

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

VIVIANE LIMA FREITAS DA SILVA

Processamento e caracterização microestrutural e mecânica da liga biodegradável
Mg-4,8Y-2,8Gd-0,7Zr (% massa) para aplicações biomédicas

Lorena
2020

VIVIANE LIMA FREITAS DA SILVA

Processamento e caracterização microestrutural e mecânica da liga biodegradável
Mg-4,8Y-2,8Gd-0,7Zr (% massa) para aplicações biomédicas

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais na área de concentração de Materiais Convencionais e Avançados.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Angelo Nunes

Versão Corrigida

Lorena
2020

NÃO AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, SERÁ DISPONIBILIZADO AUTOMATICAMENTE APÓS 2 ANOS DA PUBLICAÇÃO

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Automatizado
da Escola de Engenharia de Lorena,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Silva, Viviane Lima Freitas da
Processamento e caracterização microestrutural e mecânica da liga biodegradável Mg-4,8Y-2,8Gd-0,7Zr (% massa) para aplicações biomédicas / Viviane Lima Freitas da Silva; orientador Carlos Angelo Nunes - Versão Corrigida. - Lorena, 2020.
84 p.

Dissertação (Mestrado em Ciências - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais na Área de Materiais Convencionais e Avançados) - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo.
2020

1. Biomateriais. 2. Ligas biodegradáveis. 3. Ligas de magnésio. 4. Liga mg-y-gd-zr. I. Título. II. Nunes, Carlos Angelo, orient.

Dedico este trabalho a todos os mestres e professores que contribuíram para minha formação, compartilhando, assim, esta conquista com cada um deles.

AGRADECIMENTOS

Ao concluir minha dissertação de mestrado, percebo que não realizei este trabalho sozinha! Tento, aqui, expressar minha gratidão em forma de palavras àqueles que, de alguma forma, me auxiliaram no desenvolvimento deste projeto.

Primeiramente, agradeço ao prof. Dr. Carlos Angelo Nunes, pela orientação para o desenvolvimento do trabalho e pelo compartilhamento, sempre tão gentil, de sua ampla experiência na metalurgia.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais (PPGEM) da Escola de Engenharia de Lorena (EEL/USP) pela estrutura de trabalho oferecida e aos professores que compõem o programa, cujas disciplinas ministradas enriqueceram meus conhecimentos para a execução do projeto.

Não posso deixar de agradecer aos demais funcionários do Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAR), sempre tão prestativos e, especialmente, aos técnicos Sérgio, Renato, Francisco Paiva, Dainese, Valdir e Sebastião, que me auxiliaram diretamente e por inúmeras vezes. Demonstro, também, gratidão aos colegas do DEMAR e do grupo de pesquisa “Phase”, pelas pacientes e inúmeras colaborações prestadas.

Agradeço o apoio prestado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por meio do processo 2018/20375-2, para o desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço, ainda, a tantos outros que caminharam comigo durante o período em que cursei o mestrado. Primeiramente a meus familiares, que são, e sempre foram, meus maiores incentivadores. A meu noivo, Sérgio, melhor amigo e grande colaborador em todos os projetos. Sou grata aos demais amigos. Aos de longa data, que continuam presentes, e aos que fiz durante o período em que residi na cidade de Lorena.

Por fim, agradeço a Deus, senhor soberano sobre todas as coisas que existem. Reconheço que tudo que foi conquistado e vivido é dádiva dele. A ele, o criador de tudo, supremo *designer* e cientista, que permite que homens e mulheres, por meio da ciência, desvendem os mistérios que há no universo. Hoje e sempre: *Soli Deo Gloria!*

RESUMO

SILVA, V. L. F. **Processamento e caracterização microestrutural e mecânica da liga biodegradável Mg-4,8Y-2,8Gd-0,7Zr (% massa) para aplicações biomédicas.** 2020. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2020.

As ligas metálicas são comumente utilizadas em aplicações biomédicas quando são necessárias propriedades como elevada resistência mecânica e à fratura. Atualmente, aços inoxidáveis, titânio e ligas cobalto-cromo são os materiais metálicos mais utilizados para esse fim. Entretanto, essas ligas são inadequadas para aplicações em que se objetiva a regeneração tecidual, o que abre espaço para a busca de materiais que atendam a esses requisitos. Nesse contexto, o magnésio e suas ligas têm apresentado promissoras propriedades como boa biocompatibilidade, excepcional taxa de biodegradação e módulo de Young mais próximo ao do osso cortical, além de alta resistência após adequado processamento. Pesquisas têm mostrado que as ligas de magnésio compostas por zircônio e terras raras possuem propriedades mecânicas desejáveis para aplicações biomédicas. Assim sendo, neste trabalho, tomando a liga Mg-4,8Y-2,8Gd-0,7Zr (% massa) como objeto de estudo, uma rota de processamento termomecânica foi proposta visando a produção de chapas. Por meio do estudo, foram definidos os parâmetros de processamento termomecânico adequados e realizada caracterização microestrutural e mecânica da liga. Após tratamento térmico de homogeneização (525°C por 12h), laminação a quente (500°C) para a produção de chapas de 3 mm de espessura e tratamento térmico de envelhecimento (200°C por 200 h), a liga apresentou seu melhor resultado em termos de propriedades mecânicas e mostrou-se competitiva com outras ligas do sistema Mg-Y-REE-Zr apresentadas na literatura.

Palavras-chave: Biomateriais. Ligas biodegradáveis. Ligas de magnésio. Liga Mg-Y-Gd-Zr.

ABSTRACT

SILVA, V. L. F. **Processing and microstructural and mechanical characterization of biodegradable Mg-4,8Y-2,8Gd-0,7Zr (% weigth) alloy for biomedical applications.** 2020. 84 p. Dissertation (Master of Science) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2020.

Metal alloys are commonly used in biomedical applications when properties such as high strength and high fracture toughness are required. Currently, stainless steels, titanium and cobalt-chromium alloys are the most used metallic materials as biomaterials. However, these alloys are unsuitable for applications aimed at tissue regeneration, which makes room for the development of materials that meet these requirements. In this context, magnesium and its alloys have shown promising properties such as good biocompatibility, exceptional rate of biodegradation and Young's modulus closer to that of cortical bone, in addition to high strength after adequate processing. Research has shown that magnesium alloys composed of zirconium and rare earths, generally, have desirable mechanical properties for biomedical applications. Therefore, in this work, taking the Mg-4.8Y-2.8Gd-0.7Zr (% mass) alloy as the object of study, a thermomechanical processing route is proposed aiming at the production of sheets. Through the study, the appropriate thermomechanical processing parameters are defined and microstructural and mechanical characterization of the alloy is performed. After homogenization heat treatment (525°C for 12 h), hot rolling (500°C) for the production of 3 mm thick sheets and aging treatment (200°C for 200 hours), the alloy showed its best performance in terms of mechanical properties. In this condition, the alloy proved to be competitive when compared to other Mg-Y-REE-Zr alloys.

Keywords: Biomaterials. Biodegradable alloys. Magnesium alloys. Mg-Y-Gd-Zr alloy.

