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

Fabricação de chapas à base de MgCa visando aplicação em implantes maxilofacial bioabsorvíveis

Guazzelli, C.[1]; Dias, J. C. M.[1]; Oliveira, J. L. [1]; Sousa, G. P.[1]; Teodoro, C. L.[1]; Baía, D. M.[2]; Ferreira, R. L.[1]; Nunes, C. A.[2]; Silva, Ferreira, R. L.[1] A. A. A. P.[1]; Freitas, B. X.[1]; 1.Universidade Federal de Itajubá; 2. Campus de São Carlos da Universidade de São Paulo

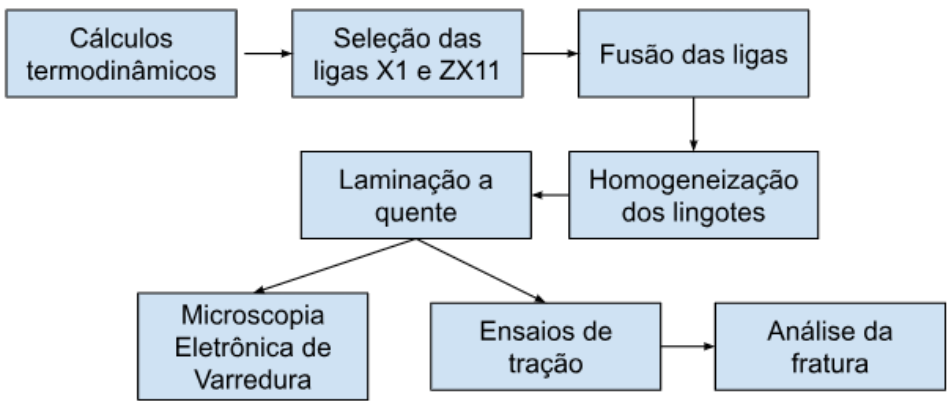
Introdução

Implantes maxilofaciais bioabsorvíveis representam uma alternativa aos implantes permanentes, pois eliminam a necessidade de cirurgias para remoção e reduzem complicações pós-operatórias (Akhmetshina, 2024). Entre os materiais candidatos, as ligas dos sistemas Mg-Ca e Mg-Ca-Zn destacam-se por serem constituídas por elementos biocompatíveis presentes no organismo, propriedades mecânicas e comportamento à corrosão adequados após processamento termomecânico (Yang, 2023). Simulações termodinâmicas indicam que a formação da fase Mg_2Ca contribui para o aumento da resistência mecânica, enquanto a adição de Zn favorece a formação da fase $Mg_6Ca_2Zn_3$, reduzindo a formação excessiva de Mg_2Ca e melhorando o comportamento à corrosão.

Objetivos

Desenvolver e caracterizar chapas de ligas dos sistemas Mg-Ca e Mg-Ca-Zn com potencial para aplicação em implantes maxilofaciais bioabsorvíveis, utilizando simulações termodinâmicas para definição das composições químicas e avaliando a influência do processamento termomecânico nas propriedades mecânicas em tração.

Metodologia



Resultados e Discussão

Os cálculos termodinâmicos para a liga X1 (Mg-0,8Ca (%m.)) indicam a formação da fase Mg_2Ca (C14 Laves) próxima a 780 °C, com fração volumétrica inferior a 2%, o que favorece o endurecimento por precipitação, como indicado na Figura 1 (a). Para a liga ZX11 (Mg-0.81Ca-1.33Zn (%m.)), a adição de Zn promove a formação da fase $Mg_6Ca_2Zn_3$, reduzindo a formação de Mg_2Ca quando comparado com a liga X1, o que pode contribuir para um comportamento à corrosão mais adequado.

O lingote obtido após a fusão é apresentado na Figura 1 (b). Possíveis defeitos de solidificação foram removidos após seu aplainamento anterior a laminação.

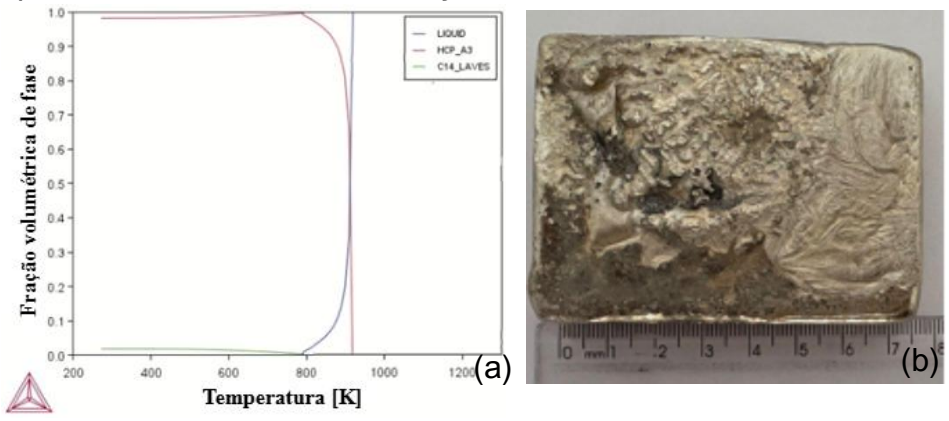


Figura 1. (a) Fração de fase x temperatura (K) e (b) lingote após fusão da liga X1.

A laminação a quente resultou em chapas com boa integridade superficial (Fig. 2 (a)) após redução de 77% aplicando-se múltiplos passes de laminação. Uma microestrutura homogênea da liga X1 pode ser observada na Figura 2 (b), com uma matriz de (Mg) com precipitados de Mg_2Ca dispersos.

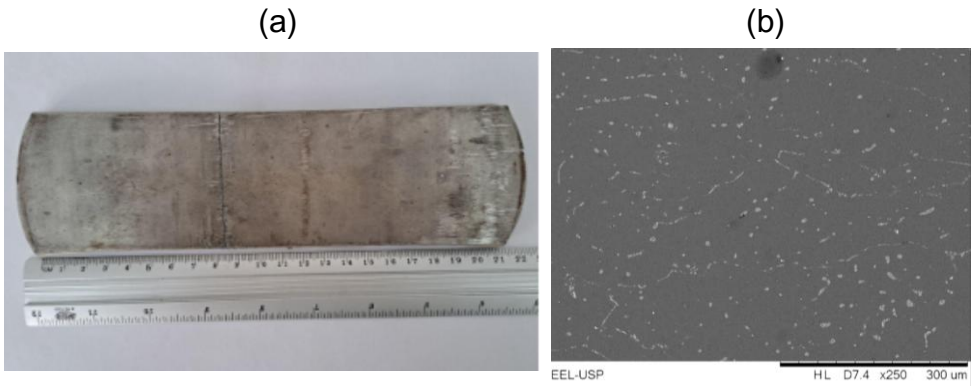


Figura 2. (a) chapa laminada e (b) micrografia (BSE) da chapa da liga X1.

A partir da Figura 3 (a), nota-se que as curvas de tensão x deformação para todas as ligas, nos sentidos paralelo (0°) e perpendicular a direção de laminação (90°), foram similares, apresentando apenas cerca de 1% de variação entre elas. Além disso, ao analisar a Figura 3 (b) observa-se que os maiores valores obtidos para a tensão limite de escoamento (TLE) foram para a liga X1, enquanto que para a tensão limite de resistência a tração (TLR) foram para a liga ZX11, sendo que ambas tiveram aumento significativo em relação ao Mg puro laminado. Comparando com outros trabalhos da literatura baseando-se em ligas de composição química próximas ao deste trabalho, verifica-se que a variação do processamento tem grande influência nas propriedades finais. Este trabalho obteve propriedades em torno de 50% maiores que as obtidas por Bakhsheshi-Rad, H. R. et al. (2014), que analisa as ligas como fundidas, em torno de 40% maiores que Zeng, Z. R. et al. (2015), que realizou recozimento após a laminação, e cerca de 50% menor em TLE e muito próximos em relação a TLR com o trabalho de Dargusch, M. S. et al. (2022), que produziu as chapas por lingotamento contínuo seguido de laminação a quente.

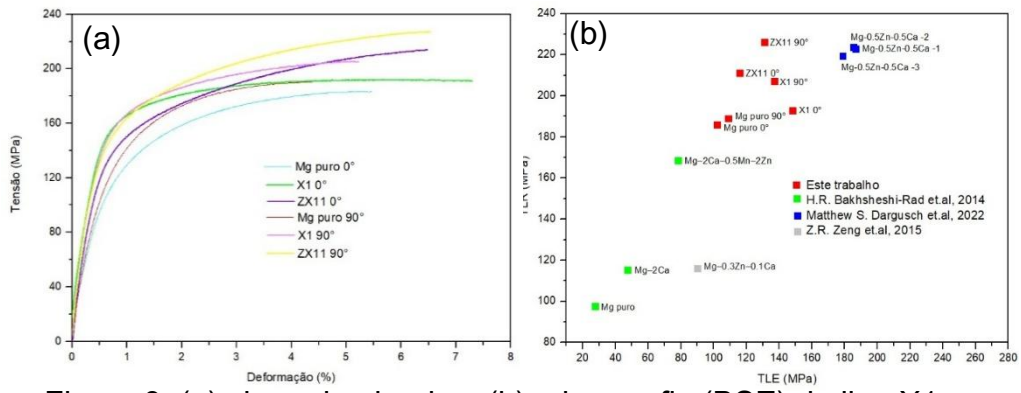


Figura 3. (a) chapa laminada e (b) micrografia (BSE) da liga X1.

A partir das Figuras 4 (a) e (b) nota-se que a liga X1 apresentou fratura dúctil enquanto que a liga ZX11 apresentou fratura predominantemente frágil, o que pode ser justificado pela presença da fase $Mg_6Ca_2Zn_3$.

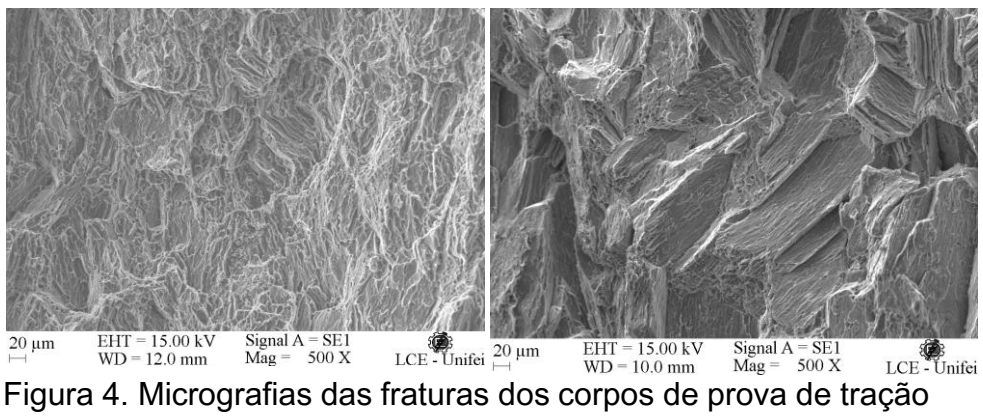


Figura 4. Micrografias das fraturas dos corpos de prova de tração das chapas das ligas (a) X1 e (b) ZX11.

Conclusões

O aumento de resistência mecânica observada é atribuída à precipitação das fases Mg_2Ca e $Mg_6Ca_2Zn_3$, à solução sólida de Ca e Zn no Mg e processo de laminação. Além disso a micrografia do lingote mostrou um material homogeneizado, demonstrando que o estudo é o primeiro passo para produzir potenciais implantes maxilofaciais.

Referências e Agradecimentos

AKHMETSHINA, Tatiana; BERGER, Leopold;BASU, Indranil et al. *High-performance ultra-lean biodegradable Mg–Ca alloys and guidelines for their processing.* Acta Materialia, v. 278, 2024.

BAKHSHESHI-RAD, H. R. et al. *Mechanical and bio-corrosion properties of quaternary Mg–Ca–Mn–Zn alloys compared with binary Mg–Ca alloys.* Materials & Design, v. 53, p. 283-292, 2014.

DARGUSCH, Matthew S. et al. *In vivo performance of a rare earth free Mg–Zn–Ca alloy manufactured using twin roll casting for potential applications in the cranial and maxillofacial fixation devices.* Bioactive Materials, v. 12, p. 85-96, 2022.

YANG, Yan; XIONG, Xiaoming; CHEN, Jing et al. *Research advances of magnesium and magnesium alloys worldwide in 2022.* Journal of Magnesium and Alloys, v. 11, p. 2611–2654, 2023.

ZENG, Z. R. et al. *Annealing strengthening in a dilute Mg–Zn–Ca sheet alloy.* Scripta Materialia, v. 107, p. 127-130, 2015.

Agradecimento à Universidade Federal de Itajubá pela infraestrutura disponibilizada e à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais, processo nº APQ-00682-24, pelo apoio.