

SIMULAÇÃO DE CRESCIMENTO DE GRÃO EM METAIS: UMA ABORDAGEM ATIVA PARA O ENSINO TÉCNICO.

Brenda Pereira Secco Freire, Cláudia Ferreira de Oliveira, Joyce Rocha Rodrigues, Marcelo Chagas, Sayd Farage David.

Instituto Federal do Espírito Santo/Técnico em Mecânica, Rodovia ES-482 Fazenda Morro Grande - 29311-970 – Cachoeiro de Itapemirim-ES, Brasil, freirebrenda08@gmail.com, ofda2015@gmail.com, joycerocharodrigues14@gmail.com, marcelo.chagas@ifes.edu.br, saydfd@ifes.edu.br

Resumo

Este estudo investiga a eficácia das metodologias ativas na educação técnica por meio da criação de um aparato experimental inovador para simular o crescimento de grãos em metais. O objetivo é promover uma aprendizagem mais concreta e engajadora, aproximando os alunos dos conceitos teóricos através de uma abordagem prática. Os resultados indicam que o modelo desenvolvido facilita uma compreensão visual e prática dos fenômenos de recristalização, aumentando significativamente o engajamento e a retenção do conhecimento pelos alunos. A aplicação dessas metodologias mostrou-se eficaz na promoção de um ambiente de aprendizado mais interativo e de maior impacto educacional.

Palavras-chave: Ensino Técnico em Mecânica, Recristalização em Metais, Metodologias Ativas, Aprendizagem Baseada em Projetos, Simulação de Processos Metalúrgicos.

Curso: Técnico em Mecânica

Introdução

As metodologias ativas vêm ganhando destaque na educação técnica, promovendo um aprendizado mais centrado no aluno e facilitando a compreensão de conceitos complexos (Freeman et al., 2014). No contexto do ensino de mecânica, a recristalização em metais é um processo crucial que afeta diretamente as propriedades mecânicas dos materiais, como a ductilidade e a resistência (Callister & Rethwisch, 2016). Este fenômeno envolve o crescimento de grãos cristalinos, influenciado por fatores como temperatura e deformação. Humphreys e Hatherly (2004) destacam a importância do controle dessas variáveis para otimizar o desempenho dos metais na indústria.

Além disso, Li e Godfrey (2013) investigaram a relação entre a movimentação de fronteiras de grão e a deformação, fornecendo uma base teórica para estudos experimentais. Este artigo explora a aplicação de metodologias ativas através de um aparato experimental que simula o crescimento de grãos em metais, proporcionando uma compreensão prática do processo de recristalização. O objetivo é integrar teoria e prática, facilitando o aprendizado e preparando os alunos para desafios profissionais.

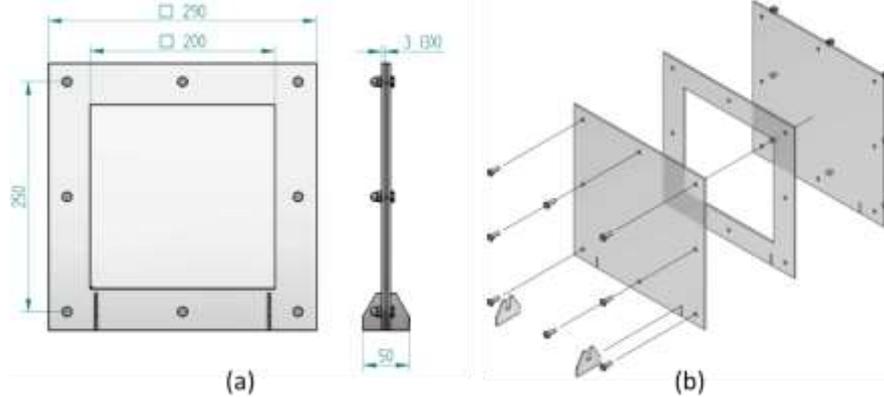
Metodologia

Para a simulação do crescimento de grão em metais, desenvolveu-se um modelo físico com base em estudos teóricos sobre recristalização, como os apresentados por Callister e Rethwisch (2016) e Humphreys e Hatherly (2004). O modelo foi composto por placas de acrílico de 3 mm de espessura, entre as quais foram dispostas 2000 esferas de aço de 25 mm de diâmetro, representando os átomos do metal. A estrutura foi montada com 8 parafusos de inox M6 e porca calota para fixar as placas. Um sistema de vibração foi acoplado para simular o movimento térmico dos átomos, fundamental para o crescimento de grão.

As placas de acrílico foram desenhadas no software CAD FreeCAD, assegurando precisão no design e nos furos para os parafusos (Figura 1). Posteriormente, foram cortadas a laser utilizando

uma máquina Delta CNC CO2 L6040, resultando em peças que se encaixavam perfeitamente, formando a estrutura básica do modelo.

Figura 1: Modelo em CAD (a) com as medidas e (b) esquema de montagem.



Fonte: Autores (2024).

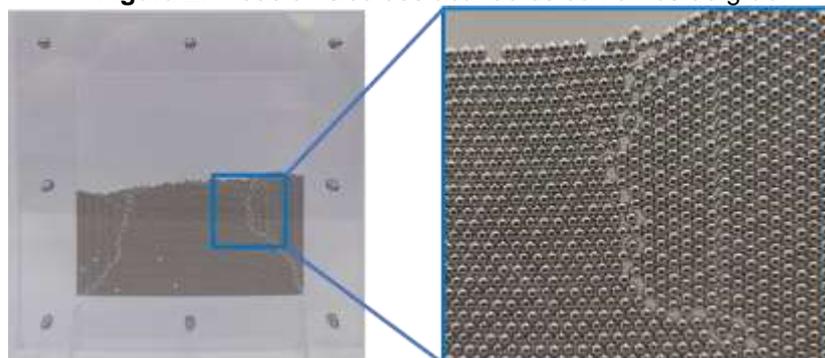
Após a montagem do modelo, as esferas de aço foram distribuídas uniformemente entre as placas de acrílico. O sistema de vibração foi utilizado para simular o movimento térmico dos átomos durante o processo de crescimento de grão. A simulação foi registrada em intervalos regulares de tempo, utilizando fotografias e vídeos para análise posterior. Os alunos foram orientados a observar e registrar as mudanças nas configurações das esferas, correlacionando-as com os conceitos teóricos de recristalização.

Esta abordagem permitiu uma correlação prática com os conceitos teóricos, facilitando a compreensão da dinâmica do crescimento de grão (Li & Godfrey, 2013). A metodologia visa fornecer uma experiência de aprendizado ativa e visual, aprimorando a retenção do conhecimento pelos alunos.

Resultados

A simulação do crescimento de grão em metais utilizando o modelo físico permitiu observar fenômenos teóricos de recristalização de forma prática e detalhada. As esferas de aço, inicialmente distribuídas de maneira desorganizada, começaram a se reorganizar progressivamente com a ativação do sistema de vibração, simulando o processo de recristalização. Este comportamento está de acordo com o descrito por Humphreys e Hatherly (2004), que destacam a influência da energia térmica na mobilidade de fronteiras de grão.

Figura 2: Modelo físico destacando os contornos de grão.



Fonte: Autores (2024).

Como ilustrado na Figura 2, que destaca os contornos de grão formados pelas esferas de aço, observou-se que o aumento da frequência da vibração acelerou o processo de nucleação e crescimento dos grãos. No início da simulação, as esferas estavam distribuídas de forma menos

uniforme, com um maior número de grãos pequenos. À medida que a simulação progredia, as esferas se reorganizavam, formando limites de grãos maiores, o que é visível nas diferentes fases do processo representadas na Figura 3.

Figura 3: Progresso do crescimento de grão ao longo do tempo.



Fonte: Autores (2024).

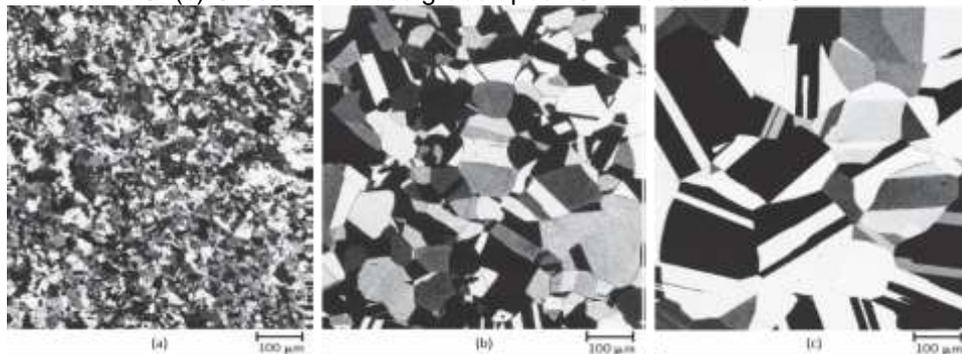
A análise das imagens revelou uma redução na densidade de grãos ao longo do tempo, com grãos maiores crescendo em detrimento dos menores. Este fenômeno, conhecido como coalescimento, foi acelerado com o aumento da frequência de vibração, consistente com os resultados apresentados por Li e Godfrey (2013) sobre a relação entre movimentação de fronteiras de grão e deformação.

Os resultados corroboram com os princípios estabelecidos por Callister e Rethwisch (2016), onde a vibração contínua simulou com sucesso o movimento térmico dos átomos, promovendo o crescimento de grãos. Esta simulação prática forneceu aos alunos uma compreensão mais clara e aplicada dos conceitos teóricos de recristalização, demonstrando a eficácia do modelo proposto.

Discussão

Os resultados deste estudo demonstram a eficácia das metodologias ativas na educação técnica, especialmente na compreensão de processos complexos como a recristalização em metais. A simulação prática do crescimento de grão proporcionou uma experiência tangível, alinhando-se com as observações de Freeman et al. (2014) sobre o impacto positivo das metodologias ativas no aprendizado de conceitos científicos. O modelo desenvolvido permitiu a visualização direta do processo, corroborando com os princípios estabelecidos por Humphreys e Hatherly (2004), que destacam a importância do movimento térmico e da mobilidade de fronteiras de grão na recristalização.

Figura 5: Micrografias mostrando vários estágios da recristalização e do crescimento de grãos do latão (d) Recristalização completa (8 s a 580 °C). (b) Crescimento dos grãos após 15 minutos a 580 °C. (c) Crescimento dos grãos após 10 minutos a 700 °C.



Fonte: Rethwisch e Callister (2016).

A influência da frequência de vibração no crescimento de grãos, observada neste estudo, está em consonância com a literatura, particularmente com os trabalhos de Li e Godfrey (2013), que exploram a relação entre deformação e dinâmica de fronteiras de grão. A Figura 4 mostra que o mecanismo de crescimento de grão é compatível com os dados teóricos de Rethwisch e Callister (2016). Além disso, a capacidade do modelo em ajustar variáveis como intensidade de vibração oferece aos alunos uma ferramenta prática para explorar diferentes cenários de recristalização, enriquecendo seu entendimento.

Do ponto de vista pedagógico, este estudo reforça o valor das metodologias ativas ao conectar teoria e prática, desenvolvendo competências críticas e aplicadas. Futuras pesquisas podem expandir esta abordagem para diferentes materiais e configurações, aprimorando ainda mais a formação dos alunos em ciência dos materiais.

Conclusão

O modelo físico de simulação do crescimento de grão em metais demonstrou ser uma ferramenta eficaz para facilitar a compreensão dos conceitos teóricos de recristalização. A utilização de metodologias ativas no ensino técnico, como a criação de um aparato experimental interativo, permitiu aos alunos uma experiência de aprendizado mais engajadora e significativa, promovendo a retenção de conhecimento e o desenvolvimento de habilidades práticas.

Além de sua aplicação no ensino técnico em mecânica, este modelo possui potencial para ser adaptado a outras áreas do ensino de ciências dos materiais, ampliando suas contribuições pedagógicas. Futuras pesquisas poderiam explorar a adaptação deste modelo a outros fenômenos metalúrgicos, ou mesmo sua integração em disciplinas correlatas, como física ou química.

A abordagem ativa do ensino, aliada ao uso de simulações práticas, representa uma evolução importante na educação técnica, preparando os alunos de maneira mais completa para os desafios da indústria e da ciência dos materiais. Este estudo contribui para o avanço das práticas educacionais, demonstrando o valor das metodologias ativas na promoção de um aprendizado mais dinâmico, interativo e alinhado às demandas contemporâneas.

Referências

- DIESEL, A.; BALDEZ, A.; MARTINS, S. Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica. **Revista Thema**, v. 14, n. 1, p. 268–288, 23 fev. 2017.
- FREEMAN, S., et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 23, p. 8410-8415, 2014.
- HUMPHREYS, F. J., & HATHERLY, M. **Recrystallization and Related Annealing Phenomena**. 2. ed. Oxford: Elsevier, 2004.
- JR, W. D. C.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução**. 10ª edição ed. São Paulo, LTC, 2020.
- LI, Y. J., & GODFREY, A. A quantitative analysis of the effect of strain on grain boundary migration in recrystallizing aluminum. **Acta Materialia**, v. 61, p. 3054-3065, 2013.
- SOUZA, C. DA S.; IGLESIAS, A. G.; PAZIN-FILHO, A. Estratégias inovadoras para métodos de ensino tradicionais – aspectos gerais. **Medicina (Ribeirão Preto)**, v. 47, n. 3, p. 284–292, 3 nov. 2014.

Agradecimentos

Este trabalho contou com financiamento da Fapes - Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo, através do Edital Fapes Nº 28/2022 - Universal