cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Efeito da Adição De Zircônio na Superelasticidade de Fios de Ligas com Memória de Forma Titânio-Nióbio para Aplicações Biomédicas

Julio de Souza[1]; Paulo da Silva[1]; Raphael de Melo[2]; Estephanie Grassi[1]; Carlos de Araújo[1].

1. Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB; 2. Instituto Federal da Paraíba, Itabaiana - PB

Introdução

As Ligas com Memória de Forma (LMF), também conhecidas como SMA (Shape Memory Alloys) são materiais metálicos que têm a capacidade de depois de serem sujeitos a deformações, retornar ao seu estado inicial como resultado do aumento de temperatura ou de descarregamento mecânico. Estes materiais, possuem dois comportamentos importantes, o Efeito Memória de forma (EMF) e a Superelasticidade (SE). No primeiro caso, após uma deformação plástica não verdadeira, o material associados à fase martensita volta à forma original desde que seja aquecido até a temperatura crítica que se encontra acima da temperatura de trabalho. As ligas com Superelasticidade, associadas à fase austenita, no entanto, possuem a peculiaridade de a temperatura crítica se encontrar abaixo da temperatura de trabalho, fazendo com que a deformação desapareça logo após a remoção do esforço mecânico.

Objetivos

O objetivo deste trabalho é verificar o comportamento termomecânico de fios de ligas binárias de Ti-Nb ao se adicionar um terceiro elemento, neste caso o Zircônio (Zr) em que todos esses elementos são biocompatíveis, ou seja, não provocam efeitos inflamatórios e nem alérgicos quanto inseridos no corpo humano. Verifica-se na literatura que o ajuste destes materiais nas ligas de Titânio fabricadas, alteram de maneira significante as propriedades mecânicas das mesmas, podendo-se citar por exemplo que a adição do nióbio e do zircônio diminuem o módulo de elasticidade das ligas fabricada sem comprometer a resistência mecânica (Song, et al., 1999; Geetha, et al., 2009).

Metodologia

Todos os procedimentos desta pesquisa, foram realizados no Laboratório Multidisciplinar de Materiais e Estruturas Ativas (LaMMEA) da Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica, na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). O procedimento para realização da pesquisa se deu em três etapas. A primeira foi a preparação das ligas de TiNbZr, a segunda etapa foi a fabricação dos fios através do procedimento de laminação em cavas, e a terceira e última etapa foi a caracterização termomecânica dos fios.. As ligas que foram utilizadas nesta pesquisa foram Ti-22Nb-4Zr, Ti-20Nb-6Zr e Ti-18Nb-14Zr em porcentagem atômica (at.%).

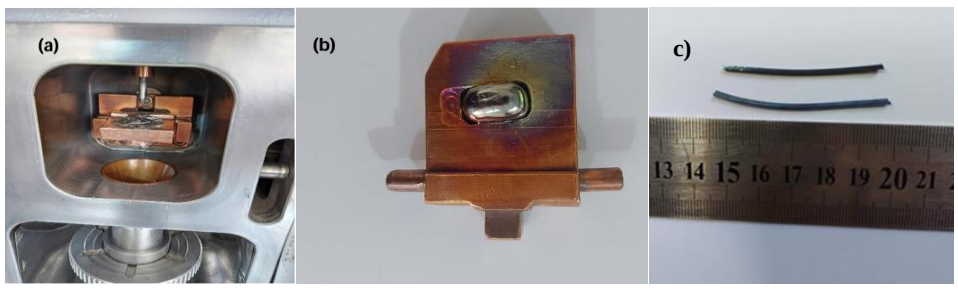


Figura 1. (a) Materiais colocados para fusão; (b) Lingote Fabricado; (c) Fios Obtidos.

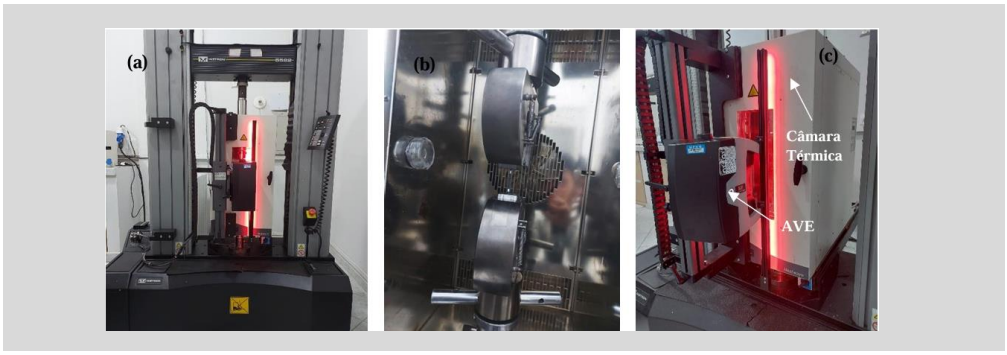


Figura 2. (a) Máquina Universal de Ensaios Instron 5582; (b) Fio dentro da câmara térmica posicionado e marcado por pontos brancos para captura do AVE; (c) Câmara térmica e AVE indicados.

Resultados e Discussão

Liga at.%	Composição obtida no EDS at.%			Erro (%)
--	Ti	Nb	Zr	--
Ti-18Nb-14Zr	68,64 %	17,88 %	13,47 %	0,6
Ti-20Nb-6Zr	74,75 %	19,67 %	5,58 %	1,65
Ti-22Nb-4Zr	74,94 %	21,37 %	3,69 %	2,86

Figura 3. Tabela da composição das ligas fabricadas analisadas no EDS.

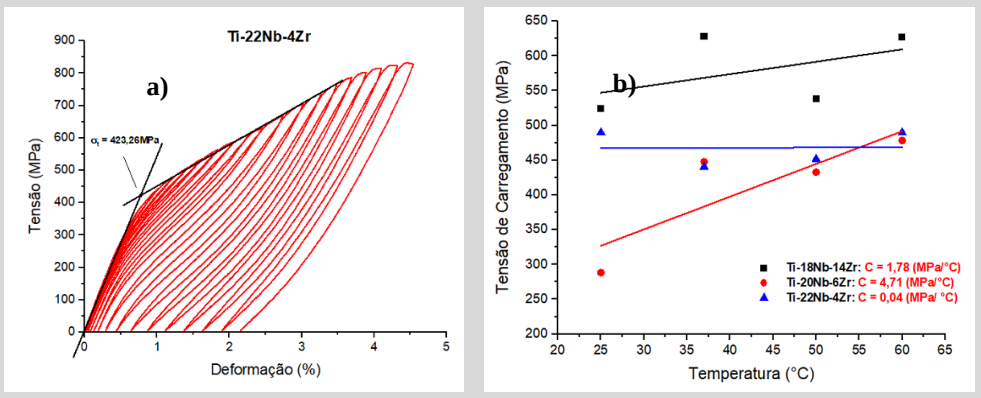


Figura 4. a) Ensaio quase estático realizado em uma das ligas; b) Gráfico do Coeficiente de Clausius-Clapeyron para as ligas estudadas.

Temperatura	Liga at.%	E (GPa)	ε_r (%)	$\sigma_{máx}$ (MPa)	$\varepsilon_{máx}$ (%)	σ_t (MPa)
Ambiente (25 °C)	Ti-18Nb-14Zr	52,03	2,15	958,00	4,87	889,90
	Ti-20Nb-6Zr	57,19	3,26	820,80	4,32	175,98
	Ti-22Nb-4Zr	56,08	2,70	810,10	6,41	391,43
37 °C	Ti-18Nb-14Zr	69,03	1,84	912,00	2,87	869,55
	Ti-20Nb-6Zr	57,36	3,08	872,10	4,53	434,35
	Ti-22Nb-4Zr	52,34	2,40	831,75	4,54	423,26
50 °C	Ti-18Nb-14Zr	53,33	1,70	884,55	7,00	814,94
	Ti-20Nb-6Zr	54,82	2,77	816,98	5,02	425,81
	Ti-22Nb-4Zr	61,42	2,17	781,83	5,54	458,19
60 °C	Ti-18Nb-14Zr	60,63	1,60	884,55	3,26	825,41
	Ti-20Nb-6Zr	59,17	2,60	844,74	5,31	490,49
	Ti-22Nb-4Zr	62,77	2,04	780,56	9,43	524,62

Figura 5. Tabela de propriedades Mecânicas extraídas nas ligas produzidas.

Conclusões

O estudo demonstrou a viabilidade da produção de ligas superelásticas Ti-Nb-Zr pelo processo Plasma Skull Push Pull (PSPP), bem como sua conformação por laminação e tratamento térmico. Embora as transformações de fase não tenham sido identificadas por DSC, as ligas apresentaram comportamento superelástico em ensaios termomecânicos. A liga Ti-20Nb-6Zr destacou-se, alcançando deformação recuperada superior a 3%, além de baixo módulo de elasticidade (52–69 GPa), característica favorável para aplicações biomédicas e odontológicas. Os resultados indicam que essas ligas são promissoras e justificam estudos adicionais para otimização de suas propriedades. Futuramente, espera-se ampliar as investigações sobre desempenho mecânico, estabilidade funcional e aplicações.

Referências e Agradecimentos

Geetha, M., A.K. Singh, R. Asokamani, e A.K. Gogia. “Ti based biomaterials, the ultimate choice for orthopaedic implants – A review.” Progress in Materials Science 54 (2009): 397 425.

Song, Y., D.S. Xu, R. Yang, D. Li, W.T. Wu, e Z.X. Guo. “Theoretical study of the effects of alloying elements on the strength and modulus of beta-type bio-titanium alloys.” Materials Science and Engineering A, n. 260 (1999): 269-274.

HANADA, S.; OZEKI, M.; IZUMI, O. Deformation characteristics in B phase Ti-Nb alloys. Metallurgical Transactions A, v. 16, n. 5, p. 789–795, 1985.