

FUNDIÇÃO DE LIGAS DE MAGNÉSIO EM AREIA ⁽¹⁾

ISAAC BEREZIN ⁽²⁾

SÉRGIO AUGUSTO DE SOUZA ⁽³⁾

RESUMO

O trabalho apresenta a nomenclatura, composições e propriedades das ligas fundidas de magnésio. É revisto o efeito dos elementos de liga e impurezas. Descreve-se o equipamento e material utilizados no I.P.T. para a confecção destas ligas. São fornecidas composições de fluxos e areias, seguindo-se a descrição da técnica de utilização desses constituintes na fusão

1. INTRODUÇÃO

A fundição em areia, de ligas de magnésio, está amplamente divulgada na bibliografia estrangeira. Nada existe escrito, porém, sobre a fundição de ligas de magnésio em português, e mesmo não se tem conhecimento da fundição dessas ligas em areia na indústria nacional.

O magnésio oxida-se enérgicamente em presença da atmosfera, na temperatura de fusão, formando uma camada de óxido não protetora e que entra em combustão a uma temperatura pouco acima da fusão.

Além dessa peculiaridade, há o risco de explosão, caso o mesmo venha a entrar em contacto com a umidade. O principal problema, no manuseio da fusão de ligas de magnésio é, pois, evitar o contacto entre o metal líquido com a atmosfera, umidade e qualquer outra substância oxidante. A resolução do problema é encontrada com o emprego de fluxos, atmosferas gasosas inertes e precauções no manuseio operacional. O objetivo dos autores foi o de tomar um primeiro contacto com a técnica de fusão, vazamento e moldagem das ligas de Magnésio, escolhendo-se a liga contendo os seguintes elementos: Alumínio, Zinco e Manganês. Não se procurou introduzir nenhuma técnica nova, porém apenas, executar aquilo que foi encontrado na bibliografia, adaptando-se a mesma às condições do Instituto.

(1) Contribuição Técnica n.º 468. Apresentada ao XVII Congresso Anual da ABM; Rio de Janeiro, julho de 1962.

(2) Membro da ABM; Engenheiro-Chefe da Secção de Ligas Não-Ferrosas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas; São Paulo, SP.

(3) Membro da ABM; Engenheiro Assistente da Secção de Ligas Não-Ferrosas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas; São Paulo, SP.

2. LIGAS USADAS NA FUNDIÇÃO EM AREIA

Designação das ligas ¹ — A nomenclatura das ligas de Magnésio adotada pela “*The Magnesium Association*” consiste, primeiramente, em uma ou duas letras representativas dos elementos de liga especificados, que entram em maior quantidade, em ordem de porcentagens decrescentes, ou em ordem alfabética no caso de teores iguais, seguidas das respectivas porcentagens arredondadas em números inteiros e uma letra de Série que serve para diferenciar idênticas designações. A Tabela I apresenta as abreviações dos elementos de liga mais comumente usados:

TABELA I
Abreviações dos elementos de liga mais comumente usados

Abrev.	Elemento	Abrev.	Element
A	Alumínio	M	Manganês
B	Bismuto	N	Níquel
C	Cobre	P	Chumbo
D	Cádmio	Q	Prata
E	Terras Raras	R	Cromo
F	Ferro	S	Silício
G	Magnésio	T	Estanho
H	Tório	X	Antimônio
K	Zircônio	Z	Zinco
L	Berílio		

TABELA II
Principais ligas de magnésio empregadas com fundição em areia, com limites de impurezas

Liga	Composição nominal (%)							Impurezas (% max.)			
	Al	Terras Raras	Th	Zn	Zr	Mn	Mg	Si	Cu	Ni	Outr.
AZ63A	6,0	-	-	3,0	-	0,15	Bal	0,30	0,10	0,01	0,30
AZ81A	7,6	-	-	0,7	-	0,13	Bal	0,30	0,10	0,01	0,30
AZ91C	8,7	-	-	0,7	-	0,13	Bal	0,30	0,10	0,01	0,30
AZ92A	9,0	-	-	2,0	-	0,15	Bal	0,30	0,10	0,01	0,30
EK30A	-	3,0	-	-	0,2	-	Bal	-	-	-	0,30
EK41A	-	4,0	-	-	0,7	-	Bal	-	-	-	0,30
EZ33A	-	3,0	-	2,0	0,75	-	Bal	-	-	-	0,30
HK31A	-	-	3,0	-	0,7	-	Bal	-	-	-	0,30
HZ32A	-	-	3,0	2,0	0,7	-	Bal	-	-	-	0,30
ZH62A	-	-	1,8	5,7	0,7	-	Bal	-	-	-	0,30
ZK51A	-	-	-	4,6	0,75	-	Bal	-	-	-	0,30

Na Tabela II são apresentadas as principais ligas de magnésio empregadas na fundição em areia,² com limites de impurezas³.

TABELA III

Propriedades físicas resultantes dos tratamentos indicados, que são os seguintes: F — Estado bruto de fusão; T₄ — Solubilizado; T₅ — Precipitado artificialmente; T₆ — Solubilizado e precipitado artificialmente.⁴

Liga	Trat.	Pêso específico (a20°C)	P.F. (°C)	Conduct. térmica (unid. CGS)	Limite de ruptura (kg/mm^2)	Limite de escoamento (kg/mm^2)	Alongamento (kg/mm^2)	Dureza Brinell
AZ63A	-F	1,82	610	0,14	20,4	9,85	6	50
	-T ₄			0,12	28,1	9,85	12	55
	-T ₅			0,16	20,4	9,85	5	-
	-T ₆			0,15	28,1	13,35	5	73
AZ81A	-T ₄	1,80	602	0,12	28,1	9,85	12	55
AZ91C	-F	1,81	603	0,13	16,8	9,85	2	52
	-T ₄			0,11	28,1	9,85	11	55
	-T ₆			0,13	28,1	13,35	4	73
AZ92A	-F	1,83	593	0,12	16,8	9,85	2	65
	-T ₄			0,11	28,1	9,85	10	63
	-T ₅			0,14	16,8	9,85	2	-
	-T ₆			0,14	28,1	14,86	2	84
EK30A	-T ₆	1,79	640	0,26	16,4	11,45	3	45
EK41A	-T ₅	1,81	645	0,24	16,4	11,45	1	45
	-T ₆			0,23	19,6	12,65	3	50
EZ33A	-T ₅	1,83	643	0,24	16,4	10,55	3	50
HK31A	-T ₆	1,79	649	0,22	21,1	10,55	8	55
HZ32A	-T ₅	1,83	646	0,26	20,4	9,85	7	57
ZH62A	-T ₅	1,86	-	0,26	28,1	18,30	8	-
ZK51A	-T ₅	1,81	-	0,20	28,1	18,30	8	65

3. INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS DE LIGA E IMPUREZAS

A introdução dos elementos de liga modifica as propriedades do magnésio, melhorando as características de fundição e, principalmente, suas propriedades mecânicas:

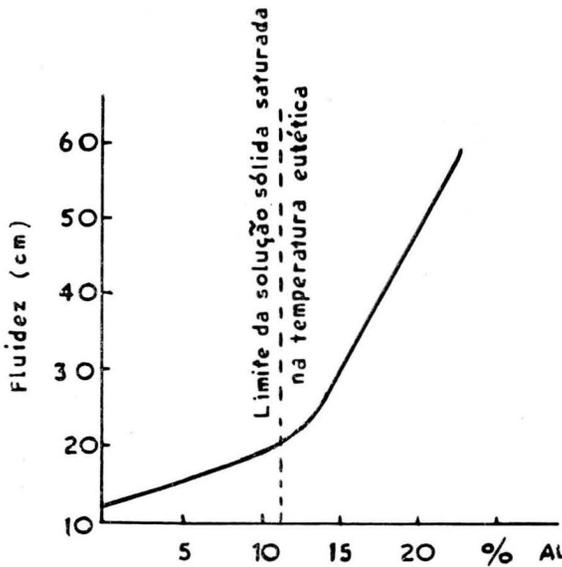


Fig. 1 — O alumínio aumenta a fluidez da liga de magnésio e facilita o refino do grão.

Alumínio — Elemento endurecedor⁵, aumentando o limite de escoamento; êste efeito é explicado pela formação da solução sólida de alumínio no magnésio. A presença do composto Mg_4Al_3 , precipitado no contôrno do grão, tem como consequência diminuição da ductilidade. O alumínio aumenta a fluidez da liga⁶ (fig. 1) e facilita o refino de grão. Ligas com teores acima de 13% são muito quebradiças, devido ao aparecimento de uma rêde eutética no contôrno do grão. O alumínio melhora a resistência à corrosão atmosférica⁷ até um teor de 9%; acima dêsse teor os filmes de óxidos formados são muito finos e pouco protetores.

Manganês — O efeito principal e mais acentuado do manganês é o de melhorar a resistência à corrosão quando há alumínio presente. Na prática é impossível adicionar mais do que 2,5% Mn, sendo mínima sua influência sôbre as propriedades mecânicas nas ligas fundidas⁸.

Zinco — Tem os mesmos efeitos que o alumínio. Teores maiores do que 4% de zinco dão fragilidade a quente na liga, pela formação do composto $Mg Zn$ ⁵. A adição de zinco aumenta a densidade da liga rapidamente.

Zircônio, Tório e Terras Raras — São, principalmente, refinadores de grão, agindo o zircônio pela nucleação de partículas desse elemento⁸. A adição desses elementos melhora as propriedades mecânicas, resistência à corrosão atmosférica e salina e em particular a fluência.

*Silício*⁵ — Não deve apresentar-se com teores maiores do que 0,3%, pois dá fragilidade à liga. O silício não é solúvel no magnésio e forma um constituinte que se precipita na forma de cristais lamelares, duros e frágeis. Em porcentagens maiores que 0,1% diminui a resistência à corrosão das ligas de magnésio.

*Cobre, Ferro, Niquel*⁵ — São impurezas indesejáveis porque diminuem fortemente a resistência à corrosão nas ligas de magnésio, especialmente a corrosão tipo "pitting", em meio aquoso.

4. EQUIPAMENTOS E MATÉRIAS PRIMAS

Fornos — As experiências foram desenvolvidas em dois tipos de fornos: forno de indução com capacidade de 25 kg, frequência de 3:000 ciclos e 100 kW; forno a óleo, tipo Fischer, com capacidade para fundir 50 kg de cobre.

Cadinhos — Os cadinhos empregados durante o estudo são apresentados nas figuras 2 e 3. Os cadinhos da figura 2 foram fundidos em aço 1030, apresentando as seguintes medidas: altura 120 mm, diâmetro maior 80 mm, diâmetro menor 50 mm, espessura da parede 7 mm, dando uma capacidade de 500 g de magnésio. Os cadinhos da figura 3 também foram fundidos

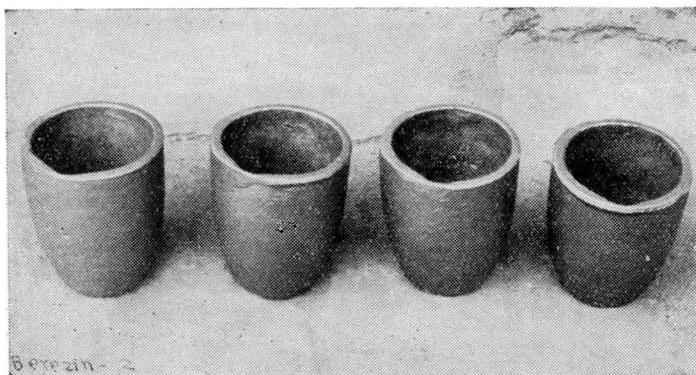


Fig. 2 — Aspectos dos cadinhos empregados nas experiências; fundidos em aço 1030, têm capacidade para 500 g de magnésio.

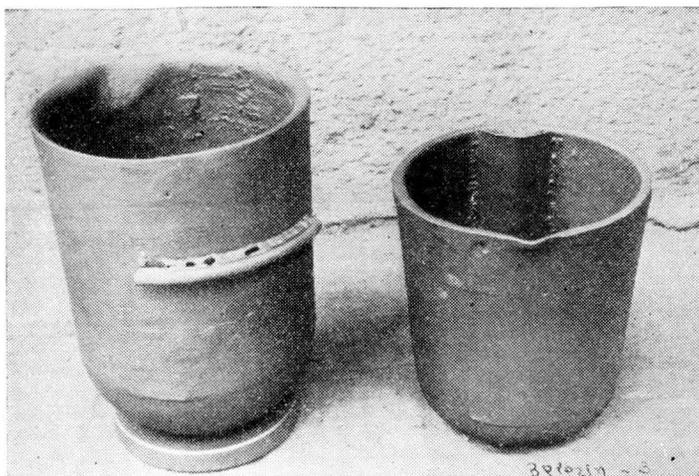


Fig. 3 — Cadinhos de aço 1030, com capacidade para 6 kg.

em aço 1030; da esquerda para a direita, respectivamente, apresentam as seguintes dimensões: altura 290 mm, diâmetro maior 200 mm, diâmetro menor 140 mm, espessura da parede 8 mm, com capacidade para 10 kg; altura 230 mm, diâmetro maior 190 mm, diâmetro menor 120 mm, espessura da parede 10 mm, com capacidade para 6 kg.

Fluxos — Os fluxos usados⁹ apresentam as seguintes composições:

Constituintes (%)					
N.º	KCl	MgCl ₂	BaCl ₂	CaF ₂	MgO
1	55	34	9	2	—
2	20	50	—	15	15

Nas primeiras experiências empregaram-se os fluxos de acôrdo com a composição acima. Com o objetivo de baratear o custo dos mesmos, substituiu-se KCl por NaCl, com os mesmos resultados satisfatórios.

Areias — Empregámos areias sintéticas com as seguintes composições:

Componentes (%)	Tipo (10)	
	I	II
Areia São Vicente	89	89
Bentonita	3	—
Enxôfre em pó	4,5	4,5
Ácido Bórico	0,5	0,5
Água	3	2,5
Argila	—	3,5

Ligas de adição — O manganês foi introduzido na forma de uma liga Al-Mn com 7,5% Mn. O alumínio e zinco foram adicionados na forma de metal comercialmente puro.

5. PARTE EXPERIMENTAL

Foram executadas 11 experiências, para elas adotando-se o símbolo Mg_n , onde n variou de 1 a 11, para a identificação de cada prova.

As corridas Mg_1 , Mg_2 , Mg_3 e Mg_4 foram efetuadas ao forno de indução. Colocou-se o cadinho no forno de indução conforme mostra o esquema da figura 4.

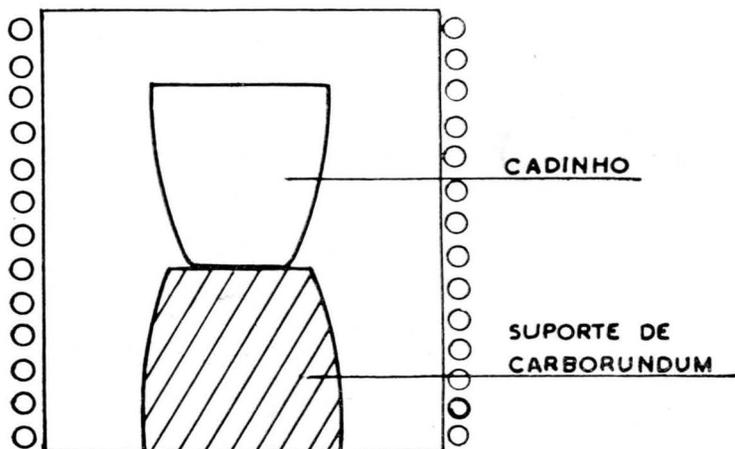


Fig. 4 — Montagem do cadinho no forno de indução.

Carregou-se no fundo do cadinho o fluxo n.º 1, cuja função é de proteção do banho contra a oxidação, pela formação de uma camada líquida de alta fluidez sobre a superfície do banho metálico, e que não muda de característica com o tempo. As funções do cloreto de potássio e do cloreto de bário são a de reduzir o ponto de fusão e minimizar a hidrólise do $MgCl_2$. O fluoreto de cálcio é adicionado com o fim de formar misturas eutéticas com os sais de fluxo, reduzindo o ponto de fusão de mistura⁸. A adição do fluoreto aumenta sensivelmente a viscosidade, quando a composição eutética é ultrapassada. Tem também um efeito de dissolver outros óxidos que não de magnésio, e coalescer partículas de $MgCl_2$ que se encontram no interior do banho. A principal função do cloreto de magnésio é a de precipitar o MgO pela formação do complexo $MgCl_2 \cdot 5MgO$.

Assim que o cadinho adquiriu a cor rubra e o fluxo começou a fundir, adicionou-se a carga de magnésio na forma de pequenos pedaços. A fusão se deu rapidamente; nos pontos em que se observava a quebra do filme de fluxo, com conseqüente início de queima de magnésio, adicionou-se pitadas de fluxo n.º 1. Atingida a temperatura de $720^{\circ}C$, iniciou-se a adição dos elementos de liga na forma já indicada. Após a solubilização e homogeneização dos mesmos, carregou-se o fluxo n.º 2. A função deste fluxo é de eliminar partículas de cloreto de magnésio e nitratos, que se encontram no meio da massa líquida¹¹. A função do MgO , no caso, é de espessar o fluxo n.º 2, e a limpeza das partículas acima é feita por separação mecânica das partículas em suspensão, aglomerando-os com a conseqüente sedimentação¹².

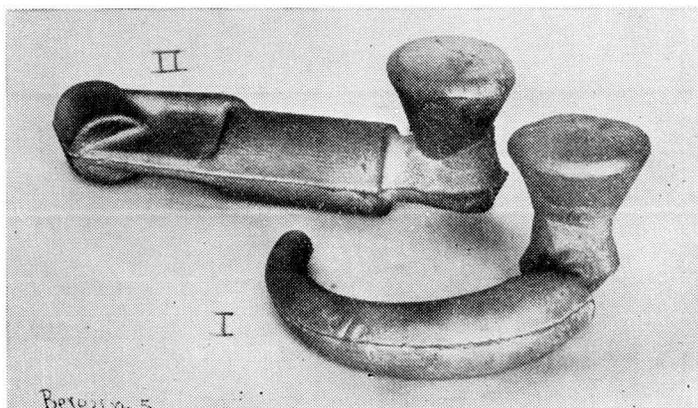


Fig. 5 — Aspectos das corridas Mg_1 e Mg_2 .

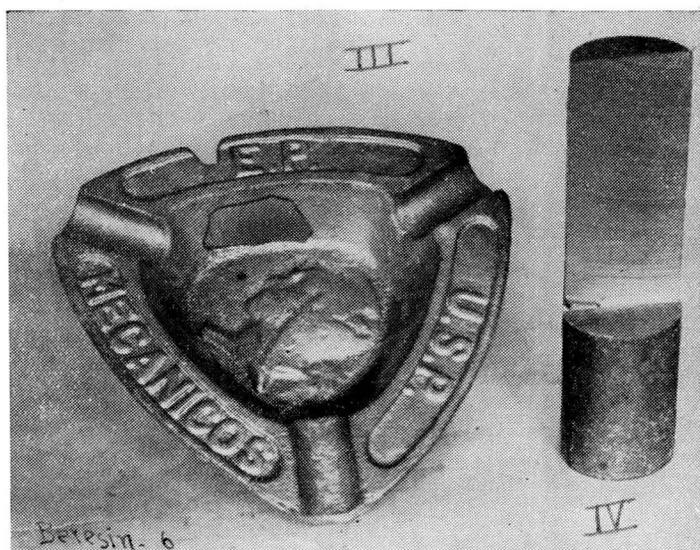


Fig. 6 — Aspectos das corridas Mg_3 e Mg_4 .

Desligado o forno, o cadinho foi retirado por uma tenaz, procedendo-se ao vazamento. As figuras 5 e 6 mostram os resultados dessas 4 corridas. No caso da figura 6 não ocorreu o enchimento numa das peças, devido ser baixa a temperatura do vazamento. Na moldagem dessas peças usou-se a areia de composição I (ver tabela).

Sendo o magnésio um metal altamente reativo, a areia de moldagem deve apresentar agentes inibidores que impeçam a reação de oxidação do magnésio, com conseqüente formação de bolhas, aparecimento de inclusões e porosidades que poderiam ocasionar a perda da peça.

A função desses agentes inibidores da areia n.º 1 é a seguinte: O enxôfre forma uma atmosfera protetora de SO_2 , combinando-se antes com o oxigênio do ar contido no molde, que com o magnésio. O ácido bórico forma com o magnésio uma película superficial que impede a queima do metal⁶.

A preparação da areia n.º 1 seguiu a mesma técnica usada para a fundição de outros metais, devendo-se chamar a atenção para o fato de necessitar de uma maior permeabilidade do que outras, devido à baixa pressão metalostática do magnésio, que não é suficiente para vencer a pressão dos gases. Nas peças vazadas não se procurou estudar o sistema de alimentação.

Nas corridas Mg_5 , Mg_6 Mg_{11} empregaram-se cadinhos da figura 3, sendo a fusão realizada no forno a óleo.

A técnica seguida nas corridas Mg_5 e Mg_6 , executadas no cadinho menor da figura 3, sem estar adaptado com bico de chaleira, foi idêntica à anterior. O cadinho foi retirado do forno e colocado num garfo, vazando-se diretamente no molde com ajuda de 2 homens.

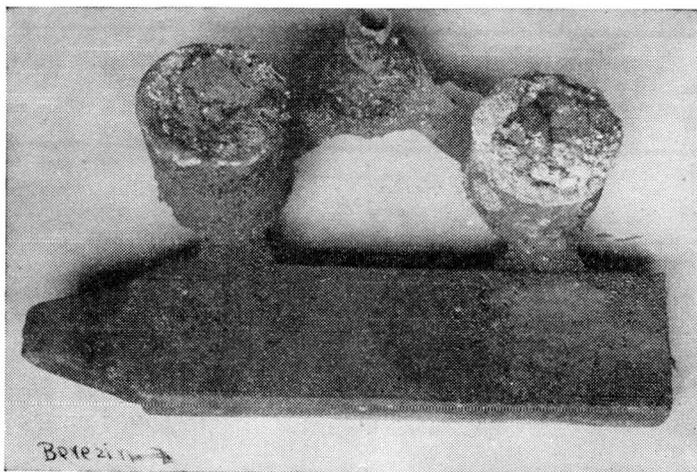


Fig. 7 — Uma das peças vazadas da segunda série.

Uma das peças vazadas dêsse modo é apresentada na figura 7. Na base do canal de descida colocou-se um filtro confeccionado com palha de aço, com objetivo de reter partículas não eliminadas pelo fluxo, e o próprio fluxo que porventura não tivesse sido retido pela escumadeira. O sistema assim empregado não funcionou, acarretando uma entrada bastante violenta de fluxo que se situou na parte superior da peça e nos montantes.

Para a corrida Mg_7 , projetou-se o cadinho maior da figura 3, a ser utilizado apenas como recipiente de fusão, e no outro cadinho soldou-se uma chapa (conforme mostra a figura 3), que foi utilizado somente no vazamento.

Nas corridas Mg_7 , Mg_8 Mg_{11} , colocou-se o fluxo n.º 1 no fundo do cadinho e assim que o mesmo adquiriu uma cor vermelha carregou-se o magnésio metálico. Depois da carga fundida, à medida que o fluxo protetor se rompia, nova adição de fluxo n.º 1 era feita nesta zona. À temperatura de

720°C juntaram-se os elementos de liga. A 750°C, com o objetivo de desgaseificar o banho introduziu-se cloro na forma gasosa durante 3 minutos. Carregou-se fluxo n.º 2 no fundo da panela de vazamento e sôbre o mesmo foi vazado o metal do cadinho.

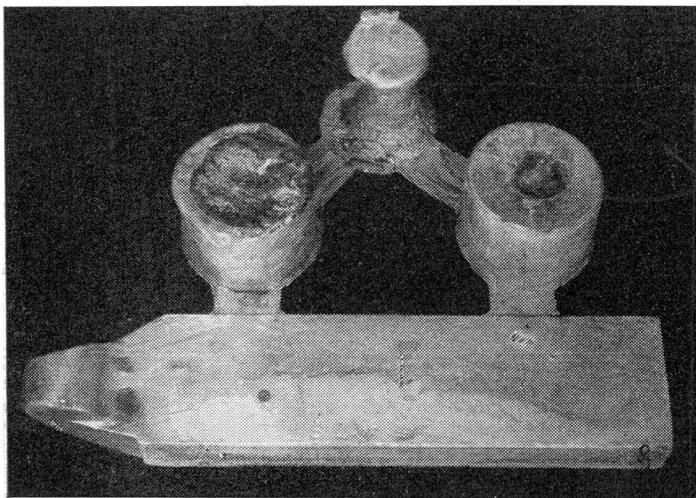


Fig. 8 — Peça da segunda série de experiências. Ver texto.

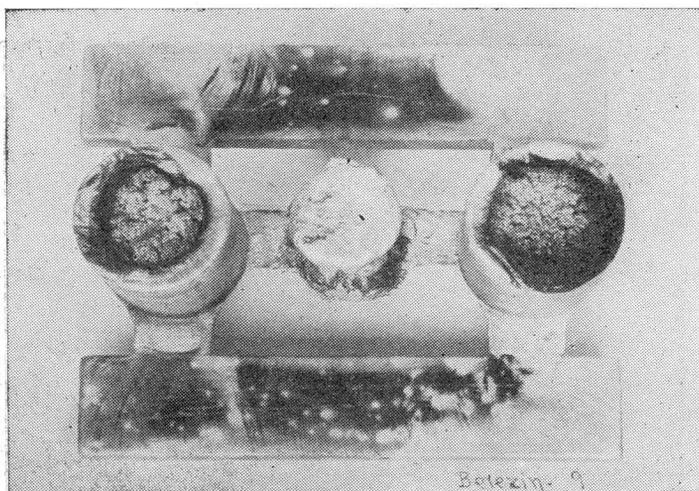


Fig. 9 — Aspecto de uma peça da segunda série de experiências.

Os resultados obtidos nesta série de corridas são apresentados nas figuras 8 e 9. Observa-se a presença, na base do canal de vazamento, do filtro confeccionado com palha de aço e de parte do fluxo que veio a aparecer no tôpo dos montantes.

As peças apresentam um aspecto limpo sem qualquer inclusão. Para verificar a sanidade dessas peças, seccionaram-se os massalotes das figuras 8 e 9, cujas secções são apresentadas, respectivamente, nas figuras 10 e 11. Dêsses montantes foram

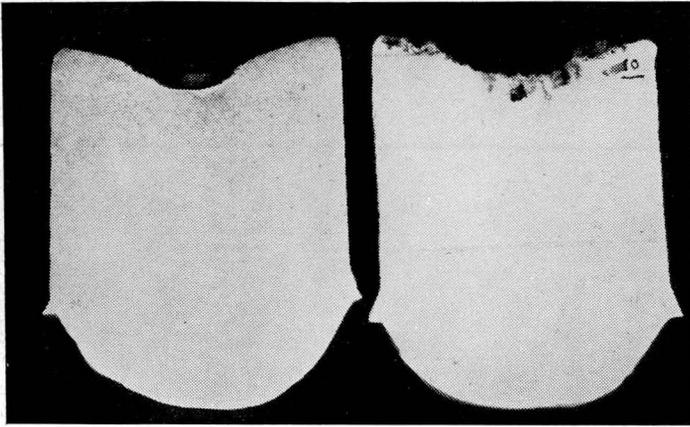


Fig. 10 — As peças apresentam aspecto limpo, sem inclusões. Na esquerda, secção polida, com ataque; na direita, secção simplesmente polida.

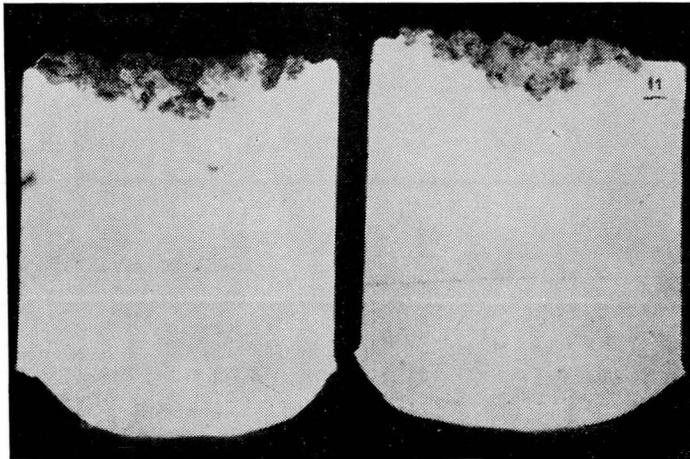


Fig. 11 — Secções das peças da figura 9, mostrando sua sanidade.

retirados corpos de prova de forma cúbica, de 1 cm de lado, de acôrdo com o esquema da figura 12, nos quais determinaram-se as densidades. Os resultados são apresentados na Tabela V.

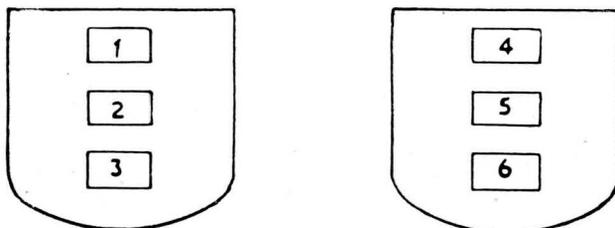


Fig. 12 — Esquema da retirada de corpos de prova, para a determinação da densidade. Os resultados figuram na Tabela V.

Na moldagem das peças das corridas Mg_5 Mg_{11} foi empregada areia do tipo II, onde se substitui bentonita por argila e com adição de menos água. Na Tabela VII são apresentados os resultados das experiências com relação à composição e consumo do fluxo.

TABELA V

Densidade dos corpos de prova, em g/cm^3

Corrida nº	Posição	Densidade
Mg_7	1	1,78
	2	1,83
	3	1,84
	4	1,81
	5	1,85
	6	1,87
Mg_9	1	1,76
	2	1,81
	3	1,87
	4	1,74
	5	1,79
	6	1,83
Mg_{11}	1	1,83
	2	1,85
	3	1,86
	4	1,83
	5	1,87
	6	1,88

TABELA VI

Composição e consumo de fluxo

Corrida n.º	Composição inicial %				Composição final %				Consumo de fluxo	
	Mg	Al	Zn	Mn	Mg	Al	Zn	Mn	Nº 1	Nº 2
Mg ⁻¹	89,0	9,24	1,16	0,52	bal	8,27	2,50	0,19	20	5
Mg ⁻²	89,3	9,05	1,16	0,51	bal	8,25	2,22	0,19	23	5
Mg ⁻³	88,5	9,64	1,15	0,52					27	5
Mg ⁻⁴	89,2	9,23	1,17	0,52	bal	8,34	2,30	0,039	21	5
Mg ⁻⁵	89,3	9,16	1,17	0,52					15	3
Mg ⁻⁶	89,5	9,00	1,00	0,50					12	5,7
Mg ⁻⁷	89,3	8,98	1,25	0,50	bal	8,30	2,31	0,14	10	2,7
Mg ⁻⁸	89,5	8,50	1,50	0,55					11	2,4
Mg ⁻⁹	89,5	8,50	1,50	0,55	bal	8,35	2,01	0,13	6	3
Mg ⁻¹⁰	89,5	9,14	1,00	0,50					9	3
Mg ⁻¹¹	89,4	9,18	1,17	0,51	bal	8,55	2,41	0,17	6	3

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Não se recomenda o uso do forno de indução para fundição de ligas de magnésio, devido ao intenso movimento a que a carga líquida está submetida dentro do campo magnético induzido. Esta agitação conduz o fluxo colocado sobre a superfície para as paredes do cadinho, deixando, quase que durante todo o tempo, pontos de contacto com o ar, que deverão ser cobertos com nova quantidade de fluxo. As quatro corridas no forno de indução deram um consumo médio de 22,7% da carga do fluxo n.º 1 contra 9,8% usado no forno a óleo. Deve-se salientar que, nas corridas Mg₅, Mg₆, Mg₇ e Mg₈, usou-se um excesso de fluxo inicial, baseando-se nos resultados das corridas anteriores. No forno a óleo pode-se partir de uma carga inicial da ordem de 6% do peso da carga, sendo o restante adicionado na medida da necessidade.

Os fluxos adicionados devem ser previamente secos a fim de se evitar a reação do magnésio com a umidade, que em alguns casos pode ser violenta. Observou-se que o fluxo empregado, quer KCl ou NaCl, no intervalo de tempo entre a sua retirada da estufa e o instante em que era adicionado ao banho metálico, se apresentava com uma certa quantidade de umidade,

que será indicada pela aderência da massa ao recipiente que a continha.

Quando a secagem dêste fluxo se dava em temperaturas acima de 50°C, o mesmo se apresentava todo aglomerado; se adicionando ao banho metálico, a fusão dêesses aglomerados era acompanhada de estalos e projeções de sal para fora. Na hipótese do fluxo apresentar um pouco úmido, poderá também ocorrer a projeção de metal.

Com o objetivo de se eliminar êste risco, carregou-se cêrca de 90% de fluxo a ser usado no estado em que se encontrava. Com a fusão do mesmo elimina-se a água de cristalização e a absorvida. Sòmente neste ponto é que o metal sólido é carregado.

Os 10% restantes são preparados, a priori, do seguinte modo: funde-se o fluxo e pulveriza-se a mistura, conservando-a em frascos hermêticamente fechados. Momentos antes do uso, a quantidade necessária é retirada e aquecida à temperatura de 60°C, em estufa, e pulverizada em almofariz, de maneira a evitar a adição do fluxo na forma aglomerada. Por êste procedimento, à medida que o magnésio funde, o metal ficará sempre bem protegido da oxidação, além de se poder trabalhar com maior segurança.

A introdução do fluxo n.º 2 é mais efetiva na panela de vazamento sôbre o qual é vazado o metal do cadinho, do que adicioná-lo à superfície do banho.

Na passagem do metal protegida com o fluxo n.º 1 para a panela de vazamento, procura-se evitar a entrada dêste e parte final do metal. Por êste procedimento o composto de magnésio e impurezas precipitados ficam retidos no fundo do cadinho, bem como se tem um metal mais limpo.

Não há dúvida que, durante o vazamento, parte do metal vai se oxidar; porém o jato do metal, ao entrar em contacto com o fluxo n.º 2, promove a fusão do mesmo, com formação de turbilhão, fazendo o fluxo n.º 2 entrar em contacto íntimo com todo o banho metálico, promovendo um espessamento uniforme das impurezas que passaram do cadinho para a panela. O uso de panela de bico e chaleira é aconselhável no vazamento de ligas de magnésio, pois evita a entrada do fluxo que permanece na superfície. Diferentemente dos casos de outros metais, o bico não deve ficar próximo do fundo da panela, pois, devido à pequena densidade do magnésio, tôdas as impurezas se situam nesta parte.

*

Pelos resultados da Tabela VI se observa uma perda dos teores de manganês, enquanto que os teores de zinco se elevam.

A justificação de tal fato é dada pela seguinte hipótese. O magnésio e o alumínio, apresentando uma energia livre menor do que a do zinco, são oxidados preferivelmente, resultando pois então uma elevação do teor de zinco. Aplicando-se o mesmo raciocínio para o manganês, este também deveria apresentar teores maiores do que aqueles carregados. Justifica-se a perda de manganês^s pela ação refinadora por este exercida.

O ferro é praticamente insolúvel no magnésio, sendo o seu limite de solubilidade a 650°C de 0,026%. Ele é introduzido no banho pela adição de elementos de liga e pela dissolução das paredes do cadinho. O excedente ficará em suspensão no banho metálico e agirá como núcleos de cristalização.

O manganês dissolvido combina-se com o ferro em suspensão, formando no banho dendritas primárias. É, portanto, aconselhável adicionar-se manganês em excesso, a fim do mesmo exercer sua ação refinadora e ficar dentro dos teores desejados.

A liga contendo 9% Al, 1% Zn e 0,5% Mn, teoricamente apresenta uma densidade de 1,81 g/cm³, enquanto que o magnésio uma densidade de 1,74 g/cm³. Pelos resultados da Tabela V observa-se que o aumento do teor de zinco ocasiona uma elevação da densidade.

Observa-se também que os valores situados na parte inferior do massalote da figura 12 são os mais elevados.

Mesmo que o massalote seja bem dimensionado, para alimentação de uma dada peça nas ligas à base de magnésio, o mesmo deve apresentar um super-dimensionamento com relação à sua altura, devido ao baixo peso específico dessas ligas. Com o super-aquecimento na altura temos um maior peso de metal, evitando desse modo o aparecimento de microporosidade.

7. CONCLUSÕES

1 — Na fusão de ligas de magnésio deve-se proteger a superfície do banho metálico com fluxos. Esses fluxos devem ser empregados isentos de umidade e na forma de granulado bem fino.

2 — O *fluxo protetor* é usado desde o início da fusão até o momento do vazamento na panela. O *fluxo de limpeza* deve ser adicionado na panela de vazamento, vazando-se por cima o metal.

3 — Recomenda-se o uso de panela com bico de chaleira, cuja altura deve ser igual a 3/4 da altura da panela.

4 — A adição de manganês deve ser feita com um excesso de 50%; a adição de zinco com redução de 50% dos valores calculados teoricamente.

5 — A temperatura de vazamento para peças espessas está compreendida entre 720°C a 760°C. Para peças delgadas deve estar entre 780°C e 830°C.

6 — A areia usada deve conter inibidores. Recomenda-se a adição de enxôfre e ácido bórico. Deve-se trabalhar com areia contendo o mínimo possível de umidade. Evitar o manuseio do magnésio com utensílios oxidados ou umedecidos.

BIBLIOGRAFIA

1. *"Magnesium Base Alloys"*. Boletim da The Magnesium Association, 1955.
2. *"Magnesium Alloys and Products"*. Boletim da "Dow Chemical Company", pág. 22.
3. G. SHELDON ROBERTS — *"Magnesium and Its Alloys"*, pág. 129.
4. *"Heat Treating of Magnesium Sand and Permanent Mold Casting"*. Boletim da Dow Chemical Company, pág. 6.
5. NORMAN E. WALDMAN — *"Magnesium"*, págs. 49 e 50.
6. *"The Sand Casting of Magnesium Alloys"*. The Metal Industry, pág. 226, Abril de 1943.
7. *"Metals Handbook"*. A. S. M., edição 1948, pág. 994.
8. ADOLF BECK — *"The Technology of Magnesium and its Alloys"*, págs. 134, 135, 316 e 319.
9. HEINE e ROSENTHAL — *"Principles of Metal Casting"*. AFS, pág. 336.
10. L. W. EASTWOOD — *"Selecting Inhibitors for Magnesium Molding Sand"*. The Foundry, pág. 80, Janeiro de 1945.
11. A. W. BRACE — *"Magnesium Fluxes"*. The Metal Industry, pág. 274, Maio de 1945.
12. A. J. MURPHY — *"Fundicion de los Metales no Ferreos"*. Versão espanhola, pág. 607.



DISCUSSÃO

A. Augusto da Silva ⁽¹⁾ — Ouvimos a exposição do trabalho dos Engs. Isaac Berezin e Sérgio Augusto de Souza, contribuição muito boa, versando assunto novo para muitos de nós. Dou por abertos os debates.

O. Weinbaum ⁽²⁾ — O Autor mencionou a precipitação que foi constatada com essas ligas. Gostaria de saber qual a temperatura e o tempo que empregou nesse caso.

I. Berezin ⁽³⁾ — Não se executou nenhum tipo de tratamento térmico. A tabela que se encontra no trabalho, foi transcrita da literatura, sendo apresentada a título de divulgação. O objetivo do trabalho foi estudar a técnica da fusão de ligas de magnésio.

A. A. da Silva — No segundo diapositivo projetado, o Sr. mostrou que com a modificação do cadinho, isto é, colocando o «Bico de chaleira» conseguiu diminuir a porcentagem de fluxo na peça. Vimos também as secções dos canais. Não seria, pois, uma questão de alimentação ou de forma de canais a causa da penetração do fluxo na peça?

I. Berezin — No caso particular dessas ligas não foi o que ocorreu. Quando usámos o cadinho de 500 g, que é relativamente pequeno, sendo possível segurar o fluxo durante o vazamento por meio de uma escumadeira devido à quantidade de metal ser muito pequena, não houve tempo para que o fluxo entrasse na peça. Quando passamos para o cadinho de 6 kg, usamos a mesma técnica, procurando segurar o fluxo por meio de uma escumadeira, mas aí já não foi possível. Aconteceu provavelmente que as 500 g representavam a quantidade limite de metal, acima da qual começou a entrar fluxo na peça. O filtro de palha de aço colocado na base do canal de vazamento não foi capaz de reter o fluxo, que foi alojar-se na peça e nos massalotes.

A. A. da Silva — Estamos raciocinando como se a palha de aço fôsse trabalhar como filtro. Não seria o caso, então, de se usar um tipo de chuveiro?

I. Berezin — O chuveiro não é indicado no caso da fundição de ligas de magnésio, pois a grande afinidade deste metal pelo oxigênio, promoveria reação com o ar existente dentro do molde, acarretando a formação de óxido de magnésio dentro da peça. Teríamos uma peça com inclusões de óxido de magnésio, que posteriormente seria condenada mecânicamente.

A. A. da Silva — Qual seria a fase prejudicial do chuveiro?

I. Berezin — No início não teríamos a ação do inibidor, que é enxofre, formador de uma atmosfera de SO_2 dentro do molde. Na parte

(1) Membro da ABM e Presidente da Comissão Técnica; Engenheiro da Perfilação Indústria e Comércio; São Paulo, SP.

(2) Membro da ABM e Engenheiro da Metal Leve S/A.; São Paulo, SP.

(3) Membro da ABM e Autor do Trabalho; Engenheiro do Instituto de Pesquisas Tecnológicas; São Paulo, SP.

inicial iria haver maior formação do óxido de magnésio pela maior superfície do jato e mesmo de hidrogênio, que poderia ser absorvido pelo metal dentro da peça em solidificação. Esse processo tem que ser bastante rápido. A vantagem do filtro é segurar o magnésio de forma a que se trabalhe sempre com o canal cheio.

A. A. da Silva — Isso no caso do filtro de palha de aço. E quanto ao chuveiro de cerâmica?

I. Berezin — Se colocarmos um chuveiro de cerâmica em cima, vazando o metal, o canal de descida não vai trabalhar cheio. Se colocado bem em baixo, faria o mesmo efeito da palha de aço, desde que os furos tenham a proporção correta.

O. Weinbaum — Desejo mais uma explicação, esta relativa ao fluxo n.º 2. Esse fluxo foi colocado no fundo do cadinho? Esse fluxo não poderia ser introduzido de outra maneira, tal como se faz no caso do alumínio, por meio de uma campânula?

I. Berezin — No caso dessas ligas, não. O que ocorre com o magnésio é que as impurezas que encontramos dentro do banho desse metal são cloreto de magnésio, impurezas de ferro e principalmente MgO. Quando fundimos o magnésio e o vazamos, se colocarmos o fluxo n.º 2 na parte posterior do cadinho, durante esse vazamento teremos queima de magnésio, que vai reagir com o fluxo. Esse fluxo reage com o óxido de magnésio formado no banho, constituindo o composto, $Mg Cl_2$ 5 MgO, que é muito mais denso do que o magnésio. Ao mesmo tempo, esse fluxo vai agir como protetor. Então teremos uma ação de limpeza do fluxo durante o vazamento, que é quando ele age, e depois do vazamento como protetor, pois as partículas de $Mg Cl_2$ 5 MgO mais pesadas descem ao fundo enquanto que o restante permanece na superfície. A altura conveniente do bico de chaleira é de $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ da altura da panela, porque no fundo existe precipitado desse constituinte, além de outras impurezas. Se fizessemos como no caso do alumínio, imergindo uma gaiola, teríamos uma ação purificadora, porém com grande risco de queimar o magnésio na superfície. Tudo é feito instantaneamente. Do cadinho passa-se para a panela de vazamento. A operação toda toma cerca de vinte segundos no máximo.

J. Câmara Neiva (4) — Gostaria de conhecer quais são os empregos típicos de peças de magnésio fundido.

I. Berezin — Com relação ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas, visámos duas aplicações práticas. Uma refere-se a uma fábrica de parafusos. É o caso daquelas peças que projetámos em diapositivos há pouco; são linguetas de uma máquina e seu peso não podia passar de 2 kg. O segundo caso é o de uma peça para máquina de limpeza de tapetes, atualmente feita de madeira e se quebra facilmente. Outras aplicações importantes do magnésio fundido são a das carlingas de aviões, pás para ventiladores, na construção de radares, cubos de rodas de avião, etc. Por isso salientei que o problema das peças fundidas de magnésio será importante no momento em que a indústria brasileira sentir o impacto da construção de aeronaves. Acredito que a Volkswagen já esteja fundindo, no País, magnésio para carcaças de motores, pelo processo da fundição sob-pressão.

(4) Membro da ABM e Engenheiro da Mercedes Benz; São Paulo, SP.

M. Rennó Gomes (5) — Perguntaria se se pode substituir o cloreto de potássio pelo cloreto de sódio no fluxo. Haveria algum problema?

I. Berezin — Não há problema. No início de nossas experiências fizemos a substituição, até um pouco temerosos, pensando no que ocorreria com a densidade do fluxo, porém não houve dificuldades. Depois de havermos experimentado o cloreto de potássio, descobrimos que o fluxo que os técnicos alemães usavam era a carnalita, que é uma mistura de cloreto de potássio e $MgCl_2$. Inclusive usámos sal grosso, isto é, o menos refinado possível.

Lívio Araújo (6) — Pelo que o Sr. expôs e pelos conhecimentos que se tem da fundição do magnésio, pode-se concluir que não é praticável essa fundição sem o auxílio do fluxo.

Esses fluxos estão baseados em cloretos. Em seu trabalho o Sr. fala sobre a adição da segunda parte do fluxo, dizendo: “Os 10% restantes são preparados, a priori, do seguinte modo: funde-se o fluxo e pulveriza-se a mistura conservando-se em frascos hermêticamente fechados. Momentos antes do uso, a quantidade necessária é retirada e aquecida a temperatura de 60°C...”. Pergunto se essa temperatura não é baixa demais para se garantir a não absorção de água. Porque já fiz observação semelhante; pelo simples manuseio do fluxo, êle adquiria umidade novamente. Só consegui bons resultados trabalhando acima de 200°C.

I. Berezin — A técnica de se usar 90% do fluxo no estado em que se encontra foi indicada unicamente por uma questão econômica. Se colocarmos 90% do fluxo no fundo do cadinho, mesmo que êsse fluxo contenha água, e se esperarmos a sua fusão, automaticamente teremos um fluxo perfeitamente seco.

A sua apreciação refere aos outros 10% de fluxo. Quando trabalhamos com temperatura acima de 150°C, êsse fluxo fica empedrado. Se carregarmos êsse fluxo empedrado sobre o banho, a introdução desse material é acompanhada de projeções de sal, o que pode atingir os operadores. De acordo com a nossa técnica de desidratar o fluxo e mantê-lo dentro de um frasco, realmente êle vai absorver água, mas numa quantidade mínima desde que o frasco seja hermêticamente fechado. Momentos antes de adicionarmos êsses 10% na carga, colocamos uma quantidade, que pode variar de 200 a 600 g, numa estufa pré-aquecida a 60°C, o que nos dará um ambiente isento de umidade. Tiramos êsse frasco de dentro da estufa e, quando adicionamos o seu conteúdo na carga, a quantidade de umidade absorvida é mínima. O objetivo de mantermos essa quantidade de fluxo dentro da estufa não é o de eliminarmos a água totalmente, mas o de deixarmos o fluxo seco e pulverulento, isto é, tirar um pouco da umidade absorvida no frasco.

P. S. Pereira da Silva (7) — Pelo que entendi da sua exposição, um dos problemas vitais para as peças de magnésio é a densidade desse metal. Queria fazer uma pergunta: já foi observado no massalote um gradiente de densidade; não era de se esperar na peça também um gradiente de densidade? E se se espera êsse gradiente, é êle desprezível para aplicações práticas, ou não?

(5) Membro da ABM e Professor Catedrático da Escola de Engenharia da UMG; Belo Horizonte, MG.

(6) Membro da ABM e Engenheiro da BETA Industrial e Comercial; São Paulo, SP.

(7) Membro da ABM e Engenheiro do Instituto de Energia Atômica; São Paulo, SP.

I. Berezin — Realmente, na peça vamos ter uma densidade média, dadas as variações de densidade dentro da mesma peça. Fazendo uma secção na altura do massalote, da peça mostrada há pouco, o que se observou foi o seguinte: o último ponto foi tirado na zona mais baixa do massalote e era praticamente do mesmo nível que a peça. Se esse ponto apresentar uma densidade considerada boa, acredito que a variação das densidades se dará em torno desse ponto. Podemos concluir, pois, que os valores da densidade da peça se aproximam desse ponto determinado. Realmente, para que o nosso trabalho ficasse completo, deveríamos fazer o estudo da densidade na peça. Isso não foi verificado, mas teoricamente acredito que deva ocorrer assim. Quanto ao canal, ele já é projetado para alimentar a peça, ou seja, ela se solidifica primeiramente que o canal. Isso foi observado durante o período de solidificação.

R. Cohen ⁽⁸⁾ — Gostaria de obter algumas explicações sobre as causas da variação da densidade. Por que varia ela?

I. Berezin — São várias as causas da variação da densidade. Entre elas temos a seguinte: o material do corpo de prova retirado da base do massalote sofreu pressão metalostática muito maior. Assim, por ser liga de magnésio, o sistema de solidificação se dá em forma de «pasty». Temos inicialmente uma solidificação rápida nas paredes do molde e, formações de núcleos nos diferentes pontos do massalote que irão dar origem a rédes de dendritas. Portanto, nessas zonas em que já não existe uma pressão metalostática razoável vão ter deficiência de metal líquido. Outra causa dessa densidade ser inferior na superfície é de não haver pressão metalostática e presença do fluxo, que se dá na superfície. Temos um material enriquecido de fluxo, formando uma massa porosa.

Newton Pinheiro ⁽⁹⁾ — Nos cortes dessas peças foi feito algum estudo metalográfico, para ver a separação desse fluxo, e do composto $MgCl_2 \cdot 5MgO$ formado com a liga, pois poderia ficar nos interstícios.

I. Berezin — Estou de acôrdo. Não fizemos esse estudo para não divagarmos sobre o objetivo do nosso trabalho. O nosso escôpo era executar somente a fundição.

Raul Cohen — Durante sua exposição, o Autor citou que foi constatada a variação de densidade em diversos pontos do massalote. Perguntaria: de que ordem de grandeza?

I. Berezin — Isso é dado na tabela 5 do trabalho. A variação dessa densidade é explicada devido à composição química ter fugido aos limites carregados. Observe-se na tabela 6 que a composição inicial e final dos componentes foi alterada: o alumínio passou de 9,24% para 8,27%; o zinco de 1,16% para 2,50% e o manganês de 0,52% para 0,19%. Estudando o assunto, observamos que a subida do teor de zinco é devida ao problema da oxidação do magnésio. E do manganês, é devido a que esse metal tende a reagir com o ferro que esteja em solução no banho, precipitando um composto ferro-manganês, com conseqüente purificação do banho metálico.

(8) Membro da ABM e Professor Catedrático da Escola de Engenharia da URS; Pôrto Alegre, RS.

(9) Membro da ABM e Engenheiro do Arsenal da Marinha do Rio de Janeiro, GB.

W. Pirró e Longo ⁽¹⁰⁾ — Desejo saber se sua pesquisa versa sobre a fundição de ligas de magnésio ou de magnésio puro.

I. Berezin — Versa sobre ligas, mas acredito que possa ser aplicado ao metal magnésio.

W. Pirró e Longo — Uma das facetas da fundição de magnésio puro é que, depois de ser retirado das retortas, surge o problema da fundição do metal, que se apresenta poroso, porque é obtido no vácuo. Desejo saber se o Autor da tese notou alguma influência sobre o aspecto do magnésio colocado na fusão, quando em tamanhos diferentes, se em pedaços, se magnésio maciço ou em cavacos.

I. Berezin — Partimos de um lingote de cêrca de 10 kg, cortado na tesoura em pedaços de 20 a 30 g para cada um. Esses pedaços é que eram carregados sob o fluxo fundido.

W. Pirró e Longo — No caso do lingotamento o problema consiste em que a superfície exposta ao ar é enorme. Portanto, há interesse em diminuir o contacto do ar com a carga. Talvez esse processo de fluxo atue evitando que o ar possa entrar em contacto com o magnésio.

I. Berezin — Estou de acôrdo, porque praticamente é impossível evitar a oxidação do magnésio. A não ser que se usasse enormes quantidades de fluxo, para que o magnésio ficasse todo imerso. Ora, o consumo normal de fluxo é da ordem de 8% a 10% do pêso da carga. Se aumentássemos essa proporção para 50%, talvez conseguíssemos fundir o magnésio metálico praticamente sem oxidação, mas, economicamente, isso não daria bons resultados.

(10) Membro da ABM e oficial-engenheiro do Arsenal de Guerra de São Paulo, SP.

IMPORTÂNCIA DA RECUPERAÇÃO DE AREIAS USADAS EM FUNDIÇÃO ⁽¹⁾

JOSÉ MARTINI ⁽²⁾

RESUMO

O Autor acena aos vários processos de recuperação de areias usadas e mostra, num exemplo, as vantagens econômicas resultantes. ⁽³⁾

1. GENERALIDADES

A "Recuperação de areias de fundição" está difundindo-se continuamente entre as indústrias de fundição dos países adiantados. É necessário, portanto, estudarmos êsse assunto no Brasil e dar-lhe a devida importância.

Històricamente, o assunto começou a chamar a atenção dos fundidores e estudiosos após a primeira guerra mundial. Em 1926, uma série de artigos de Pat Dwyer procurou esclarecer o estado do problema na ocasião. Segundo Dwyer, o conceito de recuperação da areia era interpretado de maneiras diferentes, reinando uma verdadeira confusão. Alguns consideravam como recuperação a adição de areia nova ao sistema; outros julgavam como recuperação apenas a eliminação de cascas, finos e outros materiais nocivos e estranhos. Um grupo definia recuperação de areia como tratamento individual dos grãos para que voltassem ao estado de novos.

Dwyer verificou, também, que os conhecimentos técnicos de seleção, preparação e contròle de areias eram muito rudimenta-

(1) Contribuição Técnica n.º 469. Apresentada ao XVII Congresso Anual da ABM; Rio de Janeiro, julho de 1962.

(2) Engenheiro de Minas e Metalurgia pela Escola Politécnica da USP; Chefe da Fundação da Cia. Brasileira de Material Ferroviário "COBRASMA"; São Paulo, SP.

(3) Sobre o tema, ver contribuições e debates da Reunião Aberta sobre "Sistemas e equipamentos para a mecanização de fundições". ABM-Boletim, vol. 11, pág. 161.

res. Concluiu ser necessário colher mais dados e aguardar o desenvolvimento dos métodos de controle de areia e dos equipamentos de recuperação.

Devido a essa situação, muitas instalações de recuperação falharam, com elevadas perdas em dinheiro e tempo, provocando grande pessimismo quanto às possibilidades futuras da recuperação de areias. O primeiro processo que obteve êxito apareceu somente em 1948, baseado na via úmida como meio de trabalho. O processo pneumático, iniciado em 1948, obteve sucesso industrial em fins de 1952.

Atualmente, nos Estados Unidos, quase todas as fundições de dimensões razoáveis possuem instalações de recuperação de areia.

2. OS MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO DAS AREIAS

Os métodos considerados satisfatórios, atualmente, para aplicação em areias sintéticas são o *úmido*, o *térmico* e o *pneumático ou seco*.

Para melhor compreensão do problema necessitamos considerar o que ocorre em um sistema de areia e com os grãos, individualmente, quando são utilizados repetidas vezes.

Na preparação das misturas, os grãos, individualmente, são cobertos por ligantes e, com a repetição do ciclo, tal cobertura vai-se tornando grossa, devido às várias camadas de ligante adicionadas. Com a utilização repetida, muitos grãos serão envolvidos por uma casca grossa, dura e quebradiça. Nestas condições, há uma tendência para alteração progressiva da composição granulométrica da areia, com um aumento do número de grãos retidos nas primeiras peneiras (malhas grossas).

Por sua vez, sob a ação dos esforços mecânicos e térmicos a que é submetida a areia, as camadas de alguns grãos quebram-se e separa-se, produzindo um número grande de finos.

Com o re-uso teremos, no fim de um certo tempo, uma areia com distribuição granulométrica bem diferente da original; comparativamente, teremos um aumento na porcentagem dos grãos grossos e dos finos e uma diminuição da porcentagem dos grãos médios, segundo mostra a figura 1.

A situação se agrava com a ulterior formação dos grãos compostos, isto é, grãos pequenos que se ligam entre si, devido

à ação dos aglomerantes. Estes grãos criam uma condição indesejável, pois são excepcionalmente grandes, de forma irregular e quebradiços quando sujeitos a esforços mecânicos ou térmicos.

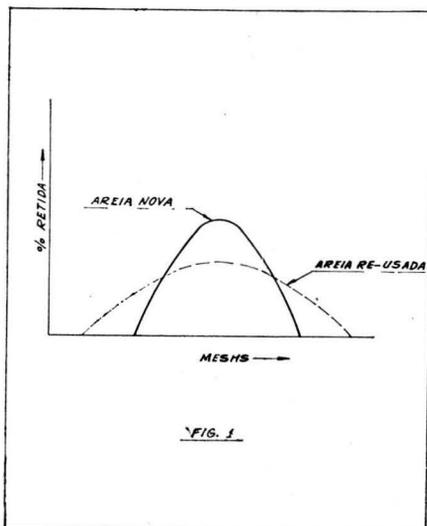


Fig. 1 — Granulometrias comparadas de uma areia nova e da mesma depois de repetidamente usada. Ocorre um aumento na porcentagem de grãos grossos e de grãos finos, com uma diminuição da porcentagem de grãos médios.

Outra alteração que ocorre é a eliminação da água de hidratação da argila a alta temperatura, que produz a destruição permanente das propriedades coloidais da argila. Nas argilas formadas principalmente pela Kaolinita ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) a água é eliminada entre 390°C e 526°C. A 900°C a Kaolinita transforma-se em Mullita. Como em média, nos fundidos de aço, a areia chega a atingir 550°C até cerca de 1 1/2" da interface, podemos compreender porque o volume de areia, com a argila morta (desidratada), não é pequeno. Esse volume de argila morta é extremamente nocivo, pois aumenta a quantidade de finos na areia.

Estes fenômenos, como vimos, produzem uma mudança na distribuição granulométrica e também aumentam a área total da superfície dos grãos e da massa. Assim, ao re-usar a areia, será necessário aumentar a quantidade de ligantes, bem como a umidade para se obter trabalhabilidade razoável da areia. Com a repetição dos ciclos, chega-se a um ponto onde não é mais possível conciliar a *umidade* máxima tolerável, com a resistência mínima necessária e a trabalhabilidade e fundibilidade. Isto sem

considerar outras propriedades tais como: permeabilidade, colapsibilidade, resistência a quente, fluxabilidade, deformação, permeabilidade a quente, contração e expansão, ponto de sinterização, etc., que também serão muito afetadas.

Outro fenômeno importante que também afeta as propriedades físicas da areia é a formação de pontas salientes nos grãos, constituídas por partículas envolvidas por ligantes e que aderem em torno daqueles (fig. 2). Esta formação redonda numa maior dificuldade no socamento devido a interferência na movimentação dos grãos entre si, exigindo, portanto, maior energia no socamento, que, por sua vez, produzirá maior número de cascas quebradas e, conseqüentemente, mais finos.

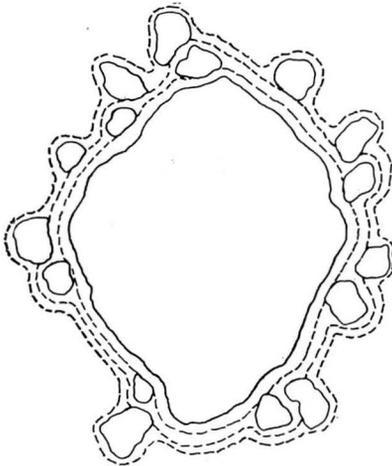


FIG. 2

Fig. 2 — As propriedades físicas da areia são afetadas pelo uso, ante a formação de grãos maiores e com pontas salientes, resultantes de partículas envolvidas e aderentes aos grãos primitivos.

Após esta pequena exposição do que se passa com os grãos e a massa de areia, podemos tentar estabelecer os objetivos a serem atingidos pela recuperação da areia. Os seguintes conceitos sobre recuperação de areia estão definitivamente aceitos:

- 1 — A areia recuperada não precisa apresentar características exatamente iguais às da areia original.
- 2 — Cada fundição, ou tipo de fundição, requer uma solução específica para seus problemas.
- 3 — A diminuição de consumo de aglomerantes e a redução do refugo de peças fundidas são partes da economia feita com a recuperação de areia.

Fundamentalmente, uma recuperação de areia requer:

- 1 — Uma uniforme e controlável quantidade de trabalho a ser aplicado sobre cada grão, visando:
 - a) quebrar os grãos compostos formados;
 - b) alisar, reduzir e mesmo remover as cascas de ligantes velhos;
 - c) restaurar os grãos para as dimensões físicas originais;
 - d) dar mais simetria de forma aos grãos sub-angulares e angulares.
- 2 — Um satisfatório meio de separação e classificação para a massa de areia como se fôsse um todo para:
 - a) remover as cascas, finos, etc.; aparecidos na limpeza dos grãos;
 - b) corrigir a distribuição granulométrica procurando aproximá-la da original.

3. MÉTODO ÚMIDO DE RECUPERAÇÃO

No método úmido de recuperação, o grão, individualmente, deve ser sujeito a uma agitação intensiva em meio líquido (água). Maior eficiência é obtida quando suficiente areia é mantida em suspensão (na água), promovendo o máximo de impacto e abrasão na colisão entre os grãos. As cascas (formadas por ligantes e partículas) são duras; somente um contínuo impacto e abrasão poderão alisar e reduzir a espessura das camadas de velhos ligantes, ou mesmo removê-las. Elementos para contrôler da densidade da mistura e do tempo de agitação são obtidos pela análise dos resultados das areias recuperadas.

Antes da agitação, a areia é peneirada com o auxílio de jatos de água, para quebrar os torrões, e passa por um separador onde são eliminados os finos soltos. Segue-se a operação principal, que é a de agitação realizada no limpador. Dêste, é a areia encaminhada para um segundo separador, onde as cascas desprendidas são removidas juntamente com outros finos. Após o separador, segue ela para um classificador onde, também por via úmida, é corrigida a distribuição granulométrica. Na parte final, temos a filtragem que pode ser de vários tipos, inclusive à vácuo e ar quente e a eliminação da água residual em um secador ou ao longo de uma correia transportadora.

Um fator importante a ser observado no processo de recuperação por via úmida é o elevado consumo de água, o que torna obrigatória a sua recuperação; utilizam-se decantadores,

precipitadores físico-químicos e filtragem (para evitar o enriquecimento progressivo de aglomerantes com a repetição dos ciclos e queda de rendimento).

Se os sucessivos estágios no processo são convenientemente controlados, obtém-se satisfatória produção de areia recuperada, de características bem próximas das da areia nova original. Em alguns casos, é mesmo possível obter-se características melhores do que as originais.

4. MÉTODO TÉRMICO DE RECUPERAÇÃO

O método térmico tem tido sucesso na recuperação de areias usadas de fundições que utilizam aglomerantes carbônicos, tais como óleos, cereais, resinas, etc.

Este método consiste em aquecer a areia a temperaturas entre 650°C e 1.200°C, dependendo das condições e materiais usados como aglomerantes. O aquecimento pode ser feito em vários tipos de fornos, como seja, de patamares, rotativo, etc. Após o aquecimento, segue-se um resfriamento. Os finos são eliminados por exaustão.

Este processo não é recomendado para as fundições que usam aglomerantes do tipo de argilas e bentonitas, porque os grãos não são aquecidos igualmente. Alguns grãos recebem calor que desidrata a argila envolvente, formando uma casca duríssima, piorando portanto as condições. Em outros grãos mais aquecidos, pode ocorrer uma fusão incipiente na superfície devido a presença de óxidos que agem como fluxo. No caso de termos argila envolvendo os grãos após a recuperação, estas cascas podem quebrar durante o misturamento na preparação da areia, dando mais finos; uma adicional quantidade de ligante e umidade é requerida para compensar a argila morta e o aumento de superfície.

Este método é aconselhável para as fundições que trabalham exclusivamente com "shell molding".

5. MÉTODO PNEUMÁTICO OU SÊCO DE RECUPERAÇÃO

Este método baseia-se no impacto e abrasão dos grãos entre si, em um meio que é o ar. Para completar o trabalho, os grãos são lançados contra um escudo (target) fixo. O desgaste deste escudo não é grande, pois está protegido por uma camada da própria areia em trabalho. O método é muito semelhante ao úmido, tendo como diferença o meio utilizado para suspensão e movimentação.

As instalações em uso mostraram ser o método satisfatório e sua aceitação é comprovada pelos seguintes dados:

<i>Via úmida:</i>	a) Até 1953	26 instalações
	b) Atualmente	30 instalações
<i>Via seca:</i>	a) Até 1958	55 instalações
	b) Atualmente	73 instalações

Em resumo, o processo consiste em: passar a areia, suposta sêca, em um separador magnético e peneira (5/32") e, em seguida, dirigí-la aos limpadores a ar comprimido. Estas unidades são montadas em linha e em degraus. Os limpadores são constituídos de uma caixa externa cilíndrica, no fundo da qual se introduz ar comprimido. O ar, levando consigo areia, é dirigido verticalmente para cima, por um tubo interno. A mistura de areia e ar é lançada contra um escudo cônico (target). Na parte superior lateral da caixa externa, tem-se a abertura do exaustor que elimina os finos. O ciclo é repetido até se obter o grau de limpeza desejado.

As areias recuperadas apresentam uma coloração escura, dando uma má impressão. Esta coloração é devida aos materiais ligantes remanescentes em pequenos poros e fendas sôbre os grãos. Tal material pode ser considerado útil, pelo fato de melhor alisar a superfície dos grãos; tornam-se mais fluxáveis com menor quantidade de ligantes e darão melhor moldabilidade com menor esforço de socamento.

Experiências americanas citam que uma areia recuperada com até 1,5% de argila consome a mesma quantidade de óleo que uma areia nova para dar a mesma resistência.

Expostos sumariamente os três métodos de recuperação de areia, vejamos quais as principais vantagens que podem resultar desses processos:

- 1 — A areia recuperada pode ser de qualidade igual ou melhor que a areia nova original.
- 2 — Eliminação do problema de armazenamento e transporte das areias inservíveis.
- 3 — Redução de cerca de 85% da área de estocagem da areia nova.
- 4 — Apreciável economia na operação, por ser o custo da recuperação inferior ao preço da areia nova.
- 5 — Melhor acabamento superficial dos fundidos e redução de refugos, devido a defeitos de areia.

6. ASPECTO ECONÔMICO

Em média, segundo dados americanos, a instalação de um recuperador é econômico para fundições com uma produção acima de 400 t de peças boas por mês. E, de acordo com a produção e as condições peculiares de cada fundição, um recuperador é amortizado em prazos que variam de 3 meses a 3 anos.

Segundo dados de fundições americanas, dotadas de instalações de recuperação, as perdas totais de areia têm variado de 5% a 25%. Esta variação depende das condições peculiares da fundição e do aprimoramento dos controles efetuados.

O custo unitário de recuperação depende, principalmente do método em si, do método escolhido em relação às condições próprias da fundição e do volume de areia recuperada.

Consideremos uma fundição de aço com os seguintes dados:

produção: 500 t de peças boas por mês;

consumo de areia nova ou recuperada: 1 t de areia por 1 t de peças boas;

custo estimado de recuperação: Cr\$ 300,00 por t de areia;

perdas totais de areia: 15%;

custo de areia nova posta na usina: Cr\$ 2.000,00 por t.

A despesa mensal com consumo unicamente de areia nova, será: $500 \times \text{Cr\$ } 2.000,00 = \text{Cr\$ } 1.000.000,00$. A utilização de areia recuperada permitirá baixar essa despesa para:

$$500 \times \text{Cr\$ } 300,00 = \text{Cr\$ } 150.000,00$$

$$75 \times \text{Cr\$ } 2.000,00 = \text{Cr\$ } 150.000,00$$

$$\text{Cr\$ } 300.000,00$$

Resulta uma economia mensal de Cr\$ 700.000,00 ou Cr\$ 8.400.000,00 anual, superior ao custo provável da instalação de recuperação. Devemos também considerar uma provável redução nos custos provenientes de:

- a) menor despesa com limpeza de peça;
- b) diminuição das recuperações por solda;
- c) diminuição de refugo;
- d) redução da área de estocagem de areias novas;
- e) eliminação do custo da eliminação das areias inservíveis.

É importante lembrar a tendência constante de elevação dos custos da areia nova e do transporte da areia refugada; as distâncias irão aumentando com o esgotamento das atuais jazidas e a limitação de áreas para disposição de areias refugadas.

BIBLIOGRAFIA

- WENNER, CLIFFORD E. — *“Development of Foundry Sand Reclamation of the American Foundrymen’s Society*, vol. 61, 1953.
- MEYER, HENRY W. — *“Reclamation of Sand By Pneumatic Dry Scrubbing”*. Transaction of the American Foundrymen’s Society, vol. 61, 1953.
- TANNON, JAMES A. — *“Dry Reclamation of Molding Sand For Steel Castings”*. Transaction of the American Foundrymen’s Society, vol. 61, 1953.
- WILL, P. C. and SHURMER, R. H. — *“A Wet Method of Sand Reclamation”*. Transaction of the American Foundrymen’s Society, vol. 61, 1953.
- JOHNSON, H. H.; Mc CLERY, R. J. and FISHER, G. A. — *“Sand Reclamation in a Steel Foundry”*. Transaction of the American Foundrymen’s Society, vol. 61, 1953.
- BRIGGS, CHARLES WILLERS — *“The Metallurgy of Steel Castings”*.
- TAYLOR, H. F.; FLEMINGS, M. C. and WULFF, J. — *“Foundry Engineering”*.
- ZIMMAWODA, HENRY W. — *“Dry Reclamation of Foundry Sand”*.
- HORTH, WALTER — *“The Reclamation of Foundry Sand”*.



DISCUSSÃO

I. Berezin ⁽¹⁾ — Pergunto ao Eng. José Martini se existe algum projeto da COBRASMA, no sentido de adotar algum dentre os sistemas expostos, ou se já está em funcionamento um desses tipos de recuperação.

J. Martini ⁽²⁾ — Quanto à COBRASMA, estamos decididos a instalar um recuperador de areia. Evidentemente, temos os planos em estudos, mas ainda há coisas a acertar, como posição e tamanho. Mas já estamos bem adiantados nestes estudos. Aliás um dos pontos sobre o qual não resta a menor dúvida é o de que o recuperador será pago

(1) Membro da ABM e Engenheiro do Instituto de Pesquisas Tecnológicas; São Paulo, SP.

(2) Membro da ABM e Engenheiro da “COBRASMA”; Autor do Trabalho; São Paulo, SP.

por si próprio (levando-se em conta apenas a economia na compra de areia) em seis a oito meses. Tive conhecimento de que outras fundições no Brasil já estão ou tratando do assunto ou mesmo encomendando recuperadores de areia.

Michel Loeb (3) — O autor menciona que o remanescente de argila que fica na areia tem, entre outras vantagens, a de tornar a superfície do grão mais lisa, ficando êste com forma simétrica e, desta maneira, mais fluxável. Gostaria de saber se isso vem confirmar, ou contrariar a noção de que o grão semi-angular é o ideal para areia de moldagem. O texto do trabalho, da forma como está redigido, dá-nos a impressão de que o ideal seria um grão arredondado, quando normalmente se tem como noção básica que o grão semiangular é o melhor.

J. Martini — O trabalho não indica exatamente que há o desejo de se ter um grão redondo, mas sim oval ou semiangular. Essa argila e óleo remanescentes contribuem apenas para dar um alisamento melhor à superfície e aos poros que poderão existir nos grãos de areia. Esses materiais cobrem êsses pequenos poros, dando uma superfície mais alisada, sem rugosidades no grão e apresentando certa simetria. Mas isso ocorre não só no caso de ser o grão redondo; pode ser também de forma oval.

M. Loeb — Desejo referir-me ao trabalho apresentado pelo Eng. Horth, em 1955, quando menciona que a argila remanescente é diminuída freqüentemente em areias recuperadas ao redor de 8% a 25%. Isso vem diminuir a necessidade de nova adição, em 25% a 40%. Gostaria de saber se o estudo do Eng. José Martini vem confirmar ou modificar esta noção.

J. Martini — Conforme a finalidade que a areia tiver, essa recuperação poderá ser parcial ou quase total, podendo-se fazer economia nos aglomerantes. Não há necessidade de se chegar a uma limpeza total. Realmente, no caso de ser usada a areia para macharia, procura-se uma limpeza mais total, principalmente no caso de macho que requer grande colabilidade. Essa argila em parte é boa, trabalhável, tem suas propriedades coloidais, mas em parte já é morta. Portanto, conforme a finalidade que ela tiver, poderá ser mantida uma certa quantidade de argila na areia.

Com o trabalho do recuperador, cada fundição, com os seus problemas peculiares, definirá melhor as suas condições. Há muitas fundições americanas que usam areias recuperadas na macharia, no faceamento e em parte do enchimento. Outras fundições que visitei, chegam ao ponto de usar areia recuperada ao máximo possível, com a eliminação de argilas e aglomerantes, sendo a introdução de areia nova no enchimento e a recuperada na macharia e faceamento. E estavam muito satisfeitas com êsse processo de trabalho. Naturalmente, foi com a experiência adquirida que chegaram a êsse ponto.

M. Loeb — Parece-me que um dos aspectos interessantes da recuperação pelo menos por via pneumática, é a possibilidade de seleção, uma certa classificação granulométrica da areia para separar em porções.

J. Martini — Tanto na via úmida como na pneumática, pode ser feita uma boa classificação. Cheguei a verificar em algumas fundições americanas, que a porcentagem em três peneiras era da ordem de 90%

(3) Membro da ABM e Diretor da EISA; São Paulo, SP.

a 95%. Em uma delas havia até uma constância incrível, em torno de 95%, peso concentrado em três peneiras apenas. A variação era, durante quase um ano de ensaios, em torno de 0,5% dos 95%.

M. Loeb — Gostaria de saber se o Eng. Martini verificou o grau de resfriamento que se consegue na areia quando da recuperação.

J. Martini — Os processos que vi mais de perto foram os de via úmida. Trata-se de instalações de vulto, dispendiosas, que talvez venhamos a ter no Brasil. Vi recuperadores de queima e também alguns por via pneumática, segundo informações que recebi, a areia sai um pouco aquecida. Mas ela vai por um elevador, onde estão sempre ligados exaustores em todo o percurso, então vai aos silos e esfria perfeitamente, sem problemas de temperatura. O exaustor do próprio recuperador já dá um bom resfriamento.

Gunther Schinke (4) — Gostaria de saber qual é a quantidade mínima de areia que hoje se considera economicamente recuperável.

J. Martini — Citei 400 t/mês como massa já suscetível de recuperação. Naturalmente estou me referindo à areia de sílica; se formos considerar outra areia, mais dispendiosa, esse número vai baixar muito. Mas mesmo para sílica há possibilidade, segundo soube, de instalações menores ainda, não considerando areia para «shell». No caso de «shell», tenho a impressão de que o recuperador por queima pode ser feito em tôdas as dimensões. Existem recuperadores para «shell» em patamares, mas são equipamentos caros. Há outros que não passam de um tambor rotativo. De maneira geral, em síntese, 400 t/mês já é um número perfeitamente amortizável em um ano, desde que não se escolha um recuperador cujas proporções estejam incorretas no consumo de areia.

Entretanto, o estudo feito está mais inclinado para o recuperador por via seca ou por via pneumática. Se formos pensar em instalações pequenas, sou do ponto de vista de que a via pneumática é a mais econômica e a mais interessante. Acredito que a via «úmida» seja mais aconselhável para instalações maiores, e a via «queima» para o caso de se usar material orgânico, principalmente no caso de «shell».

Otto Weinbaum (5) — Está havendo certa dificuldade na separação de areias de macho e do resto da fundição. Que porcentagem deve existir entre areia para machos e o resto da fundição, para tornar mais vantajosa a aplicação dessa separação?

J. Martini — Seria preciso saber se a fundição consome areia nova total, areia recuperada, ou a recuperada e mais a nova. Vamos supor apenas areia nova. Uma fundição, em média, deve consumir da ordem de 20% a 30% na macharia. Isso também depende muito do tipo de peças que fundem e do processo em si; 70% a 80% seria para o faceamento e um pouco para o enchimento. No caso, seria mais para o faceamento. Digamos então, 20% no enchimento e os 60% restantes no faceamento. Como há necessidade de se introduzir um recuperador e também uma parte de areia nova, 20%, essa perda varia de 5% a 25%. A areia nova geralmente é introduzida através da macharia, areias para macho, que é o número que cobre exatamente a perda, podendo ser usada areia recuperada tanto na macharia como no faceamento.

(4) Membro da ABM; Engenheiro da Companhia Geral de Indústrias; Pôrto Alegre, RS.

(5) Membro da ABM e Engenheiro da Metal Leve S/A.; São Paulo, SP.

Quer dizer que não há necessidade de separação. A própria areia nova, que deve ser introduzida para compensar as perdas, pode alimentar as areias para macho.

Rolando Mueller (6) — A questão está bem esclarecida e posta em termos bem evidentes: a necessidade de recuperação, relativamente ao preço, é vital. Parece que à medida que se vão afastando as fontes de areia, o problema de preço torna-se mais vital.

A. A. da Silva (7) — O Eng. Martini tem alguma idéia do custo de uma instalação para produção da ordem de 400 a 500 t/mês?

J. Martini — O custo de uma instalação desse tipo deve ser da ordem de Cr\$ 7 milhões, incluindo ainda uma parte importada, que não chegaria a US\$ 10 mil, mas colocando o dólar numa base de Cr\$ 500,00.

A. A. da Silva — No caso específico de areia recuperada para «shell» haveria equipamento adicional especial?

J. Martini — No caso de «shell» seria um recuperador por queima, cujo princípio já é outro; é um tipo muito raro de recuperador. Não sei se nos Estados Unidos existem muitos deles. Tive oportunidade de conhecer um, numa fundição que só trabalha com «sheel», fazendo peças grandes, de 200 quilos.

A fundição que conheci apenas trabalhava com «shell» e, além do mais, só com zircônio. A recuperação, nesse caso, — como o preço é de 10 vezes o da areia de sílica — é muito mais interessante. Uma das peças conhecidas por nós é esta quinta roda que liga o cavalo mecânico com o «trailler». Mas eles faziam também peças maiores e mais pesadas, como o «breakbins» com a contra-sapata fundida junto.

P. P. Stornebrink (8) — Gostaria de saber se há experiência para quem trabalha com macho de CO_2 . Qual o processo mais recomendável?

J. Martini — O caso do CO_2 foi um dos pontos que procurei ver se conseguia definir na minha última visita aos Estados Unidos. O processo úmido, ou via sêca, satisfaz segundo informações.

P. P. Stornebrink — Eles dizem que o processo para destorroar é o da imersão na água. Seria por via úmida no caso?

J. Martini — Sim, por via úmida, e também pode ser por via sêca. Por via pneumática o princípio é o mesmo, apenas o meio é alterado; um é a água e outro é o ar. O princípio é o choque entre os grãos de areia para que sejam quebradas estas cascas envolventes. O caso do CO_2 também está ligado a este ponto. Evidentemente, em muitos casos, há necessidade de se colocar um quebrador, ou mesmo um britador, antes de ser levada ao recuperador, a fim de facilitar o trabalho.

M. Loeb — Reporto-me ao trabalho do Eng. Horth, em 1955 — e acredito que as coisas não tenham mudado muito. Ele mencionava, para

(6) Membro ad ABM e Engenheiro da firma Mueller & Irmãos; Curitiba, PR.

(7) Membro da ABM e Presidente da Comissão Técnica; Engenheiro da Perfilago Indústria e Comércio; São Paulo, SP.

(8) Membro da ABM e Engenheiro da Magnesita S/A.; Belo Horizonte, MG.

uma produção de 3 a 5 t/hora, ou seja, tomando uma média de 4 células, 725 toneladas, o que daria 25 mil dólares, confirmando a indicação do Eng. Martini, principalmente levando-se em conta que muita coisa poderia ser feita aqui. (9)

O Eng. Martini disse uma coisa que não sei se entendi bem. Quando visitei a "*Molline Malleable Castings Co.*", perto de Chicago, há pouco mais de um ano, fui informado de que eles resfriavam areia com resfriador pneumático. Entendi que o senhor disse que esse resfriador aquecia um pouco a areia.

J. Martini — Há possibilidade de um pequeno aquecimento. Isso se dá principalmente devido à abrasão. Quando as partículas batem no «target», pode haver um pequeno aquecimento. Provavelmente, uma pequena alteração feita nos recuperadores pneumáticos ajude a resfriar melhor a areia. Estou levando em conta que a areia já chega bem mais quente. Neste caso, a perda é bem menor que o calor adquirido. Não temos experiência porque ainda não estamos trabalhando com recuperadores, mas entendo que depende muito da exaustão e do tamanho dos grãos, porquanto essa exaustão irá, em parte, controlar a granulometria do material. Entendo, que não deve haver problemas, porque caso haja aquecimento, existem pelo caminho outros pontos de perda de calor que podem sanar a falha.

Rolando Mueller — Qual o tempo de resfriamento da areia entre o misturador e o final? Isso não dará aumento de volume desnecessário de areia?

J. Martini — Acredito que não. Basta ser um sistema fechado. Não teríamos necessidade de jogar fora a areia; nesse caso, em vez de jogar fora, ela é lançada no recuperador. E para lançá-la fora há o problema de estocagem, porque hoje não existe transporte a qualquer instante, a fim de levar o material para as áreas inservíveis.

Um dos problemas que reputo mais grave no processo por via úmida, é o do volume de água em circulação e também o tratamento dessa água para que ela possa recircular, porque ela vai-se enriquecendo de materiais aglomerantes. Então há o problema da recuperação dessa água, que deve ser feita por filtragem físico-química. Trata-se de um verdadeiro tratamento de água, e isso se torna muito dispendioso, eis que a areia a recuperar em relação à areia recirculável, é insignificante numa fundição, da ordem de 1 para 8 ou 1 para 10.

Ronald Bonnemason (10) — Quanto à análise econômica, desejaria saber se o Eng. Martini considerou o britador também incluído em seus cálculos.

J. Martini — Considerei esse custo no caso de não se necessitar do britador. Mas o britador aqui seria um equipamento relativamente barato, apenas para desfazer os grãos, porque não se trata de material duro. Não é normal a existência de um britador propriamente dito. Contudo, para recuperar só areia de macho seria imprescindível, e também no caso de recuperar areia de moldes a seco. Mas se trata de areia de boa colapsibilidade, ela já está em boa parte desfeita após o vazamento.

(9) Consultar contribuições e debates da Reunião Aberta sobre "*Sistemas e equipamentos para a mecanização das fundições*". ABM-Boletim, vol. 11, pág. 161.

(10) Membro da ABM e Engenheiro da General Motors; São José dos Campos, SP.

Mário Gil ⁽¹¹⁾ — Desejo dizer que no caso do «shell molding», em «Aços Villares» foi notada uma diminuição de resistência à tração com areia de recuperação térmica.

J. Martini — Vi somente uma fundição trabalhando com recuperador por via térmica. Operava apenas em «shell molding», com resultados esplêndidos: grão de areia limpo, e nem sequer — no caso de «shell» — havia aquela cor escura no grão que sempre existia.

Mário Gil — Na areia de zircônio notamos isso, e na de sílica não. Na primeira o resultado foi bom, mas não conseguimos o mesmo com a areia de sílica.

J. Martini — De fato, essa fundição a que me referi trabalhava com areia de zircônio. Pode ser que com areia de sílica se precise regular a temperatura e estabelecer mais outras condições. Na areia de zircônio o aquecimento é da ordem de 1.200° F. Existem muito poucas instalações de recuperação por queima; na verdade, há falta de experiência neste setor.

(11) Membro da ABM e Engenheiro da Aços Villares; São Caetano do Sul, SP.