



OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO TÉRMICO DO FERRO FUNDIDO BRANCO ALTO CROMO CLASSE IIB SUBMETIDOS A DESGASTE ABRASIVO¹

Marcus Vinicius Pereira Arruda²
Ivênio de Oliveira Teixeira³
Marcos Machado Matsumoto⁴

Resumo

O ferro fundido branco de alto cromo classe IIB é aplicado em peças onde se exige elevada resistência ao desgaste, principalmente no setor minero-metalúrgico. Peças fabricadas a partir desta liga, após solidificação, apresentam heterogeneidades microestruturais que eleva a dureza do material, dificultando as operações de usinagem. Este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de um pré-tratamento de recozimento sobre a trabalhabilidade da liga. Partindo de um tratamento isotérmico à 700°C, avaliou-se a dureza, microdureza e a microestrutura do material após 4, 6 e 8 horas de encharque nessa temperatura. Adotando o pré-tratamento, proposto neste trabalho, foi possível diminuir a dureza do material e homogeneizar a microestrutura antes da etapa de têmpera e revenimento.

Palavras-chave: Ferro fundido branco de alto cromo; Recozimento; Trabalhabilidade;

OPTIMIZATION OF HEAT TREATMENT OF HIGH CHROMIUM WHITE CAST IRON CLASS IIB SUBMITTED TO ABRASIVE WEAR

Abstract

The white cast iron of high chrome class IIB is applied to parts which require high wear resistance, especially in mining and metallurgical industry. Parts manufactured from this alloy after solidification, microstructural heterogeneities exhibit that raises the hardness of the material, making it difficult machining operations. This study aims to evaluate the effect of pre-annealing treatment on the workability of the alloy. Assuming an isothermal treatment at 700°C, was evaluated the hardness, microstructure of the material after 4, 6 and 8 hours at this temperature. Adopting the pre-treatment proposed in this work, it was possible to reduce the hardness of the material and homogenize the microstructure before the step of quenching and tempering.

Key words: High-chromium white cast iron; Annealing; Workability.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Engenheiro de Materiais, Centro de Tecnologia Usiminas – Unidade Ipatinga.

³ Engenheiro Mecânico, M. Sc., CQE/ASQ, Centro de Tecnologia Usiminas – Unidade Ipatinga.

⁴ Engenheiro de Materiais, Centro de Tecnologia Usiminas – Unidade Ipatinga.

1 INTRODUÇÃO

Os ferros fundidos brancos de alto cromo são largamente utilizados em componentes das indústrias siderúrgicas e de mineração, principalmente onde se exige elevada resistência ao desgaste abrasivo. Em termos de composição química, são ligas ferrosas contendo entre 11 - 30% de cromo e 1,8% - 3,6% de carbono, sendo comum, adições de outros elementos de liga como silício, manganês, molibdênio, cobre e níquel⁽¹⁾. A norma ASTM A532⁽²⁾ é mais frequentemente utilizada para classificar estes tipos de materiais.

A resistência ao desgaste e a tenacidade dos ferros fundidos branco de alto cromo são determinadas pela microestrutura, em particular pela de solidificação,⁽³⁾ esta é constituída basicamente de carbonetos eutéticos, M_7C_3 , e matriz metálica contendo elevada concentração de austenita retida e martensita. Os carbonetos eutéticos M_7C_3 possuem elevada dureza, entre 1500 HV e 1700 HV, e conferem à liga elevada resistência ao desgaste. Já a matriz metálica, por apresentar menor valor de dureza, entre 300 HV e 900 HV (dependendo do histórico térmico da liga), contribui com as propriedades de resistência mecânica e tenacidade, além de propiciar um devido apoio aos carbonetos.⁽⁴⁾

Peças fundidas a partir da liga classe IIB (norma ASTM A532), apresentam em seu estado inicial, bruto de fusão, elevada dureza. Isto se deve a uma heterogeneidade microestrutural criada pelo processo de solidificação da liga. Tendo em vista que, grande parte destas peças necessita de posterior acabamento de usinagem, estas devem ser submetidas a um tratamento térmico de recozimento, buscando obter uma matriz com maior concentração de ferrita possível, conseqüentemente menor dureza. Informações disponíveis em literaturas mostram que este fenômeno ocorre entre 700°C – 750°C, demandando de aproximadamente 6 horas para a completa transformação da matriz em ferrita mais carbonetos secundários (perlita de liga).⁽⁵⁾

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de um pré-tratamento térmico de recozimento visando a diminuição da dureza e homogeneização da microestrutura da matriz, afim de, beneficiar as operações de usinagem e etapas subseqüentes de têmpera e revenido.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do pré-tratamento foram confeccionados corpos de prova com dimensões de 25mm x 25mm x 25mm a partir de um lingote fundido em um forno de fusão atmosférico. Na Figura 1 é possível observar as posições e a região no qual os corpos de provas foram cortados.

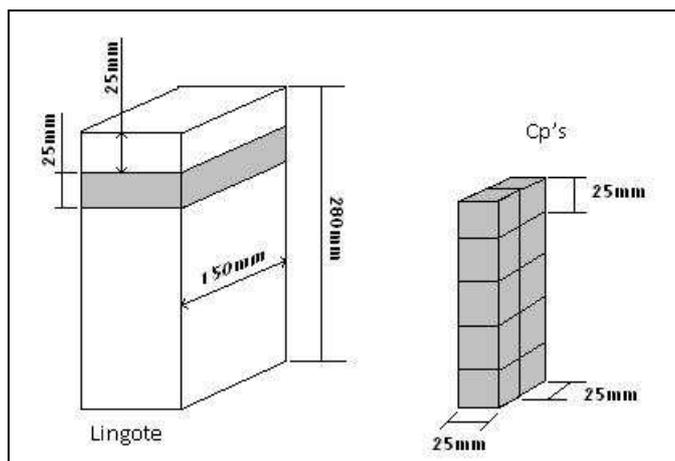


Figura 1: Desenho esquemático indicando as posições de corte dos corpos de prova.

A composição química do lingote está de acordo com as faixas estabelecidas na norma ASTM A532 para a classe IIB, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Tabela de composição química conforme norma ASTM A532⁽²⁾

Classe	C	Cr	Mo
II B	2,0 – 3,3	14,0 – 18,0	3,0 máx

Os tratamentos térmicos foram realizados em forno tipo mufla. A temperatura de pré-tratamento, 700°C, foi determinada a partir de simulações termodinâmicas realizadas no software *Thermo-Calc TCW4*, na base de dados TCFE5. A cinética de transformação foi avaliada partindo de um tratamento isotérmico interrompido, no qual amostras foram retiradas nos intervalos de 4, 6 e 8 horas. O tratamento térmico de têmpera foi realizado na amostra recozida após 4 horas de encharque, que consistiu em elevar o material a 950°C, mantendo-o por 0,5 hora com resfriamento ao ar forçado. O revenimento consistiu em aquecer o material temperado, à temperatura de 500°C com encharque de 2 horas resfriando ao ar livre.

As medidas de microdureza foram obtidas na região da matriz da microestrutura, utilizando-se um microdurômetro digital, *Future-Tech FM 700*, com carga de 50 gf. A dureza em escala HRC foi realizada na máquina universal de bancada *Wilson Series 500*. Os valores de dureza são expressos a partir da média de 10 impressões.

A análise metalográfica foi feita a partir de microscopia ótica padrão, utilizando um microscópio *Carl Zeiss Axio Imager M1m*, com analisador de imagem digital, *Axio Vision Rel. 4.4*, acoplado. As microestruturas resultantes do tratamento isotérmico foram reveladas com reativo metalográfico Vilella, por imersão de aproximadamente 15 segundos.

3 RESULTADOS

Analisando o diagrama obtido via simulação *Thermo-Calc*, apresentado na Figura 2, determinou-se a temperatura de pré-tratamento, 700°C, adotando os seguintes critérios:

- garantir a desestabilização da austenita bruta de fusão na região de equilíbrio das fases ferrita e carbonetos M_7C_3 (perlita de liga); e
- impedir a formação de austenita desestabilizada, campo 3, prevenindo a transformação martensítica no resfriamento, o que acarretaria em um aumento de dureza.

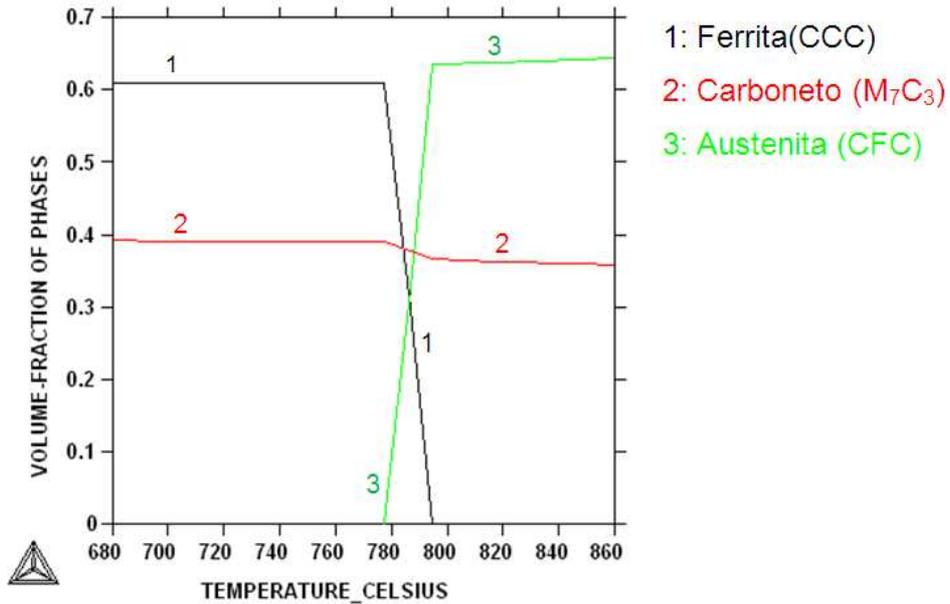


Figura 2: Diagrama calculado pelo software Thermo-Calc indicando o equilíbrio das fases na temperatura entre 680°C e 860°C.

A Figura 3 apresenta a microestrutura obtida no estado bruto de fusão, já a Figura 4, caracteriza metalograficamente as condições após tratamento isotérmico à 700°C, variando o encharque em 4(a), 6(b) e 8(c) horas.

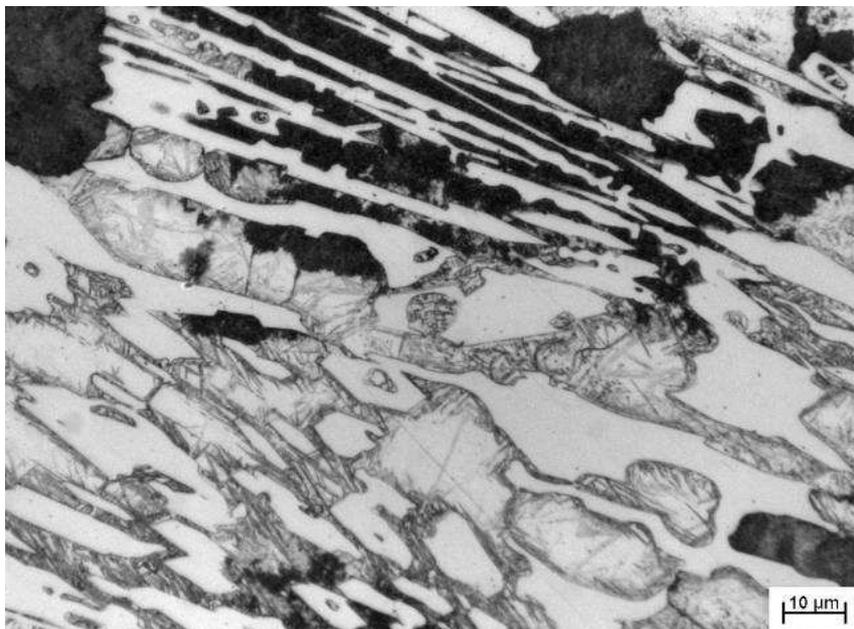
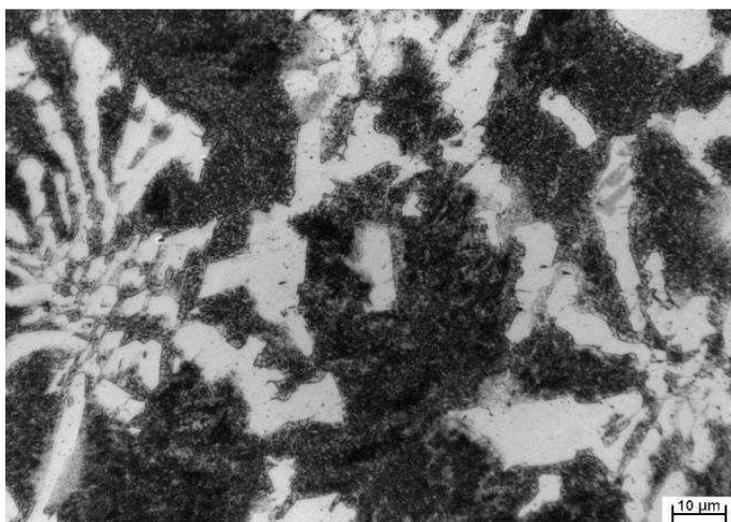
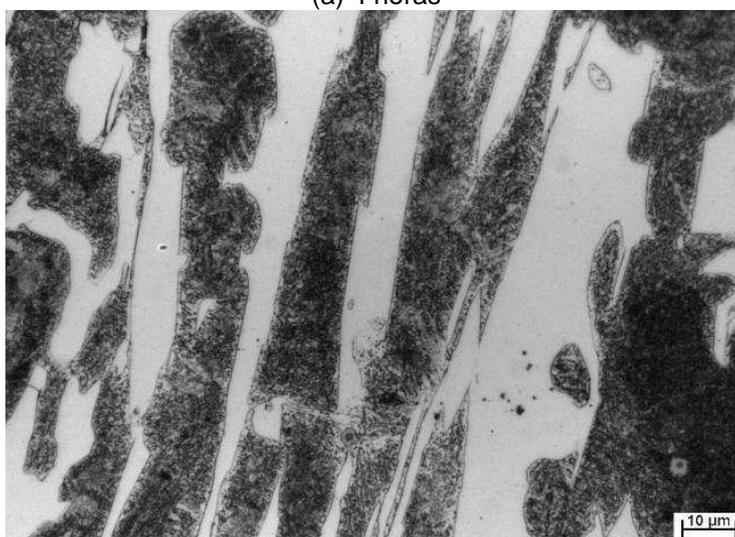


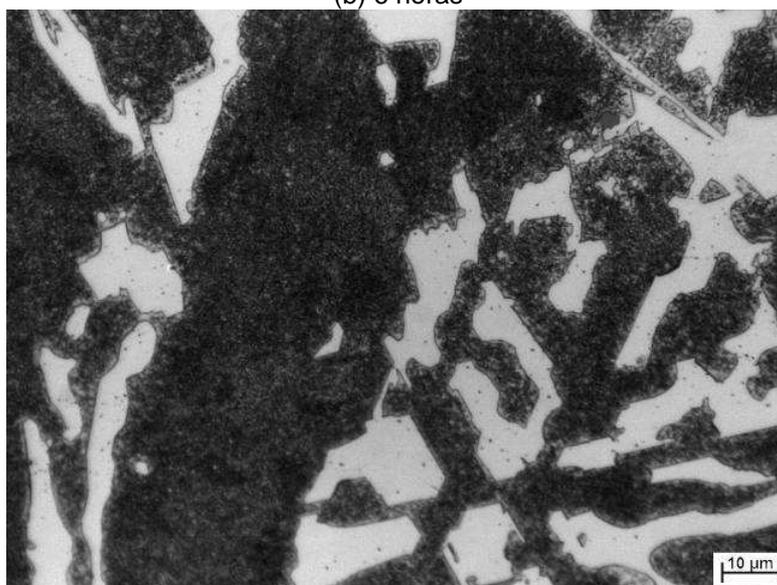
Figura 3: Microestrutura obtida na amostra no estado bruto de fusão evidenciando os carbonetos eutéticos (carbonetos claros), matriz constituída de perlita (região escura), martensita (agulhas ao redor do eutético) e austenita (região clara na matriz).



(a) 4 horas



(b) 6 horas

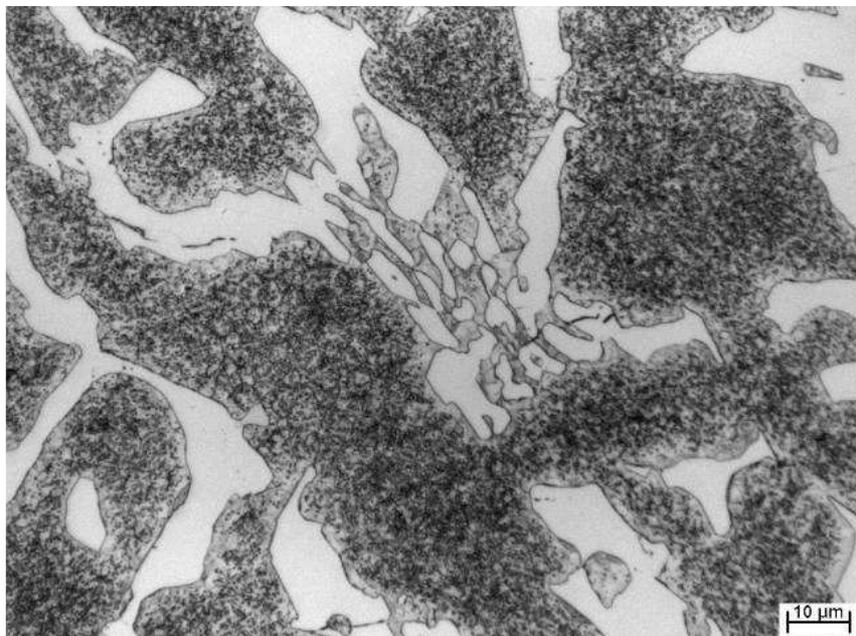


(c) 8 horas

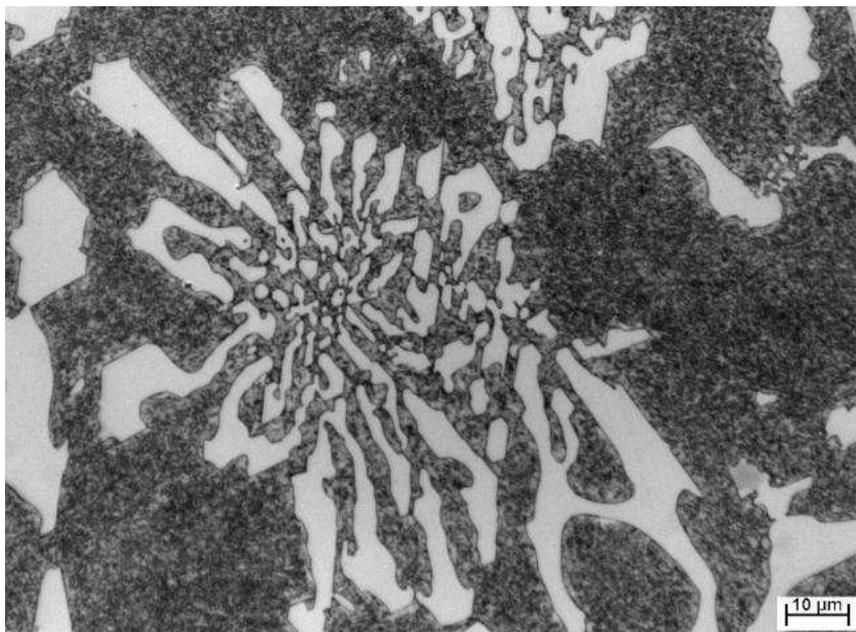
Figura 4: Microestruturas obtidas via microscopia ótica após pré-tratamento a 700°C nas respectivas condições de encharque.



As amostras submetidas ao ciclo de endurecimento, contemplando têmpera e revenimento, também foram avaliadas quanto a microestrutura, apresentadas na Figura 5.



(a)



(b)

Figura 5: Microestruturas óticas do material; (a) temperado; (b) temperado e revenido.

Os valores de dureza obtidos nas diversas condições de amostragem são apresentados na Tabela 2 e graficamente na Figura 6.



Tabela 2- Resultados de dureza, obtidos na amostra, no estado bruto de fusão e após cada etapa envolvida no ciclo térmico proposto

Condição da Amostra		Dureza HV 50gf	Dureza HRC
Bruto de fusão		573 ± 75	61 ± 0,2
Perlitizada	Encharque 4 h	493 ± 4,0	51 ± 0,4
	Encharque 6 h	445 ± 5,0	49 ± 0,3
	Encharque 8 h	431 ± 5,8	48 ± 0,6
Temperada		986 ± 12,3	70 ± 0,6
Temperada e revenida		788 ± 11,7	67 ± 0,2

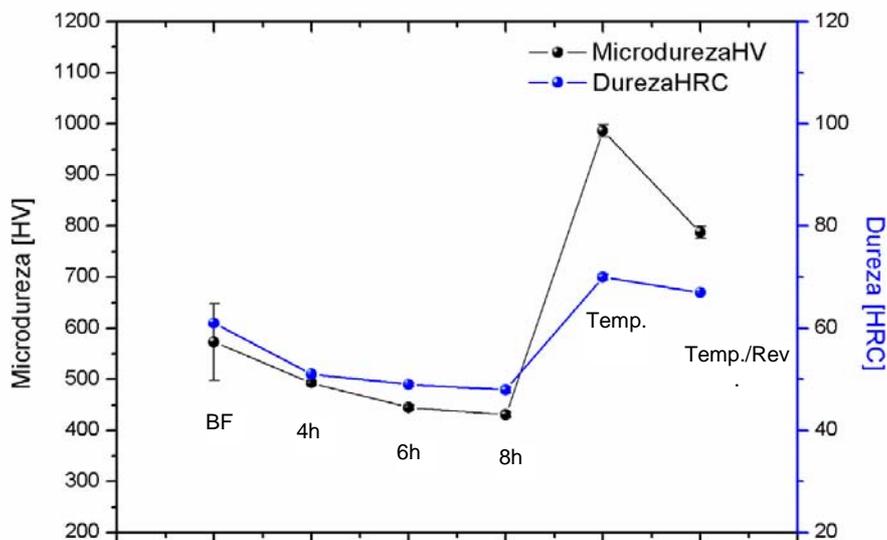


Figura 6: Resultados de dureza obtidos após etapas de amostragem.

4 DISCUSSÃO

A microestrutura da amostra no estado inicial, bruto de fusão, apresentou matriz constituída de perlita, austenita e martensita (figura 3). Em termos de dureza, nota-se que, há uma variação relevante nos valores de microdureza HV 0,05 em função da heterogeneidade microestrutural da matriz. A baixa usinabilidade pode ser confirmada pelo elevado valor de dureza macro, 61 HRC.

De acordo com as microestruturas obtidas após a etapa de pré-tratamento (Figuras 4a, 4b, 4c), pode-se afirmar que os tempos de encharque avaliados foram suficientes para a completa transformação da matriz. Nota-se que toda a microestrutura da matriz encontra-se homogêneamente escura, característica do constituinte perlítico.

Outra importante modificação imposta pelo pré-tratamento foi a diminuição de dureza para níveis de 48 HRC a 51 HRC, comparativamente ao valor de 61 HRC no estado bruto de fusão. Cabe destacar que a partir de 4 h de encharque, esta redução de dureza é menos significativa devido ao fenômeno de transformação envolvido.

A amostra temperada conforme o ciclo térmico proposto apresentou carbonetos eutéticos (região clara) e matriz homogênea constituída de martensita e finos carbonetos secundários precipitados (Figura 5a). Após a têmpera as amostras apresentaram elevada dureza, 70 HRC. Objetivando aliviar as tensões geradas nesta etapa, o tratamento térmico de revenimento reduziu a dureza para níveis de 67 HRC, sem provocar alterações relevantes na microestrutura (figura 5b).

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados, verificou-se que a adoção de um pré-tratamento térmico, visando a total transformação da matriz em perlita, resultou na diminuição de dureza melhorando a trabalhabilidade da liga.

Verificou-se também que, o tempo de encharque entre quatro e oito horas, numa temperatura de 700°C, foi efetivo para a completa d eestabilização da austenita.

Em função da homogeneidade proveniente do pré-tratamento, a etapa de endurecimento demandou de menor tempo, em relação ao usualmente adotado, diminuição de 4 horas para 0,5 horas, na temperatura de 950°C. Sendo assim, foi possível otimizar a condição operacional do processo de tratamento térmico, uma vez que a resistência ao desgaste abrasivo, de peças fabricadas a partir da liga ASTM A532 classe IIB, possui forte dependência da dureza e da microestrutura.

REFERÊNCIAS

- 1 G. Laird, R.Gundlach, K. Rohrig, "Abrasion - Resistant Cast Iron Handbook," Edited by AFS, Copyright 2000, p.1-215.
- 2 ASTM A 532 93a. Standard Specification for Abrasion Resistant Cast Irons, American Society Testing Materials, 2003.
- 3 ALBERTIN, E., SINATORA, A. Effect of carbide fraction and matrix microstructure on the wear of cast iron balls tested in a laboratory ball mill., Wear, v. 250, ELSEVIER, 2001.
- 4 TABRETT, C. P., SARE, I. R., GHOMASHCHI, M. R. Microestrutura – property relationships in high chromium white irons. International Materials Reviews, v. 41, n. 2, pp. 59-82, 1996.
- 5 CARMO, J.D., NASSER, J.F., BELLON, A. R., Desenvolvimento de Processo Metalúrgico para Obtenção de Conexões em Ferro Fundido Branco de Alto Cromo. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, Porto Alegre, 1996, n° 51.