

## CARBONITRETAÇÃO GASOSA DE FERRO FUNDIDO CINZENTO COQUILHADO

### **Cristina Peruchi Dário**

Grupo Copobras e. Padre Auling, 595 - Industrial, São Ludgero - SC  
[crisperuchi@hotmail.com](mailto:crisperuchi@hotmail.com)

### **Keli Vanessa Salvador Damin**

IFSC - Av. Nereu Ramos, Seminário, Chapecó - SC  
[keli.salvador@ifsc.edu.br](mailto:keli.salvador@ifsc.edu.br)

### **Fernando Michelon Marques**

IFSC - Av. Nereu Ramos, Seminário, Chapecó - SC  
[fernando.marques@ifsc.edu.br](mailto:fernando.marques@ifsc.edu.br)

### **Mateus Andre Hilgert**

IFSC- Av. Nereu Ramos, Seminário, Chapecó - SC  
[mateus.ah@aluno.ifsc.edu.br](mailto:mateus.ah@aluno.ifsc.edu.br)

### **Rodrigo Cardoso Costa**

IFC-Av. Frei João, 550, Luzerna – SC  
[rodrigo.costa@ifc.edu.br](mailto:rodrigo.costa@ifc.edu.br)

**Resumo.** Os ferros fundidos cinzentos possuem inúmeras vantagens que permitem sua utilização como material base para a fabricação das mais variadas peças. A fim de aumentar a resistência ao desgaste, peças coquilhadas de ferro fundido cinzento foram submetidas ao tratamento termoquímico de carbonitretação. Foram avaliados os efeitos dos parâmetros de carbonitretação gasosa nas propriedades de dureza e desgaste abrasivo. Foram definidos como fatores de interesse o tempo de tratamento (2 e 8 horas), a temperatura de carbonitretação (480 e 580°C) e o percentual de metano na atmosfera de amônia (1 e 5% de CH<sub>4</sub>). Como respostas foram obtidos o valor de microdureza e desgaste da superfície. Os resultados indicaram que com o tratamento de carbonitretação houve um aumento de microdureza para todas as amostras estudadas, em especial para a amostra tratada à 580°C por 8 horas com 5%CH<sub>4</sub> que obteve 790HV. Com relação ao ensaio de desgaste observou-se que nas amostras tratadas à 580°C houve um aumento de desgaste quando houve um aumento da concentração de CH<sub>4</sub> na atmosfera.

**Palavras chave:** Carbonitretação. Ferro Fundido Cinzento. Desgaste

## 1. INTRODUÇÃO

O Ferro fundido cinzento é um dos materiais mais utilizados nas indústrias em geral. As suas propriedades são interessantes quanto à condutividade térmica, alta resistência mecânica, baixo coeficiente de atrito, boa resistência ao desgaste e boa capacidade de amortecimento quando comparado com o aço (CHIAVERINI, 1996).

Como visto, os ferros fundidos cinzentos possuem inúmeras vantagens que permitem sua utilização como material base para a fabricação das mais variadas peças automotivas. Com a finalidade de melhor ainda mais a resistência ao desgaste, as peças podem ser submetidas ao processo de coquilhamento e ainda a tratamentos termoquímicos (SMITH, 2012). O coquilhamento favorece a obtenção de carbonetos na amostra e é conseguida com a utilização de uma coquilha no molde durante a solidificação que provoca um superesfriamento suficientemente alto a ponto de se obter ferro fundido branco na superfície da amostra mantendo o interior ainda como ferro fundido cinzento. Este coquilhamento tem por objetivo melhorar a resistência ao desgaste do material que uma vez montado no motor, irá sofrer atrito constante com o eixo de comando de válvulas.

Entre os tratamentos termoquímicos, pode-se destacar o de carbonitretação. A carbonitretação é um tratamento termoquímico que objetiva a formação de carbonitretos que contribuem para o aumento da resistência ao desgaste, a corrosão e a fadiga (YANG, 2008; KOCÚROVÁ, 2013).

Neste estudo foram avaliados os principais parâmetros da carbonitretação gasosa sobre ferros fundidos cinzentos coquilhados e suas influências sobre a resistência ao desgaste abrasivo de tuchos mecânicos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Como amostras foram utilizados tuchos mecânicos de ferros fundido cinzento obtidos na condição coquilhada (Figura 1). Os tuchos tinham 54 mm de comprimento e 31,63 mm de diâmetro, a análise química dos mesmos se encontra na Tabela 1.



Figura 1. Amostra de tucho mecânico utilizado no estudo (Autores, 2019)

Tabela 1. Análise química do material estudado (%) (Autores, 2019)

Amostra	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Cu	Fe
Tucho somente coquilhado	3,90	0,796	2,06	0,104	0,071	0,264	0,108	0,665	91,9

Para os tratamentos de carbonitreção gasosa as amostras foram limpas com querosene e em seguida carbonitretadas em um reator cilíndrico com temperatura controlada. A Tabela 2 mostra as condições de processamento estudadas no presente estudo. Foram realizados 8 ciclos de carbonitreção variando a temperatura, tempo de tratamento e concentração de metano ( $\text{CH}_4$ ). Para todos os tratamentos de carbonitreção o restante da atmosfera foi composta por amônia ( $\text{NH}_3$ ).

Tabela 2. Parâmetros experimentais de tratamento (Autores, 2019)

Amostra	T (°C)	Conc. de $\text{CH}_4$ (%)	Conc. de $\text{NH}_3$ (%)	tempo (h)
A	480	1	99	2
B	480	1	99	8
C	580	1	99	2
D	580	1	99	8
E	480	5	95	2
F	480	5	95	8
G	580	5	95	2
H	580	5	95	8

A caracterização das amostras foi realizada via microscopia óptica, microdureza Vickers (1000gf) e ensaio de desgaste abrasivo, de acordo com a norma ASTM G65 (Procedimento C) em um equipamento do tipo roda de borracha. A Figura 2 mostra este equipamento de forma esquemática (a) e o equipamento utilizado nos ensaios de desgaste (b).

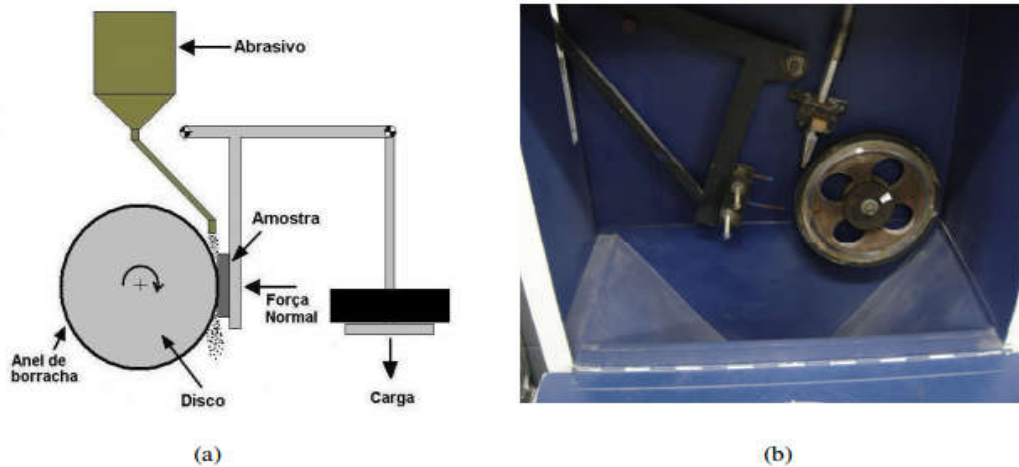


Figura 2. Representação esquemática do equipamento roda de Borracha (a). Equipamento utilizado nos ensaios (b) (Autores, 2019)

A Tabela 3 apresenta os parâmetros de controle utilizados durante os ensaios de desgaste.

Tabela 3. Parâmetros utilizados durante os ensaios de desgaste, conforme ASTM G65 procedimento C (Autores, 2019)

Duração ensaio (s)	Carga (N)	Veloc. da roda (rpm)	Revoluções por ensaio	Granulometria da areia (AFS)	Diâm. da roda abrasiva (mm)
30	130	200	100	50/70	221,3

Para a análise de desgaste foi utilizada um balança de precisão com resolução de 0,0001g. Em termos de análise de microdureza foi utilizado um microdurômetro Future-Tech FM-800 com tempo de espera de 15 segundos. As medidas de microdureza foram realizadas por meio de um indentador Vickers empregando-se uma carga de 1000 g. Foram realizadas medidas de microdureza na seção transversal das amostras nas profundidade de 1, 2 e 3 mm.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 apresenta os resultados de perda de massa para as amostras estudadas. Cada resultado foi obtido pela de três medidas de perda de massa por condição de ensaio.

Tabela 4. Resultados obtidos a partir da média de três medidas de desgaste por condição de ensaiada (Autores, 2019)

Corpos de prova	T (°C)	Conc. (%)	t. (h)	Perda de massa (%)
A	480	1	2	0,0018 ± 0,0004
B	480	1	8	0,0033 ± 0,0013
C	580	1	2	0,0007 ± 0,0006
D	580	1	8	0,0013 ± 0,0004
E	480	5	2	0,0029 ± 0,0017
F	480	5	8	0,0013 ± 0,0006
G	580	5	2	0,0031 ± 0,0025
H	580	5	8	0,0016 ± 0,0010

T – Temperatura de carbonitreção; Conc. – Concentração de CH<sub>4</sub>; t. – Tempo de exposição das amostras

Para concentração de 1% e ambos os tempos (2 ou 8h) o aumento de temperatura de 480 para 580 °C reduziu o percentual de perda de massa (amostra “A” de 0,0018% para 0,0007% na amostra “C” e de 0,0033% amostra “B” para 0,0013% amostra “D”). Já para a concentração de 5% de metano (para ambos os tempos - 2 ou 8h) o aumento de temperatura de 480 para 580 °C não alterou a variação da perda de massa já que os resultados das amostras “E” e “G”; e “F” e “H” permaneceram estatisticamente iguais. Isto indica que o aumento da temperatura de carbonitreção em atmosferas com 5% de CH<sub>4</sub> não altera as propriedades de resistência ao desgaste, enquanto que o aumento da temperatura de carbonitreção em atmosferas contendo 1% de CH<sub>4</sub> pode proporcionar uma superfície com melhores propriedades de

resistência ao desgaste. Demais conclusões exclusivamente em função do tempo de tratamento (2 ou 8h) não podem ser realizadas devido ao fato dos resultados serem estatisticamente iguais.

Os resultados de medidas de microdureza Vickers são apresentadas na Figura 3. Observa-se que a carbonitreção aumentou o valor de microdureza para todas as condições. A amostra “H”, que foi a que apresentou o maior valor de microdureza para o primeiro milímetro, contudo foi a que apresentou a maior queda de dureza a partir dos 2 mm. Já as amostras “B” e “D” submetidas a 1% de metano por 8 horas mantiveram os valores de microdureza produzindo um patamar.

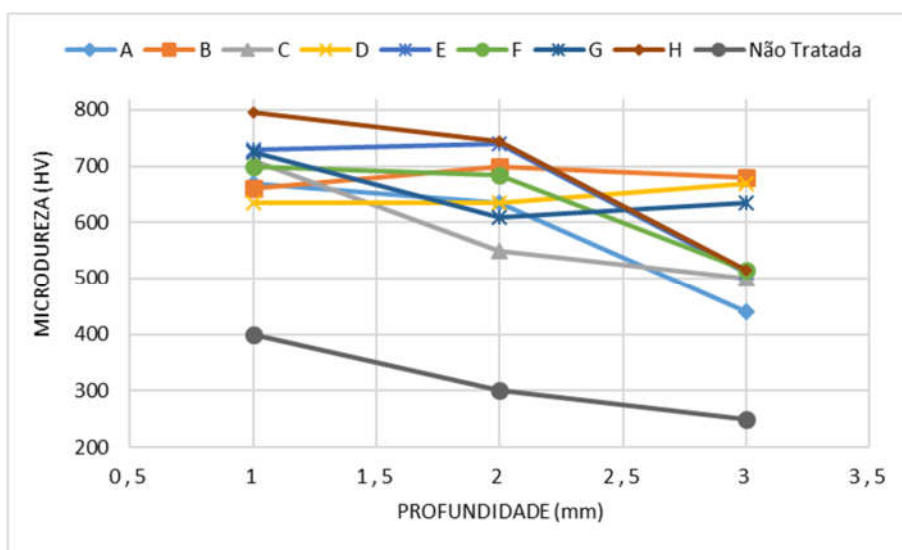


Figura 3. Microdureza Vickers dos corpos de prova carbonitretados (Autores, 2019)

É importante salientar que dentro do conjunto de amostras estudadas a que apresentou a menor perda de massa não foi a amostra com maior dureza (amostra “H” - 795 HV) e sim a amostra “C”. Ela apresentou uma dureza por volta dos 710 HV no primeiro milímetro, mas reduziu significativamente para 550 HV para a profundidade de 2 mm e para 500 HV à 3 mm. Esse fenômeno sugere que uma microestrutura com maior dureza não apresenta, necessariamente, a maior resistência ao desgaste como já discutido por WANG; LEI; LIU (1999) e RIGNEY (1997). Sendo que isso pode ser ao fato do terceiro corpo formado (debris) ser de elevada dureza o que aceleraria o processo de desgaste do sistema.

#### 4. CONCLUSÕES

Observou-se que com o tratamento de carbonitreção houve um aumento de microdureza para todas as amostras estudadas, em especial para a amostra “H” que obteve 795HV. Com relação ao ensaio de desgaste observou-se que para concentração de 1% e ambos os tempos (2 ou 8h) o aumento de temperatura de 480 para 580 °C reduziu o percentual de perda de massa.

#### 5. REFERÊNCIAS

- ASTM G65-16. 2016. Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus, ASTM International, West Conshohocken.
- Chiaverini, V. 1996. *Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos*. Associação Brasileira de Metais, São Paulo, 7. Edição.
- Kocúrová, K., Dománková M. e Hazlinger, M. 2013. The influence of carbonitriding process on microstructure and mechanical properties of micro-alloyed steel. *METABK, Vol 52(1)*, p. 19-22.
- Yang, K. *et al.* 2008. “Effect of carbonitride precipitates on the abrasive wear behaviour of hardfacing alloy”. *Applied Surface Science*, Vol. 254 p. 5023–5027.
- Smith, W. F. e Hashemi, J. 2012. *Fundamentos de engenharia: e ciência dos materiais*. AMGH, Porto Alegre, 5. Edição.
- Wang, Y.; Lei T.; Liu, J. 1999. “Tribo-metallographic behavior of high carbon steels in dry sliding”. *Wear*, Vol. 231, n. 1, p.12-19.
- Rigney, D.A. 1997. “Comments on the sliding wear of metals”. *Tribology International*, Vol. 30, n. 5, p.361-367.

## 6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

### GRAY CAST IRON GAS CARBONITRETATION

**Cristina Peruchi Dário**

Grupo Copobras e. Padre Auling, 595 - Industrial, São Ludgero - SC  
[crisperuchi@hotmail.com](mailto:crisperuchi@hotmail.com)

**Keli Vanessa Salvador Damin**

IFSC - Av. Nereu Ramos, Seminário, Chapecó - SC  
[keli.salvador@ifsc.edu.br](mailto:keli.salvador@ifsc.edu.br)

**Fernando Michelon Marques**

IFSC - Av. Nereu Ramos, Seminário, Chapecó - SC  
[fernando.marques@ifsc.edu.br](mailto:fernando.marques@ifsc.edu.br)

**Mateus Andre Hilgert**

IFSC- Av. Nereu Ramos, Seminário, Chapecó - SC  
[mateus.ah@aluno.ifsc.edu.br](mailto:mateus.ah@aluno.ifsc.edu.br)

**Rodrigo Cardoso Costa**

IFC-Av. Frei João, 550, Luzerna – SC  
[rodrigo.costa@ifc.edu.br](mailto:rodrigo.costa@ifc.edu.br)

***Abstract.** The effects of gaseous carbonitriding parameters on the hardness and wear properties of chilled gray cast iron were evaluated. The treatment time (2 and 8 hours), the carbonitriding temperature (480 and 580°C) and the percentage of methane in the ammonia atmosphere (1 and 5% CH<sub>4</sub>) were defined as interest factors. The value of microhardness and abrasive wear were evaluated. The results indicated the treatment of carbonitriding increased the microhardness of all samples studied, especially for the sample treated at 580°C for 8 hours with 5% CH<sub>4</sub> that obtained 790HV. In the wear test the samples treated at 580°C showed a greater wear as the concentration of methane in the atmosphere increased.*

***Keywords:** Carbonitriding. Gray Cast Iron. Wear.*

## RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.