

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA MECÂNICA

Previsão das propriedades micro estruturais e transformações de fases em o processo da temperabilidade do aço SAE 1045 através da simulação numérica computacional e verificação mediante o teste do Jominy

Edwin Gilberto Medina Bejarano

Itajubá, abril de 2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

Edwin Gilberto Medina Bejarano

Previsão das propriedades micro estruturais e transformações de fases em o processo da temperabilidade do aço SAE 1045 através da simulação numérica computacional e verificação mediante o teste do Jominy

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Projeto, Materiais e Processos

Orientador: Prof. Dr. Mirian De Lourdes Noronha Motta Melo

Co-orientador: Prof. Dr. Renata Neves Penha

Abril de 2023

Itajubá - MG

Dedicat3ria

A mis padres, Blanca y Gilberto; por educarme y convertirme en una persona de bien, honesta e integra. A Yina, por ser mi compa1era inseparable en cada d3a y regalarme el motivo m3s grande por el que vale la pena luchar y seguir adelante Mi hijo "mi pulguita" Camilo Andr3, A todos ustedes con amor.

Agradecimentos

Aos meus pais, Blanca e Gilberto e ao meu irmão, Felipe, pelo amor, compressão, carinho e sobre tudo fortaleza nesta longa etapa de minha vida. Graças por me cuidar e sempre estar dispostos a me apoiar sem importar a distância. Além de me ensinar que com esforço e dedicação é possível alcançar nossos sonhos.

À minha namorada, Yina, pelo seu amor, amizade, força e apoio incondicional. Graças por me acompanhar nos bons momentos, mas sobre tudo nos maus momentos onde não encontrava luz para me guiar.

Ao meu filho Camilo "mi pulguita", por sua chegada e por me dar essa força e essa luz para seguir em frente quando eu mais precisava por me dar um novo motivo para lutar e por renovar minha esperança e minha fé no mundo, mas acima de tudo Por encher meu coração de alegria e amor sincero

À minha orientadora, Prof. Dr. Mirian De Lourdes Noronha Motta Melo, e à minha Co-orientadora Prof. Dr. Renata Neves Penha, por compartilhar seu conhecimento e pela sua dedicação. Agradeço-lhes pela colaboração na realização deste trabalho e pela sua amizade.

A toda a minha família, aos meus colegas Camila, Jonas, Marcos Tania, Germán, Nelson, e demais colegas de graduação e Pós-Graduação por me apoiar na culminação do Doutorado e a todos aqueles que de um modo ou de outro fizeram parte deste processo.

Finalmente, à CAPES, através do Programa de Bolsas de Estudo, pelo apoio financeiro.

*“People become really quite remarkable when they start thinking that they can do things.
When they believe in themselves they have the first secret of success”*

Norman Vincent Peale

“The solution to a problem, changes the problem”

John Peers

Resumo

MEDINA, E. G. B. (2023), *Previsão das Propriedades Micro Estruturais E Transformações de Fases em O Processo da Temperabilidade do Aço ASM 1045 Através da Simulação Numérica Computacional e Verificação Mediante o Teste do Jominy*, Itajubá, 105 p. Tese (Doutorado em Projeto, Materiais E Processos.) - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um projeto para a previsão das propriedades microestruturais e transformações de fases no processo da temperabilidade do Aço ASM 1045. O procedimento desenvolvido mistura simulação numérica, adiantada por meio de uma rotina computacional realizada em código livre e uma análise experimental, para verificação dos resultados. O modelo matemático utilizou conceitos de métodos numéricos, transferência de calor, transformação de fase e diagramas TTT, para simular o fenômeno da Temperabilidade em função da taxa de resfriamento, incluindo o acréscimo de calor pela mudança da fase. Para a etapa experimental, desenvolveu-se o desenho e a construção de uma máquina de teste Jominy automatizada e instrumentada, que visa ser uma ferramenta de contribuição para reforçar o estudo de liga de aços, além da obtenção das curvas de resfriamento através ensaios com corpos de prova padronizados do aço SAE 1045; O equipamento foi construído para realizar testes de têmpera em amostras regidas pela ASTM A255 2002; onde sua função é caracterizar a temperabilidade dos aços. Primeiro, a estrutura do equipamento foi construída em ângulo estrutural e chapa de aço ASTM A-36 e com os quais é obtida uma estrutura rígida para suportar outros elementos do equipamento. O equipamento possui um dispositivo de aperto e transporte rápido entre o forno e o sistema de refrigeração, que possui um elemento de fixação e centralização da amostra que garante o correto posicionamento vertical no orifício de saída da água, de forma que o resfriamento ocorre exclusivamente na base inferior da amostra; foi imprescindível encontrar a forma mais adequada de adaptar o forno, o dispositivo de transporte fixação com o dispositivo de refrigeração facilitando também a operação dos mesmos. Visando obter diferentes taxas de resfriamento ao longo do corpo de prova, foi projetada uma instrumentação com características específicas para atender o monitoramento de temperatura. Após o resfriamento, o corpo de prova foi submetido a ensaios de dureza, microdureza e metalografia para caracterização das microestruturas obtidas e da variação das propriedades mecânicas para diversas taxas de resfriamento; dessa forma, é possível obter resultados de análise e temperabilidade para comparar com dados da simulação numérica.

Palavras-chave

Ensaio Jominy, Automatização, Instrumentação, Taxa de resfriamento. Forno industrial, SAE 1045, Caracterização Microestrutural, Modelo numérico

Abstract

MEDINA, E. G. B. (2023), *Predicting the Microstructural Properties and Phase Transformations in ASM 1045 Steel Temperability Process by Numerical Simulation and Verification by Jominy Test*, Itajubá, 105 p. PhD. Thesis (Doctorate in Design, Materials And Processes) – Mechanical Engineering Institute, Federal University of Itajubá.

This work presents the development of a project for the prediction of microstructural properties and phase transformations in the hardenability process of ASM 1045 Steel. The developed procedure mixes numerical simulation, advanced through a computational routine carried out in free code and an experimental analysis, to verify the results. The mathematical model applies concepts of numerical methods, heat transfer, phase transformation and TTT diagrams, to simulate the Hardenability phenomenon as a function of the cooling rate, including the addition of heat due to the phase change. For the experimental stage, the design and construction of an automated and instrumented Jominy test machine was developed, which aims to be a contribution tool to reinforce the study of alloy steels, in addition to obtaining cooling curves through tests with bodies standardized SAE 1045 steel test samples; The equipment was built to perform tempering tests on samples governed by ASTM A255 2002; where its function is to characterize the hardenability of steels. First, the equipment structure was built using a structural angle and ASTM A-36 steel sheet, which created a rigid structure to support other elements of the equipment. The equipment has a fast clamping and transport device between the oven and the cooling system, which has a sample fixation and centralization element that guarantees correct vertical positioning in the water outlet hole, so that cooling occurs exclusively in the lower sample base; It was essential to find the most appropriate way to adapt the oven, the transport device and the refrigeration device, also facilitating their operation. Aiming to obtain different cooling rates throughout the specimen, instrumentation with specific characteristics was designed to meet temperature monitoring. After cooling, the specimen was subjected to hardness, microhardness and metallography tests to characterize the microstructures obtained and the variation in mechanical properties for different cooling rates; in this way, it is possible to obtain analysis and hardenability results to compare with numerical simulation data.

Keywords

Jominy test, Automation, Instrumentation, Cooling rate. Industrial furnace, SAE 1045, Microstructural characterization, Numerical model