

INFLUÊNCIA DA PRESENÇA DE CROMITA EM CIRCUITO DE AREIA SÍLICO ARGILOSA SINTÉTICA EM UMA FUNDIÇÃO DE AÇO⁽¹⁾

Izabela Barbosa Costa ⁽²⁾
Christiano de Lima Batista ⁽³⁾
Marcus Vale ⁽⁴⁾
Luiz Henrique Dias Alves ⁽⁵⁾

Resumo

Avaliam-se as alterações provocadas nas propriedades das areias sintéticas argilosas pela adição de diferentes proporções de areia-base de cromita. Determina-se a difusividade térmica de areias de moldagem em sistemas silicosos para adições de 10, 30 e 50% de areia de cromita a partir de gráficos Temperatura vs. Tempo de Resfriamento obtidos através do monitoramento da temperatura no interior do molde com termopares colocados em distâncias pré-determinadas.

Palavras – Chave: cromita, sílica, difusividade.

(1)V Seminário de Fundição, 17 a 19 de Maio de 2004 – Salvador - BA

(2) Graduando em Engenharia Metalúrgica – EEIMVR/UFF- Volta Redonda- RJ

(3) Técnico de Fundição Júnior – Amsted-Maxion

(4) Graduando em Engenharia Metalúrgica – EEIMVR/UFF- Volta Redonda- RJ

(5) Engenheiro Metalúrgico - EEIMVR/UFF; Mestre em Engenharia Mecânica - USP.
Supervisor de Produção da Amsted-Maxion Fundição e Equipamentos Ferroviários

1. Introdução

De maneira geral, as areias base mais empregadas em fundições de aço são as silicosas em processo sintético argiloso. Porém, face às solicitações e a presença de pontos críticos, tais como pontos quentes ou áreas expostas a radiações internas, ou mesmo a fundição de algumas ligas especiais, como o aço Manganês Hadfield, é comum o emprego de areia de cromita, devido a sua melhor refratariedade, ao seu menor coeficiente de expansão térmica e a sua maior capacidade de resfriamento, quando comparada com a areia de sílica.

Normalmente os sistemas de areia são circuito fechado, se tornado acumulativo o percentual de areia de cromita, e somado a isso, algumas fundições adicionam propositalmente areia de cromita no sistema objetivando melhorar o acabamento dos fundidos, bem como aumentar a capacidade de troca de calor da areia reduzindo a tendência ao trincamento.

O trabalho visa avaliar o efeito nas propriedades das areias de moldagem sílico-argilosas quando se adicionam diferentes percentuais de areia-base de cromita no sistema de areia sílico-argiloso, bem como a variação da difusividade térmica através da obtenção de gráficos “Temperatura vs. Tempo de resfriamento” e como essas diferentes misturas podem atuar na qualidade do fundido.

2. Descrição

A areia de Sílica é a areia base mais utilizada, devido a sua abundância, baixa densidade e custo, porém é menos refratária e ácida. Pode-se encontrar a sílica sob as formas anidro, hidratada e coloidal, sendo que no estado anidro, pode ser encontrada em três formas alotrópicas: quartzo (estável à temperatura ambiente), tridimita (estável à 867°C) e cristobalita (estável à 1470°C), sendo o quartzo a mais utilizada, devido a sua refratariedade compatível com a maioria das ligas, formas e estruturas que conferem ao fundido um bom acabamento superficial. Tem baixa estabilidade térmica, causada pela mudança de fase a 573°C (quartzo alfa para quartzo beta), por ter uma brusca alteração de volume, ocorre dilatação do volume dos grãos de areia que pode conduzir a falhas superficiais, quando o molde sofre o efeito da irradiação de calor ou contato com o metal líquido^[1,2].

A areia de cromita utilizada em fundição é minério de cromo beneficiado e classificada com até 50% de Cr₂O₃. Fornece boas características às areias de moldagem e é utilizada normalmente como areia de faceamento para moldes e machos. Tem custo maior que o da sílica, mas obtêm-se ganhos na limpeza e bom acabamento do fundido. Por ser mais densa, mais refratária e apresentar maior difusividade térmica que a sílica, é muito indicada em pontos quentes e em regiões críticas do fundido. Tem boa estabilidade dimensional, que se deve a sua baixa expansão térmica, tornando-a pouco suscetível a defeitos por expansão. Tem menor tendência a ser molhada pelo metal, reduzindo assim a tendência a sinterização. Sua condutividade térmica aumenta com a elevação da temperatura do metal vazado, propriedade inversa à da sílica, com isto, a propagação do calor é rápida. Por ser um material básico, é indicada para fundição de algumas ligas especiais como aço manganês austenítico. Comparando com a areia de sílica, a cromita pode ser considerada material resfriador. A refratariedade da cromita diminui em função da porcentagem de impurezas presentes na areia. A cromita constitui um material preferido pelas fundições de aço, quando boas características mecânicas a quente são procuradas, além de uma boa resistência a erosão e resistência à penetração do metal^[1, 7].

2.1. Influência da Mistura das Areias de Sílica e Cromita

Aumentando o teor de sílica na cromita, pode ocorrer uma queda nas características da cromita, como redução na resistência a problemas de expansão e diminuição na temperatura de amolecimento da mistura. Em locais críticos pode-se haver formação de um composto crítico constituído de cromita, sílica e outros silicatos, além de uma parte de óxido de ferro e do próprio aço, formando uma placa deste composto de difícil remoção no acabamento, esse problema torna-se mais crítico em áreas sujeitas à corte. A sílica tem influência na diminuição da temperatura, quanto maior o teor de sílica, menor a temperatura de fusão. À medida que o teor de sílica aumenta, cresce também a tendência à penetração metálica entre os grãos de areia e aumenta a tendência à sinterização, comprometendo no acabamento superficial do fundido, sendo mais crítico nas regiões mais quentes do molde. Além disso, esta contaminação pode reduzir a capacidade da areia de resistir aos efeitos de expansão, erosão, penetração e capacidade de resfriamento da cromita. As fases silicosas em contato com os grãos de cromita conduz então a um silicato de baixo ponto de fusão, que destrói a coesão dos grãos, facilitam sua absorção e suportam a penetração do metal líquido. O conteúdo de sílica na cromita deve ser tão fraco quanto possível e em todos os casos mais baixo de 2%, evitando essas fases [2, 3, 4, 6].

A Tabela 1^[1] resume as características físicas e químicas das areias-base de cromita e sílica.

Tabela 1^[1]. Quadro geral das características das areias [Adaptado de Fernandes^[1]]

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DAS AREIAS DE MOLDAGEM							
TIPO DE AREIA	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS (%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	ZrO ₃	Fe ₂ O ₃	FeO
SÍLICA	99,02	0,05	-	0,03	-	0,02	-
CROMITA	1 a 2	12 a 25	36 a 50	13 a 18	-	15 a 25	-
TIPO DE AREIA	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS (%)						
	Densidade real	Densidade aparente	Dilatação média até 1000°C (%)	Temperatura de fusão (°C)	Temperatura a sinterização (°C)	Expansão térmica a 871°C (mm/mm)	Reação química a alta temperatura
SÍLICA	2,2 a 2,65	1,70	1,5	1750	1350 a 1450	0,457	Ácida/Neutra
CROMITA	4,45 a 4,65	2,70 a 2,90	0,9	2200	1350 a 1500	0,127	Básica/Neutra

A capacidade da areia de transferir calor das partes mais quentes para as mais frias é definida como difusividade térmica e é uma propriedade importante para que ocorra o resfriamento da liga. A transmissão de calor de um molde é influenciada pela densidade de compactação do molde, condutividade térmica e capacidade térmica do grão^[1]. Sua determinação é complexa, podendo ser calculada dividindo a condutividade térmica pelo produto da capacidade de calor específico e a densidade do material, sendo sua unidade m²/s^[5]. Está relacionada com a permeabilidade, pois os gases que saem do molde também levam calor. Uma areia de moldagem com maior difusividade térmica pode possibilitar a obtenção de fundidos com uma estrutura refinada, com melhores propriedades mecânicas devido à maior velocidade de resfriamento que se imprime ao metal no interior do molde durante o processo de solidificação e resfriamento^[1].

2. Materiais e Métodos

Os experimentos foram realizados na fundição da Amsted-Maxion em Cruzeiro-SP. Utilizou-se para os experimentos uma placa com quatro modelos de dimensões aproximadas 317 x 229 x 75 mm cada, conforme mostrado na Figura 1. As caixas de moldagem utilizadas mediam 890 x 500 x 350 mm, tanto para fundo quanto para tampa. O molde foi preparado numa máquina “jolt squeeze” do tipo OSBORN. O valor da dureza obtido no molde variou de 83 a 85 AFS para paredes verticais até 90 AFS nas paredes horizontais.



Figura 1. Placa com os modelos utilizados nos experimentos

As areias foram preparadas em misturadores de galga do tipo “Simpson” com capacidade de 800 kg por batelada. Foram preparadas três misturas diferentes, com 10, 30 e 50 % de cromita cada uma. A Tabela 2 lista as composições das areias empregadas. Adotou-se o mesmo tempo de mistura para todas as areias utilizadas nos testes. Depois de misturadas, as areias foram acondicionadas em caçambas e cobertas com pano úmido para que não perdessem suas características. Após mistura, foi retirado amostras para ensaios de laboratório.

Tabela 2. Valores referentes às misturas de areias empregadas nos experimentos

	10% de cromita	30% de cromita	50% de cromita
Areia de retorno	300 kg	224 kg	150 kg
Areia regenerada	35 kg	35 kg	35 kg
areia de sílica nova	8 kg	8 kg	8 kg
areia de cromita	8 kg	84 kg	160 kg
bentonita	8 kg	10 kg	12 kg
mogul	0,5 kg	1,0 kg	1,3 kg
Água	11,0 l	11,0 l	11,0 l
Tempo de mistura	7 min	7 min	7 min

A Tabela 3 mostra as principais propriedades das areias utilizadas nos testes. As mesmas foram ensaiadas imediatamente após mistura.

Tabela 3. Resultados dos ensaios de laboratório.

		Compactabilidade (%)	Permeabilidade (AFS)	RCV psi	Plasticidade (%)	Friabilidade (%)	Umidade (%)
Faixa		35 a 65	100 a 300	12a 18	26 a 32 %	Máx. 10%	2,7 a 3,8
10% Cr ₂ O ₄	Exp1	28	257	18,4	30,38	13,60	3,1
	Exp2	28	257	18,4	30,38	13,60	3,1
	Exp3	45	305	11,7	30,21	5,90	3,0
30% Cr ₂ O ₄	Exp1	37	270	15,8	29,11	9,27	3,6
	Exp2	37	270	15,8	29,11	9,27	3,6
	Exp3	49	325	13	32,31	3,47	3,8
50% Cr ₂ O ₄	Exp1	49	255	14,5	23,44	5,42	3,5
	Exp2	49	255	14,5	23,44	5,42	3,5
	Exp3	35	390	13,9	27,68	13,91	2,8

2.1. Preparação dos moldes

Objetivando eliminar variáveis relativas ao metal, as três experiências foram feitas sempre utilizando um mesmo molde. Desta forma, como a placa tinha quatro modelos, dois modelos foram cobertos com areia com 10% de cromita e os outros dois com areia com 30 e 50% respectivamente. Para evitar que as areias se misturassem, utilizou-se duas placas de madeira posicionadas em forma de “L” sobre cada modelo. Em seguida foi realizado um pré-socamento manual e retirado as placas de madeira para então se fazer o socamento com a máquina. Este procedimento foi adotado em todos os experimentos, tanto tampa como fundo. Após extraídos, realizou-se a pintura dos moldes com tinta a base de zirconita álcool.

Após preparado o molde, foram colocados oito termopares para a realização das medidas de temperatura. Esse número foi selecionado devido à disponibilidade de rastreamento da temperatura ser limitada a oito. Os termopares utilizados foram do tipo K, com bitola de 8 mm. Para a aquisição de dados utilizou-se um “Datalogger” com um software FieldChart. Os oito termopares foram distribuídos no molde, sendo três termopares colocados na mistura com 30% de cromita e outros três na mistura com 50% de cromita. Estes termopares foram posicionados a 15 mm de profundidade a partir da apartação no molde fundo, distanciados da cavidade do molde de 10, 30 e 60mm respectivamente. Para os modelos cobertos com areia com 10% de cromita, como se dispunha de somente oito canais de aquisição, utilizou-se somente dois termopares que foram posicionados no interior do molde fundo a 15mm de profundidade a partir da apartação e a 10 mm e a 60mm da cavidade do molde, respectivamente. Após colocação dos termopares, os mesmos foram cobertos com as mesmas areias que cobriam o modelo, tomando o cuidado de garantir naquela região uma dureza acima de 80 AFS, que ficou compatível com o restante do molde. A Figura 2 mostra um dos moldes com os termopares.

Após a colocação dos termopares, os moldes foram fechados e o vazamento foi efetuado conforme mostrado na Figura 3. As peças foram vazadas em aço baixo carbono com composição química próxima a de um aço AISI 1025. A Tabela 4 apresenta os dados referentes ao vazamento.

Tabela 4. Dados relativos ao vazamento.

	Nº corrida	Dia	Hora	aço	t _{vazamento} (s)	T _{metal vazado} (°C)	Peso placa (kg)	t _{leitura termopar} (h)
1	334043	11/12/03	17:45	E	12	1564	189	1
2	124134	11/12/03	19:21	B	9	1560	190	2
3	124208	22/12/03	14:52	B	10	1565	189	5

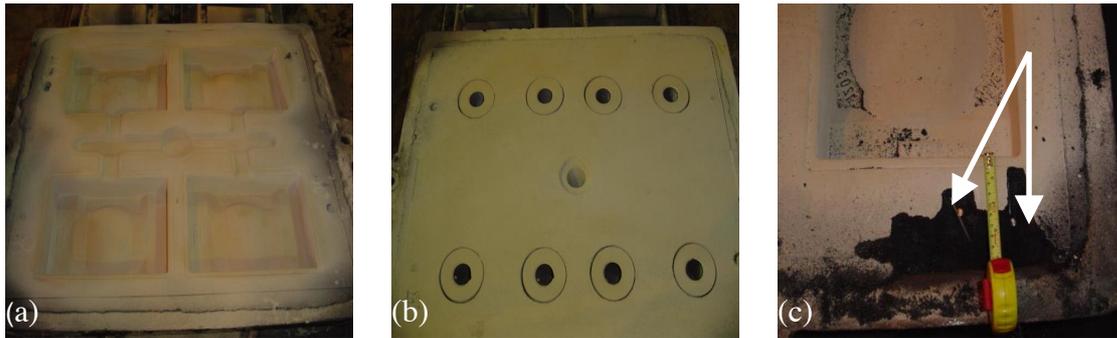


Figura 2. Molde após pintado.(a) Fundo; (b) Tampa; (c) Posicionamento dos termopares indicado com as setas.



Figura 3. Fechamento do molde e vazamento.

3. Resultados e Discussões

A Figura 4 mostra os resultados obtidos a partir das medições de temperatura da areia em função do tempo para os três experimentos, sendo a figura 4(a) para a primeira experiência, a figura 4(b) para a segunda experiência e a figura 4(c) para a terceira experiência. As curvas de temperatura foram determinadas pela condutividade térmica do material de moldagem, pelo ponto característico de parada em 100°C, causado pelo deslocamento da umidade residual no material de moldagem aglomerado com bentonita, ou por alterações do fluxo térmico provocadas pelas mudanças de estado durante a solidificação da amostra [9].

Os diferentes valores obtidos nas três experiências realizadas podem ser atribuídos à desidratação do material de moldagem, que é inevitável, e à desintegração da bentonita, que ocorre durante a instalação dos termopares, porém, não se deve descartar a possibilidade de erros durante a medição. Pode-se observar que o tempo de resfriamento não foi o mesmo para as três experiências, devido à disponibilidade de termopares. Porém, pode-se deduzir que o comportamento das curvas será o mesmo, sempre tendendo ao equilíbrio areia-metal até que ocorra o resfriamento total à temperatura ambiente.

Durante a fundição e o resfriamento do metal líquido, a alteração da temperatura do material de moldagem localizado a uma certa distância da superfície do fundido é determinada pela absorção térmica e por todos os processos físicos que influenciam a transferência de calor, tais como capacidade térmica, condutividade térmica e densidade do elemento volumétrico. No entanto, não é possível determinar qual parâmetro e em que proporção ele participa deste processo. A condutividade térmica é influenciada pelo grau de vazios no material de

moldagem (compactação, peso aparente), embora sofra pouca influência da proporção de aglomerante ou do diâmetro dos grãos [9].

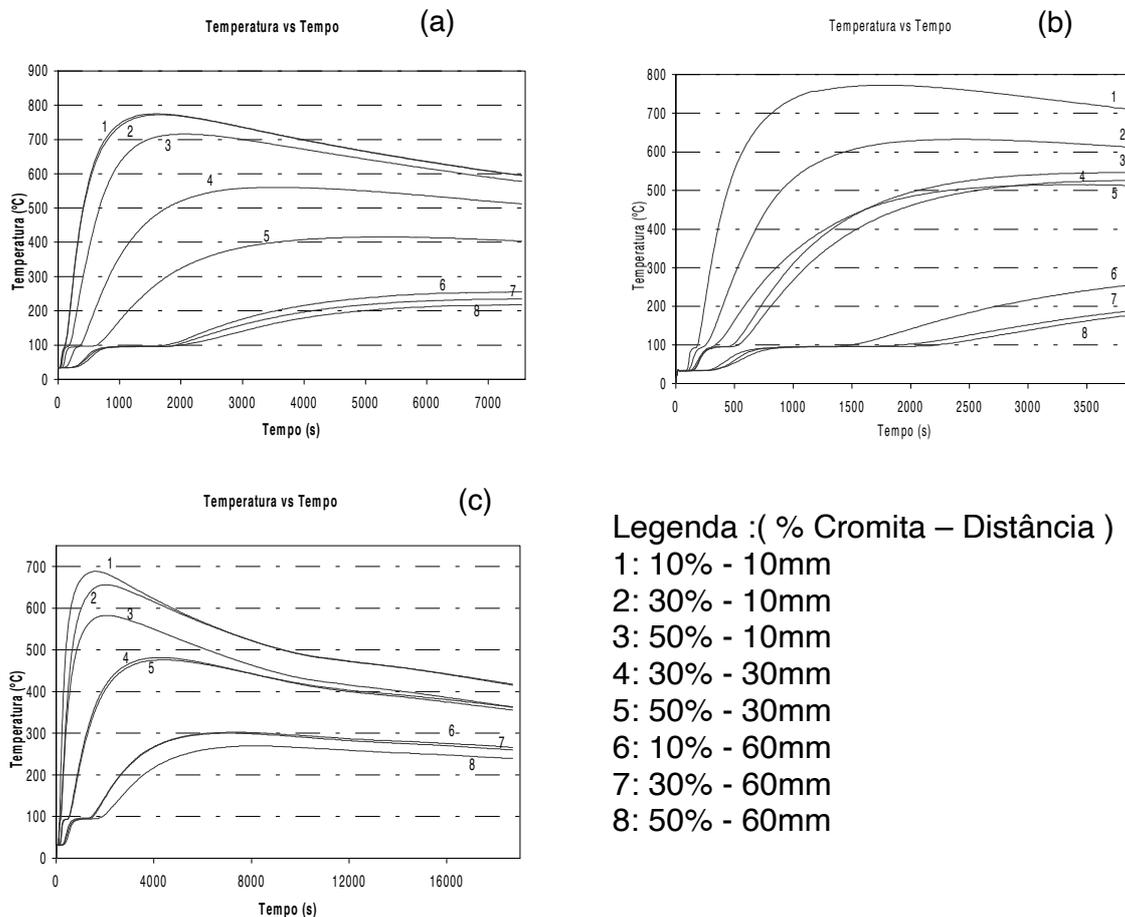


Figura 4. Gráficos levantados à partir das medidas de temperaturas vs. tempo.

A difusividade térmica foi determinada considerando-se a areia semi-infinita [8] em regime transiente. Realizou-se então o modelamento de equações a partir dos gráficos obtidos, utilizando-se o Excel. A região modelada é a de aquecimento, sendo a temperatura inicial 100°C, obtendo-se então uma difusividade térmica aparente. Como o material não foi isolado corretamente, o fluxo de calor será tridimensional e por essa razão ocorre variação nos valores de difusividade térmica nos termopares posicionados à diferentes distâncias, porém, estamos considerando a areia semi-infinita, podendo-se considerar o fluxo unidimensional e constante, a temperatura da superfície (T_s) constante e a Temperatura inicial (T_i) constante, a Equação 1 modela a região do gráfico considerada.

$$T(x_m, t) = T_s + (T_i - T_s) \cdot \text{erf}(x_m / (2 \cdot \sqrt{\alpha \cdot t})) \quad \text{Equação 1}^{[8]}$$

Sendo T_s igual a temperatura de vazamento do metal, T_i igual a 100°C, x_m a distância do termopar à peça e o tempo (t) obtido através do gráfico. Esse modelamento foi realizado para todas as curvas, de acordo com as suas respectivas condições de entrada, citadas acima. Fazendo-se uso de uma ferramenta gráfica, no caso o Microsoft Excel, determinou-se um valor inicial para a difusividade térmica,

que será a variável em questão. Assim, através do comando atingir meta, aproximou-se os valores das temperaturas calculadas aos valores das temperaturas experimentais variando-se a difusividade térmica, chegando-se então a um valor de difusividade térmica aparente para cada curva. A partir daí, obtiveram-se gráficos próximos aos gráficos obtidos experimentalmente. Esses gráficos não estão apresentados nesse trabalho. É interessante lembrar que esse raciocínio foi utilizado devido às condições existentes para a experiência, sendo assim é um valor prático. Os valores obtidos para a difusividade térmica nos termopares à distância de 60mm estão próximos a valores verificados na literatura ^[9]. Os valores encontrados apresentam uma possibilidade de erro que varia entre 10 e 38%. Wojtas e Gemming^[9] relataram que a condutividade térmica pode variar mais de 30% nas fundições, sendo um parâmetro determinante para o resfriamento das peças fundidas^[9]. A Tabela 5 apresenta os valores de difusividade térmica aparente.

Tabela 5. Difusividade Térmica aparente(α)

Distância	10mm			30mm		60mm		
	10%	30%	50%	30%	50%	10%	30%	50%
α_{exp1} (m ² /s)	3,08510 E-7	2,17003 E-7	2,04108 E-7	2,02382 E-7	2,03587 E-7	1,91085 E-7	1,91918 E-7	1,95393 E-7
α_{exp2} (m ² /s)	2,44567 E-7	2,45828 E-7	2,28281 E-7	2,12362 E-7	1,99943 E-7	1,84039 E-7	1,87408 E-7	1,84328 E-7
α_{exp3} (m ² /s)	2,86650 E-7	2,63493 E-7	2,60858 E-7	2,23172 E-7	2,23817 E-7	2,13571 E-7	2,05274 E-7	2,19759 E-7

A Figura 5 mostra uma árvore de peças produzidas na terceira experiência após desmoldagem e jateamento. Não se verificou grandes diferenças no acabamento dos fundidos. Comportamento muito parecido se notou nas duas primeiras experiências. As peças produzidas com 10% de cromita apresentaram um acabamento um pouco melhor que as produzidas com 30 e 50% de cromita, sendo que as com maiores teores de cromita apresentaram regiões erodidas, o que possivelmente se deve a maior friabilidade desta areia como mostrado nos ensaios de laboratório. Em todas as quatro peças verificou-se presença de pequenas depressões na superfície, sendo a maior incidência verificada nas peças com 30% de cromita. Isto pode ser devido ao fato desta mistura apresentar maior umidade.

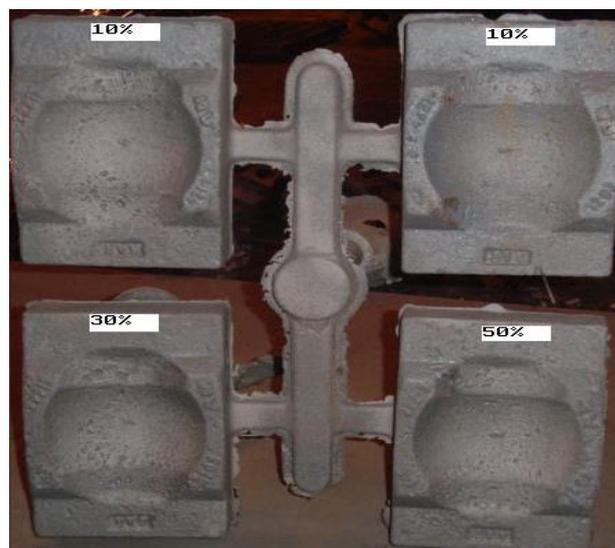


Figura 5. Peças fundidas após desmoldagem e jateamento.

5. Conclusões

Para as condições experimentais empregadas, pode-se tirar as seguintes conclusões:

- ◆ Apesar da cromita apresentar maior capacidade de troca de calor que a sílica, o atingimento de maiores temperaturas nas areias com menor percentual de cromita, principalmente para distâncias mais próximas à cavidade do molde determina uma maior difusividade. A medida que se distanciam das cavidades esta relação inverte e a difusividade passa a ser maior para maiores teores de cromita. Isso pode ser devido à difusividade térmica ser diretamente proporcional à condutividade térmica que varia com a temperatura. Sendo assim, para maiores temperaturas ter-se-ão maiores valores de condutividades térmicas, bem como maiores difusividades. Somado a isto, a diminuição dos valores de difusividade à maiores distâncias pode ser devido ao fluxo de calor não ser unidimensional, havendo perda de calor em outras direções.
- ◆ Através do acabamento superficial apresentado pelo fundido, não se verificou vantagens que justificariam o emprego de porcentagens crescentes de cromita no sistema sílico-argiloso. Desta forma, para as condições operacionais empregadas, estas adições não são viáveis face ao maior valor da cromita quando comparado com a sílica, além de outras dificuldades operacionais que estas adições poderiam acarretar, tais como aumento da densidade da areia e maior consumo de ligantes e aditivos.

Agradecimentos:

Agradecemos a Amsted-Maxion Fundação e Equipamentos Ferroviários pelo apoio e aos colaboradores Antônio Adilson Ferreira, André Pinto Ferreira Filho, Harley José Araújo, Lino César Pereira, Carlos Augusto Barbosa, Rogério Martins Barbosa, Ezequiel Magno Gomes e José Robson Tavares Diniz.

7) Referências Bibliográficas:

- [1] FERNANDES, D. L. **Areias de fundição aglomeradas com ligantes furânicos** – Itaúna: SENAI –DR.MG,2001
- [2] POYET, P.; CHEVRIOT, R. **Influence de la présence de chromite**, Fonderie 397 – Mars 1980
- [3] CAMPOS FILHO, M. P.; DAVIS, G. J. **Solidificação e fundição de metais e suas ligas**
- [4] HOWDEN, J.D. **Película dupla de cromita em grandes seções de aços fundidos**. Fundição e Serviços – Fevereiro/Março, 1995
- [5] METALS HANDBOOK, Desk Edition – second edition.
- [6] FELDKAMP, R.; HANKE,W. **Propriétés du sable de chromite et son application en fonderie**. Fonderie 312 – Mai 1972
- [7] ROMANUS, A. **Areias de Moldagem a Verde**, volume II 1ª EDIÇÃO:1991
- [8] INCROPERA, F.P.; WITT, D.P.D. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. Third Edition. Ed. Wiley. Págs. 259-262
- [9] WOJTAS, H.J.; GEMMING, H. **Dados termofísicos dos materiais de moldagem aglomerados com bentonita e resina furânica**. Revista Fundição e Serviços – Set.2003 – Págs. 34-45

INFLUENCE OF THE PRESENCE OF CHROMITE IN SYNTHETIC SILICA ARGILLACEOUS SAND CIRCUIT IN A STEEL CASTING ⁽¹⁾

Izabela Barbosa Costa ⁽²⁾
Christiano de Lima Batista ⁽³⁾
Marcus Vale ⁽⁴⁾
Luiz Henrique Dias Alves ⁽⁵⁾

Abstract

Were checked the variations happened on the green silicious sand properties caused by the additions of different amounts of chromite sand. Whit the addition of 10, 30 and 50 % of chromite sand in the green silicious mold sand. Were checked the thermal diffusivity using Temperature x Cooling time graphic using thermal couples located inside of the mold.

Words - Key: chromite, silica, diffusivity.

(1)V Casting Seminar, May 17 to 19, 2004 - Salvador – BA - Brazil

(2) Graduating Metallurgical Engineering - EEIMVR/UFF- Volta Redonda -RJ

(3) Technician of Casting Junior - Amsted-Maxion

(4) Graduating Metallurgical Engineering - EEIMVR/UFF- Volta Redonda -RJ

(5) Metallurgical Engineer - EEIMVR/UFF; Master in Mechanics Engineering - USP. Supervisor of Production of the Amsted-Maxion Casting and Railroad Equipment