

# EFEITO DO NITROGÊNIO SOBRE A SUSCEPTIBILIDADE AO REVENIMENTO PÓS-TÊMPERA DE CAMADAS CARBONITRETADAS<sup>1</sup>

*Wander Gomes da Silva<sup>2</sup>  
Amauri André Paludeto<sup>3</sup>  
Ricardo Strangis Cumino<sup>4</sup>  
Hélio Goldenstein<sup>5</sup>*

## **Resumo**

A partir da execução de tratamentos térmicos de cementação e carbonitreção a gás em quatro tipos de aços (AISI 1008 e 1010 – baixa liga; e AISI 5015 e 5120 - ligados) foi avaliada a susceptibilidade ao revenimento das camadas variando-se a temperatura do revenido em função da presença do nitrogênio na camada cementada. Todos os corpos-de-prova, em ambos os tratamentos, foram submetidos a resfriamento sub-zero após a têmpera, para a total transformação martensítica da camada eliminando assim a influência da austenita retida sobre a dureza. Para cada uma das temperaturas de revenimento, os corpos-de-prova dos diferentes tratamentos foram revenidos juntos de modo a estabelecer a igualdade de condições. Foi medida a dureza superficial de todos os corpos-de-prova e a microestrutura das camadas foi avaliada por metalografia óptica.

**Palavras-chave:** Cementação; Carbonitreção; Revenimento.

---

<sup>1</sup> Contribuição técnica a ser apresentada no 60º Congresso Anual Internacional da ABM, Belo Horizonte, MG, 25 a 28 de julho de 2005

<sup>2</sup> Eng. Metalurgista Schaeffler Brasil Ltda, Mestrando em Eng. Metalúrgica PMT-EPUSP, Sócio da ABM

<sup>3</sup> Técnico Metalúrgico Schaeffler Brasil Ltda – Engenheiro em Eng. de Controle e Automação Universidade Paulista, Sócio da ABM

<sup>4</sup> Eng. Metalurgista Schaeffler Brasil Ltda, Mestrando em Eng. Metalúrgica PMT-EPUSP, Sócio da ABM

<sup>5</sup> Prof. Livre Docente PMT-EPUSP, Sócio da ABM

## INTRODUÇÃO

O processo de cementação dos aços e ligas ferrosas consiste num tratamento termoquímico pelo qual se eleva o teor de carbono do material desde a superfície até uma determinada profundidade, tendo como principais parâmetros: a temperatura, a fonte de carbono e o tempo de processo.

De acordo com a fonte de carbono utilizada, classifica-se a cementação em três tipos:

- cementação gasosa: realizada através de uma atmosfera adequada;
- cementação líquida: realizada por meio de uma mistura de sais fundidos;
- cementação sólida: realizada através da mistura de materiais sólidos.

A cementação gasosa corresponde, sobretudo para peças com pequena espessura de camada, ao processo mais utilizado em escala industrial, tendo em vista, aspectos de qualidade da camada cementada além de alta produtividade, principalmente quando utilizados fornos contínuos. Peças cujos requisitos exigem camadas cementadas mais espessas são submetidas a cementação líquida; neste caso, a produtividade é relativamente baixa, já que normalmente são utilizados banhos de sais fundidos, em processos não-contínuos (bateladas). A cementação sólida praticamente não tem aplicação industrial. Neste trabalho, serão abordados aspectos referentes ao processo de cementação gasosa.

### Cementação gasosa

Nos processos usuais de cementação a gás, o meio utilizado como fonte de carbono é uma mistura gasosa composta usualmente por hidrocarbonetos, normalmente metano e propano. A base da atmosfera pode ainda ser formada através de álcoois, como o metanol. Em alguns casos, são ainda introduzidos gases inertes para diluição da atmosfera, como o nitrogênio, e até mesmo o ar.

De fato, a real fonte de carbono da cementação é o monóxido de carbono (CO), que por sua vez é formado no interior do forno através de diversas reações químicas entre os gases introduzidos, formadores da atmosfera. Dessa forma, o processo de cementação pode ser resumido nas seguintes etapas:

- reações químicas na fase gasosa;
- difusão dos gases até a superfície da peça (metal);
- adsorção dos gases na superfície da peça;
- reação química gás / metal;
- difusão do carbono no estado sólido, da superfície para o interior da peça.

De maneira simplificada, o processo de cementação é regido pela seguinte reação:



onde [C] é o carbono introduzido no interior da peça, dissolvido na austenita.

Entende-se por reações químicas na fase gasosa aquelas realizadas entre os gases introduzidos no forno, e correspondem basicamente ao craqueamento desses gases e interação de seus subprodutos no sentido produzir CO e de se estabelecer uma relação conveniente CO / CO<sub>2</sub> na atmosfera do forno, levando-se em conta que, por se tratar de uma reação de equilíbrio, o andamento da mesma pode ocorrer

tanto no sentido direto ( $2\text{CO} \rightarrow [\text{C}] + \text{CO}_2$ ) que, efetivamente corresponde ao processo cementante, quanto no sentido inverso ( $2\text{CO} \leftarrow [\text{C}] + \text{CO}_2$ ), que neste caso, representaria o efeito da decarbonetação, onde o carbono da superfície da peça é perdido para a atmosfera do forno.

O controle da atmosfera e desta relação  $\text{CO} / \text{CO}_2$ , na prática é efetivado através de sondas de oxigênio instaladas em pontos adequados do forno de cementação, cuja função é medir o potencial de carbono ( $C_p$ ), que pode ser definido como sendo o teor de carbono potencialmente em equilíbrio com a atmosfera do forno. A fim de se garantir este potencial constante, as sondas regulam a dosagem dos gases, mantendo-se de certa forma a composição da atmosfera inalterada.

Deve-se considerar, portanto, que num processo usual de cementação, em função da constante alimentação de gases necessária à manutenção constante do potencial de carbono, e conseqüentemente à contínua formação de  $\text{CO}$ , a reação sempre estará deslocada no sentido de introdução de carbono da superfície da peça, que é o fundamento deste processo.

### Carbonitretação

Este tratamento consiste numa forma modificada do processo de cementação a gás, através da introdução de amônia na atmosfera do forno que, em função da temperatura de tratamento, sofre decomposição através da reação  $2\text{NH}_3 = \text{N}_2 + 3 \text{H}_2$ . O nitrogênio gasoso se dissocia liberando nitrogênio livre na superfície das peças em tratamento; simultaneamente com o carbono, o nitrogênio se difunde na camada cementada a medida em que ela vai se formando.

Normalmente, utilizam-se temperaturas inferiores e tempos mais curtos que a cementação convencional a gás, resultando assim, numa camada de menor espessura. A camada carbonitretada, dura e com maior resistência ao desgaste, pode variar entre 0,08 e 0,80 mm de espessura e apresenta dureza mais elevada, comparando-se a uma camada cementada convencional, devido à presença do nitrogênio.

O nitrogênio é também um estabilizador da austenita, o que resulta em uma certa quantidade de austenita retida após a têmpera, principalmente nos aços com maior presença de elementos de liga. A austenita retida pode ser eliminada através de um tratamento sub-zero antes do revenimento, que, entretanto, acarreta maior custo final no tratamento térmico.

### Elementos de liga intersticiais: C e N

O carbono e nitrogênio, em função de seus pequenos raios atômicos, são elementos de liga intersticiais nas ligas de ferro, e apresentam comportamento semelhante, preenchendo os interstícios octaédricos do ferro- $\alpha$  (de estrutura cristalográfica CCC). Existe uma solubilidade pouco superior do nitrogênio, é provavelmente devida ao seu raio atômico ligeiramente inferior ao do carbono (as proporções entre os raios atômicos do carbono e nitrogênio, em relação ao átomo de ferro são, respectivamente, 0,61 e 0,59).

### OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo a verificação experimental do efeito da presença do nitrogênio em camadas carbonitretadas sobre o revenimento, através

da avaliação de corpos-de-prova de diferentes tipos de aço submetidos a diferentes temperaturas de revenimento, executadas sobre os tratamentos térmicos de cementação e carbonitreção.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados corpos-de-prova em na forma de placas quadradas com 40 mm de lado e 2 mm de espessura, produzidos com:

- a) aços baixa-liga (representados pelos aços AISI 1008 e 1010);
- b) aços ligados (representados pelos aços AISI 5015 e 5120).

A composição química dos aços utilizados neste trabalho é dada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição química dos materiais estudados.

Material	C	Cr	Mn	Si	P	S
AISI 1008	0,052	0,026	0,325	0,027	0,025	0,014
AISI 1010	0,098	0,095	0,617	0,021	0,012	0,003
AISI 5015	0,143	0,600	0,805	0,044	0,013	0,002
AISI 5120	0,171	0,923	1,143	0,057	0,014	0,001

Foram realizados tratamentos térmicos de cementação e carbonitreção, seguidos de têmpera em óleo e resfriamento sub-zero executado imediatamente após o processo de têmpera de forma a garantir a transformação completa da austenita.

Os tratamentos térmicos de cementação e carbonitreção foram realizados num forno industrial contínuo pelo tempo total de 120 min., com temperatura de austenitização de 890°C (zona de entrada) e 850°C (zona de saída). O resfriamento primário (têmpera propriamente dita) foi executado em óleo a 60 °C e o resfriamento secundário (sub-zero) em câmara fria a -90°C pelo tempo de 120 min. Até esta etapa, todos os corpos-de-prova correspondentes a todos os materiais estudados foram tratados simultaneamente

As amostras foram então submetidas a diferentes temperaturas de revenimento, conforme Tabela 2:

**Tabela 2.** Temperaturas de revenimento utilizadas na experiência.

Tratamento	Temperatura de revenimento (°C)
1	140
2	160
3	180
4	200
5	220
6	240
7	260
8	280
9	300
10	320
11	340
12	360

Os tratamentos de revenimento foram conduzidos em forno de laboratório (tipo mufla), sendo a temperatura de revenimento monitorada por meio de um termopar. O tempo total de revenimento foi de 120 min.

Para cada temperatura indicada na Tabela 2, foram revenidos simultaneamente corpos-de-prova de todos os materiais citados na Tabela 1, sendo utilizados 3 corpos-de-prova para cada material.

Após conclusão dos ciclos de revenimento, os corpos-de-prova foram submetidos à limpeza da superfície para remoção de impurezas, além de lixamento (grana 600) e polimento, suficientes para execução dos ensaios de dureza superficial sem interferir na espessura da camada. As medições de dureza foram realizadas na escala Vickers, com carga de 10 kgf (HV 10).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em todos os materiais estudados, foi observado que a dureza superficial dos corpos-de-prova carbonitretados foi sempre maior que a das amostras simplesmente cementadas, e isto se deu para todas as temperaturas de revenimento, demonstrando um efeito direto da presença do nitrogênio sobre a dureza da martensita. Além disso, à exceção do aço 1008, todos os outros materiais submetidos ao tratamento de carbonitretação apresentaram ainda uma susceptibilidade ao revenimento inferior àquela observada no tratamento de cementação sem amônia. Neste trabalho, definiu-se o termo susceptibilidade ao revenimento como sendo a capacidade de diminuição da dureza à medida que aumenta a temperatura de revenido. Matematicamente, pode-se entender esta susceptibilidade como sendo a inclinação da curva dureza x temperatura de revenimento, apresentada na Figura 1.

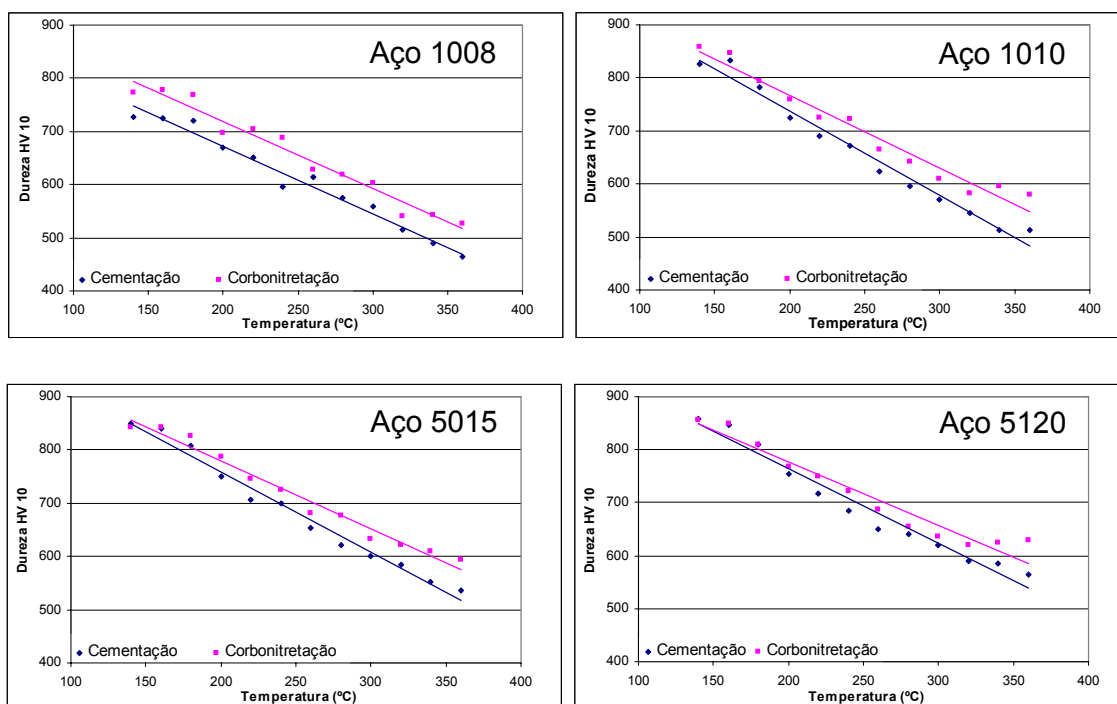
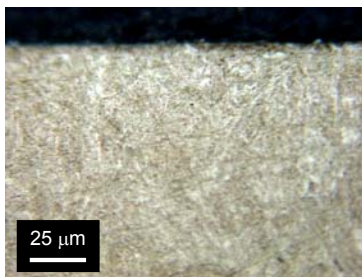
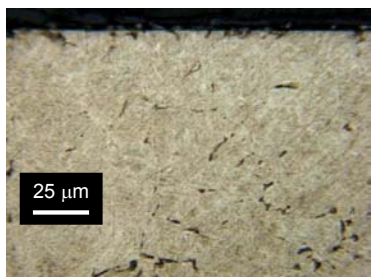


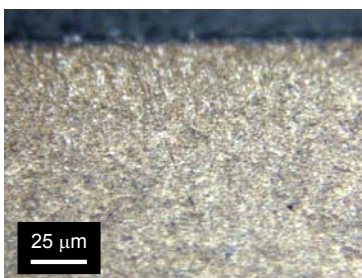
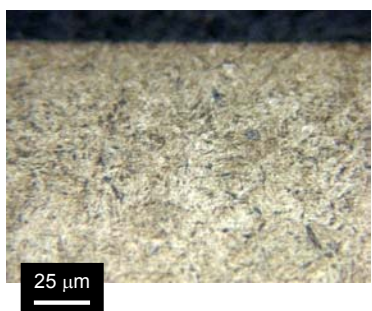
Figura 1. Efeito da temperatura de revenimento sobre os processos de cementação e carbonitretação gasosa.

Nos aços AISI 1010, 5015 e 5120, quanto maior foi a temperatura de revenimento, maior foi a diferença de dureza encontrada entre as amostras cementadas e carbonitretadas. Dessa forma, a presença de nitrogênio na camada cementada, minimiza os efeitos do tratamento de revenimento da martensita, e este efeito é tanto maior quanto mais intenso foi o revenimento (maior temperatura). É possível que este comportamento esteja ligado à diferença (ainda que pequena) de raio atômico entre o carbono e o nitrogênio. Por ser ligeiramente menor, a distorção provocada pela presença do nitrogênio no interstício octaédrico da martensita tende a ser também ligeiramente inferior, promovendo maior estabilidade desta estrutura, quando comparado à deformação provocada pelo carbono, o que também é explicado pela maior solubilidade do nitrogênio. Sendo assim, durante as transformações do revenido, as precipitações de carbonetos secundários dos aços somente cementados tende a ser maior do que a de nitretos, ou carbonitretos, e portanto, aços submetidos a tratamentos de carbonitreção, tendem a manter o nitrogênio como elemento intersticial mais intensamente do que o carbono, explicando assim a menor susceptibilidade ao revenido dos aços carbonitretados.

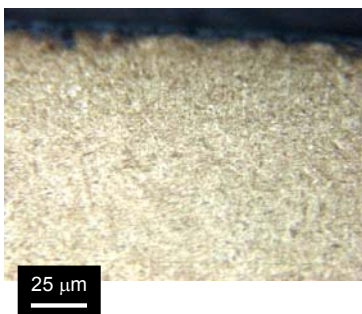
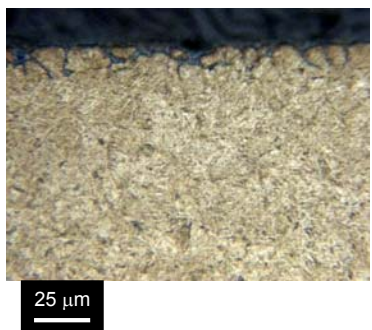
Para o aço AISI 1008, também foi observada, em todas as temperaturas de revenimento, que a dureza obtida por carbonitreção foi sempre superior à da cementação. Entretanto ao contrário dos outros materiais, a susceptibilidade ao revenimento, em função do aumento da temperatura, manteve-se constante, ou seja, foi observada a mesma diferença de dureza entre os dois tipos de tratamento, tanto para baixas como para altas temperaturas de revenimento. Este comportamento está ligado à maior presença de troostita na superfície das amostras deste material submetidas apenas a cementação sem amônia (Figura 2). Para menores temperaturas (ou seja, revenimento pouco intenso), a queda de dureza das amostras cementadas deve-se mais à presença da troostita na camada do que ao próprio revenimento, efeito que se inverte para as temperaturas mais altas, onde o defeito do revenimento é preponderante à presença da troostita, no que se refere ao abaixamento da dureza. O mesmo não é observado nas amostras de 1008 carbonitretadas, pois o nitrogênio tem ainda uma forte influência sobre a temperabilidade, e portanto, não se verificou a presença de troostita. Com isso, para as amostras apenas cementadas, seriam esperados maiores valores de dureza para as menores temperaturas de revenimento, não fosse pela presença da troostita; e neste caso, a inclinação da curva (e portanto, a susceptibilidade ao revenimento) seria aumentada. Assim sendo, observar-se-ia o mesmo comportamento apresentado pelos outros materiais. As Figuras 2 a 5 ilustram as microestruturas dos 4 tipos de aços submetidos à cementação e carbonitreção, para a temperatura de revenimento de 280°C.



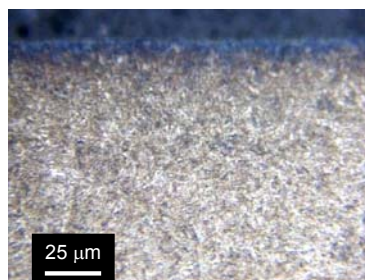
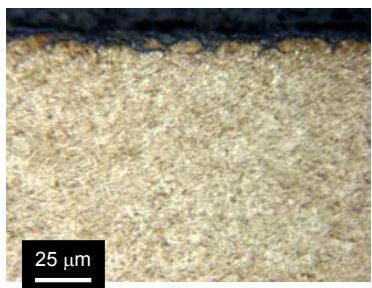
**Figura 2.** Aspecto micrográfico do aço AISI 1008 após revenimento a 280 °C. À esquerda, amostra cementada; à direita, amostra carbonitretada – nital 3%.



**Figura 3.** Aspecto micrográfico do aço AISI 1010 após revenimento a 280 °C. À esquerda, amostra cementada; à direita, amostra carbonitretada – nital 3%.



**Figura 4.** Aspecto micrográfico do aço AISI 1010 após revenimento a 280 °C. À esquerda, amostra cementada; à direita, amostra carbonitretada – nital 3%.



**Figura 5.** Aspecto micrográfico do aço AISI 1010 após revenimento a 280 °C. À esquerda, amostra cementada; à direita, amostra carbonitretada – nital 3%.

## **CONCLUSÕES**

Amostras de diferentes tipos de aço baixo carbono, submetidas a um tratamento de carbonitretação, apresentam valores de dureza superficial após têmpera e revenimento mais elevados do que quando submetidos a um simples tratamento de cementação, indicando que a presença de nitrogênio na camada cementada contribui de maneira efetiva, juntamente com o carbono em solução, para o endurecimento da martensita.

A medida que aumenta a temperatura de revenimento, tanto mais distintos tornam-se as diferenças de dureza entre as amostras cementadas e carbonitretadas, com os valores mais elevados sempre observados para o tratamento de carbonitretação, demonstrando que a presença do nitrogênio dissolvido na camada cementada reduz a susceptibilidade ao revenimento de aços.

## **Agradecimentos**

À Schaeffler Brasil Ltda. pela possibilidade de realização deste trabalho.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 1 ASM Handbook, V. 4, p 376-379. ASM International, 1991.
- 2 Silva Jr., J. V. "Cementação a gás em fornos contínuos", Dissertação de mestrado apresentada à EPUSP, 1978
- 3 Rothery, W. H. "Estrutura das ligas de ferro", Edgar Blücher, 1968.
- 4 Honeycombe, R. W. K. "Aços – Microestrutura e propriedades", Calouste Gulbenkian, 1982.



# THE INFLUENTE OF NITROGEN ON THE SUSCEPTIBILITY TO TEMPERING AFTER HARDENING FROM CARBONITRIDING LAYERS<sup>1</sup>

*Wander Gomes da Silva<sup>2</sup>  
Amauri André Paludeto<sup>3</sup>  
Ricardo Strangis Cumino<sup>4</sup>  
Hélio Goldenstein<sup>5</sup>*

## **Abstract**

From carburizing and carbonitriding heat treatments, carried out to four kinds of steels (AISI 1008 and 1010 – low alloy; and AISI 5015 and 5120 – alloyed) it was evaluated the susceptibility to tempering of the steels due the presence of nitrogen on the cemented layer. All samples, after hardening, were submitted to the sub-zero treatment to obtained a total martensitic transformation, to eliminate any influence of retained austenite. To each tempering temperature the samples were tempered together to remain the same conditions. It was evaluated the surface hardness and the microstructure by optical metallography.

**Key-words:** Gas carburizing, Carbonitriding, Tempering

---

<sup>1</sup> Paper to be submitted to 60<sup>th</sup> Annual Congress – International ABM, São Paulo, SP, 25<sup>th</sup> to 28<sup>th</sup>, July, 2005

<sup>2</sup> Metallurgical Eng. Schaeffler Brasil Ltda, MSc-graduating student PMT-EPUSP, Member ABM

<sup>3</sup> Metallurgical Technician Schaeffler Brasil Ltda – Undergraduating student Mechanical Eng. UNIP, Member ABM

<sup>4</sup> Metallurgical Eng. Schaeffler Brasil Ltda, MSc-graduating student PMT-EPUSP, Member ABM

<sup>5</sup> Prof. Dr. PMT-EPUSP, Member ABM