

# EFEITO DOS TRATAMENTOS TÉRMICOS NA MORFOLOGIA DO GRÃO E NA TEXTURA CRISTALOGRÁFICA DO IN625 PRODUZIDO POR MA ATRAVÉS DA TÉCNICA LPBF.

## EFFECT OF HEAT TREATMENTS ON THE GRAIN MORPHOLOGY AND CRYSTALLOGRAPHIC TEXTURE OF IN625 PRODUCED BY MA VIA THE LPBF TECHNIQUE.

João C. Ferreira<sup>1,2\*</sup>, Jhonatan P. de Sousa<sup>1,2</sup>, Marcelly C. N. de Carvalho<sup>2</sup>, Isaac Araújo Furtado<sup>2</sup>, Luciano A. F. Maturana<sup>3</sup>, Cristina M. V. Gutiérrez<sup>4</sup>, Clodualdo Aranas<sup>5</sup>, Jairo A. M. Bolaños<sup>6</sup>, José M. C. Marrero<sup>6</sup> e Samuel F. Rodrigues<sup>1,2,7</sup>.

1. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina, 64049-550, PI, Brasil.
2. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Laboratório de Ensaios Mecânicos e Termomecânicos (LABENSAIOS), São Luís, MA, Brasil.
3. Departamento de Engenharia Metalúrgica, Universidade de Santiago do Chile (USACH), Santiago, Chile.
4. Departamento de Metalurgia, Universidade Nacional Autónoma do México (UNAM), Cidade do México, México.
5. Engenharia Mecânica, Universidade de New Brunswick (UNB), Fredericton, NB, E3B 5A3, Canadá.
6. Processos de Conformação de Materiais Metálicos (PROCOMAME), Departamento de Ciência dos Materiais e Engenharia Metalúrgica, Universidade Politécnica da Catalunha: Catalunha, 08930, Espanha.
7. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), São Luís, 65030-005, MA, Brasil.

[joao.ferreira@ufpi.edu.br](mailto:joao.ferreira@ufpi.edu.br)

## RESUMO

Neste estudo a superliga a base de níquel (Inconel 625) reconhecida por sua excelente resistência mecânica e à corrosão em altas temperaturas, e comumente empregada no setor aeroespacial e de energia [1] foi construída por manufatura aditiva (MA) através da técnica de Fusão em Leito de Pó a Laser (LPBF). A presente superliga passou por um programa de tratamentos térmicos que consistiu, inicialmente, em homogeneização a 1100°C por 1 e 3 horas, seguido solubilização a 950°C por 40, 80 e 120 minutos e por fim envelhecida a 750°C por 6 horas. O objetivo deste é investigar o efeito do tratamento térmico na evolução da microestrutura, particularmente em relação à morfologia dos grãos e à textura cristalográfica. A técnica de EBSD foi empregada para verificação da morfologia dos grãos e da textura cristalográfica. A comparação entre as condições "as-built" e tratadas revelou uma redução no tamanho dos grãos, alterações na morfologia e variações nos níveis de desorientação intergranular e intragranular. Inicialmente,

*na condição as-built, a microestrutura apresentou grãos colunares que cresciam paralelamente à direção de construção. Esses grãos apresentavam uma desorientação média elevada, confirmada pela análise de (KAM), e altas deformações internas indicadas pelo (GOS). No entanto, após os tratamentos térmicos, os grãos apresentaram morfologia equiaxial devido ao fenômeno de recristalização. Tanto os valores de KAM quanto de GOS diminuíram significativamente, confirmando o efeito da recristalização na estrutura dos grãos [2]. As Figuras de Pólos Inversas (IPF) mostraram uma orientação predominante  $\langle 001 \rangle // BD$ , e as Figuras de Pólos (PF) confirmaram a forte presença das componentes  $\{100\} \langle 001 \rangle$  e  $\{110\} \langle 001 \rangle$  na condição as-built. Em contraste, o material tratado apresentou uma textura aleatória [3]. Esses resultados indicam que os tratamentos térmicos propostos como técnica de pós-processamento são efetivos para desconstruir a microestrutura anisotrópica gerada pelo processo LPBF, tanto em termos de morfologia dos grãos quanto de textura cristalográfica, promovendo uma microestrutura mais homogênea e isotrópica.*

**Palavras-chave:** Inconel 625, Tratamento térmico, Recristalização, e Textura cristalográfica.

## ABSTRACT

*In the present study, the Inconel 625 superalloy—recognized for its excellent mechanical strength and high-temperature corrosion resistance, and commonly employed in the aerospace sector [1]—was manufactured by additive manufacturing using the Laser Powder Bed Fusion (LPBF) technique and subsequently subjected to solution, homogenization, and aging heat treatments with increasing exposure times. The objective was to investigate the effect of heat treatment on microstructural evolution, particularly regarding grain morphology and crystallographic texture. EBSD was employed to analyze grain morphology and crystallographic texture. The comparison between the as-built and heat-treated conditions revealed a reduction in grain size, changes in morphology, and variations in both intergranular and intragranular misorientation levels. Initially, in the as-built condition, the microstructure exhibited columnar grains growing parallel to the build direction. These grains showed high average misorientation, confirmed by KAM analysis, and high internal strains indicated by GOS. However, after heat treatments, the grains exhibited equiaxed morphology due to recrystallization. Both KAM and GOS values significantly decreased, confirming the effect of recrystallization on grain structure [2]. EBSD data were processed using ATEX software for crystallographic texture analysis. Inverse Pole Figures (IPF) showed a predominant  $\langle 001 \rangle // BD$  orientation, and Pole Figures (PF) confirmed the strong presence of the  $\{100\} \langle 001 \rangle$  and  $\{110\} \langle 001 \rangle$  components in the as-built condition. In contrast, the heat-treated material displayed a random crystallographic texture [3]. These results indicate that the proposed post-processing heat treatments are effective in disrupting the anisotropic microstructure generated by the LPBF process, both in terms of grain morphology and crystallographic texture, and in promoting a more homogeneous and isotropic microstructure.*

**Keywords:** Inconel 625, Heat treatment, Recrystallization e Crystallographic texture.

## REFERÊNCIAS

- [1] Blakey-Milner, B.; Gradl, P.; Snedden, G.; Brooks, M.; Pitot, J.; Lopez, E.; Leary, M.; Berto, F.; du Plessis, A. Metal Additive Manufacturing in Aerospace: A Review. *Mater Des* 2021, 209, 110008, doi:10.1016/j.matdes.2021.110008.
- [2] Doğu, M.N.; Ozer, S.; Yalçın, M.A.; Davut, K.; Bilgin, G.M.; Obeidi, M.A.; Brodin, H.; Gu, H.; Brabazon, D. Effect of Solution Heat Treatment on the Microstructure and Crystallographic Texture of IN939 Fabricated by Powder Bed Fusion-Laser Beam. *Journal of Materials Research and Technology* 2023, 24, 8909–8923, doi:10.1016/j.jmrt.2023.05.152.
- [3] Kreitzberg, A.; Brailovski, V.; Turenne, S. Effect of Heat Treatment and Hot Isostatic Pressing on the Microstructure and Mechanical Properties of Inconel 625 Alloy Processed by Laser Powder Bed Fusion. *Materials Science and Engineering: A* 2017, 689, 1–10, doi:10.1016/j.msea.2017.02.038.