

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**Desenvolvimento de Aços Alternativos aos
Materiais Temperados e Revenidos com Limite
de Resistência entre 600 e 800 MPa**

Autor: **Antonio Augusto Gorni**

Orientador: **Prof. Dr. Paulo Roberto Mei**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

Desenvolvimento de Aços Alternativos aos Materiais Temperados e Revenidos com Limite de Resistência entre 600 e 800 MPa

Autor: **Antonio Augusto Gorni**

Orientador: **Prof. Dr. Paulo Roberto Mei**

Curso: Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Materiais e Processos de Fabricação

Tese de doutorado apresentada à Comissão de pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Campinas, 2001

S.P. – Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

G681d

Gorni, Antonio Augusto

Desenvolvimento de aços alternativos aos materiais temperados e revenidos com limite de resistência entre 600 e 800 MPa / Antonio Augusto Gorni --Campinas, SP: [s.n.], 2001.

Orientador: Paulo Roberto Mei.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Laminação (Metalurgia). 2. Aço de alta resistência – Propriedades mecânicas. 3. Aço - Metalografia. 4. Microestrutura. I. Mei, Paulo Roberto. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

TESE DE DOUTORADO

Desenvolvimento de Aços Alternativos aos Materiais Temperados e Revenidos com Limite de Resistência entre 600 e 800 MPa

Autor: **Antonio Augusto Gorni**
Orientador: **Prof. Dr. Paulo Roberto Mei**

Prof. Dr. Paulo Roberto Mei, Presidente
Instituição: FEM – UNICAMP

Prof. Dr. Amauri Garcia
Instituição: FEM - UNICAMP

Prof. Dr. Rezende Gomes dos Santos
Instituição: FEM - UNICAMP

Prof. Dr. Hélio Goldenstein
Instituição: Escola Politécnica - U.S.P.

Prof. Dr. Oscar Balancin
Instituição: Departamento de Engenharia de Materiais - UFSCar

Campinas, 22 de Março de 2001

**À minha Esposa,
Regina**

**Aos meus Pais,
Carmen e Antonio**

Agradecimentos

À **Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA**, que apoiou a realização dos cursos de pós-graduação e o desenvolvimento experimental relativo a esta Tese de Doutorado.

Ao **Prof. Dr. Paulo Roberto Mei** pela orientação, discussões, sugestões e o total apoio manifestado durante o desenvolvimento do trabalho, bem como pela disponibilização dos recursos laboratoriais do Departamento de Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP.

Ao **Prof. Dr. Marcelo Gonçalves** pela orientação e discussões durante a fase inicial deste projeto.

A **Rajindra Clement Ratnapuli** pelas proveitosas sugestões e discussões, particularmente durante o planejamento e execução dos procedimentos experimentais e análise dos resultados.

A **Celso Gomes Cavalcanti**, pelo auxílio constante ao longo do desenvolvimento experimental do projeto; a **Sérgio Barbosa** e sua equipe, pela inestimável ajuda durante os ensaios de laminação piloto e usinagem dos corpos de prova no Centro de Pesquisas da USIMINAS; a **Benedito Dias Chivites**, pelo suporte na execução dos ensaios mecânicos e tratamentos térmicos de envelhecimento; e a **Célio Oliveira Gonçalves** pela ajuda na execução das análises metalográficas.

À minha esposa **Regina**, aos meus pais **Antonio** e **Carmen**, à minha irmã **Rosângela** e aos amigos **Jackson Soares de Souza Reis** e **José Herbert Dolabela da Silveira** pelo incentivo e apoio ao longo desta grande jornada.

*On the flood of the morning tide
Once more the ocean cried.
“This company will return one day
Though we feel your tears it’s the price we pay
For there’s prizes to be taken and glory to be found
Cut free the chains, make fast your souls
We are Eldorado bound
I will take you for always forever together
Until Hell calls our names”.*

Greg Lake & Peter Sinfield: **Pirates**

Resumo

GORNI, Antonio Augusto. *Desenvolvimento de Aços Alternativos aos Materiais Temperados e Revenidos com Limite de Resistência entre 600 e 800 MPa*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2001. 120 p. Tese (Doutorado).

Este trabalho teve como objetivo caracterizar o efeito de diferentes condições de laminação a quente controlada sobre a microestrutura e propriedades mecânicas de dois aços de baixa liga e alta resistência equivalentes ao HY-80 que dispensam tratamento térmico de têmpera e revenimento. A primeira liga é endurecível por precipitação de cobre (HSLA-80), enquanto que a segunda apresenta teor extra-baixo de carbono e microestrutura bainítica (ULCB). Na primeira série de ensaios de laminação foi estudado o efeito do grau de deformação total aplicado aos corpos de prova; já na segunda série variou-se a temperatura final de laminação. As amostras laminadas de aço HSLA-80 foram submetidas a um tratamento térmico de envelhecimento adicional. Foi constatado que o parâmetro mais importante do processo de laminação controlada foi o grau total de deformação a quente aplicado ao corpo de prova, o qual influenciou de maneira decisiva todas as propriedades mecânicas nas duas ligas aqui estudadas, com exceção de sua ductilidade e da razão elástica do aço ULCB. A temperatura de reaquecimento influenciou apenas no limite de resistência de ambas as ligas. Já a temperatura de acabamento afetou significativamente sua tenacidade.

Palavras-Chave

Laminação (Metalurgia); Aço de alta resistência – Propriedades mecânicas; Aço – Metalografia;

Microestrutura.

Abstract

GORNI, Antonio Augusto. *Development of Alternative Steels to Quenched and Tempered Materials with 600 to 800 MPa Tensile Strength*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2001. 120 p. Tese (Doutorado).

This work was developed to characterize the effect of different controlled rolling conditions upon the microstructure and mechanical properties of two high strength low alloy steels, equivalent to the HY-80 alloy, but that do not need to be submitted to a quenching and tempering heat treatment. The first alloy hardens through copper precipitation (HSLA-80), while the second one has extra-low carbon content and bainitic microstructure (ULCB). In the first rolling test series total strain applied to the specimens was varied, while in the second one the effect of several finishing temperatures was studied. All HSLA-80 rolled samples were additionally aged. It was verified that the most important controlled rolling parameter was the total strain applied to the specimens, which strongly influenced all mechanical properties, except ductility and yield ratio of the ULCB alloy. The austenitizing temperature only influenced the tensile strength of both steels. For its turn, the finish rolling temperature significantly influenced their toughness.

Keywords

Rolling (Metallurgy); High strength steel – Mechanical properties; Steel – Metallography; Microstructure