

DESENVOLVIMENTO DE UMA MATRIZ DE COMPACTAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE BILLETS POR METALURGIA DO PÓ

Téssio Alexandre Barreto Vieira Filho ¹
João Pedro Inácio Varela ²
Prof. Dr. Wanderley Ferreira De Amorim Junior ³

INTRODUÇÃO

Embora pesquisas arqueológicas mostrem que o homem já produzia armas, lanças e ferramentas a partir de aglomerados de ferro, há cerca de 6000 anos a.C., somente no século XIX foram dados os primeiros passos para o desenvolvimento da moderna metalurgia do pó. Porém, somente no início do século XX, foram desenvolvidos processos para obtenção de peças de tungstênio (fusão=3410°C) e de molibdênio (fusão=2610°C) por metalurgia do pó. Mas a produção só se expandiu mesmo após a Segunda Guerra Mundial, para atender à demanda da indústria automobilística. Hoje são inúmeras as aplicações industriais de peças produzidas por este processo.

A metalurgia do pó se distingue dos processos metalúrgicos convencionais pelas seguintes características:

- Utilização de pós metálicos e não-metálicos como matéria prima;
- Ausência da fase líquida ou presença principal dessa durante o processo;
- Produção de peças com forma definitivas ou praticamente definitivas, dentro de tolerâncias bastante estreitas, geralmente sem a necessidade de operação de usinagem ou outro tipo de acabamento;
- Produção de componentes com características estruturais e físicas impossíveis de se obter por qualquer outro processo metalúrgico;
- Obtenção de peças em grandes séries, tornando o processo altamente competitivo em relação aos outros processos convencionais.

A metalurgia do pó convencional envolve etapas de mistura dos pós, compactação e sinterização. A compactação é a fase central da metalurgia do pó. Misturas de pó devem equilibrar o fluxo livre com a alta resistência e boa compressibilidade. Ferramentas de compactação devem ter uma resistência suficiente para resistir às pressões de produção, e deve incorporar características de projeto que levam em conta não apenas a geometria da peça, mas também a forma da matriz de preenchimento, estágios de transferência do pó, cinemática de compactação e de ejeção para atingir a densidade da peça compactada uniforme e evitar a geração de fissuras de cisalhamento ou à tração como um resultado do processo de compactação.

Quando as partes são para serem comercializadas no estado prensado elas devem ter resistência suficiente para suportar operações de pós-compactação e entrega ao cliente. Neste

¹ Graduando do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, tessioalexandre@hotmail.com;

² Graduando pelo Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, jpvuufcg@gmail.com;

³ Prof. Doutor pelo Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, engenhariabrasileira1@gmail.com;

processo, a parte pressionada pode incorporar necessárias características geométricas (tais como letras em relevo) que enfraquecem o componente.

O ferramental é composto de no mínimo três componentes: Matriz, punção superior e punção inferior. Um quarto componente, chamado “macho”, é sempre utilizado quando queremos que a peça final possua um furo.

O billet consiste em um elemento cilíndrico, maciço e de baixa espessura, que é o resultado preliminar da compactação de pós metálicos que podem ser de variadas composições. Após a compactação, os billets são sinterizados a temperaturas que variam de acordo com a composição estudada e podem ser realizados diversos estudos de modo a caracterizar esse material e aplica-lo nas diversas áreas do conhecimento.

METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

O projeto de um dispositivo é um processo especializado na resolução de problemas. No caso desse trabalho, o processo desenvolveu-se através de uma série de fases principais e em sequência cronológica.

- Definição do Problema (Projeto Informacional): é a interpretação e a limitação dos requisitos disponíveis de forma clara e objetiva. Para tanto, reuniram-se todas as possíveis informações necessárias ao desenvolvimento do trabalho. Foi realizada uma pesquisa buscando informações referentes aos requisitos do projeto do dispositivo a ser desenvolvido.

As fontes de informação foram: levantamento bibliográfico em revistas e livros especializados; levantamento de equipamentos já existentes focalizando os aspectos funcionais e de projeto;

- Projeto Conceitual: busca-se apresentar na forma de croquis, diagramas, desenhos esquemáticos a visualização da(s) ideia(s) que melhor atendem a demanda de projeto;
- Projeto Preliminar: busca-se estabelecer materiais e espessuras que resistam aos esforços solicitados em conformidade.
- Projeto Detalhado: com os processos de fabricação e as normas vigentes no país, quanto à segurança operacional e a confiabilidade do produto, detalhando a documentação para a construção do protótipo;
- Construção do protótipo: faz-se uso dos recursos disponíveis em termos de fabricação e montagem, para a obtenção da forma física estabelecida e dimensionada nas fases anteriores;
- Teste de Validação: para saber se atende às especificações de projeto e, conseqüentemente, a demanda inicial.

DESENVOLVIMENTO

Para a concepção da matriz de compactação foram estudados diversos modelos de matrizes existentes, encontradas principalmente em trabalhos realizados pela UFRGS e Tecinter Metalurgia. A partir dos trabalhos estudados, foi realizado o projeto conceitual para o desenvolvimento da matriz de compactação em que serão fabricados os billets.

A conformação do pó pode ser realizada de várias maneiras. Um dos métodos mais conhecido e utilizado neste trabalho é a “Compactação Uniaxial” que, para conformar o pó, se utiliza de um ferramental rígido, compactado por uma prensa.

O ferramental é composto por três componentes: Matriz, punção superior e punção inferior.

No trabalho realizado pelo LDTM da UFRG para a compactação foi utilizada uma matriz cilíndrica de aço temperado com diâmetro externo de 80mm e interno de 13mm utilizando-se de uma prensa hidráulica da marca Eka com capacidade máxima de 40 toneladas. Os punções foram também fabricados em aço temperado. Os pós foram devidamente misturados conforme as ligas desejadas, através da mistura convencional de titânio e nióbio na composição Ti-30%Nb, Ti-35%Nb e Ti-40% em peso. Para cada liga foi adicionado estearato de zinco (1,0 % em peso) como lubrificante. Os componentes de cada liga foram misturados durante o tempo de 15 minutos, em um misturador tipo “Y” a 24 rpm. Após realizar a mistura dos pós, as amostras foram compactadas com tamanho, geometria e composição do material requerido, possuindo suficiente integridade para serem manuseadas. Utilizou-se uma pressão de compactação de 400MPa para compactação das amostras, obtendo peças à verde. As peças verdes foram projetadas de tal forma que os corpos de prova 1 e 2, tem diâmetro 10 mm e altura 12 mm e os corpos de prova 3 e 4 tem 13 mm de diâmetro e altura 5 mm.

No PPGEM da UFRGS, o ferramental usado para compactar pó de titânio, consiste em uma matriz unidirecional de duplo efeito. A cavidade, bem como os punções foram construídos com um diâmetro de 13mm a partir do aço ABNT D6, temperados, revenidos e retificados com dureza final entre 58 HRC e 60 HRC de modo que os corpos de prova resultantes obedecessem a razão de altura/diâmetro de 1:1,5 [7].

Em outro trabalho desenvolvido pelo LDTM da UFRGS para a compactação foi estabelecida uma rotina onde a força máxima de carregamento é determinada em função da pressão de compactação desejada. O ferramental consiste em uma matriz unidirecional de duplo efeito com 13mm de diâmetro. A cavidade, bem como os punções foram construídos a partir do aço 1045, ABNT D6 com dureza final de 50HRC. Posteriormente os componentes da ferramenta foram temperados, revenidos e retificados de modo que os corpos de prova resultantes obedecessem a razão de altura/diâmetro de 1:1,5. A pressão de compactação utilizada para os estudos preliminares foi de 600 Mpa.

As ferramentas de compactação, ou matrizes para compactação de pós metálicos, fabricados pela Tecspartner, são confeccionadas a partir de aços rápidos ou metal duro. As ferramentas de aço rápido incluem muitos materiais tais como o M2 e os aços rápidos sinterizados. As matrizes são confeccionadas a partir de projetos gerados pela Tecspartner.

De acordo com os modelos de matrizes apresentados e estudados anteriormente, foram analisadas todas as características.

A geometria da matriz de compactação para a produção de billets, analisando os trabalhos mostrados no projeto informacional, é de forma simples. Porém, não se deve analisar apenas a geometria da peça, mas também fatores importantes como, por exemplo, o material a ser utilizado e o tipo de tratamento térmico a ser aplicado na matriz e punções.

Com relação ao diâmetro interno, observa-se que nos trabalhos apresentados todas as matrizes utilizaram um diâmetro de 13 mm, um valor determinante para uma das dimensões principais da matriz. A altura da matriz também é um valor importante, pois essa altura relaciona a quantidade de material que pode ser colocado na matriz, bem como o tamanho dos billets que se deseja fabricar. Nos trabalhos realizados foram utilizadas alturas de 72,29 mm e 80 mm.

Os billets que serão fabricados não deverão ter grande altura, visto que a compactação a ser realizada é uma compactação uniaxial, onde é recomendado apenas para a produção de peças de baixa altura, como arruelas, por exemplo.

Analisando esses dados, foram escolhidas as dimensões da matriz de compactação.

Onde:

- Diâmetro interno: 13 mm
- Diâmetro externo: 75 mm
- Altura H: 75 mm

Serão fabricadas três punções, um menor que ficará encaixado na parte inferior antes da colocação do pó, um punção para a compactação quando já tivermos o pó dentro da matriz e um punção extrator com o comprimento igual a altura da matriz para a retirada do billet após a compactação.

Após definidos os parâmetros necessários a fabricação da peça, foi realizada uma análise computacional utilizando o software Autodesk Inventor 2011 das tensões principais presentes nos punções e matriz durante a compactação, onde podemos determinar as áreas de maior tensão para que possa analisar sua resistência a compressão.

Foi utilizado o Autodesk Inventor onde usamos uma pressão de simulação de 600MPa, que foi uma pressão utilizada nos trabalhos pesquisados no projeto informacional. O material selecionado para a simulação foi o aço ao carbono. Em primeiro lugar foi colocada a parte inferior do punção como sendo a parte fixa, e então aplicamos a pressão na parte superior do punção.

No punção inferior, foi determinado que a tensão máxima calculada no software, que foi de 343,5 MPA está abaixo do limite de resistência à compressão dos aços que é entre 500 e 800 MPa e um deslocamento máximo de aproximadamente 0,02mm. No punção inferior, ficamos uma tensão máxima de 520,3 MPa que está abaixo do limite de escoamento do material e um deslocamento de 0,12mm localizado principalmente no punção.

Não foi realizada análise de tensões no punção extrator, pois as tensões de trabalho presentes nele são bem menores que nos punções compactadores.

Para a análise de tensões na matriz, foi utilizado uma pressão de simulação de 600MPa, distribuído na parte interior da matriz, utilizando aço ao carbono como material para simulação. as máximas tensões calculadas na parede matriz são de 29,39 MPa e uma deformação de aproximadamente 0,0014 mm no sentido radial e estão bem abaixo do limite de resistência à compressão dos aços.

Com as dimensões determinadas no projeto conceitual, para a construção da matriz de compactação foi utilizada uma ponta de eixo de caminhão, com aço de baixo carbono. Para a fabricação dos punções foi utilizado uma haste de amortecedor com 13mm de diâmetro, que segundo o catálogo da Gerdau consiste de um aço SAE 1040. Após a fabricação, foram realizados ensaios de dureza nesses componentes e ficou determinado a necessidade da realização de um tratamento térmico de têmpera, para garantir que esses materiais apresentem dureza suficiente para a compactação dos pós metálicos.

Para o teste da matriz, foi utilizado pós de Níquel e Titânio, que caracterizam uma liga de memória de forma em uma composição de 54,7% de Níquel e 45,3% de Titânio. Para isso foi utilizado pós de Níquel (99,81%) com um tamanho de partícula de 44 microns e pós de Titânio (99,9%) com tamanho de partícula de 149 microns. Para produzir 50g de mistura de pós de NiTi na composição recomendada, foi calculado a massa dos pós em uma balança de precisão e separado 27,35g de Níquel e 22,65g de Titânio.

Para a compactação dos pós foi utilizada a máquina de ensaios INSTRON 5582. No ensaio foi utilizado uma pressão de 600 MPa, resultado obtido em estudos anteriores, que equivale a aproximadamente 80kN de força para um diâmetro de 13mm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao final das etapas de mistura e compactação, obtivemos billets de bom acabamento visual e dentro dos parâmetros esperados. A partir de quatro billets fabricados, foram calculados os valores médios de diâmetro e densidade verde. O diâmetro médio obtido foi de $13,17 \pm 0,03$ mm e de densidade média de $4,44 \pm 0,14$ g/cm³. Os valores de altura e massa podem variar de acordo com a quantidade de material utilizado, por isso não foi calculado a média.

Nesse experimento, a densidade verde calculada foi de 69% da densidade da LMF NiTi que é 6,45g/cm³. Em um trabalho realizado por Bernard Bertheville, ele produziu billets com 76% da densidade verde da LMF. Então nossos resultados estão compatíveis e essa diferença pode ser devido a vazios internos causados pela diferença no tamanho das partículas utilizadas.

Após a extração dos billets da matriz desenvolvida, foi notada uma aparente recuperação elástica dos mesmos, pois não foi possível reintroduzi-los novamente dentro da matriz. Então esse aumento no diâmetro externo pode ser causa desse efeito que deve ser rigorosamente calculado para a produção de peças com rigorosa precisão dimensional.

Não foi possível realizar a sinterização dos billets, pois o forno com atmosfera controlada disponível estava em manutenção durante a fase de testes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível o desenvolvimento preliminar da tecnologia de processamento de billets de NiTi por metalurgia do pó. Para tanto, foi fabricado uma matriz de compactação uniaxial adaptada a uma máquina de ensaios mecânicos com capacidade de fabricação de billets de 1 a 20 mm de altura com diâmetro de 13 mm. Foi fabricado billets de NiTi com diâmetro médio de 13,17 mm e densidade verde média de 4,44g/cm³. A partir desse estudo, pode ser proposto novas geometrias e novas composições para que seja aplicada em alguma área do conhecimento.

Palavras-chave: Metalurgia do pó, Billet, Matriz.

REFERÊNCIAS

- [1] AÇOS - Aços ao Carbono, Catálogo Gerdau. Disponível em <http://www.comercialgerdau.com.br/produtos/acos_especiais_aocarbono.asp> Acesso em 15 de fevereiro de 2013.
- [2] ALEXANDRE REUS BARONI DE SOUZA, Desenvolvimento de uma prótese para substituição de disco da coluna vertebral lombossacra através da metalurgia do pó, UFRGS 2012.
- [3] BERNARD BERTHEVILLE. PM Processing of Single-Phase NiTi Shape Memory Alloys by VPCR Process. (2006)
- [4] CHIAVERINI, V. Metalurgia do pó. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. 2001.
- [5] CHIAVERINI, V. Tecnologia Mecânica - Materiais de Construção Mecânica. São Paulo: Makron Books. 1986.

- [6] CHIAVERINI, V. Tecnologia Mecânica - Processos de Fabricação e Tratamento. São Paulo: Makron Books. 1986.
- [7] ESPINOZA, F. R., RODRIGUES, W. C., PFINGSTAG, M. E., SOUZA, A. R. ., & SCHAEFFER, L. Obtenção de peças sinterizadas de titânio aplicadas na área médica . Estudos Tecnológicos, p. 8. 2010.
- [8] FÁBIO LUIS KNEWITZ. Estudo Comparativo de amostras de NiTi produzidas por metalurgia do pó. Porto Alegre, 2009.
- [9] Grupo setorial da metalurgia do pó. Acesso em 18 de agosto de 2012, disponível em: www.metalurgiadopo.com.br. 2012.
- [10] JOECI CASAGRANDE, Estudo Das Propriedades Mecânicas Da Liga Ti-Nb Sinterizada Para Aplicação Na Área Biomédica.
- [11] KLAR, E. Metals Handbook: Powder Metallurgy, ASM Handbooks, Desk Edition, V. 7, 2005.
- [12] LENEL, F. V. Compacting In: Powder Metallurgy - Principles and Applications, MPFI. p. 99-116. NJ: Princeton, 1980.
- [13] LUNA, W. H.D. *Estudos para Obtenção da Liga NiTi pelo Processo de Moldagem de Pós por Injeção*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais), Porto Alegre: UFRGS, 2008.
- [14] MICHELON, M. D. O. Estudo para a Obtenção de Fios de NiTi através de Metalurgia do Pó. Porto Alegre, 2006. 85p. Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [15] MILKE, A.R. *O projeto de moldagem de pós por injeção aplicado na fabricação de peças de aço*. Dissertação Mestrado em Engenharia, Porto Alegre: Escola de Engenharia, Curso de pós Graduação em Engenharia Metalúrgica da UFRGS, 2000.
- [16] MORO, N., & AURAS, A. P. Processos de Fabricação - metalurgia do pó e o futuro da indústria. Florianópolis: Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina. 2007.
- [17] PEREIRA, M. Fundamentos da Metalurgia do Pó . Rio de Janeiro: DEMa-PUC. 2010.
- [18] PETER R. BREWIN, Modelling of Powder Die Compaction. Library of Congress Control Number: 2007932623
- [19] SOUZA, S. A. Ensaio Mecânicos dos Materiais Metálicos - fundamentos teóricos e práticos. São Paulo: Edgard Blücher. 2000.
- [20] VEARICK, S. B.; MICHELON, M. D. O.; SCHAEFFER, L. Obtenção da liga de Nitinol por metalurgia do pó Convencional. In 61º Congresso Anual da ABM, 2006. Rio de Janeiro, Anais do 61º Congresso Anual da ABM, Rio de Janeiro.