



Workshop de Pesquisa
em Manufatura

ANAIS DO V WORKSHOP DE PESQUISA EM MANUFATURA



Workshop de Pesquisa
em Manufatura

ANAIS DO V WORKSHOP DE PESQUISA EM MANUFATURA



EDITORA
OMNIS SCIENTIA

Editora Omnis Scientia

ANAIS DO V WORKSHOP DE PESQUISA EM MANUFATURA

Volume 1

1ª Edição

TRIUNFO – PE

2021

PROMOÇÃO:

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEMec/UFSCar)

Apresentadores (as):

Adailton Gomes Pereira

Alana Carla Miranda Araújo

Bruna Oliveira da Silva

Bruno Alexandre Roque

Caique de Castro Gonçalves

Cassiano da Silva Tavares

Cristie Luis Kugelmeier

Gustavo Roberto dos Santos

Henrique A. C. Durello

Hugo Emanuel de Andrade Costa

Jonatan Augusto da Silva

Leones Contini Junior

Marco Gabriel Lorenzoni

Matheus Luis Manfredo

Paulo De Tarso Durigan

Rafael Fernando Teixeira

Talia Gibim

Tony Emerson Marim.

Participantes do painel:

Carlos Eiji Hirata Ventura

Danielle Cristina Camilo Magalhães

Rodrigo da Silva (“PPGEMec: Presente e futuro”).

Palestrante:

Yayue Pan - University of Illinois Chicago (“Field-assisted Photopolymerization-based Additive Manufacturing for Productions of Multi-Functional Materials and Devices”)

Comitê científico:

Alexandre Tácito Malavolta

Carlos Eiji Hirata Ventura

Danielle Cristina Camilo Magalhães

Flávio Yukio Watanabe

Marcos Roberto Monteiro

Rodrigo da Silva

Sérgio Henrique Evangelista.

Comissão organizadora:

Adailton Gomes Pereira

Armando Ítalo Sette Antonialli

Bruna Oliveira da Silva

Edson Bruno Lara Rosa

Sidney Bruce Shiki.

Imagem de Capa

Freepik

Edição de Arte

Vileide Vitória Larangeira Amorim

Revisão

Os autores



Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons – Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.

O conteúdo abordado nos artigos, seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

W912a Workshop de Pesquisa em Manufatura (5 : 2021)
Anais do [...] / V Workshop de Pesquisa em Manufatura, 10
dezembro 2021. – Triunfo, PE: Omnis Scientia, 2021.
52 p.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-65-88958-78-0

DOI 10.47094/978-65-88958-78-0

1. Engenharia mecânica – Brasil – Congressos. 2. Manufaturas.
I. Título.

CDD 621.7

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Editora Omnis Scientia

Triunfo – Pernambuco – Brasil

Telefone: +55 (87) 99656-3565

editoraomnisscientia.com.br

contato@editoraomnisscientia.com.br



PREFÁCIO

A exemplo do ensino e da extensão, a pesquisa no âmbito da Engenharia Mecânica apresenta-se bastante ampla e diversificada. A ramificação mais canônica dessa modalidade de engenharia aponta para três áreas fundamentais: Projeto de Sistemas Mecânicos, Ciências Fluidotérmicas e Processos de Fabricação. Outras subdivisões, como Dinâmica e Vibrações, Mecatrônica e Metrologia, flutuam entre as três grandes áreas. Sendo assim, a nucleação e o crescimento do Grupo de Pesquisa em Manufatura Inteligente (GPMI), devidamente registrado no Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq e reconhecido pela UFSCar, têm sido salutar no sentido da consolidação do Departamento de Engenharia Mecânica (DEMec) e do curso de graduação em Engenharia Mecânica. Da mesma forma, O GPMI se mostra essencial enquanto alicerce para o recém-criado curso de mestrado acadêmico dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEMec), conferindo-lhe vocação e identidade. Finalmente, a comunicação e a difusão dos resultados obtidos pelo grupo propiciam o alinhamento do mesmo ao lema da UFSCar: excelência acadêmica e compromisso social. O objetivo geral do "V Workshop de Pesquisa em Manufatura" consiste em disseminar os trabalhos em andamento dentro do Grupo de Pesquisa em Manufatura Inteligente (GPMI) e de outros grupos afins à área de Manufatura, promovendo discussões profícuas e de alto nível com o público interno e externo à universidade. Como objetivos específicos, destacam-se a exposição dos estudantes de graduação e pós-graduação a um ambiente de conferência científica sem sair de casa e a oportunidade de contar com convidados com grande potencial de contribuição a essa área do conhecimento. O evento foi realizado ao longo do dia 10 de dezembro de 2021, de forma online, de maneira a viabilizar e fomentar a participação de uma parcela significativa de estudantes.

SUMÁRIO

INFLUÊNCIA DA SENSIBILIDADE DE PARÂMETROS DOS MODELOS DE AVRAMI NAS CINÉTICAS DE RECRISTALIZAÇÃO SOBRE O TAMANHO DE GRÃO EM UM PROCESSO DE LAMINAÇÃO A QUENTE DE LIGA DE AÇO SAE 4140.....	10
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA EXTRUSÃO EM CANAL ANGULAR COM TORÇÃO (ECA-T): INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA NA DEFORMAÇÃO.....	13
OTIMIZAÇÃO TOPOLÓGICA APLICADA NO CONTEXTO DE PRÓTESES HUMANAS.....	15
PROCESSO DE DOBRAMENTO A FRIO DE CHAPAS FINAS METÁLICAS: ANÁLISES POR ELEMENTOS FINITOS, EXPERIMENTOS E MODELO MATEMÁTICO PARA COMPENSAÇÃO DO RETORNO ELÁSTICO.....	17
FORÇAS NA ESTAMPAGEM INCREMENTAL DE CHAPA FINA METÁLICA POR MEIO DE EXPERIMENTOS E ANÁLISES POR ELEMENTOS FINITOS.....	19
MODELAGEM DE CURVAS DE FLUXO PLÁSTICO DE UM AÇO BIFÁSICO UTILIZANDO INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.....	22
APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE MACHINE LEARNING PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PEÇAS IMPRESSAS EM 3D.....	24
ESTUDO DA PREVISIBILIDADE DO ERRO DE TRANSMISSÃO DE ENGRENAGENS DE DENTES RETOS PARA PROJETO DE MODIFICAÇÕES DE MICROGEOMETRIA.....	26
CONTRIBUIÇÃO DO PRÉ-AQUECIMENTO DO SUBSTRATO NA PREVENÇÃO DE TRINCAS EM REVESTIMENTOS GERADOS POR LASER CLADDING.....	28
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE CORTE SOBRE O ESTADO DE SUPERFÍCIE NO TORNEAMENTO DA LIGA TI-6AL-4V ELI.....	30
INFLUÊNCIA DO TAMANHO DO GRÃO DO REBOLO NA QUALIDADE SUPERFICIAL DO INSERTO DE CORTE DE METAL DURO RETIFICADO.....	36
INVESTIGAÇÃO DOS MECANISMOS DE REMOÇÃO DE MATERIAL NA RETIFICAÇÃO DE INSERTOS DE CORTE.....	38
SHUNT PIEZOELÉTRICO PARA CONTROLE PASSIVO DE CHATTER NO PROCESSO DE TORNEAMENTO DE LIGAS DE TITÂNIO.....	40
AVALIAÇÃO DE TEXTURAS INDUZIDAS POR VIBRAÇÃO NO TORNEAMENTO DURO DE UM AÇO FERRAMENTA.....	42
INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO CONTROLE TÉRMICO ATIVO SOBRE A RESISTÊNCIA MECÂNICA E QUALIDADE SUPERFICIAL DE PEÇAS IMPRESSAS PELA TÉCNICA FPM.....	44

ATUALIZAÇÃO DE MÁQUINAS-FERRAMENTA ANTIGAS ATRAVÉS DE INSTRUMENTAÇÃO DE BAIXO CUSTO: UM ESTUDO SOBRE O EFEITO DO MONITORAMENTO DO PROCESSO DE TORNEAMENTO NA QUALIDADE SUPERFICIAL.....	46
AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL DO AÇO INOXIDÁVEL LEAN DUPLEX 2404 APÓS SIMULAÇÕES DE CICLOS TÉRMICOS DE ZONAS TERMICAMENTE AFETADAS REALIZADAS POR GLEEBLE.....	48
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO ACABAMENTO SUPERFICIAL NA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DO AÇO 1020 EM BIODIESEL E SUAS MISTURAS COM ÓLEO DIESEL.....	50

AValiação MICROESTRUTURAL DO AÇO INOXIDÁVEL LEAN DUPLEX 2404 APÓS SIMULAÇÕES DE CICLOS TÉRMICOS DE ZONAS TERMICAMENTE AFETADAS REALIZADAS POR GLEEBLE

^{a,b}Cristie Luis Kugelmeier

^{a,b}Guilherme dos Santos Vacchi

^{a,b}Rodrigo da Silva

^{a,b}Carlos Alberto Della Rovere

^aLaboratório de Corrosão Munir Rachid, Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luis Km 235, 13565-905, São Carlos, SP, Brasil

^bPrograma de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luis Km 235, São Carlos 13565-905, SP, Brasil

cristieluis@gmail.com, guivacchi@hotmail.com, rsilvacorr@gmail.com, carlosdrovere@gmail.com

Resumo: O objetivo deste estudo foi realizar simulações de ciclos térmicos para avaliar a microestrutura resultante de zonas termicamente afetadas (ZTAs) em amostras do aço inoxidável lean duplex (AILD) 2404. Através de simulações utilizando simulador termomecânico Gleeble[®], as simulações foram realizadas em duas condições: 1) taxa de aquecimento de 400 °C/s, temperatura de pico de 1350 °C, permanência de 3 segundos e taxa de resfriamento 20 °C/s até 800 °C e posterior resfriamento à temperatura ambiente, e 2) taxa de aquecimento de 400 °C/s, temperatura de pico de 1050 °C, permanência de 2 minutos e taxa de resfriamento de 5 °C/s até a temperatura ambiente, condições estas que simularam diferentes regiões de exposição das ZTAs. As microestruturas resultantes foram analisadas por meio de microscopia ótica (MO), quantificação do percentual de fases, e difração de raios X (DRX). Os resultados mostraram que os ciclos térmicos (aquecimento e resfriamento) exercem influência na microestrutura do material. Conforme a taxa de resfriamento passou de 20 °C/s para 5 °C/s, a microestrutura apresentou um balanço de fases ferrita/austenita mais próximo de 1:1. Pelos difratogramas foi possível observar que em ambas as taxas de resfriamento as amostras apenas apresentaram picos característicos das fases ferrita e austenita.

Palavras-chaves: Aço inoxidável lean duplex 2404, ZTA, Gleeble, Simulação de ciclos térmicos, Corrosão

1. INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis da classe duplex (AIDs) são amplamente utilizados na indústria química, petroquímica, marinha, nuclear e indústria de papel, devido a sua atrativa combinação de propriedades mecânicas, soldabilidade e de resistência à corrosão em vários ambientes (Neville, 1996), resultado de sua estrutura bifásica composta por frações aproximadamente iguais das fases ferrita e austenita (Silva et al. 2017). Porém, devido ao alto custo da adição elementos de liga (particularmente Ni e Mo) nos AIDs, uma nova classe de aços inoxidáveis denominada de aços inoxidáveis lean duplex (AILDs) tem despertado considerável atenção. Esta nova classe contém menor teor de liga como é caso do Mo e alto teor de Mn e N, e em alguns casos Cr, combinando boa resistência mecânica com resistência à corrosão. Essas características tornam os AILDs adequados para projetos que requerem resistência à corrosão, durabilidade, eficiência de custo a longo prazo e com reduzida manutenção (Silva et al. 2017).

No entanto, em processos industriais como a soldagem, a realização inadequada deste procedimento pode ocasionar a precipitação de nitretos e carbonetos de Cr e compostos intermetálicos, além de uma alteração na fração volumétrica entre as fases ferrita e austenita (Liou

et al. 2002). Assim, o objetivo do estudo foi simular ciclos térmicos em amostras do AILD 2404 para avaliar o efeito de taxas de resfriamento sobre a microestrutura do material.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho foi utilizado o aço inoxidável lean duplex AILD 2404, fornecido pela empresa *Outokumpu* na forma de chapa laminada a quente com espessura de 6,1 mm, a qual foi solubilizada a 1050 °C por

1 h e resfriada em água em temperatura ambiente. Posteriormente, foram usinados corpos de prova nas dimensões de aproximadamente 80,0 mm x 10,0 mm x 4,5 mm, mantendo a direção longitudinal paralela à direção de laminação. Os corpos de prova foram submetidos às simulações de ciclos térmicos através da utilização de simulador termomecânico Gleeble[®] 3800. As taxas de resfriamento aplicadas foram de 20 e 5 °C/s. As simulações foram realizadas sob vácuo a partir da temperatura ambiente a uma taxa de aquecimento de 400

°C/s com: i) temperatura de pico de 1350 °C e tempo de permanência de 3 segundos; e ii) temperatura de pico de 1050 °C, tempo de permanência de 2 minutos e resfriamento até temperatura ambiente. As diferentes temperaturas de pico e tempo de permanência visaram reproduzir regiões da ZTA mais próxima e mais distante

da linha de fusão (LF), respectivamente, como observado em processos de soldagem, com a fusão do material ou do metal de adição.

3. RESULTADOS PRELIMINARES

A Figura 1 mostra as micrografias óticas das amostras submetidas aos ciclos térmicos com taxas de resfriamento de (a) 20 °C/s e (b) 5 °C/s, (c) amostra solubilizada, e (d) fração de fase ferrita. Nota-se que a taxa de resfriamento de 20 °C/s causou ao material uma significativa alteração microestrutural. Quando a temperatura de pico atingiu 1350 °C e foi mantida por 3 segundos, a microestrutura tornou-se predominantemente ferrítica. Com a aplicação da taxa de resfriamento foi possível observar a formação de diferentes tipos de austenita secundária secundárias, como a austenita de Widmanstätten (AW), austenita de contorno de grão (ACG) e austenita intragranular (AIG).

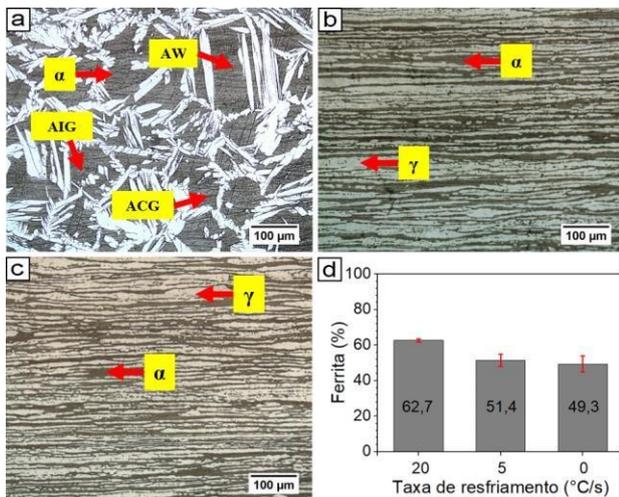


Figura 1: Micrografias óticas do AILD 2404 após ciclos térmicos com taxas de resfriamento de (a) 20 °C/s e (b) 5 °C/s, (c) amostra solubilizada, e (d) fração de ferrita.

Para a taxa de resfriamento de 5 °C/s, [Figura 1 (b)], é observada uma microestrutura semelhante àquela vista para a amostra solubilizada [Fig. 1 (c)], ou seja, constituída por ilhas de austenita (coloração mais clara) dispersas na matriz ferrítica (coloração mais escura), com as fases alongadas na direção de laminação.

Os resultados da quantificação de fases realizada por metalografia quantitativa revelaram que na condição de 20 °C/s o percentual de ferrita foi de ~63%, enquanto que para a condição de 5 °C/s, correspondeu a ~51, e para a amostra solubilizada foi de ~49%.

Pelo difratograma da Figura 2, nota-se que nas duas taxas de resfriamento aplicadas, as amostras apresentaram somente picos característicos das fases ferrita e austenita sem a presença de fases intermetálicas. Contudo, a intensidade relativa dos picos difere de uma condição da outra. É observado que a intensidade relativa do pico de austenita é menor na condição de taxa de resfriamento de 20 °C/s com relação à condição de 5 °C/s, indicando que a fração de austenita formada é bem menor na condição de 20 °C/s, corroborando com a quantificação de fases realizada por metalografia quantitativa.

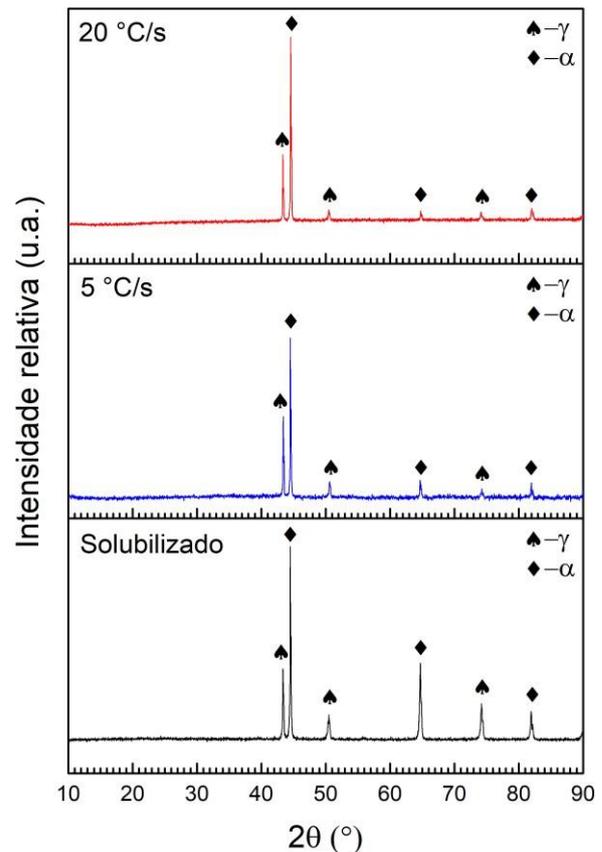


Figura 2: DRX do AILD 2404 após as taxas de resfriamento de 20 °C/s e 5 °C/s, e amostra solubilizada.

4. CONCLUSÃO

As simulações realizadas mostraram que a condição aplicada para a taxa de resfriamento de 20 °C/s causou uma maior ferritização do material e o surgimento de diferentes austenitas secundárias, enquanto que à 5 °C/s, com tempo mais prolongado de resfriamento, obteve-se uma microestrutura semelhante à amostra solubilizada.

5. REFERÊNCIAS

- Liou, H.Y., Hsieh, R.I., Tsai, W.T., 2002. "Microstructure and stress corrosion cracking in simulated heat-affected zones of duplex stainless steels". *Corrosion Science*, Vol. 44, pp. 2841–56.
- Neville, A., 1996. "An assessment of the corrosion behaviour of high-grade alloys in seawater at elevated temperature and under a high velocity impinging flow". *Corrosion Science*, Vol. 38, pp. 927–56.
- Silva, R., Baroni, L.F.S., Kugelmeier, C.L., Silva, M.B.R., Kuri, S.E., Rovere, C.A.D., 2017 "Thermal aging at 475 °C of newly developed lean duplex stainless steel 2404: Mechanical properties and corrosion behavior". *Corrosion Science*, Vol. 116, pp. 66–73.



editoraomnisscientia@gmail.com 

<https://editoraomnisscientia.com.br/> 

@editora_omnis_scientia 

<https://www.facebook.com/omnis.scientia.9> 

+55 (87) 9656-3565 



editoraomnisscientia@gmail.com 

<https://editoraomnisscientia.com.br/> 

@editora_omnis_scientia 

<https://www.facebook.com/omnis.scientia.9> 

+55 (87) 9656-3565 