
Copyright 2018, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2018, em São Paulo, no mês de maio de 2018.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS TÉRMICOS NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E RESISTÊNCIA À CORROSÃO DO AÇO INOXIDÁVEL AISI 420

Péricles Bosquetti^a, Oscar Q. Grinhal^b, Otávio G. Contart^a, Maurício Angeloni^a,
Diógenes Bosquetti^a

Abstract

The mechanical properties and the corrosion resistance of the martensitic stainless steels are directly related to the applied heat treatment (1). For these steels to be used in the tempered state, this study analyzed the variations of the mechanical properties and the resistance to the corrosion, in different conditions of heat treatment. Thus, three treatments of tempers were carried out at austenitization temperatures of 900 °C, 1000 °C and 1100 °C for 20 minutes, followed by cooling in oil at room temperature. The samples annealed at 1100 °C were then tempered at 250 °C, 500 °C and 650 °C for 30 minutes and then air-cooled. The mechanical properties evaluated were the hardness and impact tests. The corrosion resistance was evaluated by the loss of mass after immersion test in 0.5M solution of H₂SO₄ at room temperature and boiling. The results show that the AISI 420 steels in annealed condition or even tempered at 1100 °C presented low corrosion resistance, being that in the temperate condition presented higher hardness and greater fragility. This condition was improved with application of the tempering treatment at 250 °C which provided better mechanical properties and a slight increase in corrosion resistance. It is considered that the relief of internal stresses in martensite is the important factor for the corrosion resistance of these steels.

Keywords: Martensitic Stainless Steels, Heat Treatment, Corrosion.

Resumo

As propriedades mecânicas e a resistência à corrosão dos aços inoxidáveis martensíticos estão diretamente relacionadas ao tratamento térmico aplicado (1). Por estes aços serem utilizados no estado temperado, este estudo analisou as variações das propriedades mecânicas e a resistência à corrosão, em diferentes condições de tratamento térmico. Sendo assim, foram realizados três tratamentos de têmperas em temperaturas de austenitização de 900 °C, 1000 °C e 1100 °C por 20 minutos, seguido de resfriamento em óleo à temperatura ambiente. As amostras temperadas a 1100°C foram então revenidas a 250 °C, 500 °C e 650 °C por 30 minutos e posteriormente resfriadas ao ar. As propriedades mecânicas avaliadas foram o ensaio de dureza e impacto. A resistência à corrosão foi avaliada pela perda de massa após ensaio de imersão em solução de 0,5M de H₂SO₄ em temperatura ambiente e em ebulição. Os

^a Doutor, Professor da FATEC Sertãozinho - SP

^b Tecnólogo em Mecânica: Processos de Soldagem – FATEC Sertãozinho - SP

resultados demonstram que os aços AISI 420 na condição recozido ou mesmo temperado a 1100 °C apresentaram baixa resistência à corrosão, sendo que na condição temperada apresentaram maior dureza e, conseqüentemente, maior fragilidade. Esta condição foi melhorada com a aplicação do tratamento de revenimento a 250 °C que proporcionou melhores propriedades mecânicas e um ligeiro aumento na resistência à corrosão. Considera-se que o alívio de tensões internas na martensita é o fator importante para a resistência à corrosão nesses aços.

Palavras-chave: Aços Inoxidáveis Martensíticos, Tratamento Térmico, Corrosão.

Introdução

As indústrias de equipamentos odontológicos, equipamentos cirúrgicos e cutelaria utilizam em grande escala o aço inoxidável martensítico AISI 420 (1). Devido a sua composição química, apresenta propriedades metalúrgicas onde associam-se alta dureza e boa resistência à corrosão, sendo que tais características são adquiridas após tratamento térmico adequado (2).

Sabe-se que os aços inox martensíticos são ligas de aço-cromo compostos de 11,5% a 18% de cromo e teor mínimo de 0,15% de carbono, tornando-se martensíticos pela aplicação de tratamentos térmicos, em especial, têmpera e revenimento, sendo que temperaturas de austenitização, tempo e temperatura de revenimento, bem como a composição química são fatores que combinados adequadamente influenciam de maneira significativa e favorável em suas propriedades, entre elas na resistência à corrosão (3,4).

Considerando o exposto, este trabalho procurou realizar um estudo sobre as variações de algumas das propriedades mecânicas e da resistência à corrosão em três diferentes condições de tratamento térmico de têmpera e revenimento do aço AISI 420.

Metodologia

Materiais

Neste trabalho, utilizou-se um aço AISI 420 conforme a tabela 2.1:

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de dureza HRC

Elemento	C	Cr	Ni	Mn	Cu	Si	Mo	V	Restante Fe
%	0,15	12,55	0,35	0,53	0,11	0,35	0,03	0,02	45,56

Equipamentos utilizados

- Tratamentos térmicos realizados em forno elétrico do tipo mufla, marca Magnuscito.
- Medidas de dureza HRC em durômetro analógico Pantec, Modelo pan 300jw.
- Ensaio de impacto em impactômetro marca Lime Group, modelo JB-w300a
- Para os ensaios de corrosão utilizou-se célula para imersão em ebulição composta de balão, condensador e manta de aquecimento.

Métodos

Os corpos de prova foram retirados por usinagem de barra circular recozida de 16mm em dimensões da ASTM-E23 (para impacto charpy) com 10 x 10 x 55 mm

Tratamento térmico**a) Etapa 1 - Tratamento de Têmpera:**

Os diferentes tratamentos de têmpera realizados em seis corpos de prova, cada dois corpos de prova foram submetidos em três diferentes temperaturas de austenitização em 20 min: 1100 °C, 1000 °C e 900 °C e resfriados em óleo a temperatura ambiente sob agitação manual. Após a têmpera fez-se medidas de dureza nos corpos de prova para avaliar qual tratamento proporcionou maior dureza, realizando-se têmpera em seis novas amostras seguindo aos mesmos procedimentos usados.

b) Etapa 2 - Tratamento de Revenimento

O revenimento foi aplicado apenas nos seis corpos de prova com têmpera a 1100 °C (maior dureza), em pares, submetendo-se a diferentes temperaturas de revenimento: 650 °C, 500 °C e 250 °C por 30 min no forno e resfriadas ao ar.

Ensaio Mecânicos

Dureza medida em durômetro analógico com pré-carga de 10 Kgf e carga de 150 Kgf com um penetrador cônico de diamante. Impacto, conforme ASTM E23, em temperatura ambiente nos quatorze corpos de prova com tratamentos térmicos.

Ensaio de corrosão por imersão

Avaliado pela perda de massa em relação à área inicial após a imersão em solução de 0,5M do ácido sulfúrico (H_2SO_4) em temperatura ambiente e de ebulição conduzidos para cada amostra com tratamento térmico utilizando tempos de permanência de 10 min, 20 min e 40 min em 1L da solução. Após imersão, as amostras foram retiradas da solução, lavadas e secas conforme ASTM G1-03, sendo pesadas em balança analítica para avaliar perda de massa em relação à área inicial.

Resultados e discussão

Ensaio de dureza

Os ensaios de dureza foram realizados em 7 amostras conforme tabela 2.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de dureza HRc

Amostras	Medidas HRc						
	1º	2º	3º	4º	5º	Média	Desvio
I	27	26	26	28	28	27	0,9
II	49	50	47	51	50	49,4	1,4
III	40	37,5	40	42	39	39,7	1,5
IV	45	37	36	35	37	38	3,6
V	37	38	36	35	38	36,8	1,2
VI	48	46	48	47	45	46,8	1,2
VII	42	38	38	41	40	39,8	1,6

Identificação das amostras:

I – estado recozido

V – têmpera a 1100 °C com revenimento 650 °C

II – têmpera a 1100 °C

VI – têmpera a 1100 °C com revenimento 500 °C

III – têmpera a 1000 °C

VII – têmpera a 1100 °C com revenimento 250 °C

IV – têmpera a 900 °C

O aço inox AISI 420 recozido apresentou dureza menor que os tratamentos térmicos. Entre amostras temperadas, a tempera com temperatura de austenitização de 1100 °C (amostra II) obteve maior dureza. Esta condição é provavelmente devido à dissolução de carbonetos de cromo que enriquecem de cromo e carbono a matriz, aumentando o grau de supersaturação da martensita pelo carbono.

Os tratamentos de revenimento aplicados nas amostras V e VII ocasionaram queda significativa de dureza em relação à têmpera inicial, enquanto a amostra VI, apresentou dureza similar ao da têmpera, que pode ser decorrente do endurecimento secundário, causado pela precipitação fina e uniforme de carbonetos, mantendo a dureza mesmo após o alívio de tensões da martensita pelo revenimento.

Ensaio de impacto

Os ensaios de impacto foram realizados em duas amostras de cada tratamento térmico conforme a tabela 3, sendo realizado à temperatura ambiente.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios de impacto

Amostra		I	II	III	IV	V	VI	VII
Energia Absorvida (J)	1º	151	8	28	26	40	30	38
	2º	155	6	28	26	42	38	41
Média		153	7	28	26	41	34	39,5
Desvio Padrão		2	1	0	0	1	4	1,5

Identificação das amostras

I – estado recozido;

II – têmpera a 1100 °C

III – têmpera a 1000 °C

IV – têmpera a 900 °C

V – têmpera a 1100 °C com revenimento 650 °C

VI – têmpera a 1100 °C com revenimento 500 °C

VII – têmpera a 1100 °C com revenimento 250 °C

Os resultados dos ensaios de impacto revelaram uma correlação entre dureza e ductilidade, sendo que, as amostras com maior dureza, apresentaram menor absorção de energia de impacto, pois quanto maior a dureza mais frágil o material. Assim, as amostras temperadas, são frágeis decorrentes da grande concentração de tensões internas da martensita. Já as amostras revenidas mostraram-se mais dúcteis, com maior absorção de energia de impacto, devido à redução destas tensões internas da martensita após o tratamento.

Ensaio de corrosão por imersão

As tabelas 4 e 5 representam a perda de massa em relação à área inicial das amostras após a imersão em solução de 0,5 M do ácido sulfúrico (H₂SO₄) em duas condições: em temperatura ambiente e em temperatura de ebulição.

Tabela 4 - Resultados dos ensaios de corrosão por imersão em ebulição

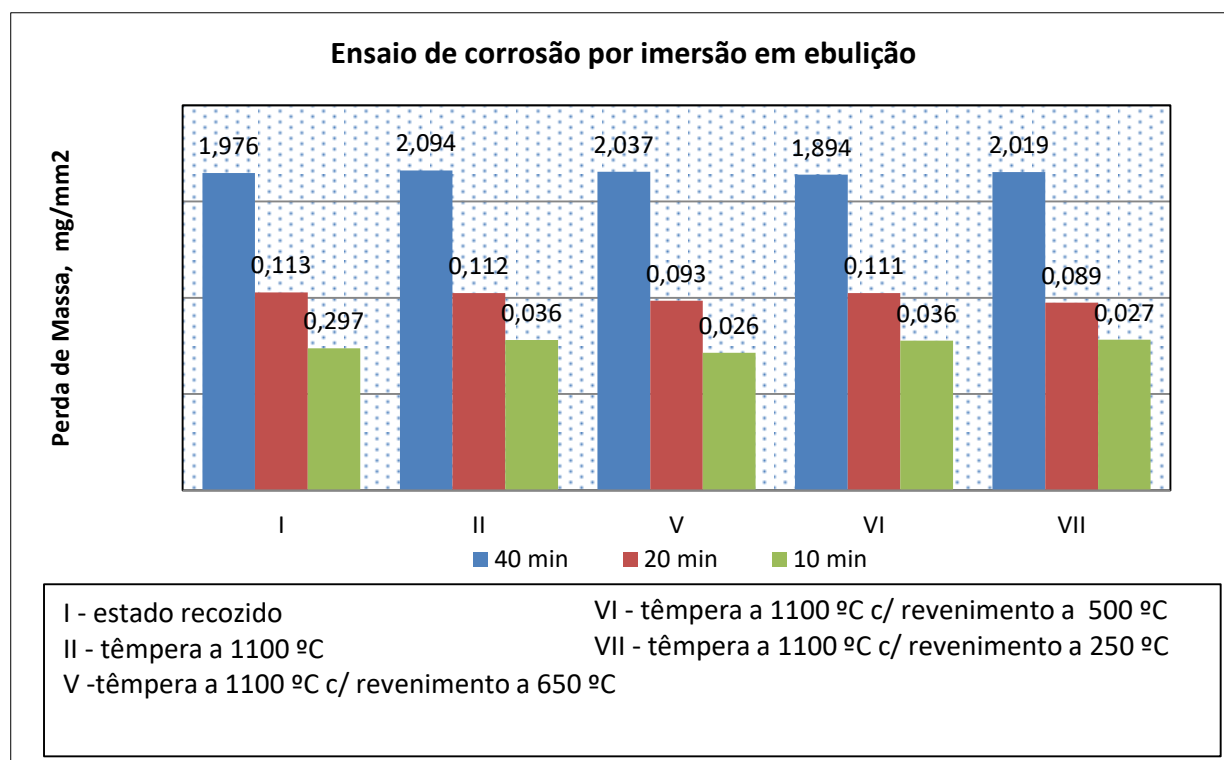
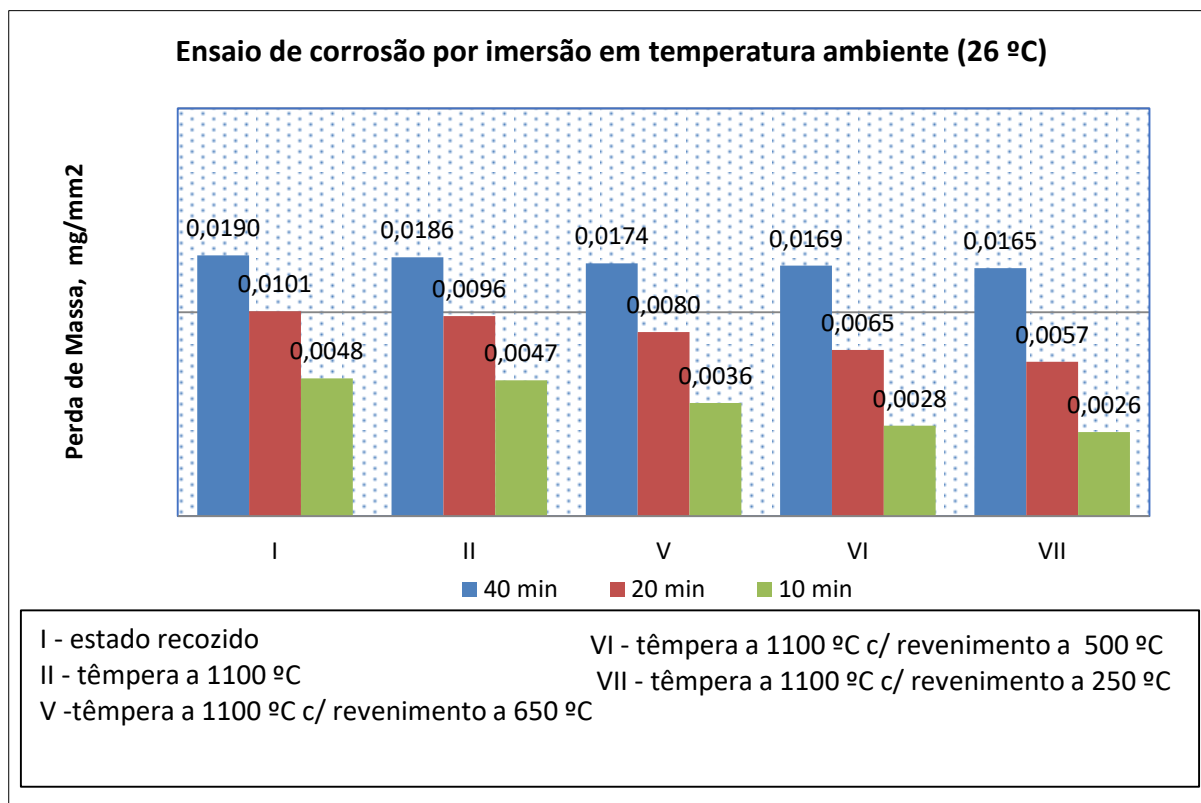


Tabela 5 - Resultados dos ensaios de imersão em temperatura ambiente (26°C).



Inicialmente o ensaio realizado com o ácido em ebulição por 40 min, proporcionou um ataque muito agressivo, impossibilitando a análise da resistência à corrosão em relação ao tratamento térmico. Nos demais tempos de imersão (10 e 20 min) as amostras “VII” e “VI” apresentaram respectivamente a menor e a maior perda de massa. Isto pode estar relacionado com maior precipitação de carbonetos de cromo, principalmente à 500 °C, tornando a matriz mais pobre em cromo e favorecendo à maior taxa de corrosão. No revenimento à 250 °C isso não é favorecido, observou-se maior resistência à corrosão. Assim o aço AISI 420 em meio corrosivo à altas temperaturas, tem baixa resistência à corrosão, independente do tratamento.

Nos ensaios com o ácido à temperatura ambiente, as amostras I e II apresentaram maior taxa de corrosão em relação às amostras revenidas; dentre estas, a amostra revenida a 250 °C apresentou maior resistência à corrosão. A baixa resistência à corrosão pode ser devido à presença de carbonetos de cromo na amostra no estado recozido que empobrecem a matriz em cromo, ficando menor que 11%, e o segundo fator é em relação à têmpera onde embora os carbonetos de cromo estejam dissolvidos enriquecendo a matriz, o material apresenta baixa resistência à corrosão devido ao aumento de tensões internas pelo grau de supersaturação de carbono no reticulado da martensita (5). O tratamento à 250 °C de

revenimento favorece maior resistência à corrosão, pois diminui as tensões internas, já acima de 500 °C deve ser evitada pela formação precipitação fina de carbonetos (6).

A amostra “I” apresenta a estrutura do aço inox AISI 420 em seu estado recozido formada de carbonetos esferoidizados dispostos em uma matriz ferrítica. Após o tratamento de têmpera a 1100 °C, a amostra “II” apresenta uma estrutura formada por martensita em formas de ripas com poucos carbonetos, propiciando um elevado nível de fragilidade conforme visto nos ensaios de impacto (7,8).

Nas amostras revenidas, grande parte da martensita em ripas se transforma em martensita em placas com precipitação de carbonetos finos, de maior ductilidade.

Conclusões

Perante resultados, conclui-se que o aço inox AISI 420 recozido apresenta baixa dureza e boa ductilidade. Na têmpera, o aumento da temperatura de austenitização até 1100 °C proporcionou uma elevação da dureza e maior fragilização do material.

No estado recozido o material apresentou carbonetos de cromo que tornaram a matriz com menos de 11 % de cromo em solução, diminuindo a resistência à corrosão. A têmpera possibilitou a dissolução de carbonetos, mas a resistência à corrosão se tornou baixa devido ao aumento das tensões internas no reticulado da martensita, provocada pelo aumento do grau de supersaturação em carbono.

O tratamento de revenimento pós-têmpera à 250 °C por 30 min, ocasionou um certo nível de alívio de tensões internas no material, diminuindo a dureza e aumentando a ductilidade e a resistência à corrosão deste aço (7). Assim, a temperatura de austenitização favorece ao controle da quantidade de carbonetos de cromo e juntamente com o tratamento de revenimento favorecem o ajuste de nível de tensões internas na estrutura que favorecem as boas propriedades mecânicas e resistência à corrosão aos aços inoxidáveis martensíticos.

Referências bibliográficas

- (1) CALLISTER JÚNIOR, William D. **Ciências e engenharia de materiais: uma introdução**; tradução Sérgio Murilo Soares. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- (2) CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**. 7. ed. São Paulo: ABM, 2008a.

- (3) GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- (4) LALGUGI, Ramanathan, V. **Corrosão e seu controle**. São Paulo: Hemus, sd.
- (5) PINEDO, Carlos E. Tratamento térmico e superficial do aço inoxidável martensítico AISI 420 destinado a moldes para injeção de polímeros. In: ENCONTRO DA CADEIA DE FERRAMENTAS
- (6) ASM - AMERICAN SOCIETY FOR METALS. **Metals handbook**: properties and selection: irons and steels. 8. ed. Ohio: Materials Park, 1978. v. 1. 1236 p.
- (7) RODRIGUES, C. A. D., ENOKIBARA, F., LEIVA, T. P., NUNES, I. A., ROLLO, J. M. D. A., **Quality of Martensitic Stainless Type AISI-420 Utilized in the Manufactures Surgical Implements**, Revista Escola de Minas, vol. 64, nº4, Ouro Preto, Out – Dez 2011.
- (8) SCHEUER, Cristiano J. **Cementação a baixa temperatura do aço inoxidável martensítico AISI 420 assistida por plasma**. 2011. 92. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.