindia.com/electro-hydraulic-close-die-forging-hammer-351610.html>

Os martelos podem ser classificados em três tipos:

1. Martelo de queda livre: onde a energia de impacto é determinada pela altura e massa do martelo. Após ser erguido por um sistema hidráulico, pneumático ou outro, o martelo é solto em queda livre;
2. Martelo de dupla-ação: além da altura e massa do martelo o golpe tem uma aceleração adicional influenciada por um acionamento, que pode ser hidráulico, pneumático, etc.; ou
3. Martelo de contragolpe: no momento da descida do martelo, há uma carga adicional na parte inferior que atua golpeando a peça contra o martelo superior. Isso pode ocorrer instalando-se cabos de aço ou atuadores na base inferior.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral prensas e martelos são máquinas indispensáveis no processo de forjamento. Porém, não existe modelo único. Conforme capacidade, velocidade, precisão ou custo é necessário optar por um ou outro.

AGRADECIMENTOS

Ao aluno Jonas Miot pela elaboração de desenhos das prensas em Solidworks.

REFERÊNCIAS

- [1] Chiaverini, V.; *Tecnologia mecânica: Processos de fabricação e tratamento*. Volume 2, 2ª edição. McGraw-Hill. São Paulo, Brasil, 1986.
- [2] Brito, A. M. G. et AL.; *Processos de obtenção de pré-formas na produção de forjados em matriz*, Revista Ferramental, Jan/Fev 2009, página 15-21, Editora Gravo, Joinville, Brasil.
- [3] Schaeffer, L.; *Forjamento: Introdução ao processo*, Imprensa Livre, Porto Alegre, Brasil, 2006.
- [4] Hewitt, P.; *Física conceitual*, 11ª edição, Bookman, São Paulo, Brasil, 2011.
- [5] Forge Technology Inc.; *Screw presses*, 2013. Disponível em http://www.forgetechnology.com/screw_presses. Acesso em 10 de junho de 2013.

Lucas Boeira Michels - Tecnólogo em Eletromecânica e Mestre em Educação pela Universidade do Extremo Sul de Santa Catarina - UNESC. Professor pesquisador do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) Campus Araranguá. Doutorando no programa de pós-graduação em Engenharia de Minas, Materiais, Metalúrgica - UFRGS. <http://lattes.cnpq.br/2395000308112725>

Diego Rodolfo Simões de Lima - Engenheiro de Materiais pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Mestre em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Doutor em Engenharia - Processos de Fabricação (UFRGS). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense - IFC, Campus Luzerna. <http://lattes.cnpq.br/8092937589009025>

Lírio Schaeffer - Engenheiro Mecânico e Mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Doutor na área de Conformação Mecânica pela Universidade Técnica de Aachen na Alemanha (Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule - RWTH). Coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) do Centro de Tecnologia da Escola de Engenharia da UFRGS. Pesquisador na área de Mecânica, Metalurgia e Materiais do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), professor das disciplinas relacionadas aos processos de fabricação por conformação mecânica e vinculado ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Minas e Energia (PPGEM) da UFRGS. <http://lattes.cnpq.br/1093242836059112>

Vilson Gruber - Professor pesquisador da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) Campus Araranguá. Doutor em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - (UFRGS). <http://lattes.cnpq.br/5501474017902654>