



**Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia
(Organizadores)**

Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica 3

Atena
Editora
Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia
(Organizadores)

**Impactos das Tecnologias na
Engenharia Mecânica**
3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias na engenharia mecânica 3 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, Ricardo Vinicius Bubna Biscaia. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v.3)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-248-7

DOI 10.22533/at.ed.487190504

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Biscaia, Ricardo Vinicius Bubna. III. Série.

CDD 670.427

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

APRESENTAÇÃO

A engenharia mecânica está em constante mudança, sendo uma das mais versáteis, se olhar desde seu surgimento durante a Revolução Industrial até os dias de hoje é visível a modernização e modificação dos métodos e das tecnologias empregadas.

Nesta evolução um dos pontos de destaque é a área de materiais e dos modos de obtenção dos mesmos, sendo responsável por grande parte desta modernização da área. Neste livro são tratados alguns assuntos ligados diretamente a área de matérias, bem como os processos de transformação dos mesmos em produtos finais.

A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas de desempenho técnico e econômico. Ainda são base da formação do engenheiro projetista cujo ofício se fundamenta na correta escolha de materiais e no processo de fabricação do mesmo.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a seleção, desenvolvimento e processos de obtenção e fabricação são apresentados nesse livro.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DAS LIGAS Al-3%Si E Al-9%Si ATRAVÉS DO PROCESSO “SQUEEZE-CASTING”, E A INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NA DUREZA, MACRO E MICROESTRUTURA	
<i>Diógenes Linard Aquino Freitas</i> <i>Cláudio Alves de Siqueira Filho</i> <i>José Joelson de Melo Santiago</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905041	
CAPÍTULO 2	12
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CEMENTANTES ATRAVÉS DA MEDIÇÃO DE MICRODUREZA VICKERS	
<i>Bernardo Rota</i> <i>Alisson Geovane Silva de Souza</i> <i>Annemarie Henker</i> <i>Daniel Amoretti Gonçalves</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905042	
CAPÍTULO 3	22
ESTIMATIVA DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO USANDO O MÉTODO DO FIO QUENTE	
<i>Alisson Augusto Azevedo Figueiredo</i> <i>Jefferson Gomes do Nascimento</i> <i>Luís Henrique da Silva Ignácio</i> <i>Vinicius Soares Medeiros</i> <i>Fernando Costa Malheiros</i> <i>Henrique Coelho Fernandes</i> <i>Gilmar Guimarães</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905043	
CAPÍTULO 4	27
PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE NANOFUIDOS TiO ₂	
<i>Letícia Raquel de Oliveira</i> <i>Stella Rodrigues Ferreira Lima Ribeiro</i> <i>David Fernando Marcucci Pico</i> <i>Alessandro Augusto Olimpio Ferreira Vittorino</i> <i>Enio Pedone Bandarra Filho</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905044	
CAPÍTULO 5	35
DESENVOLVIMENTO DE UM INDENTADOR INSTRUMENTADO PARA MEDIÇÕES DE PROPRIEDADES ELÁSTICAS E PLÁSTICAS	
<i>Lucas dos Reis Heni Madeira</i> <i>Vinicius Carvalho Teles</i> <i>Washington Martins da Silva Junior</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905045	

CAPÍTULO 6 43

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL EM HIDROXIAPATITA COMERCIAL E SINTETIZADA PELO MÉTODO SOL-GEL UTILIZANDO CASCA DE OVO DE GALINHA COMO PRECURSOR

Marcelo Vitor Ferreira Machado
José Brant de Campos
Marilza Sampaio Aguilar
Vitor Santos Ramos

DOI 10.22533/at.ed.4871905046

CAPÍTULO 7 53

PARAMETRIZAÇÃO DE TEXTURIZAÇÃO VIA MECT EM METAL PATENTE

Túlio Alves Rodrigues
Erika Michele Damas
Gabriela Caixeta Alcarria
Náthaly Nascimento Sousa
Washington Martins da Silva Junior

DOI 10.22533/at.ed.4871905047

CAPÍTULO 8 59

CORRELAÇÃO ENTRE DIFERENTES FORMAS DE AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL DE FERROS FUNDIDOS E SEU COEFICIENTE DE ATRITO

Luiz Eduardo Rodrigues Vieira
Guilherme de Oliveira Castanheira
Leonardo Rosa Ribeiro da Silva
Wisley Falco Sales
Álison Rocha Machado
Wilson Luiz Guessser

DOI 10.22533/at.ed.4871905048

CAPÍTULO 9 69

MANUFATURA DE LIGA DE AL5%CU PELO PROCESSO DE METALURGIA DO PÓ

André Pereira da Silva
Juliano de Lemos Navarro
Leonardo Almeida Lopes
Felipe Antônio Viana de Araújo
Gabriel Aires Honorato
Sérgio Mateus Brandão

DOI 10.22533/at.ed.4871905049

CAPÍTULO 10 85

ANÁLISE DO FENÔMENO DAS BOLHAS EM SOLDAGEM SUBAQUÁTICA MOLHADA COM ARAME TUBULAR AUTOPROTEGIDO

Camilla Mara Mendonça
Alexandre Queiroz Bracarense
Douglas de Oliveira Santana
Marcelo Teodoro Assunção

DOI 10.22533/at.ed.48719050410

CAPÍTULO 11	99
O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS NA SIMULAÇÃO DE OPERAÇÕES DE SOLDAGEM	
<i>Heitor Abdias da Silva Pereira</i>	
<i>Marcelo Cavalcanti Rodrigues</i>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050411	
CAPÍTULO 12	114
ANÁLISE EXPERIMENTAL DA USINAGEM COM AÇO INOXIDÁVEL	
<i>Gabriella Arruda Martins</i>	
<i>Lays Edinir da Cunha</i>	
<i>Luís Gustavo Moreira</i>	
<i>Mikael Henrique Morais</i>	
<i>Thomas Ernst de Goes Ferreira Kohler</i>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050412	
CAPÍTULO 13	123
AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE R_v DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS USINADOS PELO PROCESSO DE BRUNIMENTO FLEXÍVEL	
<i>Leandro Carvalho Pereira</i>	
<i>Leonardo Rosa Ribeiro da Silva</i>	
<i>Rosenda Valdés Arencibia</i>	
<i>Luciano José Arantes</i>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050413	
CAPÍTULO 14	131
INFLUÊNCIA DO FLUIDO DE CORTE NO DESGASTE DE MICROFRESAS DE METAL DURO NA MICROUSINAGEM DO AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX UNS S32205	
<i>Aline Gonçalves dos Santos</i>	
<i>Daniel Fernandes da Cunha</i>	
<i>Mayara Fernanda Pereira</i>	
<i>Bruno Souza Abrão</i>	
<i>Mark James Jackson</i>	
<i>Márcio Bacci da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050414	
CAPÍTULO 15	139
GERAÇÃO E PARTIÇÃO DE CALOR EM USINAGEM POR MEIO DO MÉTODO CALORIMÉTRICO: UMA REVISÃO	
<i>Ivanilson Sousa da Costa</i>	
<i>Márcio Bacci da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050415	
CAPÍTULO 16	153
GERAÇÃO DE CALOR NA FURAÇÃO DO FERRO FUNDIDO CINZENTO POR MEIO DO MÉTODO CALORIMÉTRICO	
<i>Ivanilson Sousa da Costa</i>	
<i>Guilherme Henrique Alves Andrade</i>	
<i>Márcio Bacci da Silva</i>	

DOI 10.22533/at.ed.48719050416

CAPÍTULO 17 168

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA DE USINAGEM EM AÇOS DE CORTE FÁCIL POR MEIO DO MÉTODO DO TERMOPAR FERRAMENTA- PEÇA

Ivanilson Sousa da Costa

Márcio Bacci da Silva

DOI 10.22533/at.ed.48719050417

CAPÍTULO 18 177

SISTEMA DE MEDIÇÃO DE POTÊNCIA NO PROCESSO DE FRESAMENTO UTILIZANDO SENSORES POR EFEITO HALL

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Kenji Fabiano Ávila Okada

Gabriel Marçal de Carvalho

Eder Silva Costa

Álisson Rocha Machado

DOI 10.22533/at.ed.48719050418

CAPÍTULO 19 187

INFLUÊNCIA DE VÁRIOS PARÂMETROS OPERACIONAIS EM RETIFICAÇÃO NO ACABAMENTO E NA TEXTURA DA SUPERFÍCIE DE FERRO FUNDIDO CINZENTO

Bruno Souza Abrão

Mayara Fernanda Pereira

Mariana Landim Silveira Lima

Eduardo Carlos Bianchi

Rosemar Batista da Silva

DOI 10.22533/at.ed.48719050419

CAPÍTULO 20 193

INFLUÊNCIA DA PENETRAÇÃO DE TRABALHO E VELOCIDADE DA PEÇA NO ACABAMENTO DO FERRO FUNDIDO VERMICULAR APÓS A RETIFICAÇÃO COM REBOLO DE SIC

Lurian Souza Vieira da Silva

Rosemar Batista da Silva

Mariana Landim Silveira Lima

Deborah de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.48719050420

CAPÍTULO 21 202

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE USINAGEM DO BRUNIMENTO FLEXÍVEL NA QUALIDADE GEOMÉTRICA DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS

Leandro Carvalho Pereira

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Rosenda Valdés Arencibia

Luciano José Arantes

DOI 10.22533/at.ed.48719050421

CAPÍTULO 22	210
USINAGEM ELETROQUÍMICA SUPERFICIAL EM AMOSTRAS DE FERRO FUNDIDO	
<i>Leonardo Rosa Ribeiro da Silva</i>	
<i>Leandro Carvalho Pereira</i>	
<i>Henara Lilian Costa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050422	
SOBRE O ORGANIZADOR	219

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CEMENTANTES ATRAVÉS DA MEDIÇÃO DE MICRODUREZA VICKERS

Bernardo Rota

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá
Ibirubá – Rio Grande do Sul

Alisson Geovane Silva de Souza

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá
Ibirubá – Rio Grande do Sul

Annemarie Henker

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá
Ibirubá – Rio Grande do Sul

Daniel Amoretti Gonçalves

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá
Ibirubá – Rio Grande do Sul

RESUMO: A cementação é um tratamento termoquímico utilizado pela indústria metalúrgica e empregado principalmente em aços com baixo teor de carbono, que proporciona a um componente dureza e resistência na superfície e tenacidade no núcleo. O objetivo foi comparar a eficiência de três materiais cementantes diferentes: um cementador obtido no mercado destinado a este fim; grafite e grafite com CaCO_3 .

Para isto foi realizado tratamento termoquímico de cementação sólida em caixa, em corpos de prova cilíndricos de aço ABNT 1010 trefilado de 0,5 polegada. Os ensaios foram realizados em diferentes tempos de forno, três, seis e nove horas. As caixas foram confeccionadas e dimensionadas para esse experimento, as quais foram vedadas com argila para manter a concentração de carbono na atmosfera de cementação. Para a avaliação da profundidade da camada cementada foram medidos a dureza e o perfil de dureza, através de ensaios de microdureza Vickers e análise metalográfica. O composto comercial apresentou vantagens, conferindo maior dureza nas camadas próximas da superfície, bem como uma camada cementada maior em todos os tempos de forno, em relação aos outros cementantes.

PALAVRAS-CHAVE: cementação; microdureza Vickers; tratamento termoquímico.

ABSTRACT: Carburizing is a thermo-chemical treatment used by the metallurgical industry and used mainly in low carbon steels, which provides a hardness and surface strength and core tenacity component. The objective was to compare the efficiency of three different carburizing materials: a commercial carburizing material destined for this purpose; graphite and graphite with CaCO_3 . For this, a thermochemical treatment of pack carburizing was made on an

ABNT 1010 steel round workpieces with 0.5 inch of diameter. The tests were performed in different furnace times, three, six and nine hours. The boxes were prepared and sized for this experiment, which were sealed with clay to maintain the carbon concentration in the carburizing atmosphere. For the evaluation of the depth of case, the hardness and the depth hardness were measured by Vickers microhardness tests and metallographic analysis. The commercial carburizing presented advantages, giving greater hardness in the layers near the surface, a greater depth of case in all the times of furnace, in relation to the other carburizing materials.

KEYWORDS: carburizing; Vickers microhardness; thermo-chemical treatment.

1 | INTRODUÇÃO

A cementação pode ser definida como a introdução de carbono na camada superficial do aço através do processo de difusão (Ogata, 2003). Este processo considerado como um tratamento termoquímico, devido ao seu funcionamento em temperaturas altas, é normalmente aplicado em aços com um baixo teor de carbono (Lamim, 2016). O processo de cementação visa o endurecimento da superfície de aços com a modificação parcial da sua composição química estrutural através da difusão termoquímica de carbono. Neste processo o carbono presente no meio cementante se difunde para o interior da peça, modificando a estrutura até uma certa profundidade (Santos et al, 2017).

A difusão do carbono na superfície do aço faz com que seja criado um gradiente de concentração de carbono entre a superfície e o interior do material, desta forma, segundo Loguercio (2003), três fatores podem controlar a taxa de cementação: a reação de absorção de carbono na superfície, a difusão do carbono no metal e o meio cementante.

Esta difusão pode ser explicada pela segunda lei de Fick, descrevendo a difusão em estado não estacionário, que corresponde à equação diferencial parcial que descreve a taxa com que os átomos são redistribuídos em um material, por difusão. Dessa forma, o gradiente de concentração e o fluxo de difusão no interior do sólido variam conforme o tempo (Callister, 2016).

Após o processo de cementação de um aço, pode ser aplicado um tratamento térmico de têmpera, formando martensita de alto carbono na camada cementada (Giordani, 2012). Após a cementação seguida da têmpera, a camada de difusão promove alta dureza e uma melhora na resistência ao desgaste e à fadiga (Loguercio, 2003). A cementação de um aço com baixo índice de carbono pode fazer com que, após a realização do processo, o metal atinja um percentual máximo de carbono que varia de 0,8% a 1%. (Askeland, 2015; Parrish, 1999). Este processo é aplicado quando se deseja obter peças que irão sofrer esforços de tração, flexão e torção, efeitos de desgastes e fadiga. Alguns exemplos de peças cementadas são engrenagens,

mancais, brocas, eixos de comando de válvulas, etc.

O processo de cementação pode ser dividido em três tipos principais: a cementação em meio sólido, feita em caixa, a cementação em meio gasoso, feita em uma atmosfera rica em gases carburizantes, e a cementação em meio líquido, feita com o metal submerso em um sal fundido com substâncias que irão promover o enriquecimento do teor de carbono do material cementado (Barra, 2013).

A cementação em meio sólido ou em caixa é realizada com a colocação de uma peça dentro de uma caixa construída normalmente de aço. Dentro dessa caixa é depositado, junto à peça, misturas carburizantes compostas basicamente por carvão vegetal e ativadores, podendo ser carbonatos alcalinos ou alcalino-terrosos (Barra, 2013).

As caixas de cementação sólida conforme Metals Handbook (1991), não deve ser maior que o necessário. Se possível, deve ser estreita em pelo menos uma dimensão para promover o aquecimento uniforme do conteúdo. O espaçamento entre a tampa e a caixa deve ser mínimo, tendo um valor suficiente para impedir a entrada de ar e a queima do composto, mas não completamente selada a ponto de evitar a expulsão do excesso de gás gerado na caixa. As tampas que se encaixam muito frouxamente podem ser parcialmente seladas com cimentos à base de argila.

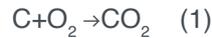
A caixa preparada com o cementante e o corpo de prova é colocada em um forno com uma temperatura entre 815° e 950°C. Com a alta temperatura, o oxigênio presente no ar combina-se com o carbono, que por sua vez acaba gerando dióxido de carbono (CO_2). Este dióxido de carbono se combina com o carbono gerando monóxido de carbono (CO), que irá difundir para o ferro, dando origem a cementita (Fe_3C) mais dióxido de carbono (Barra, 2013). A quantidade de carbono na camada cementada de uma peça está ligada diretamente a temperatura de trabalho do processo, sendo que para se obter um maior teor de carbono na camada superficial da peça, maior deve ser a temperatura empregada no processo (Pereira, 2011).

Conforme Metals Handbook (1991), a formação de monóxido de carbono é reforçada por energizantes ou catalisadores, tais como carbonato de bário (BaCO_3), carbonato de cálcio (CaCO_3), carbonato de potássio (KCO_3) e carbonato de sódio (NaCO_3), que estão presentes no composto de cementação. Esses energizadores facilitam a reação do CO_2 com carbono para formar CO. Assim, em um sistema fechado, a quantidade de energizadora não muda. A difusão continua enquanto houver carbono suficiente para reagir com o excesso de CO_2 . Os compostos de cementação comerciais contêm 10 a 20% de carbonatos de metais alcalinos ou alcalino-terrosos ligados a carvão vegetal de madeira dura ou a coque através de óleo, alcatrão ou melação.

Abaixo as reações químicas do processo de cementação sólida em caixa, conforme Chiaverini (2002). É importante ressaltar que a formação do Fe_3C não se trata de uma reação química, pois não ocorre a ligação química entre os elementos, o que acontece é a difusão do carbono para dentro da estrutura cristalina do ferro,

ocupando espaços intersticiais e lacunas, ou seja, há a deposição de carbono na peça cementada.

A temperaturas elevadas, o carbono reage com oxigênio do ar, conforme Eq. (1). O CO_2 reage com o carbono do carvão incandescente, Eq. (2). O CO reage com o ferro, Eq. (3), e o CO_2 originado reage novamente com o carbono do carvão, continuando o processo.



O gás formador da cementita (Fe_3C) é o CO, em uma cementação sólida, propiciando a difusão do carbono no aço. Enquanto o CO_2 irá retirar o Carbono do aço, fazendo uma descarbonetação, o que é indesejável no processo de cementação pois trata-se do processo contrário ao pretendido.

O oxigênio é fundamental para o processo, pois irá realizar o transporte de carbono até a peça na forma de CO, porém se colocado em excesso causará a redução da camada cementada, ocasionando também problemas relacionados a alta temperatura que irá elevar a pressão dentro da caixa de cementação se esta estiver bem vedada, ou em caso de uma vedação deficiente ocasionará a fuga do oxigênio e de outros gases como o CO, o que é indesejável para o tratamento de cementação. O ativador (CaCO_3), ou outro carbonato alcalino ou alcalino terroso, aumenta o fornecimento de CO, Eq. (4).



Segundo Pereira (2013), o processo de cementação pode apresentar algumas vantagens, como por exemplo: a possibilidade de utilizar uma ampla variedade de fornos devido a não exigência de uma atmosfera controlada; os equipamentos para o desenvolvimento do processo possuem um custo relativamente baixo; é eficiente e barato para o processamento de pequenos lotes.

2 | METODOLOGIA

Foi realizada uma cementação sólida em caixa, utilizando três diferentes cementantes, com três tempos de forno, após o tratamento foi medida a dureza na escala Vickers (HV) e realizados ensaios de metalografia, baseados nos procedimentos

descritos em Colpaert (2008), para verificar visualmente o resultado do tratamento.

O material empregado nos corpos de prova (CP) foi o aço ABNT 1010 trefilado com uma geometria cilíndrica com 0,5 polegada de diâmetro e 30mm de comprimento. Para o processo de cementação em caixa foram confeccionadas 9 caixas em aço. De modo a melhorar a vedação, foi empregada argila para isolar o interior das caixas de cementação do contato com a atmosfera.

Para a confecção das caixas, usou-se um tubo quadrado de dimensões 100mm X 64mm X 64mm com uma chapa de dimensões 80mm X 80mm X 5mm soldada em sua base, como mostra a Fig. (1). A caixa possui um sistema de abertura na forma de gaveta com um rasgo de 5,5mm X 58mm onde é colocado uma chapa de 90mm X 57,5mm X 5mm. Para a vedação da caixa colocou-se argila em todas as frestas da abertura, conforme Fig. (2). As caixas foram dimensionadas para ser acomodadas no forno, possuírem o mesmo volume de cementante e conter apenas 1 corpo de prova em cada caixa. As caixas foram identificadas e colocadas no forno conforme o tempo de tratamento, com uma caixa para cada cementante. Tal construção possibilita aos CPs um mesmo gradiente de temperatura.

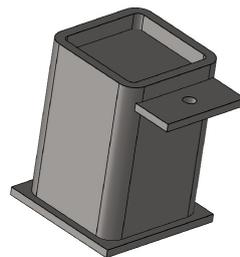


Figura 1. Desenho da caixa



Figura 2. Caixas para a cementação

Foi utilizado um forno de resistência elétrica da marca Soldatel modelo INFINIT TT-150. A temperatura de cementação foi de 965°C com uma variação $\pm 5^\circ\text{C}$. Essa temperatura foi definida de forma a garantir a austenitização do material tendo em vista possível erro do termostato do forno. A variação de $\pm 5^\circ\text{C}$ foi ajustada conforme o recomendado no Metals Handbook (1991).

Para o experimento foram usados três cementantes diferentes: grafite; grafite com 20% de CaCO_3 ; composto comercial destinado à esta finalidade. Estes cementantes

foram usados em três tempos de forno diferentes. Com isso os tratamentos foram identificados e organizados conforme Tab.1, onde as letras identificam o cementante e os números o tempo de forno. Aos serem retirados do forno os CPs sofreram uma têmpera em água.

Identificação	Cementante	Tempo (horas)
A1	Composto comercial	3
B1	Grafite com 20% de $CaCO_3$	3
C1	Grafite	3
A2	Composto comercial	6
B2	Grafite com 20% de $CaCO_3$	6
C2	Grafite	6
A3	Composto comercial	9
B3	Grafite com 20% de $CaCO_3$	9
C3	Grafite	9

Tabela 1. Identificação dos tratamentos

O perfil de microdureza foi medido com base na norma ISO 2639 utilizando um microdurômetro da marca DIGIMESS modelo HV-100, na escala Vickers (HV). O perfil de medição teve um espaçamento de 0,20mm entre cada indentação, iniciando sempre a 0,20mm da borda do CP, com uma carga de 0,3Kgf, estendendo-se por 2,00mm em direção ao centro do CP. A profundidade da camada cementada é determinado pela dureza de 550HV, conforme orienta norma ISO 2639. Quando esse valor de dureza ficou entre dois pontos medidos, utilizou-se o método da interpolação para a obtenção da profundidade. Em virtude dos recursos limitados, não foi possível realizar a medição da microdureza em um maior número de pontos com repetição.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos tratamentos realizados com 3h de forno, conforme mostra a Fig. (3), obteve-se uma dureza de 890HV, no tratamento com um composto comercial (A1) na camada a 0,20mm da borda. Este valor representa um aumento de cerca de 456% vezes na dureza em relação ao aço ABNT 1010 sem tratamento. No CP B1 o valor da dureza neste ponto foi de 220HV e no C1 432HV. A camada cementada no CP A1 foi aproximadamente de 0,88mm. No B1 e C1 não houve camada cementada, conforme critério adotado que estabelece o limite da camada cementada no ponto com dureza de 550HV. Pode-se perceber que a partir do ponto de 1,20mm de profundidade a dureza do CP possui tendência de apresentar a mesma dureza por volta da grandeza de 400HV.

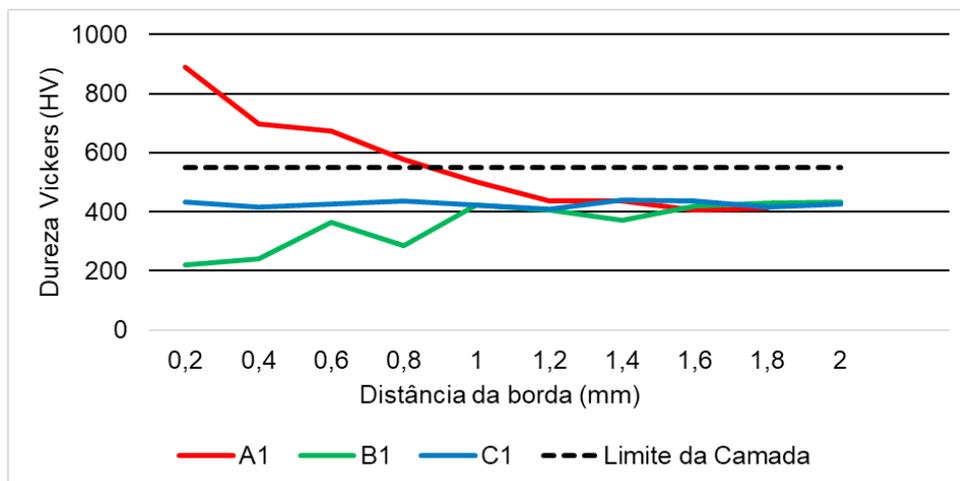


Figura 3. Dureza X Profundidade, Tempo de 3h

Com os tratamentos de 6h, como mostra Fig. (4), a 0,20mm da borda obteve-se uma dureza de 908HV no CP A2, de 673HV no B2 e de 634HV no C2. A profundidade da camada cementada foi de 1,77mm para A2, 0,68mm para B2 e 0,58mm para C2. Entre esses tratamentos houve um aumento de dureza de 235HV do A2 em relação ao B2, 274HV de A2 para C2 e de 39HV de B2 para C2. Os ganhos em relação à camada cementada foi de 1,09mm de A2 para B2, 1,19mm de A2 para C2 e 0,10mm de B2 para C2.

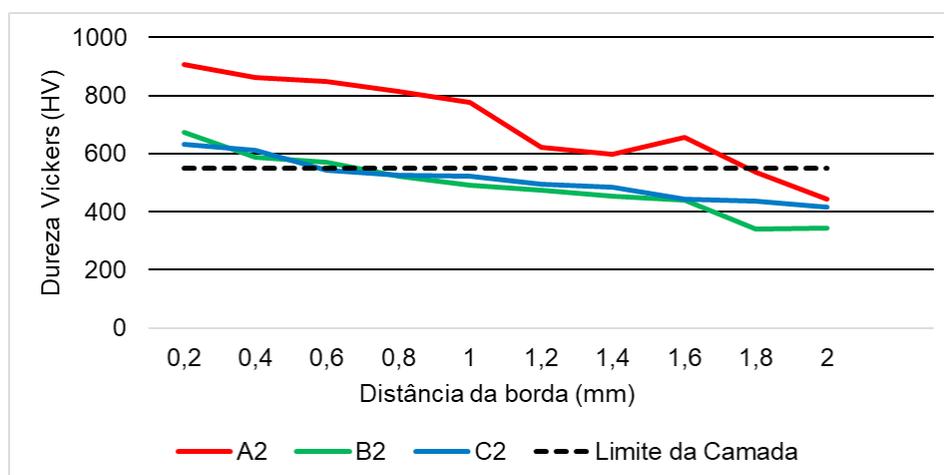


Figura 4. Dureza X Profundidade, Tempo de 6h

Nos tratamentos com 9h de forno, Fig. (5), à 0,20mm da borda mediu-se uma dureza de 856HV pra A3 e 763HV tanto para B3 quanto para C3. A camada cementada foi de 1,90mm para A3, 1,14mm para B3 e 1,15mm para C3. Entre esses houve um aumento de dureza, a 0,20mm da superfície, de 92HV tanto de A3 para B3 quanto de A3 para C3. Entre B3 e C3 não houve diferença significativa. O aumento da profundidade da camada cementada foi de 0,75mm tanto de A3 para B3 quanto de A3 para C3, entre B3 e C3 não houve diferença.

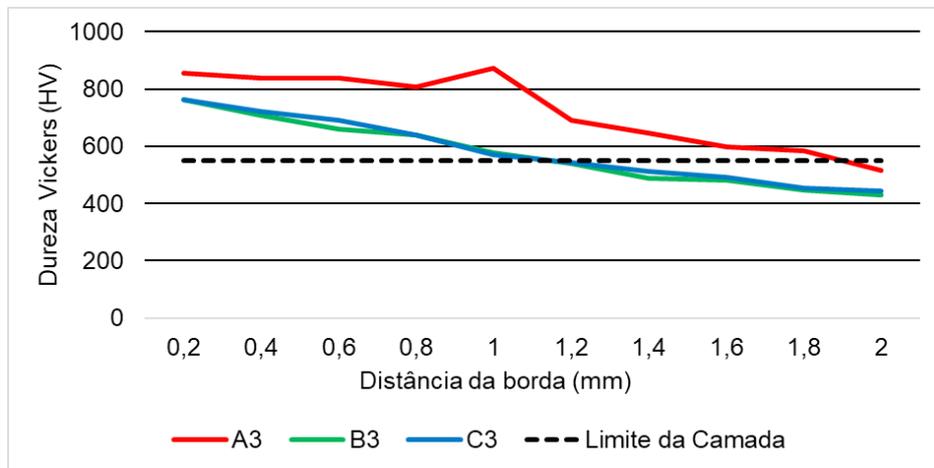


Figura 5. Dureza X Profundidade. Tempo de 9h

A Figura 6 mostra a espessura da camada cementada em relação ao tempo de tratamento. Entre o tempo de 6h e 9h a diferença da camada cementada entre os cementantes começa e diminuir. Porém, é evidente a maior eficiência do composto comercial, o qual atingiu um valor de camada com 0,88mm em 3h, 1,77mm em 6h e 1,9mm em 9h. A Figura 7 mostra uma imagem metalográfica do CP A3, ampliada em 5X e atacada com Nital 3% por 10 segundos, onde observa-se nitidamente a camada cementada.

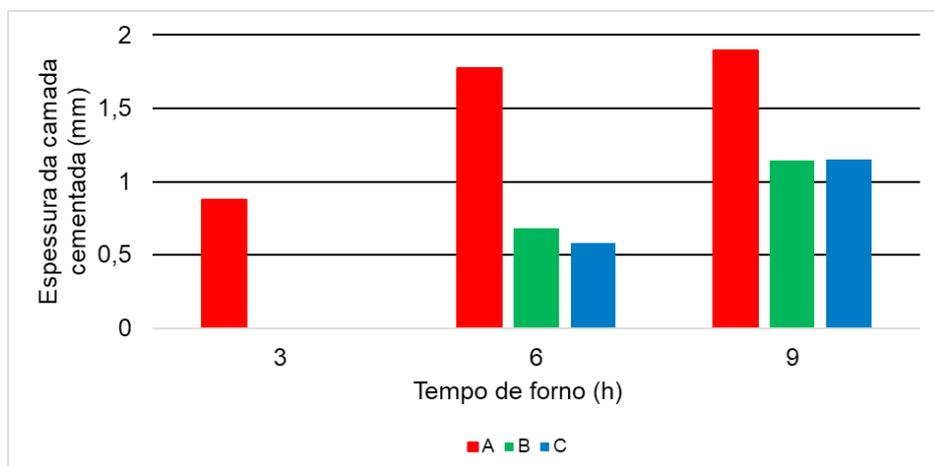


Figura 6. Profundidade X Tempo

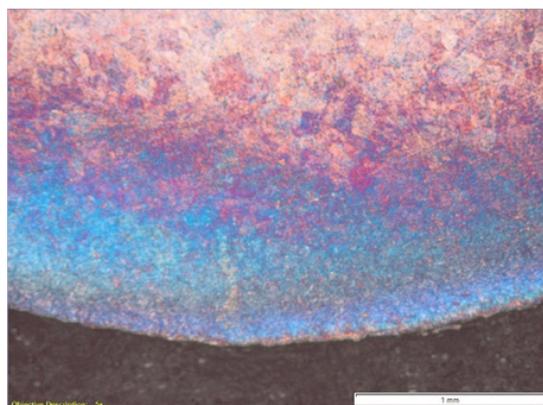


Figura 7. CP A3 atacado com Nital 3% por 10s ampliado 5X

4 | CONCLUSÃO

A cementação efetuada com o composto comercial apresenta vantagens que podem ser observadas nos resultados do experimento, conferindo uma dureza maior nas camadas próximas da superfície, bem como uma camada cementada com maior profundidade em todos os tempos de forno. Outra constatação do experimento é que não foi apresentado diferenças relevantes entre o uso de grafite com ou sem 20% de carbonato de cálcio, como compostos cementadores. A análise da eficiência dos cementantes poderia ser mais completa apresentando dados sobre a variação da camada cementada, assim como uma análise estatística, o que não foi possível realizar em virtude da falta de recursos. A análise estatística evitaria os dados discrepantes do CP B1 que apresentou um aumento de dureza da borda para o centro do CP, fato sobre o qual não foi encontrado hipótese. O experimento também corrobora o uso da cementação sólida em caixa para a finalidade a qual é recomendada conforme a análise apresentada da dureza e profundidade de camada.

5 | AGRADECIMENTOS

Agradecimentos aos professores e técnicos do IFRS – Campus Ibirubá. Agradecimento à empresa Vence Tudo em especial ao coordenador do setor de qualidade o sr. João Chagas.

REFERÊNCIAS

ASKELAND, D. R.; WRIGHT, W. J. **Ciência e Engenharia dos Materiais**. 2 Ed. São Paulo: Cengage CTP, 2014.

ASM International, **Metals Handbook**, Ninth Edition, Volume 16, Machining.

BARRA, G. C. P. **Estudo de viabilidade técnica e econômica de troca de processo de cementação em linha industrial de tratamento térmico**. 2013. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G.. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 9 ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2016.

VICENTE, Chiaverini. **Aços e ferros fundidos**. 7 ed. São Paulo: ABM, 2002.

COLPAERT, Hubertus. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2008.

GIORDANI, T. **Avaliação metalúrgica e mecânica de aços cementados e temperados de forma convencional e intensiva**. 2012. 106f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

LAMIM, T. S. **Cementação e nitretação-cementação a plasma em baixa temperatura em ferro**

puro sinterizado. 2016. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Florianópolis, 2016.

LOGUERCIO, J. F. C. **Desenvolvimento de um aço SAE 5115 microligado ao Nióbio para cementação a alta temperatura.** 2003. 193 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

OGATA, H. T. S. **Determinação da influência das tensões residuais nas propriedades de fadiga em aço sae 8620 processado com diferentes profundidades de camada de cementação.** 2003. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa Interdisciplinar de Pós-graduação, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

PARRISH, G. **Carburizing.** Materials Park, Ohio: ASM International, 1999.

PEREIRA, K. G. **Relatório estágio curricular ii.** Jaraguá do Sul, 2011. 30 p.

SANTOS, G. P.; CAETANO, V. G.; KIECKOW, F. **Cementação sólida no aço sae 8620.** Xxviii Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, Ijuí, v. 1, n. 1, p.1-4, nov. 2017.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.

SOBRE O ORGANIZADOR

Henrique Ajuz Holzmann - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

Ricardo Vinicius Bubna Biscaia - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia de Produção pela UTFPR. Trabalha com os temas: análise microestrutural e de microdureza de ferramentas de usinagem, modelo de referência e processo de desenvolvimento de produto e gestão da manutenção.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-248-7

