

PROCESSO DE CEMENTAÇÃO NOS AÇOS ABNT 1020 E 1045 COM VARIAÇÃO DO MEIO CEMENTANTE

José Pedro Guedes da Silva¹

Edson Roberto da Silva²

RESUMO

O tratamento termoquímico de cementação é um dos tratamentos em aço mais antigos. Tem como objetivo aumentar a dureza e a resistência da superfície do aço, deixando o núcleo da peça tenaz. Esse trabalho tem como objetivo analisar a influência do tipo de aço e do pó cementante utilizado na cementação. Para a realização do trabalho foram utilizados 8 corpos de prova, sendo 4 de cada tipo de aço; também foram utilizados 900 gramas de pó de cementação da marca Diamantina e carvão vegetal com bicarbonato de sódio, um recipiente de aço inoxidável, um forno e um aparelho de oxi-acetileno. No primeiros testes, o carvão já em pó foi misturado com o bicarbonato e colocado no recipiente com 2 corpos de prova de cada material. O recipiente foi fechado e inserido no forno, permanecendo por 24 horas. Depois da retirada do material do forno, foi feita uma têmpera em água. No segundo ensaio, foi colocado o pó de Diamantina em uma chapa e dois corpos de prova de cada material foram aquecidos com o auxílio de um aparelho de oxiacetileno até que as peças ficassem vermelhas incandescentes, então as peças foram inseridas em meio ao pó de cementação. Em seguida, foram aquecidas novamente e então temperadas em água. Após os tratamentos de cementação, foram medidas as durezas e os resultados obtidos mostram que o ganho percentual de dureza para o aço de menor teor de carbono foi maior e que o tipo de pó cementante influencia na dureza das peças tratadas.

Palavras-chave: Cementação em Caixa. Tratamento Termoquímico. Cementação Sólida.

¹ Graduando de Engenharia Mecânica pela Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Mecânica.

² Orientador, Professor Mestre da Faculdade de Engenharia Mecânica.

1 INTRODUÇÃO

Os tratamentos termoquímicos têm como objetivo endurecer a superfície dos aços, pela alteração fracionária de seu arranjo químico nas secções que se visam endurecer. Os tratamentos mais usados são: cementação, nitretação e carbonitretação. A cementação tem como utilidade enriquecer a superfície da peça com carbono, e isso é realizado inserindo uma peça em um meio rico em carbono para que ocorra a difusão de carbono para superfície do material (CHIAVERINI, 1988).

O principal objetivo do tratamento termoquímico é aumentar a dureza e a resistência ao desgaste superficial, porém deixando o meio da peça tenaz para que possa ter outras aplicações, como o aumento da resistência da peça à fadiga e à corrosão (SILVA e MEI, 2010).

Há diferentes tipos de tratamentos termoquímicos, como: cementação, nitretação, cianetação, e boretação. A cementação é um processo termoquímico no qual ocorre o acréscimo de carbono a aços com baixo teor de carbono, causando a elevação aproximada de 1%, a uma profundidade estipulada. No tratamento de nitretação, acontece o endurecimento da superfície do aço através da ação do nitrogênio, em que o material é aquecido a uma determinada temperatura envolto de ambiente nitrogenoso. Já a cianetação gera uma superfície dura e resistente após o aço ser elevado a altas temperaturas, de 760 a 870° C, em banho de cianeto fundido em forma de sal, ocasionando o enriquecimento superficial de carbono e nitrogênio, e é resfriado em salmoura ou água. Enquanto que na boretação, o boro é inserido por difusão, e realizado em meio sólido, organizado de forma de granulado composto de carboneto de boro e de um ativador constituído por fluoreto duplo de boro e potássio (CHIAVERINI, 1986).

Na carbonitretação, é criado um gás composto de monóxido de carbono e amônia, e tanto o carbono como o nitrogênio se difundem no aço. Com isso, são introduzidas tensões residuais compressivas na superfície do material, ocasionando uma grande resistência à fadiga, além da ótima combinação de natureza, resistência e tenacidade (ASKELAND e WRIGHT, 2016).

Os processos de nitretação líquida e gasosa são mais adequados que a cementação quando se determina a diminuição das deformações em engrenagens, além de serem mais

econômicos; apesar de o processo de cementação apresentar a maior profundidade endurecida e a maior dureza superficial (LEITÃO, MEL e LIBARDI, 2012).

Uma das principais vantagens da cementação em caixa é que pode-se usar uma enorme variedade de fornos, pois produz sua própria atmosfera cementante, e é ideal para peças que serão usinadas antes de ser temperadas, pois necessitam de resfriamento lento, apesar de não ser indicado para camadas que devem ter um controle específico dentro de uma tolerância, não permite controle do potencial de carbono na superfície da peça e não é recomendado para têmpera direta após a cementação. Já a nitretação é utilizada por obter altas durezas na superfície da peça e alta resistência ao desgaste, e por melhorar a resistência à fadiga e à corrosão (SILVA e MEI, 2010).

1.1 OBJETIVOS

Esse artigo tem por objetivo verificar a influência de dois aços de baixo e médio teor de carbono e de dois diferentes pós de cementação na dureza superficial das peças tratadas termoquimicamente por cementação sólida. Para tanto, corpos de prova em aço ABNT 1020 e ABNT 1045 foram submetidos à cementação sólida com dois diferentes pós de cementação, sendo um da marca Diamantina e outro de carvão vegetal + bicarbonato de sódio. Para a apresentação dos resultados, foi feita uma análise de variância, verificando a influência de cada fator isoladamente e a influência da combinação dos fatores.

1.2 TRATAMENTO TERMOQUÍMICO DE CEMENTAÇÃO

Cementação é um processo em que metais ferrosos são colocados em contato com ambiente rico em carbono, o que permite anexar carbono na superfície do metal por difusão, criando um gradiente de concentração de carbono entre a superfície e o interior do metal. A profundidade de penetração do carbono é dependente da temperatura, tempo e a composição do agente de cementação. Para se obter uma profundidade de cementação de aproximadamente 0,76 a 1,3 mm em um dente da engrenagem, o material é submetido a uma temperatura de 930 °C por um tempo de 4 h com um agente de cementação, que pode ser sólido, líquido ou gasoso (DAVIS, 2005).

Existem vários processos de cementação industrialmente em uso. O mais utilizado é o processo de cementação líquida em banho de sais a base de cianeto de sódio e cianeto de bário, sendo considerado o mais agressivo ao meio ambiente. Novos processos empregando atmosferas controladas vêm tomando espaço no mercado, porém todos exigindo equipamentos com alto valor no mercado (BAUMGARTEN, 2003).

Na cementação é recomendado usar aços de granulação fina, pois o mesmo tem melhor tenacidade tanto no núcleo como na superfície endurecida; aços de granulação grosseira tem uma maior capacidade de endurecimento apesar de exigir maior número de operações; já os aços de granulação fina precisam apenas de uma operação de tempera (CHIAVERINI, 1988).

A cementação sólida ou em caixa é realizada inserindo a peça dentro da caixa feita em aço, e dentro desta caixa é colocado um pó cementante rico em carbono, geralmente compostos de carvão e ativadores que podem ser carbonatos alcalinos. Esta caixa é colocada dentro do forno com temperatura em torno de 900 °C; a essa temperatura o oxigênio presente no ar se combina com o carbono do carvão mineral produzindo dióxido de carbono ($C + O_2 \rightleftharpoons CO_2$). O dióxido de carbono se une com o carbono do carvão, gerando monóxido de carbono ($CO_2 + C \rightleftharpoons 2CO$), entretanto, o mesmo irá se adaptar com o ferro do aço, gerando mais CO_2 ($3Fe + 2CO \rightleftharpoons Fe_3C + CO_2$). A essa temperatura, o carbono no meio cementante passa por difusão para a superfície da peça. A peça deve ser temperada para que não ocorra o amolecimento da sua superfície (SILVA e MEI, 2010).

Pavanati e Coelho (2015) enriqueceram com molibdênio a superfície de aço ABNT 1020 com uma polegada de diâmetro. Esse procedimento foi realizado em um reator de plasma DC e, em seguida, as amostras, com e sem enriquecimento de molibdênio, foram submetidas ao tratamento termoquímico de cementação em caixa em um forno, a uma temperatura de 960 °C para tempos de patamar de uma a seis horas. As amostras foram inseridas em uma caixa metálica contendo granulados de cementação enriquecidos com carbonato de bário, na sequência, as peças foram temperadas em água. Nos resultados pôde ser observado que as peças enriquecidas com molibdênio reduziu sensivelmente a profundidade cementada. Essa redução pode ser atribuída à formação de carbonetos de molibdênio durante o processo de cementação. Após um tempo de saturação, a difusão de carbono para o interior da amostra ocorreu seguindo uma taxa similar àquela observada para o aço sem enriquecimento.

Mota et al (2014) fez um tratamento termoquímico de cementação em um reator a plasma do fabricante SDS Modelo Thor NP500. Os tratamentos termoquímicos foram efetuados a uma temperatura de 350 °C de uma a cinco horas, em uma atmosfera fixa, composta por 7% de CH₄ (gás metano) e 93% de H₂ (gás hidrogênio), a uma pressão de trabalho interno de 680 Pa, nas quais amostras em aço AISI 304 com diâmetro de 32 mm e espessura final de cerca de 3,0 mm foram inseridas. Os resultados mostraram que há um ganho de camada ao longo do tempo do ensaio, porém há uma melhora significativa ao longo de um período de 5 horas com relação a primeira hora da cementação, principalmente na categoria de dureza superficial, com 39% de melhoria, a resistência ao desgaste com 16% em relação a amostra antes de fazer a cementação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Para a realização deste trabalho foram adquiridas duas barras de aço cilíndrica com 6 metros de comprimento, uma em aço ABNT 1020 e outra em aço ABNT 1045 com diâmetro de 8 milímetros. Como meio cementante, foram adquiridos dois diferentes pós: 900 gramas de pó de cementação da marca Diamantina pronto para utilização, 300 gramas de carvão vegetal (fonte de carbono) e 80 gramas de bicarbonato de sódio (fonte de oxigênio). Foi adquirido um recipiente para ser utilizado como caixa para a cementação em aço inoxidável com dimensões de 200 mm de diâmetro e 180 mm de altura, com tampa. Foram adquiridas também 500 gramas de argila branca da marca argila Rezende LTDA, com a função de vedação da tampa da caixa de cementação.

Para a realização dos testes de cementação em caixa foi utilizado um forno de capacidade de 1200 °C fornecido pelo Laboratório de Processos de Fabricação da Faculdade de Engenharia Mecânica da UniRV – Universidade de Rio Verde e um durômetro da marca Rockwell Hardness Tester, modelo 200hr-150, serial NO.014, ano 2008, fornecido pelo Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia Mecânica da UniRV – Universidade de Rio Verde.

Com o intuito de seguir as orientações do fabricante, a cementação com o pó de cementação da marca Diamantina foi realizada com um aparelho de oxi-acetileno fornecido por uma oficina mecânica da cidade de Rio Verde.

2.2 MÉTODOS

As barras de aço foram cortadas, em 10 corpos de prova com 120 mm de comprimento, sendo 5 para cada tipo de aço. Os corpos de prova foram marcados para diferenciar o aço ABNT 1020 do aço ABNT 1045. Dos 10 corpos de prova, 2 de cada material foram colocados no recipiente com o fundo forrado com uma mistura de pó de carvão mineral com bicarbonato de sódio, e então os mesmos foram cobertos com a mesma mistura. Para tampar o recipiente, foi colocada uma camada de argila na tampa com a finalidade de melhorar o isolamento do ambiente interno da panela com o externo, com a finalidade de controlar a quantidade de oxigênio necessária para a cementação. Logo em seguida, a caixa de cementação foi colocada no forno à 950 °C. Após 24 horas, a caixa foi retirada do forno e as peças de aço foram temperadas em água e sua dureza foi medida. Esse procedimento utilizado para a cementação em caixa seguiu o método apresentado nas literaturas.

Para o pó de cementação o método utilizado foi o recomendado pelo fabricante. O pó de cementação foi colocado em uma chapa de aço com 1000 mm de largura por 500 mm de comprimento. Dois corpos de prova de cada material foram aquecidos com o auxílio de um aparelho de oxiacetileno (maçarico) até que as peças ficassem vermelhas incandescentes, então as peças foram inseridas em meio ao pó de cementação. Os corpos de prova ficaram inseridos no pó por 3 minutos, em seguida os corpos de prova foram aquecidos novamente até ficarem incandescentes e então foi feita uma têmpera em água e suas durezas foram medidas.

Um corpo de prova de cada material foi mantido sem tratamento térmico para que sua dureza fosse medida e comparada com as peças tratadas termoquimicamente. Não foi realizado o revenimento das peças, pois o objetivo do trabalho foi a verificação da influência dos diferentes pós cementantes sobre a durezas das peças cementadas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A dureza do aço ABNT 1020 foi em média de 15,5 rockwell C e a dureza do aço ABNT 1045 foi em média 31,5 rockwell C. Após os tratamentos termoquímicos, todos os corpos de prova aumentaram sua dureza, como pode ser observado na Tabela 1.

Com uma análise prévia pela observação da Tabela 1, entre os pós cementantes a diamantina apresentou os maiores resultados para a dureza, o que era esperado, pois este pó é fabricado e preparado industrialmente para essa finalidade, ao contrário do carvão, que foi preparado de forma caseira tendo como fonte de oxigênio o bicarbonato de sódio. Os valores de dureza para os diferentes materiais com esse pó não apresentaram grandes diferenças, provavelmente a quantidade superficial de carbono de ambos os materiais se equalizaram com o tratamento, justificando a semelhança nas durezas.

TABELA 1 - Quantidade de canais para cada combinação de parâmetros

Aço	Carvão	Diamantina	Soma
1020	37,4	53,65	168,61
	26,41	51,15	
1045	45,25	52,05	200,85
	42,15	61,4	
Soma	151,21	218,25	369,46

Fonte: Próprio autor, 2017.

No aço ABNT 1020 usando a Diamantina teve em media um ganho de dureza de 36,95 rockwell C, já usando o carvão obtivemos um ganho de dureza de 16,41 rockwell C. O ganho de dureza no aço ABNT 1045 utilizando Diamantina foi de 25,23 rockwell C, já utilizando o carvão foi de 12,2 rockwell C.

Com relação às durezas obtidas para o carvão, o aço ABNT 1045 apresentou uma dureza maior que o aço ABNT 1020. No entanto, como o ganho de dureza não foi significativo, talvez a têmpera após a cementação foi o principal motivo do pequeno ganho em dureza.

Para uma melhor compreensão do efeito do material e do pó cementante foi feita uma análise de variância. Para tanto, as variáveis do processo experimental foram divididas

em dois fatores, o fator “A” como material da peça e o fator “B” como pó cementante. Definidos os fatores, foram levantadas as seguintes hipóteses:

- a) H_{0A} : o tipo do aço não influencia na dureza das peças tratadas por cementação;
- b) H_{1A} : o tipo do aço influencia na dureza das peças tratadas por cementação;
- c) H_{0B} : o pó cementante não influencia na dureza das peças tratadas por cementação;
- d) H_{1B} : o pó cementante influencia na dureza das peças tratadas por cementação;
- e) H_{0AB} : a interação entre o pó cementante e o tipo do aço não influencia na dureza das peças tratadas por cementação;
- f) H_{1AB} : a interação entre o tipo do aço e o pó cementante influencia na dureza das peças tratadas por cementação.

De posse das hipóteses, foi realizada uma análise de variância, na qual foi determinada a soma quadrática dos fatores e do erro para a verificação da influência dos fatores sobre variação de dureza do material no tratamento de cementação. Para que a hipótese H_0 seja rejeitada, o F_0 calculado deve ser maior que o F_0 tabelado. Esses valores podem ser observados na Tabela 2.

TABELA 2 - Valores calculados da análise de variância para o modelo de efeitos fixos com dois critérios de classificação

	SQ	GL	MQ	F0 cal	α	F0 tab
A	129,9272	1	129,9272	4,638961	10%	4,54
B	561,7952	1	561,7952	20,05851	10%	4,54
AB	27,90045	1	27,90045	0,996166	10%	4,54
E	112,0313	4	28,00782			
Total	831,6541	7				

Fonte: Próprio autor, 2017.

Verificando os resultados entre F_{0cal} e F_{0tab} mostrados na Tabela 2, pode-se notar no fator A (tipo de aço) que o valor de F_{0calc} é maior que o valor de F_{0tab} , portanto para um nível de significância $\alpha = 10\%$, desconsidera a hipótese H_{0A} e pode concluir-se que o tipo de aço influencia no resultado da dureza das peças após o tratamento de cementação e que o aço ABNT 1020 apresentou maior eficiência no ganho percentual de dureza. Provavelmente o sucesso desse aço em ganhar dureza está ligado com seu baixo teor de carbono, que foi elevado mais consideravelmente que o do aço ABNT 1045.

Para o fator B (pó cementante), o valor de F_{0calc} é maior que F_{0tab} ; portanto para um nível de significância $\alpha = 10\%$, desconsidera a hipótese H_{0B} e verifica-se que o pó cementante influencia no resultado do tratamento de cementação, o que era esperado, pois como o pó de diamantina é fabricado industrialmente, passa por processos de controle de qualidade que garantem sua eficiência, enquanto o carvão com bicarbonato de sódio foi uma tentativa de desenvolvimento de um pó cementante com recursos limitados. A dureza alcançada com o carvão pode estar mais associada à capacidade de o aço ser temperado que à própria cementação.

Para o fator AB (interação entre o tipo de aço e pó cementante), o valor de F_{0calc} é menor que F_{0tab} ; não rejeitando a hipótese H_0 e concluindo que a interação entre o pó cementante e o tipo do aço não influencia na dureza das peças tratadas por cementação.

4 CONCLUSÃO

Observando os resultados obtidos e baseado no objetivo do trabalho, chegou-se as seguintes conclusões:

- a) o aço ABNT 1020 com o pó de diamantina obtiveram o maior ganho percentual em dureza;
- b) a cementação em carvão elevou pouco a dureza de ambos materiais, no qual o efeito da têmpera pode ter sido mais pronunciado do que a cementação propriamente dita;
- c) a cementação com o pó de diamantina elevou consideravelmente a dureza de ambos materiais, apresentando valores bem semelhantes para os diferentes materiais;
- d) para um nível de significância $\alpha = 10\%$, o tipo de material da peça e o tipo de pó cementante influenciaram no aumento da dureza das peças cementadas, porém a interação entre esses parâmetros não influenciou na sua dureza.

*CEMENTATION PROCESS IN THE ABNT 1020 AND 1045 STEEL WITH
VARIATION OF THE CEMENTING ENVIRONMENT*

ABSTRACT

The thermochemical cementation treatment is one of the oldest treatments in steel. It aims to increase the hardness and the resistance of the steel's surface, letting the core of the piece firm. This study aims to analyze the influence of the steel's and the cementing's powder type used in the cementation. To perform this work, there were used 8 proof-bodies, 4 of each kind of steel; there were also used 900 g of cementation powder of the branding Diamantina e and mineral coal with sodium bicarbonate, a stainless steel container, an oven and an oxy-acetylene device. In the first tests, the powder coal was mixed with the bicarbonate and put in the container with 2 proof-bodies of each material. The container was closed and put in the oven, remaining there for 24 hours. After removing it from the oven, it was made a tempering in water. In the second trial, it was placed Diamantina powder in a plate and two proof-bodies of each material were heated with the support of an oxy-acetylene device until the pieces became incandescent red, so the pieces were inserted in the cementation powder. Next, they were heated again and then tempered in water. After the cementation treatment, the hardness was measured and the results obtained shows that the percent gain of hardness to the steel of lower carbon content was higher and the type of cementing powder has an influence in the hardness of the treated pieces.

Key words: Box Cementation. Thermochemical Treatment. Solid Cementation.

REFERÊNCIAS

- ASKELAND, D. R; WRIGHT, W. J. **Ciência e engenharia dos materiais**. 3ª edição São Paulo, 2016.
- BAUMGARTEN, J. F.; COSTA, C. E. **Cementação empregando granulados elaborados a partir de carvão vegetal reciclado e ativador de carbonato de cálcio (CaCO₃)**. Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2003.
- CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 6ª Edição São Paulo, SP: ABM, 1988.
- _____. **Tecnologia Mecânica**. Volume III - Processos de Fabricação e Tratamento, 2a. edição, Ed. 1986.
- DAVIS, J. R. (Ed.). **Gear materials, properties, and manufacture**. ASM International, 2005.
- LEITÃO, C. J; MEI, P. R; LIBARDI, R. **Efeitos da cementação e da nitretação no custo e na qualidade de engrenagens produzidas com aços ABNT 4140 e 8620**. Tecnologia em Metalurgia e Materiais, 2012.
- MOTA, W. T; RAMOS, F. D; ROCHA, R. C; BARCELOS, M. C; BARCELOS, M. A. **Cementação a plasma em baixa temperatura de um aço inoxidável austenítico AISI 304**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Cuiabá, MT, Brasil, 2014.
- PAVANATI, H. C; COELHO, D. X. R. **Cementação de aço baixo carbono enriquecido superficialmente com molibdênio em Plasma DC**. Revista Técnica Científica do IFSC, v. 1, n. 5, 2015.
- SILVA, A. L. C. E; MEI, P. R. **Aços e ligas especiais**. Edgard Blücher, São Paulo - SP, 2010.