

ANÁLISE DO HISTÓRICO DE FABRICAÇÃO DE PEÇAS DE BRONZE UNS C95800 VISANDO OTIMIZAR A PRODUÇÃO¹

Nivaldo Lemos Coppini²
Elesandro Antonio Baptista³
Jean Pierre Delmonde⁴

Resumo

Na indústria petrolífera é comum a utilização de peças metálicas que, além das exigências mecânicas e estruturais, devem ser, também, resistentes à corrosão, quando as aplicações são em ambiente marítimo. Entre outros metais, um em especial é o bronze UNS C95800, alvo de estudos neste trabalho. A proteção destas peças em relação ao ambiente de trabalho é geralmente feita por meio de catodo de sacrifício, mas existem situações nas quais é possível e eventualmente preferível, praticar uma proteção baseada nas propriedades e características do material. O bronze UNS C95800 é um material que, graças à sua composição química, permite alcançar resistência mecânica adequada aliada à excelente resistência à corrosão. Atualmente, uma série de peças com desenhos e dimensões diversos, é fabricada com o referido material visando aplicações em Árvores de Natal submersas. Tais peças são normalmente produzidas utilizando-se o processo de fundição em moldes de areia com a aplicação de resfriadores visando evitar a ocorrência de defeitos. Após a fundição é realizada uma pré usinagem seguida de tratamento térmico e de usinagem final. Observou-se que tal histórico de fabricação é de alto custo e grande incidência de refugos. O objetivo deste trabalho é introduzir melhorias nas diferentes etapas do processo de fabricação destas peças, visando aumentar a produtividade, baixar os custos, garantir a qualidade exigida com conseqüente diminuição de refugos. Para tanto, foi escolhido um anel de maior dimensão dentre os que são normalmente fabricados e utilizados na “Árvore de Natal” por entender-se que esta seria a situação mais crítica e aplicável para as demais peças de menor dificuldade de produção. Um outro aspecto relevante deste trabalho está relacionado com a eventual influência da estrutura organizacional da empresa para resolver questões do histórico de fabricação de peças que permeiam por diferentes departamentos. No presente trabalho, esta possibilidade ocorreu entre departamentos de fundição, tratamento térmico, controle de qualidade e usinagem.

Palavras-chave: Fundição; Usinagem; Otimização.

BRONZE UNS C95800 RECORD FABRICATION ANALYSIS FOCUSING PROCESSES OPTIMIZATION

Abstract

There are industries segments that submit your equipments to particular factories. One of those segments is the oil industries, that besides the mechanical and structure requirements, they demand from equipments and parts for the resistance property in aggressive sea atmosphere. The protection of these equipments in relation to the work atmosphere is usually made through sacrifice cathode, but there are parts that it is possible an individual protection. Bronze parts are framed in that group, where, to assist the demanded solicitation the parts are produced with particular chemical and physical properties, besides specific tests to assist all the requirements and to guarantee the quality of the parts. We will be studying a model of real piece, manufactured by a Foundry that specifically acts in the area of non ferrous metals. The objective of this work is make a research to optimization of all the productive process of parts manufactured with bronze UNS C95800. The parts that will be studied are produced by foundry, heat treatment and cutting process. Were used sand molds with metallic coolers. For each one of them they will be described the current situation, the alternatives and or optimization possibilities. For the involvement of high financial costs and environmental risks in the final assembly of the equipments, the parts have rigorous and discerning requirements of final quality involving a lot of specifications and tests, which will be described and analyzed.

Key words: Foundry; Gravity process; Metallic coolers; Non ferrous metals; Bronze.

¹ Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

² Universidade Metodista de Piracicaba – Unimep - Rod. Sta Bárbara/Iracemápolis, Km 1. CEP13450-000 - Sta Bárbara d'Oeste – SP, email : ncoppini@unimep.br

³ Universidade Metodista de Piracicaba – Unimep - Rod. Sta Bárbara/Iracemápolis, Km 1. CEP13450-000 - Sta Bárbara d'Oeste – SP, email : eabaptista@unimep.br

⁴ Universidade Metodista de Piracicaba – Unimep - Rod. Sta Bárbara/Iracemápolis, Km 1. CEP13450-000 - Sta Bárbara d'Oeste – SP, jpierre@widesoft.com.br

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho foi realizado em estreita parceria entre uma empresa metal/mecânica e a universidade. Referida empresa produz peças e componentes de materiais não-ferrosos para diversas aplicações, dentre elas para atender indústrias petrolíferas no que se refere à construção de equipamentos para extração do petróleo.

Um destes equipamentos é denominado de “Árvore de Natal”. Uma “Árvore de Natal” é formada por um conjunto de peças e dispositivos que são montados nos diversos pontos por onde o petróleo deverá ser extraído. Quando este procedimento ocorre no mar, é necessário que as peças, além de apresentarem resistência mecânica adequada para suportar os esforços que ocorrem durante a extração, devem também ser resistentes à corrosão.⁽¹⁾ As peças acima referidas, são em formatos de anéis e têm as mais variadas dimensões, podendo variar, em peso, de 100 gramas a 400 quilos.

Para atender o aspecto relacionado com a resistência mecânica, mas principalmente para atender simultaneamente o aspecto relacionado com a resistência à corrosão, tem sido utilizado o bronze UNS C95800. É importante salientar que peças deste material obtidas por processo de fundição, normalmente têm menor exigência relativamente à incidência de defeitos, quando comparada com as exigências feitas para as aplicações de que trata este trabalho.

A fabricação de cada peça passa por processo de fundição em areia, usinagem de desbaste, tratamento térmico, ensaios para garantir inexistência de defeitos, usinagem de acabamento e ensaios finais para garantir a qualidade da peça. Apesar de ensaios para verificação de defeitos serem realizados entre cada estágio de fabricação acima mencionado, é possível detectar-se algum tipo de poros devido à inclusão de gases durante a solidificação ou trincas térmicas de contração que somente ficam visíveis após a operação de acabamento final e com a ajuda de técnicas especiais, tais como líquido penetrante e/ou ultrassom.

A tecnologia utilizada pela empresa, e que motivou a realização deste trabalho, tem ocorrido com uma incidência relativamente alta de refugo das peças, muitas das vezes após ter-se percorrido todo o histórico de fabricação mencionado. Nos casos em que os refugos incidem sobre as peças de grandes dimensões, a situação se agrava, pois o custo agregado ao produto é relativamente alto.

O objetivo deste trabalho é introduzir melhorias nas diferentes etapas do histórico de fabricação destas peças, visando aumentar a produtividade, baixar os custos, garantir a qualidade exigida com conseqüente diminuição de refugos.

As peças menores, além de apresentarem menor número de problemas que as de grandes dimensões, podem ter a fabricação melhorada adotando-se procedimentos similares e, de qualquer forma, têm muito menor custo agregado.

Por este motivo, foi escolhido um dos anéis de maior dimensão dentre os que são normalmente fabricados e utilizados na “Árvore de Natal” por entender-se que esta seria a situação mais crítica. Certamente, as conclusões relativas à fabricação das peças de maior dimensão, deverão ser também úteis e aplicáveis para as demais peças de menor dificuldade de produção, bastando para isto pequenos ajustes no histórico do processo.

É importante ressaltar que a realização deste trabalho somente foi possível de ocorrer graças à possibilidade dos autores interferirem nos procedimentos de fabricação adotados nos diferentes departamentos, alterando-os com a finalidade de buscar a otimização global da fabricação destas peças. As chefias dos

diferentes departamentos concordaram em alterar procedimentos em prol da melhoria do processo. Este é um fato, que apesar de ser aparentemente óbvio, com frequência se constitui em uma barreira, devido às responsabilidades hierárquicas regidas pela personalidade das pessoas que ocupam cargos de chefia.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O processo de fundição em moldes de areia é o tradicionalmente utilizado para fabricação de peças de grande porte e/ou em situações de complexidade geométrica que se justifique. Ao lado destas vantagens, apresenta algumas desvantagens:

- a carepa de fundição pode apresentar-se com alta rugosidade superficial e contaminada com areia do molde;
- possibilidade de introdução de defeitos internos ao produto, como a presença de poros, grãos de areia que se destacam da interface metal/molde, rechupes e trincas de contração, distribuídos pelo interior do produto;
- variações de dureza na região da peça próxima à interface metal/molde;
- heterogeneidades geométricas, por ser este processo de maior dificuldade de controle dimensional que outros processos de fundição, devido à sua própria natureza.

Por ser a areia um material refratário, o regime de extração de calor imposto ao fundido durante a solidificação e resfriamento dentro do molde é bastante lento. Quando é desejada uma estrutura de grãos cristalinos e equiaxiais, tal efeito é bastante adequado. Porém, quando se deseja uma estrutura mais refinada e nas proximidades da interface metal/molde, grãos cristalinos colunares, então é necessários utilizar dispositivos denominados resfriadores. São blocos de metal (geralmente aço ou ferro fundido) que são montados no interior do molde, justamente na sua interface com o metal a ser solidificado. Por serem bons condutores de calor quando comparados com a areia, impõe-se um regime de extração de calor bastante intenso. Isto ocorre pelo menos até que os resfriadores fiquem saturados de calor. Tal fato é suficiente para provocar o surgimento de grãos colunares na superfície externa do fundido e, ao mesmo tempo, disseminar no seio do metal líquido em processo de solidificação, um grande número de núcleos de metal sólido que irá provocar o aparecimento de grãos equiaxiais centrais mais finos, melhorando significativamente as propriedades do fundido. Além disso, nos pontos onde são colocados os resfriadores, a erosão da areia do molde é evitada, prevenindo a presença de grãos de areia no interior da peça fundida.⁽²⁻³⁾

Nos casos em, que após a fundição, venha incidir processos de usinagem, as características dos fundidos acima assumem grande relevância. Como isto ocorre na grande maioria das vezes e sempre que a alta qualidade superficial e geométrica da peça for pré-requisito, o processo de usinagem é praticamente inevitável. Assim, os defeitos e heterogeneidades presentes na camada de material a ser removido devem ser evitados. Estes são geradores de grandes desgastes de ferramentas de usinagem e, pior do que este fato, são provocadores de avarias como trincas e quebras das arestas de corte. A redução da vida das ferramentas devido à presença de desgastes exagerados e/ou a condenação da aresta de corte por avarias, significa menor produtividade e maior custo de fabricação.⁽⁴⁻⁵⁾

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O método utilizado neste trabalho consistiu em levantar o histórico de fabricação de peças de metais não ferrosos empregadas em “Árvores de Natal”. A peça de maior desafio, e que representaria, por este motivo, a introdução de melhorias significativas à produção foi identificada como sendo o anel de dimensões \varnothing 1150 x 950 x 250mm de bronze UNS C95800.

Identificado o histórico de fabricação destes anéis, uma análise crítica foi elaborada e algumas modificações foram introduzidas.

A pesquisa foi realizada nas dependências da empresa sendo empregado os seguintes materiais e equipamentos:

- forno a óleo produzido pela própria empresa;
- resfriadores de ferro fundido nodular;
- torno mecânico Romi de MKD II de 20 CV de potência;
- espectrômetro de emissão óptica Shimatsu;
- testes de líquido penetrante para identificação de trincas de contração e rechupes e testes de ultrassom;
- bronze UNS C95800 (79% Cu, 3,5-4,5% Fe, 4-5% Ni, 8,5-9,5% Al, 0,8-1,5% Mn).

4 LEVANTAMENTO DO HISTÓRICO DE FABRICAÇÃO EXISTENTE

O procedimento para controle da composição química é plenamente satisfatório e é realizado desde a composição da carga até o momento do vazamento. O controle da composição química e das impurezas é realizado dentro de faixas de tolerância ainda mais estreitas das contidas na norma ASTM B148 C95800, por exigência do cliente. Assim, são conseguidas propriedades mecânicas bem controladas e adequadas. A análise química é realizada através de corpos de prova retirados da panela de fundição e os corpos de prova analisados por meio de medidas em um espectrômetro de emissão óptica. Este procedimento é sempre adotado para garantir a possibilidade de correção e ajuste da composição química do material.

O anel é fundido em moldes de areia preparados a partir de modelos de madeira. Entretanto, na região de contato metal/molde são colocados resfriadores metálicos de ferro fundido nodular com o objetivo de provocar resfriamento mais rápido do metal líquido, ou seja, um efeito de coquilhamento. Com este procedimento consegue-se uma estrutura refinada de grãos cristalinos e também, consegue-se direcionar a solidificação, cuja frente “leva” os defeitos para os rechupes.

Para o processo de fundição dos anéis, a única observação que mereceu atenção relacionou-se com a montagem dos resfriadores: feita manualmente, sem auxílio de qualquer dispositivo, dificulta e até mesmo impossibilita garantir precisão de montagem dos mesmos, gerando irregularidades dimensionais significativas com relação ao sobremetal que deverá ser posteriormente usinado.

A Figura 1 ilustra a forma em que os resfriadores são dispostos no molde e revela a heterogeneidade da montagem dos mesmos.



Figura 1. Macho e Molde para os diâmetros interno e externo da peça.

Em seguida a peça é encaminhada para a usinagem onde é usinada em operação de desbaste deixando um sobremetal de aproximadamente 5 mm. A próxima etapa é o tratamento térmico da mesma.

Na usinagem, tem-se um tempo de máquina bastante elevado, da ordem de 8 horas, pois, velocidades baixas são utilizadas devido às imperfeições decorrentes do assentamento de forma não padronizada dos resfriadores. Entre eles o resultado final do fundido pode apresentar ressaltos de até 10 mm, causando cortes intermitentes durante o torneamento. Tais irregularidades impedem a utilização de velocidades de cortes mais altas, pois, se adotadas provocariam quebras de ferramentas.

Outro fator que faz com que a velocidade de corte seja reduzida é a própria superfície gerada pelos resfriadores metálicos que deixam na superfície da peça ranhuras de 3 mm de altura.

A usinagem é realizada em duas etapas: um primeiro desbaste onde é deixado sobremetal para a realização do tratamento térmico, com cuidados para garantir um arredondamento dos cantos e, assim, evitar pontos de tensão geradores de trincas durante o tratamento térmico. Após o tratamento térmico, é realizado o segundo desbaste onde são retiradas as distorções por ele geradas. A usinagem final é realizada no cliente.

A forma encontrada em uma peça após a fundição pode ser vista na Figura 2.



Figura 2. Peça Bruta, após desmoldagem e rebarbação antes das melhorias.

Para resistir ao ambiente marítimo agressivo como é água do mar, o material da peça deve sofrer tratamento térmico com aquecimento a uma temperatura de até 675° C, $\pm 10^\circ\text{C}$. Permanece nesta temperatura por no mínimo 6 horas e conforme norma do cliente, o resfriamento deve ser feito com água, num recipiente onde a esta deve estar a uma temperatura de $30^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$.

Por exigências do cliente as peças devem apresentar uma qualidade revelada a partir dos seguintes ensaios:

- análise química;
- ensaio mecânico (em corpo de prova, após tratamento térmico);
- ensaio de impacto (em corpo de prova, após tratamento térmico);
- dureza (após tratamento térmico);
- ultrassom de defeitos em toda a superfície da peça;
- Líquido Penetrante em toda a superfície da peça.

A disposição dos ensaios obedece a seqüência lógica do processo, salientando-se que o ensaio de ultrassom é realizado após o tratamento térmico e antes do segundo desbaste. O objetivo é evitar que uma peça refugada pelo ultrassom seja processada por usinagem, visto que, não é aceito recuperação diante dos defeitos eventuais que surgirem.

Os defeitos mais comuns incidentes na fabricação destas peças são:

- trincas externas, somente possíveis de serem observadas após o tratamento térmico, sendo possível, às vezes, observá-las a olho nu;
- contrações de solidificação, responsáveis pela introdução de vazios, somente possíveis de serem detectados através do ultra-som.

5 OTIMIZAÇÕES E MELHORIAS IMPLEMENTADAS

Como os resfriadores eram montados manualmente, os moldadores não tinham domínio e até mesmo recursos para que estes se mantivessem uniformemente distribuídos com relação à superfície moldada da peça, ocasionando cantos vivos, responsáveis por heterogeneidade de tensões.

Os resfriadores também eram colocados em todo o perímetro externo e interno da peça, não havendo nenhuma folga entre eles. Além disso, os resfriadores eram ancorados na areia do molde. Por este motivo, no momento da solidificação, com a natural contração do sólido, os resfriadores externos perdiam a função de direcionadores de solidificação, pois, ancorados que estavam, não acompanhavam a contração da peça. Com a queda da capacidade de extração do calor os resfriadores deixavam de exercer suas funções. Quanto aos resfriadores internos, a contração ao invés de provocar o afastamento do sólido, faz com que este se movimente no sentido de contrário e, ao encontrar a resistência imposta pelo molde, pode sofrer tensões e ou trincas.

Desta forma, seria necessário que os resfriadores externos não estivessem ancorados no molde, visando acompanhar a contração durante a solidificação. Quanto aos resfriadores internos seria necessário que houvesse um distanciamento entre eles suficiente para permitir com a contração de solidificação, que se aproximassem e forçassem a deformação do molde.

A primeira mudança introduzida com sucesso (Figura 3), foi a de garantir uma folga de aproximadamente 6 mm entre os resfriadores do diâmetro externo e interno, bem como de não ancorá-los no molde, evitando os problemas acima solicitados.

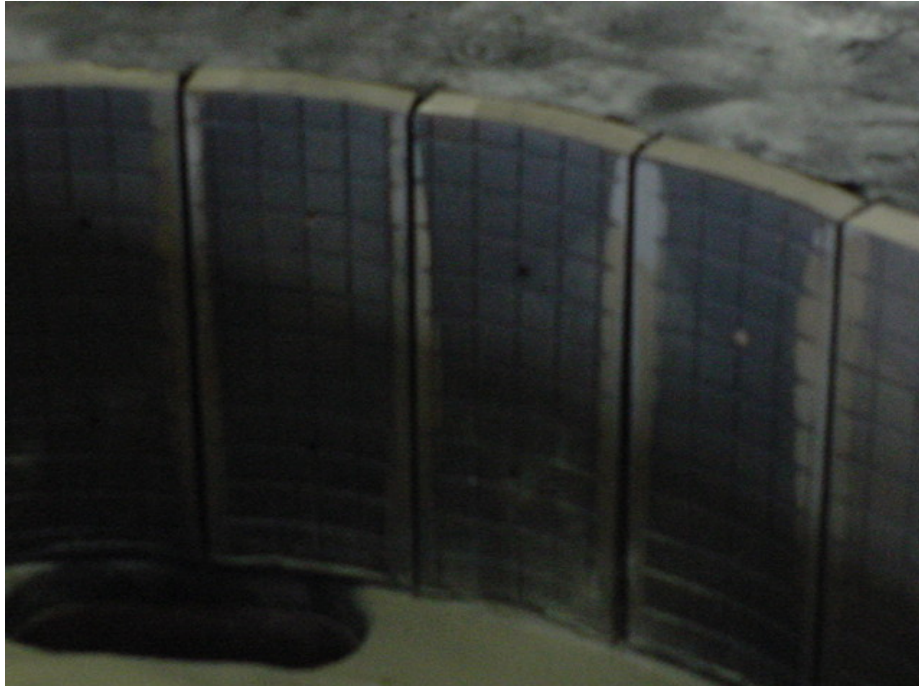


Figura 3. Montagem mais cuidadosa dos resfriadores no diâmetro externo como primeira providência de melhoria do processo.

Como as trincas eram geradas no tratamento térmico, a análise para encontrar a causa de tal defeito, iniciou pela comparação entre o procedimento exigido pelo cliente e a norma internacional (ASTM B148 C95800).⁽⁶⁾ Verificou-se que esta norma explicita que o tratamento térmico deve ocorrer sem a introdução de distorções excessivas nem trincas, sem contudo mencionar qual deva ser o método de resfriamento da peça.⁽⁷⁾ A simples providência de deixar o resfriamento ocorrer ao ar livre, gerou peças com as mesmas propriedades requeridas pelo cliente, sem apresentar trincas.

Diante do fato comprovado, o cliente aceitou que o tratamento térmico passasse a ser regido pela norma ASTM acima citada.

Com relação a melhorias no processo de usinagem, verificou-se que o primeiro passo não dependia de introduzir modificações no processo em si, como por exemplo, substituir ferramentas, modificar parâmetros de corte, etc.. Verificou-se sim, que era necessário um diálogo entre as chefias do setor de usinagem e da fundição, pois as melhorias deveriam iniciar-se com modificações que permitissem melhor qualidade do fundido. Esta questão foi perfeitamente entendida e, assim, com um comportamento de parceria interdepartamental, foi possível buscar melhorias no processo de fundição e verificar seus reflexos no processo de usinagem.

Uma primeira tentativa de introdução de melhoria foi a de procurar alterar a montagem dos resfriadores. Embora a quantidade de resfriadores utilizados na peça fosse alta (56 no diâmetro interno e 30 no diâmetro externo), foram utilizados grampos e separadores padronizados para facilitar a montagem dos mesmos com garantia de alinhamento e espaçamento entre eles. Nesta experiência os resfriadores foram mantidos exatamente iguais aos tradicionalmente utilizados antes de procurar-se otimizar o processo. Algumas destas melhorias podem ser vistas na Figura 4.



Figura 4. Visualização de separadores, grampos de fixação e montagem.

Com o alinhamento dos resfriadores e conseqüente homogeneidade superficial do fundido, não mais ocorreu cortes intermitentes tão exagerados, a não ser pela intermitência provocada pelas ranhuras entre os resfriadores. Menor número de ferramentas passou a sofrer quebras, representando uma economia de aproximadamente 30%. O menor tempo com troca de ferramentas e a possibilidade de se trabalhar com rotações 20% superiores, permitiu um ganho de aproximadamente 10% no tempo total de produção de uma peça.

Embora dificilmente uma peça seja refugada devido a problemas intrínsecos da usinagem, esta primeira experiência de otimização revelou um menor índice de refugo, reduzindo-o de 66% a 30%.

Este procedimento preliminar gerou tempos de moldagem maiores devido a necessidade de manipulação dos grampos e espaçadores. No momento os autores estão colocando como meta buscar uma redução de 75% nos tempos de moldagem e em 50 % nos tempos de usinagem. Tal meta deverá ser atingida através da construção de dispositivo de moldagem e melhorias da qualidade dos resfriadores que permitirão introduzir maior qualidade integral ao fundido, facilitando o processo posterior de usinagem e evitando a introdução de defeitos durante o tratamento térmico. Para tanto, já se encontra em fase construção tal dispositivo.

6 COMENTÁRIOS FINAIS

- Foram introduzidas melhorias durante a moldagem, quais sejam: posicionamento dos resfriadores, que apesar de serem os mesmos utilizados anteriormente já permitiram um ganho de 10% no tempo de produção da peça em termos de usinagem;
- Esta primeira experiência de introdução de melhorias no histórico de fabricação destas peças, mostrou a importância de continuar tal procedimento de melhoria através de alterações mais profundas com metas de reduções ainda mais significativas;
- Por ação da pesquisa, o cliente aceitou a utilização da norma ASTM B148 C95800, modificando seu procedimento, o que permitiu que a eliminação dos defeitos de contração de solidificação e trincas;
- Finalmente, embora não fosse necessário realizar este trabalho para chegar a este comentário, é extremamente importante que ocorra a possibilidade de diálogo entre as chefias e a parceria entre fornecedor e clientes, fato este comprovado tanto no aspecto de melhorias introduzidas nos processos de fundição e usinagem, como na mudança de comportamento das partes relativamente à utilização da norma ASTM.

REFERÊNCIAS

- 1 CRAIG, Bruce D. **Practical Oilfield Metallurgy and Corrosion..** Oklahoma, Intellectual, 1993, 258p.
- 2 CAMPOS FILHO, Maurício Prates; DAVIES, Grame John. **Solidificação e fundição de metais e suas ligas.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1978.
- 3 OHNO, Atsumi. **Solidificação dos Metais,** São Paulo, LCTE, 185 p.
- 4 DINIZ, Anselmo Eduardo, MARCONDES, Francisco Carlos, COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais,** São Paulo, Artliber Editora, 2006, 5ª. Edição, 255 p.
- 5 FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Materiais,** São Paulo, Editora Blücher, 1970, 754 p.
- 6 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, **ASTM B148 C95800,** USA, 2003, 886p
- 7 BROOKS, Charlie R. **Heat Treatment, Structure and Properties of non Ferrous Alloys.** Ohio : ASM, 1990, 420p

BIBLIOGRAFIA

- 1 CAST METALS , Red Book. **Non Ferrous Metals.** Canadá: Casti Publishin, 2001, 760 p