



Moulding, ou, como traduzido aqui, Moldagem de Pós por Injeção – MPI. Esse processo envolve: a produção de pós metálicos com características especiais; a mistura do pó com termoplásticos e aditivos orgânicos; a injeção, processo similar ao empregado no caso de termoplásticos; a retirada do aglomerante; e, finalmente, a sinterização. Dessa forma é possível obter peças metálicas, em aço inoxidável, por exemplo, com a mesma complexidade de forma com que são obtidas peças em termoplásticos de engenharia.

Um dos pontos fundamentais desse processo é a matéria-prima metálica, composta de pós que devem possuir características físico-químicas específicas que possibilitem a produção de injetados livres de defeitos, e que também fa-

voreçam o processo de densificação durante a sinterização, que é a etapa final de consolidação de uma peça metálica produzida por metalurgia do pó.

Pós finos e arredondados geralmente satisfazem essas condições e podem ser produzidos por via química, como é o caso do ferro carbonila que é obtido de decomposição gasosa, ou atomização a gás. A grande vantagem da atomização é a possibilidade de produzir pós pré-ligados, o que é praticamente impossível por via química. A figura no alto ilustra o processo de atomização a gás onde o metal líquido é desintegrado por gás em alta pressão e, abaixo, o produto típico desse processo, neste caso um pó de aço inoxidável atomizado com nitrogênio.

Embora seja conceitualmente simples, a atomização a gás apresenta vários desafios, que vêm sendo investigados pela Divisão de Metalurgia do IPT em equipamento instalado e em operação desde o início de 1998, onde vêm sendo conduzidos trabalhos de desenvolvimento relacionados com pós de silício para aplicação química e pós de aço inoxidável para produção de peças sinterizadas.

Daniel Rodrigues
Laboratório de Metalurgia do Pó e
Materiais Magnéticos – Divisão de
Metalurgia – IPT – Cidade Universitária – São Paulo
e-mail: danielrd@ipt.br

Metalurgia do pó de aços inoxidáveis

A ampla utilização de aço inoxidável deve-se principalmente à sua alta resistência à corrosão. Aplica-se técnicas de metalurgia do pó ao aço inoxidável em dois casos: filtros, onde a única técnica possível é a metalurgia do pó; e para componentes estruturais onde esta técnica é competitiva economicamente. Neste último caso a metalurgia do pó permite a fabricação de formas complexas em dimensões relativamente pequenas, com pequena ou nenhuma perda de material e conseqüente diminuição do custo e aumento da produtividade, quando comparada às técnicas convencionais de fabricação.

As composições dos aços inoxidáveis sinterizados são as mesmas dos aços trabalhados, ou seja, austeníticos da série 300 (303L, 304L, 304LSC, 316L, 316LSC, 316B), ferríticos ou martensíticos da série 400 (410L-martensítico, 430L e 434L-ferríticos). Aços bifásicos também podem ser obtidos por mudanças na composição química.

A seqüência de fabricação em metalurgia do pó inicia-se pela preparação de pós pré-ligados por atomização, seguida das etapas de conformação e posterior sinterização.

A fabricação de pós metálicos

por atomização é a técnica mais utilizada na preparação de pós metálicos. Nesse processo o metal fundido é vazado através de um orifício cerâmico, formando um filete contínuo, que é dividido em pequenas gotas pela incidência de um segundo fluido (gás ou água), em alta velocidade. O fluido retira calor rapidamente, provocando alta velocidade de resfriamento na solidificação dessas gotas. Na atomização, podem ser utilizados como fluido água ou gás, sendo que o gás inerte reduz significativamente os níveis de oxidação.

Além do fluido de atomização utilizado, outros parâmetros influenciam as características do pó: propriedades do metal líquido (composição química, tensão superficial, viscosidade e superaquecimento), condições do fluxo do metal líquido (velocidade, diâmetro e comprimento do filete), parâmetros do fluido de atomização (pressão, velocidade, viscosidade e densidade) e geometria do bocal de atomização (ângulo de incidência, posição e número de jatos).

Todos os parâmetros apresentados anteriormente influenciam as características do pó obtido, a velocidade de resfriamento e a microestrutura do pó (METALS HANDBOOK, 1984, KLAR, 1985). A liga é normalmente preparada a partir dos metais, fundin-

do-os em forno de indução ao ar. Adiciona-se Fe-Si para resultar numa concentração de Si entre 0,6 % e 1 %, o que previne excessiva oxidação do pó durante atomização. A pressão de água na

Os parâmetros influenciam as características do pó

atomização é de cerca de 14 MPa para produção de pós < 80 mesh. A forma da partícula é suficientemente irregular para fornecer densidades aparentes entre 2,5 e 3,2 g/cm³ e níveis de oxigênio entre 1.000 e 2.500 ppm, que podem ser reduzidos (1.000 ppm) em sinterização sob atmosferas redutoras com baixo ponto de orvalho. Os teores de carbono são normalmente da ordem de 0,03 %. Os tipos LSC contêm Sn (1%) e Cu (2%), para melhorar a resistência à corrosão, pela redução na absorção de oxigênio e nitrogênio durante o resfriamento.

A atomização a gás inerte é preferida para ser utilizada quando os pós devem ser utilizados para moldagem por injeção, pois são mais arredondados e normalmente mais finos do que os atomizados a água. No entanto, estuda-se atualmente a utilização de pós atomizados a água para moldagem por injeção (CAI and GERMAN, 1995; NYLUNG et al., 1995).

A técnica mais usual de conformação é a compactação em prensas uniaxiais. O pó atomizado a água é lubrificado antes da compactação, com mistura com estearato de lítio, ácido esteárico

ou cera sintética, na proporção de 0,75% para peças finas até 1,5% para peças mais espessas. As pressões de compactação variam de 5 a 8 MPa, para peças estruturais. No caso de aços martensíticos é necessário um recozimento do pó antes da compactação. Na sinterização dessas peças é necessária uma etapa de retirada do lubrificante entre 405°C e 550°C. Em casos de filtros, onde a porosidade é bastante alta, variando de 15% a 40 %, as técnicas de conformação são as seguintes: aglomeração por vibração, colagem por barbotina, compactação uniaxial e compactação isostática. A sinterização pode ser realizada a vácuo ou atmosfera redutora em temperaturas entre 1.100 °C e 1.300 °C.

A técnica de conformação que está se difundindo cada vez mais para peças complexas e de pequenas dimensões é a de moldagem por injeção (MPI). O processamento por MPI envolve: mistura do pó com o aglomerante polimérico; injeção da mistura, utilizando-se os mesmos equipamentos utilizados pela indústria de transformação de plásticos; retirada do aglomerante, que pode ser térmica e/ou química; e sinterização (GERMAN, 1990). Um dos grandes problemas da MPI é a necessidade de utilizar-se pós com características muito específicas, principalmente no caso de pós metálicos, que devem ser finos (<20µm) e arredondados, diferenciando-se bastante dos pós utilizados em metalurgia do pó (M/P) convencional. Quanto aos aglomerantes

poliméricos, o que se observa é que existe uma variedade bastante grande sendo utilizada. A escolha do aglomerante adequado deve levar em consideração as características do pó, as propriedades reológicas da mistura, e principalmente o método que será empregado na sua extração. A retirada do aglomerante é uma etapa crítica do processo. Geralmente utiliza-se dissolução química associada à degradação térmica. É, sem dúvida, a etapa que consome mais tempo. Os ciclos de sinterização são semelhantes aos empregados na metalurgia do pó convencional. A temperatura deve ser um pouco mais alta visando uma maior densificação. Valores de densidade da ordem de 98% da densidade teórica são obtidos frequentemente.

Podem ser destacados os seguintes usos para aços inoxidáveis sinterizados: como filtros metálicos onde a única maneira de produção é a técnica de metalurgia do pó, não há dúvidas quanto às possibilidades de aplicações, quando necessário o uso de material resistente à corrosão e oxidação. Filtros de aço inoxidável podem ser fabricados com diferentes geometrias e dimensões para fins estruturais. Nesse caso, deve ser considerado o aspecto econômico, ou seja, o custo de fabricação do sinterizado deve ser competitivo com o do fabricado por outros processos, considerando que as propriedades são

similares, independentemente do processo de fabricação. A grande vantagem da metalurgia do pó em relação aos outros processos é sua elevada produtividade. Destaca-se também a possibilidade de se obter peças com formato complexo e grande precisão dimensional. Como exemplo pode-se comparar peças normalmente produzidas por fundição de precisão com aquelas produzidas por técnicas de metalurgia de pó convencional (compactação e sinterização) ou moldagem por injeção, de forma competitiva.

Outro aspecto a ser considerado

Novas tecnologias para metalurgia do pó

é o desenvolvimento de novas tecnologias específicas para metalurgia do pó que possam fornecer melhores propriedades do que aquelas

fabricadas por outros processos. Nesse caso, além do custo em si deve ser analisado o seu desempenho em uso. Como exemplo citam-se os recentes desenvolvimentos de aços inoxidáveis contendo alto nitrogênio (SPEIDEL 1990; RODRIGUES et al 1998); onde as técnicas de metalurgia do pó são essenciais.

Várias instituições foram congregadas através de projeto Recope (Redes Cooperativas de Pesquisa), financiado pela Finep (Financiadora de Estudos e Projetos), formando uma rede com a finalidade de estudar os diferentes aspectos de fabricação e das propriedades do aço inoxidável

sinterizado, cuja importância como material resistente a corrosão é amplamente conhecida. Objetiva-se o desenvolvimento das seguintes tecnologias: de produção de componentes em aço inoxidável (filtros e componentes estruturais) por metalurgia do pó; de produção de pós de aço inoxidável por atomização; de injeção de pós metálicos, usando como base pós de aço inoxidável; de sinterização por plasma, usando como material pó de aço inoxidável; e de sinterização em diferentes atmosferas para preparação de aço inoxidável.

Francisco Ambrozio Filho
Doutor em Engenharia – Departamento de Engenharia de Materiais – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/CNEN – SP

Lista-se a seguir as instituições que participam deste projeto:

IPEN – Dep. Eng. de Materiais
IPT – Lab. Met. do Pó e Mat. Magnéticos
USP – Lamafe – Laboratório de Máquinas Ferramentas
UFSC – LabMat – Laboratório de Materiais
UFRGS – LdTM – Laboratório de Transformação Mecânica
Metalpó Indústria e Comércio Ltda
Lupatech S/A – Divisão Steelinject

Bibliografia

CAILL., GERMAN, R.M. Powder injection molding using water-atomized 316L stainless steel. *The International Journal of Powder Metallurgy*, v. 31, n. 3, 1995, p. 257-264.
GERMAN, R.M. *Powder Injection Molding*. 1.ed. Princeton, New Jersey, Metal Powder Industries Federation, 1990.
KLAR, E. Commercial water atomization of metals. *Metal Powder Report*, January, 1985, p. 7-18.
Metals handbook: Powder Metallurgy. v.7, 9ª ed. Ohio, ASM, 1984. NYLUNG, A., TUNBERG, T., BERTILSSON, H., CARLSTROM, E., OLEFJORD, I. Injection molding of gas and water-atomized stainless steel powders. *The International Journal of Powder Metallurgy* v. 31, n. 4, 1995, p. 365-373.
RODRIGUES, D., AMBROZIO FILHO, F., FALLEIROS, N.A., TSCHIPTSCHIN, A.P. *Aços inoxidáveis com alto teor de nitrogênio produzidos por metalurgia do pó*, trabalho a ser apresentado no congresso anual da ABM em Belo Horizonte, 1998.
SPEIDEL, M. O. Properties and applications of high nitrogen steels. *Proc. of the High Nitrogen Steels-HNS*, 1990, p. 92.