

# **INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE TRATAMENTO TÉRMICO SOBRE A RESISTÊNCIA À CORROSÃO DO AÇO INOXIDÁVEL MARTENSÍTICO AISI 420**

**A. F. CaNDELÁRIA <sup>(1)</sup> \*, F. D. Pannoni <sup>(2)</sup>, C. E. Pinedo <sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> *Núcleo de Pesquisas Tecnológicas da Universidade de Mogi das Cruzes, Av. Cândido X. de Almeida Souza 200, 08780-210, Mogi das Cruzes, SP.  
pinedo@umc.br*

<sup>(2)</sup> *Aço Minas Gerais S.A. – AÇOMINAS, Rua Alexandre Aliperti, 340, 04156-110, São Paulo, SP.*

A resistência à corrosão dos aços inoxidáveis martensíticos é sensível ao ciclo de tratamento térmico. Considerando que estes aços são sempre utilizados no estado temperado e revenido, este trabalho procura mostrar como varia a resistência à corrosão do aço tipo AISI 420 em diferentes condições de tratamento térmico. O material foi tratado termicamente em temperaturas de austenitização entre 900°C e 1100°C por 1 hora, seguido de resfriamento em óleo. Corpos de prova austenitizados e temperados de 1100°C foram revenidos a 200°C e 500°C, por 2 e 48 horas. A resistência à corrosão foi avaliada pela medida de perda de massa após ensaio em solução 0,5M de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Os resultados mostram que a resistência à corrosão aumenta com a diminuição da temperatura de austenitização, mostrando que o comportamento à corrosão é mais dependente do grau de deformação da martensita do que do teor de cromo dissolvido na matriz. Os revenimentos mostraram que a resistência à corrosão aumenta tanto para a temperatura de 200°C quanto para 500°C. Neste caso, o alívio de tensão do reticulado da martensita pode ser considerado o fator responsável por este comportamento, principalmente porque a perda de massa após revenimento a 200°C por 48 horas é superior ao mesmo tratamento por 2 horas.

Palavras-Chaves: Aço Inoxidável Martensítico, Tratamento Térmico, Corrosão

## 1. INTRODUÇÃO

O aço inoxidável martensítico tipo AISI 420 é amplamente utilizado em aplicações de cutelaria, moldes para injeção de polímeros e componentes mecânicos que combinem elevada resistência mecânica e resistência à corrosão<sup>(1,2)</sup>. A resistência à corrosão dos aços inoxidáveis se deve ao teor de cromo dissolvido ser superior a 11%<sup>(3)</sup>. Entretanto, sua resistência à corrosão depende da fração volumétrica de carbonetos de cromo presentes na microestrutura, os quais retiram cromo de solução e contribuem para diminuir as propriedades de corrosão<sup>(4,5)</sup>.

O tratamento de revenimento deve ser realizado imediatamente após a têmpera, sendo projetado para adequar o nível de dureza e tenacidade às condições exigidas no projeto. As principais reações no revenimento são: (i) a precipitação sub-microscópica de carbonetos de cromo e (ii) a queda de dureza proveniente da diminuição da tensão interna no reticulado cristalino da martensita que ocorre nas temperaturas de tratamento e ao longo do tempo de tratamento<sup>(6)</sup>.

De acordo com a literatura, a resistência à corrosão destes aços estaria relacionada à intensidade de precipitação de carbonetos de cromo no revenimento<sup>(4,5,7)</sup>. Truman<sup>(4)</sup> mostra um aumento sensível na perda de massa em solução de 10% ácido nítrico quando a temperatura de revenimento excede a 450°C. Um aumento do tempo de revenimento, com uma homogeneização da concentração de cromo na matriz de martensita revenida podem contribuir para uma recuperação das propriedades de corrosão em revenimentos acima de 450°C.

Este relatório descreve o estudo sobre a influência da temperatura de austenitização para a têmpera e sua combinação com o tratamento de revenimento sobre a resistência à corrosão do aço inoxidável martensítico tipo AISI 420.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

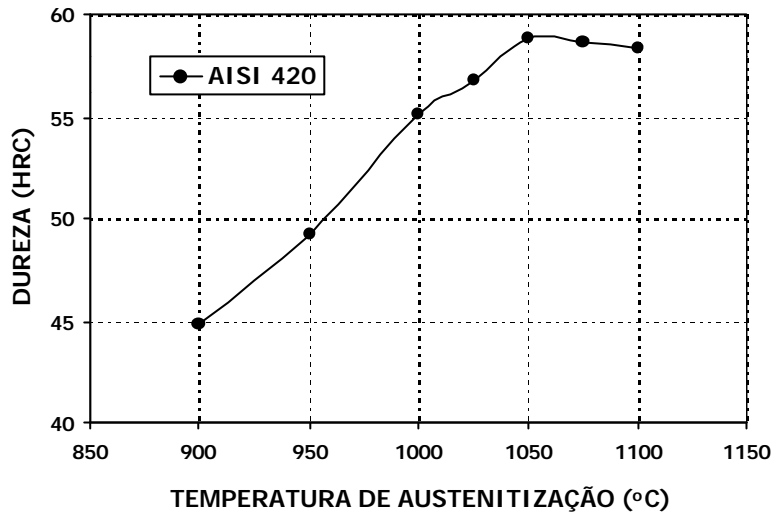
O Material utilizado foi o aço Martensítico AISI 420 em estado recozido na forma de barra circular de diâmetro 31,75mm e 1000mm de comprimento.

O material foi tratado termicamente em temperaturas de austenitização entre 900°C e 1100°C por 1 hora, seguido de resfriamento em óleo. Corpos de prova austenitizados e temperados à 1100°C foram revenidos a 200°C por 2h, 500°C por (2x2)h e 200°C por 48h. Amostras selecionadas foram observadas em Microscópio Óptico e sua dureza foi avaliada pelo método Rockwell C.

A resistência à corrosão foi avaliada pela medida de perda de massa após ensaio em solução 0,5M de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, realizada à temperatura ambiente. Antes dos ensaios as amostras foram limpas em banho de ultra-som com acetona P.A. por 15 minutos, pesadas em balança analítica (0,1 mg) para avaliar o peso inicial e medidas dimensionalmente para a avaliação da área de teste. Os ensaios foram conduzidos sob agitação magnética utilizando tempos de permanência na solução de: 10, 20, 30, 40, 60, 90, 120 e 180 minutos. Após cada intervalo de tempo as amostras eram retiradas da solução, limpas em banho de ultra-som com acetona P.A. por 15 minutos e pesadas novamente. A repetição deste procedimento permitiu avaliar a perda de massa por unidade de área com o tempo de ensaio. Após os ensaios as amostras foram secas e suas superfícies de corrosão foram analisadas em Estereomicroscópio.

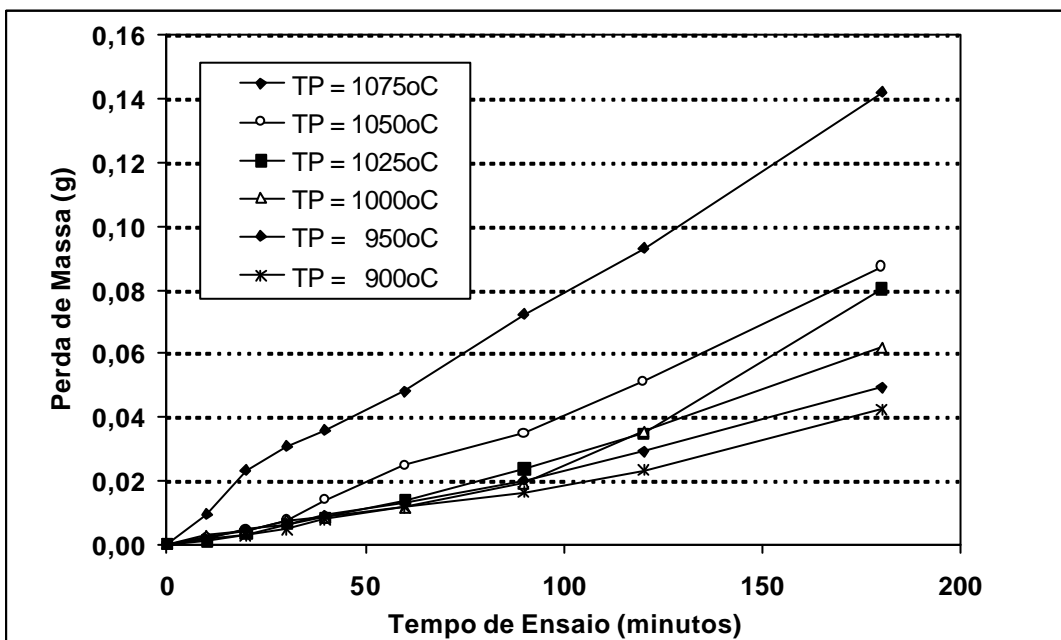
## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra a variação da dureza da martensita em função da temperatura de austenitização. Verifica-se um aumento da dureza entre 900°C e 1050°C, decorrente da dissolução de carbonetos de cromo que elevam tanto o teor tanto de cromo quanto de carbono dissolvidos na matriz, aumentando o grau de supersaturação da martensita pelo carbono<sup>(8,11)</sup>. Acima de 1050°C a fração de austenita retida é suficientemente elevada para resultar em uma diminuição na dureza do aço. É importante salientar que o aumento de dureza é provocado pela distorção da rede cristalina da martensita enquanto que a austenita possui reticulado livre de tensões e o aumento de sua fração volumétrica na estrutura se reflete em uma diminuição na dureza global<sup>(10,11)</sup>.



**Figura 1:** A curva de têmpera para diferentes temperaturas de austenitização.

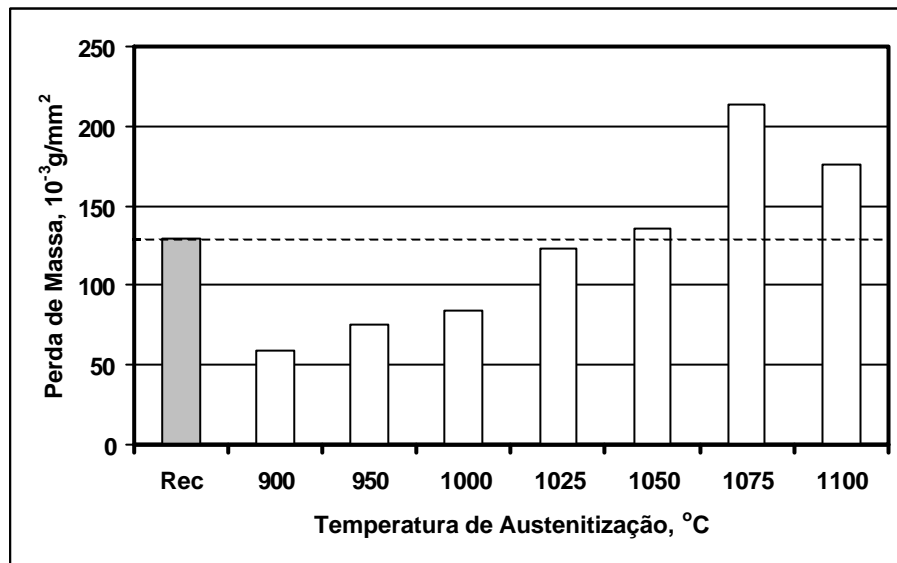
Os resultados mostraram que é possível modificar a resistência à corrosão do aço AISI 420 mediante variações no ciclo de tratamento térmico de têmpera, Figura 2. Verifica-se que o aumento da temperatura de austenitização promove um aumento na taxa de corrosão entre 900-1075°C. Quando o aço é austenitizado a 1100°C a taxa de corrosão diminui. Seguindo a linha de pensamento que a resistência à corrosão deve aumentar com o aumento do teor de cromo em solução <sup>(3)</sup>, seria de se esperar um comportamento contrário ao obtido, já que, o aumento da temperatura de austenitização leva ao aumento da fração de carbonetos de cromo dissolvidos e, conseqüentemente, enriquece a matriz em cromo. Como a resistência à corrosão é afetada pela tensão interna na microestrutura <sup>(12)</sup>, este comportamento pode ser explicado pela influência do nível de tensão do reticulado da martensita provocado pelo aumento no grau de supersaturação em carbono com o aumento na temperatura de austenitização <sup>(10,11)</sup>.



**Figura 2** – Perda de massa no ensaio de corrosão para as diferentes temperaturas de austenitização utilizadas nos tratamentos térmicos de têmpera.

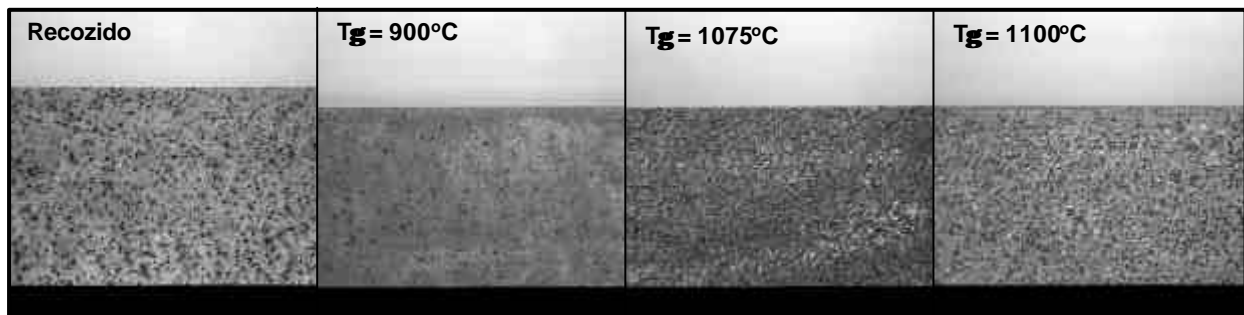
Com a diminuição na perda de massa para a temperatura de austenitização de 1100°C verificar-se que a presença de austenita retida na têmpera é um importante fator microestrutural. A fração de austenita retida formada na têmpera, que provoca a diminuição da dureza verificada na Figura 1 por seu caráter livre de tensões internas é suficiente para compensar a perda de resistência à corrosão atribuída a martensita virgem, de elevada tensão no reticulado cristalino e confirma, portanto, a hipótese de que a tensão interna é um parâmetro fundamental na resistência à corrosão.

A Figura 3 mostra uma comparação entre a perda de massa na têmpera com o material no estado recozido, utilizado como estado padrão de comparação pois possui o menor nível de tensão e a maior fração de carbonetos de cromo. Observa-se que para baixas temperaturas de austenitização, entre 900 e 1025°C, o efeito benéfico do enriquecimento da matriz pelo cromo é verificado. Já temperaturas superiores promovem um aumento na taxa de corrosão. Desta forma, tanto a hipótese da melhoria da resistência à corrosão pela dissolução de carbonetos quanto à deterioração desta propriedade pela elevação da tensão interna na microestrutura são confirmadas.



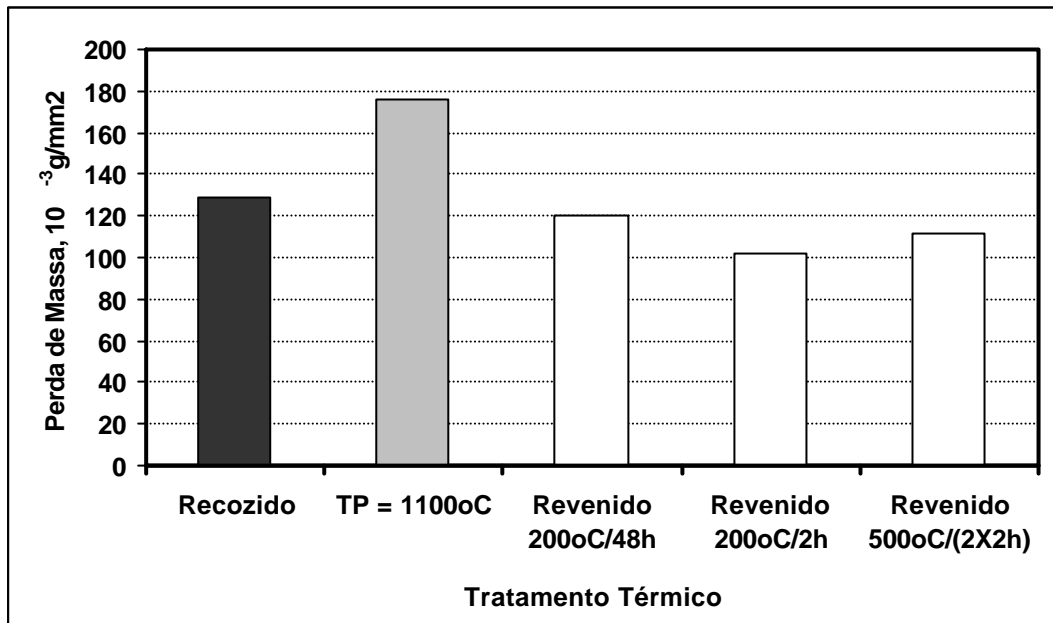
**Figura 3** - Perda de massa no ensaio de corrosão após 180 minutos para as diferentes temperaturas de austenitização utilizadas nos tratamentos térmicos de têmpera.

Na Figura 4 observa-se a face de corrosão em diferentes temperaturas de austenitização, comparadas com uma amostra no estado recozido. Observa-se que a densidade de pites é sensivelmente menor na amostra austenitizada a 900°C, demonstrando a menor suscetibilidade à corrosão. Com o aumento na temperatura de austenitização a formação de pites se intensifica.



**Figura 4** – Fotografia das superfícies após ensaio de corrosão por 180 minutos.

A Figura 5 mostra que a utilização de tratamentos térmicos de revenimento, em uma amostra temperada de 1100°C, promove uma melhora na resistência à corrosão, com a diminuição na perda de massa. Este fato é decorrente da diminuição do nível de tensões internas que acompanha o revenimento e acentua-se com o aumento do tempo de tratamento a 200°C por um maior alívio de tensões internas<sup>(6,11)</sup>. Assim, definitivamente comprova-se a dependência da resistência à corrosão com o nível de tensões internas no reticulado cristalino da martensita e se obtém uma resistência à corrosão superior ao material recozido.



**Figura 5** – Comparação entre a resistência à corrosão de amostras submetidas ao tratamento térmico de revenimento após a têmpera.

#### 4. CONCLUSÕES

O aumento na temperatura de austenitização até 1050°C promove uma elevação na dureza do material devido a dissolução dos carbonetos de cromo, com o conseqüente aumento no teor de carbono em supersaturação na martensita. Para temperaturas superiores a dureza diminui em função do aumento na fração de austenita retida.

A resistência à corrosão diminui com o aumento da temperatura de austenitização por efeito do aumento no nível de tensões internas no reticulado cristalino da martensita. Temperaturas de austenitização até 1050°C fornecem uma resistência à corrosão superior ao material recozido por razão do enriquecimento de cromo na matriz provocado pela dissolução de carbonetos de cromo. Em temperaturas superiores a 1050°C a deterioração da resistência à corrosão provocada pelo aumento da tensão interna é suficiente para se sobrepor ao efeito benéfico da dissolução de carbonetos.

A formação de austenita retida, em temperaturas de austenitização elevada, melhora a resistência à corrosão pelo aumento da fração volumétrica da fase isenta de deformação/tensão.

A utilização do revenimento após a têmpera, que alivia as tensões internas do reticulado cristalino, é eficiente para otimizar a resistência à corrosão do aço AISI 420, obtendo-se valores inferiores ao do material no estado recozido.

É possível controlar a resistência à corrosão do aço inoxidável martensítico através de um controle nas temperaturas de austenitização combinando a fração de carbonetos de cromo com o nível de tensões internas na estrutura e utilizando posteriormente o tratamento de revenimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Villares Metals, Aço Inoxidável para moldes/VP 420 ISOMAX, Catálogo Técnico, 1ª Ed., (1997).
2. P. M. Unterwiser, H. E. Boyer, J. J. Kubbs, Heat Treater's Guide. Standard Practices and Procedures for Steel", Ed. ASM Int. (1983) 257 – 400.
3. G. F. Vander Voort, H. M. James, Wrought Stainless Steels, in ASM Handbook – Metallography and Microstructures, Ed. ASM Int., 9 (1992) 279 – 296.
4. J. E. Truman, British Corrosion Journal 11 (1976) 92 - 96.
5. A. A. Ono, Dissertação de Mestrado, EPUSP, (1995) 138 p.
6. G. R. Speich, W. C. Leslie, Metallurgical Transactions A 3 (1972) 1043-1054.
7. Pinedo, C. E., Relatório Interno - CPqD Aços Villares S.A. (1994).
8. C. G. Andrés, et alli, Material Science and Engineering 241 (1998) 211 – 215.
9. C. G. Andrés, et alli, Metallurgical and Materials Transactions A 27 (1996) 1799 – 1805.
10. R. W. K. Honeycombe, Structure and strength of Alloy Steels, Ed. Climax Molybdenum Co Ltd, (1973) 36 p.
11. G. Krauss, Steels Heat Treatment and Processing Principle, Ed. ASM International (1990) 43 – 84.
12. L. L. Shreir, R. A. Jarman, G. T. Burstein, Corrosion, Vol. 1, Ed. Butterworth & Heinemann, Vol. 1, (2000) 1:36 – 1:54.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e a UMC pela bolsa de iniciação científica para um dos autores pelo programa PIBIC <sup>(1)</sup>.

A empresa Baumer Ortopedia que gentilmente cedeu o material para esta pesquisa.

## INFLUENCE OF THE HEAT TREATMENT PARAMETERS ON THE CORROSION RESISTANCE OF THE MARTENSITIC STAINLESS STEEL TYPE AISI 420

A. F. CaNDELÁRIA <sup>(1)</sup> \*, F. D. Pannoni <sup>(2)</sup>, C. E. Pinedo <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Núcleo de Pesquisas Tecnológicas da Universidade de Mogi das Cruzes, Av. Cândido X. de Almeida Souza 200, 08780-210, Mogi das Cruzes, SP.  
pinedo@umc.br

<sup>(2)</sup> Aço Minas Gerais S.A. – AÇOMINAS, Rua Alexandre Aliperti, 340, 04156-110, São Paulo, SP.

The corrosion resistance of the martensitic stainless steels is very sensitive to the heat treatment cycle. The aim of this paper is the study of the influence different quenching and tempering cycles on the corrosion resistance. Samples were quenched in oil from austenitizing temperatures ranging from 900° to 1000°C, for 1 hour. Additionally, tempering treatments at 200°C and 500°C, for times of 2, 4 and 48 hours were tested. The corrosion resistance was evaluated by the mass loss using a 0,5M/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution. Using corrosion rate on the annealed state as reference, the results show that the corrosion resistance increases for austenitizing temperatures up to 1025°C, and lowers for high temperatures. The tempering treatments are useful for increase the corrosion resistance. From the results it is possible to observe that the corrosion resistance is not only dependent on the carbide fraction, but it is very sensitive to the internal stress level of the microstructure after the quenching treatment.

Key-words: Martensitic stainless steel, heat treatment, corrosion.