

UMA BREVE ANÁLISE SOBRE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO APLICADOS A PRODUÇÃO DE LIGAS COM MEMÓRIA DE FORMA

Gabriela Pâmela Barros de Oliveira ¹
Nadja Terto de Sousa Brito ²
Marcos Mesquita da Silva ³
Luiz Fernando Alves Rodrigues ⁴

INTRODUÇÃO

As Ligas com Memória de Forma (LMF) são denominadas materiais ativos ou inteligentes devido sua capacidade de responder a estímulos do ambiente. Essas ligas possuem a surpreendente capacidade de recuperar a forma original, através de um simples aquecimento que permita a transformação de fase do material. Essa recuperação que a LMF exhibe, ocorre através de alterações das fases (mudanças estruturais) impostas por um ciclo térmico. Essas ligas sendo submetidas a esse ciclo térmico, apresentam fases martensíticas e austeníticas.

Atualmente, existem três principais grupos de LMF intensamente estudadas na literatura:

- Base NiTi (Ni-Ti, Ni-Ti-Nb, Ni-Ti-Fe, etc.)
- Base cobre (sistemas Cu-Zn e Cu-Al)
- Base Ferro (sistema Fe-Mn-Si)

Essas LMF são obtidas por processos de fabricação que consistem na obtenção a partir de misturas de elementos químicos. Os elementos, são submetidos a um mesmo processo metalúrgico, sendo os mais comuns: fundição de precisão, fusão a plasma, técnica de melt spinning, e manufatura aditiva (PEREIRA et al., 2013). Esses procedimentos, no qual as ligas são fabricadas, não se tratam apenas de fusões, mas, procedimentos que utilizam técnicas de jateamento, injeção de metal líquido ou em pó, como também deposição de material, como forma de fabricação.

Dado o exposto, este trabalho tem como objetivo fazer uma breve explanação sobre as características dos processos de obtenção de LMF que vem sendo comumente utilizados,

¹ Técnica em Petróleo e Gás pelo Instituto Federal da Paraíba - IFPB, gabriela.pamela@academico.ifpb.edu.br.

² Técnica em Petróleo e Gás pelo Instituto Federal da Paraíba - IFPB, nadja.terto@academico.ifpb.edu.br.

³ Professor co-orientador: Doutor, Instituto Federal da Paraíba - IFPB, marcos.silva@ifpb.edu.br.

⁴ Professor orientador: Doutor, Instituto Federal da Paraíba - IFPB, luiz.rodrigues@ifpb.edu.br.

permitindo assim, levantar um referencial teórico sobre as possíveis técnicas a serem empregadas na fabricação dessas ligas em ambiente de laboratório.

METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

Neste trabalho foi realizada uma análise da literatura nacional e internacional acerca dos processos de fabricação comumente utilizados na produção de ligas de NiTi com efeito memória de forma. Para isso, foram analisadas, teses, dissertações, monografias e artigos científicos, com objetivo de obter um adequado referencial teórico sobre as melhores práticas para a obtenção de LMF.

REFERENCIAL TEÓRICO

Na atualidade, encontra-se múltiplos sistemas de fusão para fabricação, uns utilizados de forma intensiva, outros pouco utilizados devido ao tipo de projeto. Entretanto, a fusão é um dos meios de fabricação de produtos metálicos mais antigos. Groover (2014) define fundição como um processo em que o metal líquido flui pela força da gravidade ou por ação de outra força, em um molde que ele solidifica com a forma de sua cavidade. Na maioria dos processos de fundição, o molde usado durante o procedimento, precisa ser descartado para remoção do material final, com isso, foi observado uma necessidade na criação de moldes permanentes, para acompanhamento e melhor desenvolvimento da indústria no mercado. Sendo assim, serão apontadas algumas dessas técnicas manuseadas para fabricação.

Para alguns autores, a fundição é qualificada como, a primeira fase de aquisição da matéria prima, que logo após são conformados em moldes, para obtenção das peças finais (Capello, 1974; Chiaverini, 1986; Bidwell, 1997). A operação de fundição de componentes, envolve a fabricação de peças com geometrias complexas, conhecida por diferentes nomes, como: de precisão, de areia, sob pressão, híbrido, etc, (Groover, 2014).

Nesse sentido, temos a fusão a plasma para produção de LMF em que, é necessário a utilização de fornos, onde é utilizada a transmissão de energia para fundir, elementos químicos em atmosfera de argônio. O plasma utilizado no processo, é um gás ionizado e aquecido elevadamente com energia suficiente, para fundir, metais e ligas de forma mais eficiente, por essa razão a necessidade e utilização do gás inerte, o gás usado no processo, é o argônio, pois não reage com nenhum elemento da liga, e por possuir uma alta pureza, essa

atmosfera de argônio, permite que as ligas e metais, sejam fundidos de forma, mais eficiente, ou seja, livre de oxidação (MONTENEGRO, 2007).

Uma outra técnica de produção de LMF é o melt spinning, que é um processo de solidificação rápida, em que a taxa de resfriamento do processo pode aumentar de acordo, com o aumento da velocidade da roda utilizada, modificando o gás ambiente, diminuindo a temperatura de fusão, aumentando a ejeção de material fundido sob a roda, tudo para modificação da taxa de resfriamento, (FEITOSA, 2009) é gerado uma poça de material fundido, onde é gerada a fita metálica.

Já o processo de manufatura aditiva, dar-se por meio da adição de material, semelhante à técnica de impressão 3D, onde o material é depositado gradativamente camada por camada, essa técnica de manufatura por adição de material, consiste na união das camadas do pó durante a fabricação, onde obtém-se objetos de geometrias diferentes e mais complexas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os processos de fusão, temos a Fundição de Precisão. Essa operação consiste na fusão do material metálico (SIMÕES, 2016), porém, o que irá diferenciar das outras técnicas de fundição é o uso dos moldes, durante o procedimento, dependendo de qual metodologia será adotada. Segundo Simões (2016), o molde mais utilizado nesse tipo de fusão, é o cerâmico, por permitir um custo mais baixo na produção do próprio molde, como também, o mesmo proporciona, uma alta na produção industrial. E dentre esses moldes, citados na literatura, destacam-se os moldes perecíveis e permanentes, no primeiro exemplo, os moldes são sacrificados após a remoção da peça, já o segundo exemplo, o molde, não sofre danos, nem sacrifícios para remoção da peça, pois são moldes metálicos e sólidos não sendo necessário a ruptura do molde para obtenção final da peça. Assim, nesse processo de fabricação é de extrema importância que a escolha do molde seja adequada e estudada, pois influencia na fabricação dependendo se a fabricação será em série ou como ela será processada para melhor desenvolvimento do processo (Groover, 2014).

No caso da fusão a plasma, a fundição do material, é realizada por condução elétrica do gás, no qual, são fundidos numa máquina que utiliza o processo de fusão a plasma seguida de injeção de metal líquido em molde metálico, mais conhecido como o Plasma Skull Push Pull (SIMÕES, 2016).

Ademais, o gás, que é utilizado como fonte de calor, gera uma corrente elétrica entre o eletrodo e o metal a ser fundido, com isso esse metal/Liga é colocado em um molde de cobre.

Nesse procedimento, com os materiais empilhados em um cadinho de cobre e sob um eletrodo de tungstênio, por meio do sistema de conformação o metal é fundido acerca de uma fina acumulação dele mesmo, em atmosfera protetora de argônio, e logo após injetado em um molde metálico, quando ocorre o processo de fundição (PEREIRA ET AL., 2013).

Outro processo, que é bastante utilizado para obtenção dessas ligas, é a técnica de melting spinning. Essa técnica se utiliza do resfriamento rápido, a fim de permitir uma variação das propriedades da liga, das peças adquiridas, Segundo Anselmo (2017) durante o processo, as principais vantagens desse método que se obtém em relação às outras metodologias é que através de um resfriamento rápido, permite-se obter ligas com estrutura amorfa, ou parcialmente amorfa, e após o tratamento térmico, submetido a liga, surgem estruturas microcristalinas ou nanocristalinas. Essa mudança de estrutura, sofrida pela liga, só é possível através da utilização dessa técnica.

No trabalho de Anselmo, et al (2017) foram fundidas lingotes de ligas Ni-Ti (Ni-44, 8wt% Ti e Ni-45, 3wt%), por indução a vácuo. Procedimento que consistiu na colocação do material em cadinhos de grafite e aquecimento por indução. A partir dos lingotes foram obtidas fitas finas pela técnica de melt spinning. Nessa estratégia, além de utilizar o resfriamento rápido, também utiliza-se o jato de metal líquido, lançado sob pressão, em uma roda de cobre, girando a uma alta velocidade. Esse metal ao chocar com a roda, gera uma poça de metal, criando um reservatório do material fundido, formando uma fita, que solidifica rapidamente. Logo após, é lançada, por uma força centrífuga, obtendo então a fita de Liga com Memória de Forma.

Já no processo de fabricação por manufatura aditiva se dá pela deposição de finas camadas do material e da união das camadas do pó durante a fabricação, como o método da impressão 3D, onde obtém-se objetos de geometrias diferentes e mais complexas. A técnica é um afastamento do protótipo de fabricação subtrativa de longa data, que se baseia na retirada de material para produção de geometrias desejadas. A manufatura aditiva, alcança uma gama de tecnologia de fabricação, que utiliza parâmetros como, tipo de fonte de energia, matéria prima, e volume de construção permitido. Esse método é aplicado em diversas classes de materiais da indústria, a exemplo das Liga com Memória de Forma (ALAGHA *et al.*, 2021)

Na manufatura aditiva, a fusão seletiva a laser, faz parte de um dos procedimentos utilizados para fabricação de LMF, essa metodologia é conhecida também como, SLM, pouco utilizada na fabricação de SMA. Neste procedimento, é manuseado o pó, como fonte de calor

para obtenção das peças, onde contém possibilidade de obter peças mais complexas que em outros tipos de processos, como a fundição de precisão (ALAGHA *et al.*, 2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos de fabricação são de grande importância para o desenvolvimento de materiais. Considerando as LMF, de acordo com o tipo de liga, pode-se definir o processo para fabricação mais adequado, já que o material a ser fabricado, sua forma de produção, custo de produção, qualidade do produto e outros diversos parâmetros vão interferir na escolha de qual metodologia utilizar.

De acordo com o analisado sobre os métodos de fabricação de LMF, a fabricação por fundição de precisão se mostrou bastante eficiente para fabricação desses materiais, permitindo obter LMF com aspectos e funcionalidades finais desejadas.

A técnica de melt spinning, é um processo de solidificação rápida, a taxa de resfriamento do processo pode aumentar-se de acordo com o aumento da velocidade da roda utilizada, modificando o gás ambiente, diminuir a temperatura de fusão, (TKACH ET AL., 2002) aumentar a ejeção de material fundido sob a roda, tudo para modificação da taxa de resfriamento, (FEITOSA, 2009) é gerado uma poça de material fundido, onde é gerada a fita metálica.

Palavras-Chaves: Processo de Fabricação; Ligas com Memória de Forma; NiTi.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do IFPB e CNPq, disponibilizado através do edital no 28/2021 - PIBIC-EM – CNPq.

REFERÊNCIAS

ALAGHA, Ali N. *et al.* **Materials and Design**: additive manufacturing of shape memory alloys: a review with emphasis on powder bed systems. 204. ed. Abu Dhabi,: Department Of Mechanical Engineering, Khalifa University Of Science And Technology, 2021. 27 p. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0264127521002070?token=2F57CB47704F05E36B>

C15D6165897785A069700D3D671E79233C7B353F2EC905DEE1481BCAB5CC0C1B7436D943F4E00A&originRegion=us-east-1&originCreation=20220413004331. Acesso em: 12 dez. 2021.

ANSELMO, George Carlos dos Santos; CASTRO, Walman Benicio de. **Influência do Ti e da taxa de resfriamento na microestrutura e na temperatura MS em ligas Ni-Ti com EMF solidificadas rapidamente**: effect of titanium content and cooling rate on the microstructure and martensitic transformation of rapidly solidified ti-ni shape memory alloys. 22. ed. Campina Grande: Ufcg, 2017. 6 p. 6 v. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/YFBxkhqPhtjfsBfsH5Lr7m/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 12 dez. 2021.

BIDWELL, H. T. Investment Casting Handbook. Investment Casting Institute, 1997. ISBN 1560610492.

CAPELLO, E. Tecnología de la fundición. Barcelona, Spanish: Gustavo Gili, 1974. ISBN 8425202787.

CHIAVERINI, V. Tecnologia Mecânica - Materiais de Construção Mecânica Vol. II. 2°. São Paulo, SP, Brasil: Mc Graw Hill, 1986. 388.

FEITOSA, Francisco Riccelly Pereira. **Obtenção e evolução da fase icosaedral quasicristalina em ligas AlCuFe AlCuFeB por melt spinning**. 2009. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5349/1/parte1.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2022.

GROOVER, M. P. Introdução aos processos de fabricação. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: LTC, 2014. 758 ISBN 9788521625193.

MONTENEGRO, Iêda Nadja Silva. **Estudo das ligas Titânio-Zircônio resultantes do processo de fundição Plasma-Skull para aplicações com biomateriais**. 2007. 154 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Química, Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/17679/1/IedaNSM.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2022.

PEREIRA, Francisco Fernando Roberto *et al.* **DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO TERMOMECÂNICA DE ATUADORES CÔNICOS DE LIGAS COM MEMÓRIA DE FORMA.** La Plata, Argentina: XI Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica - Cibim, 2013. 14 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277249159_DESENVOLVIMENTO_E_CARACTERIZACAO_TERMOMECANICA_DE_ATUADORES_CONICOS_DE_LIGAS_COM_MEMORIA_DE_FORMA. Acesso em: 23 nov. 2021.

SIMÕES, Jackson de Brito. **Fabricação de componentes miniaturizados de ligas com memória de forma Ni-Ti usando fundição de precisão.**: manufacture of miniaturized components of alloys with ni-ti memory using precision casting.. 204. ed. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2016. 270 p. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/14061>. Acesso em: 03 nov. 2021.

SUHEL K.; YESWANTH S.; MANI PRABU S.S.; PALANI I.A.; PUSHPENDRA S. Development and Actuation Analysis of Shape Memory Alloy Reinforced Composite Fin for Aerodynamic application. **Sensors and Actuators A: Physical**. In press. 2021