revista da abifa
Fundição & Matérias-Primas

Coletânea de Trabalhos Técnicos 2015

ANO XVIII | DEZEMBRO DE 2015 | EDIÇÃO 187

Sistema PEP SET™ QUANTUM

Redutor de emissões

Os aglutinantes inovadores PEP SET™ QUANTUM da ASK Chemicals aprimoram significativamente as condições ambientais e de trabalho.

- ✔ **Redução significativa das emissões de fumaça e odor**
- ✔ **Emissões mais baixas de poluentes atmosféricos perigosos (HAPs)**
- ✔ **Melhores condições de trabalho**

GUARANTEED
ECOFRIENDLY
SOLUTION

Para mais informações, visite
www.ask-chemicals.com

ASKCHEMICALS
We advance your casting

ASK Chemicals Produtos Químicos do Brasil Ltda. | Via Anhanguera, Km. 103
Bairro Nova Aparecida 13068-616 Campinas – São Paulo | Telefone: +55 19 3781 1300 | info.brazil@ask-chemicals.com

Caros leitores,

Na edição de dezembro, como nos anos anteriores, a ABIFA oferece ao leitor da Revista Fundição & Matérias Primas, um condensado de todos os artigos técnicos publicados durante o ano de 2015. Esta é uma forma prática para o profissional da Fundição ter sempre em mãos uma literatura do seu interesse para a consulta no dia a dia.

A ABIFA continua sempre contribuindo para a capacitação e atualização do corpo técnico, que é a figura principal no desenvolvimento da empresa de fundição.

O nosso setor, no geral, é intensivo de mão de obra e a qualidade do produto brasileiro é reconhecida pelos clientes locais altamente exigentes (montadoras, química, petroquímica, etc) e inclusive do exterior, que pode ser comprovado pelo volume crescente das exportações.

As principais vantagens do Brasil, para a indústria da fundição, seria a disponibilidade de matérias primas e a tecnologia que continua sendo desenvolvida, nas fundições, fornecedores de materiais, serviços e principalmente em nossas escolas voltadas para fundição, onde o conhecimento é disseminado tornando nossas fundições mais competitivas.

O resultado é a formação, em nosso setor, de profissionais do mais alto nível que em nada devem aos seus pares do exterior.

A ABIFA que tem por missão e objetivos representar os interesses do setor de fundição e promover o desenvolvimento técnico e político do mesmo, procura apoiar e incentivar projetos que possam melhorar a competitividade das fundições frente aos nossos concorrentes do exterior.

Temos condições naturais e a tecnologia para produção do fundido na quantidade e qualidade exigida pelo nosso cliente. Precisamos superar esta crise, que não será eterna, com medidas que vão depender da vontade política de nossos governantes e principalmente, da própria população, simplificando e reduzindo os gastos públicos bem como a sede arrecadatória, além de erradicar de forma definitiva a corrupção existente.

Com isto, seria possível equacionar a questão da infraestrutura defasada e alcançar a isonomia com o mercado internacional.

A nossa expectativa é que tenhamos a oportunidade de sair o quanto deste marasmo e iniciar o tratamento deste paciente, chamado Brasil, antes que seja tarde demais.

Boa leitura a todos!

Remo De Simone
Presidente da ABIFA/SIFESP

Diretoria

PRESIDENTE
Remo De Simone
Itafunge Funds. Gerais Ltda

1º VICE-PRESIDENTE
Luiz Tarquínio Sardinha Ferro
Tupy S.A.

VICE-PRESIDENTES
Afonso Gonzaga
Cofercoq Ltda.
André Luís Wetzel da Silva
Wetzel S.A.
Ayrton Luiz Giovannini
Farina S.A. Comp. Automot.
Cacídio Girardi
Electro Aço Altona S.A
Cássio Moreira Machado
Intercast S.A.
Fernando Cirino Gurgel
Durametal S.A.
Henrique Santana Lins
Nemak Alumínio do Brasil Ltda
Luiz Carlos Rocha
Whirlpool S.A. – Unid. Embraco
Nelson Roberto Hubner
Hubner Comp. e Sist. Autom. Ltda
Osvaldo Carlos Voges
Voges Fundição Ltda
Ovandi Rosenstock
Schulz S.A.

DIRETOR SECRETÁRIO
Vicente Abate
AmstedMaxion Fund Eqpt Ferr S.A.
Pedro Luiz da Cruz
Femaq Fund. Eng. e Máqs. Ltda

DIRETOR FINANCEIRO
Cássio J. M. Vecchiatti
Edem S.A. Fund de Aços
Renê Alécio Cavalheiri
Presmak Téc em Injetados Ltda

SUPL. DIR. FINANCEIRO
Heitor Mikio Tomiyasu
Fagor Ederlan Bras. Aut. Ltda

CONSELHO FISCAL
Bernd Reissmueller
Brabant Alucast do Brasil Ltda
Evair Oenning
Granaço Fundição Ltda
Valério Toledo de Oliveira Saint
Gobain Canalização

SUPL. CONSELHO FISCAL
Marcos Venicius Luz Alves
AmstedMaxion Fund Eqpt Ferr S.A.

CONSELHO CONSULTIVO
Roberto Del Papa
Ind. Met. Frum Ltda
Bráulio Campos
Fundimig Ltda
Carlos André Birckholz
Jofund S.A.
João Antonio de Godoy
Fundição São Francisco Ltda
Supl Cons Consultivo
José Luís Vasconcelos Martin
Menegotti Inds. Mets. Ltda
Antonio Cardoso Balau
Simisa Simioni Metalúrgica Ltda
Alexandre Dorival Gazzi
Castertech Fund e Tecnol. Ltda
Luiz Jair Minatti
Minatti Fundição Técnica Ltda

CONSELHO SUPERIOR
Paulo Butori
Fupresa S.A.
José Aoad Raya
Deluma Ind e Com Ltda
Luiz Carlos Koch
Lepe Ind e Com Ltda
Devanir Brichesi
Deluma Ind e Com Ltda

DIRETORIA INTERNACIONAL
Alemanha
Gelson Montero
Kunkelwagner
EUA
Paulo Dutra
Tupy American Co.
Itália
Gabriele Galante
IMF
México
Carlos Castelo Branco
Tupy México

DIRETOR REGIONAL MG
Bráulio Campos
Fundimig Ltda

DIRETOR REGIONAL N/NE
Adérito Sequeira Praça
Durametal S.A.

DIRETOR REGIONAL PR
Luiz Jair Minatti
Minatti Fundição Técnica Ltda

DIRETOR REGIONAL SC
Mário Krüger
Schulz S.A.

DIRETOR REGIONAL INT SP
Pedro Luiz da Cruz

DIRETOR TÉCNICO
Augusto Koch Jr.
Lepe Ind. e Com. Ltda

DIR TÉC REGIONAL RS
Ênio Heinen
SLH – Com Repr Ltda

DIR TÉC REGIONAL SC
Adalberto B. S. Santos
Metal Consult

DIR TÉC REGIONAL SP
Antonio Diogo de F Pinto
Funcom Consultoria Ltda

CONSELHO TÉCNICO
Aldo Freschet
Amsel Com. E Repres. Ltda
Amândio Pires
Voith Hydro S.A.
Ayrton Filleti
Intelectus
Hugo Berti
Fundesp
Ricardo Fuoco
Metso Brasil Ind. e Com.

DIRETORIA ADJUNTA
Agnaldo Soares
Metalurgica Starcast Ltda
Alcides Nicácio do Valle
Inductotherm Group Brasil Ltda
Aldo L. P. Freschet
Amsel
Amândio Pires
Voith Hydro
Antonio Diogo de F. Pinto
Funcom Consultoria Ltda
Augusto Koch Jr.
Lepe Ind. e Com. Ltda
Carlos Leonardo Busse
Atlanta Fundição Metais
Cássio J. M. Vecchiatti
Edem S.A. Fund de Aços
Edson José Benedetti
Melt Fund Equip Inds e Serv. Ltda
Fábio Pace de Oliveira
Foseco Industrial e Com. Ltda
Gilberto Rezende Ferrari
Fund. Técnica Paulista Ltda
José Aoad Raya
Deluma Ind e Com Ltda
José Rubens dos Santos
JRS Consultoria
Luiz Antonio M. Pinheiro
Daicast Ind. E Com. Ltda
Luiz Carlos Koch
Lepe Ind e Com Ltda
Luiz Felipe Bruno
Voith Hydro
Norberto F. S. Aranha
CTC Consultoria
Pier Giovanni Ceccarelli
Remo De Simone
Itafunge Funds. Gerais Ltda
Roberto Del Papa
Ind. Met. Frum Ltda
Sergio Aparecido dos Santos
Fundimazza
Valdir Santoro
Corona Cadinhos
Vicente Abate
AmstedMaxion Fund Eqpt Ferr S.A.
Vitor Luis Falcao Azevedo
Sinto Brasil

SECRETÁRIO EXECUTIVO
Roberto João de Deus

Expediente

REVISTA DA ABIFA – FUNDIÇÃO & MATÉRIAS-PRIMAS

Coordenação Geral / Editor
Jurandir Sanches Carmelio
MTB - 63.420

Diretora de Arte
Thais Moro

Assistente de Arte
Gabriela Maciel

Assistente de Comunicação
Débora G. Paris

Coordenador Técnico
Weber Büll Gutierres
wgutierres@abifa.org.br

Tradução
Roberto Seabra
Valéria Elias (Tranxlate)

Colaboradores
Lylian Fernanda Camargo
Andressa Freitas

Capa
Jurandir Sanches Carmelio
(criação)

Fotos e Imagens
Stockschng (banco de imagens)
Rafaela Santanegra

Gerência Comercial
Eduardo Madeira
revista@abifa.org.br
cca@abifa.org.br

Representantes
São Paulo
Dorival Pompêo
dorival.comercial@abifa.org.br
Tel: (11) 98135-9962

Regional Minas Gerais
Samuel Gomes Mariano
abifa-mg@abifa.org.br
Tel.: (37) 3249-1788
(37) 9121-0336

Regional Paraná / Sta. Catarina
Rangel Carlos Eisenhut
rangel@abifa.org.br
Tel.: (47) 3461-3340
(47) 3461-3368

Regional Rio Grande do Sul
Grasiele Bendel
abifa-rs@abifa.org.br
Tel.: (54) 3538-5177

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO

ABIFA
Av. Paulista, 1.274 – 21º andar
CEP 01310-925 – São Paulo – SP
Tel.: (55 11) 3549-3344
Fax: (55 11) 3549-3355
fmp@abifa.org.br

Regional Paraná/ Santa Catarina
Av. Aluísio Pires Condeixa, 2.550
2º andar - Sala 30
CEP 89221-750 – Joinville – SC
Tel./Fax: (55 47) 3461-3340
abifa_sul@abifa.org.br

Regional Minas Gerais
Rua Capitão Vicente, 129
3º andar – Ed. CDE
CEP 35680-056 – Itaúna – MG
Tel.: (55 37) 3249-1788
abifa-mg@abifa.org.br

Regional Rio Grande do Sul
Caxias do Sul - RS
Tel./Fax (55 54) 3538-5177
abifa-rs@abifa.org.br

Arte e Produção
L2 Propaganda, Comunicação e Design
Tel.: (55 11) 97579-6343
www.l2propaganda.com.br

Impressão
psi7

A Revista da ABIFA é uma publicação mensal da ABIFA – Associação Brasileira de Fundição – dirigida à toda cadeia produtiva do setor, às indústrias de fundição, seus fornecedores de produtos, serviços e clientes.
Os artigos assinados são de responsabilidade de seus autores e não necessariamente refletem as opiniões da revista. Não é permitida a reprodução total ou parcial das matérias sem expressa autorização da ABIFA.

Parceria – Intercâmbio
Giesserei – Alemanha
Foundry Trade Journal – Inglaterra
Foundryman – Índia
Moldeo Y Fundicion – México
El Fundidor – Argentina
Modern Casting – EUA
Fundição – Portugal

Fale Conosco
Administração: aoliveira@abifa.org.br
Estatística: jcarmelio@abifa.org.br
Eventos: rbernardini@abifa.org.br
Financeiro: financeiro@abifa.org.br
Imprensa: imprensa@abifa.org.br
Publicidade: revista@abifa.org.br
Recursos Humanos: rh@abifa.org.br
Revista: fmp@abifa.org.br
Secretário executivo: rdeus@abifa.org.br
Técnico: wgutierres@abifa.org.br

PUBLICAÇÕES

- Anuário ABIFA - Guia de Fundição
- Revista Fundição e Matérias-primas
- Dicionário de Fundição e Tratamento Térmico (Português - Inglês)
- Dicionário de Usinagem e Tratamento Térmico (Português - Inglês)
- Dicionário de Fundição Português-Alemão

Distribuição: ACF Alfonso Bovero

ABIFA DEZEMBRO 2015

Índice

13 Fevereiro

14 1 - Guias de Referência para a Manutenção Adequada de Fornos de Indução sem Núcleo

26 2 - Tenha Ganhos Através do Lean Manufacturing

35 Abril

36 1 - Causa e Defeitos

42 2 - Entendendo o calor, melhore a casca

52 3 - Fundição por Microfusão de Compósitos de Matriz Metálica

59 Maio

60 1 - Análise de resistência à fadiga mecânica em aço de fundição com matriz bainítica Nanoestruturada

68 2 - Influência do Magnésio sobre a microestrutura e propriedade de fluência de aços HP fundidos

79 Julho

80 1 - Redução de refugo em peças fundidas através de delineamento de experimentos

86 2 - Eficiência energética como estratégia de excelência operacional e sustentabilidade corporativa – Tupy Fundições

102 3 - Redução do consumo de energia elétrica na fundição – fusão em forno cubilô

117 Agosto

118 1 - Estudo do comportamento da resina utilizada nos processos de cura frio parte 2: comparação entre a variação da vazão mássica e o tempo de banca com a temperatura

128 2 - *New coatings and additives concepts as an entire approach for defect and residue free castings*

139 Novembro

140 1 - Viabilidade econômica da aplicação funcional de uma mistura de solo com areia descartada de fundição (ADF) em aterros sanitários

148 2 - Além da simulação clássica do processo de injeção por alta pressão: estudo da previsão de geometria, fadiga do molde e comportamento estrutural

160 3 - Desenvolvimento de peças eólicas com a utilização de software de simulação

Índice Alfabético

148 – Além da simulação clássica do processo de injeção por alta pressão: estudo da previsão de geometria, fadiga do molde e comportamento estrutural

60 – Análise de resistência à fadiga mecânica em aço de fundição com matriz bainítica Nanoestruturada

36 – Causa e Defeitos

160 – Desenvolvimento de peças eólicas com a utilização de software de simulação

86 – Eficiência energética como estratégia de excelência operacional e sustentabilidade corporativa – Tupy Fundições

42 – Entendendo o calor, melhore a casca

118 – Estudo do comportamento da resina utilizada nos processos de cura frio parte 2: comparação entre a variação da vazão mássica e o tempo de banca com a temperatura

52 – Fundição por Microfusão de Compósitos de Matriz Metálica

14 – Guias de Referência para a Manutenção Adequada de Fornos de Indução sem Núcleo

68 – Influência do Magnésio sobre a microestrutura e propriedade de fluência de aços HP fundidos

128 – *New coatings and additives concepts as an entire approach for defect and residue free castings*

80 – Redução de refugo em peças fundidas através de delineamento de experimentos

102 – Redução do consumo de energia elétrica na fundição – fusão em forno cubilô

26 – Tenha Ganhos Através do Lean Manufacturing

140 – Viabilidade econômica da aplicação funcional de uma mistura de solo com areia descartada de fundição (adf) em aterros sanitários

COMIL COVER SAND

www.comilcoversand.com.br
atecnica@comilcoversand.com.br

Unid. Administrativa (11) 2942-4022 | Unid. Industrial I (11) 4646-2600 | Unid. Industrial II (19) 3469-3020 / (19) 3469-9560

CONHEÇA A LINHA DE PRODUTOS COMIL E SEUS PARCEIROS

LUVAS E CONES

Luvas Super Exotérmicas, Exotérmicas e Isolantes para fundição de peças complexas. Cones para tamponamento.

RESINAS E CATALISADORES

Resinas utilizadas em moldagem e macharia nos processos de fundição.

FLUXOS

Produtos auxiliares para tratamento de metais não-ferrosos

TINTAS

Tintas utilizadas em moldagem e macharia de todos os processos a base de Álcool e base de Água.

AREIA

Areia coberta para **Shell Molding** Comil Cover Sand. São produzidas de acordo com a necessidade do cliente.

NOSSOS PARCEIROS

LANIK FOAM CERAMICS

FILTROS CERÂMICOS

Foundry Ecocer

FLUXOS GRANULADOS
TRAT. NÃO-FERROSOS

ABIFA
Associado

PRODUTOS ALEASTUR

ALEASTUR
ASTURIANA DE ALEACIONES S.A.

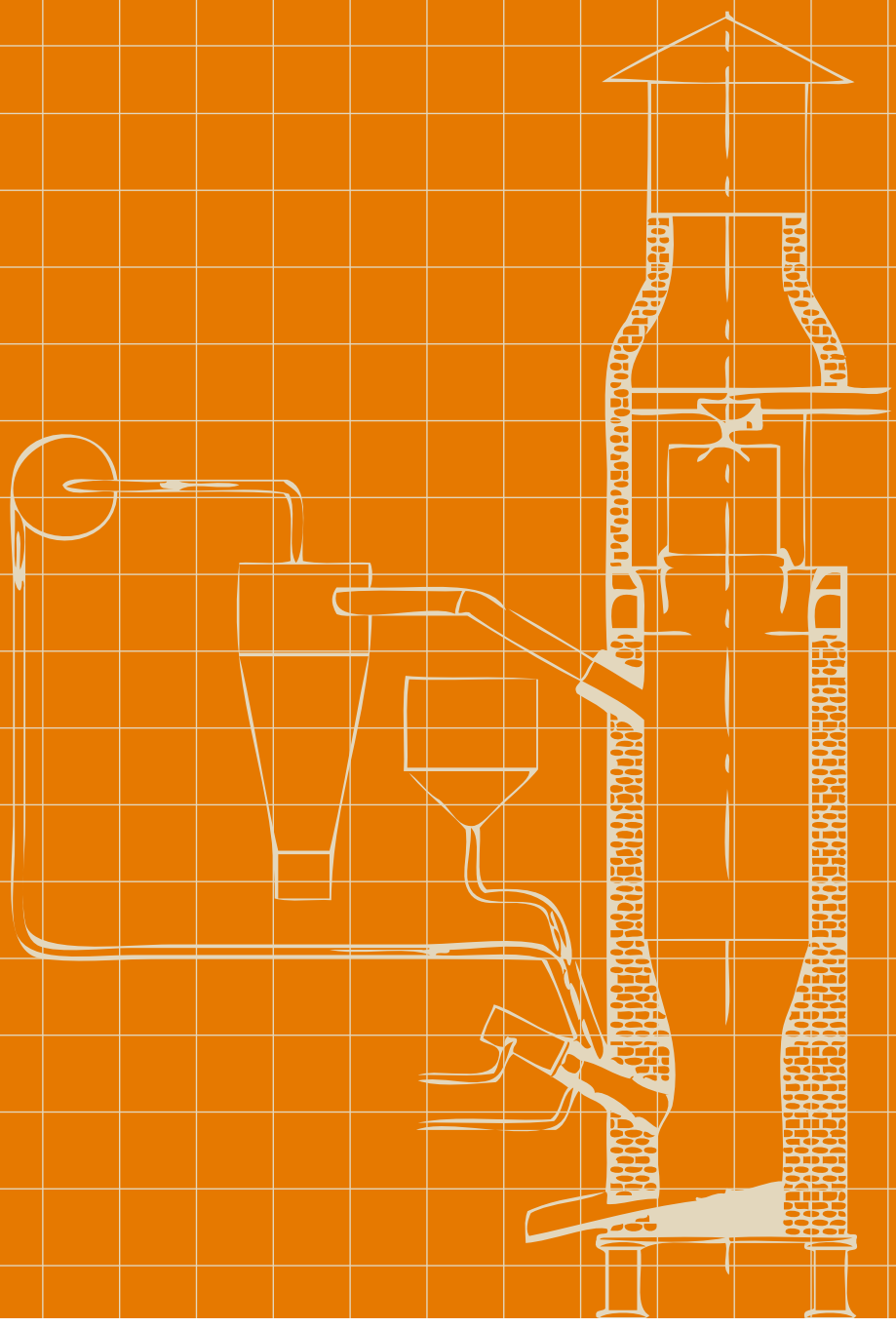
Al Ti 5% B 1% COILS
Refinador de Grãos

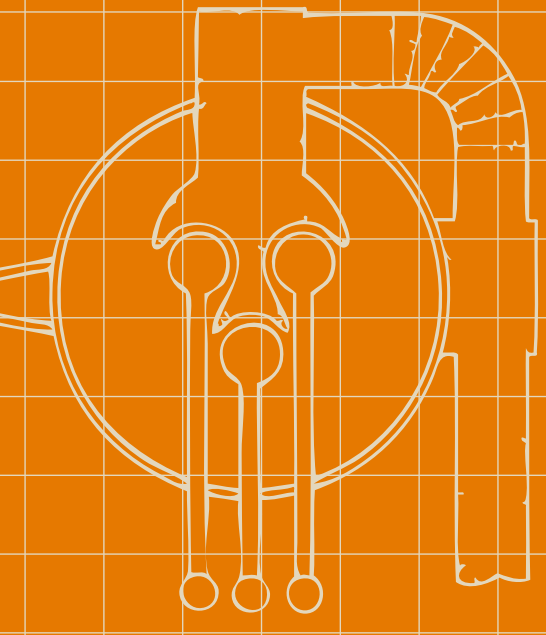
Al Ti 5% B 1% STICKS
Refinador de Grãos

Al Sr 10% CONTIBAR
Modificador de Silício

Al V 10% WAFFLE
Anti-liga p/ adição de Vanádio

procriativo.com





Fevereiro 2015

Edição 177

1 Guias de Referência para a Manutenção Adequada de Fornos de Indução sem Núcleo

Título Original do Artigo: "Guías de Referencia para el Mantenimiento Apropiado del Horno de Inducción sin Núcleo".

Autor: George Harris, da Inductotherm Corp., Rancocas, New Jersey.

Publicado: MODERN CASTING, Fundiexpo 2000.

Reprodução autorizada: AFS – American Foundry Society.

Tradução: Roberto Seabra da Costa – Email: roberto.seabrabr@outlook.com

Esses guias práticos de referência podem ajudar a manter uma operação segura de seu equipamento de fusão e melhorar seu nível de eficiência.

As guias foram desenhadas para tornar mais eficiente a operação do equipamento de espera e fusão por indução, além de maximizar sua vida em serviço, metas valiosas para o programa de manutenção de uma fundição. O objetivo mais importante, contudo, é uma operação segura para os operadores e visitantes. Uma manutenção deficiente, inadequada ou tardia contribui grandemente para acidentes relacionados com os fornos de indução nas fundições.

Esse artigo fornece um guia de manutenção com algumas considerações importantes para manter uma operação de fusão eficiente e segura. Os procedimentos específicos de manutenção podem ser desenvolvidos em aplicações particulares.

ESTRUTURA BÁSICA DO FORNO

Em um forno de indução sem núcleo, a bobina de cobre envolve uma capa de material refratário ao redor de todo o comprimento interno do forno. Em funcionamento, uma poderosa corrente elétrica passando na bobina cria um campo magnético que penetra o refratário e rapidamente funde o material da carga metálica dentro do forno. A bobina de cobre é mantida livre de superaquecimento pela ação da água de resfriamento que circula através dela (Fig. 1).

O forno de indução opera a baixa, média ou alta frequência de 60 a 10.000 ciclos por segundo e oferece às fundições a maior flexibilidade na fusão. Ele pode partir a frio e normalmente é esvaziado completamente, simplificando as trocas de ligas e permitindo parar o forno quando desejado.

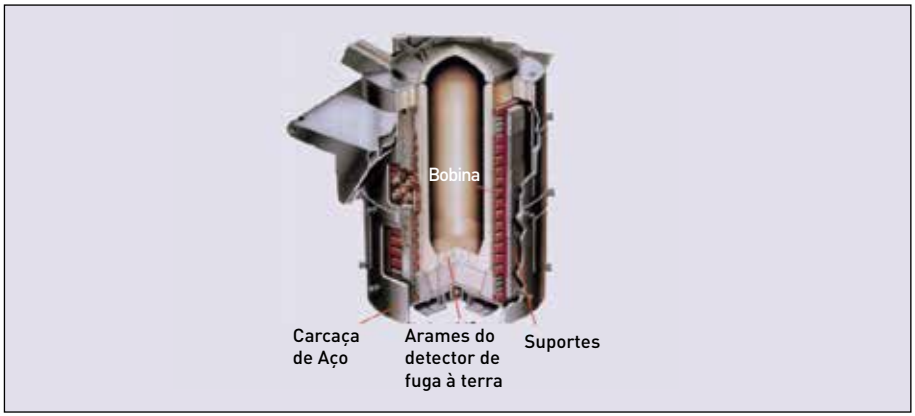


Fig. 1. Esta seção transversal mostra a estrutura básica do forno de indução sem núcleo – a poderosa corrente elétrica que recebe a bobina de cobre cria um campo magnético, o qual atravessa o revestimento refratário para fundir o material da carga dentro do forno. aO fluxo de água através da bobina previne que ela fique superaquecida.

MANUTENÇÃO DA CARCAÇA E DA BOBINA

Nos fornos de indução, se deve dar uma atenção sistemática e programada a uma inspeção geral, limpeza e ajustes, pois podem prevenir falhas no equipamento e perdas de tempo de produção.

Uma limpeza geral ao redor do forno e na área de fusão é importante para manter uma operação segura e confiável do equipamento de fusão. Verificar a limpeza ao redor do forno diariamente. Não permitir que pedaços de escória ou de sucata façam contato com os cabos de transmissão de energia do forno, pois a escória quente ou o material da carga podem causar falhas nesses cabos.

Os suportes e parafusos de fixação deverão ser revisados mensalmente para assegurar que estejam suficientemente apertados.

As bobinas (Fig. 2) deverão ser inspecionadas mensalmente buscando sinais de arqueamento, superaquecimento ou descoloração do isolamento da bobina e inspecionando os suportes de madeira e os blocos dos terminais para assegurar que não estejam carbonizados e / ou calcinados. Retire a escória ou rebarbas de metal que tenham se acumulado dentro da carcaça do forno. O superaquecimento da bobina pode causar a deterioração do isolamento da bobina e causar problemas de terra na bobina ou entre as espiras.

Inspecione todas as conexões de água assegurando que não existam vazamentos e verifique a condutividade da água para assegurar que cumpram as especificações do fabricante. Sem um resfriamento contínuo o forno não poderia operar e qualquer evento que interfira com o resfriamento normal pode acelerar a falha do equipamento ou lesões no pessoal. Portanto, os fornos de indução deverão ter um sistema de resfriamento de apoio, tal qual uma bomba alimentada por uma bateria,

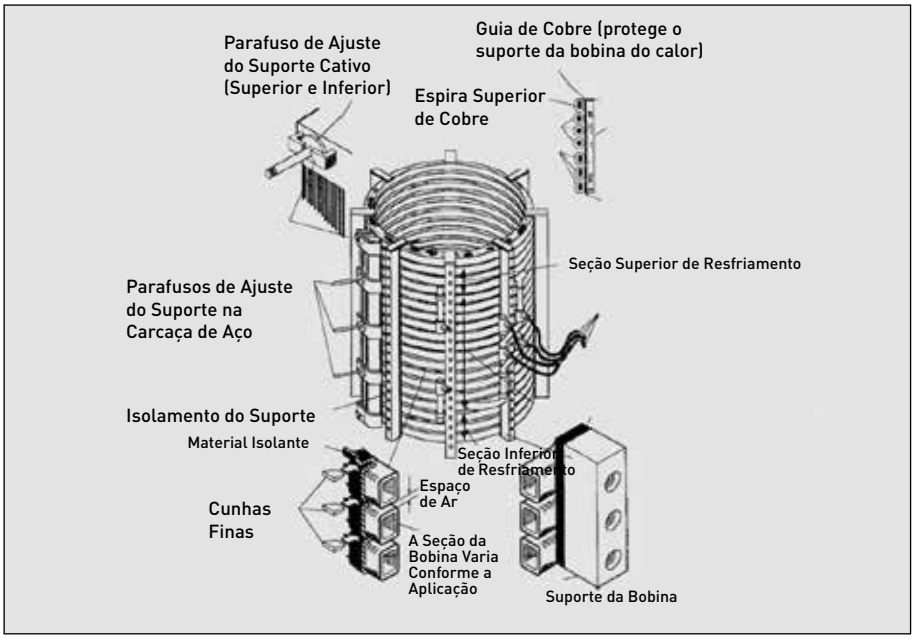


Fig. 2. As bobinas devem ser inspecionadas mensalmente na busca de sinais de arqueamento, superaquecimento e descoloração.

ou um motor de combustão interna, ou uma conexão à rede pública que possa ser conectada se a operação normal da bomba falhar. A operação adequada do sistema de resfriamento de apoio deverá ser revisada regularmente para evitar possíveis danos ao equipamento que poderiam causar uma explosão de metal e água.

Inspeções visuais diárias do sistema hidráulico pelo pessoal da manutenção podem prevenir severas lesões e danos aos equipamentos e instalações. Com os fornos de indução se deve usar fluídos resistentes ao fogo para prevenir esse risco. Qualquer vazamento do sistema hidráulico deve ser corrigido e de deve fazer a limpeza. Existe um perigo iminente, quando o calor, o metal fundido e a chama estão próximos do equipamento hidráulico.

REVESTIMENTO DO FORNO

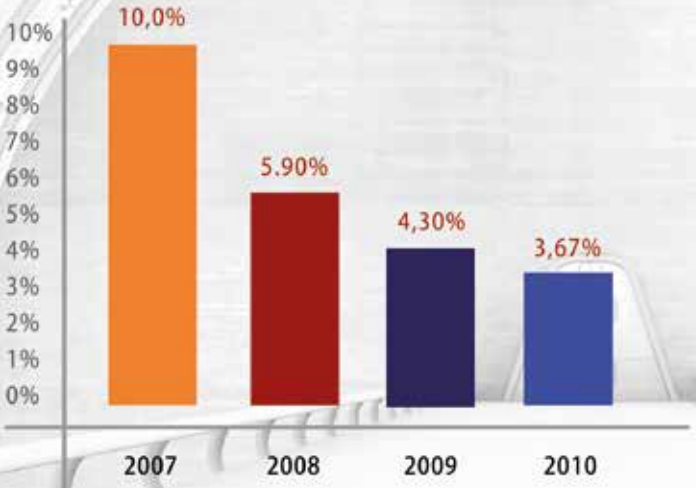
Um revestimento refratário bem instalado e mantido (Figura 3) é importante para a operação segura de qualquer forno. Em fornos de indução, esses pontos são absolutamente críticos.

As características físicas que atuam na indução magnética impõe que o revestimento refratário entre a bobina de indução e o banho de metal seja tão fino quanto possível, ao mesmo tempo em que seja suficientemente espessa para proteger totalmente a bobina e prevenir a penetração de metal fundido, agentes químicos e choques mecânicos.

É preciso garantir que o revestimento do forno permaneça sempre dentro dos limites de parede especificados pelo fabricante. É preciso um manuseio cuidadoso

MAGMA5

SIMPLESMENTE RENTÁVEL



SULZER

Redução do refugo por rechupe após introdução do MAGMA5 na Sulzer Brazil em Julho/2007

Solução completa para alta qualidade e rentabilidade em fundição

- Menor tempo de desenvolvimento do projeto e processo
- Compreensão das causas dos defeitos de fundição
- Redução do refugo
- Aumento do rendimento metálico
- Aumento da produtividade e eficiência do processo
- Integração entre design de produto e processo de fundição

ABIFA
Associado

MAGMA

do revestimento durante toda a operação do forno, assim como um procedimento abrangente de monitoramento e de inspeção. Sem dúvida, uma penetração de metal pertence ao conjunto de acidentes mais graves que podem ocorrer durante as operações de fusão e espera de vazamento do metal.

As penetrações de metal ocorrem quando o metal fundido penetra através do revestimento do forno e se os sistemas de refrigeração, elétricos, hidráulicos ou de controle são danificados, existe um risco iminente de fogo ou de uma explosão de metal / água. A manutenção adequada do forno é a chave para manter a integridade do revestimento e, desta forma, prevenir as penetrações e / ou o derrame do metal.

A integridade do revestimento do forno pode ser comprometida pelos seguintes fatores:

- Instalação inadequada ou incorreta do refratário;
- Falha no monitoramento normal do desgaste do refratário e permitir que o refratário fique muito fino;
- Os efeitos repetitivos e acumulativos das temperaturas excessivas e os choques térmicos;
- A escória e sua aderência nas paredes do refratário.

Qualquer dessas situações pode ocasionar uma penetração de metal. Por isso, uma atenção cuidadosa e uma manutenção adequada do revestimento do forno são vitais para a sua integridade durante a fusão e a manutenção do banho.

Instalação correta: A instalação correta do revestimento é tão importante para uma operação segura como a seleção do material refratário. Se o refratário não é compactado adequadamente durante a instalação pode ser formado um vazio ou áreas de baixa densidade, criando pontos frágeis facilmente atacados pelo metal fundido. Se o cadinho é fabricado com uma fôrma e socado e não está corretamente centrado, ou uma que tenha sido danificada durante a armazenagem ou transporte, a espessura do refratário não será uniforme. Como resultado disso, o revestimento poderia falhar antes do tempo de serviço previsto.

Especialmente crítico é que o procedimento do fornecedor de refratário seja seguido ao pé da letra e nunca acelerado, pois se o tempo de cura do refratário não é suficiente, o revestimento fica mais susceptível de ser atacado pelo metal fundido ou pela escória.

Monitorando o desgaste normal do revestimento: O revestimento refratário e os cadinhos estão sujeitos a um desgaste normal como resultado do descascamento pelo metal das superfícies das paredes. Isso é devido principalmente pela ação da agitação indutiva causada pelo campo de indução eletromagnética do forno (Figura 4).

Na teoria o desgaste do refratário deveria ser uniforme, mas na prática o desgaste é irregular. Os maiores desgastes do refratário ocorrem em três lugares: na interface do metal com a escória, onde se juntam as paredes e o piso e nas áreas menos espessas causadas por um procedimento deficiente de instalação durante o revestimento.

O forno completo deverá ser inspecionado visualmente sempre que é esvaziado. Deve se ter atenção especial nas áreas de maior desgaste descritas anteriormente e as observações devem ser registradas adequadamente.

Ainda quer as inspeções visuais sejam úteis, nem sempre é possível fazê-las. Inspeções visuais adicionais por si mesmas não podem revelar todos os problemas

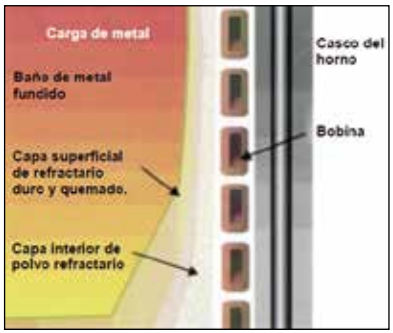


Fig. 3. Esta seção transversal mostra a função do revestimento refratário na fusão por indução, para permitir uma fusão eficiente da carga o refratário está protegendo totalmente a bobina e prevenindo o derrame de metal não controlado.

potencias de desgaste. A presença de uma área de refratário de baixa densidade pode passar despercebida durante a inspeção visual. Essas limitações fazem com que o programa de monitoramente de desgaste do revestimento seja essencial.

As medições diretas do diâmetro interno do forno fornecem excelente informação sobre as condições do revestimento. O mais recomendado é que se deve fazer uma medição depois de cada troca de refratário. As medidas subsequentes poderão mostrar a velocidade precisa do desgaste do revestimento ou o fechamento do mesmo por aderência da escória. A determinação da velocidade com a qual o revestimento sofre erosão torna possível a programação da troca do revestimento antes que o material refratário se desgaste perigosamente.

Nas situações onde as inspeções visuais dos fornos sem núcleo sejam impossíveis (por exemplo, quando são usados como fornos de espera e estejam sempre cheios), os operadores devem permanecer alerta aos seguintes sinais de alarme que são vitais para o desgaste do revestimento:

- Obter a máxima potência em uma voltagem abaixo da normal;
- Em uma fonte de potência de frequência fixa, um incremento no número de capacitores que se deve conectar ao circuito para manter o fator de potência unitário;
- Na unidade de potência de frequência variável, operando a uma frequência mais alta do que a normal.

Esses pontos são úteis, como as mudanças nas características elétricas, mas nunca devem ser utilizados como um substituto para as medidas físicas do refratário. Apesar de todo o sistema usado para monitorar o desgaste do revestimento, ele é essencial e contar com um procedimento padrão. Dados exatos, registrados e impressos auxiliam e asseguram a máxima utilização do forno entre as trocas de revestimento, minimizando o risco de se usar o forno com um revestimento fino.

Choques físicos e tensões mecânicas: Os repentinos e acumulativos efeitos dos choques físicos ou tensões mecânicas também podem conduzir a falhas do revestimento.

A maioria dos refratários tende a ser quebradiços e frágeis quando tensionados. Quando o material da carga muito denso é carregado em um forno vazio, ele pode

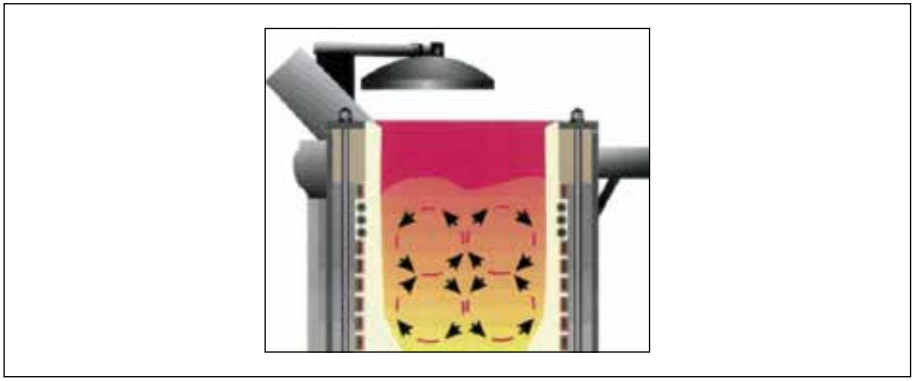


Fig. 4. A agitação indutiva do banho metálico é a causa principal "normal" de desgaste do revestimento, ele é visto mais frequentemente na interface metal / escória, onde as paredes se juntam com o piso e em pontos finos causados por um procedimento de instalação deficiente.

facilmente se chocar fortemente com o refratário por seu impacto. Se a fratura não é vista, o metal fundido pode penetrar, ocasionando um derrame de metal não controlado com a possibilidade de explosão metal / água. Uma opção é o sistema automatizado de carregamento e com controle remoto que é projetado para colocar o material da carga dentro do forno sem danificar seu refratário.

A tensão mecânica causada pela diferença de velocidade de expansão térmica da carga e do material refratário pode ser evitada assegurando-se que o metal não fique preso dentro do forno. Exceto quando feito por razões de segurança (por exemplo, quando se trabalha com uma pontuação de carga), nunca se deve permitir que o banho fique sólido dentro do forno. No caso de uma falha prolongada de energia, uma falha no sistema de resfriamento, outra falha prolongada no forno, o forno deverá ser esvaziado completamente.

Temperatura excessiva / choque térmico: O refratário deverá ser usado somente em aplicações que correspondam às faixas de temperatura especificadas para o produto. As condições reais de aquecimento e de resfriamento do revestimento do forno deverão estar dentro da faixa especificada, pois do contrário o choque térmico poderia danificar a integridade do revestimento. As gretas ou descascamentos podem ser sinais prematuros de um choque térmico excessivo e a possibilidade de derrame do metal.

A melhor maneira de evitar o superaquecimento é monitorar o banho e fazer leituras de temperatura quando a carga está líquida. As temperaturas que excedem a faixa de operação do refratário podem suavizar sua superfície e causar uma rápida erosão conduzindo a uma falha catastrófica. As velocidades das altas temperaturas dos fornos sem núcleo de média frequência ocasionam um rápido superaquecimento. Os medidores de kWh, sistemas de medição do tempo e os sistemas computadorizados podem ajudar a prevenir um superaquecimento acidental.

Quando se trabalha com um forno de espera frio, assegure-se de que seja pré-aquecido antes de enchê-lo com metal fundido. Em caso de fusão do material com carga fria, a redução da velocidade inicial de fusão, até que a carga comece a se fundir, minimiza o risco de choque térmico do forno frio. O aquecimento gradual da carga permite selar as gretas do refratário antes que possam ser penetradas pelo metal

GEVITEC

A UNIÃO DA
TECNOLOGIA E PRODUTIVIDADE

DUBOX-D16

ABIFA
Associado

"Agora com sopro e gasagem proporcionais independentes por mesa"

A Gevitec possui toda a sua LINHA DE FABRICAÇÃO de máquinas CERTIFICADAS nas novas NORMAS NR-12 no quesito de prensas e similares, além de representar no BRASIL e ARGENTINA as empresas LORAMENDI e AURRENAK.

FAZEM PARTE DE NOSSA FABRICAÇÃO:
Sopradoras de moldes e machos | Misturadores | Gaseificadores | Moldadoras Vibratórias | Sistemas de Alimentação de Areia

Loramendi

GEVITEC

AK aurrenak

www.gevitec.com.br

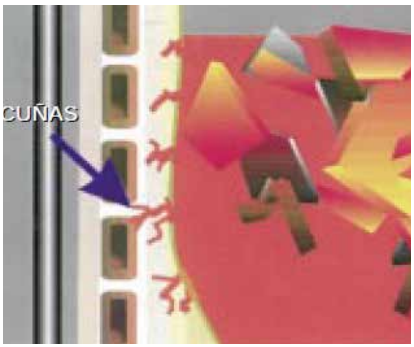


Fig. 5. Uma situação extremamente perigosa que pode ocorrer é se as cunhas de metal fundido penetram o refratário e entram em contato com a bobina. Os sistemas de detecção que têm detectores de fuga à terra no fundo do forno (como mostrado na Figura 1) poderiam aterrar eletricamente o banho do metal fundido.

fundido. Também devem ser seguidas as recomendações do fornecedor de refratário nas práticas de resfriamento do forno, depois de uma campanha de fusão.

Manejo da escória: A escória (que se forma quando o ferro da carga está sujo, oxidado ou com areia, provoca erosão do refratário quando se separa do metal e sobe à parte superior do banho) é um produto inevitável da fusão do metal. As reações químicas entre o metal e a escória aumentam a velocidade com que o refratário sofre erosão.

A escória é um material altamente abrasivo que provoca a erosão do refratário próximo à linha do nível do metal fundido. Em circunstancias extremas, esta erosão pode expor a bobina de indução gerando o risco de uma explosão de metal fundido / água. Os revestimentos refratários nessas condições deverão ser retirados de serviço imediatamente.

DETECTOR DE FUGA À TERRA

O sistema de detecção de fuga à terra é crucial para a segurança durante a fusão e a espera do vazamento. O sistema que inclui um circuito de detecção de fuga à terra associado com a unidade de potência e os arames de teste (aranha) do detector de fuga à terra localizados no forno, fornecem uma proteção importante contra uma descarga elétrica e advertem quando da penetração de metal na direção da bobina (Fig. 5), uma condição altamente perigosa que poderia resultar em uma erupção ou explosão do forno.

A chave dessa proteção em fornos com revestimentos socados ou cadinhos condutores, são os arames de teste (aranha) do detector de fuga à terra instalados no piso do forno (como mostrado na Figura 1). Os arames de teste (aranha) são compostos de um terra elétrico conectado a vários arames que se estendem através do refratário e que fazem contato com o banho metálico ou com o cadinho condutor. O sistema serve para aterrar eletricamente à terra o banho do metal.

Em alguns fornos pequenos com cadinhos não condutores e não removíveis os arames de teste (aranha) do detector de fuga à terra assume a forma de uma

gaiola de arame, localizada entre o cadinho e a bobina. Essa gaiola de arame serve para aterrar o banho se ele penetra através do cadinho.

As duas configurações de arames de teste (aranha) dão proteção aos trabalhadores da área de fusão em caso de descargas elétricas, ao garantir que não haja voltagem potencial no metal fundido. Se o metal fundido tocar a bobina, o arame de teste (aranha) do detector de fuga à terra conduz a corrente da bobina à terra. Um módulo detector de terra detecta o acontecimento e desconecta a potência para deter qualquer arqueamento da bobina. Isso também previne que uma alta voltagem seja conduzida pelo metal do forno ou pela carga do forno. De outra forma, uma alta voltagem poderia causar choques elétricos sérios ou fatais, se o operador estivesse em contato condutivo com o banho.

O circuito eletrônico do circuito detector de fuga à terra monitora continuamente a integridade do sistema. Esse circuito apaga o forno se qualquer fuga à terra inapropriada ou penetração de metal for detectada no sistema de indução. Isso é crucial para a segurança do forno. Se o revestimento refratário do forno ou o cadinho são fraturados ou ocorre qualquer outra falha e uma porção do metal líquido tocar a bobina energizada do forno, a bobina poderia arquear-se e romper-se. Isso poderia permitir que entrasse água no banho de metal líquido, causando uma erupção ou explosão de metal fundido.

Para manter os arames de teste (aranha) do detector de fuga à terra trabalhando adequadamente em um forno com refratário socado, se deve ter cuidado na instalação do revestimento para ter segurança que os arames de teste (aranha) do detector de fuga à terra estejam em contato com a fôrma do revestimento. Também quando se repare o revestimento de um forno, é essencial que os arames do detector de fuga à terra permaneçam expostos permitindo o contato com a carga do forno.

Para se provar a integridade do sistema é necessário que o fundidor tome medições usando um instrumento especial que verifique que o banho do metal esteja aterrado. Nos fornos com revestimento socado e fornos com cadinhos condutores é importante que se verifique frequentemente os arames de teste (aranha) do detector de fuga à terra. Esses arames localizados no fundo do forno podem facilmente ser danificados durante a reparação, ficar cobertos com escória, queimados ou danificados de alguma outra forma. Quando não se fica seguro de que os arames de teste (aranha) do detector de fuga à terra oferecem um contato sólido à terra, poderia acontecer a perda da proteção do operador e do forno, previsto pelo sistema do detector de fuga à terra.

O circuito detector de fuga à terra do sistema de fusão também deve ser revisado ao menos uma vez por dia. Normalmente isso pode ser rapidamente realizado no sistema, simulando-se uma fuga á terra.

Devido às funções de segurança cruciais dos sistemas de detecção de fuga à terra que têm os fornos sem núcleo de espera e fusão por indução, não deverá ser operado sem um sistema de detecção de fuga à terra completamente funcional. (Fornos com o cadinho removível ou certos sistemas de fusão à vazio podem ser operados com segurança sem o sistema de detecção de fuga à terra).

MANUTENÇÃO DO FOSSO DE EMERGÊNCIA

As condições do fosso de emergência deverão ser revisadas no início de cada turno. Não se deve operar o forno sem que o fosso de emergência esteja seco e devidamente mantido (Fig. 6). Localizada abaixo e à frente do forno, esses fossos conterão com segurança qualquer derrame de metal fundido do forno que seja resultado de um acidente, um derrame sem controle ou um esvaziamento de emergência do forno.

Sem um fosso apropriado, o metal derramado poderia fluir através do piso da fundição, pondo em perigo os trabalhadores e danificando os fornos e as estruturas de outros equipamentos. Esse fluxo livre de metal derramado também poderia produzir fogo e explosões devastadoras.

Os fossos de emergência devem ser mantidos livres de detritos e materiais inflamáveis. A cobertura do fosso deve ser mantida livre de escória e outros materiais que poderiam bloquear ou interferir no escoamento do metal. Qualquer derrame menor de metal deverá ser regularmente retirado do fosso para se assegurar que a capacidade do fosso se mantenha. Se o seu fosso de emergência é do tamanho correto, limpo e seco de detritos, então você pode operar seu forno confiante de que caso ocorra uma emergência, pode esvaziar com segurança o metal fundido dentro do fosso de emergência.

LISTA DE VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA NA MANUTENÇÃO

A seguir temos um exemplo da lista de verificação de segurança na manutenção. Isso não abrange todas as situações, mas pode ser usado como ponto de referência na preparação da sua lista para o sistema de indução. Os procedimentos específicos de manutenção devem basear-se nas recomendações de manutenção específicas de seu equipamento e seus fornecedores de refratário.

ADVERTÊNCIA:

Nunca realize qualquer manutenção com o sistema energizado. Mantenha desligado o disjuntor e os interruptores do gabinete. Coloque um cadeado e assegure que a entrada de potência (o interruptor de potência) esteja na posição "off" (desligado) para prevenir a aplicação de energia acidental no sistema. Assegure que os capacitores estejam descarregados e o interruptor de circuito na posição "off" (desligado).

Sempre use os métodos independentes para assegurar que um forno basculado não vá cair, quando se está trabalhando nele ou perto dele. Um tirante estrutural (escora) de capacidade adequada para sustentar a possível queda de um forno, no caso de falha da pressão hidráulica, deverá ser usado quando se trabalhe com o forno basculado.

REVISÃO DE MANUTENÇÃO DIÁRIA

- Revise e corrija qualquer vazamento de água do forno e do sistema de resfriamento da unidade de potência.
- Verifique e assegure que o sistema de resfriamento primário e de emergência dos fornos esteja operando corretamente.
- Revise se há sinais de condensação (limpe com uma flanela sem fiapos).
- Verifique as conexões e a limpeza em geral das conexões do sistema hidráulico.

- Revise a limpeza ao redor do forno: Não permita que a escória e a água toquem os cabos de potência e terminais do forno. A escória quente ou o material da carga podem causar danos aos cabos de potência.
- Verifique a operação do detector de fuga à terra, assegurando que o banho do metal esteja aterrado. Ao não se assegurar que os arames de teste (aranha) do detector de fuga à terra se mantenham em um contato sólido com a terra, isso poderia resultar na perda de uma proteção importante para o operador e o forno. Verifique o detector de fuga à terra da unidade de potência.
- Verifique o refratário do forno quanto a danos mecânicos e térmicos e repare ou substitua, conforme as especificações do fornecedor de refratário. (Verifique toda vez que o forno é esvaziado).
- Verifique que o refratário do forno não esteja com erosão em excesso nas áreas de alto desgaste, tais como a interface metal / escória e onde se juntam as paredes e o piso do forno. Também verifique o acúmulo excessivo de escória ou desperdício. Repare ou substitua, segundo as especificações do fabricante do refratário. (Verifique sempre que o forno é esvaziado).
- Verifique o fosso de emergência para que esteja sempre limpo de detritos, materiais inflamáveis e umidade. Não opere o forno com o fosso de emergência úmido.

REVISÃO DE MANUTENÇÃO MENSAL

Depois de ter retirado as coberturas dos painéis de inspeção do forno:

- Retire as rebarbas de metal ou escória que tenham se acumulado dentro da carcaça ou da caixa.
- Revise para que a bobina não apresente sinais de superaquecimento ou descoloração. O superaquecimento da bobina pode causar a deterioração do seu isolamento e ocasionar problemas entre a bobina à terra ou entre as espiras.
- Revise todas as conexões de água para que não existam vazamentos. Os vazamentos de água da bobina do forno podem causar altas leituras à terra e possíveis danos à bobina.
- Revise todas as mangueiras, cabos de potência e terminais para que não tenham falsos contatos. Reaperte ou repare o que for necessário.
- Limpe todos os cilindros hidráulicos, revise e reaperte as conexões que estejam frouxas.
- Depois de ter colocado as coberturas dos painéis de inspeção do forno:
- Revise todos os filtros hidráulicos e de água. Retire ou substitua o que seja necessário.
- Revise para que o revestimento do forno não apresente sinais de deterioração, gretas e penetração de metal. Repare ou substitua, segundo as especificações do fabricante de refratário.
- Inspecione os cabos de potência do forno para que não apresentem fraturas ou fugas de corrente. Limpe, repare ou substitua os cabos de potência do forno que apresentem sinais de oxidação excessiva, distorções, gretas ou fugas de corrente.
- Retire e substitua as mangueiras que tenham vazamentos ou mostrem sinais de fadiga.
- Antes de colocar em operação a unidade, assegure que todos os materiais de limpeza e solventes inflamáveis tenham sido retirados.
- Reaperte as fixações e parafusos de sustentação, segundo as especificações do fabricante do forno.

2 Tenha Ganhos Através do Lean Manufacturing

Título Original do Artigo: "Make Gains Through Lean Manufacturing".
Autor: Emmanuel Obadinma, da Alloy Casting Industries Ltd., de New Hamburg, Ontário, Canadá; Morteza Zohrabi e Farhad Samsami, da Global Value Expanders (GVEX), de North York, Ontário, Canadá.
Publicado: MODERN CASTING, Junho de 2014, pg. 32-34.
Reprodução autorizada: AFS – American Foundry Society.
Tradução: Roberto Seabra da Costa – Email: roberto.seabrabr@outlook.com

O USO DA IMPLEMENTAÇÃO HOSHIN KANRI COMPENSA.

Os fundidores estão procurando formas de aumento da lucratividade por meio de iniciativas como a melhoria de processos, da manufatura enxuta, do Seis Sigma e da gestão da qualidade / projeto.

Desde os anos 1960, muitas empresas têm utilizado o planejamento Hoshin Kanri, que se concentra em alcançar uma "meta vital de expansão anual", uma meta ambiciosa a longo prazo. O interesse no Hoshin Kanri parece que agora está crescendo em todo o mundo. Como as maiores empresas norte-americanas o utilizam, ele se estenderá para as suas cadeias de suprimentos. É uma das mais poderosas ferramentas de planejamento disponíveis atualmente para as organizações, possibilitando inovações e melhoria contínua.

Este artigo explora a implementação do Hoshin Kanri em uma empresa de fundição.

GERENCIAMENTO POR OBJETIVOS

O processo de Hoshin Kanri se encaixa sob a filosofia de gerenciamento da Gestão da Qualidade Total (GQT). Ele combina atividades com o PDCA (Planejar, Fazer, Verificar e Estudar ou Agir) e os processos da Gestão por Objetivos para alcançar um elevado nível de satisfação e resultados durante seu planejamento e implementação (ver Fig. 1).

Para uma fundição, o primeiro passo foi a implementação da Administração por Objetivos como uma cultura de gestão. Isto foi feito para fornecer aos funcionários a visão e os objetivos da diretoria, que foram criados usando o formato Hoshin Kanri. A relação entre a Gestão por Objetivos e o Hoshin Kanri também foi estabelecida como um objetivo anual. Antes do Hoshin Kanri, os projetos individuais nem sempre eram associados a um objetivo anual.

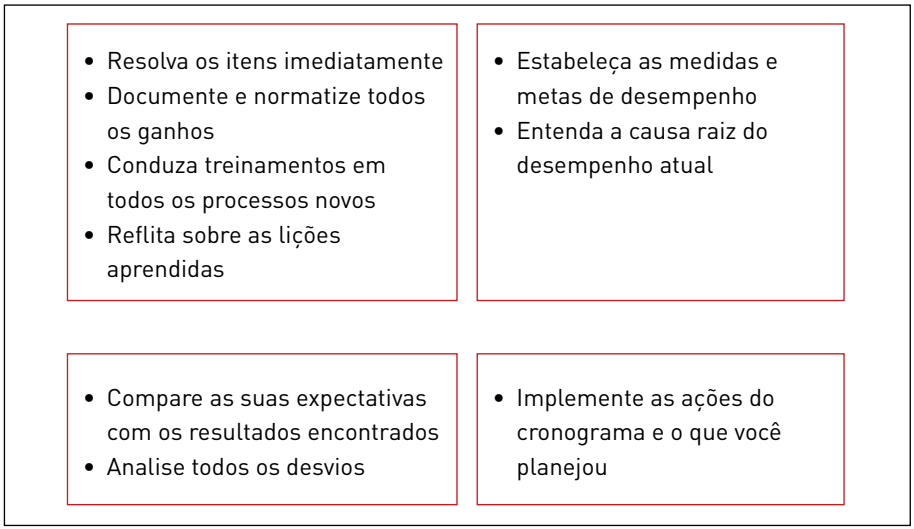


Fig. 1. O Ciclo de Deming foi assim chamado depois de Willian Edwards Deming, um estatístico americano que inventou o planejamento PDCA (Planejar, Fazer, Verificar e Agir).

O Hoshin Kanri é sinônimo do ciclo de planejamento PDCA. Por definição, a Gestão por Objetivos é um processo de concordância sobre os objetivos de uma organização, para que a gerência e os funcionários compreendam quais são e se comprometam com eles. A Gestão por Objetivos é um sistema dinâmico que busca integrar a necessidade da empresa de esclarecer e alcançar as suas metas de lucro e de crescimento, com a necessidade da administração de contribuir e se desenvolver, bem como toda a equipe da organização. É um estilo de gerenciamento exigente e gratificante de administrar um negócio de forma consistente com o ciclo PDCA, bem como com os conceitos básicos do Hoshin Kanri.

A chave para a aprendizagem organizacional é descobrir os problemas e resolvê-los. Na maioria das vezes, as organizações gastam recursos resolvendo os problemas errados, o que conduz a perdas graves. Para ter sucesso no resultado, a resolução de problemas requer planejamento e coordenação, incluindo o monitoramento.

No processo Hoshin Kanri, os dois tipos de atividades organizacionais planejadas são as inovadoras e os fundamentos do negócio. As organizações procuram identificar essas duas atividades para eliminar a ambiguidade durante a implementação. O fundamental é que todas as melhorias ou alterações específicas a serem feitas pela organização deverão contribuir diretamente para os objetivos do negócio. Isto assegura que as estratégias do Hoshin Kanri estão sendo realizadas correta e progressivamente para atingir as metas estratégicas individuais.

Tabela 1. Os Sete Experimentos do Hoshin Kanri		
Grupos do Hoshin Kanri e Execução do Experimento do Hoshin Kanri		
4 Grupos	#	7 Experimentos
Grupo Hoshin	1	Estratégia de Longo Prazo
	2	Estratégia de Médio Prazo
	3	Estratégia Anual
Grupo Tático	4	Táticas
Grupo Operacional	5	Operações
Grupos de Ação	6	Kaikaku (Mudança radical)
	7	Kaizen (Melhoria)

DEFININDO E ALCANÇANDO METAS

O Planejamento Estratégico Hoshin Kanri leva à identificação de algumas "Metas Vitais" da Gestão por Objetivos. Neste caso, o Hoshin Kanri foi introduzido como uma ferramenta do planejamento estratégico anual que usa os objetivos.

O planejamento estratégico inclui geralmente uma consideração sobre as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças (a Análise SWOT). Na maioria das vezes, o plano de negócios da fundição gira em torno de como traduzir fraquezas em oportunidades, através do desenvolvimento de uma estratégia de negócio adequada ao longo prazo. A estratégia dessa empresa envolveu observar o seguinte:

Expansão de Capacidade: Isto quer dizer, tanto a expansão da capacidade das máquinas, quanto à expansão do mercado, procurando expandir o negócio com o uso dos resultados da Análise SWOT.

Tomada de Decisão de Aquisição: Uma expansão necessária foi conseguida através da realização de um estudo de outras fundições e de indústrias relacionadas, e a tomada de decisão de fazer uma aquisição. Esta importante decisão estratégica deve ser analisada corretamente, antes de ser feito o investimento.

Mudança do Mix de Produto: A introdução de um novo produto visa um dado segmento da economia, ou ela pode se dar na forma de mudança para uma linha de produto existente. Esta iniciativa resultou na decisão de se focar nas competências essenciais.

Iniciativas de Economia de Energia: A fundição é uma indústria de consumo intensivo de energia e qualquer esforço para monitorar e controlar o uso de energia trará recompensas financeiras. A adoção de iniciativas de fabricação verde ajudará as fundições a atingir ou até mesmo superar os vários regulamentos ambientais. A implementação bem sucedida de um plano de negócio ambientalmente amigável

Tabela 2. Ciclo Pesquisar, Planejar, Fazer, Verificar ou Estudar e Agir.				
Pesquisar	**Planejar**	**Fazer**	**Verificar**	**Agir**
• Verificar a condição do mercado.	• Desenhar a estratégia de médio prazo. • Desenhar o Hoshin anual. • Alinhar a Organização via consenso.	• Engajar a força de trabalho para executar a estratégia.	• Criar o ambiente do pensamento lean. • O diagnóstico do presidente.	• Institucionalizar o Hoshin Kanri (aplicação do plano) através de um trabalho padronizado, Kaizen (melhoria) e desenvolvimento da liderança.

também vem com alguns benefícios financeiros tangíveis e intangíveis. Esta foi uma das iniciativas que renderam os mais altos ganhos financeiros.

Iniciativas de Melhoria dos Processos e Produtos do Negócio: Os planos de melhoria dos processos e produtos do negócio são práticos e de nível tático, onde projetos de melhoria foram realizados em muitas áreas da empresa.

Estratégia de Suprimentos de Matérias Primas: A maioria das fundições pratica a estratégia de desenvolvimento dos fornecedores de matérias primas e quando ele é estrategicamente planejado, certamente pode render grandes benefícios.

UMA ESTÓRIA DE SUCESSO

O plano de uma empresa para uma fundição parceira tinha oito metas vitais ou estratégias. O método e escopo da implantação foram determinados depois que os programas de implementação foram aceitos e aprovados. O pensamento de causa e efeito e de outras ferramentas foram utilizados ao se estabelecer os programas de implementação.

Um dos objetivos essenciais estava na área de suprimento de matérias primas. O custo do níquel extraído e processado em uma fábrica em Toronto, Canadá, era o mesmo em duas fontes de suprimentos, e ambas tinham grandes quantidades. Um fornecedor entregava por ferrovia de Sudbury, Ontário; e o outro pela ferrovia de Thompson, Manitoba, Canadá.

Caso não se esperasse que os preços da energia aumentassem no futuro próximo, então assinar contratos com um ou outro fornecedor estaria baseado apenas no custo. Por outro lado, caso se esperasse que o preço da energia e, consequentemente, o custo do frete dobrasse de preço, então uma fonte de

abastecimento poderia ser mais atraente e menos arriscada do que a outra. A fundição parceira anteviu um aumento no preço da energia e foi capaz de fixar os termos dos preços e de abastecimento que lhe deram uma vantagem competitiva sobre os seus concorrentes. Ela estabeleceu, aplicou e implementou esta estratégia e conseguiu ganhos financeiros.

DEFINIÇÃO E PRIORIZAÇÃO DE METAS VITAIS

Para reduzir a ambiguidade e erros de interpretação durante a fase de planejamento do Hoshin Kanri, use um processo factual de negociação entre os níveis d organização para chegar a uma solução de consenso.

O planejamento Hoshin começa com a diretoria sênior definindo, identificando e priorizando os objetivos estratégicos a serem alcançados, juntamente com os prazos. Uma vez determinados, esses "desafios" são enviados para as unidades operacionais, que fazem o detalhamento e determinam o que cada unidade e profissional deve fazer para atingir o objetivo da administração. Eles, então, devolvem esse "planejamento mais detalhado" de volta para a gestão sênior, que o analisa e determina se a sua execução será satisfatória. Se não, o planejamento é devolvido novamente às operações, e elas o ajustam até atender em conformidade. Como no exemplo, este processo deve ocorrer sob a supervisão de um consultor experiente.

Uma ferramenta Matriz X desenvolvida para a empresa descrevia o principal fundamento de sua visão sobre o qual suas estratégias, táticas, processos e resultados se apoiavam. É a capacidade de analisar e documentar a correspondente correlação entre as estratégias, táticas e processos que geralmente concretizam os resultados esperados. Esta correlação deve ser analisada e completamente entendida para garantir uma correlação forte ou pelo menos importante, mas nunca uma fraca correlação entre as estratégias, táticas, processos e resultados, ou então todo o projeto de planejamento estratégico irá falhar. Quando se avalia que as correlações são fracas, são tomadas medidas para reverter isso, quando possível. As medidas podem ditar mudanças em uma das outras áreas importantes, tais como uma mudança nas estratégias, táticas ou processos, para renovar as iniciativas e inverter essa fraca correlação. Uma Matriz X ajuda as corporações e outros a atribuírem responsabilidades individuais aos líderes das equipes que foram definidos como responsáveis por toda a equipe Hoshin Kanri.

IMPLEMENTAÇÃO ATRAVÉS DE GRUPO

Tipicamente, um projeto de Hoshin Kanri envolve a criação de um grupo de execução do Hoshin Kanri que é a espinha dorsal para garantir o sucesso de todo projeto. Ocasionalmente, à equipe Hoshin é atribuído o dever de desenvolver estratégias de longo prazo, médio prazo e anuais. A equipe tática lida com as

táticas, a equipe operacional lida com todas as atividades ou projetos operacionais e a equipe de ação lida com a implementação do Kaikaku (a mudança radical) e os projetos Kaizen (de melhoria). A Tabela 1 ilustra o exemplo de implementação do Hoshin Kanri na empresa, com pelo menos quatro equipes com as suas tarefas determinadas.

Outras ferramentas disponíveis para uso durante o planejamento e a implementação do Hoshin Kanri incluem os mapas estratégicos, a análise do mercado, a análise da concorrência, o mapeamento do fluxo de valor e uma série de outros. O ciclo PDCA de melhoria de processo entra repetidamente no desenvolvimento, implementação e revisão do plano.

A Tabela 2 é um roteiro comprovado da execução do Hoshin Kanri que se aplica a todos os níveis de liderança dentro de uma organização.

Durante a implementação do Hoshin Kanri, revise certos temas importantes da organização. Alguns dos usados no exemplo incluem:

- Revise e atualize o propósito da organização (visão e missão).
- Implemente a análise ambiental através da SWOT e a análise política, econômica, social e tecnológica (PEST).
- Estabeleça os imperativos estratégicos.
- Desenvolva estratégias de longo e médio prazo.
- Planeje as táticas (intervenção de seis a 18 meses) para apoiar as estratégias.
- Defina os projetos de melhoria de processos para apoiar as táticas (de seis a 12 meses).
- Revise a correlação entre os diferentes níveis do plano Hoshin (análise de correlação).
- Defina os proprietários para os diferentes níveis do plano.
- Estabeleça os itens de controle e prepare uma lista de itens de controle.
- Implante a política.
- Implante os itens de controle.
- Implemente o plano de política.
- Verifique os resultados da execução em uma base mensal.
- Analise o desvio do plano.
- Comunique-se de forma proativa com os interessados e proprietários de processo.

MONITORANDO O PROGRESSO ATRAVÉS DA MEDIÇÃO E REVISÃO

Uma supervisão rigorosa é necessária em cada fase de um ciclo PDCA de melhoria de processo para a obtenção dos resultados desejados. Correções ou revisões são usualmente implementadas, sempre que qualquer não conformidade é notada. A verificação dos progressos do plano da empresa deve seguir o ciclo PDCA e se aplica a todos os níveis de liderança dentro da organização.

Depois da aplicação nesta empresa do processo de planejamento Hoshin Kanri, foram verificados os resultados da execução em uma base mensal e anual. Os desvios do plano foram analisados e o valor de cada estratégia e certas medidas de desempenho foram debatidos. Tabelas de revisão foram criadas e usadas para comparar os resultados reais versus os resultados esperados e documentadas quaisquer alterações do plano. As tabelas de revisão transformam o plano em um documento vivo.

Tabelas de anormalidade também foram criadas para documentar qualquer ocorrência fora da faixa normal de variação e para facilitar a identificação da causa raiz e a implementação das ações corretivas.

O RESULTADO FINAL

A peça central de qualquer esforço de melhoria do negócio é o planejamento estratégico. Na indústria de fundição, a observação da direção para onde a empresa está se dirigindo e o desenvolvimento de iniciativas estratégicas para atender às suas necessidades futuras identificadas irá beneficiar todas as partes interessadas. No final da implementação de um processo de planejamento Hoshin Kanri, um alinhamento completo das estratégias e iniciativas de toda a companhia será alcançado.

A aplicação do Hoshin Kanri frequentemente requer o comprometimento dos recursos com um foco em atingir os maiores objetivos organizacionais. Vale a pena garantir que as informações levantadas representem o que a empresa quer atingir, e que as informações sejam atualizadas tão rapidamente quanto os novos dados apareçam, usando o processo de consenso entre os níveis.

O treinamento e o coaching devem ser fornecidos às pessoas envolvidas no planejamento, execução e verificação dos resultados, para garantir que cada participante do processo de planejamento estratégico compreenda o seu papel. O Hoshin Kanri pode e deve ser ajustado para atender às necessidades de uma empresa individual. Sua eficácia como um processo de planejamento estratégico pode ser vista no final da execução, em termos de melhoria da receita, geralmente conseguida envolvendo todos os funcionários em todos os níveis da organização.

A SOLUÇÃO PARA O TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES

JATEADORAS:

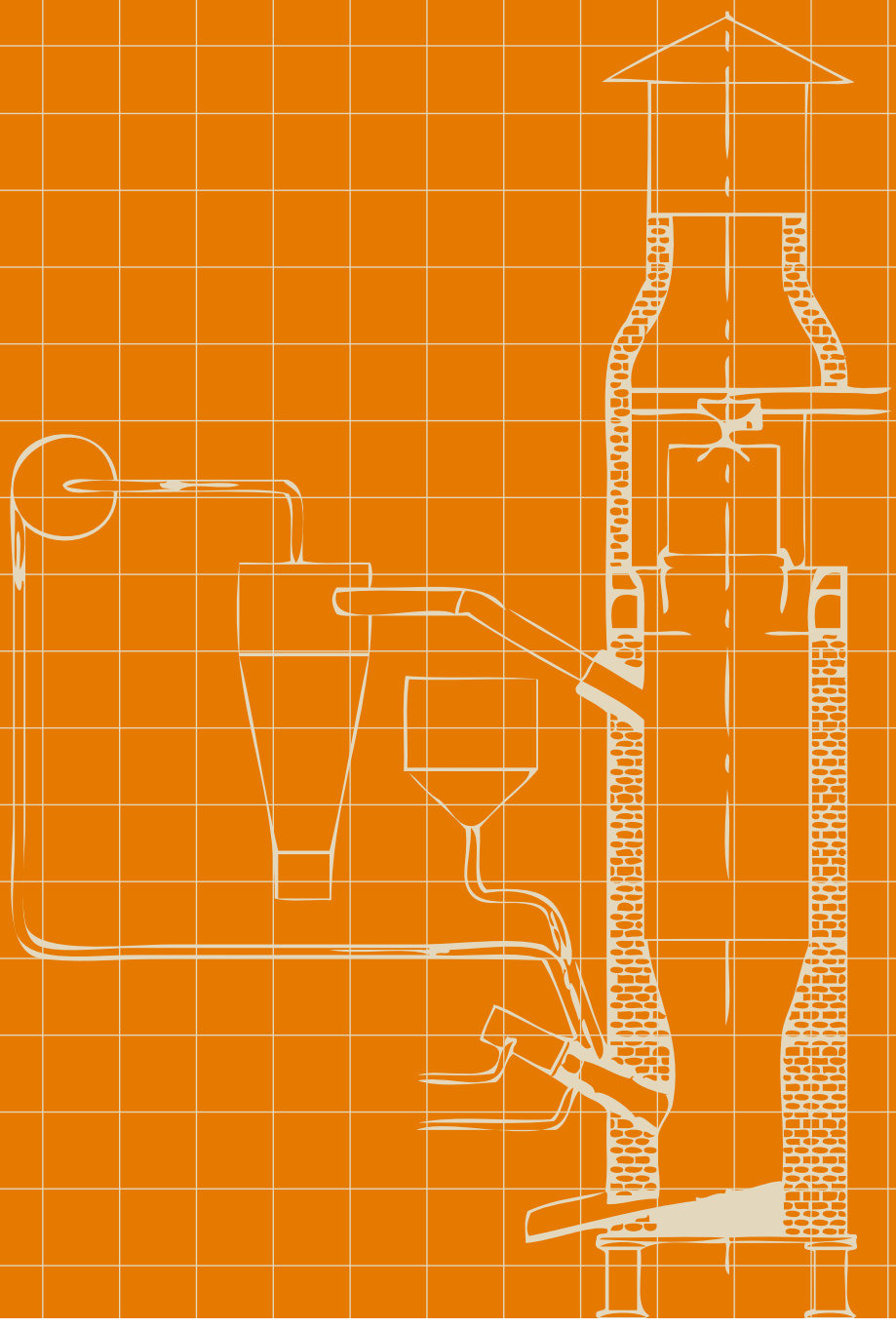
- Prato Simples
- Tamboreamento
- Cargas Suspensas
- Pisos e Superfícies
- Pedras Ornamentais
- Cabines Especiais
- Ar Comprimido
- Projetos Especiais

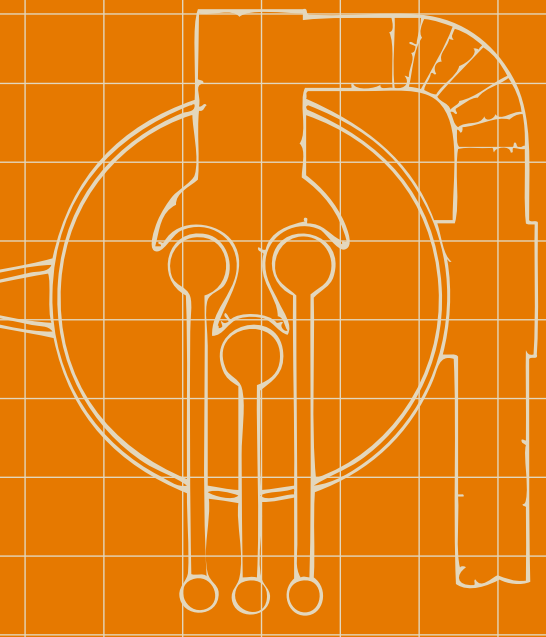
ASPIRAÇÃO:

- Filtros de Mangas
- Filtros Cartucho
- Sistemas de Aspiração

AMB
alju Metal Blasting

AMB FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE JATEAMENTO LTDA.
Av. Santos Dumont, 6547 - Anexo B
Zona Ind. Norte - CEP 89219-731
Joinville - SC - Brasil
Fone: +55 (47) 3034 5517
www.aljumetalblasting.com.br
e-mail: amb@aljumetalblasting.com.br





Abril 2015

Edição 179

1 Causa e Defeitos

Título Original do Artigo: "Cause and Defects".
Autor: Denise Kapel, editora sênior da Modern Casting.
Publicado: MODERN CASTING, Março de 2014, pg. 54-57.
Reprodução autorizada: AFS – American Foundry Society.
Tradução: Roberto Seabra da Costa roberto.seabrabr@outlook.com

DETECTE AS CAUSAS E DETERMINE OS REMÉDIOS DAS FALHAS SUPERFICIAIS COMUNS EM FUNDIDOS EM AREIA.

Existe uma explicação para todo defeito de fundição. Na fundição em areia, falhas na superfície podem indicar propriedades inadequadas do molde, um problema metalúrgico mais profundo ou um erro na forma que foi vazada a peça.

A escolha da areia e dos ligantes, e como eles são misturados e compactados, podem afetar muito a qualidade do fundido. Por exemplo, a areia com pouco conteúdo de material fundente (com resistência à quente muito baixa e baixa resistência à frio) pode produzir inclusões de materiais na superfície do fundido. Canais e massalotes podem representar um desafio na prevenção dos defeitos relacionados com a variação da temperatura. A areia solta no molde é outra causa típica de uma variedade de defeitos superficiais.

Todas as técnicas de moldagem, fusão e vazamento afetam a qualidade dos produtos acabados de metal, qualquer que seja a liga. Planejar com antecedência pode ajudar a prevenir defeitos superficiais, mas métodos impróprios de fusão e vazamento que vão desde temperatura baixa a erros de inoculação ou práticas inadequadas irão prejudicar o melhor projeto. O Guia "Análise dos Defeitos de Fundição", publicado pela Associação Americana de Fundição, oferece esses exemplos: "No ferro cinzento, um alto teor de Enxofre pode resultar em escórias de Sulfeto de Manganês" e defeito de gás; e "ligas de Bronze e Chumbo (Cobre, Estanho e Chumbo) podem apresentar separações em dadas condições de balanceamento imperfeito, por exemplo, o Latão Amarelo (liga de 67% de Cobre e 33% de Zinco)". Algumas ligas produzem drosses ou escórias (impurezas causadas pela oxidação) mais facilmente do que outras, representando um obstáculo para a produção de um fundido limpo.

A seguir está a apresentação dos defeitos comuns de superfícies de fundidos em areia, juntamente com os possíveis remédios:

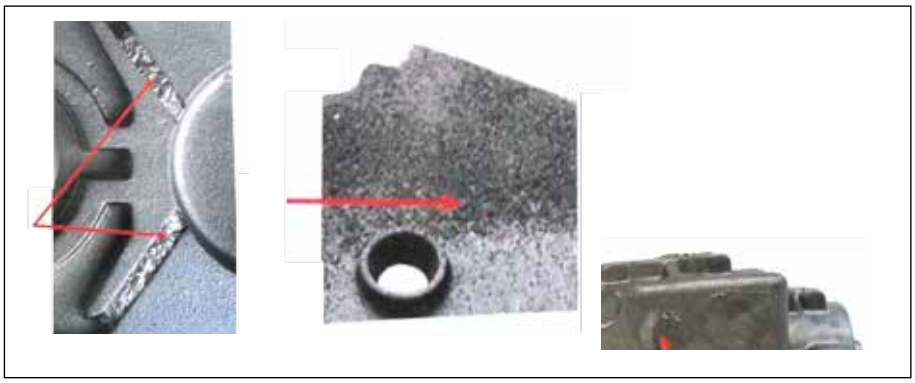
INCLUSÕES

Causas:

- Areia ou escória (em cima) aprisionada na superfície.
- Inclusões de falhas em moldes e desintegração das arestas (embaixo) ocorrem com areia muito frágil ou fraca.

Remédios:

- Areia ou escória (em cima) aprisionada na superfície.
- Inclusões de falhas em moldes e desintegração das arestas (embaixo) ocorrem com areia muito frágil ou fraca.



RUGOSIDADE SUPERFIAL

CAUSAS:

- Tamanho do grão da areia.
- Queima sobre a areia.

REMÉDIOS:

- Use areias mais finas ou aditivos.
- Melhore a compactação do molde.
- Melhore os canais para evitar o superaquecimento local.

EROSÃO E INCHAMENTO

Causas:

- A erosão (em cima) aparece como um engrossamento perto dos canais, muitas vezes combinado com inclusões causadas pela compactação inadequada.
- O inchamento pode ser grandemente atribuído às propriedades da areia. É mostrado (embaixo) um engrossamento de áreas subcompactadas próximas à parede da caixa de moldagem.

Remédios:

- Melhore a distribuição da areia.
- Reduza a compactabilidade da areia.
- Melhore a compactação do macho.
- Se necessário, reduza a saturação do ferro para diminuir a expansão da grafita.

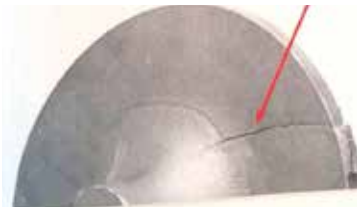
MICRO DEFEITOS

Causas:

- Degeneração da grafita na superfície.
- Um defeito que gera falha no teste de vazamento causado por microchupagem.

Remédios:

- Controle o teor de gases e libere-os; reduza a água na areia ligada com argila.
- A degeneração da grafita na superfície de fundidos de ferro nodular geralmente é ignorada em grandes fundidos com paredes grossas e pode ser removida na usinagem da peça.



VEIAMENTO

Causas:

• Excesso de Nitrogênio.

Remédios:

• Reduza o Nitrogênio no banho e na areia.
• Aumente a temperatura de vazamento.

FUROS DE SOPROS

Causas:

• Volume de gás e pressão; ventilação insuficiente.

Remédios:

• Melhore a ventilação do macho.
• Reduza os gases.
• Acabamento dos machos; secagem dos machos.

BOLHAS DE GÁS (PINHOLES)

Causas:

• Eles são mais comuns em áreas distantes dos canais, eles começam com uma reação na superfície entre o vapor da água e outros elementos.

Remédios:

• Reduza as impurezas e desoxide os banhos metálicos tanto quanto possível.
• Reduza os aditivos.
• Aumente a temperatura de vazamento, reduza a velocidade do fluxo e evite turbulências.

ESCAMAÇÃO

Causas:

• Bentonita de má qualidade, insuficientemente acondicionada e em pouca quantidade; quartzo fino ou proporção de sal muito alta.
• Areia de moldagem muito fina.
• Compactação excessiva ou irregular.
• Areia muito aquecida pelo metal fluindo e exposta por muito tempo ao calor irradiado.

Remédios:

• Melhore ou aumente a bentonita e use areia mais grossa.
• Melhore a qualidade da água.
• Reduza a compactação e assegure uma distribuição uniforme da areia.
• Melhore os canais e / ou procure encurtar os tempos de vazamento.

BOLHAS SUPERFICIAIS

Causas:

- No ferro nodular elas podem indicar excesso de umidade ou fluoreto na areia ligada com argila.

Remédios:

- Reabastecimento de areia.
- Use materiais isolantes.

PENETRAÇÃO

Causas:

- Areia grossa.
- Compactabilidade excessiva.
- Macho ou compactação do molde não uniforme.
- Pontos quentes próximos de um canal

Remédios:

- Adicione areia mais fina, aditivos ou finos para melhorar a textura e a fluidez da areia, e reduza a compactabilidade.

RECURSO ONLINE

As imagens são cortesia da S&B Industrial Minerals N.A. Inc., de Cincinnati, Ohio, EUA. Para mais detalhes sobre cada tipo de defeito veja o "Manual dos Defeitos de Fundição", 3ª edição em http://tinyuri.com/mrbpfbt

TECNOLOGIA NA PREPARAÇÃO DE AREIA DE MOLDAGEM

DESMOLDAGEM

Os Tamborões Desmoldadores Mecaltec são utilizados para a desagregar os moldes provenientes das moldadoras. Também realizam o resfriamento da areia e dos conjuntos metálicos, favorecendo a separação, desagregação dos machos e homogeinização da areia de retorno.

Os Desmoldadores Vibratórios desagregam os moldes através do impacto, podendo ser estacionários ou transportadores.

RECUPERAÇÃO DE AREIA

As Peneiras Mecaltec são construídas para suportar severos regimes de operação. As Rotativas são indicadas para fundições de ligas ferrosas, e as Vibratórias para fundições de não ferrosos.

ABIFA
Associado

MISTURA DE AREIA

Os Misturadores Superintensivos Mecaltec garantem a melhor eficiência de mistura. Os modelos sem resfriamento são utilizados em fundições que já possuem um sistema de resfriamento e os Misturadores-Resfriadores realizam num único equipamento as operações de resfriamento e mistura dispensando o resfriador tradicional.

SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO E CONTROLE

Os Sistemas de Controle de Areia fazem o ajuste automático da compactabilidade e da resistência a compressão, com as seguintes vantagens:

- Funcionamento totalmente automático, com comando pelo operador da máquina de moldar
- Garantia da qualidade de mistura
- Menor consumo de aditivos
- Menor índice de refugo.

MECALTEC
EQUIPAMENTOS ESPECIAIS LTDA.

Av. Santos Dumont, 6547 - Zona Industrial Norte
CEP 89219-731 - Joinville - SC - Brasil
Fone: +55 (47) 3425 9114 - www.mecaltec.ind.br
e-mail: mecaltec@mecaltec.ind.br

2 Entendendo o Calor, Melhore a Casca

Título Original do Artigo: "Understanding the Heat, Improve the Shell".
Autor: Relatório do Staff da Modern Casting.
Publicado: MODERN CASTING, Janeiro de 2011, pg. 39-43.
Reprodução autorizada: AFS – American Foundry Society.
Tradução: Roberto Seabra da Costa roberto.seabrabr@outlook.com

Os pesquisadores esperam melhorar o desempenho da casca da fundição por microfusão através da construção de um banco de dados das suas propriedades térmicas.

Dados confiáveis e realistas das propriedades s térmicas dos moldes de cascas da microfusão podem aumentar a exatidão das simulações de solidificação e previsões de contração. As cascas da fundição de precisão exibem várias transformações de fase durante a queima e o vazamento que podem afetar as suas propriedades térmicas transientes. Estas propriedades dependem do tempo, da temperatura e da história do processo.

Mingzhi Xu, Simon Lekakh e Von Richards, da Universidade de Ciência e Tecnologia do Missouri, em Rolla, Missouri / EUA, estudaram as propriedades térmicas (condutividade térmica e calor específico) de sete moldes cerâmicos produzidos industrialmente. Eles usaram um método inverso, onde o Níquel puro foi vazado em moldes cerâmicos equipados com termopares. O software de simulação foi então usado para simular as curvas virtuais de resfriamento que se assemelhavam com as curvas experimentais, com o ajuste das propriedades térmicas dependentes da temperatura do molde cerâmico. Os dados das propriedades térmicas obtidos com este método foram comparados com os resultados de análises por pulsos de laser, na esperança de que esse conjunto de dados servirá para melhorar a exatidão da simulação da fundição de precisão. O trabalho "Banco de Dados de Propriedades Térmicas para Cascas de Microfusão", ofereceu as suas análises sobre esse estudo.

QUESTÃO

Será que o método inverso (comparação das medições experimentais com a simulação de tentativa e erro) fornece medições mais exatas das propriedades térmicas das cascas de fundição de precisão e ajuda a melhorar a simulação?

1. ANTECEDENTES

Devido à variedade nas composições das cascas, na distribuição do tamanho das partículas e nos parâmetros de processamento, as cascas cerâmicas podem ter de 10 a

RESUMINDO TUDO

Dividindo a última pesquisa de maneira fácil como 1 – 2 – 3:

"Banco de Dados de Propriedades Térmicas para Cascas de Microfusão", Mingzhi Xu, Simon Lekakh e Von Richards, Universidade de Ciência e Tecnologia do Missouri, Rolla, Missouri.

1 - EXPERIÊNCIA:

As propriedades térmicas das cascas de microfusão são transientes e difíceis de serem medidas. Considerando as dificuldades de medição dessas propriedades, os pesquisadores podem usar o método inverso. Com esse enfoque, termopares são fixados na casca do molde, enquanto ele é preenchido por um metal líquido puro com propriedades bem definidas. As propriedades térmicas das cascas são então estimadas pelo processo de simulação de interações múltiplas com a computação dinâmica do fluído (CFD) pela variação da condutividade térmica e capacidade térmica para casar com os dados experimentais de resfriamento.

2 - PROCEDIMENTO:

Sete cascas industriais diferentes foram manufaturadas usando sílica coloidal aquosa ligada com diferentes minerais, conforme listadas na Tabela 1. As amostras foram colocadas em um forno ambiente com uma taxa de aquecimento de 15ºC (27 ºF) / minuto e testadas por pulsos de laser entre 200ºC (392 ºF) e 1.200ºC (2.192 ºF) em intervalos de 200ºC (392 ºF). Três medições de cada tipo de amostra foram feitas e os valores médios foram reportados nos resultados.

3- RESULTADOS E CONCLUSÕES:

O método de análise por pulsos de laser mostrou valores similares àqueles calculados teoricamente, porque a amostra fina usada no método dos pulsos de laser era parcialmente estabilizada termicamente, o que é próximo do equilíbrio térmico. Apesar disso, a casca, na realidade, dificilmente ficava nas condições de equilíbrio térmico, de maneira que o método inverso oferece valores efetivamente mais realistas da capacidade térmica para a modelagem. Os dados das propriedades térmicas medidos com a análise por pulsos de laser poderiam ser usados como pontos de partida no processo automático de otimização, o que reduz a simulação e limita o erro potencial.

30% de porosidade, o que pode proporcionar permeabilidade ao ar, mas também afetam as propriedades mecânicas e térmicas. A história do processamento térmico também influencia as propriedades térmicas de uma casca. Diversas etapas da história térmica estão envolvidas em todo o processo, incluindo a remoção do modelo / remoção da cera (de 176ºF a 572ºF [de 80ºC a 300ºC]); sinterização / queima (de 1.112ºF a 1.832ºF [de 600ºC a 1.000ºC]); o pré-aquecimento (de 1.472ºF a 2.192ºF [de 800ºC a 1.200ºC]); e vazamento (de 2.732ºF a 2.912ºF [de 1.500ºC a 1.600ºC]). O ligante de sílica coloidal, farinha / enchimento e estuque de cerâmica têm estruturas amorfas em uma extensão

	Revestimento primário		Revestimento de enchimento		Revestimento para selar	Temperatura de Queima, °C
	Lama	Estuque	Lama	Estuque	Lama	
Casca #1	Sílica fundida + Zircônio	Sílica fundida	Sílica fundida	Sílica fundida	Sílica fundida	850
Casca #2	Sílica fundida + Zircônio	Zircônio	Sílica fundida	Sílica fundida	Sílica fundida	982
Casca #3	Sílica fundida	Sílica fundida	Sílica fundida	Sílica fundida	Sílica fundida	850
Casca #4	Alumina + Sílica	Alumina + Sílica	Alumina + Sílica	Alumina + Sílica	Alumina + Sílica	850
Casca #5	Alumina	Alumina	Alumina	Alumina	Alumina	850
Casca #6	Sílica fundida + Zircônio	Aluminossilicato	Aluminossilicato + Sílica fundida	Aluminossilicato + Sílica fundida	Aluminossilicato + Sílica fundida	850
Casca #7	Zircônio + Aluminossilicato (1)	Zircônio + Aluminossilicato	Zircônio + Aluminossilicato	Zircônio + Aluminossilicato	Zircônio + Aluminossilicato	850

(1) Processo rápido de formação da casca

Tabela 1. Composição das Cascas Industriais usadas no Estudo

significativa. O grau em que a transformação amorfa para cristalina tem lugar durante as diferentes condições de história térmica afeta as propriedades térmicas finais da casca.

A natureza transiente das propriedades térmicas das cascas de microfusão as torna difíceis de medir usando os métodos clássicos, que exigem condições estáveis. Considerando as dificuldades de medição das propriedades térmicas da estrutura porosa e não uniforme das cascas, os investigadores podem usar o método inverso, que caracteriza as propriedades térmicas da casca durante o processo de fundição. A casca do molde, com um determinado número de termopares, é preenchida com um metal líquido puro com propriedades bem definidas. As propriedades térmicas da casca, em seguida, são estimadas pela execução de várias iterações de simulação computacional da dinâmica dos fluídos (CFD) pela variação da condutividade térmica e a capacidade térmica específica para ajustar as curvas calculadas de resfriamento com as curvas experimentais de resfriamento para a casca e a fundição. Este método inverso pode exigir um grande esforço para alcançar um ajuste aceitável entre as duas curvas.

2. PROCEDIMENTO

A equipe de pesquisa introduziu um método para corrigir a espessura da amostra usada no método dos pulsos de laser para obter dados mais exatos das propriedades térmicas. Depois disso, os dados das propriedades térmicas medidos fisicamente foram aplicados ao método inverso como pontos de partida para reduzir o tempo e os erros induzidos pela extrapolação do algoritmo de otimização. Sete cascas industriais foram avaliadas. Um banco de dados das propriedades térmicas foi desenvolvido para ajudar a aumentar a precisão das simulações de fundição de investimento.

MODELO E CASCA

Um modelo de espuma de poliestireno expansível (EPS) medindo 3 x 3 x 1 pol. (76,2 x 76,2 x 25,4 milímetros) foi ligado a um copo de vazamento. Os modelos foram enviados para várias instalações de fundição para formação das cascas. A remoção do modelo, a queima e a análise das propriedades foram realizadas na Universidade de Ciência e Tecnologia do Missouri. As cascas foram pré-queimadas de acordo com os requisitos de

©2015_www.imagination.it

DENTRO de NÓS, a FORÇA

INSTALAÇÕES PARA FUNDIÇÃO
E EQUIPAMENTOS PARA MACHARIA

- Instalações automáticas e mecanizadas de moldagem em areia verde
- Sopradoras de machos para processos em Cold Box, Hot Box, Shell Moulding, Croning, Inorgânico
- Instalações de preparação de areia para macharia
- Equipamentos de transporte e tratamento de metais
- Máquinas hidráulicas de moldagem
- Sistemas de moldagem em areia química furânica e uretânica - Misturadores
- Equipamentos de jatamento de granalha
- Recuperadores de areia térmico e mecânico para moldagem e macharia

ABIFA
ASSOCIADO

EUROMAC
AMÉRICA LATINA

Euromac América Latina Rodovia do Arroz SC 108, Km 19,7 _ Bairro Serenata _ CEP 89270-000 _ CX 19 _ Guaramirim (SC) _ Brasil
T +55 (47) 3034-0334 _ T +55 (47) 9139-8113 _ comercial@euromacamericalatina.com _ **www.euromac-srl.it**

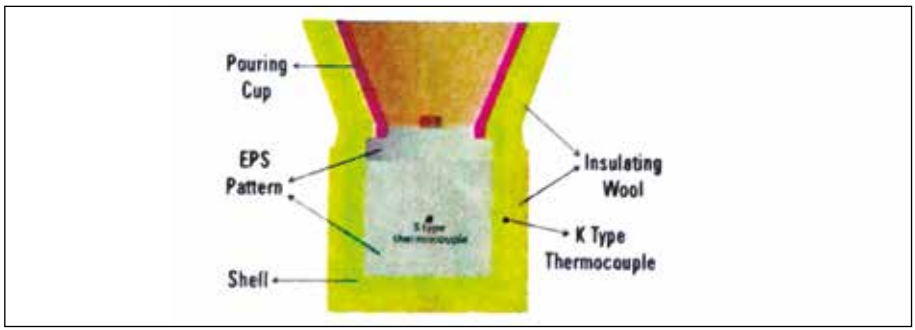


Fig. 1. O layout do arranjo de laboratório onde foram obtidos os resultados experimentais de temperatura.

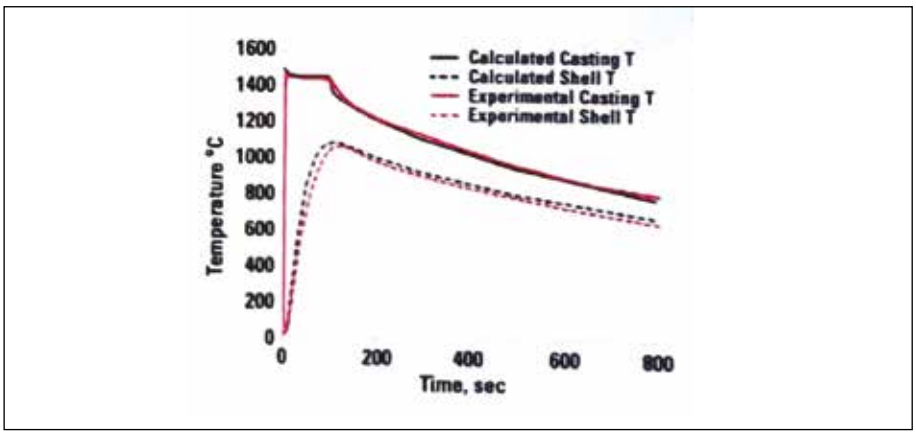


Fig. 2. Os gráficos mostram as curvas de temperatura calculadas pelo método inverso, depois de ajustadas aos valores obtidos experimentalmente.

cada unidade das sete fundições. Sete cascas industriais diferentes foram construídas usando o ligante de sílica coloidal aquosa com diferentes cargas minerais como listadas na Tabela 1.

MELHORIA DO MÉTODO DE ANÁLISE POR PULSOS DE LASER

Em um teste de difusividade térmica por pulsos de laser, uma pequena amostra é submetida a um rápido pulso intenso de laser radiante, após o equilíbrio térmico à temperatura de interesse do ensaio. As dimensões típicas do disco da amostra eram de 0,5 x 0,5 x 0,07 pol. (12,7 x 12,7 x 2 mm). A energia do pulso é absorvida pela superfície frontal e a temperatura da face posterior é registrada.

As amostras foram colocadas em um forno ambiente com 27°F (15°C) / minuto de taxa de aquecimento e testados com pulsos de laser a partir de 392°F (200°C) até 2.192°F (1.200°C) em intervalos de 392°F (200°C). Três medições de cada tipo de amostra foram realizadas e os valores médios foram registrados nos resultados.

	Densidade aparente, g/cm³	Densidade teórica, g/cm³	Porosidade aberta, %	Porosidade fechada, %	Porosidade total, %
Casca #1	1,64	2,41	21,7	10,0	31,7
Casca #2	1,53	-	25,7	-	-
Casca #3	1,63	2,42	23,0	9,9	32,9
Casca #4	1,93	2,90	23,8	9,7	33,5
Casca #5	2,24	3,30	21,0	11,1	32,1
Casca #6	1,98	3,18	26,1	11,6	37,7
Casca #7	1,96	3,26	26,7	13,1	39,8

Tabela 2. Densidades e Porosidades das Cascas Industriais usadas nesse Estudo

MÉTODO INVERSO: CONFIGURAÇÃO E SIMULAÇÃO

Após a queima, um termopar (protegido por uma bainha de quartzo de 0,08 pol. (2 mm) de diâmetro externo), foi instalado no centro da cavidade do molde, e o outro termopar foi enterrado a 0,04 pol. (1 mm) abaixo da superfície da casca. As cascas foram então totalmente revestidas com 0,5 pol. (12,7 mm) de espessura de material isolante para isolar termicamente a casca e limitar a influência do resfriamento do meio externo. A casca, em seguida, era preenchida com 99,5% de Níquel a uma temperatura de vazamento inicial de 2.768ºF (1.520ºC). As curvas de temperatura foram realizadas com um sistema de aquisição de dados de 24 bits.

A modelagem inversa CFD foi feita usando o módulo de otimização do software de simulação. Inicialmente, uma simulação de base foi concluída para representar as condições reais de fundição usando as propriedades iniciais. O processamento das informações para a casca inicial e as temperaturas de metal líquido, o tempo de vazamento e as localizações da proteção isolante foram usados na definição de simulação (Fig. 1). O conjunto de dados de níquel foi criado a partir dos dados de níquel puro conhecidos. Inicialmente, o conjunto de dados de propriedade medida pelo flash de laser foi usado como um ponto de partida. Um conjunto de dados de lã de isolamento foi obtido a partir de dados termofísicos disponíveis na folha de dados do produto. O coeficiente de transferência de calor (HTC) assumido entre o fundido e a casca foi de 3.500 W / m2K (HTC1) e entre a casca e a lã de isolamento foi de 1.000 W / m2K (HTC2).

A meta do método inverso era ajustar as curvas de temperatura simuladas por computador com as curvas de temperatura medidas experimentalmente. O setup inicial de simulação foi a linha de base para a curva a ser comparada com as curvas de temperatura obtidas com os fundidos experimentais. A Figura 2 mostra um exemplo do bom ajuste entre as curvas de temperatura calculadas e as experimentais depois de centenas de simulações.

Os calores específicos e condutividades térmicas das cascas e material isolante, e o coeficiente de transferência de calor externo (HTC3) foram os principais parâmetros que influenciaram as curvas de temperatura dos fundidos e das cascas. As modelagens

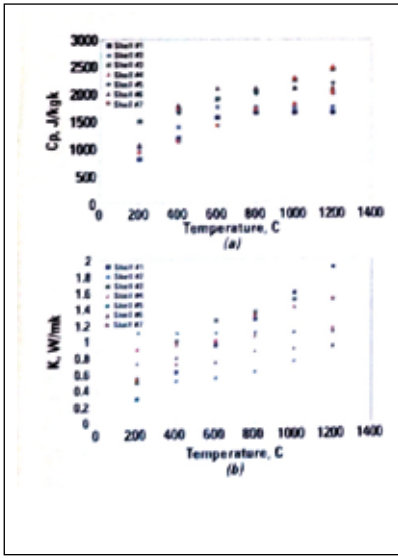


Fig. 3. Os gráficos comparam os valores teóricos e os resultados do método inverso para a condutividade térmica.

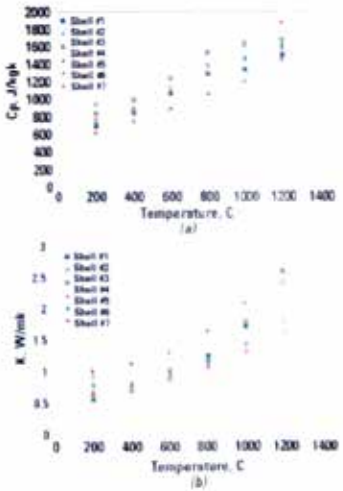


Fig. 4. Os gráficos mostram os valores de (a) calor específico e (b) condutividade térmica determinados pelo método dos pulsos de laser.

preliminares mostraram que o tempo de solidificação e as coordenadas do ponto em que a casca atingia a temperatura mais alta eram influenciados principalmente pelo calor específico e a condutividade térmica da casca.

DENSIDADE E POROSIDADE

Para avaliar a densidade e porosidade da casca, pedaços da casca foram examinados. A densidade aparente e porosidade aberta foram medidas. Além disso, uma amostra da casca foi esmagada na granulometria de 100 mesh para se obter a densidade teórica. O volume total de poros e a porosidade fechada foram, em seguida, calculados.

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Durante o projeto, a equipe de pesquisa usou o método do pulso de laser para diminuir as discrepâncias devido à porosidade aberta através da determinação da espessura efetiva da amostra com a ajuda de um perfilômetro óptico em 3-D. O método inverso foi utilizado para gerar um banco de dados de propriedades térmicas para as cascas de fundição por microfusão. Usando uma combinação de análise por pulso de laser e os métodos inversos, os pesquisadores puderam determinar com exatidão as propriedades térmicas para os sete sistemas de cascas industriais.

A Tabela 2 apresenta as densidades e porosidades das sete cascas industriais após a pré-queima a 1.562ºF (850ºC) durante uma hora. As cascas à base de sílica (1 e 3) são menos densos em comparação com as cascas à base de aluminossilicato (4 e 6). A

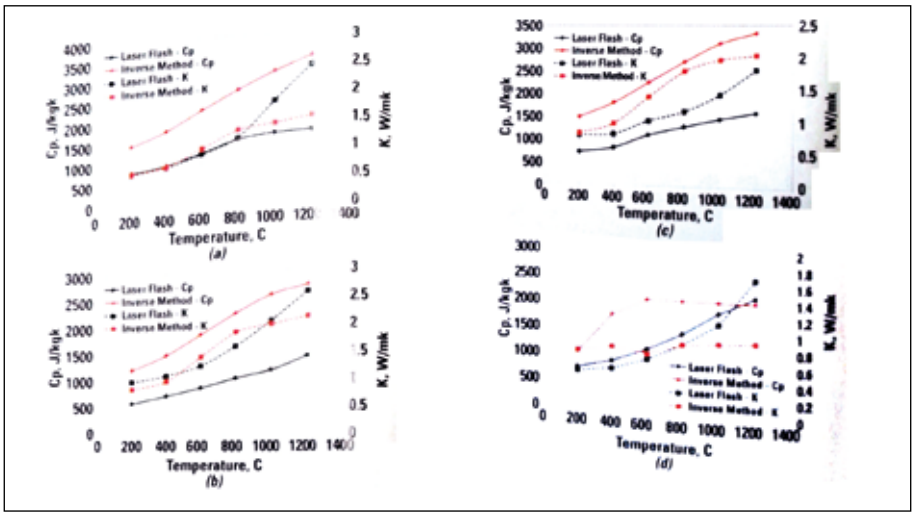


Fig. 5. Os gráficos mostram a comparação dos valores determinados pelo método inverso e o método melhorado dos pulsos de laser, para as cascas 3 (a), 4 (b), 5 (c) e 6 (d).

casca à base de alumina (5) teve a maior densidade. A porosidade total em sua maioria dependia do processo de construção das cascas (tamanho das partículas, viscosidade da lama, etc.), mas a casca 7, feita por um processo rápido de formação, tinha uma porosidade perto de 40%.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DO MÉTODO INVERSO

A Figura 3 mostra os dados de calor específico e de condutividade térmica estimados pelo método inverso. Os calores específicos são dependentes da temperatura e em todas as cascas teve uma tendência semelhante, mas os valores médios e máximos dependiam principalmente da fase dos materiais de partida e as reações do processamento térmico, que não eram facilmente previsíveis.

As cascas de microfusão, onde a sílica coloidal foi usada como um ligante na maioria dos casos, e foi usada uma quantidade significativa de sílica fundida como farinha e estuque, muito frequentemente mostram uma condutividade térmica aumentada em temperaturas mais elevadas.

A porosidade teve uma influência significativa na condutividade térmica. Entre as duas casacas de aluminossilicato (4 e 6), a número 6 teve a maior porosidade total (37,65%) e exibiu os menores valores de condutividade térmica em toda a gama de temperatura medida.

Outro bom exemplo é a fraca dependência da condutividade com a temperatura na casca à base de alumina (5). Uma vez que a radiação dos fótons na alumina não é significativa até 1.832ºF (1.000ºC), esta radiação compensa o espalhamento dos fótons pela alumina e os efeitos da porosidade e, consequentemente, a condutividade térmica não mudou muito ao longo do intervalo de temperatura elevada.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS ANÁLISES COM PULSO DE LASER

Os valores de condutividade térmica e de calor específico medidos com os pulsos de laser estão listados na Fig. 4. A casca número 7 (técnica de formação rápida) ficou altamente porosa e se partiu quando da preparação da amostra do pulso de laser. As densidades efetivas calculadas a partir das amostras da topografia da superfície das amostras foram utilizadas para calcular esses valores. O pulso de laser mostrou uma tendência semelhante à do método inverso em ambos os valores de condutividade e de calor específico.

COMPARANDO O MÉTODO INVERSO, O PULSO DE LASER E OS VALORES TEÓRICOS

Os valores de condutividade térmica ficaram bastante próximos no método inverso e no pulso de laser. No entanto, o método inverso apresentou maiores valores de calor específico. No método inverso, a casca era aquecida rapidamente quando o metal era vazado e se resfriava a uma velocidade relativamente mais lenta durante a solidificação.

O método de pulso de laser mostrou reação total de entalpia semelhante (isto é, potencial termodinâmico definido) para os valores calculados teoricamente, porque a amostra fina usada no método do pulso de laser estava sob uma condição parcialmente estabilizada termicamente, que estava mais próxima do equilíbrio térmico. No entanto, a casca, na realidade, dificilmente ficava na condição de equilíbrio térmico. Portanto, o método inverso, proporcionou valores mais realistas e eficazes de calor específico para a modelagem. No entanto, os dados das propriedades térmicas medidas pelos pulsos de laser podem ser usados como pontos de partida para o processo de otimização automática, o que reduz grandemente o número de casos de simulação necessários e diminui o erro potencial nos passos das interações da estimativa.

As condutividades térmicas teóricas das cascas 1 e 3 com sílica pura com 33% de porosidade são mostradas na Fig. 5. As cascas medidas e os valores teóricos de condutividade térmica foram semelhantes nas temperaturas mais baixas (←752°F [←400°C]), mas mostraram valores maiores de condutividade térmica em uma temperatura mais elevada.

Este artigo foi baseado em um trabalho (14-023), que foi apresentado no Congresso de Fundição da AFS de 2014.

@ RECURSO ONLINE

Leia todo o trabalho de pesquisa original em: www.moderncasting.com

Desde 1993

SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE CERTIFICADO

"Devemos somente querer e acreditar...

... assim teremos o desejado êxito".

(Ferdinandi Graf Von Zeppelin 1838 - 1917)

Modelos e Moldes . Coquilhas . Placas Shell Molding

Caixas de Macho Hot / Cold Box . Dispositivos Matrizes e Gabaritos

Acessórios de Alumínio para Gradis

PROTOtech
Seu projeto na linha de montagem
Prototipagem Rápida

UNIVERSAL
solutionisourbusiness

Tel.: +55 . 11 . 2217-7800 / Fax: 2749-4622

Av. Osvaldo Valle Cordeiro, 1152 / 1220 - Vila Matilde - São Paulo - SP - Brasil - CEP. 03584-000

www.modelacao-universal.com.br | universal@modelacao-universal.com.br

3

Fundição por Microfusão de Compósitos de Matriz Metálica

Título Original do Artigo: "Investment Casting Metal Matrix Composites".
Autores: Paul Mikkola, aposentado, da Hitchner Manufacturing, de Milford, New Hampshire, EUA e Bruce Willson, da O´Fallon Casting, de O´Fallon, Missouri, EUA.
Publicado: MODERN CASTING, Janeiro de 2015, pg. 29-33.
Reprodução autorizada: AFS – American Foundry Society.
Tradução: Roberto Seabra da Costa roberto.seabrabr@outlook.com

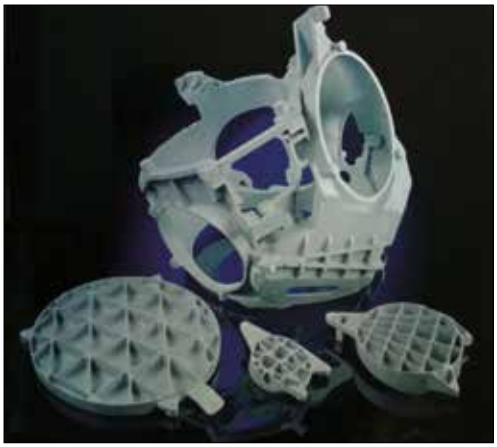
Esse conjunto de carcaça e espelho foi fundido em MMC (Compósito de Matriz Metálica) para um telescópio óptico leve de reflexão.

A carcaça foi fundida em 20% MMC e mede 43,2 x 40,6 x 35,6 cm com uma espessura de parede na base de 0,2 cm. Os três espelhos foram fundidos em 30% MMC e depois usinados, galvanizados, polidos e montados na carcaça para formar o telescópio.

O reforço com partículas de Carbeto de Silício dos compósitos de matriz metálica (MMC) da liga de alumínio melhora esse material leve com os atributos das propriedades mecânicas melhoradas em rigidez, amortecimento de vibrações, resistência ao desgaste, alta condutividade térmica e baixo coeficiente de expansão térmica. Com o seu conjunto único de propriedades, o MMC tem sido empregado em diversas aplicações, tais como estruturas em movimento de equipamentos de alta velocidade para a manufatura, rotores de freio para veículos, dissipadores de calor para eletrônicos e carcaças e espelhos para a óptica.

Nos anos 1980 e 1990, as formas dos fundidos de lingotes de MMC foram pensadas para ser uma importante tecnologia que permite a fabricação de componentes de MMC em metal. Esta percepção levou ao desenvolvimento de processos de fundição e técnicas especializadas para superar a tendência natural das partículas de Carbeto de Silício de se juntarem ou precipitarem a partir da matriz de alumínio. A abrasividade inerente das partículas de Carbeto de Silício na liga também deu ao MMC uma reputação, talvez injusta, de ser difícil e caro de usinar. Por inúmeras razões, um amplo mercado para os fundidos e outras formas de processos não se desenvolveram, e por isso, apesar de seus muitos atributos, o MMC continua sendo uma opção de material subutilizada.

Tal como acontece com outros materiais que são difíceis de usinar, a capacidade de fundição próxima da forma final da peça acabada da fundição de precisão é um contrapeso eficaz para ajudar a atenuar o custo de usinagem do MMC de alumínio. Com projetos eficazes de fundição, esta capacidade, combinada com os refinamentos



Esse conjunto de carcaça e espelho foi fundido em MMC (Compósito de Matriz Metálica) para um telescópio óptico leve de reflexão.
A carcaça foi fundida em 20% MMC e mede 43,2 x 40,6 x 35,6 cm com uma espessura de parede na base de 0,2 cm. Os três espelhos foram fundidos em 30% MMC e depois usinados, galvanizados, polidos e montados na carcaça para formar o telescópio.

na liga e na usinagem secundária, tornam a fundição por microfusão da liga de Alumínio fundido / partículas de Carbeto de Silício em uma opção viável e acessível para os engenheiros incorporarem formas de MMC leves em seus produtos.

FUNDIDOS DE COMPÓSITOS DE MATRIZ METÁLICA

Apesar das crescentes atividades de desenvolvimento terem levado a soluções dos sistemas utilizando os compósitos de metal, o uso de sistemas especialmente inovadores, em particular, na área dos metais leves, ainda não foi realizado. A razão para isso são as insuficientes estabilidade e confiabilidade do processo. Combinadas com os problemas de produção e de processamento, isso resulta em uma eficiência econômica inadequada. As áreas de aplicação são conservadoras e orientadas pelos custos. Muitas vezes, a indústria não está disposta a enfrentar custos adicionais para o uso desses materiais. Por todas estas razões, os compósitos de matriz metálica estão apenas no início de sua curva de evolução dos materiais modernos. Na medida em que as aplicações leves, rígidas e de resistência ao desgaste se tornem de maior valor para o transporte e outras indústrias, os usos de mais alto volume irão evoluir; como os exemplos de rotores de freio, pistões e garfos de acionamento.

A metalurgia de fusão e vazamento na produção do MMC atualmente é de importância técnica maior do que o uso do material compósito do metal em pó. A fundição é mais econômica e tem a vantagem de ser capaz de usar processos bem

Fig. 1. MMC 30, sem ataque químico (50x).

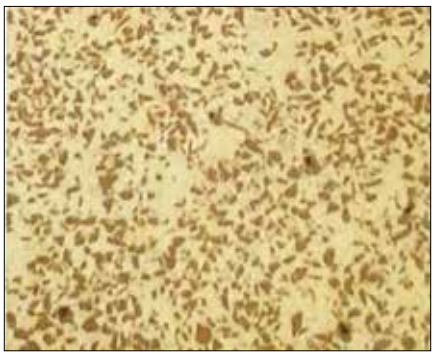


Fig. 2. MMC 30, sem ataque químico (100x).

comprovados, tais como a fundição por microfusão. A fundição também oferece ao engenheiro maior liberdade do que outros processos.

Um objetivo do desenvolvimento dos materiais leves de compósitos de metal pode ser o aumento do módulo de elasticidade (módulo de Young). Utilizando a regra universalmente aceita das misturas linear e inversa, este aumento potencial pode ser estimado por meio dos casos de fronteira bem conhecidos que se aplicam apenas a certos alinhamentos geométricos dos componentes dos materiais compósitos. Na medida em que a percentagem de SiCp aumenta, o módulo se move linearmente na direção do módulo de SiCp, afastando-se do módulo da liga de alumínio. Esta reação é semelhante à de outras propriedades, tais como a condutividade e a expansão térmica.

Os fundidos de MMC na liga de Alumínio / Carbeto de Silício podem ser produzidos na concentração de 20%, 30% e 40% de Carbeto de Silício, em volume e que podem sofrer tratamento térmico e são normalmente tratados pelo processo T77P.

Isso permite que os engenheiros projetem componentes para os seus desejados ambientes operacionais. Por exemplo, a propriedade de resistência ao desgaste pode ser entendida facilmente porque as ligas de alumínio são relativamente macias, em comparação com as duras partículas de Carbeto, melhorando as propriedades de desgaste com aumento das partículas de Carbeto de Silício (SiCp). A ligação entre as partículas de SiCp e a matriz de Alumínio é uma consideração importante. A aquisição de matérias primas em lingote pré-ligados com a porcentagem de reforço desejada e a ligação metalúrgica entre o metal original e as partículas é recomendada. A liga de base do MMC atualmente produzida é o Alumínio 359, a qual pode ser tratada termicamente para as aplicações específicas. Além disso, o tamanho das partículas de SiCp pode ser variado por se ter maior liberdade de projeto (Figuras de 1 a 7).

As Figuras 1 a 6 mostram as metalografias de um MMC F500 ampliadas em

Fig. 3. MMC 30, sem ataque químico (500x).

Fig. 4. MMC 30, com ataque químico (50x).

50x / 100x / 500x nas condições de com e sem ataque químico (A concentração em volume é de 28% e F500 se refere ao tamanho das partículas de Carbeto de Silício). As micrografias mostram a distribuição uniforme das partículas de Carbeto de Silício (marrom) e a matriz de Alumínio (marrom amarelado). Também são mostrados vazios intermitentes interdendríticos (o preto representa as cavidades de contração).

Apesar do alongamento e da tenacidade à fratura diminuírem com o SiCp no MMC, os valores muitas vezes são melhores do que os outros métodos alternativos para atingir as propriedades térmicas e de rigidez. Isto ocorre porque quanto maiores os teores de partículas fundidos, o material assumirá cada vez mais um caráter cerâmico com uma menor vida à fadiga e falha por fragilidade, sem a deformação plástica.

A fluidez das ligas de Alumínio MMC diminui na medida em que a concentração de SiCp aumenta e a dificuldade de fundir com sucesso as concentrações mais elevadas de SiCp aumenta. A tendência da liga de Alumínio MMC para formar porosidade por contração e gases se torna também uma maior preocupação com a alta densidade do SiCp. É essencial minimizar a turbulência dentro do banho fundido e durante o enchimento do molde. A prensagem isostática a quente é algumas vezes necessária nos MMC de maior percentual de SiCp, para eliminar os vazios subsuperficiais de gás.

O reforço de metais pode ter muitos objetivos diferentes e abre a possibilidade de aplicação destes materiais em áreas onde a redução do peso é a máxima prioridade. A precondição aqui é a melhoria das propriedades do componente. Os objetivos para os materiais compósitos de matriz metálica leves são:

- Aumento da resistência ao escoamento e da resistência à tração, à temperatura ambiente e acima, enquanto se mantém a ductilidade mínima ou a tenacidade do componente.
- Aumento da resistência à fluência em temperaturas mais altas em compara-

ção com as ligas convencionais.

- Aumento da resistência à fadiga, especialmente em temperaturas mais elevadas.
- Melhoria da resistência ao choque térmico.
- Melhoria da resistência à corrosão.
- Aumento do módulo de Young.
- Redução do alongamento térmico e da condutividade térmica de engenharia.

O REFORÇO DOS METAIS PODE TER MUITOS OBJETIVOS DIFERENTES E ABRE A POSSIBILIDADE DE APLICAÇÃO DESTES MATERIAIS EM ÁREAS ONDE A REDUÇÃO DE PESO É A MÁXIMA PRIORIDADE.

CONSIDERAÇÕES DE PROJETO SOBRE A FUNDIÇÃO POR MICROFUSÃO

Assim como nas outras ligas duras, como inconel ou mesmo o aço inoxidável, a usinagem secundária de peças fundidas de MMC é uma consideração de custo significativa. A vantagem de fundir a peça quase na forma final e a maior liberdade de projeto que é inerente ao processo de microfusão proporcionam oportunidades para reduzir significativamente ou eliminar a usinagem. O sucesso na implementação da fundição de MMC pode depender de se possuir as habilidades de engenharia necessárias para projetar produtos que tirem proveito do processo de fundição de precisão.

Para os engenheiros, a vantagem do fundido quase na forma final da peça acabada significa que apenas as superfícies críticas precisam ser usinadas. Superfícies elevadas e rebaixos podem ser usados para aliviar a área circundante da peça. Somente quantidades mínimas de sobremetal de usinagem devem ser adicionadas a estas cotas usinadas para garantir a limpeza.

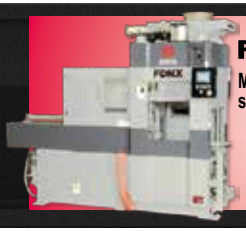
A microfusão também pode tirar proveito da redução do número de peças. A Figura 8 é um exemplo de um projeto de peça que usou o processo de microfusão para reduzir o número de peças. Esta capacidade é particularmente benéfica quando do projeto para peças em MMC, porque os poucos pontos de montagem de uma estrutura unificada também se correlacionam com a redução no custo da usinagem.

As propriedades especiais dos MMCs de Alumínio / Carbeto de Silício podem ser um benefício e estão disponíveis para resolver uma miríade de desafios de projeto para redução de peso, rigidez, vibração, transferência de calor, desgaste e / ou expansão térmica. O processo de microfusão oferece uma capacidade única para a produção econômica dos MMCs.

sinto

Mais Qualidade, Tecnologia e Inovação em 2016

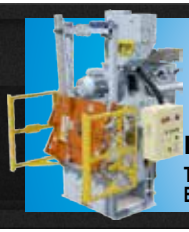
FUNDIÇÃO



FDNX
Máquina de Moldar
sem caixa - 1 estação

ACE
Máquina de Moldar
com caixa fixa

JATEAMENTO



BRTX-1500
Mesa Rotativa com
movimento transversal

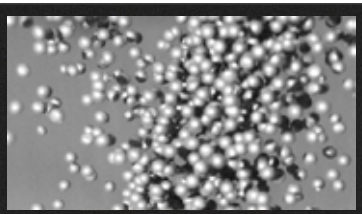
BT1-300
Tumblast
Esteira de Borracha

GRANALHAS DE AÇO

ESFÉRICA
GRANALHA DE AÇO

ANGULAR
GRANALHA DE AÇO

Granalha de aço esférica e angular para jateamento, tratamento de superfícies, shot peening, etc.



PEÇAS & SERVIÇOS

Assistência Técnica Especializada

Peças de reposição originais para máquinas SINTO e WHEELABRATOR. E peças com a mesma qualidade para outras tecnologias. (PANGBORN, BMD-DISA, BCP, G+F, etc.)

ABIFA
Associado

FROHN
Shot Peening Technology
Steel Shot
Application

LAEMPE
FORMING FUTURE

NOVOS PARCEIROS MUNDIAS DA sinto

sinto

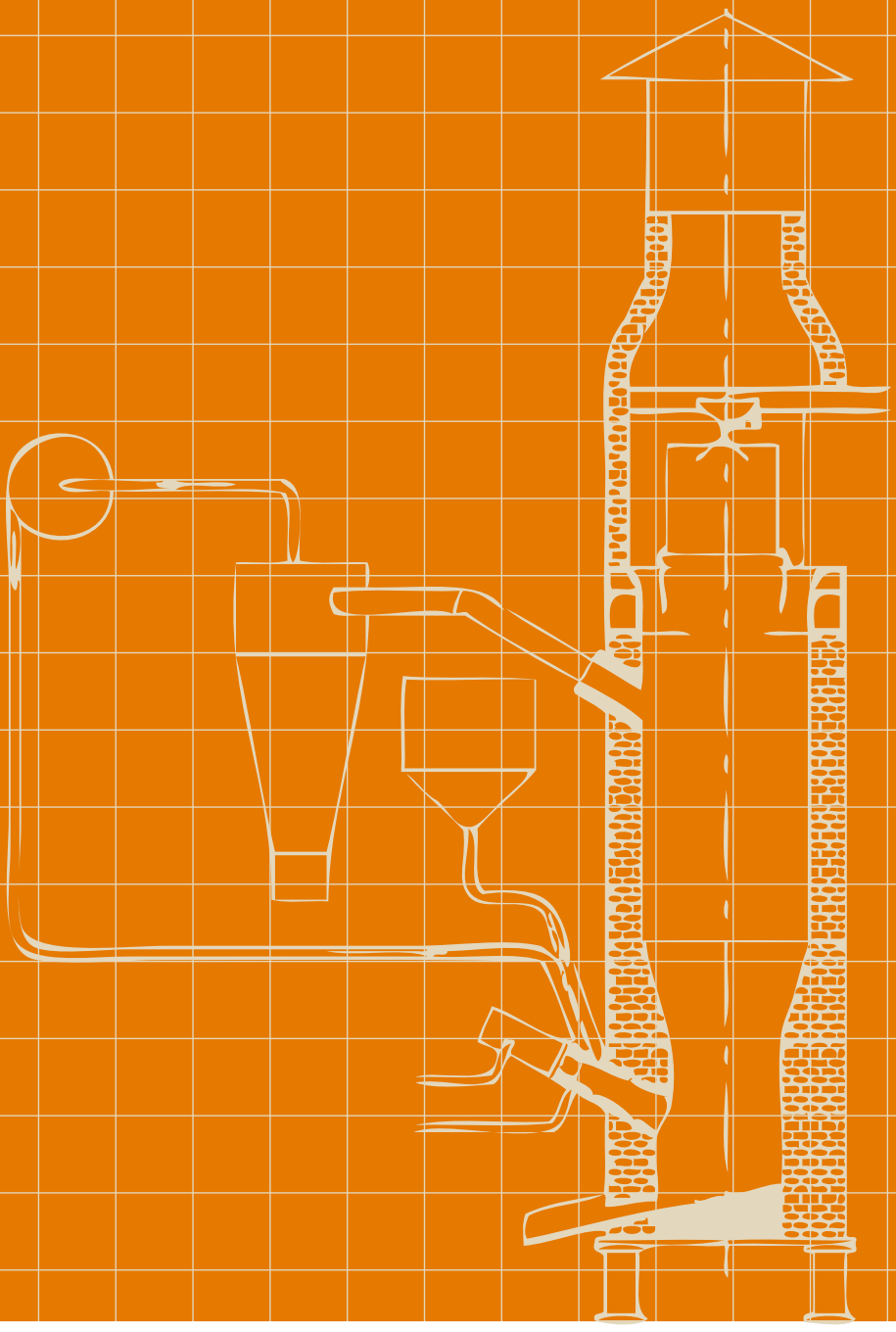
New Harmony » New Solutions™

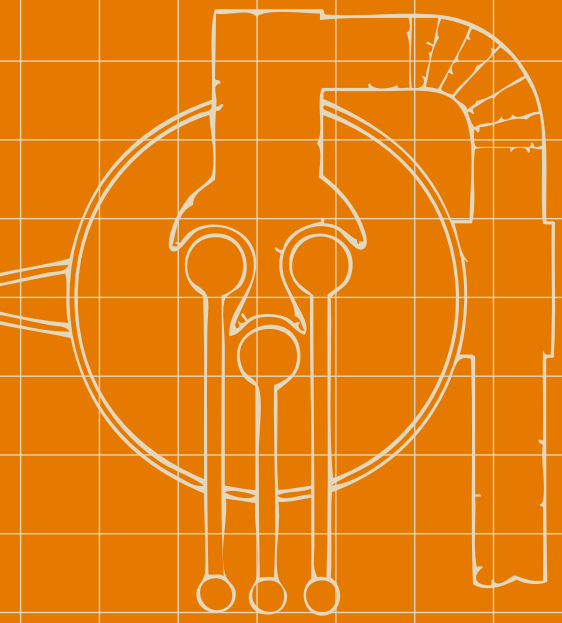
SINTO BRASIL PRODUTOS LIMITADA
SINTOKOGIOGROUP

Tel +55 11 3321-9513 fale@sinto.com.br

www.sinto.com.br

www.criarteprod.com.br





Maio 2015

Edição 180

1 Análise de resistência à fadiga mecânica em aço de fundição com matriz bainítica Nanoestruturada[1]

Denilson José do Carmo [2]
Jean Chaves Araújo [3]
Clarissa Maria Machado de Azevedo[4]
José Felipe Dias [5]
Dagoberto Brandão Santos [6]

RESUMO

Analisa-se um novo aço no qual a estrutura consiste de ferrita bainítica dispersa em matriz de austenita retida enriquecida de carbono e resistência a tração em torno de 2 GPa. Apresentam-se resultados inéditos de resistência à fadiga de alto ciclo por flexão rotativa com limite de vida a 107 ciclos sendo obtido resultado de 593 MPa, resultado que é mais elevado do que os apresentados por importantes materiais de engenharia como os aços forjados e ferros fundidos nodulares austemperados, mesmo com a presença de fratura do tipo "olho de peixe", a qual nucleia de defeitos de rechupes. Os resultados sugerem continuidade das investigações para eliminar estes defeitos e potencializar o aço para futuras aplicações de engenharia.

Palavras-chave: Aço fundido; Fadiga; Bainita; Austêmpera.

MECHANICAL FATIGUE ANALYSIS OF NANOSTRUCTURED BAINITIC STEELS CASTING

ABSTRACT

A novel steel casting is analyzed in which the structure consists of fine bainitic ferrite dispersed in a matrix of carbon enriched retained austenite. The tensile strength is about 2 GPa. The authors report the first fatigue tests by high-cycle rotating bending which permitted the determination of the fatigue life as defined to be the maximum cycles stress for the samples must survive 107 cycles, this stress was found to be 593 MPa. This result is higher than those presented by important engineering materials such as forged steel and austempered ductile cast iron, even observing "fish eye" fracture patterns, characteristic of fatigue fracture initiated at shrinkages defects. The results suggest the further investigations in order to eliminate these defects and enhance the novel steel for future engineering applications.

Key words: Investment casting; Cluster assembly; Gate.

Key words: Steel Casting; Fatigue; Bainite; Austempering.

[1] Trabalho apresentado no 15º Congresso de Fundição da ABIFA, 04 a 07 de outubro de 2011 – São Paulo – SP – Brasil.

[2] Engenheiro Industrial Mecânico. Doutor. Instrutor de Formação Profissional do SENAI/CETEF. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial / Centro Tecnológico de Fundição Marcelino Corradi. Professor da Faculdade de Engenharia da Universidade de Itaúna. FAEN-UI.

[3] Engenheiro Industrial Mecânico. Instrutor de Formação Profissional do SENAI/CETEF.

[4] Aluna de Iniciação Científica do Curso de Engenharia de Produção da Universidade de Itaúna. Bolsista do CREA-MG. Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia.

[5] Engenheiro Industrial Mecânico. Doutor. Professor da Faculdade de Engenharia da Universidade de Itaúna. FAEN-UI.

[6] Membro da ABM. Engenheiro Metalurgista. Doutor. Professor Associado do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal de Minas Gerais. DEMET- UFMG.

1 INTRODUÇÃO

Os aços bainíticos se tornam uma das opções dentre os materiais de engenharia na qual se otimiza a combinação de resistência e ductilidade. No entanto, de acordo com Bhadeshia e Edmonds[1] uma das características indesejáveis da bainita no contexto de aços de alta resistência é a presença de cementita, fase potencial para se tornar sítio de nucleação de trincas e, segundo os mesmos autores, a adição de silício ao aço pode eliminar a cementita, tornando estes materiais aptos para serem utilizados onde se exige resistência à fadiga.

A literatura está repleta de experiências positivas na avaliação do comportamento mecânico dos ferros fundidos nodulares austemperados, também conhecidos por ADI, de Austempered Ductile Iron. Resultados estes, que estão relacionados ao tipo de estrutura, a bainita sem carbonetos ou ausferrita. Destaca-se o estudo realizado por Dias[2] sobre o comportamento à fadiga do ADI.

Considerando que o ADI apresenta propriedade à fadiga superior a de materiais concorrentes, incluindo aços forjados, justificam-se pesquisas que avaliem aços fundidos que tenham estrutura metálica similar à do ADI. Comparativamente, a inexistência de grafita no aço o credencia ainda mais para potenciais aplicações na engenharia.

Caballero e Bhadeshia[3] se inserem numa linha de pesquisa em que obtiveram os aços, denominados por eles, de nova liga devido ao fator da inovação da composição química e da boa combinação de propriedades mecânicas atingidas. As composições químicas apresentam altos teores de carbono e de solutos substitucionais além do silício, tais como manganês e cromo. Os elementos, em teores mais elevados, estão presentes para aumentar a estabilização da austenita em relação a ferrita, visam também, propiciar as transformações bainíticas em temperaturas baixas, usualmen-

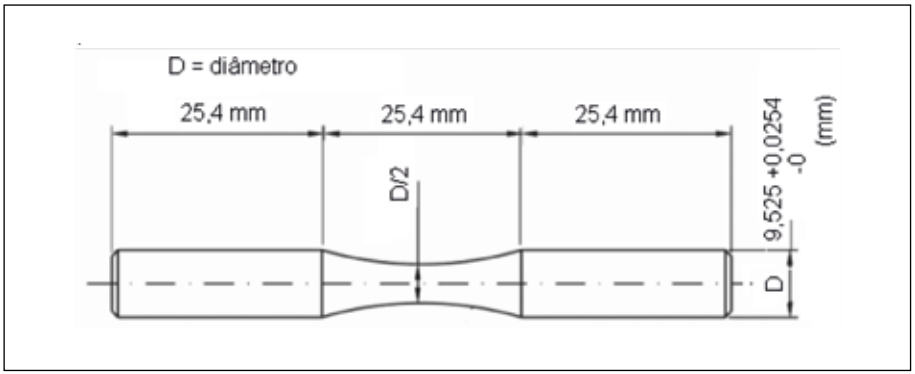


Figura 1. Desenho do corpo de prova utilizado no ensaio de fadiga por flexão rotativa

te entre 125oC e 200°C. O molibdênio é adicionado para minimizar a fragilização de revenido, problema relacionado à presença inevitável de impurezas tais como o fósforo. O resultado é a obtenção de estrutura bainítica livre de carbonetos e em escala nanométrica. Uma desvantagem do processo é o longo tempo de austêmpera. Elementos como o alumínio e o cobalto podem ser adicionados para aumentar a velocidade da transformação. Por outro lado, se tem como vantagens os fatos de que não são necessários resfriamentos rápidos como na têmpera e de que tornaria possível a obtenção de estruturas bainíticas em fundidos de seções espessas e com um mínimo de tensões residuais.

Peet et. al4 divulgaram pela primeira vez, resultados de estudo da resistência a fadiga mecânica desses tipos de aços bainíticos livre de carbonetos. As investigações foram realizadas com ciclos de carregamento em que as tensões máximas situaram-se na faixa de 1,2 a 1,6 GPa em testes de fadiga com carregamento de tração e compressão. Foram aplicados 105 ciclos e os dados extrapolados para 107 ciclos estimando a vida a fadiga em 855 MPa. Os autores ressaltam o fato de ter produzido o aço em fusão com cadinho aberto, ou seja, sem procedimentos para controle da atmosfera. O aço foi laminado, então, um bloco foi homogeneizado em forno tendo a amostra em atmosfera de vácuo, utilizando a temperatura de 1200 °C mantida por 2 dias. A composição química do aço é Fe-0,8C-1,59Si-2,01Mn-1,0Cr-0,24Mo-1,51Co-0,02P-0,02S (% em peso). O aço estudado foi austemperado a 200°C por 10 dias para gerar bainita fina com dureza de 680 ± 3 HV50.

Objetiva-se com este trabalho a apresentação de resultados inéditos sobre a avaliação da resistência à fadiga mecânica de aço fundido com bainita livre de carbonetos e estrutura nanoestruturada. Os resultados são parte da tese de doutorado de Carmo[5]. Comparando ao trabalho de Peet et al4 a composição química é similar, sendo utilizado o mesmo tratamento térmico de austêmpera. Apresenta-se como diferencial a avaliação do aço obtido por processo de fundição, sem conformação mecânica e a determinação experimental do limite infinito de resistência à fadiga a 107 ciclos, sem extrapolação dos dados como realizado por Peet et al4.

Figura 2. Máquina de ensaio de fadiga por flexão rotativa, Fatigue Dynamics Inc®RBF-200.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O aço foi elaborado em atmosfera natural no forno a indução de média freqüência, em cadinho com capacidade para 120 kg. A carga metálica foi constituída de gusa, sucata de aço e de ferros-liga. Foram adicionados ao metal líquido, no momento de transferência para a panela de vazamento, 0,1% de Al como desoxidante e também, 0,15% de FeTi, 0,05% de FeV e 0,03 %michmetal (porcentagens em peso) como refinadores de grão. Foram vazados blocos do tipo Keel conforme norma ASTM A-781[6].

Os blocos foram homogeneizados por tratamento térmico, sendo austenitizados a 1100°C por 4 h e resfriados dentro do forno. Corpos de prova foram pré-usinados a partir da base do bloco Keel, sendo que os mesmos, depois de austemperados passaram pela usinagem final. A austêmpera seguiu o ciclo de aquecimento até 875°C com manutenção por 30 min. e resfriamento em banho de sais a 200°C com manutenção por 240 h.

Para ensaios de tração os corpos de prova apresentavam o diâmetro nominal útil de 4 mm e distância entre raios de 28 mm conforme norma ASTM A 370[7]. Os corpos de prova para ensaio de fadiga por flexão rotativa foram usinados de acordo com o desenho apresentado na figura 1. Em seguida foram lixados longitudinalmente até a granulometria #1200. As dimensões do corpo de prova, recomendações para acabamento superficial do mesmo e condução do ensaio foram conforme ASTM A 466[8].

Os ensaios de fadiga de alto ciclo por flexão rotativa com amplitude constante foram realizados em máquina fabricada pela Fatigue Dynamics Inc®., Estados Unidos, modelo RBF-200, apresentada na figura 2.

Para determinação do limite de fadiga adotou o método escada, seguindo as orientações de Souza[9] e Mansur[10]. Foram ensaiados 37 corpos de prova variando a tensão entre 500 e 675 MPa a uma frequência de aproximadamente 60 Hz. Adotouse o intervalo de variação de tensão de 25 MPa, e 10^7 ciclos como o limite de fadiga como recomendado pela ASTM A 466[8]. Foram utilizados 15 corpos de prova que não romperam, quantidade mínima indicada por Mansur[10]. O limite de fadiga foi

C	Si	Mn	Co	Al	Mo	Ni	Cr	P	S	Ti	Ca	Ce
0,7	1,4	1,8	1,5	0,005	0,2	0,6	1,0	0,03	0,02	0,01	0,001	0,006
V	Nb	La										
0,03	0,006	0,01										

Resistência máxima (MPa)	Resistência ao escoamento (MPa)	Alongamento (%)
2135	1850	0,9
2057	1868	0,9
1842	1743	0,8

Tabela 2. Características mecânicas do aço fundido e austemperado a 200°C por 240 horas

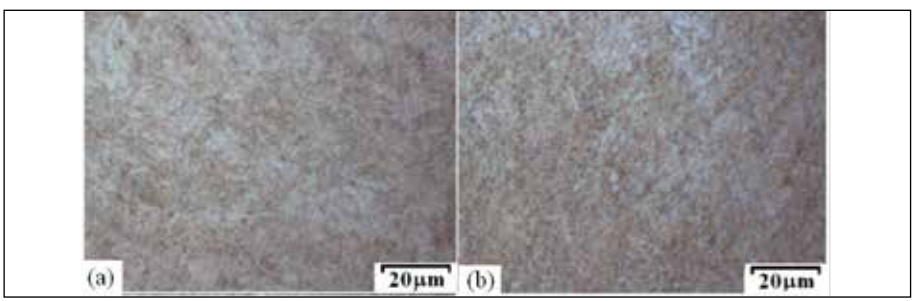


Figura 3. Estrutura de aço. Microscopia óptica. Ataque de nital 2% (a). Ataque de LePera (b)

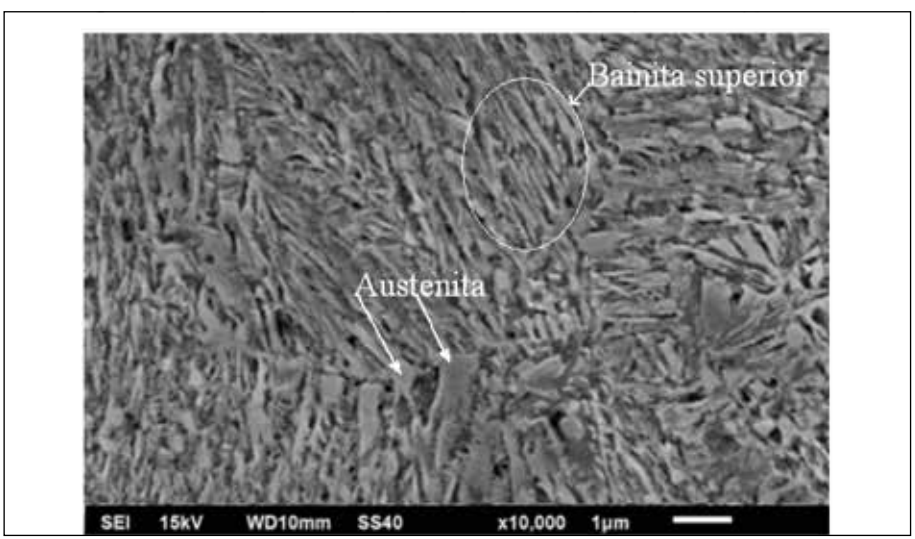


Figura 4. Estrutura de aço. Microscopia eletrônica de varredura. Nital 2%. MEV.

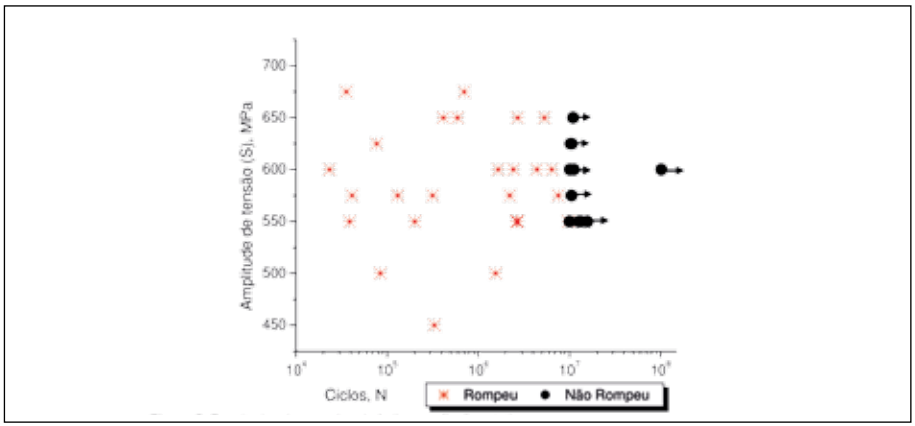


Figura 5. Resultados dos ensaios de fadiga por reflexão rotativa.

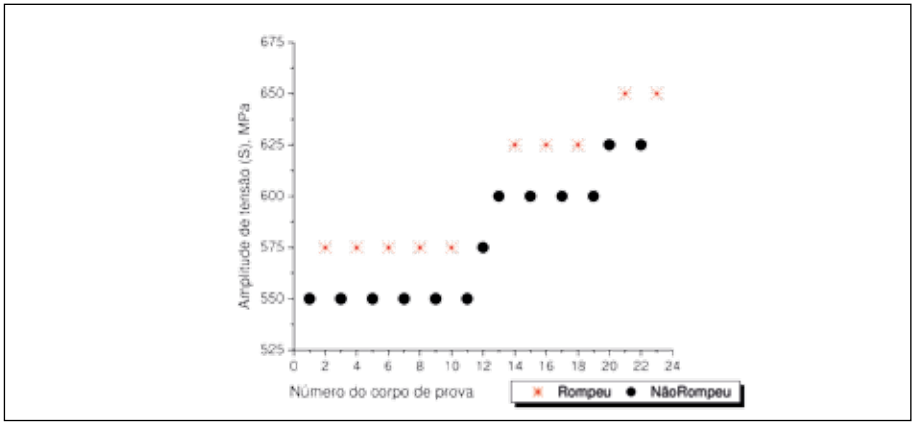
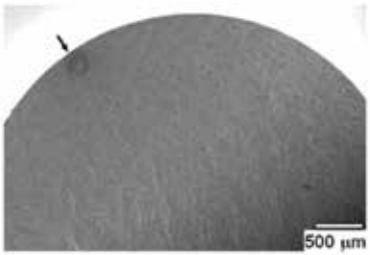
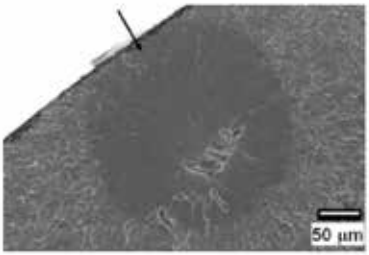


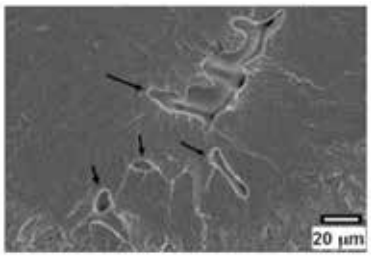
Figura 6. Amplitude de tensão e número de corpos de provas utilizados na determinação do limite de fadiga pelo método Escada.



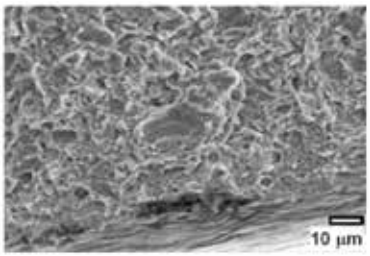
a) Início da trinca - fratura "olho de peixe"



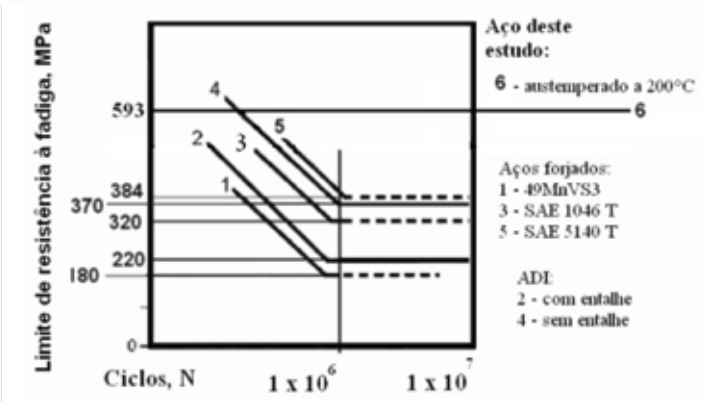
b) Detalhe da fratura "olho de peixe"



c) Defeitos de origem da fratura



d) Detalhe da região de fim da fratura



calculado pela equação 1 e o desvio padrão foi dado pela equação 2. O sinal positivo da equação 1 é usado quando se consideram os corpos de prova não rompidos e o sinal negativo para análise baseada nos rompidos; devendo-se utilizar o evento que ocorreu em menor número.

BENTOMAR

A parceria certa para sua Empresa

11 2721-2719
vendas@bentomar.com.br
www.bentomar.com.br

A Bentomar inova, aprimora seus produtos, serviços e atendimento, tudo para que você Fundidor encontre o que precisa de forma rápida, eficaz e com segurança!

Nossos Produtos

Areia Shell

Inoculantes

Luvas Exotérmicas e Isolantes

Tintas Refratárias

Colas * Desmoldantes * Fluxos para Não ferrosos * Silicato * Bentonita
Aditivos * Refinador Metálico * Alumínio Estrôncio * Refratários
Resinas * Catalisadores para Moldagem

ABIFA
Associado

Certificado NBR ISO 9001 BRTUV

Escritório: Rua Dr. Edgar Magalhães Noronha, 563 - São Paulo-SP Fábrica: Rua Quatro, 331 - Ferraz - Rio Claro-SP

2 Influência do Magnésio sobre a microestrutura e propriedade de fluência de aços HP fundidos[1]

Fernandp Barros Martins[2]
Marcelo Martins[3]

RESUMO

O aumento da capacidade de extração nas plataformas de petróleo sugere uma grande demanda de produção nas refinarias. Desta forma, as campanhas e cargas dos fornos de pirólise tendem a aumentar cada vez mais. Neste contexto, os materiais empregados em componentes destes equipamentos, tornar-se-ão cada vez mais importantes uma vez que podem ser fatores limitantes para aumento da capacidade do processo. Assim, surgem os aços refratários ASTM A 297 Gr. HP 40 [1] modificados, como opção para essa aplicação. Esses aços apresentam alta resistência à fluência e oxidação em temperaturas de 1100ºC. O presente trabalho visa a caracterização microestrutural, via microscopias ótica, eletrônica e microanálise, e mecânica desses aços modificados com Magnésio

Palavras-chave: Aços refratários, microestrutura, fluência

MAGNESIUM INFLUENCE ON THE MICROSTRUCTURE AND CREEP PROPERTIES OF HP HEAT RESISTANT STEELS

ABSTRACT

The increase in extraction of oil in platforms suggesting a great demand for production in refineries. Thus the loads of pyrolysis furnaces tend to increase ever more. In this context the materials used in the components wil became increasingly important, as they may be limiting factors to increase process capacity. Emerge as option for this application the modified ASTM A 297 Gr. HP 40 heat resistant steels. These steels have high creep and oxidation resistance at temperatures of 1100ºC. This work aims to the microstructural and mechanical characterization of these steels modified with Magnesium.

Key words: Heat resistant steels; microstructure; creep

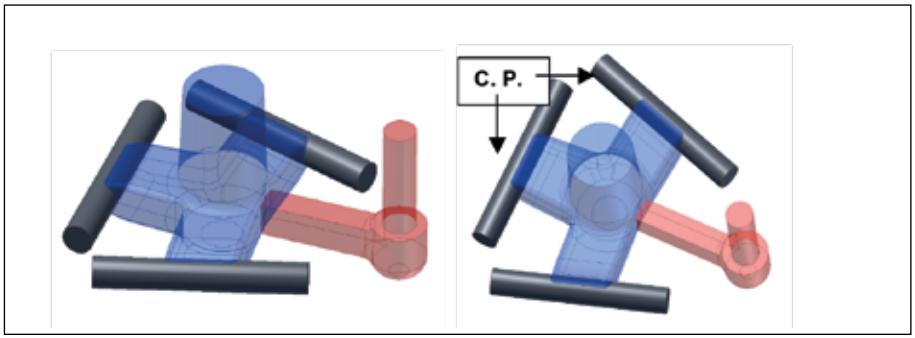


Figura 1 : Modelos de corpo de prova utilizados nos ensaios.

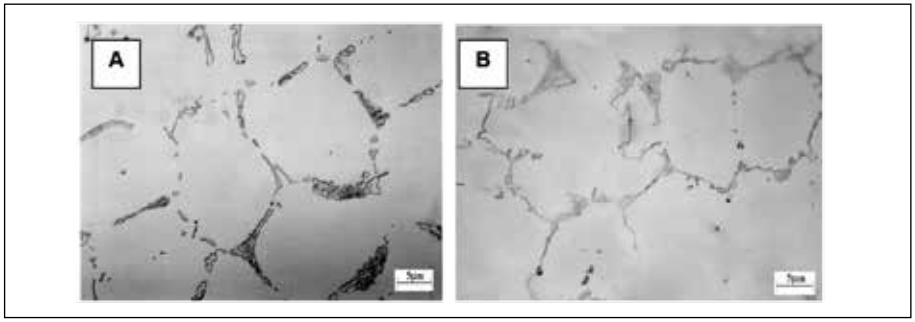


Figura 2: Microestruturas obtidas para os dois materiais estudados. A)Liga 1, B) Liga 2.

1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis têm como característica comum o elevado teor de Cromo, o que confere a propriedade de resistência a corrosão através do fenômeno denominado passividade. Desta maneira essas ligas são largamente utilizadas em ambientes corrosivos ou sob elevadas temperaturas. Assim como as demais ligas, os aços inoxidáveis podem ser classificados como fundidos ou trabalhados, onde estes últimos sofrem conformação mecânica para condicionamento estrutural antes da obtenção da forma final.

Dentre os aços inoxidáveis fundidos, podem ser destacadas duas classes: os recomendados para serviço em ambientes aquosos corrosivos, série "C" (1), que trabalham em temperaturas até 650°C, e os aços que são submetidos a aplicações a altas temperaturas (acima de 650°C), série "H". Além da classificação quanto a condição de serviço. A melhor forma de diferenciá-los é pelo teor de carbono.

Os aços da série "H" possuem maior quantidade de Carbono em sua composição, o que acarreta uma evolução microestrutural com a temperatura adequada, para a manutenção da elevada resistência mecânica, particularmente de suas propriedades sob fluência. Devido ao relativo alto teor de Carbono, após a exposição a altas temperaturas, que seja na realização de tratamentos térmicos específicos, quer seja em serviço, uma fina precipitação de carbonetos secundários é promovida intergranularmente. As características dessa precipitação junto àquela que ocorre durante a solidificação, chamada de primária, controlam as propriedades mecânicas dos aços dessa classe.

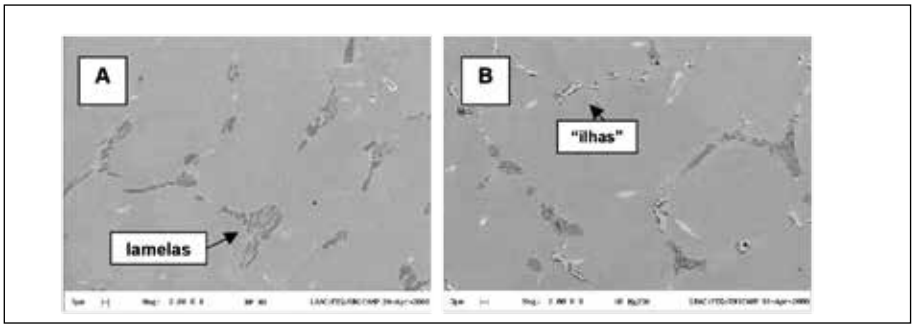


Figura 3: Morfologias capturadas via MEV. A) Liga 1, B) Liga 2

Entre os aços resistentes ao calor destacam-se os tipos HK e HP, sendo muito utilizados em aplicações estruturais sob temperaturas de até 1150°C, apresentando boa resistência a corrosão por gases quentes.

As aplicações comerciais para aços do tipo "H" incluem: fornos de tratamento térmico, turbinas a gás, equipamentos militares, fornos de refino de petróleo, fornos petroquímicos, equipamentos de processamento químico, equipamentos de usinasde força e moinhos de aço.

No caso particular da indústria petroquímica, os aços da série HK vem sendo usados desde o inicio dos anos 60, em substituição às tradicionais superligas a base de Níquel, obtendo-se uma redução nos custos com propriedades similares sob altas temperaturas. Desde então vários estudos foram realizados relacionados à evolução microestrutural, e sua influência nas propriedades mecânicas sob altas temperaturas.

Além do aspecto tecnológico, o estudo destes aços também apresenta vantagens econômicas. Espera-se que os novos componentes apresentem maior resistência à fluência e a carburação. Com isso objetiva-se uma redução nos custos, pois tubos e fitings poderão ser utilizados com menor espessura garantindo-se boa resistência mecânica, além disso mais catalizador poderá ser utilizado aumentandose o rendimento do processo.

Assim, neste contexto o estudo de aços HP modificados com elementos de ligaque venham a proporcionar estas tão desejadas propriedades torna-se importante no aspecto tecnológico e econômico. Da mesma forma que a evolução microestrutural é importante, o entendimento e melhorias no processo de produção, também é cabível de estudo. Tubos centrifugados desses aços possuem uma literatura vasta, sendo considerado como um conhecimento já consolidado. Porém, o estudo do comportamento microestrutural mecânico destes aços fundidos por gravidade ainda é desconhecido, e sua literatura é muito pobre. Sabendo-se que vários componentes de tubulações e peças são fundidos nestas condições, um estudo detalhado sobre as diferenças de estrutura e propriedades geradas pelos processamentos torna-se necessário.

Desta forma, neste trabalho, objetivou-se a obtenção dos aços HP modificados com Magnésio, fundidos

2 MATERIAL E MÉTODOS

Corpos de prova do aço ASTM A297 HP 40, foram fundidos na forma de amostras cilíndricas com 190 mm de comprimento e 30 mm de diâmetro. A moldagem foi feita

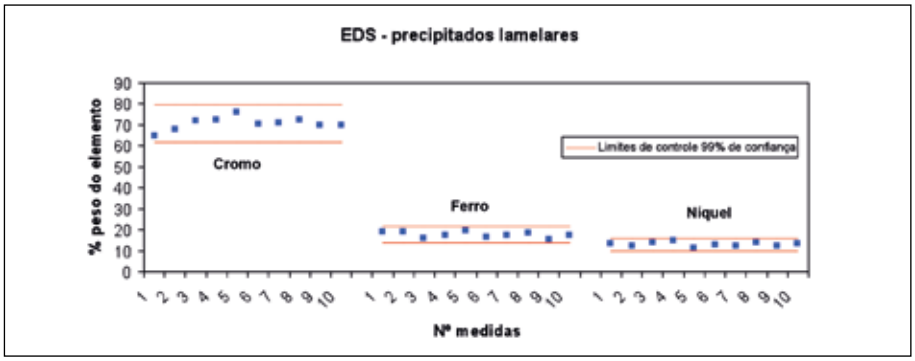


Figura 4: Estatística referente as microanálises dos precipitados lamelares

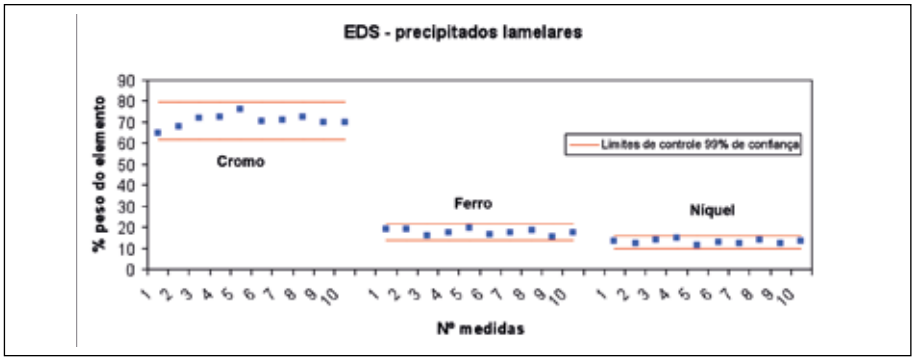


Figura 5: Estatística referente às microanálises dos precipitados em forma de ilhas.

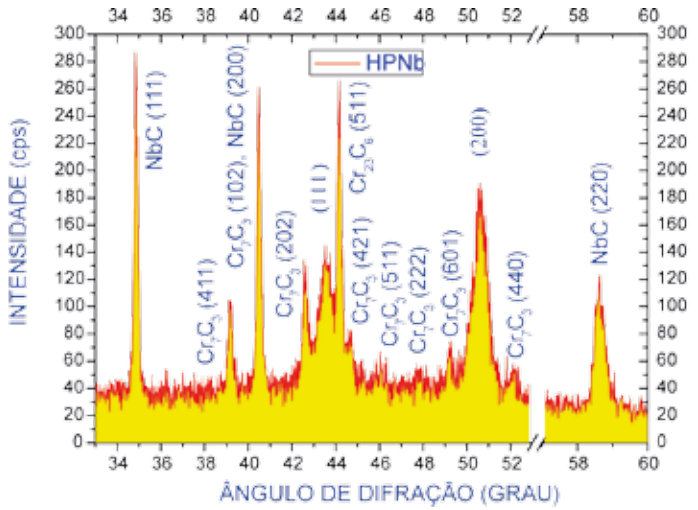
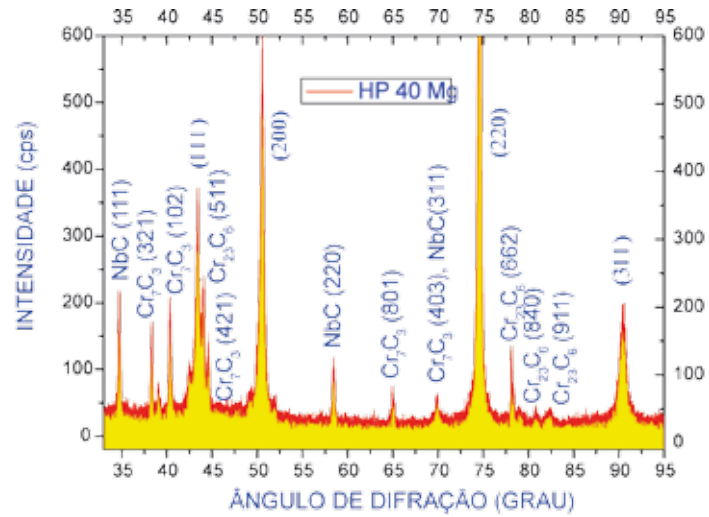


Figura 6: Difratograma referente a liga 1



com areia de Sílica, aglomerada com resina fenólica-uretânica de cura ao ar.

O projeto de fundição foi construído em 3D pelo software Inventor 2008, e o processo de solidificação foi simulado pelo software Magmasoft, que tem como princípio a análise da transferência de calor por elementos finitos.

As análises químicas das amostras foram realizadas em um espectrômetro de emissão ótica ARL, modelo 3640, contendo 47 canais, pertencente à SULZER BRASIL S/A.

Liga	Tempo de ruptura (h)
1	104
2	111

Tabela 2: Tempos de ruptura das ligas estudadas

Utilizou-se a técnica de microscopia eletrônica de varredura com imagens geradas por elétrons secundários, além de microanálises por meio de energia dispersiva (EDS), para que as regiões contendo Magnésio fossem melhor caracterizadas.

Também utilizou-se a técnica de difração de raios-x, a partir da radiação de Cobre, CuKa de 1,5406 Å, com velocidade de varredura de 2º por minuto, com objetivo de caracterizar os precipitados.

A caracterização mecânica por ensaios de tração foi conduzida em uma máquina eletromecânica para ensaios, seguindo a norma ASTM A 370.

Os ensaios de fluência foram conduzidos com carga constante de 17 MPa a 1100ºC. Juntamente com os resultados mecânicos foi realizada a análise metalográfica para caracterização da microestrutura no estado envelhecido.

3 RESULTADOS DISCUSSÃO

Os resultados da análise química, realizados por espectrometria de emissão ótica são apresentados na Tabela 1. Comparando-se os valores obtidos com a norma deste material (ASTM A 297) os valores obtidos encontram-se dentro dos limites composicionais estabelecidos, exceto pelas adições de Nb e Mg.

O projeto de fundição mostra a retirada de 3 corpos de prova por molde. Nota-se pelas imagens que não foram utilizados resfriadores ou luvas, apenas uma alimentação distribuindo-se para 3 corpos de prova, com um massalote central. A

Figuras 1 mostra o modelo utilizado.

As microestruturas na condição bruta de fundição apresentaram-se como uma matriz austenítica, com carbonetos eutéticos precipitados nos espaçamentos interdendrítcos (Figura 2). Os precipitados caracterizam-se como carbonetos de Nióbio e Cromo. Esses precipitados são oriundos do processo de solidificação destes aços, devido a presença de 0,2% de Carbono livre, uma vez que apenas 0,2% é solúvel na austenita. Sendo assim, este elemento combina-se, preferencialmente com Cromo e Nióbio (fortes formadores de carbonetos), na frente de solidificação formando os através de uma reação eutética.

Comparando-se as duas microestruturas, a liga 2 possui uma maior fragmentação dos carbonetos de Cromo (estruturas lamelares). Esta característica é conseqüência da adição de Magnésio, que juntamente com terras raras tem o efeito de quebrar a rede de carbonetos lamelares. (2,3)

Juntamente com a análise metalográfica foram, capturadas imagens em microscopia eletrônica de varredura, e os precipitados foram caracterizados qualitativamente por meio de microanálise. Na Figura 3 é possível perceber

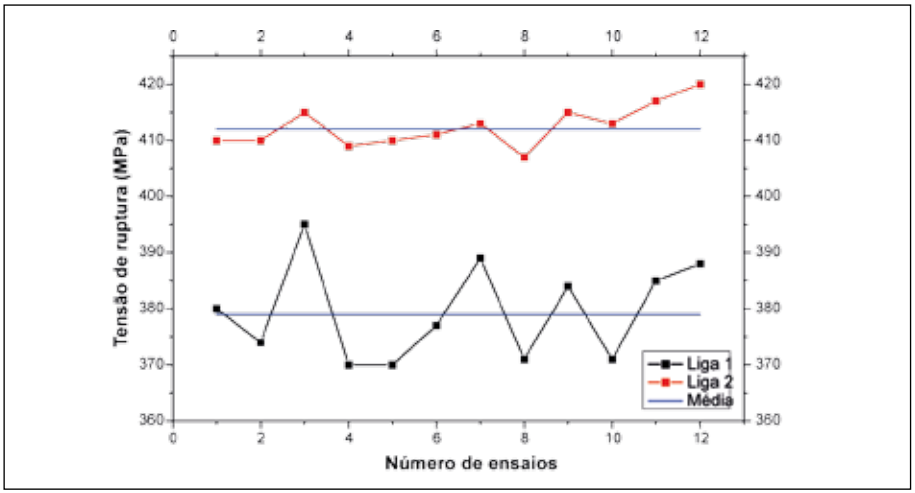


Figura 8: Comparativo entre as propriedades mecânicas das ligas produzidas.

claramente os efeitos da adição a Magnésio.

Os carbonetos lamelares, além de apresentarem-se fragmentados, apresentaram uma mudança em sua morfologia. As lamelas caracterizadas apresentaram uma forte esferoidização, fato também relacionado à presença de Magnésio na liga. (4,5)

As microanálises dos precipitados lamelares e na forma de ilhas isoladas são mostrados nos gráficos de dispersão nas Figuras 4 e 5. Como é possível notar pelos gráficos de dispersão, os precipitados lamelares são constituídos basicamente por Cromo, Ferro e Níquel, sendo o Cromo o metal predominante. Dados da literatura (2, 3, 4) apontam para este tipo de carboneto como sendo, provavelmente, do tipo M7C3 com M = Cr. Vale a pena salientar que a técnica de EDS não forneceu o valor de Carbono, sendo assim os valores apresentados dão apenas uma idéia geral a respeito das composições dos precipitados.

Já os precipitados com forma de "ilhas" apresentaram como elemento majoritário, o Nióbio. Além deste elemento há a presença de Ferro, Níquel e Cromo em sua composição. Estes precipitados são relatados na literatura como sendo do tipo MC, com M = Nb. (4,5,6)

Nas amostras contendo Magnésio não foi encontrado nenhum composto contendo este elemento, estando apenas associado a elementos formadores de escória.

Como complemento às microanálises foram, realizadas as difrações de raiosx dos 2 materiais para que juntamente com a literatura disponível, análise morfológica e microanálise fosse possível a determinação da estequiometria dos precipitados. Para os aços estudados os precipitados encontrados por difratometria de raios-x foram: Cr7C3, NbC e Cr23C6, o que já era previsto pela literatura e dados obtidos por microanálise. A Figura 6 mostra parte do espectro de difração.

A adição de Magnésio também influenciou nas propriedades mecânicas do material. A Figura 8 mostra o gráfico com o comparativo de 12 ensaios de tração realizados para as duas ligas. Nota-se que a adição de Magnésio aumentou a resistência média do material de 379 MPa para 413 MPa, cerca de 10%. O aumento

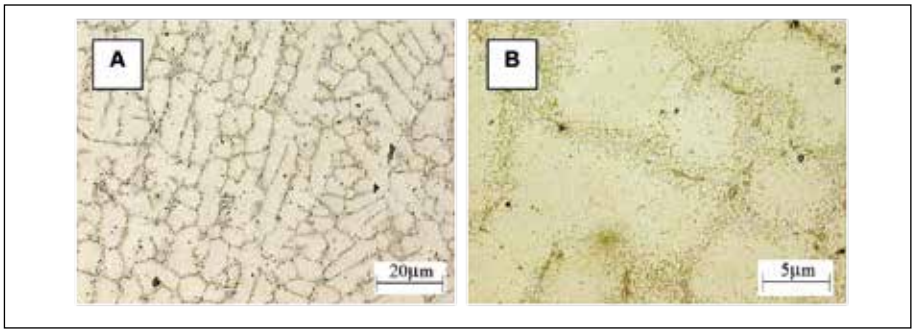


Figura 9: Microestruturas após o ensaio de fluência obtidas para a liga 2. A) 100X B) 400X

nas propriedades mecânicas de tração é conseqüência, justamente, da quebra das grandes redes de carbonetos observadas na liga 1. A quebra de uma rede de carbonetos evita a formação de grandes "caminhos frágeis", aonde a trinca propagase em alta velocidade. A fragmentação impõe uma matriz dúctil a este percurso, e parte da energia de propagação será usada para a deformação da matriz. A Figura 8 mostra os gráficos de dispersão com os dados comparados. (6,7)

Com o objetivo de se determinar as características mecânicas dos materiais estudados nas condições de trabalho foram realizados ensaios de fluência com carga constante. Como resultado, comparando-se os tempos de ruptura registrados, a liga 2 apresentou comportamento superior sob fluência que a liga 1.

Assim como já relatado anteriormente, a quebra da rede primária de carbonetos é importante para as propriedades mecânicas. Conforme já constatado (6,7,8), constataram que, além disso, o Magnésio acelera a precipitação de carbonetos secundários a altas temperaturas. Estes carbonetos são responsáveis pelo efeito "pinnig" que aumenta a resistência mecânica formando "barreiras", aonde as discordâncias perdem energia devido ao seu acúmulo ao redor das partículas. Os resultados para o tempo de ruptura são apresentados na Tabela 2.

A microestrutura foi caracterizada no estado envelhecido, para que as propriedades geradas fossem relacionadas com os microconstituintes encontrados.

Com o aumento da temperatura uma massiva precipitação de carbonetos secundários ocorreu.

Esta precipitação é oriunda da instabilidade que os carbonetos eutéticos primários apresentam a altas temperaturas (aproximadamente 750ºC). Como conseqüência deste fato, para que o sistema volte a entrar em equilíbrio termodinâmico há uma alteração estequiométrica destes carbonetos, via difusão atômica, e como resultado deste processo formam-se os carbonetos secundários de estequiometria M23C6 (9). Os carbonetos de Nióbio são estáveis até 900ºC, temperatura na qual se transformam em fase G, um intermetálico a base de um siliceto misto de Nb-Ni, que também é responsável pelo aumento da resistência à fluência destes aços. Após 1050ºC há uma grande nucleção de buracos de fluência nos contornos de grão, principalmente, levando o material a falha por fluência. A figura 9 mostra as microestruturas no estado envelhecido destes materiais.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, pode-se afirmar que:

- A microestrutura encontrada na condição bruta de fundição é composta por austenita e carbonetos eutéticos precipitados nos espaçamentos interdendríticos.

- A adição de Magnésio provocou alterações morfológicas, no sentido de interromper a continuidade da rede de carbonetos eutéticos de Cromo (lamelares).

– Os aços modificados com Magnésio apresentaram melhor desempenho nas propriedades de tração.

- O tempo de ruptura destas ligas aumentou de 104 para 110 horas com a adição de Magnésio, mostrando que este elemento tem influência positiva sobre esta propriedade

- A microestrutura no estado envelhecido foi caracterizada como sendo uma matriz austenítica com uma fina e dispersa rede de carbonetos localizada, também nos espaçamentos interdendríticos.

5. REFERÊNCIAS

[1] American Society Testing Materials, A 297/A 297M "Standard specification for steels castings, Iron-Chromium and Iron-Chromium-Nickel Heat Resistant, for general application", ASTM, 1998, pp 119-121

[2] ALMEIDA, L.H., RIBEIRO, A.F., LE MAY, I. Microstructural characterization of modified 25Cr-35Ni centrifugally cast steel furnace tubes. Mat. Char. V.49, pp. 1-11, 2003

[3] BARBABELA, G.D., ALMEIDA, L.H., SILVEIRA, T.L., LE MAY, I. Role of Nb in modifying the microstructure of heat-resistant cast HP steel. Mat. Char. V.26, pp. 193-197, 1991

[4] BABABELA, G.D. Estabilidade Estrutural de Aços Resistentes ao Calor do Tipo HP com Adição de Nióbio. Tese de D. Sc. UFRJ. 132 p, 1990

[5] EDUARDO, A.A.G., RIBEIRO, R., PAPALÉO, R., GUIMARÃES, J.R.C.
Microstructure and creep behavior of a niobium alloyed cast heat-resistant 26 pct Cr steel. Metal. Trans. V.17A, n.4, pp. 691-696, 1986

[6] PIEKARSKI, B. Effect of Nb and Ti additions on microstructure and identification of precipitates in stabilized Ni-Cr cast austenitic steels. Mat. Char. V.47, pp. 181-186, 2001

[7] POWELL, D.J., PILKINTON, R., MILLER D.A. The precipitation characteristics of 20% Cr/25% Ni-Nb stabilized stainless steel. Acta Metal. N. 3, pp. 713-724, 1988 [8] WEN-TAI, H.; HONEYCOMBE, R.W.K., "Structure of centrifugally cast austenitic stainless steels: Part 2 – Effects of Nb, Ti and Zr". Materials Science and Technology. n. 1, 1985, pp. 390-397.

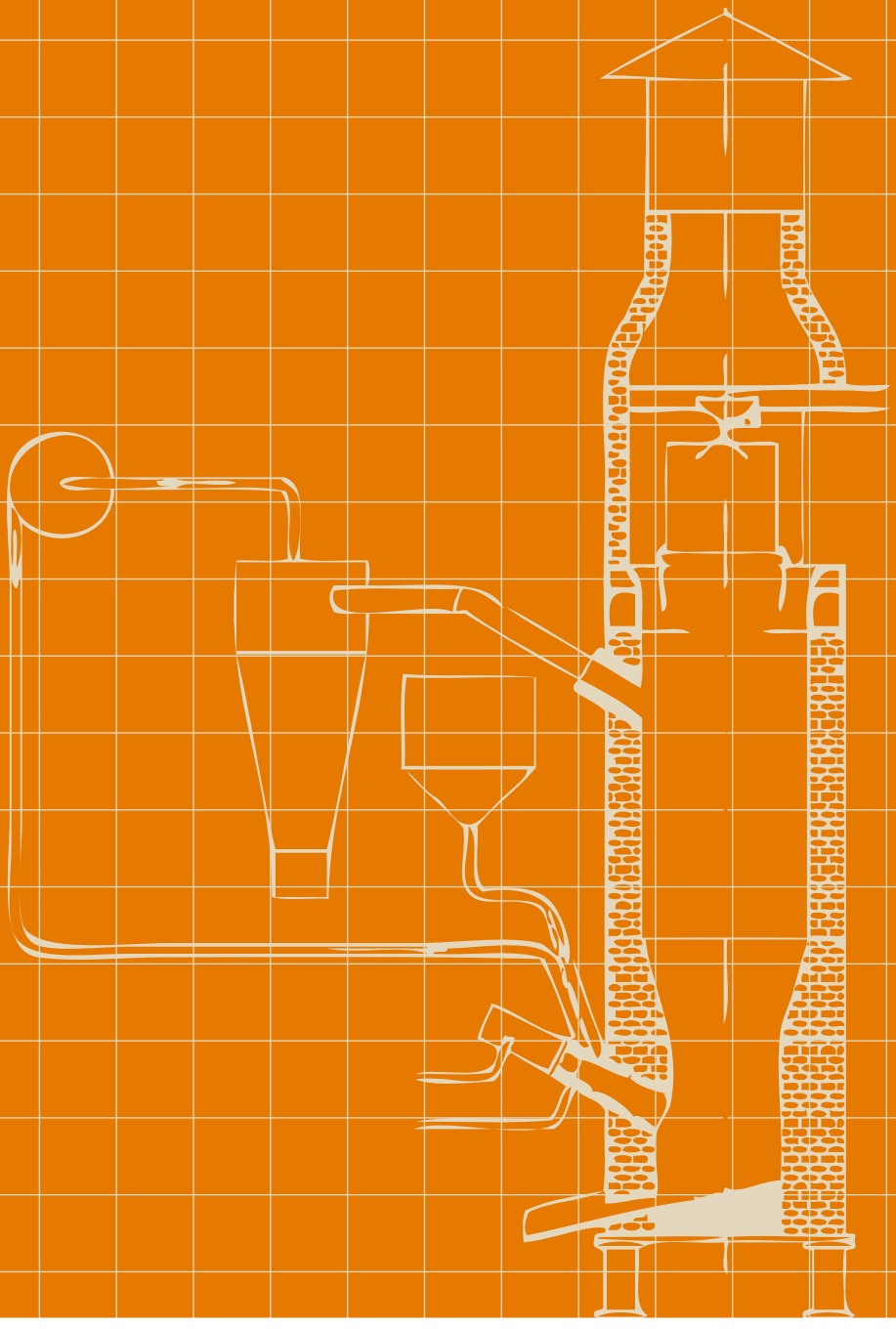
Desenvolvemos peças (Microfundidas e Fundidas) e processos conforme a necessidade de nossos parceiros comercias, nas mais variadas ligas e formas geométricas.
Serviços oferecidos:
1° Fundição e microfusão de aços e ligas especiais com peças que podem variar de 0,030 gramas a 1500 quilos.
2° Usinagem, ferramentaria e modelação.
Somos especialistas na fabricação de materiais para baixa e alta temperatura, materiais resistentes a corrosão, impacto, abrasão e desgastes.

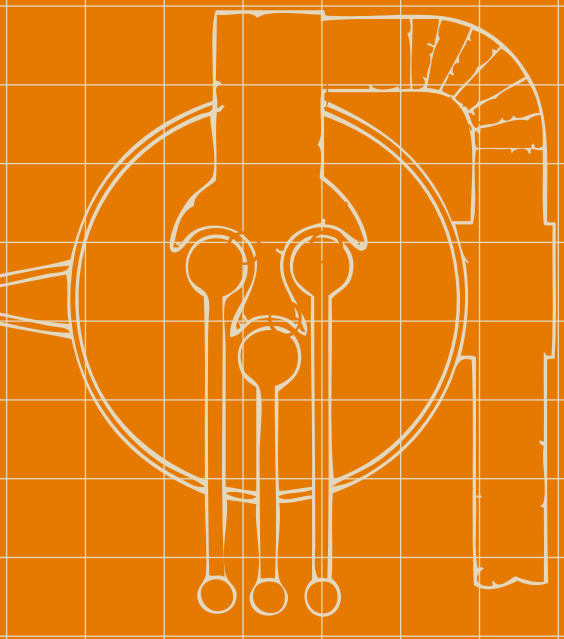
Seguimentos
SUCROENERGÉTICO, VÁLVULAS EM GERAL, PAPEL E CELULOSE, MINERAÇÃO, TRATAMENTO TÉRMICO, AUTOMOTIVO, TRANSPORTE E AGRÍCOLA EM GERAL.

Rua Domingos Fernandes, 356
Cep: 18950-000 | Bairro: Centro |
Ipaussu – SP

Fones: (14)
3344.2635
cel: (19)
99930.4292

atendimento@centerfusao.com.br
www.centerfusao.com.br





Julho 2015

Edição 182

1 Redução de refugo em peças fundidas através de delineamento de experimentos [1]

Geraldo Mitsuo Imamura [2]
Dilmo Rocha Magalhães [3]

RESUMO

Um dos grandes desafios de qualquer processo de fabricação de microfundidos é a repetibilidade do processo a fim dese obter produtos rentáveis ou o custo objetivo. Algumas vezes, a realidade fabril não se apresenta de maneira desejada e uma taxa de refugo ocorre acima do previsto, gerando custos não planejados a toda a cadeia decorrente dessa ineficiência.Para solucionar um problema de refugo éapresentada uma metodologia para mapear as variáveis na fabricação de um produto fundido através do Delineamento de Experimentos, a fim de se minimizar as variações do processo e determinar qual a variávelde maior importância em um problema de alimentação de um produto automotivo, só percebido após processo final de usinagem.

Palavras – chave:Canal de alimentação, delineamento de experimentos

CASTING PARTS SCRAP REDUCTION THROUGH DESIGN OF EXPERIMENT

ABSTRACT

One of the major challenges of any investment casting manufacturing is the repeatability of the process in order to achieve profitable products or cost objective. Sometimes, the industrial reality does not present the desired plan and a scrap rate higher than expected occurs, generating unplanned costs to entire chain due this inefficiency. To solve a scrap problem is presented a methodology for mapping the variables in the manufacturing of a casting through Design of Experiments, in order to minimize process variations and determine the most important variable in a feeding problem of an automotive component, only realized after the end of machining process.

Key words: Feeding gate, design of experiment

1. Trabalho a ser apresentado no 17º CONAF – Congresso de Fundição ABIFA – Associação Brasileira de Fundição, 28 de setembro a 1º de outubro 2015, São Paulo (SP)
2. Engenheiro Metalurgista, Mestre em Engenharia Metalúrgica, Jandinox Indústria e Comércio Ltda. Jandira (SP)
3. Engenheiro Metalurgista, Jandinox Indústria e Comércio Ltda, Jandira (SP)

Obs: Trabalho enviado e aprovado para apresentação no 17ª CONAF.

1 INTRODUÇÃO

Na maioria dos processos de fundição, o metal líquido é fornecido ao molde por um forno de fusão ou panela de vazamento. O conjunto de canais que introduzem o metal líquido dentro desse molde é chamado de sistema de canais de alimentação1.

A literatura2 mostra que este sistema de canais tem como função principal o preenchimento do produto fundido, podendo ser dividido de maneira simplificada em: canal de descida, canal de distribuição e o canal de ataque.

A alimentação de peças microfundidas é realizada inicialmente pela colagem de modelos de cera, injetados previamente em ferramentas construídas de alumínio ou aço, em moldes que também são chamados cachos e ou varetas.

Os cachos podem ser formados por uma única vareta central ou múltiplus canais de descida.

Via de regra, os canais podem ter uma seção em forma de um quadrado ou triângulo de modo a facilitar a colagem dos modelos por cera colante ou por faca aquecida, derretendo a base do canal de ataque e garantindo posição adequada de colagem em uma superfície plana.

Conforme a regra de Chvorinoff3, a relação entre o volume e a área da peça

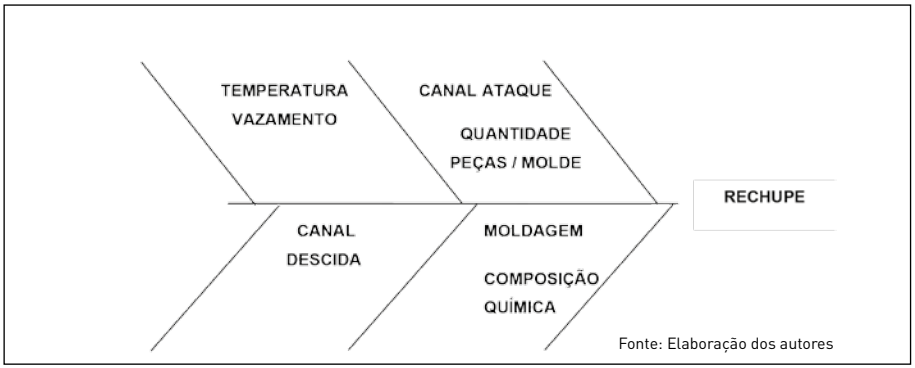


Figura 1. Seleção de fatores para o estudo de defeito de alimentação

fundida que troca calor com o molde leva ao tempo de solidificação aproximado deste item.

Esta regra é considerada a equação fundamental dos métodos para cálculo aproximado das dimensões de massalotes e será utilizada como referência para o estudo de canal lateral ou ataque.

$$ts = K\ Chvo.\ (M)^2$$

2 DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS

O delineamento ou planejamento de experimentos se baseia na técnica desenvolvida pelo Dr. Genichi Taguchi, onde o autor4 propõe um método onde as variáveis de interesse são dispostas em arranjos pré-estabelecidos e a análise dos resultados obtidos através da variação dos valores médios encontrados.

Ainda de acordo com Pimentaet al8, a metodologia Taguchi pode ser definida por dois parâmetros importantes:

a) Redução na variabilidade, ou seja, emprego da engenharia da qualidade no produto ou processo, buscando a melhoria contínua e menor desperdício para a empresa;

b) Aplicação do planejamento estratégico, de forma adequada, objetivando o desenvolvimento de novas pesquisas, visando a otimização do processo e à redução de experimentos em situações reais, repercutindo diretamente em redução de custos com experimentação.

Para o experimento em estudo, o objetivo é checar as influências de variáveis específicas no comportamento da fundição de um produto quanto a um defeito de rechupe percebido apenas após usinagem.

3 DEFINIÇÃO DO ARRANJO EXPERIMENTAL

Para se determinar o arranjo, é necessário saber a quantidade de variáveis que serão analisadas previamente ao estudo do planejamento a ser executado.

Exp	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Fonte: Adaptado de Fowlkes[5]

Tabela 1. Arranjo ortogonal L8 com resolução IV

Essa escolha de variáveis pode ser feita através de um diagrama de causa e efeito, como mostrado na figura 1. As variáveis escolhidas para este estudo de planejamento de experimentos estão descritas na tabela 2.

Após escolhidas as variáveis de maior interesse, determinou-se o arranjo experimental específico e o tipo de interação que pode ser obtida.

O arranjo proposto para 02 níveis com 03 interações é o arranjo L8, com resolução IV.

Como no experimento em análise verificou-se a necessidade de mais níveis na variável 1, o re-arranjo L8 para adequá-los se faz necessário.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Como descrito acima, após a escolha das variáveis determinou-se a quantidade de 42 peças a serem vazadas por experimento, com 06 respostas por teste para se fazer a medição do resultado.

Para se estipular o resultado e extensão do defeito, foram identificados seqüencialmente os produtos fundidos e determinado um critério normalizado para ensaio de inspeçãoconforme a seguinte identificação:

1 = Ruim (defeito rechupe grande e localizado → 0.50 mm2)
2 = Médio (defeito rechupe pequeno em ilhas ←0.25 mm2)
3 = Bom (isento de defeito após usinagem e no núcleo do fundido)

Conforme o critério acima estabelecido, o objetivo do experimento é buscar peças isentas de defeito e na tratativa Taguchi o resultado será o "menor-é-melhor"6.

	VÁRIAVEL	NÍVEL 1	NÍVEL 2	NÍVEL 3	NÍVEL 4
A	Canal ataque	1	2	3	4
B	Canal descida	V1	V2	-	-
C	Temperatura vazamento	T1	T2	-	-

Fonte: Elaboração dos autores

Tabela 2. Arranjo e variáveis utilizadas no experimento

EXP.	CANAL ATAQUE	VARETA	TEMPERATURA
1	Canal 1	V1	T1
2	Canal 1	V2	T2
3	Canal 2	V1	T1
4	Canal 2	V2	T2
5	Canal 3	V1	T2
6	Canal 3	V2	T1
7	Canal 4	V1	T2
8	Canal 4	V2	T1

Tabela 4 .Sequência dos experimentos com as variáveis definidas

5 RESULTADOS

Como demonstrado no estudo, as variáveis escolhidas pela equipe técnica mostram que valores de F→2 conforme Phadke7não deveriam serestatisticamente ignorados e contribuem de maneira relevante para o experimento.

Os resultados somados da participação do canal de alimentação e da temperatura de vazamentorespondem por valores acima de 60%, mostrando que as variáveis escolhidas para o estudo reduzido se mostram importantes e na direção correta da solução do problema.

Quanto a variável canal de descida cuja participação foi irrelevante neste estudo específico, a mesma deve ser mantida em valores economicamente mais baixos.

Não foi objeto deste estudo a análise de interação entre as váriaveis.

6 CONCLUSÃO

A otimização de canais de alimentação e a redução de variação de peça-por--peça através da metologia de delineamento de experimentos leva a uma redução de custo tanto no metal vazado quanto ao produto fundido.

Convém salientar que o estudo de delineamento é reduzido, e nem sempre o resultado objetivo é extraído dos experimentos realizados, porém no estudo em questão isso não aconteceu. Após a fabricação de um novo lote com um número

COL	VARIÁVEL	NÍVEL 1	NÍVEL 2	NÍVEL 3	NÍVEL 4
1	Canal ataque	2,3350	13,7600	0,5201	14,2812
2	Canal descida	7,7462	7,705	-	-
3	Temperatura vazamento	2,6217	12,8312	-	-

Tabela 5 – Média dos resultados encontrados

COL	VARIÁVEL	GL	SUM	F	RESULTADO
1	Canal ataque	3	641,807	6,3874	Siginificante
2	Canal descida	1	0,0068	0,0002	
3	Temperatura vazamento	1	417,078	12,452	Significante

Tabela 6 – Análise de variância do experimento de fundição (ANOVA)

maior de peças e com as variáveis obtidas neste estudoo resultado obtido se mostrou satisfatório e atendendo aos requisitos do cliente.

Os valores finais do experimento otimizado conforme tabela 6, mostram a seguinte configuração das variáveis para otimização de processo: A3B2C1.

REFERÊNCIAS

1 KONDIC, V. Princípios Metalúrgicos de Fundição, p. 252, 1973

2 WLODAWER, R. Directional Solidification of Steel Castings, Pergamon Press, p. 23-27, 1966

3 MÜLLER, ARNO Solidificação e análise térmica dos metais, Porto Alegre: Editora UFRGS, p.68, 2002

4 ROSS, PHILLIP J. Taguchi Techniques for Quality Engineering, McGraw-Hill, p. 63-99, 1988

5 FOWLKES, WILLIAM Y. Engineering Methods for Robust Product Design, Addison-Wesley, p. 371-384, 1995

6 LOCHNER, ROBERT H. Designing for Quality: An introduction to the best of Taguchi and Western methods of statistical experimental design, Quality Resources, p. 136, 1990

7 PHADKE, MADHAV S. Quality engineering using robust design, Prentice Hall, p. 58, 1989

8 PIMENTA, C. D. Método Taguchi aplicado na identificação dos fatores causadores da descarbonetação do arame de aço SAE 51B53, durante tratamento térmico de esferoidização GEPROS Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Ano 7, no 2, abr-jun/2012, p.97-108

2 Eficiência energética como estratégia de excelência operacional e sustentabilidade corporativa – Tupy Fundições [1]

Rogerio Iannaccaro[2]
Rodrigo Augusto Neves[3]

RESUMO

Em um mundo globalizado, a redução de custos é fator fundamental para aumentar a competitividade. A administração dos recursos energéticos e implantação de projetos de eficiência energética são fatores essenciais para atingir o objetivo de redução de custos de produção e melhoria do desempenho econômico das empresas. Nesta linha, realizar o diagnóstico de eficiência energética foi o que fez a TUPY, uma das maiores empresas de fundição do mundo, em conjunto com as empresas WEG e APS.

O diagnóstico contemplou os motores dos filtros de mangas, torres de resfriamento e acionamentos de equipamentos diversos que concentravam parcela significativa do consumo.

A aplicação nos filtros e torres se baseou na substituição do motor elétrico por um motor de alta eficiência acionado por inversor de frequência interligado a um transmissor de pressão nos filtros e de temperatura nas torres, promovendo o ajuste da rotação do motor do ventilador a partir da necessidade do processo. No caso dos filtros, o número de pontos de captação em operação e das torres, a carga térmica de resfriamento do processo.

Nos filtros houve redução média de 22% no consumo de energia elétrica e ganhos indiretos com o aumento da vida útil das mangas. Nas torres a redução média foi de 34% no consumo de energia elétrica e redução no consumo de água e produtos químicos da torre. A substituição dos motores diversos proporcionou uma redução de 3% no consumo de energia elétrica.

Palavras-chave: Eficiência energética, Redução de custo, Confiabilidade.

ENERGY EFFICIENCY AS OPERATIONAL EXCELLENCE STRATEGY AND CORPORATE SUSTAINABILITY – TUPY FOUNDRIES

ABSTRACT

In a globalized world, the cost reduction is fundamental to increase competitiveness. The management of energy resources and implementation of energy efficiency projects are essential to achieve this goal of reducing production costs and improving the economic performance of companies. TUPY, one of the world´s largest foundries, did it working with energy efficiency project together with the WEG and APS companies.

The diagnosis included the electric motors of bagger filters, cooling towers and drives of various equipments that concentrated significant portion of consumption. Applying the bagger filters and cooling towers based on the replacement of the electric motor of a high efficiency motor with VFD connected to a pressure transmitter in the bagger filters and the temperature in the cooling tower, providing the adjustment of fan motor rotation from the need of the process. In the case of bagger filters, the number of tubing in capturing operation and the cooling towers, of the thermal loading of the process.

The bagger filters provided a mean saving of 22% in electricity consumption and indirect gains with increased lifetime of the filters. The cooling tower provided a mean saving of 34% in electricity consumption and reduced consumption of water and chemicals of the cooling tower. The replacement of motors in other applications provided a saving of 3% in electricity consumption

Key words: Energy Efficiency, Cost Reduction, Reliability.

(1) 17º Congresso ABIFA de Fundição, 28/09 à 01/10/2015, São Paulo-SP.

(2) Gerente de Manutenção, TUPY.

(3) Engenheiro Eletricista do Centro de Negócios de Eficiência Energética, WEG Equipamentos Elétricos S.A.

Obs: Trabalho enviado e aprovado para apresentação no 17ª CONAF.

Fonte: Site Celesc, elaborado a partir de IEI (2011).

Figura 1. Linha do tempo das alterações na regulamentação do PEE

1 INTRODUÇÃO

Passamos por um momento onde o perigo de um possível esgotamento das fontes naturais para geração de energia exigem que, cada vez mais, saibamos utilizar esses recursos de forma adequada e econômica, o que abre um vasto campo de aplicação de métodos de eficiência energética em diversos setores, industriais, comercias, residenciais entre outros.

Por si só eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. Também abrange a otimização do uso dos recursos energéticos, desde suas fontes primárias até seu aproveitamento.

Na busca por redução de custos e impacto ambiental, a eficiência energética vem sendo constantemente buscada pelas empresas em geral.

Nas indústrias de fundição, o cenário não é diferente, necessitam cada vez mais estar focadas em produtividade e administração dos custos. Neste contexto, reduzir custos com energia elétrica - um insumo de relevância no processo – torna-se uma grande prioridade.

Conduzir ações que promovam a economia do uso de energia é uma necessidade constante. Mas estas ações podem ter também um espectro amplo, pois é a oportunidade de inovação dos equipamentos obtendo outros benefícios como automação e melhoria dos processos. Não somente nas indústrias de fundição, mas nos demais segmentos industriais, o consumo de energia elétrica representa uma parcela importante nos custos de produção, ampliando significativamente o uso racional de energia e os motores elétricos são, normalmente, os maiores responsáveis pelo consumo energético (EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS, FUPAI, Itajubá - MG, 2001).

Uma análise das plantas de fundição mostram os equipamentos filtros de mangas, torres de resfriamento, entre outros, como um ponto fundamental a ser tratado, pois concentram uma parcela significativa do consumo. Entender como funcionava o processo e aplicar soluções de eficiência energética nestes equipamentos foi o que fez a TUPY em conjunto com a WEG e a empresa de engenharia APS.

O projeto de eficiência energética consistiu na redução do consumo de energia elétrica e custos de manutenção, aumentando a confiabilidade de todo o sistema do filtro de mangas, torres de resfriamento e equipamentos diversos.

Fonte: Filtro Manga Fundição TUPY

Figura 2. Sistema de Despoeiramento

Uma das principais funções dos filtros de mangas é o despoeiramento, ou seja, a eliminação de sólidos do ambiente. Quanto menos pontos de captação estiverem em operação, ou, menor quantidade de sólidos suspensos em propagação gerada pelo processo, seja por volume de produção ou diferentes produtos em fabricação, menor o esforço necessário do motor do exaustor do filtro.

Nos projetos padrões esta menor necessidade de sucção do exaustor é controlada fechando-se um "damper" (que não proporciona redução do consumo de energia) ou pior e mais comum, não fazendo nenhuma ação de ajuste, elevando ainda o custo operacional de todo o sistema. Foi realizado o projeto utilizando um motor de alta eficiên-

Fonte: Pontos de Captação Fundição TUPY

Figura 3. Sistema de captação do filtro

cia acionado por inversor de frequência e controlado por um transmissor de pressão, mantendo o sistema de exaustão dentro das suas características operacionais ideais, reduzindo substancialmente o consumo de energia elétrica.

Seguindo o mesmo principio visualizou-se um potencial de economia ao analisar a característica de operação das torres de resfriamento. Para tanto foi preciso estudar as interações das torres de resfriamento com o processo e também o efeito das variações operacionais que seriam impostas as torres.

O projeto consiste na variação da velocidade dos ventiladores das torres, de acordo com a exigência/carga térmica de resfriamento do processo, variáveis em termos de produção e turnos de trabalho, considerando ainda a temperatura ambiente. Desta forma foi aplicado um motor de alta eficiência acionado por um Inversor de frequência interligado a um sensor e controlador de temperatura. Com a variação da temperatura ambiente e/ou variação da temperatura da água no processo, a necessidade de resfriamento da torre se altera. Esta informação é reconhecida pelo sensor e controlador de temperatura e enviada ao inversor que comanda a velocidade do motor de alta eficiência do ventilador da torre, reduzindo substancialmente o consumo de energia elétrica.

Realizado ainda a substituição de motores de baixo rendimento de maquinas diversas, para motores com uma tecnologia atual, com rendimentos elevados (motores de alta eficiência). Aumentando a confiabilidade, disponibilidade destes equipamentos, bem como a renovação do parque fabril.

Este projeto foi viabilizado via PROPEE (Programa de Eficiência Energética) da concessionária Celesc. Conforme determina a legislação específica, em particular a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000 (BRASIL, 2000), as empresas concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica, doravante denominadas distribuidoras, devem aplicar um percentual mínimo da receita operacional líquida (ROL) em Programas de Eficiência Energética, segundo regulamentos da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. O percentual mínimo da receita operacional líquida (ROL) das distri-

Fonte: Fundição TUPY

Figura 4. Motor de Alta eficiência com Inversor

buidoras que deve ser aplicado no PEE, bem como sua regulamentação específica, tem sido alterado ao longo do tempo (Figura 1). As alterações foram introduzidas por meio de legislação específica (Lei e Resolução Normativa), as quais são amplamente divulgadas e disponíveis no portal da ANEEL (www.aneel.gov.br), na área relativa ao PEE.

O objetivo do PEE é promover o uso eficiente e racional de energia elétrica em todos os setores da economia por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de ações de combate ao desperdício e de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia. Para isso, busca-se maximizar os benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada no âmbito desses programas. Busca-se, enfim, a transformação do mercado de energia elétrica, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para aplicação do projeto foi necessário conhecer as características do funcionamento dos filtros de manga, torre de resfriamento e equipamentos diversos, regime de operação e as especificações técnicas dos equipamentos, implicando também no conhecimento do processo referente ao que ocorre no equipamento.

A metodologia utilizada é ordenada por cinco etapas:

Etapa 1 – Análise dos dados do motor;

Etapa 2 – Visão geral do processo;

Etapa 3 – Diagnóstico das condições operacionais;

Etapa 4 – Substituição do motor tradicional pelo motor de alta eficiência, aplicação de inversor de frequência, associado a sensores e transmissores de pressão e temperatura (automação do sistema);

Etapa 5 – Medições para a avaliação dos resultados.

O projeto foi aplicado, mantendo a igualdade do processo, tempo de operação, potência dos motores, especificação dos exaustores/ventiladores, enfim, todas as carac-

Figura 5. Transmissor de Pressão

terísticas básicas, porém proporcionando uma expressiva economia de energia que foi possível devido à substituição do motor standard de baixo rendimento por um motor de rendimento superior (alta eficiência), acrescido ao controle de velocidade através do Inversor de frequência, também devido à característica da curva de potência dos ventiladores, onde a potência consumida é proporcional a sua rotação elevada ao cubo. Assim, uma pequena redução da rotação produz uma sensível redução do consumo de energia (JORDAN, HOWARD E., ENERGY EFFICIENT ELECTRIC MOTORS AND THEIR APPLICATION, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1983).

2.1 FILTRO DE MANGA

Os filtros de manga/sistemas de despoeiramento (Figura 2) são aplicados em processos industriais onde há a necessidade de retirada de particulados ou gases resultantes destes mesmos processos. Tem por finalidade minimizar os impactos ambientais e/ou de riscos de segurança aos trabalhadores e ao patrimônio. O despoeiramento é realizado através de pontos de captação/captores (Figura 3), sejam estes distribuídos em células específicas de produção, ou ao longo de uma cadeia produtiva. O ar aspirado é então conduzido para o sistema de filtração, onde os particulados ficam retidos nos elementos filtrantes e o ar é devolvido à atmosfera em conformidade com as legislações ambientais.

Para estas aplicações, os sistemas de exaustão são especificados para suprir o despoeiramento de todos os pontos de captação existentes no sistema. Porém, em muitos processos os captores são utilizados em células de produção independentes e, portanto, sujeitos a horários intermitentes e períodos de ociosidade, fazendo com que o motor elétrico acionador do exaustor opere de forma a desperdiçar energia elétrica.

Optar por fechar estes pontos ociosos pode não afetar ou reduzir discretamente o consumo de energia, porém poderá impactar também no aumento da pressão do sistema, o que pode vir a comprometer a vida útil dos componentes do sistema de des-

Figura 6. Torre de Resfriamento com motor de alta eficiência com Inversor

Figura 7. Motores de Alta eficiência de equipamentos diversos

poeiramento (danos aos elementos filtrantes, etc). Desta forma, baseando-se no ajuste da rotação do motor do exaustor a partir da variação do processo, no caso o número de pontos de captação, a forma de controle se dá ao fechar o "damper" do ponto de captação inoperante, elevando assim a pressão do sistema. O transmissor de pressão capta esta elevação e controla a velocidade do motor de alta eficiência através do inversor de frequência, mantendo o sistema de exaustão dentro das suas características operacionais ideais, reduzindo substancialmente o consumo de energia elétrica.

Um detalhe importante a ser verificado antes da efetiva implementação é a avaliação critica do projeto quanto às modificações realizadas e o material a ser succionado, devido à restrição do sistema de despoeiramento quanto aos limites mínimos de vazão possível. Caso sejam alterados indevidamente podem comprometer a eficiência do sistema, ocasionado obstrução da tubulação principal.

2.1.1 APLICAÇÃO DO PROJETO

Substituição do motor standard de baixo rendimento pelo motor de alta eficiência acionado por inversor de frequência (Figura 4).

2.2 TORRE DE RESFRIAMENTO

Na indústria de um modo geral, a torre de resfriamento é utilizada para a realização

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	AMOSTRAS Plano M&V	AMOSTRAS Medidas
Exaustores – Motores 20cv	1	1	1
Exaustores – Motores 30cv	3	2	2
Exaustores – Motores 40cv	4	2	2
Exaustores – Motores 50cv	6	2	2
Exaustores – Motores 60cv	9	2	2
Exaustores – Motores 75cv	6	2	2
Exaustores – Motores 100cv	5	2	2
Exaustores – Motores 125cv	2	2	2
Exaustores – Motores 150 cv	4	2	2
Exaustores – Motores 175 cv	1	1	1
Exaustores – Motores 200 cv	8	2	2
Exaustores – Motores 250 cv	9	2	2
Exaustores – Motores 270 cv	1	1	1
Exaustores – Motores 300 cv	3	2	2
Exaustores – Motores 350 cv	2	2	2
Exaustores – Motores 400 cv	2	2	2
Exaustores – Motores 545 cv	1	1	1
TOTAL	67	30	30

Fonte: Motores da fundição TUPY

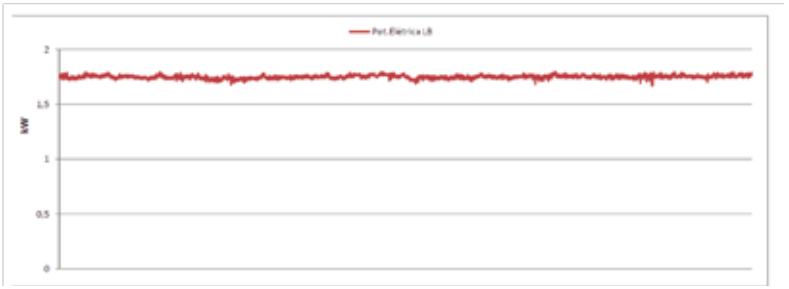
Tabela 1. Motores medidos - 14/01/2014

da troca térmica da água em processos industriais, onde há máquinas ou sistemas cuja temperatura necessita de controle, seja para a qualidade da produção ou a rotina operacional dos equipamentos.

As torres de resfriamento são dimensionadas a partir dos valores de vazão e temperatura da água a ser resfriada, e como padrão são projetadas em função da maior temperatura de bulbo úmido (TBU) do local de instalação.

Mas, durante o ano, o valor médio da temperatura pode ser menor que a considerada devido às condições climáticas local. Variações de processo devido sazonalidades de produção e diferenças de temperatura durante o tempo de operação (turnos diurno e noturno) também podem fazer com que a temperatura média real fique abaixo da estimada no projeto. Tais variáveis podem fazer com que a torre de resfriamento opere "sobre dimensionada", resfriando a água mais do que o processo solicita e, portanto consumindo energia elétrica de forma desnecessária.

Desta forma, o projeto de eficiência energética foi desenvolvido para reduzir o consumo de energia elétrica do sistema de ventilação da torre de resfriamento através do controle da temperatura da água da bacia da torre através de um sensor e um transmissor de temperatura, cujo sinal de controle é transmitido ao inversor de frequência,



Fonte: Motores da fundição TUPY

Figura 8. Gráficos de medições das grandezas elétricas

que varia a rotação do motor elétrico de alta eficiência do ventilador, insuflando mais ou menos ar considerando a variação de temperatura do processo, de bulbo úmido (TBU) nos diferentes turnos, adequando à ventilação da torre em função desta demanda.

Atenção deve ser dada ao limite de rotação mínima possível do motor elétrico (ponto que deve ser observado pelas características do mesmo e da instalação) e à correta parametrização do sistema remoto - inversor de frequência e transmissor de temperatura (FITZGERALD, A.E., MÁQUINAS ELÉTRICAS, McGraw-Hill do Brasil Ltda, São Paulo-SP, 1975).

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	AMOSTRAS Plano M&V	AMOSTRAS
Torres de Resfriamento – Motores 3 cv	10	2	2
Torres de Resfriamento – Motores 5 cv	2	2	1
Torres de Resfriamento – Motores 7,5 cv	12	2	2
Torres de Resfriamento – Motores 10 cv	13	2	2
Torres de Resfriamento – Motores 12,5 cv	20	2	2
Torres de Resfriamento – Motores 20 cv	17	2	2
Torres de Resfriamento – Motores 30 cv	1	1	1
Torres de Resfriamento – Motores 40 cv	1	1	1
Torres de Resfriamento – Motores 50 cv	1	1	1
TOTAL	**77**	**15**	**14**

Fonte: Motores da fundição TUPY

Tabela 2. Motores medidos - 14/01/2014

2.2.1 APLICAÇÃO DO PROJETO

Substituição do motor standard de baixo rendimento pelo motor de alta eficiência com Inversor de frequência (Figura 6).

2.3 EQUIPAMENTOS DIVERSOS

A substituição de motores elétricos antigos por motores novos com a recuperação do investimento através dos ganhos de eficiência energética trata-se de uma via relativamente pouco explorada e com interessantes possibilidades. Os motores antigos (classe standard) possuem rendimentos inferiores aos motores elétricos de alta eficiência.

As substituições nestes casos representam uma das ações em eficiência energética mais representativa para aplicação na indústria.

2.3.1 APLICAÇÃO DO PROJETO

Substituição dos motores standard via de regra, com rendimentos em classes muito inferiores ou sequer seguindo normalizações por motores de alta eficiência (Figura 7).

Foi aplicado o Plano de Medição & Verificação (M&V) para a quantificação dos resultados da eficientização dos filtros de mangas, torres de resfriamento e equipamentos diversos, empregando a opção "A" do Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (PIMVP) nos equipamento antigos (linha de base) e nos equipamentos eficientes (pós retrofit). A escolha da metodologia foi embasada em aspectos técnicos, conforme descrito abaixo (Tabela 4 do Volume I do PIMVP, EVO 10000 – 1:2012).

- Avaliação Individual da ação: faz se necessária a avaliação individual da me-

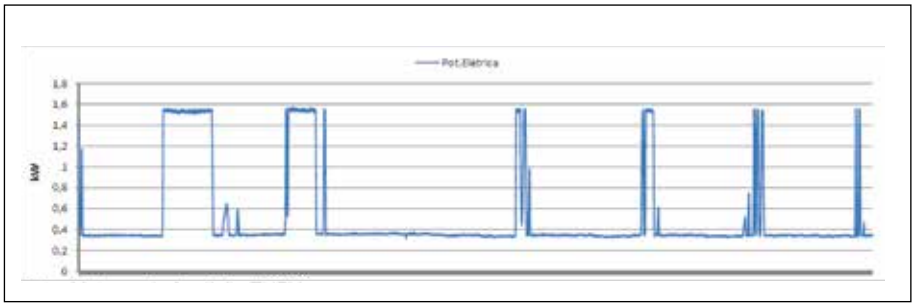


Figura 9. Gráficos de medições das grandezas elétricas

dida de conservação de energia, visto que o projeto contempla mais de uma ação proposta;

- Variedade de tipologias: constataram-se em campo diferentes tipos de sistemas de força motriz, nos mais variados locais e configurações de operação;

Os resultados das ações de conservação de energia nos filtros, torres de resfriamento e equipamentos diversos são quantificados em energia economizada e redução de demanda.

O limite para determinação dos resultados é restritos aos equipamentos envolvidos no projeto. As medições para determinação das variáveis envolvidas na quantificação dos resultados foram realizadas diretamente nos equipamentos em um período de sete dias consecutivos.

3.1 FILTRO DE MANGAS

Os dados medidos foram:

- Medição das grandezas elétricas dos motores dos exaustores;
- Medição da temperatura de saída do ar, após o exaustor;
- Medição da pressão na entrada e saída do exaustor;
- Medição da velocidade do ar na saída do exaustor.

Para a quantificação dos resultados foram realizadas medições em amostras das tipologias do sistema de força motriz dos exaustores, escolhidas a partir do ambiente a qual se encontra. Estas amostras foram selecionadas a partir dos dados obtidos no levantamento dos equipamentos.

O número de amostras (Tabela 1) é o mesmo nos dois períodos de medição (Figura 8) já que não há mudança na quantidade de motores.

3.2 TORRE DE RESFRIAMENTO

Os dados medidos foram:

- Medição das grandezas elétricas dos motores dos ventiladores;
- Medição da temperatura da água do retorno do processo;
- Medição da temperatura da água da bacia;

Descrição	Quantidade Motores	Amostras Plano M&V	Amostras Medidas
Motores em Geral – Bomba centrifuga de 30cv	1	1	1
Motores em Geral – Bomba centrifuga de 40cv	2	2	2
Motores em Geral – Bomba centrifuga de 100cv	2	1	1
Motores em Geral – Bomba hidráulica de 30 cv	1	1	1
Motores em Geral – Bomba hidráulica de 40 cv	1	1	1
Motores em Geral – Bomba hidráulica de 50 cv	4	2	2
Motores em Geral – Bomba hidráulica de 60cv	17	2	2
Motores em Geral – Broxadeiras de 40cv	1	1	1
Motores em Geral – Brunidora de 15cv	2	2	2
Motores em Geral – Circulador de 30cv	26	2	2
Motores em Geral – Esmerilhadora de 75cv	4	2	2
Motores em Geral – Esmerilhadora de 100cv	6	2	2
Motores em Geral – Esmerilhadora de 125cv	5	2	2
Motores em Geral – Esteira de 40cv	1	1	1
Motores em Geral – Fresa de 15cv	2	2	2
Motores em Geral – Fresa de 20cv	3	2	2
Motores em Geral – Fresa de 25cv	2	2	2
Motores em Geral – Fresa de 30cv	4	2	2
Motores em Geral – Fresa de 40cv	3	2	2
Motores em Geral – Fresa de 50cv	3	2	2
Motores em Geral – Exaustor de 40cv	1	1	1
Motores em Geral – Exaustor de 50cv	1	1	1
Motores em Geral – Misturador de 50cv	2	2	2
Motores em Geral – Misturador de 250cv	4	2	2
Motores em Geral – Misturador de 350cv	4	2	2
Motores em Geral – Tamborão de 40cv	4	2	2
*Motores em Geral – Turbina de 10cv	1	1	1
Motores em Geral – Turbina de 30cv	15	2	4
Motores em Geral – Turbina de 40cv	10	2	2
Motores em Geral – Turbina de 50cv	16	2	2
Motores em Geral – Turbina de 60cv	2	2	2
Motores em Geral – Turbina de 75cv	4	2	2
TOTAL	**154**	**55**	**57**

Tabela 3. Motores medidos - 14/01/2014

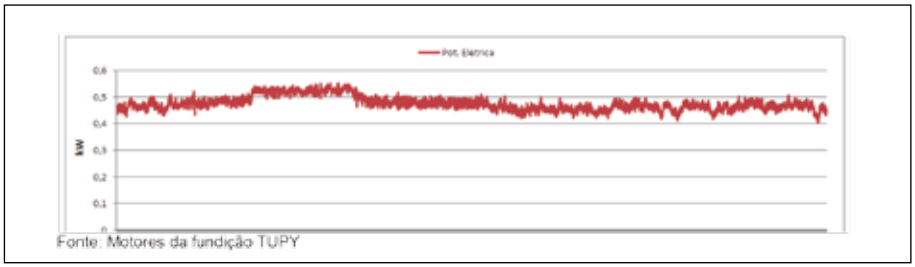


Figura 10. Gráficos de medições das grandezas elétricas

- Medição da temperatura externa e umidade relativa;
- Medição da pressão de recalque da bomba.

Para a quantificação dos resultados foram realizadas medições em amostras das tipologias do sistema de força motriz, escolhidas a partir do ambiente a qual se encontra. Estas amostras foram selecionadas a partir dos dados obtidos no levantamento dos equipamentos, e nos mesmos locais monitorados no período da linha de base.

O número de amostras (Tabela 2) é o mesmo nos dois períodos de medição (Figura 9) já que não há mudança na quantidade de motores.

3.3 EQUIPAMENTOS DIVERSOS

Os dados medidos foram:

- Medição das grandezas elétricas dos motores.

Para a quantificação dos resultados foram realizadas medições em amostras das tipologias do sistema de força motriz, escolhidas a partir do ambiente a qual se encontra. Estas amostras foram selecionadas a partir dos dados obtidos no levantamento dos equipamentos, e nos mesmos locais monitorados no período da linha de base.

O número de amostras (Tabela 3) é o mesmo nos dois períodos de medição (Figura 10) já que não há mudança na quantidade de motores.

4 RESULTADOS

4.1.1 Filtro de Mangas

O projeto dos filtros contemplou a substituição de 67 motores standard para motores de alta eficiência (totalizando uma potencia instalada 10.150cv – motores de 20 a 545 cv), a instalação de 67 inversores de frequência e transmissores de pressão.

Estes equipamentos apresentavam um consumo de energia de 37.744,76 MWh/ano. Após a aplicação do projeto foi constatado através das medições, um consumo de energia de 29.448,44 MWh/ano, proporcionando assim, uma economia de 8.296,33 MWh/ano (22%).

PROJETO	ENERGIA ECONOMIZADA		
Torres de resfriamento	1.748,16		MWh / ano
Sistemas de Exaustão	8.296,22		MWh / ano
Motores em geral	597,45		MWh / ano
TOTAL	10.641,83	MWh / ano	17,28%

Fonte: Projeto PEE da fundição TUPY

4.1.2 Torre de Resfriamento

O projeto das torres contemplou a substituição de 77 motores standard para motores de alta eficiência (totalizando uma potencia instalada de 970cv – motores de 3 a 50 cv), a instalação de 77 inversores de frequência e sensores de temperatura.

Estes equipamentos apresentavam um consumo de energia de 5.065,86 MWh/ano. Após a aplicação do projeto foi constatado através das medições, um consumo de energia de 3.317,04 MWh/ano, proporcionando assim, uma economia de 1.748,83 MWh/ano (34%).

4.1.3 Equipamentos diversos

O projeto dos equipamentos diversos contemplou a substituição de 154 motores standard para motores de alta eficiência (totalizando uma potencia instalada de 9.375cv – motores de 15 a 350 cv).

Estes equipamentos apresentavam um consumo de energia de 18.772,53 MWh/ano. Após a aplicação do projeto foi constatado através das medições, um consumo de energia de 18.175,07 MWh/ano, proporcionando assim, uma economia de 597,44 MWh/ano (3%).

No total o projeto contemplou a substituição de 298 motores e a aplicação de 144 inversores. A TUPY economizará 10.641,83 MWh/ano (equivalente a 2,06% do consumo atual), além da redução de 394,57 kW da demanda no horário de ponta, totalizando uma economia de 17,28% (Quadro 1).

Proporcionando uma economia mensal de R$ 169.570,00, com um valor de energia conservada em R$ 91,54 MWh.

Esta economia equivale ao consumo de 4.300 residências.

5 DISCUSSÃO

A implantação de ações de modernização e eficientização do sistema de força motriz, através da substituição de motores elétricos e instalação de inversores de frequência no acionamento dos filtros de mangas, torres de resfriamento e equipamentos diversos, proporcionaram além dos benefícios em termos de redução do consumo de energia elétrica e demanda que decorrem imediatamente da implantação do projeto, a redução dos custos de manutenção decorrente da melhoria na confiabilidade dos sistemas agora modernizados.

Além de alguns possíveis ganhos indiretos, como: aumento da vida útil das mangas (elementos filtrantes), redução da abrasão e condensação, evitando possíveis obstruções das tubulações dos filtros, estabilidade da temperatura e do processo, automação do sistema, redução no consumo de água e produtos químicos das torres.

6 CONCLUSÃO

O projeto ganha importância dada à grande aplicação destes sistemas em indústrias dos mais diversos segmentos (pois o principio de funcionamento dos filtros e torres em todos os segmentos é padrão), favorecendo o crescimento econômico destas e consequentemente contribuindo com a redução do impacto da demanda energética do país, contribuindo ainda de uma maneira geral para a redução do impacto ambiental.

Motores de alta eficiência alimentados por inversor de frequência podem ser amplamente utilizados na indústria, onde a variação de velocidade com torque constante e alto desempenho são requeridos como em sistemas de exaustão/ventilação. Surge então uma ampla gama de oportunidades para a indústria, onde há o destaque para a economia de energia, redução do desgaste dos equipamentos e automatização de processos, pontos importantes para a competitividade de nossa indústria.

REFERÊNCIAS

[1] Vários autores, Conservação de Energia: Eficiência Energética de instalações e Equipamentos, FUPAI, Itajubá - MG, 2001.

[2] Jordan, Howard E., Energy efficient electric motors and their application, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1983.

[3] Fitzgerald, A.E., Máquinas elétricas, McGraw-Hill do Brasil Ltda, São Paulo-SP, 1975.

3 Redução do consumo de energia elétrica na fundição – fusão em forno cubilô[1]

Pedro Henrique Carpinetti Costa2
Ronaldo Fenili3

Resumo

Com o atual cenário de abastecimento e custo da energia elétrica no Brasil, as fundições de ferro, que pela característica do processo apresentam uma alta demanda de energia, precisam rapidamente buscar alternativas para a redução no consumo ou principalmente substituição da energia elétrica por outras fontes energéticas. Neste caso, o forno cubilô se apresenta como a melhor alternativa à fusão em fornos de indução, hoje o principal forno de fusão nas fundições brasileiras. O objetivo deste trabalho é fornecer subsídios que auxiliem as fundições na tomada de decisão na hora de promover um aumento da sua capacidade de fusão ou na análise de substituição do processo de fusão em uso. Os modernos fornos cubilô apresentam grande estabilidade de processo, altas temperaturas e regularidade de composição química do metal, com campanhas de curta ou longa duração. O baixo consumo de coque permite alcançar custos operacionais da ordem de 20 a 25% menor que os verificados em fornos de indução. O investimento em unidades completas incluindo sistemas de limpeza de gases é 2 a 5 vezes menor que em fornos à indução. O fornecimento de coque com baixo teor de cinza, baixo teor de enxofre e excelente propriedade mecânica é realizado por coquerias nacionais, com capacidade de produção para atender a crescente demanda deste produto. Alternativas de dessulfuração externa do metal estão disponíveis para a produção no forno cubilô de ferros fundidos nodulares de qualidade.

Palavras-chave: Cubilô; energia; coque; dessulfuração.

REDUCTION OF ELECTRIC POWER CONSUMPTION IN FOUNDRY – FUSION IN CUPOLA FURNACE

Abstract

With the current situation of supply and cost of electricity in Brazil, iron foundries (whose process characteristic feature a high energy demand) need to quickly find alternatives to reduced consumption or mainly replace of electricity for other energy sources. In this case, the cupola furnace is presented as the best alternative to fusion in induction

furnaces, currently the main melting furnace in Brazilian foundries. The objective of this paper is to provide grants to assist foundries in decision-making when promoting an increase in melting capacity or analysis replacement of the melting process in use. Modern cupola furnaces have high process stability,high temperature and regularity of metal chemical composition, withlong or short campaigns. The low coke consumption will achieve operating costs of around 20-25% lower than those found in induction furnaces. Investment in complete units including gas cleaning systems is 2-5 times smaller than the similar capacity induction furnace. The supply of coke with low ash, low sulfur content and excellent mechanical property is held by domestic coking plants, with sufficient production capacity to meet the growing demand for this product. External metal desulfurization methods are available for producing in cupola furnace nodular cast iron

Key words: cupola; energy; coke; desulphurization.

[1] Trabalho a ser apresentado no 17º CONGRESSO ABIFA DE FUNDIÇÃO - CONAF 2015

[2] Engenheiro Metalurgista e Mestre em Engenharia Metalúrgica – Consultor da Penta Assessoria em Fundição, Joinville, SC

[3] Engenheiro Metalurgista e Mestre em Engenharia Metalúrgica – Consultor da Penta Assessoria em Fundição, Joinville, SC

Obs: Trabalho enviado e aprovado para apresentação no 17ª CONAF.

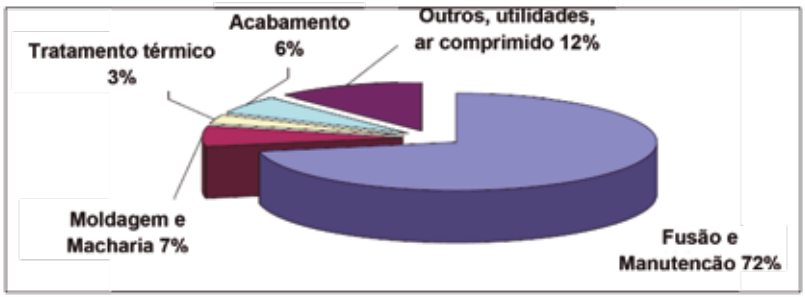
1 INTRODUÇÃO

A matriz de geração de energia elétrica no Brasil depende fundamentalmente de hidrelétricas e consequentemente do volume de chuvas nas regiões que abastecem os reservatórios destas usinas. Nos últimos anos, em virtude de secas prolongadas e de outros fatores ligados a investimentos na área de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica estamos frente a uma incerteza no abastecimento deste insumo fundamental às atividades econômicas notadamente à indústria de fundição de ferro que pela característica do processo apresenta uma alta demanda de energia.

O objetivo deste trabalho é levantar informações que permitam às fundições tomar a melhor decisão na hora de promover um aumento da sua capacidade de fusão ou na análise de substituição de processo de fusão atualmente em uso.

Não se dispõe de uma informação precisa da distribuição do consumo de energia (total, elétrica, coque, óleo etc.) por etapa do processo na indústria de fundição no Brasil, mas há indícios pelos levantamentos empíricos realizados que tem uma distribuição semelhante à determinada para o parque de fundição americano, onde se verifica (figura 1) que o grande consumo energético concentra-se na fusão do metal.

Como se observa, a etapa do processo que concentra o maior consumo de energia é sem dúvida a fusão e manutenção do metal líquido.Ainda segundo Schifo e Radia1,



Fonte: US Department of Energy – Theoretical/best practice energy use in metal casting operations – J. F. Schifo and J.T. Radia1.

Figura 1. Perfil de distribuição do consumo de energia nos diversos processos na indústria de fundição.

o método de fusão na indústria de fundição nos Estados Unidos tem a distribuição por tipo de forno apresentada na figura 2.Um comportamento semelhante ao modelo Americano, verifica-se na Europa.

Embora na Europa e Estados Unidos a produção de ferro fundido utilizando o forno cubilô continue tendo uma grande importância, o que se assistiu no Brasil nos últimos anos foi uma redução significativa do número de fundições que utilizam este equipamento para produção de ferro fundido.

Esta constatação se dá principalmente em fundições de pequeno porte, que buscaram substituir o forno cubilô por fusão em forno elétrico.Empresas de médio e grande porte, que são poucas no universo metalúrgico brasileiro, continuam apostando no uso do forno cubilô para fusão de ferro fundido.

No parque fabril brasileiro a distribuição percentual de fusão por tipo de forno, de acordo com o levantamento realizado com base nos dados do Anuário ABIFA 20122, mostra uma participação muito maior do forno elétrico de Indução, como mostra a figura 3.

Este comportamento diferente da indústria de fundição de ferro no Brasil, em termos de tipo de energia usada na geração do metal líquido, em relação aos Estados Unidos e Europa, deve ser melhor avaliado, principalmente considerando que o preço da energia elétrica no Brasil éacentuadamente maior. Numa primeira abordagem pode-se imaginar como fatores preponderantes as seguintes características:

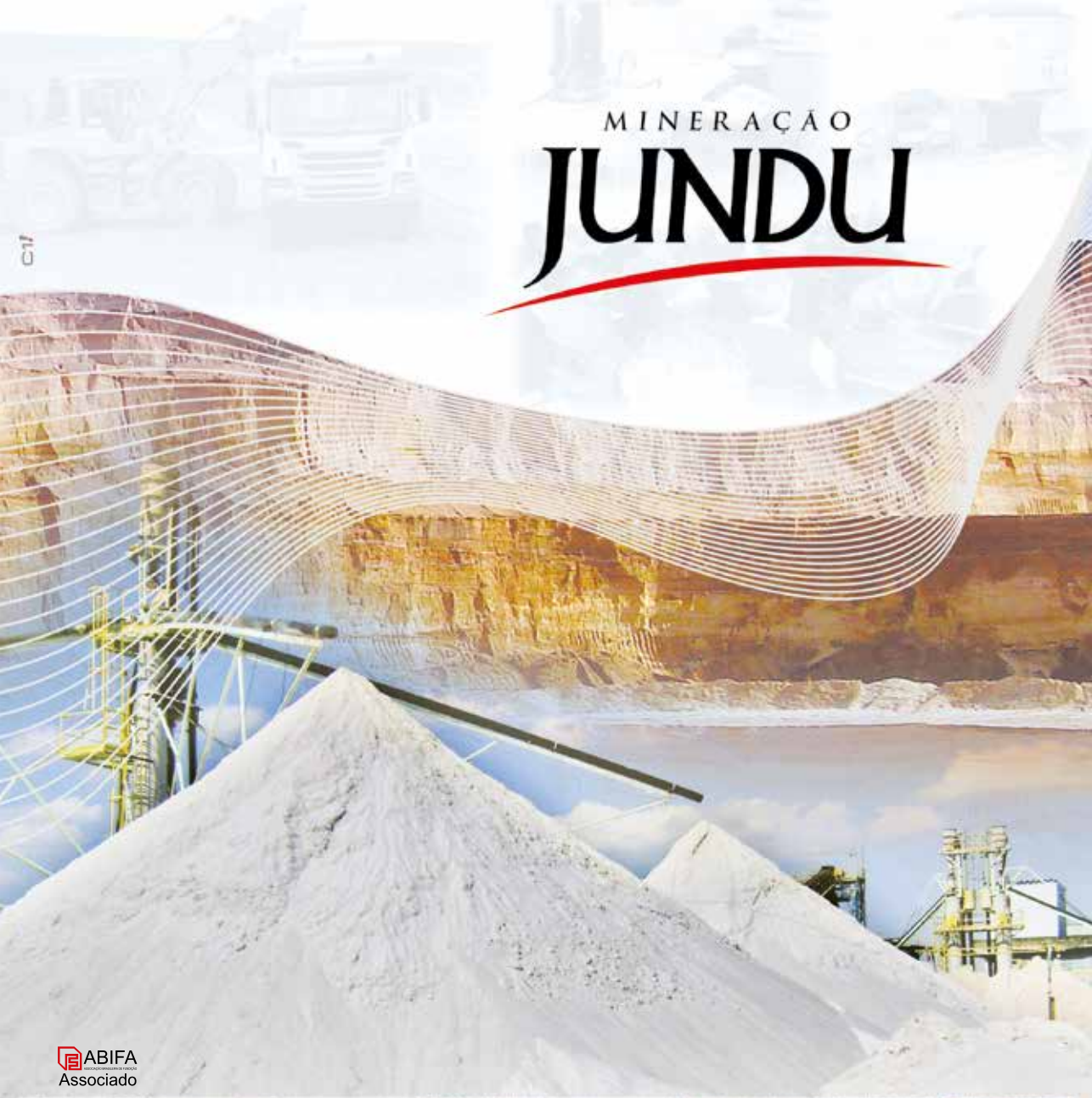
O tamanho das fundições brasileiras quando comparadas com as americanas e europeias são em média de menor capacidade;

No passado ainda recente a qualidade e oferta do coque de fundição não favoreciam a opção por esta fonte de energia;

De um modo geral, e particularmente nas fundições de até 2.000 t/mês que utilizam forno cubilô como principal fonte de metal líquido não dispõe de equipe treinada nem de operadores tecnicamente capacitados para ter um consumo especifico de

MINERAÇÃO

JUNDU



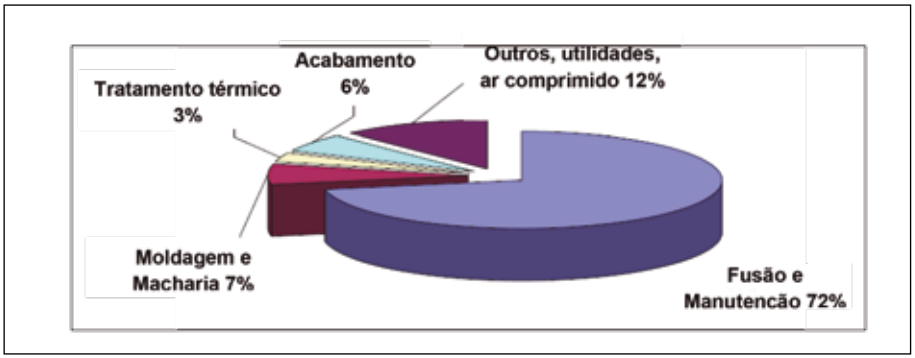
ABIFA
Associado

Unidades Industriais:

Descalvado/SP (Areia) - Analândia/SP (Areia) - Balneário Barra do Sul/SC (Areia)
Viamão/RS (Areia) - São João Del Rei/MG (Calcário) - Bom Sucesso de Itararé/SP (Dolomita)

Matriz:

Rodovia SP 215, Km 116 - Cx. Postal 19 - Descalvado/SP - CEP.: 13690-000
PABX: (19) 3583-9200 e Fax: 3583-9267 - Suporte Técnico: Tel.: (19) 3583-9212
www.mjundu.com.br - mktvendas@mjundu.com.br



Fonte: US Department of Energy – Theoretical/best practice energy use in metalcasting operations – J. F. Schifo and J.T. Radia1.

Figura 2 – Distribuição de fusão por tipo de forno na indústria de fundição de ferro nos Estados Unidos.

coque adequado nem uma composição química uniforme do metal liquido obtido;

Problemas ambientais decorrentes de utilização de equipamentos de limpeza de gases de topo inadequados ou até mesmo inexistente.

Aumento na demanda por ferro fundido nodular, que exige um ferro base com teor de enxofre menor que o ferro fundido cinzento.

Maior facilidade de obtenção de FINAME para fornos elétricos

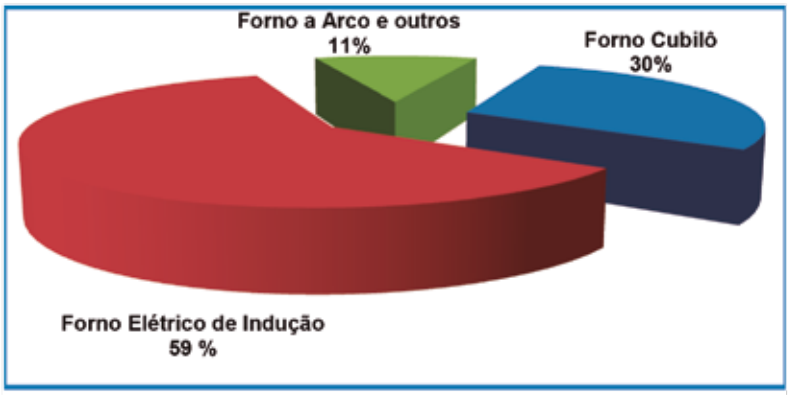
Para haver uma mudança na tendência de utilização de coque como fonte energética para a fusão em fundições de ferro há a necessidade que o empresário de fundição tenha acesso a informações e soluções técnicas disponíveis atualmente, de uma avaliação de custos operacionais específicospara cada tamanho de fundição e que as coquerias propiciem uma garantia de fornecimento de coque com qualidade de modo a dar tranquilidade na tomada de decisão. Neste aspecto, espera-se contribuir positivamente com este trabalho para nortear a tomada de decisão pela opção da fonte de energia na fusão de ferros fundidos.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

Para realização deste trabalho, foi feito um levantamento das fundições brasileiras que produzem ferro fundido cinzento, nodular, maleável e branco, com base no anuário da ABIFA de 20122, embora nem todas as fundições brasileiras sejam associadas à ABIFA.

Com base nos dados levantados, foram criados vários cenários de fundições com capacidades diferentes e determinados os investimentos necessários nas duas alternativas de fusão. Também foram determinados os custos de produção de metal liquido para cada cenário, considerando-se os insumos, manutenção e depreciação do investimento específico na unidade de fusão.

Para a determinação dos parâmetros de consumo médios da indústria de fundição brasileira, para o cálculo do custo do metal líquido, foram enviados questionários às fundições, para obtenção dos valores de consumo de coque – (coke-rate) e do



Fonte: Penta Assessoria Ltda - Realizado a partir de dados do anuário ABIFA 20122

Figura 3.Distribuição da fusão por tipo de forno nas fundições de ferro no Brasil

consumo de energia kWh/t metal produzido.

Os custos de instalação dos equipamentos foram obtidos através de consulta a fornecedores tradicionais do mercado, buscando-se uma média de preços.

Os resultados serão apresentados na forma de tabelas e gráficos comparativos para cada cenário testado.

3 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS TÍPICOS DAS FUNDIÇÕES BRASILEIRAS

Dê acordo com a ABIFA (Anuário ABIFA 20122), a indústria de fundição no Brasil em termos de ferro, aço e ligas não ferrosas possui cerca de 1.400 empresas, empregando cerca de 66.000 trabalhadorese faturando 13,3 bilhões de dólares em 2011.

Deste universo de 1.400 empresas, a ABIFA apresenta em seu anuário de 2012 o levantamento das características de cerca de 530 fundições. Desta amostragem, neste trabalho, foram selecionadas as 302 fundições que produzem ferro fundido, que serviram de base para a determinação dos cenários estudados neste trabalho.

Foram selecionadas as seguintes faixas de capacidade de produção mensal para a determinação dos cenários das fundições brasileiras:

- 0 a 50 t/mês;
- 51 a 200 t/mês;
- 201 a 500 t/mês;
- 501 a 1.000 t/mês;
- 1.001 a 7.500 t/mês, e
- Maiores que 7.501 t/mês

Foram classificadas as fundições dentro das faixas de capacidade de produção mensal estipulado acima. A tabela 1 abaixo apresenta esta classificação, eviden-

Capacidade mensal – Peças	Número de fundições	Produção média	Produção total do grupo
t/mês		t/mês	t/mês
0 a 50	62	24	1.508
51 a 200	113	110	12.453
201 a 500	52	320	16.453
501 a 1.000	16	708	11.326
1.001 a 7.500	44	2.636	115.982
> 7.501	4	19.000	75.731

Produção	Tipo de forno			Ligas produzidas					Cenários selecionados
t/mês	Cubilô	Indução	Outros	Cinz.	Br.	Nod.	Vermic.	Ligado	
0 a 50	15	33	30	53	27	43	1	13	-
51 a 200	25	71	23	95	47	87	6	28	1
201 a 500	9	45	7	46	29	45	2	19	2
501 a 1.000	4	14	2	15	8	14	1	4	3
1.001 a 7.500	9	39	11	39	8	38	4	1	4
> 7.501	2	3	1	4	2	3	2	2	-

Tabela 1 – Análise dos dados ABIFA para seleção dos cenários a serem avaliados

Cenário	Capacidade mensal	Capacidade mensal	Capacidade horária da instalação de fusão (t/h)	
	t peça	t metal liquido	Cubilô	Indução
1	150	200	3	1,5
2	350	500	3	3
3 - A	750	1.000	3	3
3 - B			6	6
4 - B	3.000	4.000	8	8
4 - C			12	12

Tabela 2 – Capacidade horária das unidades de fusão das fundições dos cenários selecionados

ciando o perfil de cada faixa de produção em relação ao produto fabricado e o tipo de forno utilizado.

As premissas para determinar a capacidade de fusão e o tipo de instalação dos periféricos para cada tipo de forno (cubilô ou Indução) foram as seguintes:

Mês com 22 dias de trabalho

Turno com 8 horas de trabalho

Rendimento bruto Peças/metal liquido = 75 %

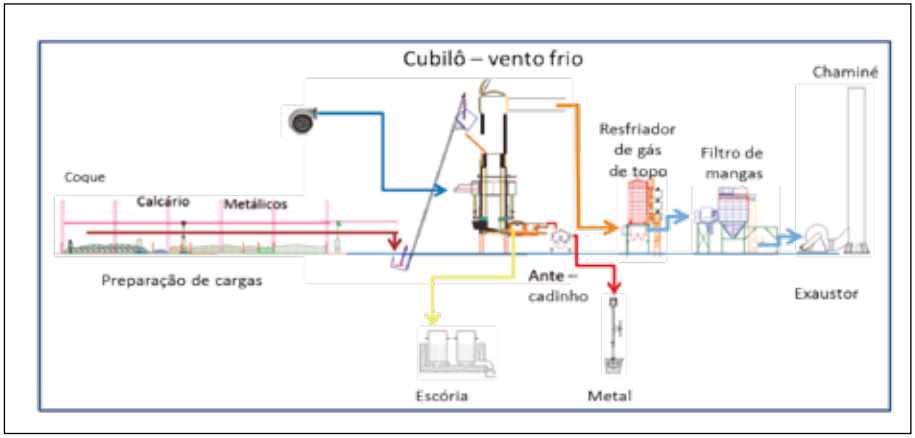


Figura 4 – Instalação típica para fusão com forno cubilô de vento frio e seusperiféricos

As capacidades das unidades de fusão para os cenários selecionados estão sumarizadas na tabela 2.

Não se adotou o caso de cubilô de 1,5 t/h no cenário 1 porque obrigaria uma incidência muito grande de mão de obra. Para esta produção mensal com forno cubilô, é frequente a utilização de um sistema de trabalho que envolve a equipe de moldadores (normalmente moldagem manual) para vazamento do forno cubilô nos dias de operação do mesmo, evitando ter operadores de vazamento ociosos.

4 DEFINIÇÃO DAS INSTALAÇÕES BÁSICAS PARA CADA CENÁRIO E CAPACIDADE DOS FORNOS.

A partir da definição das capacidades dos fornos cubilô, foi elaborado o dimensionamento e o pré-projeto de cada forno com todos os periféricos necessários para uma operação com geração de metal líquido de composição uniforme e com sistema de limpeza de gases de modo a atender as exigências dos órgãos ambientais, para solicitar aos fabricantes dos fornos e periféricos (sopradores, sistema de limpeza de gases, ventaneiras, etc.) uma orçamentação confiável para os fins deste trabalho. Consideraram-se diferentes campanhas para cada tamanho de forno, adequado à capacidade de produção para cada cenário.

A instalação típica projetada para os cubilô de vento frio é mostrada na figura 4.

Da mesma forma, para os fornos de indução, a partir da necessidade de metal líquido horário foi solicitada aos fabricantes tradicionais deste tipo de forno a definição da capacidade dos cadinhos, da potencia elétrica e definição dos periféricos desde a cabine primária até os equipamentos de refrigeração, para a estimativa de custo de investimento nos equipamentos e instalação.

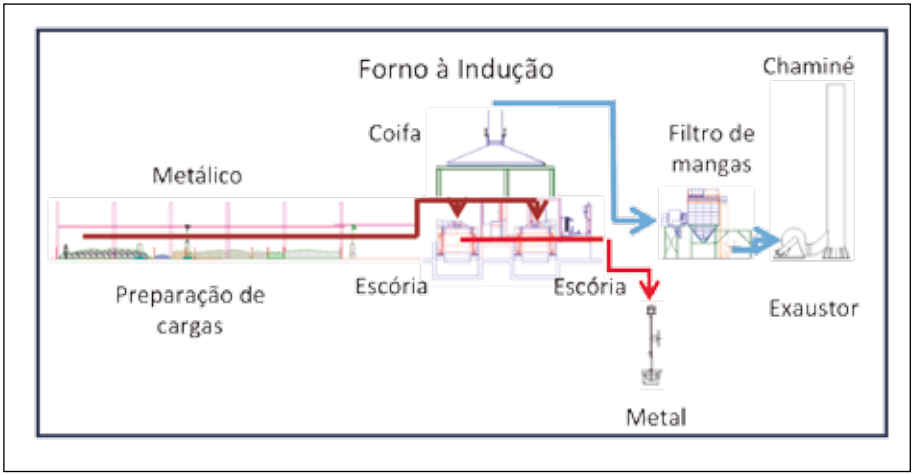


Figura 5 – Instalação típica para fusão com forno indução e seus periféricos exceto cabine primária

Foi ainda solicitada aos fabricantes de sistema de limpeza de gases de exaustão (os mesmos do sistema de limpeza para os gases do forno cubilô) uma estimativa do investimento necessário em equipamentos e instalação.

A instalação básica típica, independentemente da capacidade do forno, para fundições a base de fornos de indução, é apresentada na figura 5.

Os valores dos investimentos nas instalações de fusão para cada cenário estão apresentados na tabela 3. Estes valores englobam tanto o equipamento em si, como todos os periféricos e sistemas de proteção ao meio ambiente.

5 DETERMINAÇÃO DO CUSTO OPERACIONAL PARA CADA CENÁRIO SELECIONADO.

Para a determinação dos custos operacionais do metal líquido produzido em cada cenário selecionado, empregaram-se as seguintes premissas básicas:

O mês de trabalho tem 22 dias uteis

O turno de trabalho 8 horas produtivas

Não foi considerado o custo de mão de obra direta nem Over Head.

A produção mensal de metal líquido é o produto de 22 dias x 8 horas x número de turnos (1, 2 ou 3) x capacidade do forno por hora.

O custo unitário de manutenção foi estimado em 5% do investimento por ano dividido pela produção anual e a depreciação foi calculada em 10 anos, com valor residual de 10% do investimento inicial.

O consumo de refratário foi estimado pela experiência e dos fornecedores de re-

FORNO	1,5 t/h R$	3 t/h R$	6t/h R$	8 t/h R$	12 t/h R$
CUBILÔ	700.000,00	1.500.000,00	2.000.000,00	2.500.000,00	3.500.000,00
INDUÇÃO	1.500.000,00	3.800.000,00	6.000.000,00	10.000.000,00	15.000.000,00

TABELA 3 – Investimento total das unidades de fusão das fundições hipotéticasdos cenários selecionados

fratário e nos custos unitários dos refratários utilizados em cada caso.

O consumo de energia elétrica em cada cenário foi estimado com base nas potencias dos motores dos equipamentos periféricos de cada unidade de fusão, incluindo o sistema de limpeza de gases, sopradores, bombas de refrigeração, etc. e nos consumos específicos de energia nos fornos de indução, determinados numa média dos valores teóricos informados pelos fabricantes dos fornos e na prática das fundições brasileiras.

O consumo de coque nos fornos cubilô foi determinado com base em um balanço de massa e térmico do processo (teoricamente – da ordem de 90 a 110 kg/t de coque tipo CF-11) e com base em um levantamento junto às empresas que utilizam este equipamento. (variou de 100 a 200 kg/t de coque CF-11).

O preço das matérias primas foi obtido junto a grandes fornecedores destes insumos e com o departamento de compras de algumas fundições.

Empregou-se preço diferenciado de sucata de aço e de ferro fundido para forno à indução e para forno cubilô, como normalmente se verifica na prática.

No balanço de massa para cálculo de carga dos fornos indução e cubilô, adotaram-se perdas (oxidação e outras) de 1% e 3% respectivamente.

Em termos de custo operacional, a tabela 4 apresenta de maneira ordenada os custos operacionais obtidos em cada caso, bem como a diferença de custo entre forno cubilô e indução por tonelada, apresentando ainda para cada cenário a economia obtida mensal e anualmente.

De modo a visualizar o efeito da capacidade de produção de cada instalação, os custos de produção em forno cubilô e forno indução, são apresentados nos gráficos das figuras 6 e 7 respectivamente.

A economia hipotética anual que seria gerada empregando-se o forno cubilô no lugar do forno àindução, para cada cenário estudado, é mostrada no gráfico da figura 8.

A análise das vantagens e desvantagens na comparação da fusão em forno indução versus forno cubilô, sob o ponto de vista técnico, foi realizada de modo qualitativo e está apresentada esquematicamente na tabela 5.

Considerando as vantagens econômicas obtidas pelo uso de forno cubilô em comparação com o forno indução, e considerando que para a fabricação de ferro fundido

Tipo de forno	Cenário					
	1	2	3 B	3 A	4 C	4 B
Produção metal líquido (t/mês)	200	500	1000	1000	4000	4000
Custo cubilô (R$/t)	3 t/h	3 t/h	3 t/h	6 t/h	8 t/h	12 t/h
	892,00	842,00	830,00	799,00	795,00	788,00
Custo indução (R$/t)	1,5 t/h	3 t/h	3 t/h	6 t/h	8 t/h	12 t/h
	1190,00	1184,00	1159,00	1045,00	1010,00	1008,00
Vantagem econômica(R$)						
(indução - cubilô)	297,66	342,24	328,15	246,23	215,48	219,83
vantagem mensal	59.532,10	171.117,64	328.149,10	246.231,46	861.902,25	879.308,15

Valor energia elétrica = R$ 537,40/kWh[3]

TABELA 4 – Custo operacional do metal nas fundições hipotéticas dos cenários selecionados

nodular o forno cubilô não se mostra adequado devido ao pick-up de enxofre decorrente do teor de enxofre presente no coque, para fundições que necessitam produzir este tipo de ferro fundido, poderiam optar pela utilização do forno cubilô para a fusão seguida de uma dessulfuração do metal (existem processos consolidados tanto para a dessulfuração em batch como para a dessulfuração continua) e proceder ao reaquecimento do metal e eventuais ajustes de composição química em forno de indução, que agora demandará um pequeno consumo de energia (cerca de 100 a 150 kWh/t). Desta forma, o custo final do metal, obtido em um processo de fusão conhecido como duplex situa-se entre o custo do forno cubilô e o custo do forno indução.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas informações obtidas na ABIFA e junto a fornecedores e usuários de fornos cubilô e fornos indução, bem como em informações de fornecedores de matérias primas e materiais de processo, pode-se fazer as seguintes considerações finais:

Quanto a Investimento nas unidades completas e equivalentes de fusão:

- O investimento em forno a indução é significativamente maior que nas unidades a base de forno cubilô de vento frio (de 2 a 5 vezes maior)

Quanto a custo operacional

- Em todos os casos, para a fusão de ferros fundidos cinzentos e brancos (ligados ou não) o custo do metal líquido oriundo do forno cubilô é significativamente menor (da ordem de R$ 40,00 a R$ 70,00) que o do forno a indução.
- A maior ou menor economia observada em cada cenário decorre da maior ou menor utilização do equipamento de fusão.

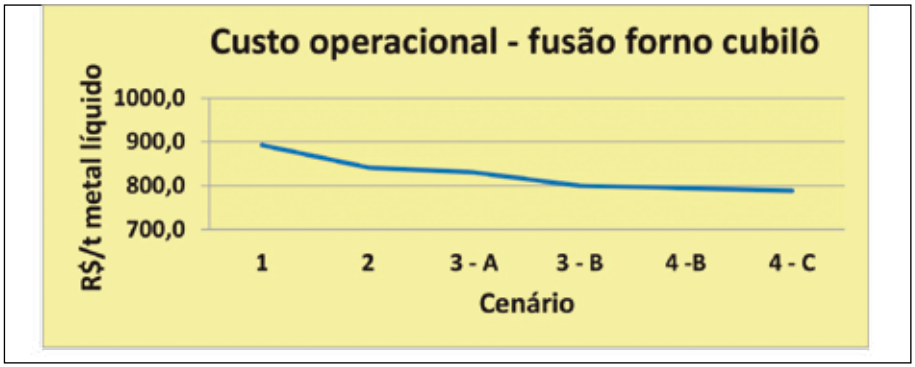


Figura 6 – Variação do custo operacional para fusão em forno cubilô em função da capacidade de produção

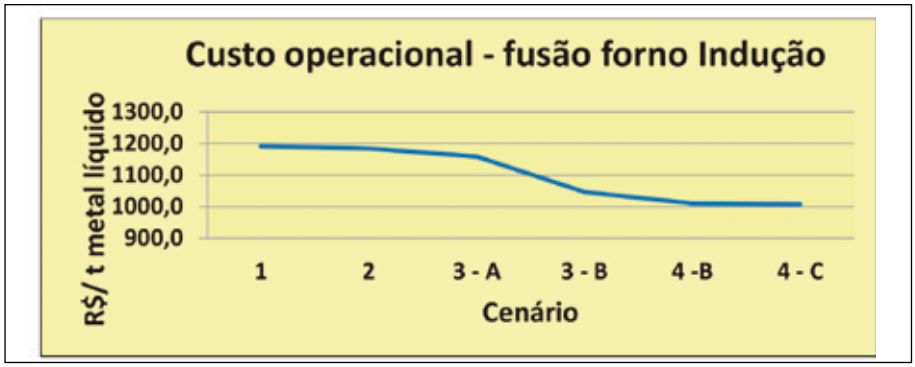


Figura7 –Variação do custo operacional para fusão em forno indução em função da capacidade de Produção.

A economia hipotética anual que seria gerada empregando-se o forno cubilô no lugar do forno àindução, para cada cenário estudado, é mostrada no gráfico da figura 8.

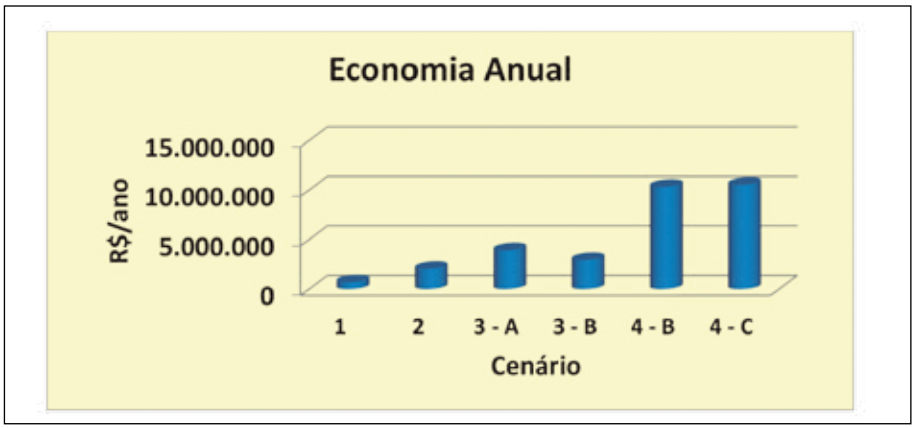


Figura 8 – Economia anual gerada pela substituição do forno de indução pelo forno cubilô.

Quanto a aspectos técnicos

- A fabricação de ferro fundido cinzento ou branco de qualidade é possível obter tanto no forno cubilô como no forno a indução

- A produção de ferro fundido nodular para se beneficiar das vantagens econômicas da fusão em forno cubilô necessita utilizar o processo duplex, ou seja, fusão em forno cubilô seguido de uma dessulfuração do metal para redução do teor de enxofre e de um reaquecimento do metal dessulfurado em forno de indução antes do processo de nodulização e inoculação.

REFERÊNCIAS

1 - Schifo, J.F.& Radia, J.T. Theoretical/Best Practice Energy Use In Metalcasting Operations, U.S. Department of Energy – Energy Efficiency and Renewable Energy, Washington, DC – 2004

2 - Katz, S. Concepts for Reducing Cupola Charge Material Costs, AFS transactions 2005, paper 05-212(08) – 10 p.

3 - Site FIRJAN – www.quantocustaaenergiaelétrica.com.br

4 - Katz, S. Slags' Effects on Cast Iron Production, AFS transactions 2004, paper 04-132(05) – 13 p.

5 - Holtzer, M. Influence of the cast iron melting processes on environment using BAT, archives of foundry engineering volume 7 , issue 4/2007 , 8 3 - 8 8

6 - Simões, A. F. & Bajay, S. V.Oportunidades de eficiência energética para a indústria: relatório setorial: fundição – Brasília: CNI, 2010.

7 - Mendonça d´Avila Filho, B. Relatório Técnico 61 –Perfil da Fundição - Projeto Estal - Projeto De Assistência Técnica ao Setor de Energia - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME - Desenvolvimento de Estudos Para Elaboração Do Plano Duodecenal (2010 - 2030) de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, 2009

8 - Associação Brasileira de Fundição – ABIFA,ANUÁRIO ABIFA 2012 – julho 2012, xxxx p

9 - Fundição e Matérias Primas -Guia de Insumos e Matérias-Primas - Ed. 152 – jan. 2013– Revista veiculada pela ABIFA

Thermo SCIENTIFIC

A Thermo Fisher Scientific Brand

inovação em OES

A garantia de qualidade de produtos metálicos é essencial para o fabricante. O Thermo Scientific™ ARL iSpark™ é a série mais avançada de espectrometria de emissão ótica, oferecendo performance, estabilidade, confiabilidade, facilidade de operação e baixo custo. Modelos de alta performance baseados em PTM (tubos foto multiplicadores) ou combinados com CCD (dispositivo de carga acoplada) garantem com exatidão a identificação de elementos de liga e traços. Definitivamente o ARL iSpark é a solução ideal e mais confiável para a produção de produtos metálicos de qualidade, e ainda contribuem para o aumento de produtividade e lucratividade de sua planta.

para garantia de qualidade de produtos metálicos

• Confira todo o potencial do ARL iSpark em • thermoscientific.com/ispark

© 2015 Thermo Fisher Scientific Inc. All rights reserved. All trademarks are the property of Thermo Fisher Scientific and its subsidiaries.

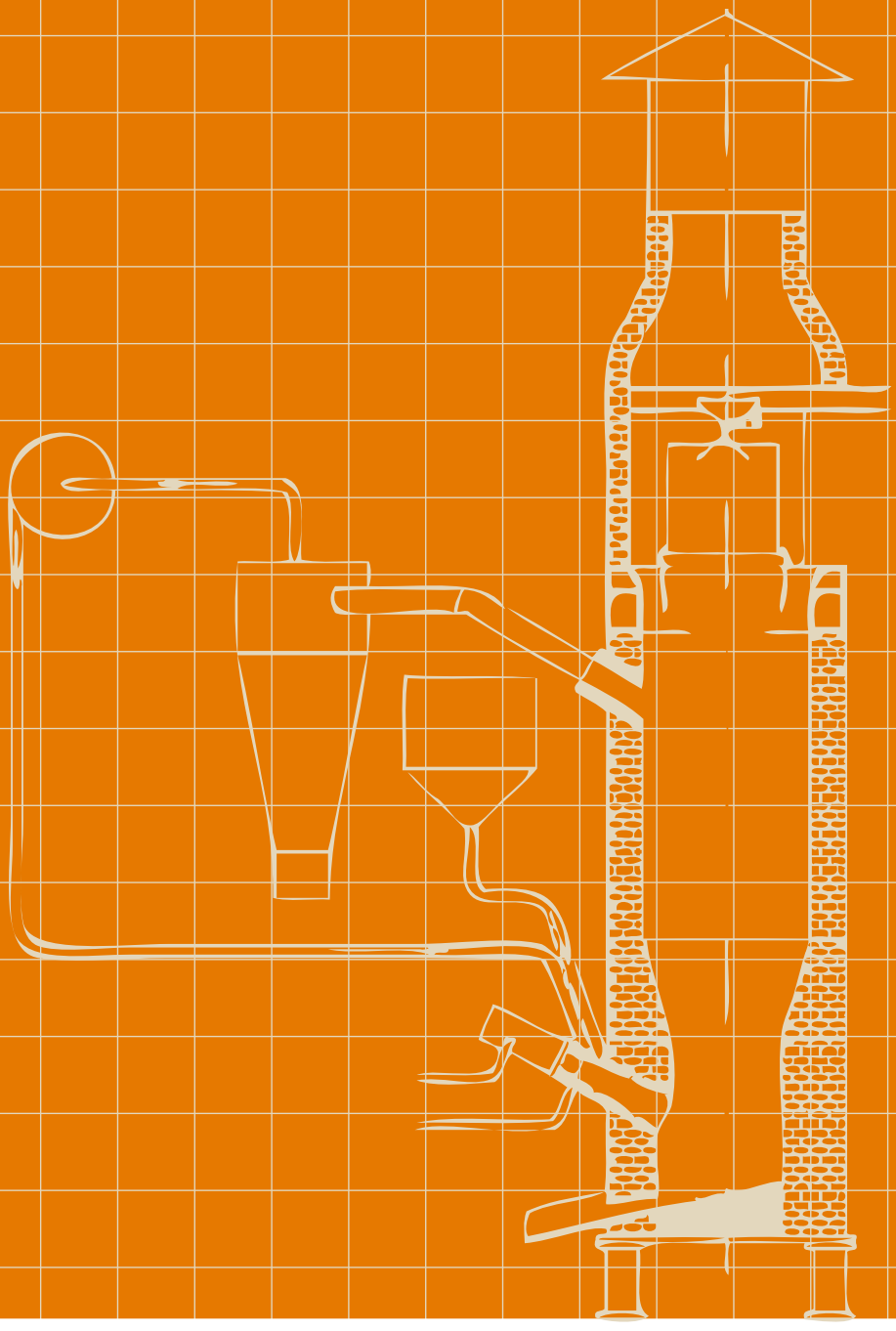
ARL iSpark Series
Espectrômetros de emissão ótica para análises metálicas com precisão

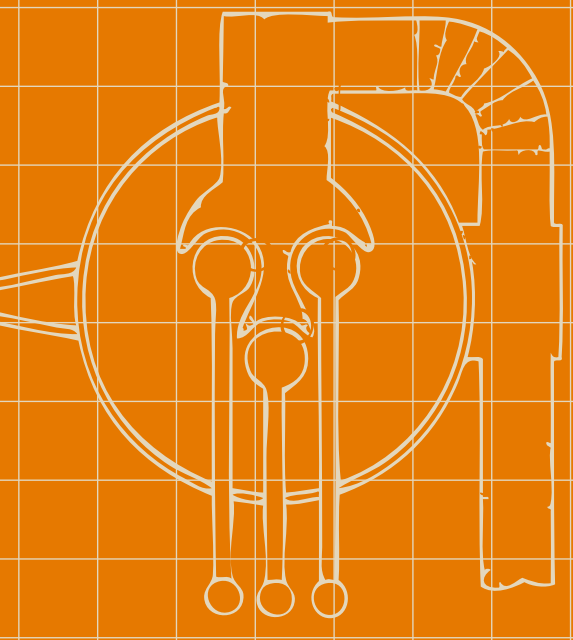
Análise de metais automatizada combinada com um sistema Thermo Scientific ARL SMS-2500, ARL iSpark funciona 24/7

Distribuidor Autorizado

DAC

Rio de Janeiro - RJ • (21) 2286-0027
São Paulo - SP • (11) 3605-2138
Belo Horizonte - MG • (31) 9153-9005
dac@dacarl.com.br
www.dacarl.com.br





Agosto 2015

Edição 183

1 Estudo do comportamento da resina utilizada nos processos de cura frio parte 2: comparação entre a variação da vazão mássica e o tempo de banca com a temperatura*

Keli Vanessa Salvador Damin[1]
Aguinaldo Pereira Gonsalez[2]

RESUMO

A produtividade de uma linha de moldagem numa fundição é determinada pela vida de banca dos moldes. No processo Alphaset, a cura ocorre devido à reação de polimerização entre a resina e o catalisador. O tempo no qual a reação de polimerização ocorre é influenciado por dois fatores: temperatura e a relação entre a quantidade de resina e catalisador (vazão mássica). Esse estudo procura estabelecer um entendimento entre estes dois fatores no tempo de banca, estabelecendo o mais predominante, para que assim possa-se aperfeiçoar o processo utilizando a quantidade adequada de resina e catalisador, sem perder a produtividade. Para avaliar o efeito da temperatura no tempo de banca foi realizado o teste de gel time com a resina em diversas temperaturas. Para avaliar a variação da vazão mássica da resina devido as diferentes condições de temperaturas foi realizado o ensaio de Cup Ford. Observou-se que o tempo de polimerização da resina reduz exponencialmente com o aumento da temperatura da resina, sendo o inverso verdadeiro também. O teste de Cup Ford mostrou que a vazão da resina é muito sensível a temperatura, aumentando quase 40% num acréscimo de 10oC na temperatura.

Palavras-chave: Resina; Vazão mássica; Fundição.

1 Engenheira de materiais, mestre, professora, curso técnico em mecânica, Instituto Federal de Santa Catarina, Chapecó, Santa Catarina, Brasil.
2 Engenheiro Metalurgista. Pós-graduado em Gestão de Produção pelo INPG. Metalúrgica Spillere, Nova Veneza, Santa Catarina Brasil

STUDY OF RESIN BEHAVIOR USED IN COLD HEALING PROCESSES PART 2: COMPARISON BETWEEN THE VARIATION OF MASS FLOW AND THE HEALING TIME WITH THE TEMPERATURE

ABSTRACT

The productivity in a casting molding line in is determined by the bank of life of the molds. In Alphaset process healing occurs because of the polymerization reaction between the resin and the catalyst. The time at which the polymerization reaction occurs is influenced by two factors: the relationship between temperature and the amount of resin and catalyst (mass flow). This study wishes to establish an understanding between these two factors in the banking time, establishing the most prevalent, so we can optimize the process using the best type of resin and catalyst, without losing productivity. To evaluate the effect of temperature on the bank time was conducted the gel time test with the resin at different temperatures. To evaluate the variation of mass flow of resin due to the different conditions of temperature was carried out the test Ford Cup. It was observed that the resin polymerization time decreases exponentially with increasing temperature of the resin, and the opposite is also true. The Ford Cup test showed that the flow of the resin is very sensitive to temperature, increasing almost 40% with in a 10°C increase in temperature.

Keywords: Resin; Mass flow; Foundry.

1 INTRODUÇÃO

O gargalo para muitas fundições está na etapa de moldagem, esta que por sua vez é determinada pela vida de banca do molde [1]. Esse tempo é em função de dois fatores: temperatura e a proporção entre resina e catalisador [2].

Em dias frios há uma diminuição da quantidade de moldes produzidos devido ao aumento do tempo da reação de cura da resina, que é causada pela temperatura mais amena. Já em dias mais quentes há uma perda de moldes devido ao rápido processo de cura da mesma, que por vezes acontece mesmo antes de se terminar o molde. Esse problema é agravado se além da temperatura ambiente estiver elevada, se acrescentar areia quente ao processo, pois geralmente os trocadores de calor dos sistemas de areia também perdem a eficiência no verão.

Dessa forma é necessário trabalhar com resinas ou catalisadores que se adequem melhor a essa instabilidade no processo, e que também possam reduzir os custos do mesmo. Esse estudo procura estabelecer um entendimento entre estes dois fatores na vida de banca, estabelecendo o mais predominante, para que assim possa-se aperfeiçoar o processo utilizando a melhor relação de resina e catalisador, sem perder a produtividade.

No processo de cura a frio temos dois tempos importantes, a saber:

• Vida de banca: tempo que o processo de polimerização da resina inicia-se

Vida de banca (h:min:s)						
Temperatura da resina (°C)	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Média	Desvio padrão
10	00:15:35	00:15:15	00:14:48	00:16:04	**00:15:25**	00:00:32
15	00:13:38	00:12:19	00:13:07	00:12:20	**00:12:51**	00:00:39
20	00:11:22	00:11:27	00:11:32	00:11:06	**00:11:22**	00:00:11
25	00:09:10	00:09:23	00:09:25	00:09:19	**00:09:19**	00:00:07
30	00:07:00	00:06:40	00:07:13	00:07:13	**00:07:01**	00:00:16
35	00:04:53	00:05:13	00:05:42	00:05:19	**00:05:17**	00:00:20
40	00:04:21	00:03:59	00:04:07	00:04:07	**00:04:09**	00:00:09
45	00:03:07	00:03:11	00:02:55	00:03:12	**00:03:06**	00:00:08
50	00:02:30	00:02:37	00:02:35	00:02:29	**00:02:33**	00:00:04

Tabela 1. Tempo de banca para resina em várias temperaturas.

• Tempo de cura: tempo que o processo de polimerização da resina termina.

Atingido o tempo de cura não é mais possível ligar os grãos de areia, se houver grãos não ligados no molde, esses são removidos facilmente pelo metal líquido podendo causar problemas nas peças fundidas. Em moldes pequenos essas diferenças no tempo de cura não são muito perceptíveis e até apreciadas, pois há um aumento na produtividade. Fator que já é indesejável em moldes grandes, pois devido à demora no preenchimento da caixa de moldagem podem ocorrer regiões com diferentes tempos de cura, causando a falta de coesão no molde, podendo ocasionar quebras, penetração de metal ou em casos mais graves vazamento dos moldes.

Em função disso foi realizado um estudo para verificar a influência da temperatura na vida de banca da resina. Nos testes foi utilizada uma resina comercial, aquecida em várias temperaturas para simular as variações da temperatura da areia.

A vazão mássica de resina e catalisador também tem importância no processo de cura. O catalisador possui uma viscosidade praticamente constante independentemente se o dia é típico de verão ou inverno [3]. O mesmo não ocorre para a resina que tem sua viscosidade afetada em função da sua temperatura que a mesma se encontra. Deste modo em dias quentes adentra mais resina no processo do normalmente se esperaria; já em dias frios a viscosidade da resina aumenta, o que dificulta a passagem da resina pela bomba, fazendo diminuir a taxa na qual a resina chega no processo de moldagem.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Vida de Banca

O ensaio para avaliar a vida de banca foi o de gel time, para isso usou-se 50,000+0,010g de resina do tipo alcalina, para 12,500+0,010g de catalisador lento (triacetina). Os dois componentes foram misturados num recipiente por 1 minuto com o auxílio de um bastão de vidro e em seguida deixados em repouso. O tempo entre a mistura dos componentes até a vida de banca foi cronometrado. Nos testes a resina foi aquecida em várias temperaturas (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50oC) para simular as

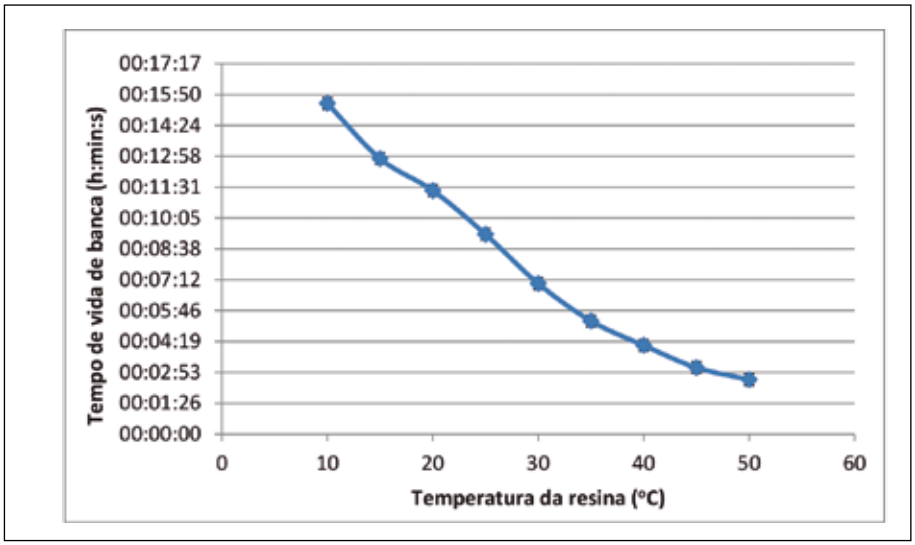


Figura 1. Vida de banca da resina em função da temperatura.

variações da temperatura da areia, já o catalisador permaneceu a mesma temperatura de 25oC em todos os ensaios. Este ensaio foi realizado 4 vezes para cada uma das temperaturas estudadas.

2.2 Vazão Mássica

Para avaliar a vazão mássica da resina foi realizado o ensaio de Cup Ford. O ensaio constitui em determinar quanto tempo certo material (neste caso a resina) levava para escoar por um determinado orifício. O orifício utilizado foi o de número 3. O material foi colocado no Cup Ford, retirado seu excesso e à primeira interrupção do fluxo o tempo era anotado e massa de resina que escoou era pesada. O ensaio foi realizado com a resina em diferentes temperaturas (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50oC). Para cada uma das temperaturas foram realizadas três medições.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Vida de Banca

A Tabela 1 mostra os tempos de vida de banca obtidos no ensaio de gel time com a resina alcalina. Já a Figura 1 ilustra os resultados obtidos a partir da Tabela 1.

Os resultados mostram que à medida que a temperatura aumenta o tempo de banca reduz, sendo o oposto verdadeiro também. A Figura 1 ainda mostra que esse comportamento apresenta-se com uma tendência exponencial.

Assumindo o tempo referente à temperatura de 25oC como o tempo de vida de banca padrão é apresentada a Tabela 2. A tabela mostra o acréscimo ou a redução, em

Temperatura da resina (°C)	Variação do tempo de banca
10	Acréscimo de 65,4%
15	Acréscimo de 37,9%
20	Acréscimo de 15,7%
25	Padrão
30	Redução de 24,6%
35	Redução de 44,5%
40	Redução de 55,4%
45	Redução de 66,7%
50	Redução de 72,6%

Tabela 2. Variação o tempo de banca em percentual.

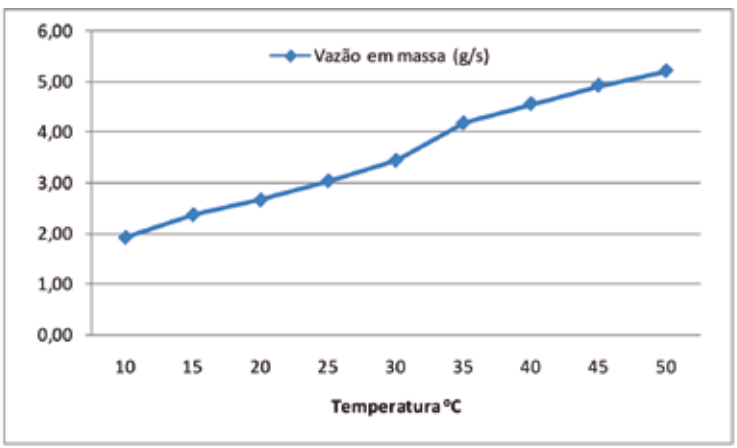


Figura 2. Vazão mássica da resina. Valores obtidos da Tabela 4.

percentual, do tempo de vida de banca em função do tempo de banca à temperatura de 25oC.

Pode-se observar que há uma redução no tempo de banca com o acréscimo da temperatura, principalmente quando a resina tem um incremento de 15ºC sobre a temperatura padrão, onde a mesma começa a apresentar um comportamento instável.

3.1 Vazão Mássica

A Tabela 3 apresenta resultados de tempo de escoamento e massa escoada obtidos

Temperatura (°C)	Tempo (s)	Massa (g)
10	68,84 ± 0,99	132,020 ± 0,625
15	55,09 ± 0,77	130,206 ± 0,924
20	49,42 ± 0,28	131,068 ± 0,937
25	43,02 ± 0,27	130,298 ± 0,816
30	38,10 ± 1,18	130,746 ± 0,473
35	31,04 ± 0,20	129,419 ± 1,146
40	28,24 ± 0,64	128,396 ± 1,515
45	26,39 ± 0,36	129,568 ± 0,196
50	24,95 ± 0,27	129,581 ± 0,036

Tabela 3. Resultados do ensaio Cup Ford para resina estudada.

INSUMOS PARA FUNDIÇÃO E
TECNOLOGIA EM DESMOLDANTES

www.tecbraf.com.br
11 4035-8888 | 4031-2661

Marca conhecida em tecnologia de forma personalizada com uma ampla gama de produtos, competência e qualidade ao desenvolver, fabricar e comercializar produtos diferenciados!

ABIFA
Associado

TecBraf

Temperatura (°C)	Vazão em massa (g/s)
10	1,92
15	2,36
20	2,65
25	3,03
30	3,43
35	4,17
40	4,55
45	4,91
50	5,19

Tabela 4. Variação da vazão mássica em percentual.

Temperatura da resina (°C)	Massa de resina (g)	Massa de catalisador (g)	Percentual mássico de resina x catalisador
15	38,95	12,5	68% x 32%
20	43,75	12,5	71% x 29%
30	56,64	12,5	78% x 22%
35	68,83	12,5	82% x 18%

Tabela 5. Teste de gel time. Os parâmetros utilizados levam em consideração a vazão mássica de resina para cada temperatura usada.

no teste de Cup Ford para as diversas temperaturas estudadas.

Observa-se que diminuindo a temperaturas o tempo necessário para escoar a mesma quantidade de massa aumenta expressivamente sendo o inverso verdadeiro também, ou seja, para temperaturas maiores o tempo para escoar a resina diminui. A Tabela 4 mostra esta diferença mais detalhadamente, onde é mostrada a vazão mássica para cada temperatura estudada.

Tabela 4. Vazão mássica apresentada no teste de Cup Ford.

A Tabela 4 comprova que a vazão muda sensivelmente com a temperatura, onde, por exemplo, a 10oC somente 1,92 g de resina por segundo são despejadas no processo enquanto que a 50 oC este valor cresce para 5,19 g, um aumento de 270%. A Figura 2 ilustra estes dados.

Observa-se, na Figura 2, que até 30oC a curva possui uma tendência linear. Um salto na vazão é encontrado entre 30oC e 35oC e após esta temperatura a curva apresenta-se linear novamente. A Tabela 4 mostra essas variações em percentual consi-

Temperatura da resina (°C)	Massa de resina (g)	Massa de catalisador (g)	Percentual mássico de resina x catalisador
15	50,00	12,5	75% x 25%
20	50,00	12,5	75% x 25%
30	50,00	12,5	75% x 25%
35	50,00	12,5	75% x 25%

Tabela 6. Teste de gel time, utilizando a proporção padrão de resina/catalisador.

Temperatura da resina (°C)	Massa de resina (g)	Massa de catalisador (g)	Média dos tempos encontrados (h:min:s)
15	38,95	12,5	00:09:29
15	50,00	12,5	00:09:49
20	43,75	12,5	00:06:45
20	50,00	12,5	00:07:34
30	56,64	12,5	00:04:44
30	50,00	12,5	00:04:13
35	68,83	12,5	00:04:11
35	50,00	12,5	00:03:47

Tabela 7. Os resultados obtidos dos testes das Tabelas 5 e 6.

Variação do tempo de banca quando realizado o ensaio de gel time com:			
Temperatura da resina (°C)	A resina numa proporção de 75% x 25%	A resina de acordo com a vazão mássica de cada temperatura	Saldo
15	↑ 37,9%	↓ 3,4%	↑ 34,5%
20	↑ 15,7%	↓ 10,8%	↑ 4,9%
30	↓ 24,6%	↑ 12,2%	↓ 12,4%
35	↓ 44,5%	↑10,6%	↓ 33,9%

Tabela 8. Variação do tempo de vida de banca quando se altera a quantidade de resina de acordo com os resultados do teste de vazão mássica.

derando a temperatura de 25oC como a padrão. O ponto mais crítico ocorre quando a temperatura passa de 30oC para 35oC onde a vazão praticamente triplica.

3.3 Comparativo - Vida de banca versus vazão mássica

A fim de avaliar a influência da temperatura tanto quanto da vazão mássica, foi realizado o teste de gel time nas temperaturas mais usuais encontradas em produção (15, 20, 30 e 35oC) [4] em duas etapas: utilizando-se a quantidade de resina obtida de

acordo com a vazão mássica de cada temperatura, veja a Tabela 5, (note que para esse caso o percentual de catalisador em relação a massa de resina se altera para cada temperatura); e com a quantidade de resina fixa, numa proporção de 75% resina e 25% de catalisador (que é a proporção padrão na indústria), veja a Tabela 6. Nos testes a temperatura ambiente e do catalisador se manteve em 27oC.

Não foram realizados testes com a temperatura de 25oC porque ela é considerada a temperatura padrão. Os resultados estão na Tabela 7.

Na Tabela 7 observa-se que, para a mesma temperatura, quando se aumenta a quantidade de resina (diminuindo a proporção de catalisador) aumenta-se também o tempo de banca, e o oposto também é válido, ou seja, quando se reduz a quantidade de resina (aumentado a proporção de catalisador) também se reduz o tempo de banca. Essas variações são mostradas percentualmente na Tabela 8.

Tabela 8. Variação do tempo de vida de banca quando se altera a quantidade de resina de acordo com os resultados do teste de vazão mássica.

De acordo com o resultado apresentado na coluna "saldo" na Tabela 8, pode-se concluir que a temperatura possui um efeito superior na vida de banca do que a proporção entre resina e catalisador que entra no processo (vazão mássica); ou seja, mesmo alterando a relação entre a quantidade de resina e catalisador é a temperatura do processo que determinará a velocidade da reação de polimerização.

4 CONCLUSÃO

A temperatura tem um efeito muito significativo na vida de banca da resina. Seja a temperatura proveniente da areia ou do ambiente, ela pode ser considerada crítica para valores acima de 35ºC.

A temperatura tem um efeito expressivo na vazão mássica da resina. Esse efeito é mais pronunciado para temperaturas igual ou superior a 35oC.

No comparativo entre temperatura e quantidade de resina e catalisador, observa-se que a proporção entre resina e catalisador que entra no processo possui um efeito menor do que da temperatura, no que diz respeito ao tempo de vida de banca do molde.

REFERÊNCIAS

1 ALVES, Luiz Henrique Dias. Stack molding: uma solução para melhoria da qualidade e produtividade na produção de peças de pequeno porte e grandes séries fundidas em moldes de areia. Tecnologia em Metalurgia, Materiais. v. 1 n. 4, p. 22 - 25. 2005.

2 CHIAVERINI, Vicente. Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos. 7. ed., ampl. e rev. São Paulo: ABM, 2002. 599 p.

3 HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; KRANE, Kenneth S. Física 2. 4. ed. -. Rio de Janeiro: LTC; 1996.

4 PERÍODOS de Maiores e Menores Temperaturas e Pluviosidades Climatológicas. Instituto Nacional de Meteorologia, Brasília, 2014. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home2/index. Acesso em: 17 nov. de 2014.

Quer saber quais as novidades na GIFA ?

Digitalize o código para ver os vídeos!

Quer saber mais sobre as nossas inovações, visite www.foseco-at-gifa.com

FOSECO

O PLUS para seus negócios

FOSECO at GIFA 2015

Hall 12 /
Stand A01 + A02

IRON
STEEL
ALUMINIUM

2 New coatings and additives concepts as an entire approach for defect and residue free castings

Reinhard Stötzel
Christian Koch
ASK Chemicals, Hilden

Carlos Luft
ASK Chemicals Brasil, Sao Paulo

Friedhelm Meyer
ASK Chemicals US, Cleveland

1 INTRODUÇÃO

A capabilidade e a qualidade da fundição são o foco das empresas devido à grande demanda por fundidos bons e de alta qualidade.

Para ter disponíveis novos conceitos que atendam rapidamente essas metas com soluções sustentáveis, através da otimização dos processos de fundição, em particular, os revestimentos de machos e de moldes ou os aditivos da areia são cruciais.

O profundo conhecimento dos processos nas fundições e a sua possibilidade de aumentar o nível dos serviços (custos baixos, produtividade, flexibilidade e qualidade superiores) são importantes para a sobrevivência das fundições.

As fundições de sucesso usam as possibilidades dos grandes efeitos da alavancagem: A exploração de pequenas mudanças, que causam grandes efeitos.

A seleção e utilização correta dos aditivos da areia e dos revestimentos é um dessas alavancas de desempenho.

Os aditivos da areia e os revestimentos na confecção de machos ou no departamento de moldagem têm contribuído com cerca de apenas 1% dos custos totais da peça fundida. Por outro lado, a seleção ou utilização incorreta de um revestimento pode levar a um valor gigantesco nos custos de acabamento, que pode subir até 5 a 10% dos custos do fundido.

Nota: esse trabalho foi apresentado no 15º Congresso Abifa de Fundição – CONAF 2011 – e encontra-se disponível em CD na Abifa e também pode ser encaminhado via e-mail (em inglês).

Contato: Lylian Fernanda Camargo – getec@abifa.org.br

1 INTRODUCTION

The capability and casting quality is the focus of enterprises due to the great demand of good and high-quality casting.

To have new concepts available which match the targets fast with sustainable solutions by optimization of the casting processes in particular by the core and mould coatings or sand additives is crucial. (1)

The deep knowledge about the processes in the foundries and it's possibilitiy to rise the service level (Costs down, productivity, flexibility and quality up), is survival-important for the foundry.

Successful foundries use the possibilities of lever arm effects: The exploration of small changes, which cause large effects.

The correct selection and use of sand additives and coatings is one of these lever arms.

Sand additives and coatings in the core shop or the moulding department have contribute only about 1 % of the total costs of the casting part. On the other hand the wrong selection or utilization of a coating can lead for a gigantic amount by fettling costs, which can rise up to 5-10% of the casting costs.

2 METHODOLOGY & RESULTS

Veining (also known as finning) has been a perennial problem for certain types of ferrous castings produced with chemically bonded sand cores. Engine blocks and heads can experience veins in narrow oil and water passageways that are difficult to remove and could cause blockage and engine failure. Ventilated brake rotors can experience veining in the "windows" that is also difficult to remove and could cause uneven heating and warpage of the rotor during use. Many different casting types with cored passageways and unfavorable geometries or sand-to-metal ratios can suffer from veining defects.

Veining has long been called an "expansion defect" linked to the non-linear expansion of silica sand as it is heated by the liquid metal during casting. The sand goes through a change in crystal structure from low or alpha quartz to high or beta quartz that results in rapid expansion, followed by contraction and then further expansion as the quartz transforms to tridamite and then crystoballite. This uneven expansion and contraction is in contrast to the more uniform and lower expansion rates of other foundry aggregates (see Figure 1.)

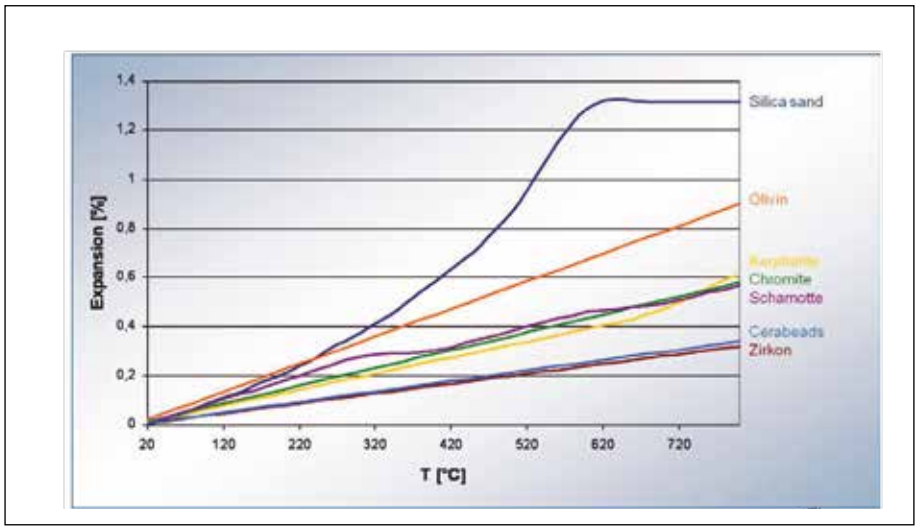


Figure 1. These are the thermal expansion curves for various foundry aggregates. (2)

There have been a number of different approaches used to combat veining problems.(3) High purity silica sand can be replaced totally or in part by other aggregates such as lake or bank sand, zircon, chromite, olivine, fused silica, or manmade materials. The lower and more uniform expansion of these materials can minimize or eliminate veining. However, these materials are also more costly than silica sand and may present special problems with molding or coremaking.

Sand additives have been used extensively to control veining. These fall into several categories depending on their chemistry and activity. Iron oxides were among the first sand additives (4).. These create a small reduction in volume as they lose oxygen and also have a "fluxing" or softening effect on the surface of the sand grains. Red iron oxides (Fe2O3) are typically used at levels of 1-2% but are very fine and may impact mold and core strength. Black iron oxide (Fe3O4) is somewhat coarser and may be used at 1 – 4% levels. Red iron oxide has also been shown to be effective when used in conjunction with other sand additives (5). . However, iron oxide may have limited compatibility with certain binder systems because of acidity.

Organic materials like dextrin, starch, and wood flour are also used at relatively low levels of 0.5 – 2%. At elevated temperatures, these will burn out and provide a volume reduction and "cushion". Like iron oxides, these materials may have negative effects on mold/core strength because the fineness of the material increases resin demand and reduces strength.

Engineered Sand Additives (ESA's) were developed to address some of the negative issues of iron oxides and starches. They may have particles sizes more similar to sand and have less impact on mold/core strength. However, they typically need to be used at higher levels to be effective against veining. One type

Figure 2. The stepcone core (left), casting (center), and sectioned casting (right) are shown above.

Figure 3. The 2x2 cores and mold (left) and a sectioned casting (right) exhibiting the veining defect are shown above.

of ESA is in the form of hollow spheres (6). It is believed that these crush and provide a volume reduction and cushion when subjected to compressive stresses. Other ESAs have low expansion rates and reportedly act as fluxes at elevated temperatures.

Other strategies have also been used. Coating or "wash" on the mold or core surface can provide some veining resistance with a low expansion layer and insulating effects that may slow the flow of heat into the surrounding sand. More angular sand can be used to reduce core density and allow space for expansion to occur. Cores can be blown at lower than normal blow pressure to produce cores with intentionally low density to allow for expansion.

	No Add.	1% W	1% RIO	2.5% ESA 1	4% ESA 2	6% ESA 3	6% ESA 4
EU Haltern H32 Sand, 1.6% Ecocure 30/60, DMEA							
Penetration	1.25	2.5	1.5	1.25	1.75	1.75	1.5
Veining	3.25	3.25	2.75	1.0	1.0	2.75	1.0
Surface Finish	2.75	2.75	2.5	2.5	2.5	2.0	2.25
SA Veiga Sand, 1.2% 405/605 Binder, DMPA							
Penetration	1.25	1.75	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Veining	2.75	3.0	1.75	1.25	1.0	1.5	1.0
Surface Finish	2.0	2.25	2.5	2.5	2.5	2.0	1.75

Tabela 1

Figure 5. MIRATEC BD prevent in the parting line veining defect

3 VEINING MEASUREMENT

Test castings have been developed over the years to measure the veining characteristics of different sand and binder systems (7).. Two types of test casting are typically used: a step cone or a 2x2 (50mmx50mm) penetration casting. The stepcone core and casting are shown in Figure 2 and the 2x2 penetration mold, cores and sectioned casting are shown in Figure 2.

The level of veining is determined visually and given a numeric ranking of 1 to 5 with level 1 having virtually no veining and level 5 exhibiting very severe veining. The measurement method is somewhat subjective, but additional quantification can be accomplished by identifying the severity and location of the vein and using a weighted formula to calculate a veining "score". Studies by Giese and Thiel (8).

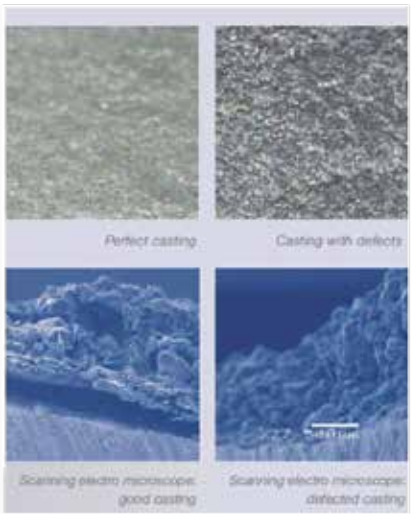


Figure 6. Comparison of MIRATEC TS (left) and conventional coating (right)

Figure 7. Casting surface with MIRATEC TS

have shown that "the defect analysis technique was demonstrated to be a viable procedure as an evaluation tool in assessing foundry materials to prevent core related defects."

The 2x2 casting test provides an advantage in that four separate cores can be tested per casting, although cores are typically tested in duplicate to improve accuracy. It also seems to be somewhat more severe in that veins will still appear in the 2x2 when stepcone cores of the same composition appear free of defects.

→ ANTI-VEINING AND ANTI-PENETRATION ADDITIVE WITH THE SCOPE TO POUR UNCOATED CORES

There has been a lot of effort in the last years to eliminating coating process in the foundries. In some areas the target has been successful implemented, e.g. for less demanded Ductile Iron castings.

ASK Chemicals has been able to develop new type of additives which enable the foundries to reduce the casting defects significant and cast more cores uncoated.

Veino Ultra is such a development, which have amazing anti-veining properties.

→ ANTIVEINING COATING

Special requirements from the casting quality are to have no veins along the parting line of the core box.

For the production of the cores there is a strong demand to have no deformation of the cores during drying process .

Examples of the coating generation MIRATEC BD show that the coating

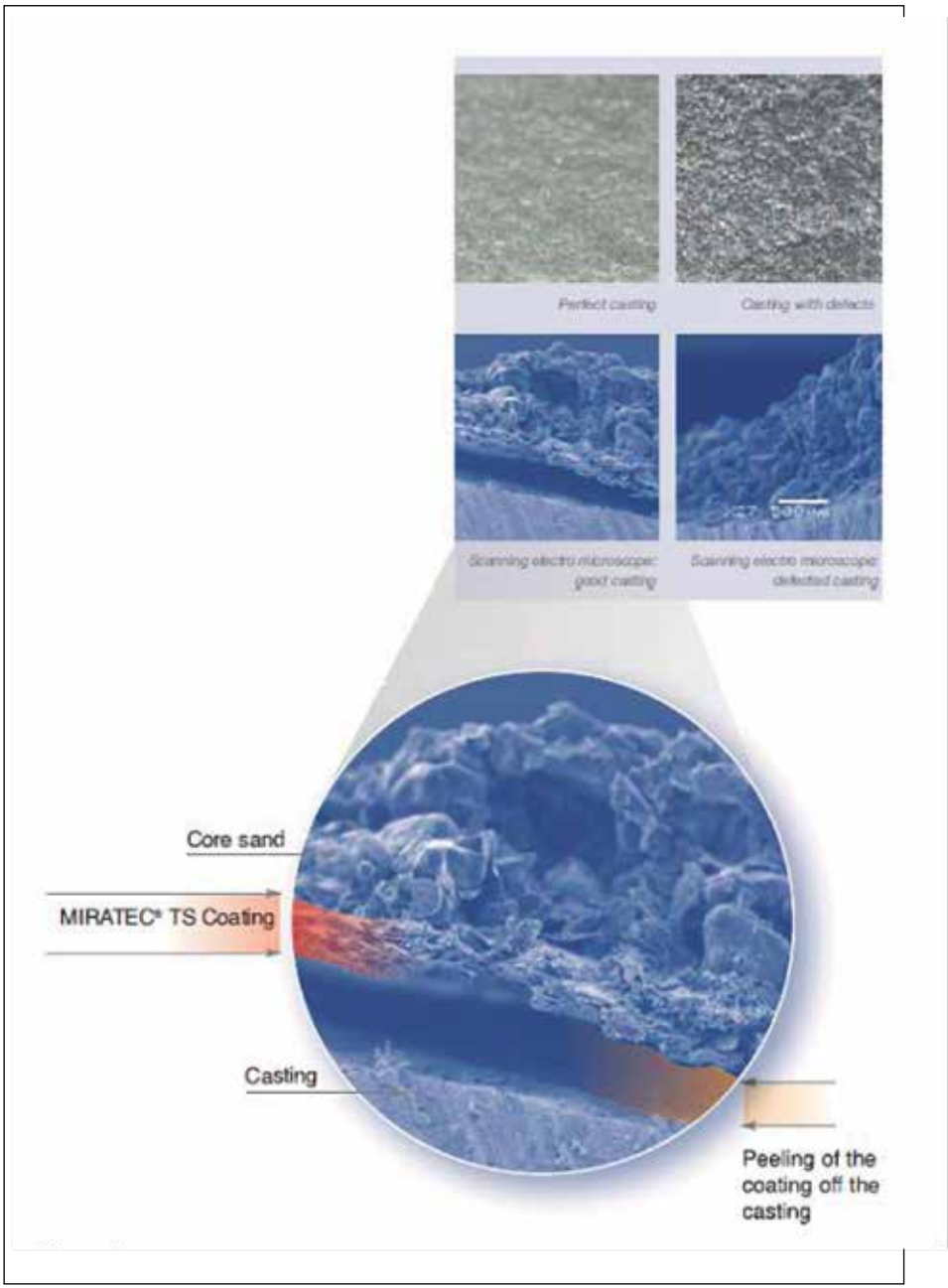

Perfect casting
Casting with defects
Scanning electro microscope: good casting
Scanning electro microscope: defected casting
Core sand
MIRATEC® TS Coating
Casting
Peeling of the coating off the casting

Figure 8

eliminate the veining and by the improved application properties, the cores can be dipped in a reduced cycles which has been improved 100% without getting drops on the core.

→ HIGH GAS PERMEABLE COATINGS AGAINS SCABBING

Scabs and gas defects are one of the defects which belong to the unpleasant one in serial foundries, because this leads to scrap.

ASK developed within the framework of a development project different extremely gas-permeable coatings which suppress these defects.

Casting parts in which the cores are highly thermally loaded by a critical low mould filling on special areas, tend to suffer by scab formation. Based on the MIRATEC MB 501, a coating that shows good results (especially in the serial casting) to avoid veining and penetration, the feature „increased gas permeability" was implemented. Furthermore the coating should have to have a short draining property and a low gloss time due to a desired reduction of the cycle time during the dipping procedure.

The new coating, which fulfils this profile, is the MIRATEC AH 501. By the implementation of this coating the scab defects could be removed both at a hydraulics casting part (core package ColdBox + shell sand) but also at a Axle housing (ColdBox - core).

Furthermore the cycle time of the dipping process has being able to be reduced to the half with this coating in comparison to the initial coating.

→ RESIDUE FREE CASTINGS WITH MITATEC TS

OEM's are forcing the foundries to deliver castings with a limited minimum amount of residue in their castings. For motor blocks these limits coulds be down to 300mg per castings. Due to the fact, that the water jackets or oil galleries are almost impossible to shoot blast, there is a serious demand on the coatings to provide flawless castings but also zero adherence of the coating on the casting surface.

A special coating based on good anti-veining and anti-penetration properties have been developed, which reduce the coating residue after pouring to a minimum. SEM investigations show, that the coating has self-releasing properties after pouring.

The investigation show that with the MIRATEC TS the coating flakes of from the casting itselfes and release a very clean surface. The residue has been reduced to the half to a third compared with the conventional coating.

→ PROTECTION AGAINST GRAPHITE DEGENERATION IN DUCTILE AND COMPACTED GRAPHITE IRON

Coatings have been developed which block the transport of Sulfur or Oxigen into the melt. There are different mechanism which are available, to maintain the targeted property.

One is to reduce the transport of the Sulphur or Oxigen towards the interface

with the metal, by applying coatings with impregnating properties e.g. SILICO IM 801. Other mechanism is the use of Sulphur or Oxigen adsorbing components e.g. Calcium compounds in the coating.

4 SUMMARY

New coating and Additive developments enable foundries to produce flawless and residue castings in a less complicated way with less side effects and even enable coating free casting production

Codewords: Mould and core coating, sand additives, foundry, performance, casting defect.

BIBLIOGRAPHY

1. Stephan Rudolph, Gießerei-Praxis No. 6-1993, page 105
2. Reinhard Stötzel, diagram from conference transcript, 3rd Duisburg moulding material day 2000
3. Showman, R., Horvath, L., Clifford, S., Harmon, S., Lawson, E., "A Systematic Approach to Veining Control", AFS Casting Congress Proceedings, 11-005.
4. R.W. Monroe, "Use of Iron Oxide in Mold and Core Mixes for Ferrous Castings. AFS Transactions 1988.
5. S.G. Baker, J.M. Werling, "Expansion Control Method for Sand Cores", AFS Transactions 2003
6. T.J. Gilbreath, P.L.Zajac, J. Bruce, "New Sand Additive Alternative for Veining and Penetration Defects in Thin-Walled Castings", AFS Transactions 1999.
7. W.L. Tordoff, R.D. Tenaglia, "Test Casting Evaluation of Chemical Binder Systems", AFS Transactions 1980.
8. S.R. Giese, J.Thiel, "Numeric Ranking of Step Cone Test Castings", AFS Transactions 2007.

Code words: Mould and core coating, coatings, foundry, performance, casting defect.

Qualidade Total em Ferro Cinzento e Nodular

A **FUNDIÇÃO JUPTER** é uma empresa voltada a atender um mercado dinâmico e competitivo com demandas específicas e alto grau de exigência. Sempre trabalhando ao lado dos clientes com o objetivo de desenvolver produtos que atendam as necessidades dos projetos e que superem as expectativas, buscando melhorias contínuas em cada fase do processo produtivo, garantindo produtos com qualidade e excelência.

- Laboratório equipado para: ensaios químicos, metalográficos, mecânicos, areia verde.
- Processos de moldagem para fabricação de até 1500Kg.
- Fusão com capacidade de produção de 300 toneladas/mês.
- Macharia, acabamento e modelação para reparos e manutenções.

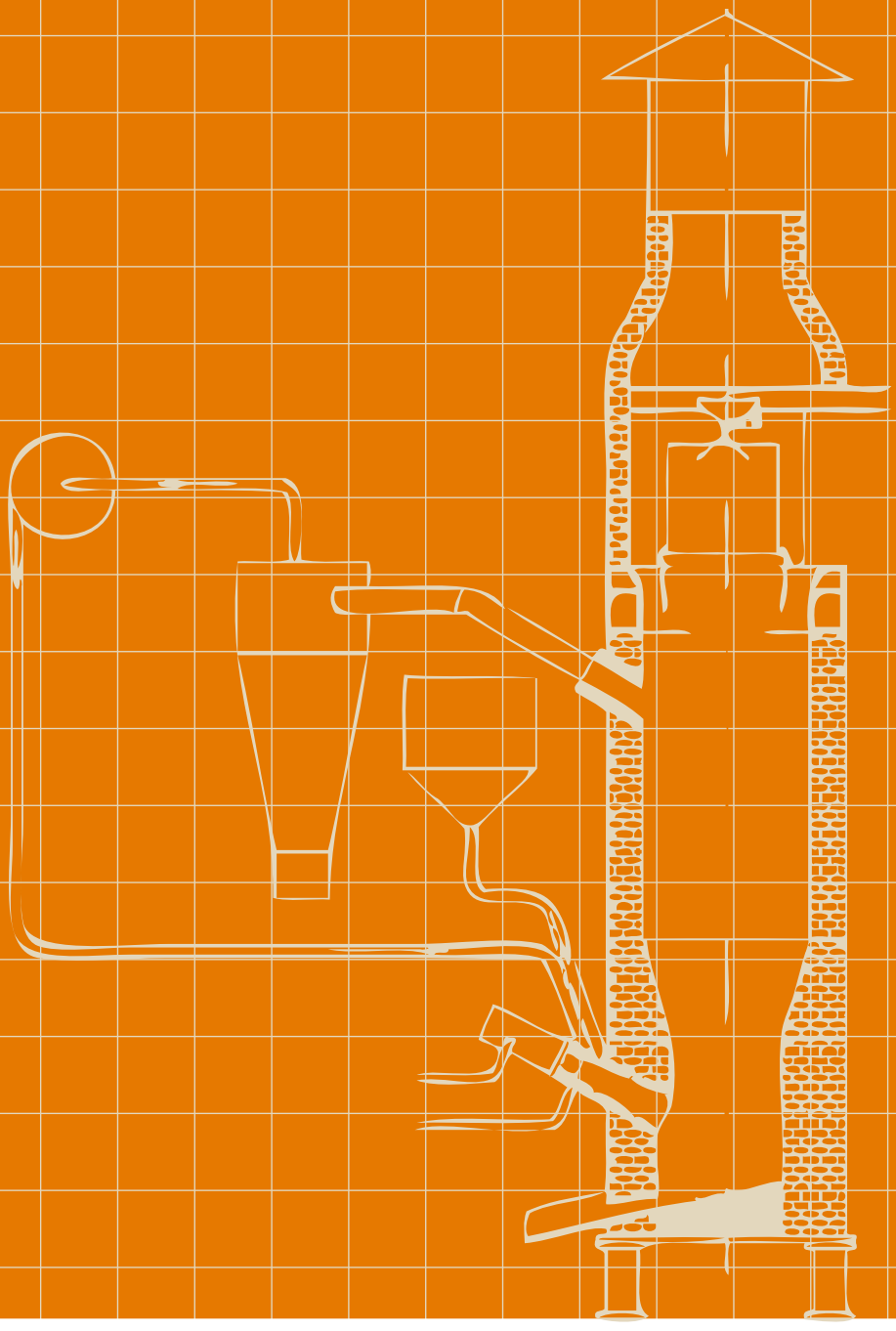
Diversos Segmentos:

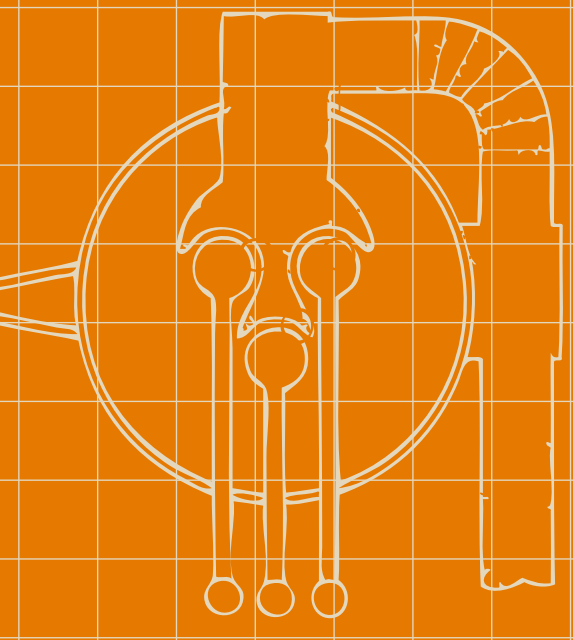
- Automotivo
- Ferroviário
- Máquinas operatrizes
- Válvulas
- Bombas industriais
- Agrícola
- Eletroferragens
- Equipamentos para movimentação de cargas

ABIFA
Associado

FundiçãoJupter

Estrada Municipal Fábio da Silva Prado - Km 06 - Elihu Root - Araras - SP
Tel.: 19 3544.3047 - vendas.jupter@gmail.com - www.fundicaojupter.com.br





Novembro 2015

Edição 186

1 Viabilidade econômica da aplicação funcional de uma mistura de solo com areia descartada de fundição (ADF) em aterros sanitários [1]

Luciene Gachet Ferrari Domingues[2]
Gisleiva Cristina dos Santos Ferreira[3]

RESUMO

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos é fundamental novos estudos e tecnologias para aplicação de resíduos em diversas áreas. Para suprir essa necessidade, há normas nacionais e internacionais para utilização de areia descartada de fundição (ADF) na construção civil. O objetivo desta pesquisa foi analisar a viabilidade econômica da aplicação funcional de misturas de solo com ADF para cobertura de resíduos sólidos em aterros sanitários. Concluiu-se que a mistura de solo + 70% ADF estudada atende os requisitos de permeabilidade, classificação ambiental e é viável a partir de parâmetros econômicos, não apresentando custos extras para a aplicação desejada.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos; Sustentabilidade; Geotecnia.

Economic feasibility of funcional application of a soil mixture with waste foundy sand (wfs) in landfills

ABSTRACT

According to the National Policy on Solid Waste is fundamental news studies and technologies for waste application in several areas. To meet this need, there are national and international standards for use of waste foundry sand (WFS) in construction. The objective of this research was to analyze the economic feasibility of functional application of soil mixture with WFS to cover solid waste in landfills. It was concluded that the mixture studied with soil + 70% WFS meet the permeability requirements, environmental classification and is feasible from economic parameters, with no significant extra costs for the desired application.

Key words: Simulation, HPDC, structural, deformation, fatigue, virtual prototyping.

[1] CONAF – 17º Congresso ABIFA de Fundição.

[2] Mestra de Tecnologia e Inovação, Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.

[3] Profa. Dra. da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.

1 INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS/Lei n. 12.305, 2010) estabelece que os geradores de resíduos sólidos sejam responsabilizados pela geração, armazenamento e transporte de seus resíduos.

No panorama atual de desenvolvimento sustentável, embora as indústrias de fundição sejam consideradas apenas como geradoras de passivos ambientais, principalmente de areia descartada de fundição (ADF), também podem atuar como recicladoras, aplicando a logística reversa e sucatas em seus processos (FAGUNDES, VAZ e OLIVEIRA, 2009).

Estudos realizados comprovam que a ADF pode ser considerada como matéria-prima para diversos setores produtivos, principalmente para a construção civil, como em misturas asfálticas, em base e sub-base de pavimentos, aplicações geotécnicas, artefatos de concreto, argamassa, materiais cerâmicos, na agricultura.

Há muitas pesquisas recentes sobre a utilização de ADF em misturas asfálticas (KLINSKY, BARDINI e FABBRI, 2014; KLINSKY, 2013), em artefatos de concreto (MASTELLA et al., 2014; SIDDIQUE e DHANOA, 2013; SINGH e SIDDIQUE, 2012; BASAR e AKSOY, 2012 e SIDDIQUE e SINGH, 2011), na substituição de agregados em argamassas (PHILIPPSEN e LUZ, 2009; KACHA, NAKUM e BHOGAYATA, 2014), na fabricação de tijolos cerâmicos (QUIJORNA et al., 2012; ALONSO-SANTURDE et al., 2011; FURLANI, TONELLO e MASCHIO, 2012) e na estabilização de solos agrícolas (KOFF, LEE e DUNGAN, 2008; DUNGAN, KUKIER e LEE, 2006).

Uma alternativa promissora é a aplicação funcional de ADF na cobertura das camadas de resíduos sólidos de aterros sanitários, devido o volume de material necessário e logística já existente. Proporcionar esta funcionalidade a este resíduo traz vários benefícios como a redução da extração de matéria-prima (solo), do volume de resíduos dispostos nos aterros, facilitação da recirculação de líquidos lixiviados (chorume) e gases dentro do maciço de resíduos e dos riscos de contaminação ambiental.

Quissini (2009) estou uma amostra de ADF com adição de bentonita e concluiu que este resíduo pode ser utilizado na estrutura de aterros sanitários. Feng et al. (2008) também estudaram amostras de ADF com alta porcentagem de bentonita e concluíram que o uso deste resíduo se comporta muito bem quando utilizado em barreiras hidráulicas de aterros sanitários.

Entretanto, é necessário estudar também a viabilidade econômica desta aplicação. Portanto, o objetivo desta pesquisa é de analisar a viabilidade econômica da aplicação funcional de misturas de solo com ADF para cobertura de resíduos sólidos em aterros sanitários.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Para esta pesquisa foi utilizada areia descartada de fundição (ADF) oriunda do processo de areia verde, o qual apresenta os melhores resultados em relação à classificação ambiental. O resíduo foi cedido por uma empresa instalada na região de Piracicaba, SP, sendo composto por 78% de areia de quartzo, 20% de cimento Portland e 2% de vinhaça. A indústria já destina 20% do resíduo de ADF para fabricação de blocos de concreto sem função estrutural.

O solo definido para esta pesquisa foi classificado como latossolo argiloso e é objeto de outras pesquisas do Grupo "Aplicação de Resíduos Sólidos na Construção Civil", alocado

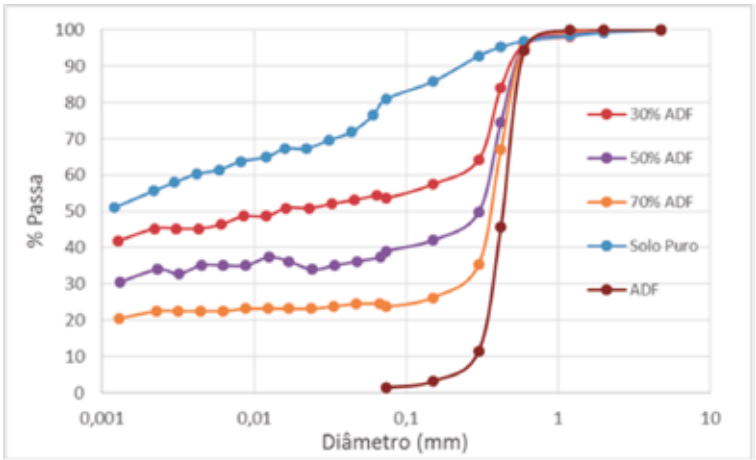


Figura 1. Distribuição granulométrica dos materiais estudados.

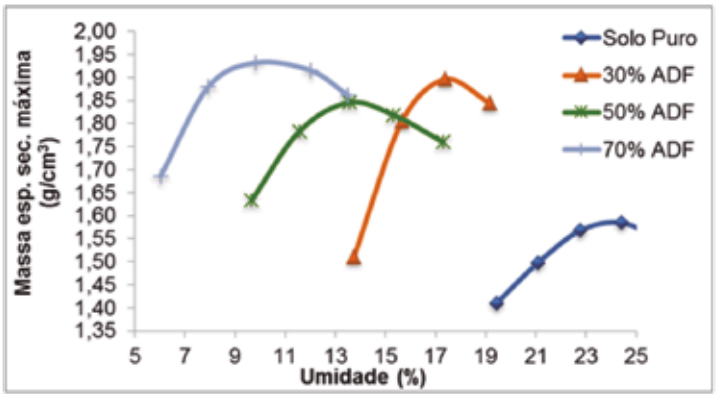


Figura 2. Compactação Proctor normal dos materiais estudados.

na Faculdade de Tecnologia da UNICAMP, campus I de Limeira, SP. Este solo também foi definido por ser indicado para cobertura de camadas de resíduos em aterros sanitários por diversos pesquisadores (RUSSO, 2005; ALMEIDA et al. 2010; BOSCOV, 2008; PRIM, 2003). Após a coleta, o solo foi preparado conforme a NBR 6457 (ABNT 1986a).

2.2 Metodologia

A classificação da amostra de solo e da ADF foi essencial para a definição dos teores de ADF utilizados nesta pesquisa. Em estudos preliminares foram compostas misturas com substituição de solo por ADF em teores de 30%, 50% e 70% e realizados ensaios de caracterização geotécnica (granulometria, NBR 7181:1994; compactação Proctor normal, NBR 7182:1986), física (permeabilidade, NBR 14545:2000) e ambiental (classificação de resíduos sólidos, NBR 10.004:2004; toxicidade com Vibrio fischeri, CETESB L5.227: 2001).

Tendo em vista que a mistura de solo + 70% de ADF atendeu ao requisito restritivo de

Material	(K) cm/s
Solo Puro	$5{,}36 \times 10^{-7}$
Solo + 30% ADF	$2{,}98 \times 10^{-7}$
Solo + 50% ADF	$2{,}62 \times 10^{-7}$
Solo + 70% ADF	$1{,}47 \times 10^{-6}$

Tabela 1. Valores dos coeficientes de permeabilidade (K)

execução de aterros sanitários pelas normas nacionais e internacionais (NBR 13896:1997 e USEPA 542-F-03-015, 2003), as quais estabelecem que o coeficiente de permeabilidade máximo de materiais definidos para a cobertura de aterros sanitários deve ser igual ou menor que 10-6 cm/s, foi aplicada uma proposta de análise econômica dos custos de operação mensal de um aterro de resíduos sólidos, comparando a cobertura convencional com a mistura de solo + 70% de ADF.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo estudado foi classificado como uma argila areno-siltosa, considerando a sua textura, apresentando teores aproximados de 55% de argila, 30% de areia e 15% de silte. Já a amostra de ADF apresentou granulometria típica de material granular arenoso (100% areia) (Figura 1).

Para o ensaio de compactação, foi adotado o método de Proctor normal, devido à energia normal ser a necessária para a compactação de solos em aterros sanitários. Neste ensaio definiu-se os valores de massa específica aparente seca máxima (ρ0) e umidade ótima (w0), representados nas curvas de compactação (Figura 2).

Para a mistura de 70% de ADF o ρ0 foi de 1,95 g/cm3 e a w0 de 10%. Klinsky (2013) obteve valores muito próximos para materiais bastante similares, com ρ0 1,72 g/cm3 e 2,05 g/cm3 e w0 de 22% e 11,3% respectivamente para solos naturais laterítico argilosos adicionados a cal e mistura deste solo + 70 ADF + cal.

A permeabilidade é um dos parâmetros mais importantes a serem analisados quando se pretende definir um material para o fundo e cobertura das camadas de resíduos sólidos em aterros sanitários, considerando a contenção da infiltração do chorume e permeabilidade, respectivamente (HAMADA, CALÇAS e GIACHETI, 2002; EPA 542-F-03-015:2003; NBR 13896:1997).

Os valores obtidos para os coeficientes de permeabilidade (K) dos materiais estudados são expressos na tabela 1.

Para conter a infiltração de líquidos dentro do maciço de resíduos, o coeficiente de permeabilidade (K) deve ser entre 10-6 cm/s à 10-9 cm/s, de acordo com alguns pesquisadores (QUSSINI, 2009; SANTOS, 2006; RAMALHO, 2011; MACAMBIRA, 2002).

Mas as normas indicam o valor do coeficiente de permeabilidade de 10-6 cm/s, o qual foi obtido para a mistura com 70% de ADF. Com isso, mesmo com o aumento da permeabilidade, o teor de 70% ADF foi indicado porque não ultrapassou o limite normatizado e além disso apresenta um maior consumo do resíduo.

Material para cobertura de aterros sanitários	Custo diário[1]	Custo maquinário/dia[2]	Custo mão de obra/dia[3]	Custo final diário
Cobertura de solo	R$ 19.597,53	Pré-existente	Pré-existente	R$ 19.597,53
Cobertura de solo + 70% ADF	R$ 17.429,55	R$ 27,40	R$ 87,23	R$ 17.544,18

Tabela 2. Custos diários operacionais para a etapa de cobertura de aterros com solo e com solo + 70% ADF.

Para os ensaios de caracterização ambiental, a amostra de ADF e a mistura de solo + 70% ADF se classificaram como Classe II-A, resíduo não perigoso e não inerte. As amostras de ADF, solo puro e as misturas de solo com ADF não apresentaram toxicidade aguda expressiva, pelo método de detecção de toxicidade MicrotoxTM, com utilização da bactéria bioluminescente Vibrio fischeri.

Com base nos resultados satisfatórios obtidos para a mistura que mais incorporou o resíduo estudado, desenvolveu-se uma análise da viabilidade econômica do uso da aplicação funcional de ADF em aterros sanitários, comparando custos operacionais de um aterro sanitário com solo e mistura de solo + 70% ADF na cobertura das camadas de resíduos (Tabela 2).

Em relação à aquisição de maquinário específico (retroescavadeira) para composição das misturas de solo + ADF, optou-se por diluir o investimento inicial, de aproximadamente R$ 200.000,00 (pesquisa de mercado) em 20 anos (previsão de vida útil do aterro) e assim obter o valor diário de R$ 27,40. Para a mão de obra, adotou-se o valor de R$ 87,23/dia (20 dias de trabalho por mês). Estes valores foram obtidos na Tabela de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO/PINI 2014).

Com estes cálculos, obteve-se um custo diário para a operação de um aterro sanitário com a mistura estudada (solo + 70% ADF) de R$17.550,00, ou seja, 9% inferior ao custo operacional de um aterro aplicando material convencional (solo), o que comprova a viabilidade econômica desta aplicação.

Deve-se considerar que a ADF já é enviada para aterros sanitários, porém sem nenhuma função, o que implica na oneração dos custos de produção das indústrias de fundição. Este benefício econômico pode ser compartilhado entre o setor gerador (fundições) e os aterros sanitários. Assim, poderá haver maiores investimentos de ambos, como na redução e segregação dos resíduos.

Ainda, vale ressaltar que esta aplicação funcional proporcionará benefícios técnicos e ambientais, como o aumento da vida útil de aterros sanitários e menor extração de matéria-prima (solo) para cobertura de resíduos sólidos em aterros sanitários.

4 CONCLUSÃO

A mistura de solo com teor de substituição de 70% de ADF apresentou viabilidade econômica segundo a análise de custos adotada. Além disso, atendeu aos requisitos indicados de

textura, permeabilidade e classificação ambiental, os quais preconizam a sustentabilidade desta proposta de aplicação para a ADF.

Este estudo possibilita ganhos técnicos, ambientais e financeiros aos gestores dos aterros e às indústrias geradoras do resíduo.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Processo n.2013/03877-0) e a indústria de fundição Femaq.

REFERÊNCIAS

1 ABNT. NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2004.
2 ABNT. NBR 14545: Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2000.
3 ABNT. NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1997.
4 ABNT. NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1986.
5 ABNT. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1984.
6 ABNT. NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1986.
7 ALMEIDA, F.T.R.; SANTOS, G. O.; SILVA, R.A.C.; GOMES, C.C. Caracterização física do solo utilizado em camadas de cobertura no aterro sanitário de Cauicaia- Ceará. In.: V Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica CONNEPI, Alagoas, 2010.
8 ALONSO-SANTURDE, R.; ANDRÉS, A.; VIGURI, J.R.; RAIOMONDO, M.; GUARANI, G.; ZANELLI, C.; DONDI, M. Technological behavior and recycling potential of spent foundry sands in clay bricks. Journal of Environmental Management 92, 2011, p. 994-1002.
9 BASAR, H.M.; AKYSOY, N.D. The effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the mechanical, leaching and micro-structural characteristics of ready-mixed concrete. Construction and Building Materials 35, 2012, p. 508–515.
10 BOSCOV, M.E.G. Geotecnia Ambiental. São Paulo: Oficina de textos, 2008.
11 CLAUMANN DA SILVA, C. Comportamento de solos siltosos quando reforçados com fibras e melhorados com aditivos químicos e orgânicos. Dissertação (Mestrado) Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
12 COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Norma Técnica L5.227 - Teste de toxicidade com a bactéria luminescente Vibrio fischeri: método de ensaio. São Paulo, 2001.
13 DUNGAN R.S., KUKIER, U., LEE B. Blending foundry sands with soil: Effect on dehydrogenase activity. Science of the Total Environment 357, 2006, p. 221– 230.
14 ENVIRONMENTAL PROTECT AGENCY (USEPA) 542-F-03-015. Evapotranspiration Landfill Cover Systems Fact Sheet. United States, 2003.
15 FAGUNDES, A. B.; VAZ, C. R.; OLIVEIRA, I. L. Caminhos para a sustentabilidade do setor de fundição no Brasil. In: Simpósio. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2009.
16 FENG, T.; CUI, H.; SUN, D.; DU, B. Swelling characteristics of immersed sand-bentonite mixtures. Journal of Central South University of Technology, v. 15, China, 2008, p. 203-208.
17 FURLANI, E.; TONELLO, G.; ANEGGI, E.; MASCHIO, S. Preparation and characterization of sintered ceramics made with spent foundry olivine sand and clay. Ceramics International 38, 2012, p. 2619–2625.
18 HAMADA, J., CALÇAS, D. A. N.Q.P., GIACHETI, H. Escoamento de chorume de aterros sanitários em solos arenosos compactados. In.: XXVIII Congresso Inter- Americano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Cancun, México, 27 a 31 de outubro, 2002.

19 KLINSKY, L. M. G.; BARDINI, V. S. S.; FABBRI, G. T. P. Efeito da adição de areia de fundição residual e cal a solos argilosos no módulo de resiliência. Revista Transportes 22 (2), 2014.
20 KLINSKY, L. M. G. Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição residual em camadas de pavimentos. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.
21 KOFF J.P., LEE B.D., DUNGAN, R.S. Amelioration of Physical Strength in Waste Foundry Green Sands for Reuse as a Soil Amendment. Journal of Environmental Quality 37, 2008, p.2332 -2338.
22 LINHARES, R. M. Análises de estabilidade de talude rodoviário em solo residual. Trabalho de conclusão de curso. Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de janeiro, Rio de Janeiro, 2011, 54 p.
23 MACAMBIRA, I. Q. Comportamento hidráulico de alguns solos lateríticos para uso como barreira impermeável. Dissertação (mestrado em geotecnia). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002, 110 p.
24 MASTELLA, M.A.; GILSON, E.S.; PELISSER, F.; RICKEN, C.; SILVA, L.; ANGIOLETTO, E.; MONTENDO, O. R. K. Mechanical and toxicological evaluation of concrete artifacts containing waste foundry sand. Waste Management, 2014.
25 OLIVEIRA, D. A. F. Estabilidade de taludes de maciços de resíduos sólidos urbanos. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília. Brasília, 2002, 203p.
26 PASCHOALIN FILHO, J.A. Utilização de solo residual de diabásio como elemento de fundação e material de construção de aterros compactados para barragens de pequeno porte. Dissertação (Mestrado) da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2002.
27 PHILIPPSEN, R. A; LUZ, C. A. Valorização da areia de fundição em concreto. In: 51° Congresso Brasileiro de Concreto. IBRACON, 2009.
28 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Lei n. 13.305, 02 de agosto de 2010.
29 PRIM, E. C. C. Aterros Sanitários: Estudo dos Mecanismos de Retenção dos líquidos percolados em solos argilosos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina 3ª Semana de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, de 4 a 7 de julho de 2003. Santa Catarina, SC, 2003.
30 QUIJORNA, N.; COZA, A.; ANDRES, A; CHEESEMAN, C. Recycling of Waelzsla and waste foundry sand in red clay bricks. Resources, Conservation and Recycling 65, 2012, p.1–10.
31 QUISSINI, C. S. Estudo da aplicação da areia descartada de fundição como material alternativo para camada de cobertura de aterro de resíduos. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2009, 83 p.
32 RAMALHO, R. W. Avaliação em laboratório da utilização de emulsão com óleo de xisto na imprimação de solos. Dissertação de Mestrado. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto, MG, 2011, 180 p.
33 RUSSO, M. A.T. Avaliação dos processos de transformação de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário. Tese de Doutorado. Universidade do Minho, Portugal, 2005.
34 SANTOS, E. F. Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas aos solos tropicais. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.
35 SIDDIQUE, R.; DHANOA, G, S. Development of Concrete using Waste Foundry Sand. In: Congresse Advances in Cement and Concrete Technology in Africa, África do Sul, 2013.
36 SIDDIQUE, R.; SINGH, G. Utilization of wast efoundry sand (WFS) in concrete manufacturing. Resources, Conservation and Recycling, v. 55, 2011, pp. 885– 892.
37 SINGH, G.; SIDDIQUE, R. Effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the strength, ultrasonic pulse velocity and permeability of concrete. Construction and Building Materials 26, 2012, p.416–422.
38 TCPO. Tabelas de composições de preços para orçamentos. São Paulo, PINI, 2014, 648p.

TRANSFORMAR O AÇO EM SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO.

Inovar, investir em pessoas, conhecimento e tecnologia é o que faz a Altona ser reconhecida como uma das melhores empresas do mundo no setor de fundição e usinagem. Nossas peças são destinadas aos mais variados segmentos, como máquinas e equipamentos para a construção e mineração, geração de energia, naval, petróleo e gás, entre outros. Estando presente em mais de 30 países, o maior desafio da Altona continuará sendo construir um modelo de empresa inspirador.

ALTONA

ELECTRO AÇO ALTONA S.A.

WWW.ALTONA.COM.BR

AGÊNCIA F3

2 Além da simulação clássica do processo de injeção por alta pressão: estudo da previsão de geometria, fadiga do molde e comportamento estrutural[1]

Olivier Ludwig[2]
Badarinath Kalkunte[3]

RESUMO

Este artigo mostra como as soluções de fundição da ESI Group podem cumprir os desafios não convencionais encontrados na produção de peças pelo processo de fundiçãosob pressão de liga de alumínio e magnésio. Tais desafios são, por exemplo, a previsão das distorções e forma final da peça, o modelamento das consequências estruturais dos defeitos de fundição e a previsão da vida útil dos moldes permanentes. Esse trabalho foi desenvolvido com uso do software de elementos finitos ProCAST. Três exemplos estão apresentados, mostrando como enfrentar esses desafios. Para a previsão de distorções, foi simulado o processo de enchimento, solidificação e ejeção da peça, por meio de uma simulação acoplada: CFD, térmica e mecânica. A análise da vida útil do molde permanente exigiu a implantação de um modelo de fadiga cujos parâmetros são função das propriedades do material do molde. No terceiro exemplo, a influência de defeitos de solidificação nas propriedades mecânicas da liga teve que ser estudada e modelada, para avaliar as consequências no comportamento estrutural. Feito isso, a simulação do desempenho da peça pôde ser feito considerando uma peça de características "como no real".

Palavras-chave: Simulação, injeção, estrutural, deformação, fadiga, prototipagem virtual.

[1] CONAF 2015.

[2] Gerente técnico, ESI South America, São Paulo, Brasil.
[3] CastingProduct Marketing Manager, Calcom ESI, Lausanne, Switzerland.

Beyond classical numerical simulation of hpdc casting process: investigation of shape prediction, die fatigue and structural behavior

ABSTRACT

The objective of this paper is to show how ESI's casting solutions can meet the non-conventional challenges of HPDC parts production, by predicting distortion of cast parts, address the consequences of casting defects on structural behavior, and by computing low cycle fatigue life of permanent die.

This work was conducted with the Finite Element based software ProCAST. Three examples are presented and demonstrate how the above mentioned objectives are reached. For distortion analysis, the complete filling and solidification process was computed in a coupled thermal, fluid flow and mechanical simulation. The die fatigue analysis required the implementation fatigue model with material-dependent parameters. In the third case, it was necessary to evaluate which and how casting defects affects the mechanical properties of the material, and the consequences in terms of structural behavior. Thus, the performance of the "as real" part was simulated.

Key words: Simulation, HPDC, structural, deformation, fatigue, virtual prototyping.

1 INTRODUÇÃO

Peças de liga leve (alumínio, magnésio) produzidas por fundição sob pressão apresentam formas cada vez mais complexas, com espessura não homogenia, o que induz fortes gradientes térmicos. A contração da peça não é uniforme, e a compensação tradicionalmente feita por meio de um fator de contração no projeto CAD não é suficiente para garantir uma peça conforme as tolerâncias exigidas. Uma simulação numérica contemplando os aspectos térmicos e mecânicos do processo real é necessária para prever a geometria final do produto. O primeiro exemplo deste trabalho ilustra essa capacidade.

As não homogeneidades de temperaturas também são consideráveis nas peças constituintes do molde permanente. Os diversos ciclos de aquecimento e resfriamento impostos ao molde provocam deformações cíclicas do material (geralmente um aço de baixa liga do como o H13), submetendo este ao fenômeno de fadiga. Este é modelado por meio de equações tiradas da literatura de pesquisa da ciência dos materiais, e integrado numa simulação termomecânica. O segundo caso mostra uma previsão de vida útil feita junto com a simulação de fundição.

A presença de defeitos de fundição tais como rechupe, micro porosidade, oxidação do metal, etc. é fonte de diferenças nas propriedades mecânicas e, para se avaliar o comportamento da peça de maneira realística, deveria ser contemplada em uma simulação estrutural que considera-se a mais correta. Para que isso se tornerealidade, a ESI Group desenvolveu uma metodologia de controle, adaptação e

Figura 1. Ilustração do conceito de "Productlifecycle management"

transferência de resultados entre simulações numéricas dos processos de fabricação (tal como a fundição), de montagem (tal como a soldagem) e de análise estrutural ou de desempenho final (por exemplo, um crash-test de um veículo automóvel). Dessa forma, o acoplamento de simulações permite uma prototipagem virtual levando em conta todas essas etapas. A figura 1 ilustra o conceito de gerenciamento do ciclo de vida do produto (Productlifecycle management).

O objetivo é seguir um produto através do seu processo de fabricação completo, calculando, a cada estágio, a estrutura, os defeitos, as propriedades mecânicas e as dimensões - transferindo os resultados de uma simulação para outra. O terceiro exemplo apresentado foca-se no encadeamento de uma simulação de fundição com uma análiseestrutural e de rompimento de uma peça automotiva.

2 PREVISÃO DE DISTORÇÃO DE UM PAINEL INTERIOR DE PORTA DE VEÍCULO AUTOMÓVEL

O processo de injeção sob alta pressão permite a fabricação de componentes estruturais de parede fina para conseguir uma redução de peso, o que torna-se um objetivo importante da indústria automotiva. A Figura 2 mostra um painel de porta interna, exemplo típico de uma estrutura de suporte de carga, produzido pela empresa alemãGeorg Fischer Automotive AG para a montadoraMercedes-Benz. O artigo apresentado na referencia [2] mostra um exemplo de como a ferramenta industrial de simulação foi utilizado no início do ciclo de projeto para dirigir fabricação de componentes.

Para refletir a complexidade do processo real e contemplar todas as suas etapas, precisa-se conduzir uma série de simulações,explicadas em seguida.

Pré-processamento: Os dados de projeto da matriz (incluindo os canais de refrigeração, o componente com sistema de alimentação e saídas de ar) foram importados para o software de análise. Com base nesta informação, uma malha de elementos finitos (FEM) foi gerada para aqueles componentes que têm a maior influência sobre a produção da peça fundida. Durante a fase de pré-tratamento, as propriedades do material e as várias condições de contorno foram implantadas no modelo FEM de acordo com as condições específicas do processo.

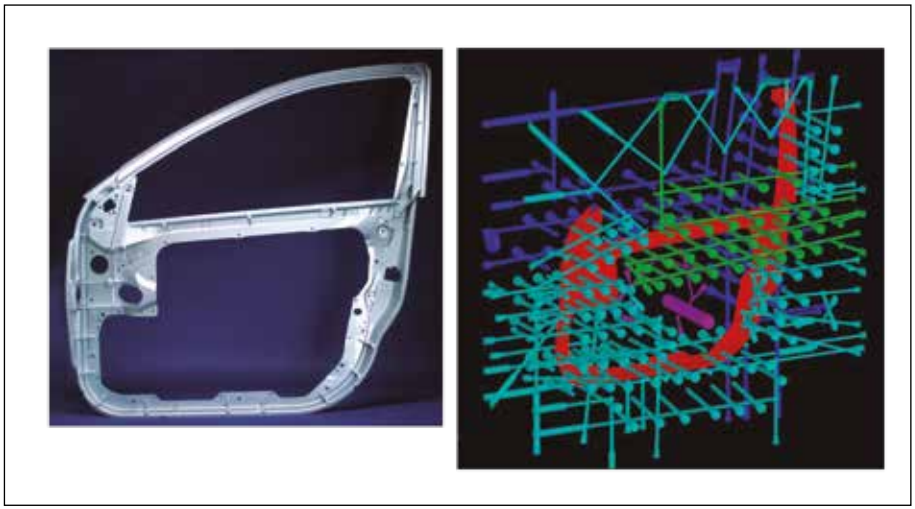


Figura 2. Peça produzida por injeção. Foto (esq) e projeto de CAD com os canais de resfriamento. Courtesyof Georg Fisher Automotive AG:

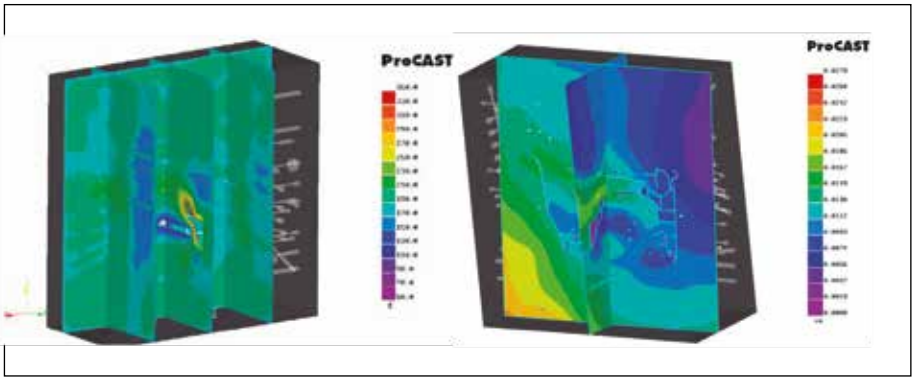


Figura 3. (a) Distribuição de temperatura após 10 ciclos. (b) Deslocamento resultante dos gradientes térmicos

Ciclagem térmica: Uma simulação térmica de um determinado número de ciclos é realizada para alcançar a temperatura de estado estacionário na matriz. Etapas do processo, como abertura do molde, pulverização e fechamento foram descritas por condições de contorno dependentes do tempo. A Figura 3.a mostra a distribuição da temperatura no final de 10 ciclos em diferentes secções da matriz. A Figura 3.b exibe a deformação da matriz correspondente ao campo térmico mostrado na Figura 3.a: a deformação máxima observada foi inferior a 0,2 mm, e localiza-se longe da cavidade. Portanto, a influência desta deformação em atingir a temperatura de funcionamento da matriz não foi tomada em consideração, a fim de poupar tempo de cálculo e para reduzir a duração do projeto.

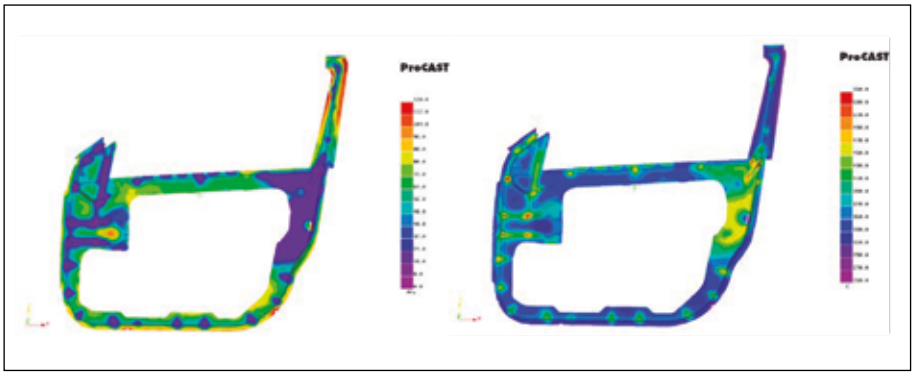


Figura 4.a: Tensão de Von Mises antes da ejeção Figura 4.b: Temperatura do fundido antes da ejeção

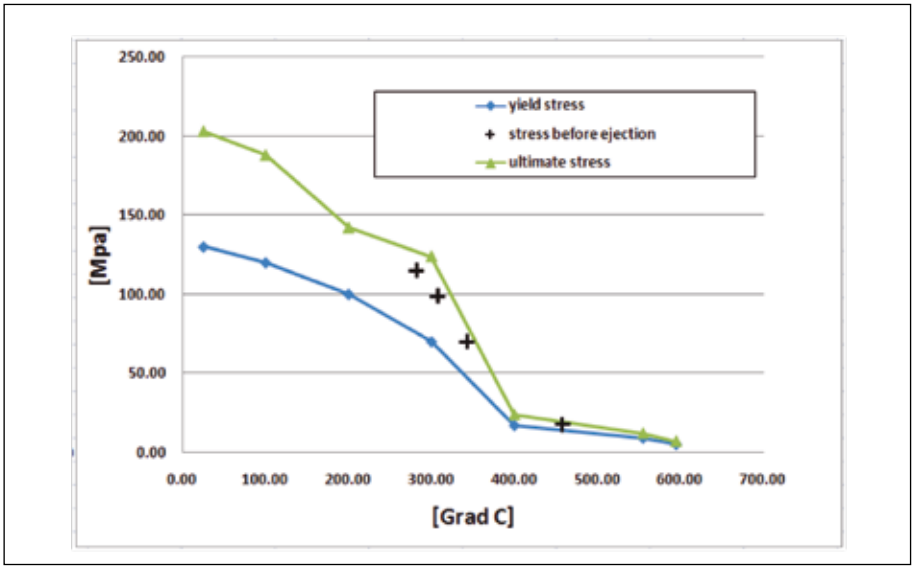


Figura 5. Propriedades mecânicas da liga fundida e tensões calculadas, em função da temperatura

Enchimento: O enchimento da cavidade utiliza como condição inicialas temperaturas do estado estacionário obtido a partir da simulação dos ciclos térmicos. Os componentes da matriz começam com o campo de temperatura atingido no final de 10 ciclos térmicos. O metal fundido é injetado dentro da cavidade com base no perfil de velocidade do pistão definido para este componente. O resultado do cálculo acoplado da transferência de calor e do fluxo de metal é uma cavidade cheia, onde a peça tem uma temperatura não uniforme.

Figure 4.a: Tensão de Von Mises antes da ejeção Figure 4.b: Temperatura do fundido antes da ejeção

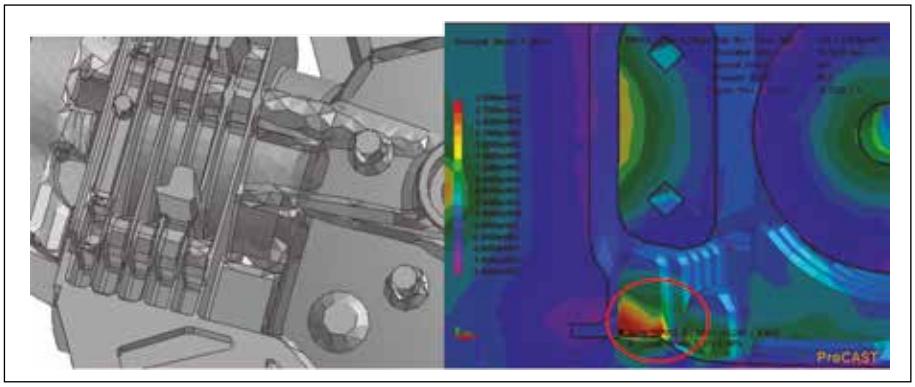


Figura 9. Geometria da peça estudada e mapa da Tensão Principal I na região do molde, no momento em que ela atinge o seu valor máximo.

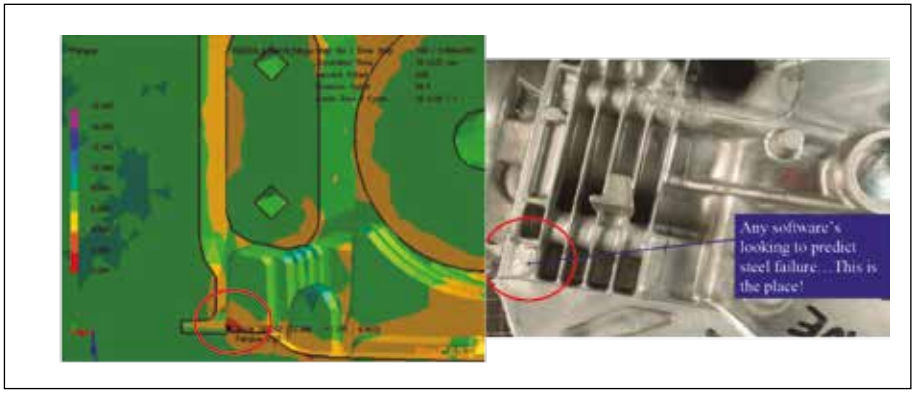


Figura 10. Resultado "Fatigue" indicando a vida útil do molde e foto da peça fundida com defeito.

Simulação termomecânica 1: A simulação mecânica começa com o campo de temperatura obtido a partir do final da análise de fluxo, quando a cavidade está completamente cheia. Uma simulação termomecânica acoplada foi realizada. Para a liga de fundição, foi aplicado um modelo de material elástico-plástico com propriedades do material dependentes da temperatura. Por uma questão de simplificação, a matriz é considerada idealmente rígida. Pequenos deslocamentos no fundido aparecem em áreas onde o encolhimento não é impedido ou restringido. Em determinadas áreas, o componente perde parcialmente o contato com a superfície do molde, o que reduz a transferência de calor entre o metal fundido e a matriz. A ferramenta de simulação de fundição contempla esses fenômenos, reduzindo o coeficiente de transferência de calor conforme a espessura da folga formada. Em áreas onde o encolhimento é impedido devido às restrições do molde, as tensões aparecem. A Figura 4.a mostra a tensão de Von Mises imediatamente antes de ejecção da peça de fundição, enquanto a Figura 4.b mostra as temperaturas correspondentes.

Ao comparar os dois resultados torna-se bastante evidente que as áreas de tem-

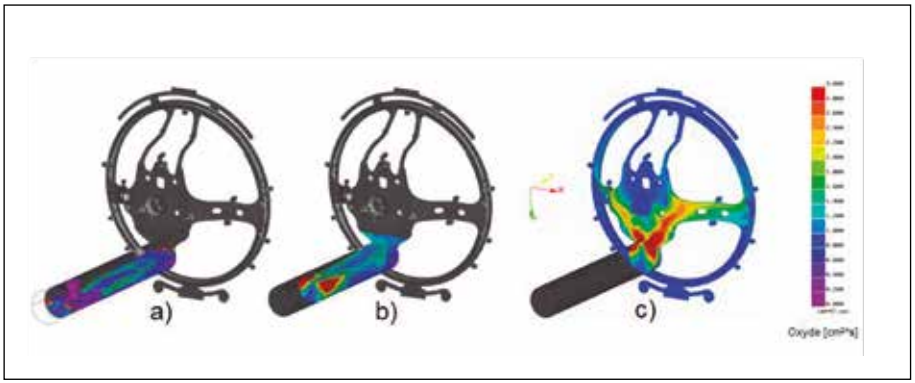


Figura 11. Injeção do metal na cavidade simulado com movimento do pistão. Resultado: mapa do risco de oxidação do metal.CourtesyofTakata-Petri AG.

peratura mais elevada têm baixas tensões e vice-versa. Para explicar este comportamento, os valores de tensão e de temperatura em nós selecionados foram identificados e representados graficamente em conjunto com as propriedades mecânicas da liga de alumínio fundido, que dependem da temperatura. Como podemos ver na Figura 5, as tensões observadas estão todas entre o limite de elasticidade e o limite de tensão de ruptura. Isto significa que uma deformação plástica permanente esta acontecendo durante a solidificação e o resfriamento da peça. A contração térmica combinada com as restrições locais formadas pelas características geométricas da cavidade induzem tensões muito mais elevadas do que o limite de elasticidade no local.

- Yield stress: Limite de escoamento
- Ultimate stress: limite de ruptura
- Stress beforeejection: tensão e temperatura em determinados pontos da peça antes da ejeção.

Simulação termomecânica 2: Esta etapa foca-se na ejeção da peça fundida e o arrefecimento subsequente até a temperatura ambiente. Na hora da ejeção, o componente tende para um novo estado de equilíbrio quando está livre das restrições da matriz. As tensões sobre o componente estão relaxadas e o retorno elástico produz uma quantidade correspondente de deformação. O segundo efeito importante consiste no arrefecimento do componente para a temperatura ambiente a partir do campo de temperatura não homogênea no tempo de ejecção da matriz. A Figura 4 e a Figura 6 demonstram claramente a alteração da parte do estado de tensão antes e após a ejeção do molde. A Figura 7 mostra a distribuição de temperatura logo após a ejeção. Na Figura 7 algumas áreas mais quentes no componente são claramente visíveis (circulado). Quando essas áreas arrefecerem até à temperatura ambiente (Figura 7, imagem à direita) eles encolhem um pouco mais do que a área circundante, no lado esquerdo, que é um pouco mais fria. A parte superior da estrutura da porta deforma para dentro devido a este fenómeno (ver seta) e, por consequência, não está de acordo com a tolerância geométrica necessária.

Simulação termomecânica 3: Neste passo, o corte do sistema de alimentação é levado em conta. O princípio é bastante semelhante ao da etapa 2. Os campos de

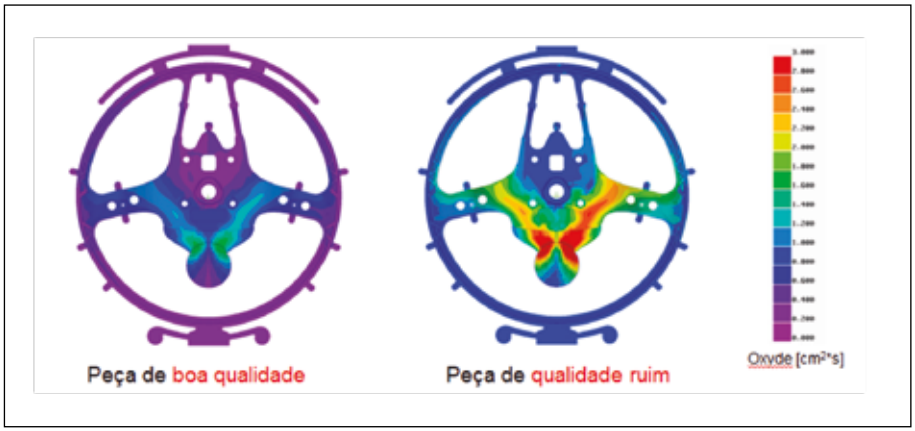


Figura 12. Comparação de resultados de simulação de dois perfis de velocidade. Esquerda: baixo nível de oxidação do metal. Direita: regiões com alto nível de oxidação.

temperatura e tensão da simulação anterior são usados como entrada para esta nova análise. Uma vez que o sistema de alimentação é na maior parte mais quente do que o componente, o primeiro tende a encolher com uma velocidade diferente do que o segundo. Consequentemente, tensões transversais são iniciadas na zona dos ata-

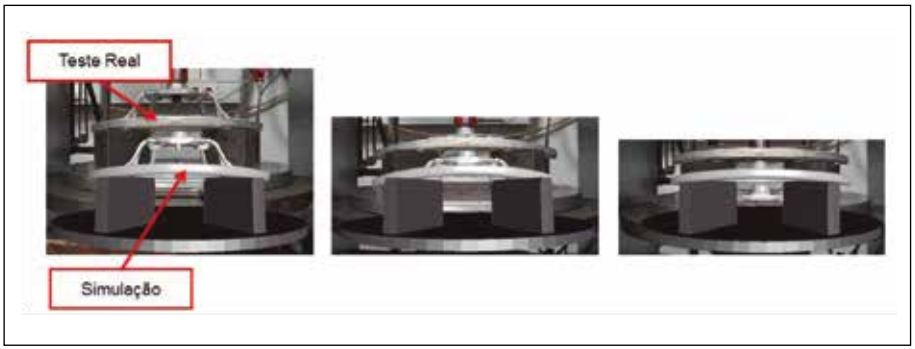


Figura 13. Comparação da deformação e ruptura entre um teste real e a predição feita por simulação numérica.

ques, que são os pontos de contato entre o sistema de alimentação e a peça. Aqui o solver mecânico determina um novo equilíbrio no primeiro passo do cálculo.

Pós-processamento: Os resultados são calculados em comparação aos dados CAD da matriz, incluindo a temperatura inicial do ciclo de pré-aquecimento. Assumindo um pré-aquecimento uniforme dos moldes, a expansão linear da matriz é dada pelo produto da diferença de temperatura entre a temperatura de pré-aquecimento e a temperatura ambiente, pelo coeficiente de dilatação linear do aço. No exemplo apresentado foi usada uma temperatura de pré-aquecimento de 200°C, o que corresponde a um fator de escala de 0,23%. Os resultados são, portanto, dimensionados por este fator. O ponto de interesse não é apenas a deformação da matriz, mas o deslocamento em relação à geometria de referência da parte. Por esta razão a malha da peça de fundição é reduzida por um fator de encolhimento. Esta é utilizada como referência para determinar a deformação final.

Uma medição de deformação está sempre relacionada a um determinado sistema de coordenadas. No departamento de qualidade, a deformação do painel da porta foi determinada por aperto do componente em um dispositivo de medição sem influenciar a forma da peça. Em seguida, as coordenadas foram medidas em pontos de medição pré-marcados. Do mesmo modo, os resultados da simulação foram transformados no mesmo sistema de coordenadas de referência. Os resultados finais de deformação estão apresentados na Figura 8. A área indicada na Figura 8 mostra que o componente não satisfaz as tolerâncias requeridas (os valores de deslocamento foram escondidos por motivo de confidencialidade).

Os resultados da simulação e as medições experimentais obtidas pelo fabricante do componente concordam com precisão na direção da deformação e na ordem de grandeza do valor observado na realidade.

3 AVALIAÇÃO DA FADIGA DO MOLDE

Os ciclos sucessivos de produção de peças fazem com que as partes dos moldes

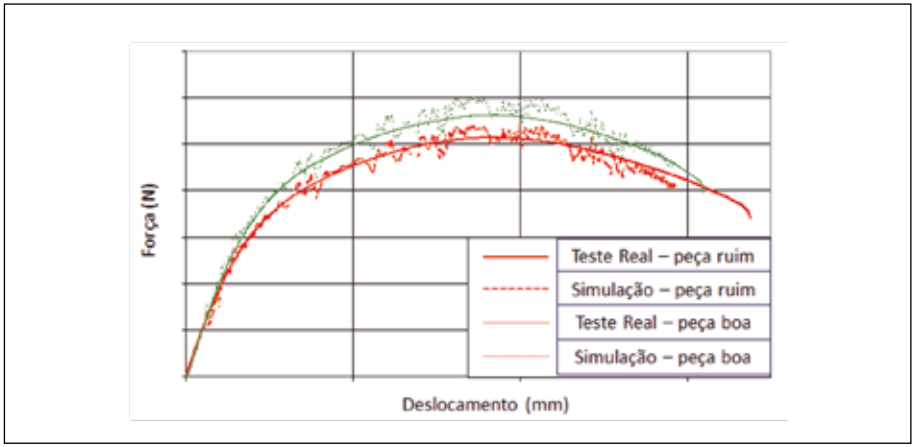


Figura 14. Resultado do teste de compressão quase estática. Curvas Força x Deslocamento para as duas peças, medidas no teste real e na simulação.

se deformem de maneira cíclica e o fenômeno de fadiga posse acontecer. Quando se faz uma simulação mecânica envolvendo ciclagem e deformação do molde, o solver do ProCAST calcula automaticamente um indicador de ciclos de vida das peças. Esse cálculo é baseado na combinação das leis de fadiga de Manson-Coffin (baixo numero de ciclos) e de Basquin (alto numero de ciclos) e prevê o numero de ciclos de produção podendo ser conduzidos até a formação das primeiras fissuras de fadiga. A referência [Brechet] contem os detalhes do modelo. A Figura 9 mostra um mapa da tensão principal I (major stress) em uma região do molde, num determinado momento durante a solidificação da peça.

O alto valor da tensão principal I na região cercada indica que uma tensão trativa está atuando no material e sugere um possível dano nesta área. O resultado do indicador de fadiga esta apresentado pela figura 10: na mesma região onde se formam as tensões altas, observamos também um resultado "Fatigue" de baixo valor, indicando que a peça estará danificada após um baixo numero de ciclos (peças produzidas). O valor mínimo desse indicador nessa região é de 2,6 o que significa 102.6 = 298 ciclos de produção antes da primeira fissura. A consequência desse dano pode se materializar na forma de defeito,aparecimentode vazamento, como mostrado na foto ao lado.

3 PROTOTIPAGEM VIRTUAL COMPLETA: SIMULAÇÃO DAS CONSEQUÊNCIAS DOS DEFEITOS DE FUNDIÇÃO NO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

Neste último caso de estudo consiste de uma peça de Magnésio injetada (um corpo de volante produzido por Takata-Petri AG) apresentando alguns defeitos relacionados à oxidação do metal líquido durante as fases de enchimento. O estudo completo pode ser consultado na referencia [4].

O enchimento da cavidade foi simulado por meio de uma movimentação do pistão (Figura 11). A velocidade do mesmo em função da distancia percorrida é um dado de entrada do modelo que permite refletir a realidade do processo na simulação. Dependendo do perfil de velocidade, pode-se formar uma oxidação do metal devido às turbulências ou "ondas" na superfície livre. O risco de oxidação é calculado ao longo da simulação de enchimento. A figura 12 apresenta o resultado de dois casos: no primeiro, o perfil de velocidade do pistão resultou em um baixo risco de oxidação (peça "boa"). No segundo, à direita, o outro perfil resultou em regiões de alto risco de defeito na peça (peça "ruim").Estes resultados foram comprovados experimentalmente, com testes de injeção realizados conforme aos dados das simulações, e analisando a presença de defeito de oxidação por meio de teste de ralo X.

Após a análise dos resultados das simulações de fundição, fica normalmente a dúvida sobre a influencia desses defeitos (no caso, o nível de oxidação do metal) na parte estrutural do componente estudado. Isso acontece porque a maioria dos softwares de fundição não permite uma análise mecânica após o enchimento, nem contemplama presença de defeitos no modelamento ou nas propriedades do material da peça estrutural a ser avaliada.

A ESI Group desenvolveuuma metodologia de transferência dos resultados de defeitos de fundição para a análise estrutural: de maneira resumida, o limite de ruptura e escoamento do material é diminuído pela presença de defeitos. Portanto, quando se faz uma simulação do desempenho mecânico da peça precisa-se mapear essa diferencia de propriedade na malha do modelo mecânico, como se cada elemento do modelo tivesse as suas propriedades especificas. A simulação mecânica é feita com o software de elementos finitos Virtual PerformanceSolution (VPS), também da ESI Group, que troca informações diretamente com o ProCAST.

Essa abordagem foi validada por meio de testes experimentais feitos na peça real (Figura 13). O ensaio destrutivo escolhido foi a compressão quase-estática, onde se aplica um carregamento de velocidade constante na parte central do volante. A força de reação é medida até chegar à ruptura e o resultado é analisado na forma de curva Força x Deslocamento aplicado.

Este mesmo teste foi reproduzido virtualmente com o VPS, analisando o comportamento da peça "boa" e da peça "ruim", utilizando a abordagem descrita acima. A figura 14 apresenta as curvas Força x Deslocamento obtidas para as duas peças, tanto de maneira experimental como virtual. Constata-se que a simulação foi capaz de reproduzir de maneira fiel o comportamento observado nas duas peças: a força máxima foi menor para a peça defeituosa, e o rompimento aconteceu por um deslocamento menor do que o da peça isenta de defeito. Esse resultado qualitativo se verifica na simulação. Os valores das forças medidas e simuladas são bem próximos, o que permite concluir em um bom acordo quantitativo.

5 CONCLUSÃO

Essa contribuição ao 17º CONAF apresentou a utilidade da simulação numérica nos desafios encontrados na produção de peças estruturais por meio do processo de fundição sob pressão. No primeiro caso, as distorções previstas foram comparadas com medições de peças em escala real. O acordo foi satisfatório. Em seguida,

oindicador de fadiga permitiu uma previsão qualitativa através da detecção das regiões críticas onde ocorreria a falha. Por fim, um defeito de enchimento relacionado à velocidade de pistão de injeção foi provado ser o fator crítico que determinava o comportamento estrutural do componente investigado. Isto mostrou como possíveis defeitos de fabricação afetam diretamente o desempenho do produto final.Podemos então concluir que os programas de simulação de fundição modernos são ferramentas que permitem hoje uma predição quantitativa de efeitos de fundição e da geometria do componente estudado. Uma simulação de fundição feita com ProCASTé o primeiro elo da cadeia de processo End-To-End da prototipagem virtual. A sinergia e a interoperabilidade dos produtos da ESI Group permitem que este conceito se torne uma realidade accessível ao engenheiro de desenho e de produto, visando a redução dos custos, eliminando protótipos reais e o desenvolvimento cada vez mais rápido de novos produtos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem Ole Koeser e Marco Aloe, da Calcom ESI, que forneceram as simulações, bem como as empresas Georg Fisher AG e Takata-Petri AG, para disponibilizar os resultados experimentais.

REFERÊNCIAS

1 KALKUNTE, B., KRUTIS, V., ALOE, A., Predictionofcastingpropertiesandperformancethrough overall processchain, Foundry Trade Journal, pp.186-188, July-August 2012.

2 KALTOFEN, J., KOESER, O., SHOLAPURWALLA, A., Castingsimulation drives componentdevelopment for HPDC, Die CastingEgineer, pp.30-33, Maio 2009.

3 BRECHET, Y., MAGNIN, T, SORNETTE, D., The coffin-mansonlaw as a consequenceofthestatisticalnatureofthe LCF surfacedamage, Acta Metallurgica et Materialia, Vol.40 (9), pp. 2281–2287, 1992.

4 Lieven E., Wuth M., Köser O., Pyttel, T.: CouplingofCastingandStructureSimulationand IntegrationintotheDevelopmentProcess to Improve the PredictionofComponent Performance, Proceedings of the69th World FoundryCongress, Hangzhou China,2010. Seealso:http://www.esi-group.com/resources/integration-coupled-casting-and-structure-simulation--magnesium-die-castings

3 Desenvolvimento de peças eólicas com a utilização de software de simulação [1]

Geicimar Ismael de Sousa Gonçalves[2]

RESUMO

A preocupação com a emissão de gases poluentes na atmosfera tem levado o mundo a buscar cada vez mais o desenvolvimento de fontes de geração de energia limpa, dentre elas, a eólica.

As peças fundidas eólicas possuem requisitos de qualidade rigorosos, tais como UT, Partícula magnética e propriedades mecânicas.

Além do conhecimento prático e teórico,necessitamos de softwares de simulação que possam nos auxiliar nos projetos.

Este trabalho tem como objetivo mostrar a importância da simulação no desenvolvimento de peças eólicas de grande porte e a importância da energia eólica para o Brasil e o mundo.

Palavras chave: energia eólica, simulação de fundição, energia limpa, Magma.

1 Artigo submetido ao 17º Congresso de Fundição - ABIFA - CONAF 2015

2 Engenheiro de Processos do departamento de Engenharia na Sifco Metals S.A.Unidade Matozinhos

Beyond classical numerical simulation of hpdc casting process: investigation of shape prediction, die fatigue and structural behavior

ABSTRACT

The concern about greenhouse gas emissions in the atmosphere has led the world to look for new sources of clean energy generation, as wind energy.

Wind castings have hard quality requirements, such as ultrasound test, magnetic particle and mechanical properties.

In addition to practical and theoretical knowledge, simulation software provides really strong support during process project development.

This work has as main goal to present the importance of simulation using software during process development of large wind castings and also how important is wind energy for Brazil and for the whole world.

Keywords: windy energy, casting simulation, clean energy, Magma.

1 INTRODUÇÃO

1.1– História do eólico

A história do eólico inicia-se na pérsia 200 A.C., utilizado para bombeamento de água para irrigação de plantações e moagem de grãos.

Todavia acredita-se que cata-ventos rústicos já eram utilizados na china 2.000 A.C.

Adaptação dos cata-ventos para a produção de energia eólica iniciou-se em 1888.

Em 1931 a Rússia inicia o desenvolvimento de torres eólicas de grande porte para aplicações elétricas.

Com a crise internacional do petróleo em 1970 é que houve interesse e investimentos para viabilizar o desenvolvimento e aplicação de equipamentos em escala comercial.

A primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública foi produzida em 1976 na Dinamarca.

A energia eólica começou a ser desenvolvida no Brasil em 1992.

Os processos convencionais de produção de energia eólica, são divididos em 2 tipos: *Direct drive* e Caixa de engrenagens.

O sistema *direct drive* possui um maior custo de fabricação, menor custo de manutenção, maior capacidade de produção e é mais simples.

Figura 01. Comparativo das propriedades mecânicas GGG40 e SSDI

Figura 02. Principais marcos do desenvolvimento da energia eólica no século XX

1.2– Princípio de funcionamento

Podemos observar abaixo na figura 6 o princípio de funcionamento do sistema de conversão da energia do vento em energia elétrica.

Comparando-se as diferentes tecnologias de geração de eletricidade, verificamos que o eólico possui baixíssima emissão de CO2 somente durante a construção.

Nesta etapa de construção utiliza-se caminhões e guindastes para transporte e montagem.

Com o uso da energia eólica deixamos de emitir 1,5 bilhões de toneladas de CO2 por ano.

1.3– Eólico no Brasil

A energia eólica tem um papel adicional muito importante no Brasil, país de base hidrelétrica.

O regime de ventos e o regime de chuva pelo país apresentam complementaridade interessante do ponto de vista elétrico: no segundo semestre, quando os ventos das regiões sul e nordeste se acentuam, os principais rios das regiões sudeste, nordeste e norte apresentam as menores vazões, e os grandes reservatórios das usinas hidrelétricas atingem os menores níveis de acumulação.

No fim das contas, isto contribui para o aumento da confiabilidade do atendimento.

A energia eólica começou a ser desenvolvida no Brasil em 1992.

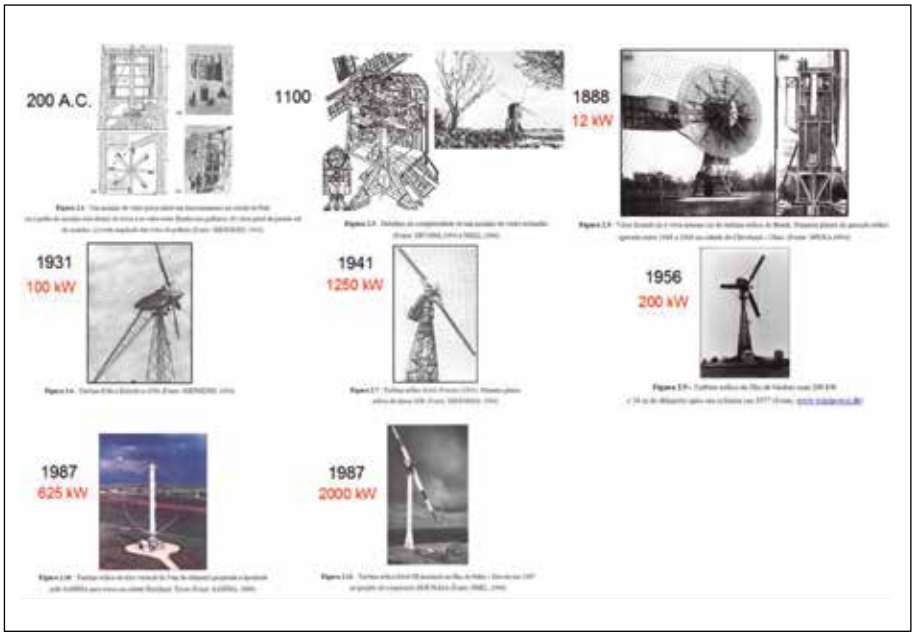


Figura 03. Evolução das máquinas eólicas

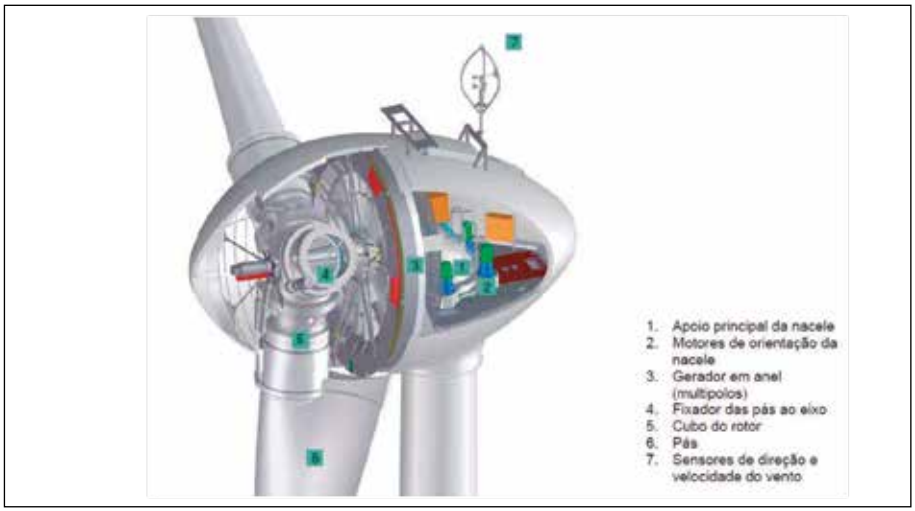


Figura 04. Sistema direct drive

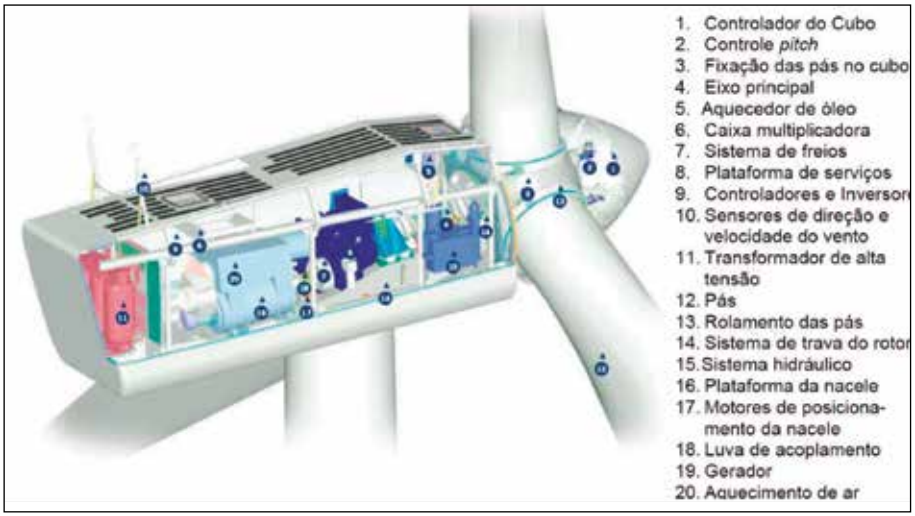


Figura 05. Sistemas caixa de engrenagens

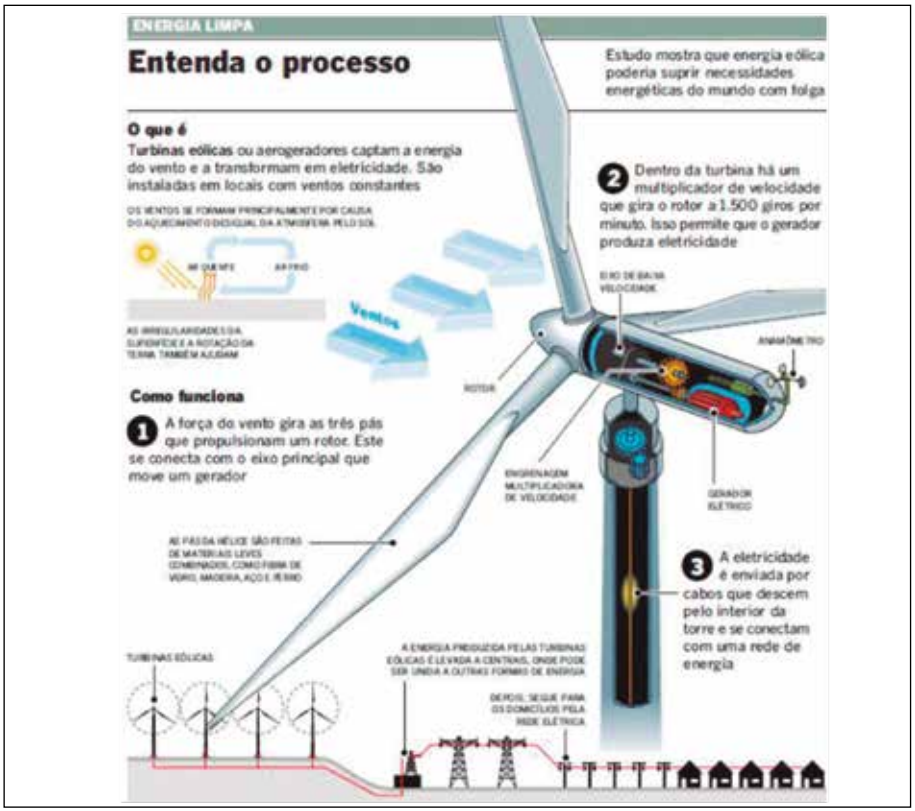


Figura 06. Princípio de funcionamento dos aerogeradores atuais

Tecnologias	Emissões de CO_2 nos estágios de produção de energia (ton./GWh)			
	Extração	Construção	Operação	Total
Planta convencional de queima de carvão	1	1	962	964
Planta de queima de óleo combustível	-	-	726	726
Planta de queima de gás	-	-	484	484
Energia térmica dos oceanos	ND	4	300	304
Plantas geotérmicas	<1	1	56	57
Pequenas hidrelétricas	ND	10	ND	10
Reatores nucleares	2	1	5	8
Energia eólica	**ND**	**7**	**ND**	**7**
Solar fotovoltaico	ND	5	ND	5
Grandes hidrelétricas	ND	4	ND	4
Solar térmico	ND	3	ND	3
Lenha (Extração programável)	-1.509	3	1.346	-160

Figura 07. Emissões de CO2 de diferentes tecnologias de geração de eletricidade

A primeira torre eólica brasileira foi instalada na Ilha de Fernando de Noronha e tinha capacidade de 75 KW.

A crescente participação da energia eólica na matriz energética brasileira vem ocorrendo por meio de leilões de energia elétrica desde 2009.

Graças ao sistema de leilões reversos em que o menor preço ganha + o regime favorável de ventos + os desenvolvimentos tecnológicos no setor, o Brasil é agora o país onde se pratica o preço de energia eólica mais competitivo do mundo.

A energia eólica hoje esta muito competitiva com a energia hidroelétrica.

Isto se deve principalmente aos desenvolvimentos tecnológicos do setor, afim de obter o maior rendimento possível do vento.

Podemos observar na figura 12 o mapa de ventos do Brasil, com destaque para as regiões costeiras do sul e nordeste e alguns pontos na Bahia e norte de Minas.

Estas regiões possuem maiores velocidades de ventos acima de 8,5 m/s.

Dentro do contexto nacional,o RN se destaca como o maior produtor.

Até o final de 2013 tínhamos no Brasil 140 parques eólicos e no final de 2014 são 242 parques eólicos.

Até 2018 a participação da energia eólica na matriz energética brasileira vai aumentar de 3% para 8%.

Vamos dos atuais: 3,45GW em 2013, para 13,48GW em 2018, energia suficiente para abastecer mais de 20 milhões de casas.

Até o final de 2014 a participação da energia eólica na matriz energética brasileira foi de 6,56GW.

O potencial eólico brasileiro é de 300GW!!!

1.4– Eólico no Mundo

Atualmente a capacidade instalada no mundo gera 282GW, o que corresponde à 20 vezes a geração de energia hidroelétrica de Itaipu.

Essa capacidade supre apenas 2,5% do consumo de energia global, mais a expectativa é que até 2020, algo entre 8 e 12% do consumo seja suprido pela energia eólica.

Figura 08. Primeira torre eólica brasileira

Comparação de custos de geração eólica em diferentes países

País	Custo da energia (U$/MWh)
Espanha	168
Africa do Sul	164
Canadá	121
India	75,7
Brasil / Leilão	74,6

Fonte: Eólica Tecnologia

Figura 09. Comparação de custos de geração eólica em diferentes países

Comparação de custos da energia

Tipo de recurso	Custo médio (centavos de US$ por kWh)
Hidrelétrica	2-5
Nuclear	3-4
Carvão	4-5
Gás natural	4-5
Vento	4-10
Geotérmica	5-8
Biomassa	8-12
Célula de hidrogênio	10-15
Solar	15-32

Fontes: Associação Americana de Energia Eólica, Wind Blog, Stanford School of Earth Sciences

Figura 10. Comparativo custo energia eólica com as demais fontes de geração

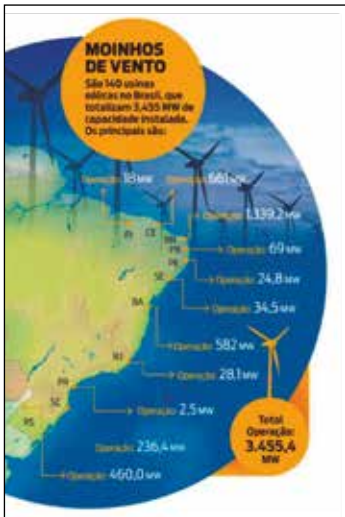


Figura 11. Distribuição da produção eólica no Brasil em 2013

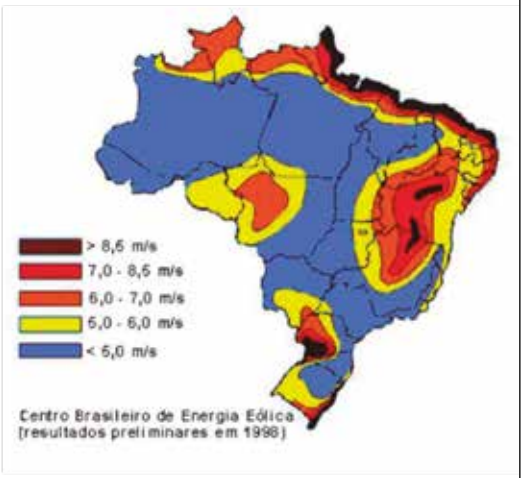


Figura 12. Mapa de ventos do Brasil

Um estudo recente mostra que a energia eólica pode suprir 20,38% até 2050.

Vamos dos atuais: 272GW em 2013, para 591GW em 2020, energia suficiente para abastecer mais de 876 milhões de casas.

Podemos observar um significante crescimento da participação da energia eólica na matriz energética mundial em 2007 correspondia à 0,13% e 2050 vai corresponder à 20,38%

O Brasil é o 13º país em produção de energia eólica do mundo até o final de 2013.

Especialistas afirmam que até 2020 o Brasil estará entre os 5 maiores produtores de energia eólica do mundo.

No final de 2014 já assumimos a 7ª posição, com 6.560 MW.

Os parques eólicos podem ser classificados em 2 tipos: ON Shore e OFF shore.

Geralmente os parques eólicos OFF shore possuem torres com maior capacidade de produção, peças fundidas que variam de 40 à 70 toneladas, hoje algo inviável para o Brasil.

O maior parque eólico ON shore do mundo é o Horse Hollon localizado no Texas no E.U.A, conta com 421 aerogeradores com capacidade de produção de 735,5MW.

O maior parque eólico OFF shore do mundo é o Thanet localizado no condado de Kent na Inglaterra, conta com 175 aerogeradores com capacidade de produção de 630MW.

Figura 13. Maiores produtores de energia eólica no Brasil

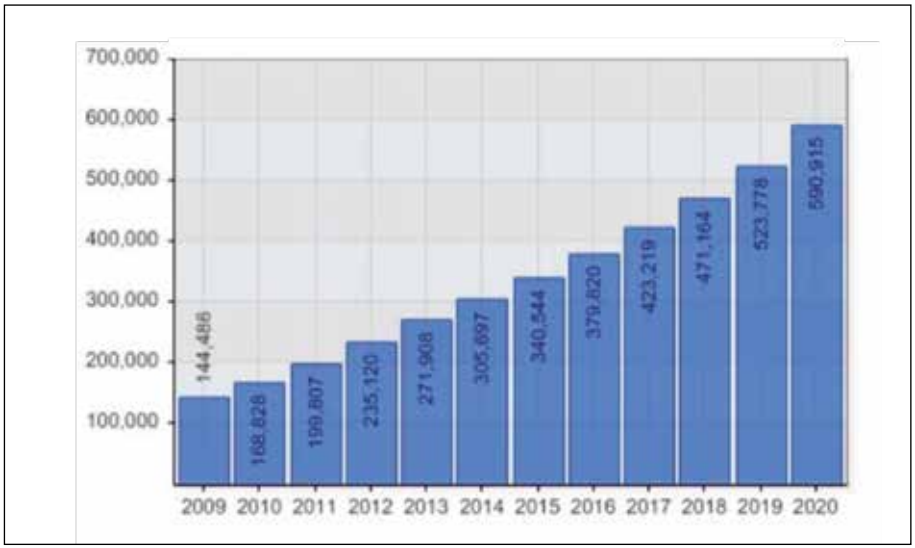


Figura 14. Crescimento energia eólica mundial até 2020

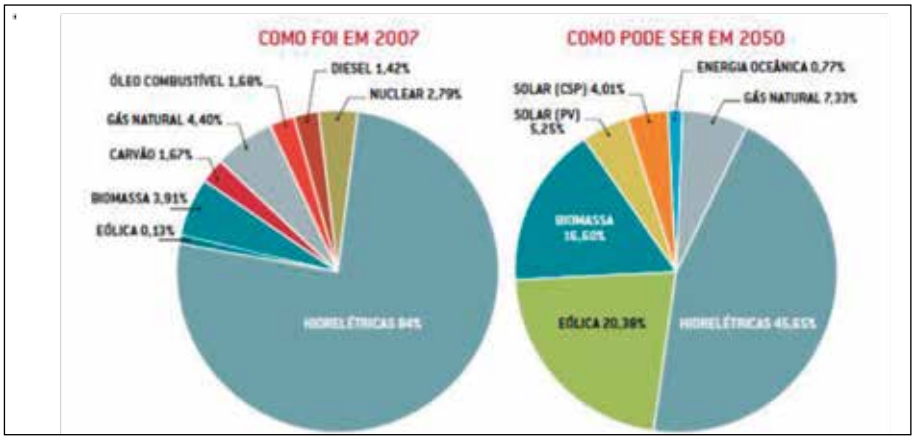


Figura 15. Participação da energia eólica na matriz energética mundial até 2050

1.5– Desenvolvimentos futuros

Com o objetivo de otimizar os processos eólicos já existentes e criar novas fontes de geração de energia, alinhados com a redução de custos de fabricação e aumento da capacidade de produção de energia, surgem novos conceitos.

2– MATERIAIS E MÉTODOS

Foi feito um estudo em 1 peça fundida em EN-GJS-400-18 ULT moldada em areia furânica.

O peso da peça é de aproximadamente 17 toneladas, com espessuras que variam de 150 à 400mm.

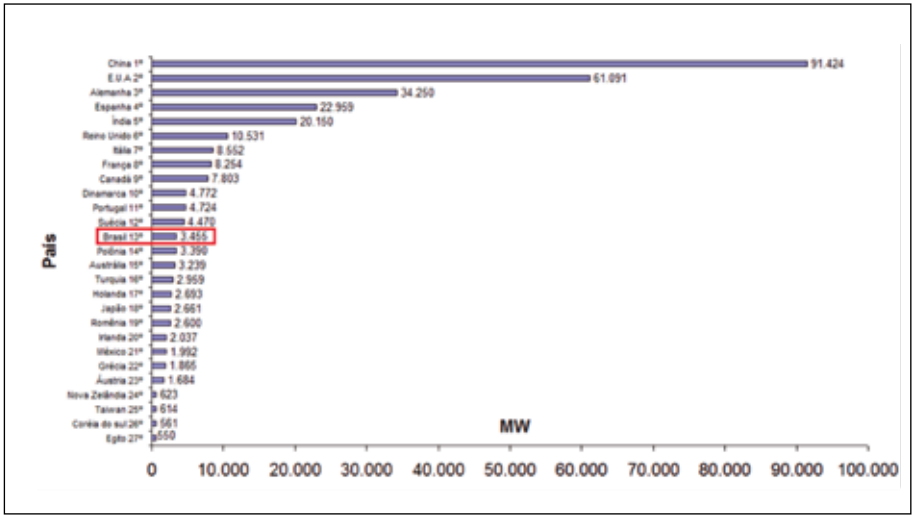


Figura 16. Potência instalada por país até o final de 2013

Figura 17. Parque eólico de Horse Hollon

Figura 18. Parque eólico de Thanet

Foi feito um comparativo de propriedades mecânicas reais x simulação e tendência à porosidade real x simulado.

Fizemos o comparativo de 6 pontos, sendo 5 pontos na peça e 1 ponto no corpo de prova apenso.

No desenvolvimento a 1ª peça é destruída para análises conforme solicitação do cliente.

3– RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos resultados práticos, podemos observar uma boa aproximação com a simulação.

Vamos verificar ponto a ponto:

A espessura do corpo de prova é de 150mm.

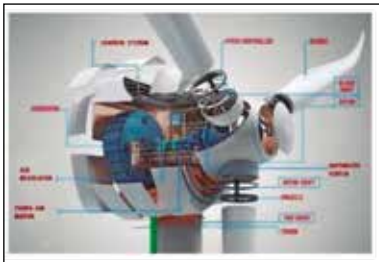


Figura 19. Turbina híbrida - eólica + gás

Figura 20. Novo conceito turbina eólica

Figura 21. Novo conceito turbina eólica

Figura 22. Novo conceito turbina marítima

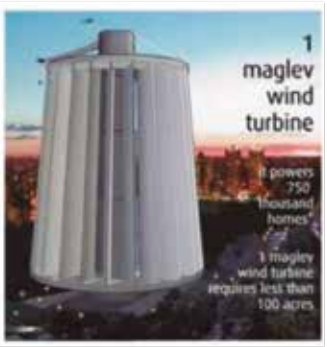


Figura 23. Novo conceito turbina levitação magnética

O ponto 1 é o de maior espessura com 400mm. Todos os corpos de prova foram retirados da região do núcleo.

O ponto 2 tem espessura de 200mm.

O ponto 3 tem espessura de 150mm.

O ponto 4 tem espessura de 350mm

O ponto 5 tem espessura de 380mm

O ponto 3 tem espessura de 150mm.

Podemos verificar que na escala de porosidade de 5 à 10% na simulação não temos tendência à porosidade, assim como foi verificado na prática, peça isenta de porosidades.

Os critérios de porosidade para as peças eólicas são muito rígidos, sendo eles:

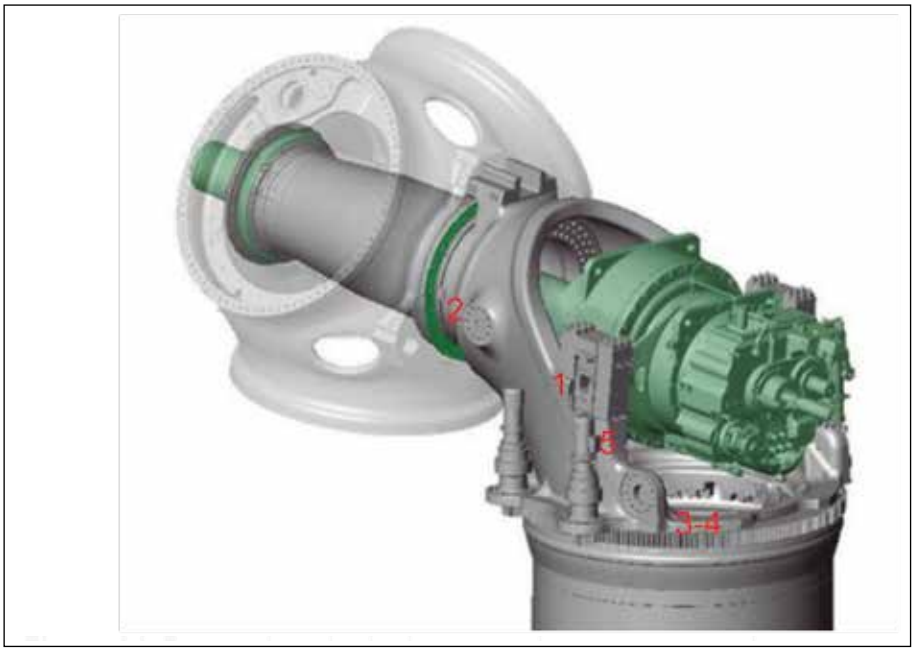


Figura 24. Pontos de retirada de corpos de prova na peça bruta

Figura 25. Corpo de prova apenso

Resultados	MAGMA	Real
Tração	376 MPa	391 MPa
Escoamento	253 MPa	257 MPa
Alongamento	16,50%	19,00%

Figura 26. Comparativo dos resultados mecânicos do corpo de prova apenso

Resultados	MAGMA	Real
Tração	368 MPa	345 MPa
Escoamento	249 MPa	248 MPa
Alongamento	14,80%	11,00%

Figura 27. Comparativo dos resultados mecânicos do ponto 1

- Tamanho dos poros
- % da espessura de parede com porosidade
- Localização na espessura de parede
- Área da região com porosidade.

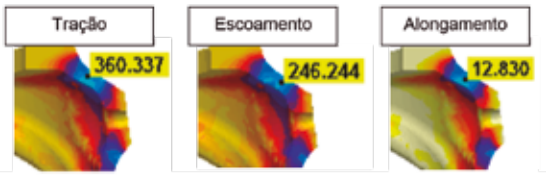
4– CONCLUSÕES

Hoje a energia eólica é utilizada como complemento para a energia hidrelétrica, substituindo fontes de óleo, gás e nuclear, altamente poluidoras e perigosas.

Energia limpa e fonte inesgotável, sem emissão de CO2.

Custo competitivo com a energia produzida por hidrelétricas.

A utilização da ferramenta de simulação auxilia o fundidor , as empresas e os clientes no desenvolvimento de projetos robustos.



Resultados	MAGMA	Real
Tração	360 MPa	351 MPa
Escoamento	246 MPa	260 MPa
Alongamento	12,80%	10,00%

Figura 28. Comparativo dos resultados mecânicos do ponto 2

O ponto 2 tem espessura de 200mm.

Resultados	MAGMA	Real
Tração	377 MPa	376 MPa
Escoamento	253 MPa	262 MPa
Alongamento	16,75%	15,00%

Figura 29. Comparativo dos resultados mecânicos do ponto 3

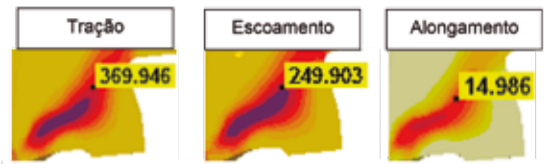
- Reduz o tempo de desenvolvimento
- Aumenta o nível de confiabilidade
- Torna a empresa competitiva
- Reduz custos de fabricação

Podemos observar que os resultados práticos de tração e escoamento se aproximaram muito dos resultados simulados.

Resultados	MAGMA	Real
Tração	375 MPa	377 MPa
Escoamento	253 MPa	260 MPa
Alongamento	16,30%	18,00%

Figura 30. Comparativo dos resultados mecânicos do ponto 4

O ponto 4 tem espessura de 350mm



Resultados	MAGMA	Real
Tração	369 MPa	355 MPa
Escoamento	249 MPa	259 MPa
Alongamento	14,90%	12,00%

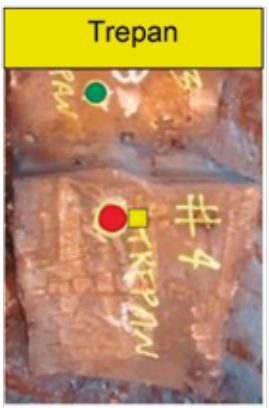
Figura 31. Comparativo dos resultados mecânicos do ponto 5

A variação máxima na tração foi de 6,25%.

A variação máxima no escoamento foi de 6,30%.

A variação máxima mo alongamento foi de 25,67%.

Temos uma variação maior no alongamento, este resultado é muito sensível, podendo variar principalmente em função da contagem de nódulos, matriz metálica, tipo e forma da grafita.



Resultados	MAGMA	Real
Tração	377 MPa	366 MPa
Escoamento	253 MPa	270 MPa
Alongamento	16,70%	14,00%

Figura 32. Comparativo dos resultados mecânicos do ponto 3 (trepan)

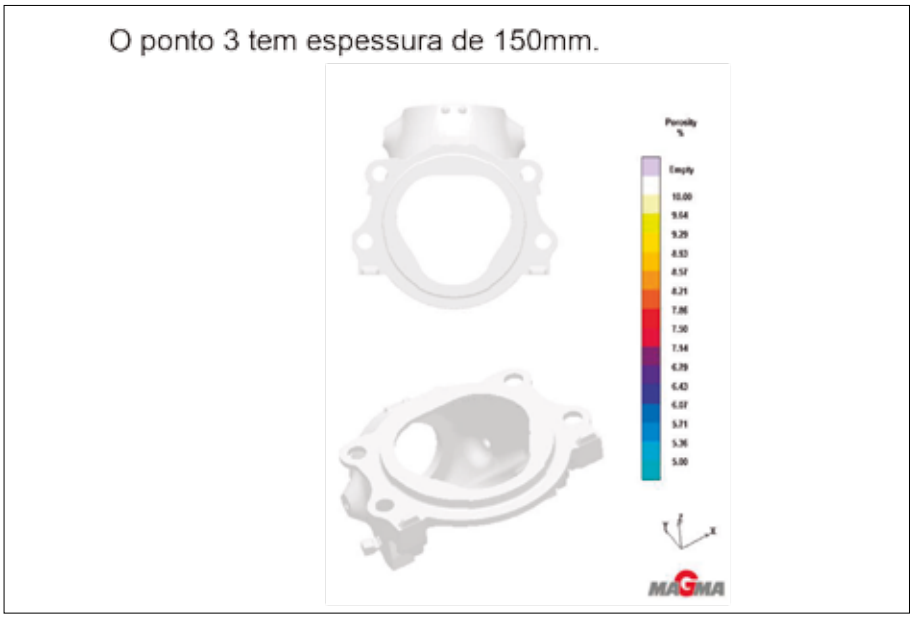


Figura 33. Tendência à porosidade na simulação

Com relação ao charpy, não estudamos neste trabalho, pois na simulação não conseguimos prever este resultado, apesar de todos os resultados práticos estarem dentro do especificado pelo cliente.

REFERÊNCIAS

1 PINTO, MILTON DE OLIVEIRA. Fundamentos de Energia Eólica - Rio de Janeiro: LTC 2013

2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA - ABEEólica home

AS PUBLICAÇÕES DA ABIFA GERAM ÓTIMOS NEGÓCIOS!

FAÇA PARTE!

Central de Comercialização ABIFA

Tel.: (11) 3549-3344 | publicidade@abifa.org.br

Índice de Anunciantes

ALTONA | PÁG. 147
(47) 3321-7788
www.altona.com.br

AMB | PÁG. 33
(47) 3034-5517
amb@aljumetalblasting.com.br

ASK CHEMICALS | PÁG. 04
(19) 3781-1300
info.brazil@ask-chemicals.com

BENTOMAR | PÁG. 67
(11) 2721-2719
vendas@bentomar.com.br

BUSCHLE&LEPPER | PÁG. 155
(47) 3461-2700
vendas@buschle.com.br

CENTERFUSÃO | PÁG. 77
(14) 3344-2635
atendimento@centerfusao.com.br

COMIL | PÁG. 11
(11) 2942-4022
atecnica@comilcoversand.com.br

EIRICH | PÁG. 155
(11) 4619-8902
vendas@eirich.com.br

EUROMAC | PÁG. 45
(47) 3034-0334
euromac.br@hotmail.com

FOSECO | PÁG. 127
(11) 3719-9788
www.foseco.com.br

FRANCIOSI | PÁG. 71
(16) 3241-4095
www.franciosi.ind.br

FUNDIÇÃO JUPTER | PÁG. 137
(19) 3544-3047
vendas.jupter@gmail.com

GEVITEC | PÁG. 21
(47) 3425-0505
www.gevitec.com.br

MAGMA | PÁG. 17
(11) 5535-1381
magma@magmasoft.com.br

MECALTEC | PÁG. 41
(47) 3425-9114
mecaltec@mecaltec.ind.br

METAL CHEK | PÁG. 95
(11) 3515-5287
www.metalchek.com.br

MINERAÇÃO DARCY | PÁG. 81
(16) 3984-1401
vendas@mineracaodarcy.com.br

MINERAÇÃO JUNDU | PÁG. 105
(19) 3583-9200
mktvendas@mjundu.com.br

MODELAÇÃO UNIVERSAL | PÁG. 51
(11) 2217-7800
www.modelacao-universal.com.br

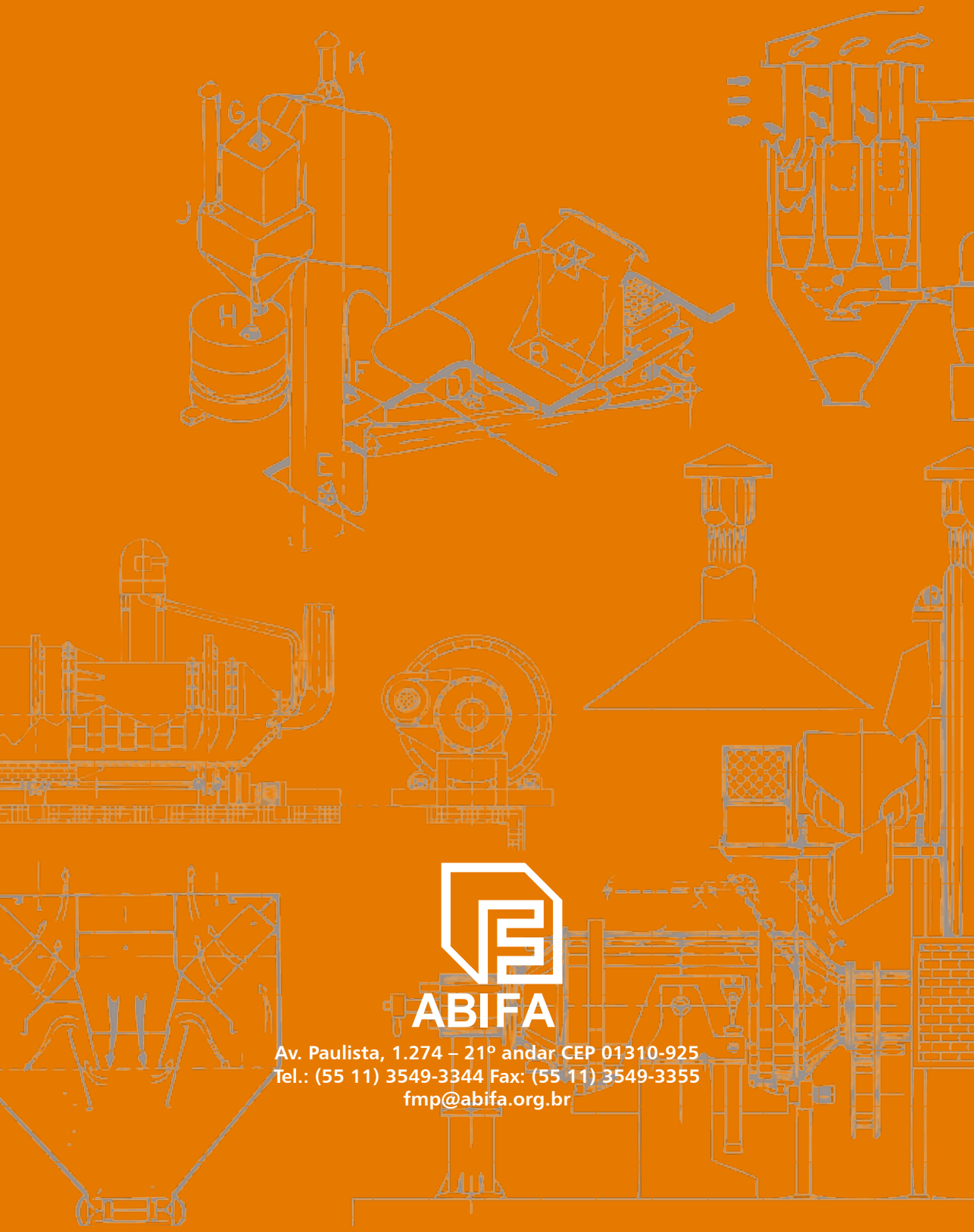
ROSSIL | PÁG. 89
(47) 3425-4333
www.rossil.com.br

SINTO BRASIL | PÁG. 57
(11) 3321-9513
fale@sinto.com.br

TECBRAF | PÁG. 123
(11) 4035-8888
www.tecbraf.com.br

THERMO FISHER | PÁG. 115
www.dacarl.com.br

YADOYA | PÁG. 101
(11) 4012-7220
vendas@yadoyaindustrial.com.br



ABIFA

Av. Paulista, 1.274 – 21º andar CEP 01310-925
Tel.: (55 11) 3549-3344 Fax: (55 11) 3549-3355
fmp@abifa.org.br