

# INFLUÊNCIA DE ALGUNS FATÔRES SÔBRE O LINGOTAMENTO DO AÇO E SUA DESOXIDAÇÃO <sup>(1)</sup>

ARMÊNIO DE LIMA E SILVA <sup>(2)</sup>  
AFRÂNIO CAMARÃO SOBRINHO <sup>(2)</sup>  
LUÍS ALONSO YAGÜE <sup>(2)</sup>

## RESUMO

*Os autores descrevem o desenvolvimento do sistema de lingotamento aplicado na usina de Monlevade, estudando a influência do estado das lingoteiras, da velocidade e temperatura do lingotamento, assim como de outros fatores, sôbre a qualidade superficial dos lingotes e algumas características dos aços. Procuram, também, determinar a origem das inclusões não metálicas, com observações especiais sôbre os produtos da desoxidação.*

## 1. INTRODUÇÃO

Pretende-se aqui fazer apenas uma pequena exposição histórica, com a citação de alguns dados e experiências obtidas. Com os fornos S. M. de 40 t, iniciou-se, em Monlevade, a produção de aço antes da colocação em marcha do desbastador. Por isso, partiu-se do lingotamento indireto em fossas fixas, com pequenos lingotes de 80 a 150 kg (figs. 1, 2 e 3); em seguida, passou-se a produzir, como previsto pela instalação, os lingotes de 2,5 t. Os pequenos lingotes davam elevado manuseio, baixa eficiência das instalações e elevado preço de custo.

---

(1) Contribuição Técnica n.º 487. Apresentada ao XVII Congresso Anual da Associação Brasileira de Metais; Rio de Janeiro, GB, julho de 1962.

(2) Membros da ABM; Engenheiros da Usina de Monlevade da Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira; Monlevade, MG.

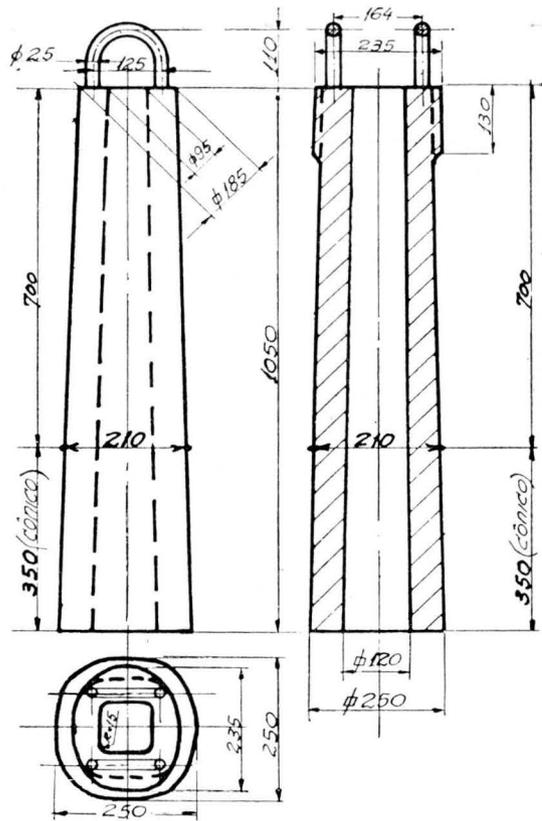


Fig. 1 — Lingoteira para lingotes de 80 kg, usada antigamente.

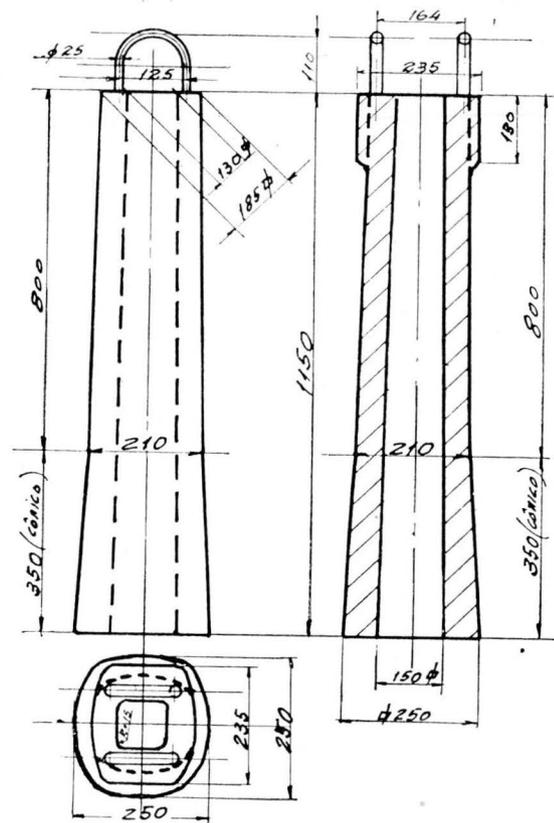


Fig. 2 — Lingoteira para lingotes de 150 kg, usada antigamente.



## 2. DADOS DE CONSUMO

Para o período inicial tínhamos, com os lingotes de 150 kg, os seguintes consumos específicos, em kg/t:

Refratários e canais .....	35
Sucata de mastros e canais .....	37
Consumo de lingoteiras .....	25
Base indireta e mastro de gusa .....	16

Em seguida, a título ilustrativo, seguem alguns tipos de lingoteiras e dos conjuntos para o lingotamento como se tem usado (figs. 4, 5, 5a, 6 e 7).

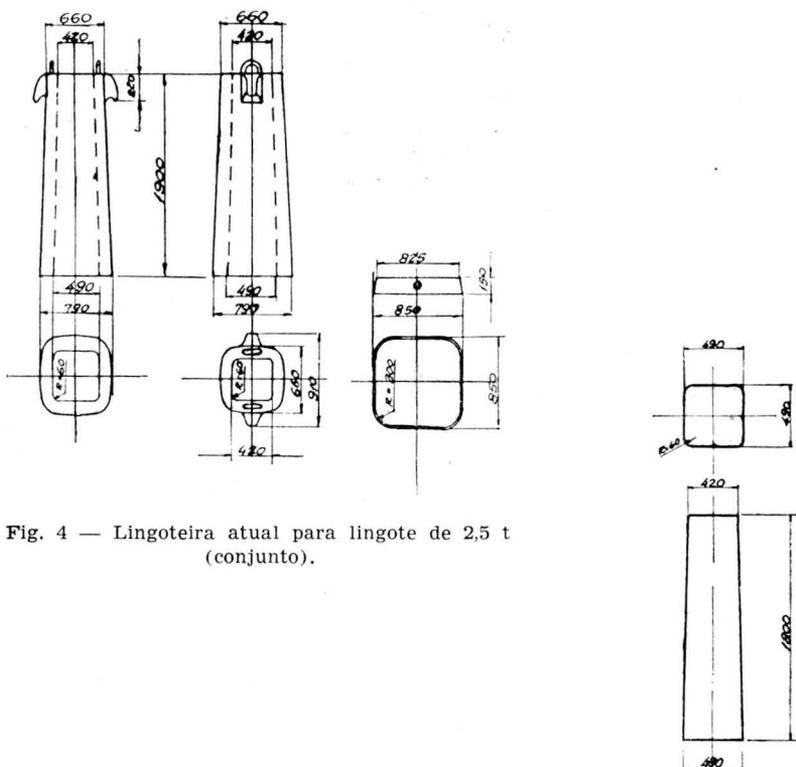


Fig. 4 — Lingoteira atual para lingote de 2,5 t (conjunto).

Fig. 4a — Lingote de 2,5 t.

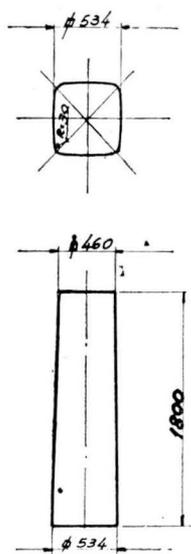


Fig. 5 — Lingote de 3,1 t, com raios de cantos menores.

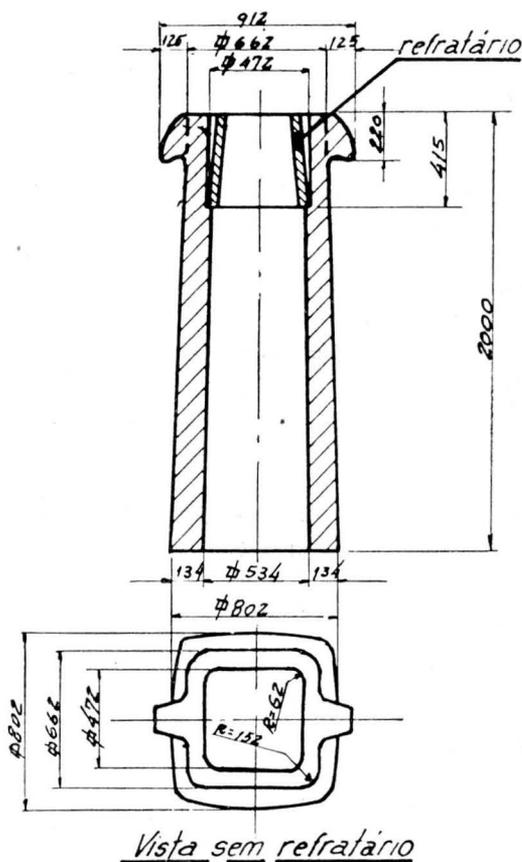


Fig. 5a — Lingoteira para lingotes de 3,15 t; cabeça quente.

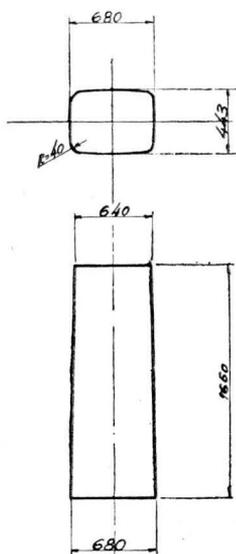


Fig. 6 — Lingote retangular de 3,3 t.

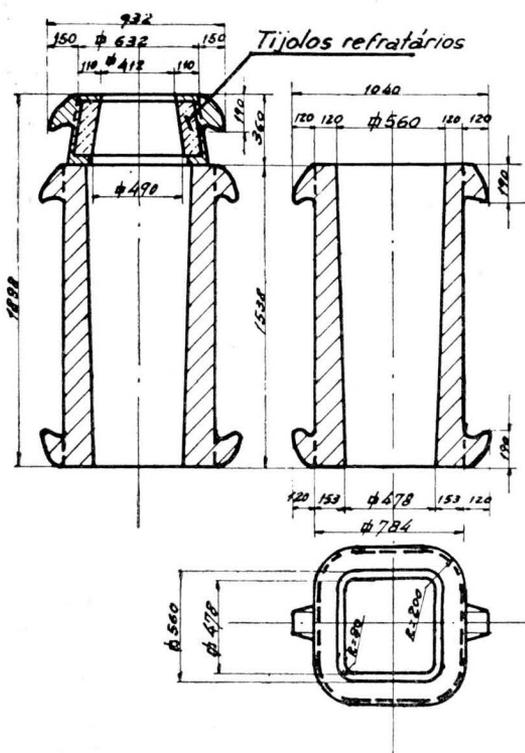


Fig. 7 — Lingoteira para lingote de 3,5 t; cabeça quente.



CASOS "B" E "C":

	Casos	
	B	C
Pêso unitário dos lingotes, em t .....	3,1	3,5
Refratários de canais e da lingoteira mestra ou mastro, kg/t .....	10	8,8
Sucata de mastros e canais (a recircular) kg/t .....	11,2	10
Consumo de base indireta e mastros de gusa, kg/t .....	0,7	0,62
Consumo de lingoteiras, kg/t .....	12	12

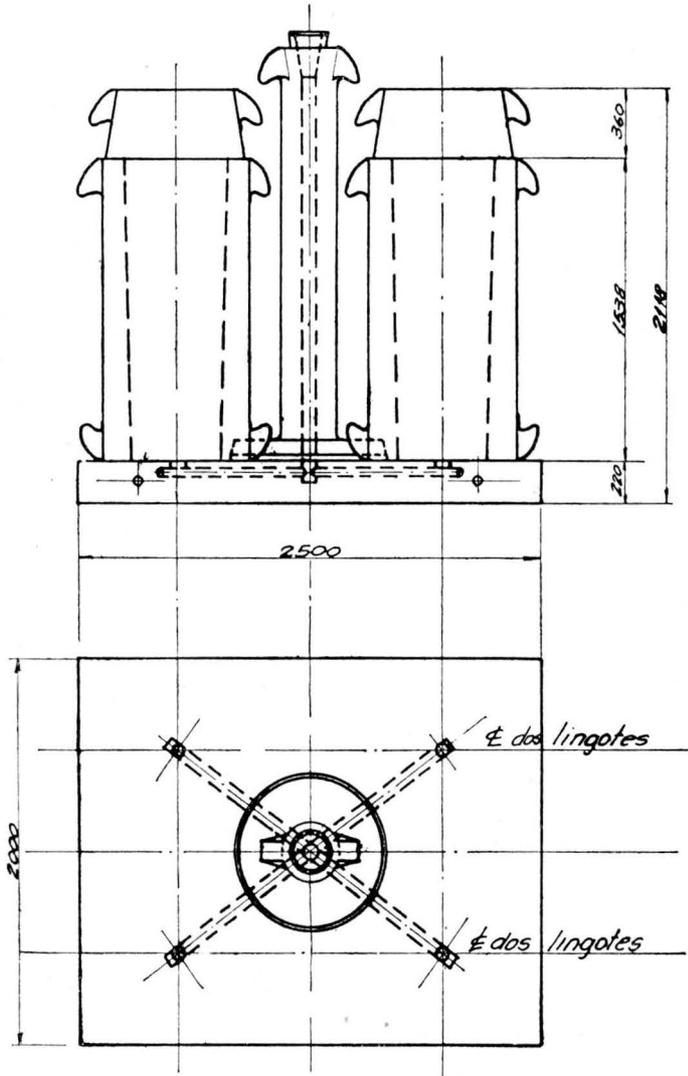


Fig. 9 — Conjunto para lingotes «big-end-up» de 3,5 t; caso «C».

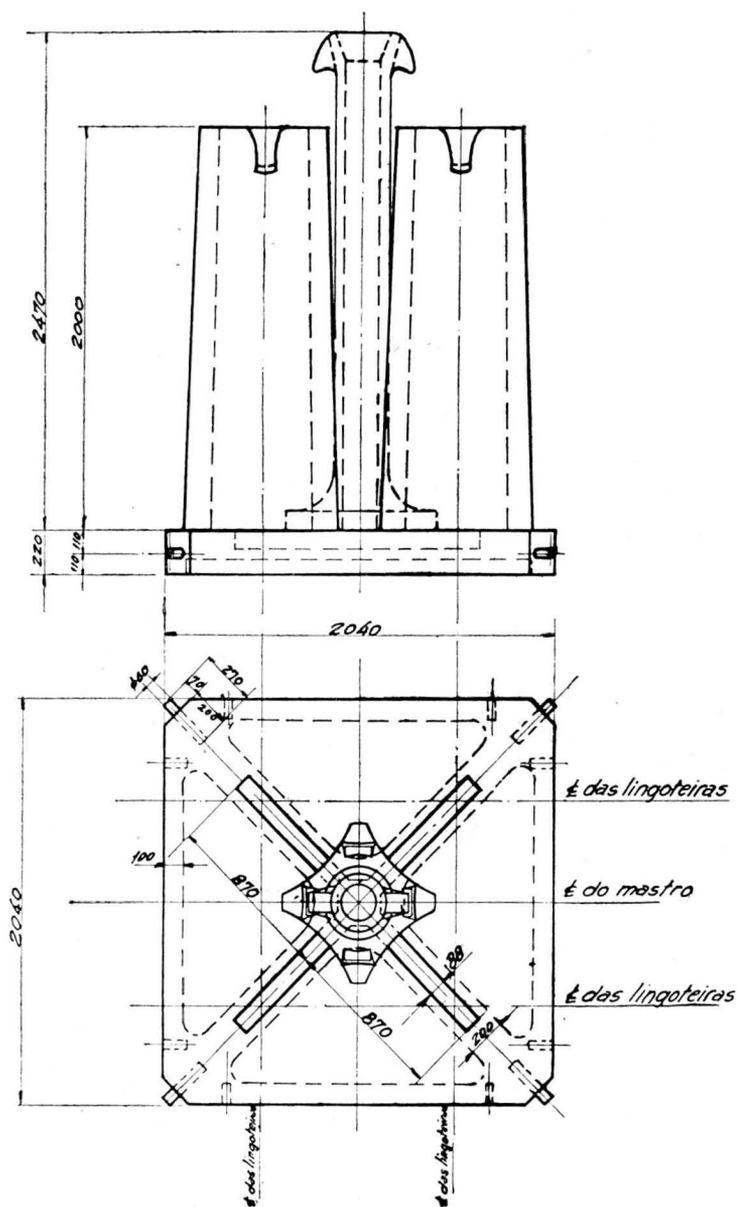


Fig. 9a — Conjunto para «big-end-down de 3,1 e de 3,15 t; cabeça quente; caso «D».

QUADRO II  
Análise e adições

N <sup>o</sup> de corrida	ANÁLISE						ADIÇÕES							
	C	Mn	P	Si	Al	S	Fe Mn Forno	Fe Mn Caçamba	Si Mn Forno	Fe Si 25% Caçamba	C Si Caçamba	Ca Si Caçamba	Si Mn Al Caçamba	Al Caçamba
32529	0,19	0,47	0,021	0,20	0,006	0,021	100	-	250	70	150	-	-	30
32530	0,20	0,50	0,015	0,25	0,008	0,007	150	-	250	70	150	-	-	30
32531	0,22	0,56	0,021	0,33	0,016	0,015	200	-	70	-	150	85	-	30
32533	0,20	0,54	0,019	0,30	0,015	0,015	-	-	-	30	150	-	150	20
32537	0,20	0,50	0,020	0,26	0,006	0,017	-	-	300	70	150	-	-	20
32538	0,19	0,47	0,023	0,23	0,019	0,019	-	-	300	70	150	-	-	20
32539	0,22	0,55	0,024	0,22	0,007	0,018	100	-	300	-	150	85	-	10

Num esforço de redução dos consumos específicos supra, conseguiu-se reduzir o pêso da base indireta de 2.000 kg e dos tijolos de canais; reduziu-se sua secção em refratários, podendo-se passar aos seguintes números, em kg/t:

CASO "D" (fig. 9a):

Pêso unitário dos lingotes de 3,1 t

Caso "D"

Refratários de canais e da lingoteira mestra ou mastro .....	6,85
Sucata de mastros e canais a recircular .....	11,0
Consumo de base indireta e mastro de gusa .....	0,5
Consumo de lingoteiras .....	12

Os autores chamam a atenção para a necessidade de um bom projeto do conjunto para o lingotamento; embora sem grande dificuldade técnica, *significa, às vezes, grande economia*. Na passagem do caso "B" para o atual caso "D", a economia foi de: 3,25 kg de refratários por tonelada e 0,2 kg de gusa por tonelada (ver Quadro I).



moída ou finos de prego) para cobrir a junta entre o assento da lingoteira e a base, com as seguintes vantagens: *No primeiro caso*: obtêm-se lingotes sem rebarbas, melhora-se a vida das lingoteiras e evita-se perda de aço por vazamento. *No segundo caso*: possibilita a saída do lingote e evitam-se trincas transversais que surgiriam pela prisão do lingote na base menor.

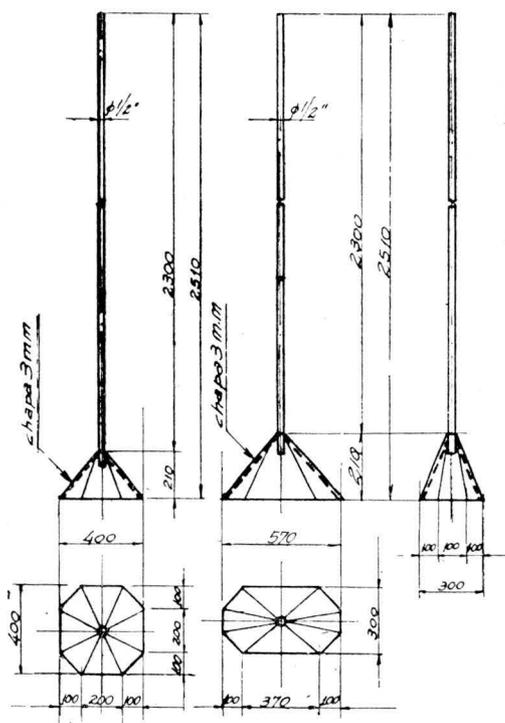


Fig. 10 — Utensílio para cobrir juntas com pinos de ferro.

*Pintura das bases* — Pode ser feita à base de grafita com melão e, às vezes, silicato de sódio em pequena proporção como ligante.

*O rejunto dos canais* — Faz-se com argamassa fina bem preparada ligada com silicato de sódio. Pode-se, também, preencher as juntas com areia silicosa, em seguida rejuntar com a argamassa.

*Pintura das lingoteiras* — Feita a sua limpeza, passa-se à pintura. Têm-se usado: finos de alumínio (experimentalmente),



*Estado das lingoteiras* — Para a sua utilização adequada, evitam-se lingoteiras de má superfície. Para aços que devam ter boa superfície, faz-se a separação (no caso em aprêço) em grupos, de acôrdo com a campanha e o estado das mesmas, reservando-se na ordem de exigência do aço, quanto à superfície, os primeiros grupos. Usa-se, também, preparar a superfície das lingoteiras, para garantir-lhes um bom estado. É essencial, na hora da pintura e do lingotamento, o contrôle da temperatura.

A fim de reduzir-se a perda no pé do lingote, tem-se montado uma placa de cobertura, sôbre a base clássica. Pretende-se com isto:

- a) Melhorar a superfície dos lingotes na sua parte inferior, por formar-se rãpidamente um poço de aço, que evitarã jatos nas paredes com o lingotamento rãpido.
- b) Baixar as isotérmicas de resfriamento dos lingotes, evitando-se o vazio secundãrio inferior e suavizando-se os desgastes das lingoteiras, que se queimam mais fortemente cêrca de 50 cm acima das bases, nos casos "B", "C" e "D" usados.
- c) Facilitar a laminação, evitando-se cortes nos pés. Em testes feitos com ultra-som, chegou-se à ausência de defeitos nos pés, com cortes (apenas para acêrto), de cêrca de 30 cm. Normalmente, seria o triplo para perfis quadrados 120 × 120 mm.

*Vazios dos lingotes* — Para diminuir ao mìnimo êste defeito, fêz-se, em diversas etapas, uma sêrie de experiências. Para os aços abaixo de 0,35% de carbono, a não ser em casos especiais, usa-se o tipo de lingotamento indireto com resfriamento das cabeças com água. Em estudos dos laminados com ultra-som, fazendo-se confirmações com secções macrogrãficas, chegou-se a um rendimento do produto sem defeito variando de 76% a 85% e mais, porque parte do vazio solda-se bem nos aços doces.

Para os aços com carbono acima de 0,35% é usado o sistema clássico de cabeça quente revestida com refratãrio sílico-aluminoso, recobrando-se as cabeças com pó exotérmico, lingoteira com a base maior para baixo (figs. 12 e 5a). Neste processo, com estudo dos laminados ao ultra-som, chegou-se a um rendimento médio de 87% sem vazio, isto é, no corpo do lingote 87% com ausência de vazio; porém, pode ter acontecido que algum pequeno vazio secundãrio houvesse no lingote e com a laminação conseguiu-se a solda. A figura 12 mostra, esquemãticamente, uma cabeça quente nas condições supra (pode ser revestidas com 4 placas, ou 4 faces e 4 cantos, êste segundo dando

maior mão-de-obra, porém menor consumo de refratários). A figura 12a mostra um lingote cabeça quente fundido pelo sistema supra, onde não existe vazio.

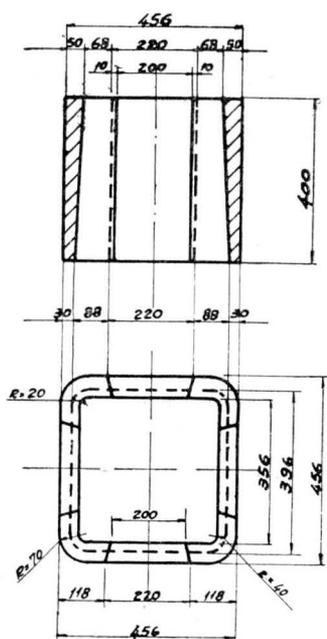


Fig. 12 — Revestimento refratário das cabeças quentes de 3,15 t.

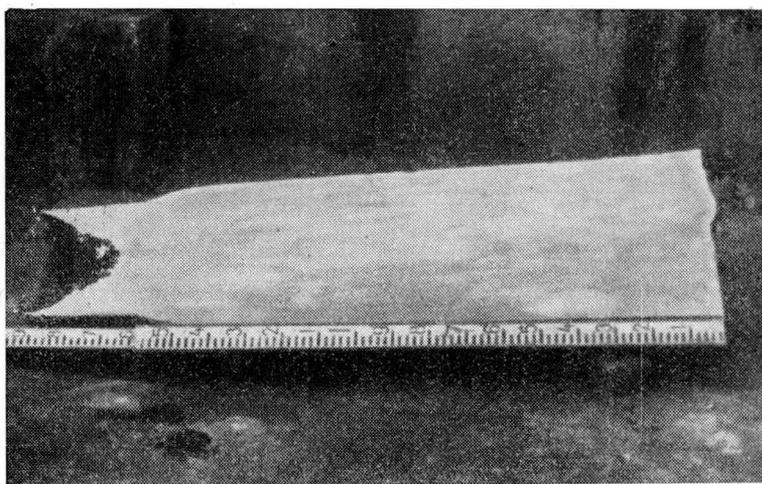


Fig. 12a — Corte de um lingote de 3,15 t.; «big-end-down»; pó exotérmico.

Usando o mesmo sistema de cabeça quente com revestimento refratário e coberto com pó exotérmico, porém com a maior base para cima, chegou-se a lingotes com ausência completa de vazios, com um tempo de solidificação da cabeça acima de 1,40 h para lingotes de 3.500 kg.

Como se vê no Quadro III, no tipo de lingotamento com cabeça revestida com refratários, o problema são os laminados com incrustações provenientes da cabeça.

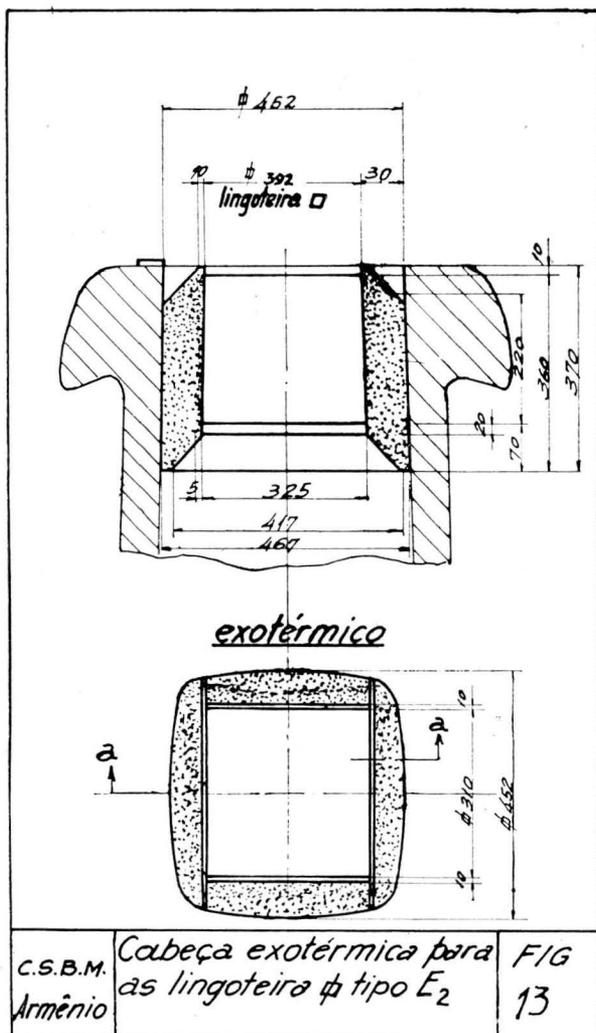


Fig. 13 — Cabeça exotérmica para as lingoteiras quadradas tipo «E2».

Com o intuito de reduzir os laminados com incrustações e transformá-los em produto bom, foram feitas experiências com placas exotérmicas, sendo a cabeça inteiramente exotérmica, tipos  $E_1$ ,  $E_2$  (fig. 13) e  $E_3$  (fig. 14), sendo  $E_1$  e  $E_2$  o sistema da figura 13 com 30 mm e  $E_2$  com 50 mm de espessura da placa. Este trabalho será continuado até conseguir-se o mínimo de perdas.

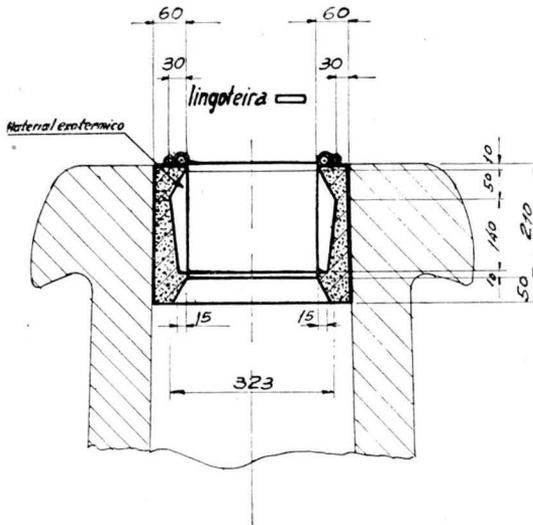


Fig. 14 — Cabeça exotérmica para as lingoteiras tipo «E3».

### QUADRO IIIa

#### Tipos de lingotamento para vários tipos de aço. Estudo dos vazios

Tipo de Aço	Temper. média de lingotamento $^{\circ}$ C	N $^{\circ}$ de lingote	Peso do lingote Kg	TIPO DE LINGOTAMENTO	Tempo solidificação da cabeça (min.)	Corte nas cabeças e queima nos "Pits"	% de bloom com defeito forte constatado so ultrassom	% de bloom base indireta inclusive perda nos Pits de 2%	% do corpo do lingote sem vazios	% de bloom sem vazios e com incrustações
1050	1560	4	3150	Indireto "big-end-down", cabeça quente com placas exotérmicas tipo $E_1$ , recoberta com pó exotérmico no final.	58	7	8,5	84,5	86,5	0
"	"	7	"	Indireta "big-end-up", cabeça quente revestida com refratário recoberto com pó exotérmico no final.	-	7	6,0	87,0	89,0	3,3
1070	1520	5	3150	Indireto "big-end-down", cabeça quente revestida com refratário, recoberta com pó exotérmico no final.	80	7	5,4	87,6	89,6	3,8
"	"	3	3300	Indireta "big-end-up" com refratário recoberto com pó exotérmico no final.	95	7	2,5	90,5	92,5	7,5
"	"	1	3150	Indireto "big-end-down" com cabeça exotérmica $E_2$ .	80	7	0	93,0	95,0	4,0
"	"	1	"	Indireto "big-end-down" com cabeça exotérmica $E_1$ .	80	7	6,8	86,2	88,2	0
1070	1510	7	3150	Indireto "big-end-down" com refratário e recoberto com pó exotérmico no final.	66,5	7	4,2	88,8	90,8	5,1
"	"	6	"	Indireto "big-end-down" com placa exotérmica tipo $E_3$ .	66,5	7	4,9	*88,1	90,1	0

## QUADRO IIIb

## Lingotamento e controle

Nº de corrida	Tempo °C no forno	Tempo de vazamento do forno	Tempo na cámbria	Temperatura o Piropto	velocidade média m/min	Permanência média nos forno Pits	Temperatura no Pits	chapas			
								Nº Total controle	com defei- tos refira- veis Nº Chapa	%	Rejeitos por defeitos
32529	1620	9 <sup>m</sup> 48 <sup>sg</sup>	7 <sup>m</sup> 58 <sup>sg</sup>	1465	0,37	1 <sup>h</sup> -0 <sup>m</sup>	1125°	123	29	23,6	14
32530	1598	7 <sup>m</sup> 45 <sup>sg</sup>	2 <sup>sg</sup>	1480	0,35	1 <sup>h</sup> -10 <sup>m</sup>	1110°	175	45	25,6	12
32531	1600	6 <sup>m</sup> 35 <sup>sg</sup>	3 <sup>m</sup> 44 <sup>sg</sup>	1480	0,35	0 <sup>h</sup> -55 <sup>m</sup>	1160°	185	36	19,4	5
32533	1616	5 <sup>m</sup> 58 <sup>sg</sup>	5 <sup>m</sup> 22 <sup>sg</sup>	1465	0,32	1 <sup>h</sup> -5 <sup>m</sup>	1130°	148	24	16,2	3
32537	1620	8 <sup>m</sup> 45 <sup>sg</sup>	2 <sup>m</sup> 46 <sup>sg</sup>	1455	0,32	2 <sup>h</sup> -20 <sup>m</sup>	1175°	368	13	3,5	2
32538	—	1 <sup>m</sup> 60 <sup>sg</sup>	6 <sup>m</sup> 58 <sup>sg</sup>	1440	0,38	1 <sup>h</sup> -25 <sup>m</sup>	1170°	193	3	1,5	7
32539	—	8 <sup>m</sup> 15 <sup>sg</sup>	2 <sup>m</sup> 41 <sup>sg</sup>	1475	0,30	0 <sup>h</sup> -50 <sup>m</sup>	1175°	183	14	7,6	7

### 3. INFLUÊNCIA DA LINGOTEIRA NA QUALIDADE DO LINGOTE

Quanto à temperatura e estado da lingoteira, no momento da corrida, é imprescindível o seu bom contrôlo. Quanto ao bom projeto da lingoteira, já se viu alguma coisa para evitar os vazios; nos aços acalmados, é preferível o tipo “*big-end-up*”, com uso de pó exotérmico e, o que é melhor, “*big-and-up*” todo exotérmico e, neste caso, o lingote, no pé, poderá ter a forma adequada, provindo já da lingoteira o acabamento no pé para evitar cortes no mesmo. Para os aços extra-doces, em geral efervescentes, é de boa prática usar-se a lingoteira tipo garrafa, o que aumenta o rendimento, por ter as pontas mais limpas, facilitar a desoxidação nos semi-acalmados e nos capeados com alumínio ou mecânicamente.

Tem-se salientado, ùltimamente, a importância dos raios nos cantos, menores dos que se vinham usando em práticas anteriores. Com isso, obtém-se interferências dendríticas nos cantos, tocando-se as mesmas e conseguindo-se diminuir as trincas dos cantos por:

- a) Evitar o defeito da cristalização colunar, indo aprofundar-se livremente (esta atinge o caso limite, indo ao eixo dos lingotes cilíndricos), pelo corpo do lingote.
- b) Aumento da superfície de resfriamento nos cantos e conseqüente redução do tamanho dos cristais da primeira camada e o aumento da espessura desta.
- c) Aumento da resistência, evitando-se trincas pela cristalização mais fina e segregação melhor distribuída.
- d) Redução das tensões de solidificação, porque, para as contrações, ter-se-á uma área maior, para reduzir a mesma massa.
- e) Dá maior aderência aos cilindros durante a laminação, evitando-se trincas longitudinais do laminado pelo atrito que não permite a fuga do material ao receber esforços de deformação. Podem-se obter os mesmos resultados, corrugando, longitudinalmente, os cantos ou, mesmo, tóda a superfície interna da lingoteira.

As lingoteiras retangulares tiveram seu raio diminuído para a metade; hoje dão o lingote da figura 6 (as anteriores chamam-se localmente: normais e as modificadas: *pesadas*).

O raio menor nos cantos diminuiu a freqüência dos defeitos por rachaduras. Deve-se salientar, porém, que nôvo tipo

possibilitou, também, melhor distribuição dos esforços de deformação, no desbastador. O pior nos raios grandes é que a maior frequência das rachaduras provenientes é interna, mascaradas pelo bom aspecto externo. Os raios excessivamente pequenos dão rachaduras externas e, como se tornam visíveis, é possível retirá-las por escarfagem, por exemplo.

Para o tipo quadrado tem-se o mesmo estudo, reduzindo-se seu raio de 65 mm para 30 mm, em média. Nestes novos projetos seguiram-se, de perto, as normas ditadas pelo BISRA.

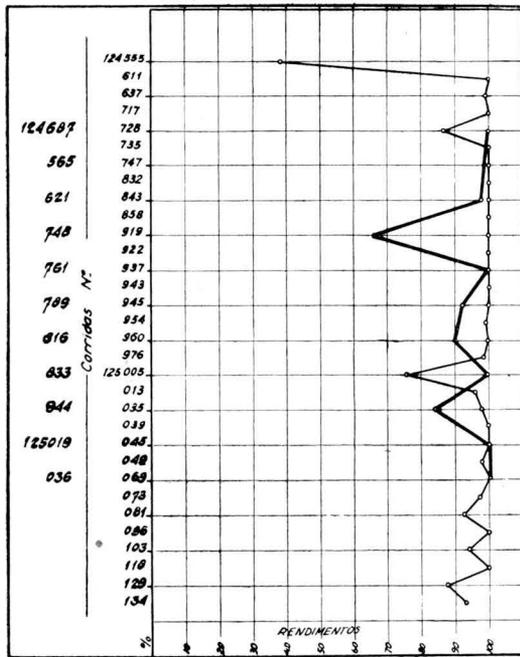


Fig. 15 — Contrôles de placas; aços 1008 e 1010 efervescentes. Influência do atual projeto de lingoteira no rendimento dos laminados.

— lingotes pesados; — lingotes normais

*Espessura das paredes* — Russel determinou que a relação pêso do lingote para pêso da lingoteira tem influência na velocidade de solidificação até os valores de 0,8 a 1,0. Acima, não tendo influência, e, abaixo, surgem trincas e rachaduras no lingote, porque a lingoteira aquece-se mais rapidamente, dificultando o descolamento do lingote, dando-lhe tensões e rachaduras.

*Solidificação dos lingotes* — Conseqüência da má solidificação, além das já observadas. Field deduziu uma fórmula de resfriamento dos lingotes, partindo de considerações teóricas, tendo sido confirmada em uma série de experiências práticas. Esta fórmula foi confirmada por Spretnak e Nelsom, estudando aços acalmados, assim como Chipman, Fondersmith, para aços efervescentes. Sendo que Ruddle fez uma revisão geral do desenvolvimento da solidificação no seu trabalho: "*The solidification of Castings*", Institute of Metals — Londres. Muitos outros têm trabalhado neste campo, como Lightfoot, Matuschka, o IRSID da França, etc.

A fórmula de Field, para a solidificação dos lingotes, é:

$$D = 25,4 K \sqrt{t},$$

na qual:

$D$  = a espessura do metal solidificada em cada instante em mm.

$T$  = é o tempo, em minutos, do metal em contacto com a parede da lingoteira.

$K$  = coeficiente variado de 0,9 a 1,22, segundo o tamanho e a forma da lingoteira, assim como da temperatura do aço e outros fatores, sendo estes, porém, os de maior influência.

Para o valor de  $K$ , é de grande influência a relação da linha periférica do corte transversal médio para a secção deste corte.

Diferenciando a fórmula de Field e tomando-se  $K = 1$ , tem-se no Diagrama 1, o valor da espessura solidificada por minuto, de acôrdo com a espessura total solidificada. Tira-se deste diagrama o tempo de solidificação de 73 minutos para a solidificação do lingote 3.150 kg (fig. 5a). Daí, conclui-se que a cabeça quente deverá ficar líquida pelo menos 1,13 h para se ter o efeito desejado. Vê-se, no Quadro III, que a corrida 1050, tendo este tempo e a temperatura desfavoráveis, deu o pior resultado ao ultra-som.

No Diagrama 1 vêem-se, nitidamente, os 3 clássicos tipos de cristalização de acôrdo com a velocidade de solidificação.

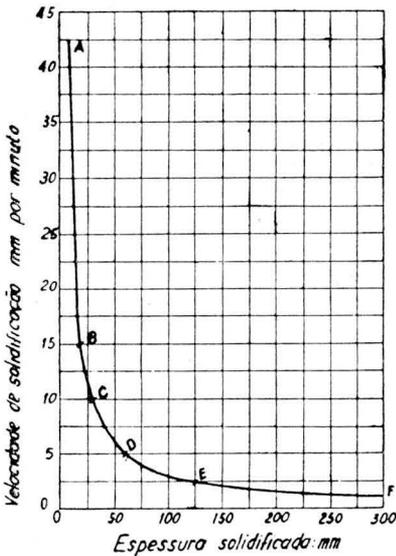


Fig. 16 — Espessura solidificada em função da velocidade de solidificação. AIME — «Basic open hearth steelmaking».

*Rachadura por alta velocidade de lingotamento ou alta temperatura* — Logo que o aço é lingotado, a camada solidificada deve suportar a pressão ferroestática de aço ainda líquido, pois descola-se rapidamente da lingoteira pelo forte resfriamento em contacto com a mesma. Sendo alta a temperatura ou alta a velocidade de lingotamento (será mais grave se ocorrerem ambas) ter-se-á uma fraca camada solidificada, que poderá romper-se, por não resistir à pressão ferroestática.

Resultados de estudos do IRSID dão as influências sobre a solidificação dos lingotes; como exemplo, podem-se citar:

- Temperatura de corrida com aumento de 100°C diminui de 8,3% a velocidade de solidificação.
- Na temperatura de fusão, uma diminuição de 100°C diminui de 3,3% a velocidade de solidificação.
- Na temperatura inicial da lingoteira, uma elevação de 100°C diminui de 3,3% a velocidade de solidificação.

Embora as diminuições supra não sejam proporcionais às diferenças de temperatura, dão uma orientação boa do processo, pois os dados são certos para 100°C de diferença.

As trincas poderão vir ainda de resfriamento ou reaquecimento muito rápido. Elementos, como estanho e cobre, poderão causar rachaduras. O cobre, quando presente acima de 0,40%, aumenta a incidência de rachaduras. O hidrogênio,

quando se liberta do aço, pode causar tensões e conseqüentes rachaduras; êste fenômeno, porém, não se tem aqui observado.

Tem grande influência o sistema usado para lingotar diretamente. Vários artifícios são usados, para evitar defeitos: proteção interna, com tubos de chapas finas; proteção com serra-gem de madeira, volume de cêrca de  $\frac{1}{4}$  da lingoteira; proteção com tubos de papelão; sistema em cesta (recipiente auxiliar intermediário entre a caçamba e a lingoteira); etc.

*Aços com 0,15% a 0,23% de carbono* tem maior tendência à rachadura; pretende-se que o fenômeno esteja ligado à mudança peritética. Nesta região do carbono, a fase líquida passa à fase sólida em forma de ferro  $\delta$ , que passa, em seguida, a ferro  $\gamma$ . Aqui há, pois, uma contração pela mudança do sistema de cristalização, passando do ferro cúbico, de corpo centrado, para cúbico, de face centrada. Esta mudança, supomos, se passa quando os cristais colunares já em parte estejam formados, e pela forte contração pela mudança do ferro  $\delta$  à austenita, tem-se a ruptura nos pontos mais fracos.

A alta velocidade ou alta temperatura, ou baixo manganês residual, facilitam fortemente o início da ruptura. Em aços SAE 1020, onde êstes 3 fatores eram desfavoráveis, tivemos lingotes rachados nos cantos. Com apenas um fator fora da faixa ainda não se têm obrigatoriamente as rachaduras, levando-se em conta que esteja pouco fora da faixa, por exemplo: temperatura de corrida 30°C acima ou velocidade de lingotamento 5 cm/min a mais, não têm acusado rachaduras.

#### 4. DESOXIDAÇÃO — INCLUSÕES

*Incrustações não metálicas na superfície dos lingotes* — Procurou-se sua origem num período em que o lingotamento indireto tinha vindo substituir o direto. Pensou-se, inicialmente, que a grande ocorrência de óxidos nas superfícies dos lingotes fôsse devida ao sistema indireto. Proviriam dos mastros ou lingoteiras mestras, das placas e respectivos revestimentos refratários, ou ainda da areia que preenche o espaço entre os tijolos e o mastro de ferro fundido. Neste tempo, tôdas as precauções tomadas, para obter com perfeição os revestimentos das placas e dos mastros, evitando-se contaminação por:

*Areia do mastro* — Para evitá-la, colocam-se as luvas refratárias TR-2 em sua posição, em seguida êstes tijolos foram

revestidos com tubos de chapas finas, feitos a propósito. Depois, enchia-se a junta entre a chapa e mastro de ferro fundido com areia.

*Canais* — Para os tijolos dos canais, fizeram-se todos os rejuntos com finos de gusa de tornos e plainas moídos em galgas. Não se usou argamassa sílico-aluminosa, nem cimento plástico, apenas a pintura normal à base de grafita.

*Interior dos canais e mastros* — Fizemos a proteção dos mesmos com tubos de aço; sendo assim, o aço líquido corre nos primeiros instantes só em contacto com aço. Como alternativa, revestimo-los internamente com argamassa de magnesita, fazendo-a bem líquida e pintando a parte interna dos canais.

*No forno* — fizeram-se as bicas de corridas com material magnesiano.

*Caçambas de corridas* — Foram usadas somente depois da 3.<sup>a</sup> corrida; passou-se a limpar rigorosamente a escória anterior, soprando-se finalmente as caçambas. Depois destes cuidados, fizeram-se montagens de lingoteiras para lingotamento direto, rejuntados com finos de gusa apenas, tendo usado mesmo esmerilhar as bases ou assentos. Colocaram-se duas lingoteiras por corrida.

*Lingotamento e aspecto dos lingotes* — Após tôdas as preparações supra, feito o lingotamento indireto da corrida, fazendo um lingote direto, eram resfriados os lingotes da corrida. Inclusive o direito, todos apresentaram óxidos nas superfícies, variando sua composição química, como a seguir:  $\text{SiO}_2$ , 55% a 10%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , de 10% a 45%;  $\text{FeO}$ , de 3% a 20%;  $\text{MnO}$ , de 10% a 25%;  $\text{CaO}$ , de 0% a 2%;  $\text{MgO}$ , ausente a 2%.

Conseguiram-se os tipos:

- a) Fundido completamente carregado de óxido de ferro;
- b) Intermediário, vítreo, sem óxido de ferro ou com êste em baixa percentagem.
- c) Tipo não fundido em cristais finos da ordem de décimos de mm (ver quadros II, III, IV e V), onde temos amostras de óxidos retirados das superfícies dos lingotes. Os tipos *a* e *b* não são os mais prejudiciais; o tipo *c* é o pior. Levado ao microscópio em luz polarizada, apresenta-se sob a forma de cristais regulares equidimensionais, caracterizando um material depositado sob esta forma. Poderá provir dos desoxidantes, ou de uma re-

cristalização posterior, tendo passado, antes pela face líquida e pelo resfriamento não muito rápido, possibilitou esta cristalização. Porém, pela variação do sistema de desoxidação, determinou-se sua ligação íntima com esta.

*As características do tipo "C" são* — Baixa percentagem de óxido de ferro e a dificuldade que tem em coalescer, disseminando-se na superfície dos lingotes, causando dificuldades, principalmente nos produtos planos (quando o lingote não é es-carfado) defeitos de irregularidades, esfoliações e inclusões. Surge quando o alumínio adicionado é muito alto, caso de desoxidação só com alumínio. Quando nos aços, embora se faça a desoxidação completa com silício ainda se faça adição de alumínio de certo valor. Para aços de 0,20% a 0,30% C, por exemplo, com silício 0,25% a 0,30%, uma adição de 0,5 kg/t de Al já faz surgir a presença dos óxidos tipo "C".

O fenômeno apresenta-se ocasionalmente em aço, mesmo efervescente, em que se tenha adicionado alumínio. Depende tudo do grau de oxidação do aço, do local da adição e de sua boa distribuição.

Outro fato que se tentou explicar foi a maior viscosidade dos aços desoxidados com alumínio. Embora a literatura cite, às vezes, que o alumínio reduz a viscosidade, o que se nota é a maior dificuldade em fundir os aços desoxidados com alumínio (certamente a ligação da viscosidade do aço ao alumínio está também ligada à quantidade deste). Pretende-se, aqui, explicar que a emulsão dos finos óxidos provenientes do alumínio tem grande influência na perda da fluidez destes aços.

A sua natureza quanto ao óxido de ferro, explica-se:

- a) Porque a grande adição de alumínio possibilita a desoxidação dos óxidos de ferro e de manganês que estivessem dissolvidos na sílica. Assim, o alumínio em excesso, causando essa desoxidação, faz surgir, finalmente, os óxidos infusíveis às temperaturas de lingotamento.
- b) Como o óxido de alumínio fixa mal o óxido de ferro, enquanto houver alumínio metálico, este reduzirá os óxidos de manganês e de ferro presentes; assim, não havendo um dissolvente destes óxidos, eles consumirão alumínio disponível. Se houvesse presente o óxido de cálcio (que é mais estável que o óxido de alumínio) ele abaixaria o ponto de fusão das inclusões. Para cada tipo de aço, tem-se tentado a adição limite do alumínio para evitar o caso "C".

*Tipo de óxidos fundidos* — Estes coalescem e trazem vantagem sob o tipo C quanto à superfície do aço, evitando uma distribuição na mesma, como é o caso dos óxidos não coalescentes. Porém, o interior do aço, às vezes, poderá ser mais carregado de inclusões. Tem-se demonstrado que as inclusões de óxidos de alumínio são das mais velozes para se separarem do aço, conforme pesquisa detalhada feita por E. Plockinger M. Wahlter, em *Stahl und Eisen* — 12 de maio de 1960. Já de outro lado Kreshchanovski pôs em evidência que as adições de cálcio, além do seu poder desoxidante, são desgaseificantes, podendo expulsar os gases e os óxidos insolúveis no aço pela pressão do metal vaporizado.

Em aços feitos para a limpeza dos lingotes, desoxidados com cálcio silício, chegou-se em nossas condições a uma redução de limpeza de mais de 70% para o mesmo tipo desoxidado com silício mais alumínio, êste na faixa de óxidos tipo "C".

O cálcio, estando gaseificado em tórno de 1.487°C, é um desgaseificante do aço e mais ainda poderá levar por sua pressão as inclusões à tona.

*Os óxidos de tipo "a"* caracterizam as espumas dos lingotes; são carregados de óxido e de ferro manganês. (\*)

*Inclusões provenientes da desoxidação* — Quadros IV e V com algumas corridas-tipo; apenas estudaram-se os óxidos retiráveis macroscopicamente. (A presença de refratários sob sua forma original é possível, mas é caso raro, e pode-se verificar pela matriz sílico-aluminosa cimentada, onde ainda se notam as angulosidades variadas dos grãos de chamote triturados).

Nos quadros IV e V a ausência de MgO nos óxidos já nos diz que é desprezível o material carregado do forno pelo aço, citando-se a corrida 32.529, que está contaminada com cal. Aqui deseja-se salientar que foi uma corrida cuja caçamba não foi limpa e vê-se, assim, a influência da escória na corrida anterior, que se solidificou e com a nova corrida fundiu-se e foi junto com o aço.

As inclusões podem provir: do forno quanto a refratário e oxidações do banho; da caçamba de corrida: revestimento, vál-

(\*) Os teores de  $Fe_2O_3$  determinados estão todos mais altos nas amostras 12.306 direto, 12.307 direto, 12.308 direto e indireto e 32.533 indireto, porque na amostragem foi inevitável a contaminação por óxido de ferro da superfície dos lingotes.



## QUADRO Vb

## Análise das impurezas

Nº CORRIDA	ANÁLISE DAS IMPUREZAS						
	LINGOTAMENTO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO
12 300	indireto	46,03	21,97	ausente	ausente	16,68	17,99
32 489	"	46,00	12,87	2,85	1,51	8,50	18,01
32 504	indireto	49,90	22,19	ausente	ausente	8,85	19,06
	direto	45,99	24,32	"	"	4,83	24,69
32 505	direto	60,06	18,51	"	"	7,64	13,64
32 497	indireto	51,60	22,63	"	"	10,46	15,59
12 306	direto	29,65	9,65	3,05	"	40,26	16,89
	indireto	50,85	14,29	3,10	"	8,05	22,29
12 307	direto	19,40	31,76	0,28	"	32,20	16,24
	indireto	48,82	25,40	0,84	"	9,66	14,07
12 308	direto	18,04	36,27	ausente	"	20,93	24,90
	indireto	22,27	11,40	21,17	"	32,20	11,91
11 135	indireto	39,84	41,65	-	-	7	
21 272	"	43,70	41,99	-	-	11,32	
11 364	direto	43,00	36,00	-	-	8,52	
30 806	direto	52,12	39,49	-	-	10	
11 135	indireto (1ª Placa)	38,24	15,90	-	-	17,20	16,99
"	indireto (2ª Placa)	41,15	15,55	-	-	13,75	18,20
	indireto (3ª Placa)	34,74	16,75	-	-	14,29	22,30
"	indireto (4ª Placa)	37,69	16,13	-	-	16,99	16,50

vula tampões e luvas da haste; dos desoxidantes e dos tijolos dos mastros e canais das placas de lingotamento.

O processo de elaboração tem muita influência. A contaminação do forno é muito pequena quanto a inclusões exógenas. Sua influência realmente é quanto ao teor de O<sub>2</sub> no banho metálico e a maior oxidação, corresponderão mais inclusões, porque a desoxidação normal, que é por precipitação, irá deixar os óxidos no aço.

O equilíbrio químico entre o banho metálico e a escória existe nas condições do refino de aço e, se estas condições forem mudadas, poder-se-á oxidá-lo: seja com saída de escória junto com o metal, corridas demoradas oxidam na bica e caçamba de corrida.

*Inclusões primárias e secundárias* — Da desoxidação provêm as inclusões primárias, que em geral, se separam do aço segundo a lei de Stokes:

$$V = \frac{2}{9} \frac{gr^2}{N} (d_1 - d_2),$$

na qual:

$V$  = Velocidade de decantação

$r$  = Raio da partícula que supomos esférica

$d_1$  = Densidade do aço líquido

$d_2$  = Densidade da partícula variando de 2 a 5 kg/dm<sup>3</sup>

$N$  = Viscosidade do aço, dinas-seg/cm<sup>2</sup>

Donde se vê a grande importância do maior diâmetro da partícula, da baixa viscosidade do aço e da baixa densidade dos óxidos. Assim, os óxidos que coalescem terão mais facilidade em subir, dependendo, porém, ainda de sua densidade e da sua influência na viscosidade do aço. Tem influência, também, na viscosidade do aço, o teor residual do desoxidante.

Nas caçambas, em geral, as *inclusões primárias* se separam, indo, às vezes, até às lingoteiras, sobrenadando no aço. Provindo da desoxidação, temos ainda as *inclusões secundárias*, que surgem durante o lingotamento, pelo resfriamento e conseqüente desequilíbrio químico na massa metálica. Estas inclusões secundárias podem causar acumulação nos produtos acabados. Neste trabalho, não temos ainda muitos dados desta distribuição. Como detalhe de estudos deste tipo de inclusões, temos apenas casos esporádicos de aço cujos lingotes racharam-se nos cantos. Haviam nêles inclusões alinhadas segundo as rachaduras, que supomos que fôssem de sulfuretos manganês e alumina, distribuídos durante a solidificação. Corrigimos a má distribuição destas inclusões com aumento do manganês residual nas preliminares e diminuição da velocidade e temperatura de lingotamento.

Os óxidos precipitados pela desoxidação são insolúveis nos aços líquidos, formando-se aí uma emulsão. Além do *aspecto químico* do bom desoxidante, existe o aspecto físico de separação destes precipitados.

Nota-se, nos quadros de análise dos óxidos retirados na superfície dos lingotes que, para os lingotes diretos, a relação  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  é ligeiramente inferior à mesma relação para as indiretas. Os refratários dos canais usados, escolhendo-se a classe, têm cêrca de 60% de  $\text{SiO}_2$  e 36% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; sua relação é de 1,65, menor que nos lingotes diretos. Pode-se, por aí, concluir que é muito pequena a erosão dos tijolos dos canais pelo aço, notando-se que nos canais continua a desoxidação. Pelo estudo dos ossos dos canais, pôde-se constatar também que, em regra geral, suportam bem a erosão ou o ataque químico pelo aço; pode haver mesmo deposição de óxidos nos canais.

## 5. CORRIDA EXPERIMENTAL COM TRAÇADOR RADIOATIVO

Fêz-se uma corrida experimental, com o fim de determinar as proporções de inclusões provenientes da desoxidação e de refratários do forno, da caçamba de corrida e do revestimento dos canais e mastros da corrida indireta. A análise do aço obtido foi, em %: C — 0,30; Mn — 0,60; P — 0,015; S — 0,017; Si — 0,077; Al — 0,005; Ti — 0,064.

A desoxidação foi feita apenas com ferro titânio, cuja análise era a seguinte, em %: Ti — 25,29; Al — 9,32; Si — 1,45; Fe — 64,00. Na preliminar tínhamos: Si — 0,07; Al — traços; Ti — ausente, e Mn — 0,20.

Usámos o sistema "D" de lingotamento; os tijolos refratários para revestimento dos canais continham traçadores radioativos. Êstes traçadores eram óxidos, nas proporções abaixo; suas energias livres, em calorías/molécula grama de oxigênio, figuram em tabela anexa.

O  $\text{UO}_3$ , eventualmente, pode ser reduzido pelos demais elementos presentes a  $\text{UO}_2$ , o que, entretanto, é pouco provável. O  $\text{UO}_2$ , por sua vez, não é reduzido por qualquer dos elementos presentes, nas temperaturas e pressões consideradas, razão pela qual, sem qualquer dúvida, o traçador não se incorpora ao metal, e sim às inclusões:

$\text{UO}_3 =$	$\Delta F_{f-1527} = 196,6 \text{ Cal.}$	$\Delta F_{f-1627} = 191,9 \text{ Cal.}$
$\text{ThO}_2 = 2,51\%$	$\Delta F_{f-1527} = 228,2 \text{ Cal.}$	$\Delta F_{f-1627} = 213,4 \text{ Cal.}$
$\text{UO}_3 = 4,68\%$		
$\text{Ce}_2\text{O}_3 = 35,03\%$	—	—
$\text{Y}_2\text{O}_3 = 35,03\%$	—	—

Outros óxidos não radioativos: 54,91%. São todos mais estáveis do que os de titânio, alumínio, silício e ferro; dêste modo juntam-se às inclusões e não ao metal. Amostras de óxidos retirados das cabeças dos lingotes, analisadas, deram, em média, nos lingotes indiretos:  $\text{TiO}_2 = 24,5$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 26,00$ ;  $\text{SiO}_2 = 13,1$ ;  $\text{MnO} = 24,0$ ;  $\text{FeO} = 10,0$ ;  $\text{CaO} =$  ausente;  $\text{MgO} =$  traços.

No direto não houve diferença nos teores acima que pudessem dar um cálculo por balanço químico para ver a influência dos canais.

Fêz-se o balanço químico, tendo em vista os óxidos provenientes do ferro titânio; o ferro nêle contido incorpora-se ao aço. Assim fechamos a composição dos óxidos em 100% considerando a parte oxidada de cada elemento, de acôrdo com o rendimento do mesmo no aço pelo teor respectivo aí encontrado (ver análise do aço).

Composição dos óxidos do ferro-titânio:  $\text{TiO}_2 = 51,7\%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 38,8\%$ ;  $\text{SiO}_2 = 2,8\%$ . Os refratários das çambas têm: 41% —  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 56% —  $\text{SiO}_2$ ; 0,8% —  $\text{TiO}_2$ ; 2% —  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

As provas de óxidos tomadas têm partes provindo dos desoxidantes e do ferro-manganês, parte dos refratários das çambas e a parte do banho oxidado. Óxido do ferro-Mn a 75% e 1,5 Si têm: 96,5%  $\text{MnO}$ ; 2,8%  $\text{SiO}_2$ .

As proporções de cada fonte, para dar a composição final das amostras tiradas dos lingotes e calculadas por balanço químico, deram:

a) Do ferro-titânio = 47%.

b)  $\text{MnO}$  do ferro-manganês e banho metálico = 24,0%.

- c) Do revestimento da caçamba = 18,5%.
- d) Dos canais das placas indiretas, pequena percentagem que não podemos determinar pelo cálculo, em vista das amostras dos lingotes diretos e indiretos apresentarem praticamente a mesma análise. Sabemos, porém, que  $c + d = 12,5\%$ ; é muito pequena a influência dos canais.
- e) Óxido de ferro 10% proveniente do banho.

A contagem da cintilação nos óxidos escorificados tirados nos lingotes foi de nível normal, não acusando radioatividade.

Os refratários dos canais foram traçados com baixo teor de radioativos, cêrca de 0,2% da mistura dos óxidos citados. Porém, os tijolos tiveram já radioatividade sensível. Isto confirma a baixa influência dos canais, pois o produto obtido da cabeça dos lingotes não apresentou radioatividade acima do "background". Nas próximas experiências pretende-se aumentar o nível radioativo pela maior proporção do traçador.

Antes de passarmos às conclusões, queremos salientar que os resultados aqui apresentados são os primeiros obtidos quanto à determinação da distribuição dos constituintes das inclusões quando à sua origem. Desejamos continuar êste estudo, estendendo-o aos nitretos e sulfetos, assim como a tôdas as inclusões, desde as macroscópicas às microscópicas. Usar-se-ão, também, isótopos radioativos artificiais como traçadores. Na experiência com traçador, os óxidos tirados em 3 outros pontos onde existiam nos lingotes, não deram radioatividade acima do "background".

\*

Desejamos, aqui, citar algumas ligeiras informações sôbre a limpeza dos produtos:

*Lingotes* — Em uma série de sistemas de desoxidação diferentes chegou-se, na limpeza dos lingotes, às seguintes conclusões:

- a) As inclusões nos lingotes acompanham as isotérmicas de resfriamento, localizando-se comumente entre 7 e 10 mm de profundidade máxima.
- b) O número de homens-hora por tonelada reduziu-se com a redução do Al adicionado: de 2 a 0,5 kg/t nos aços com C abaixo de 0,10%; de 10 a 0,15 kg/t nos aços com C acima de 0,60%; nos intervalos intermediários, usou-se a correspondência de  $O_2$  dissolvido no aço de acôrdo com o teor de carbono.

- c) Aços desoxidados com Ca-Si deram pouca limpeza superficial.
- d) Traçamos uma curva de retirada de aparas de acordo com a resistência do aço (ver figura 17). Verifica-se que, para os aços acima de 0,50% C, a limpeza com marteletes torna-se pouco produtiva.

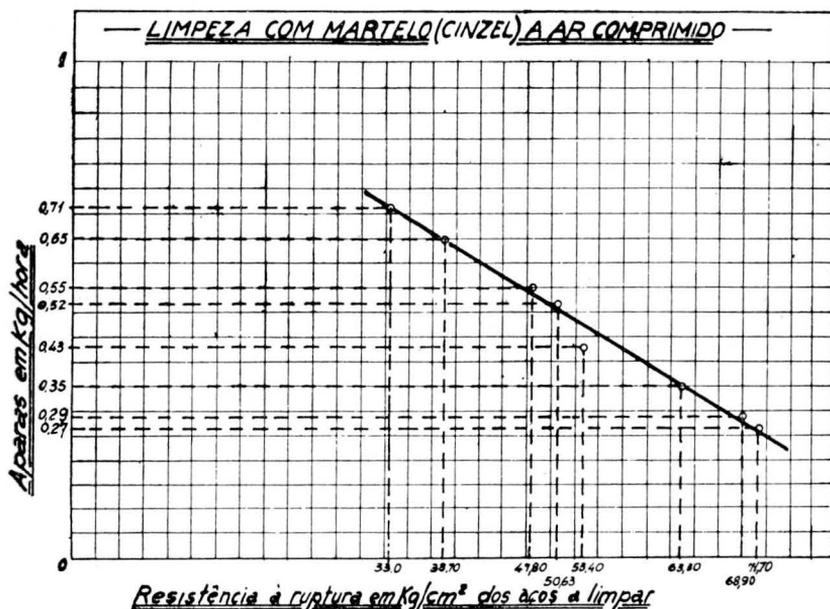


Fig. 17 — Rendimento da limpeza a martelete em função da dureza do aço a limpar.

*Laminados* — Chegou-se à conclusão que a limpeza com maçaricos a chama oxiacetilênica, pode aproveitar a produtos com maior freqüência de defeitos, que dariam limpeza muito cara a martelete ou esmeril. Ainda com esta limpeza tem-se a certeza de um melhor produto final. Estas conclusões dos laminados estendem-se também aos lingotes.

## 6. CONCLUSÕES

1 — O sistema de lingotamento tem influência direta na qualidade e no preço do aço.

2 — O sucesso no lingotamento está inteiramente ligado à boa forma da lingoteira, à temperatura e à velocidade, corretas.

3 — As inclusões nos aços desoxidados com Fe-Ti são formados por:

- a) Cerca de 47% de produtos da desoxidação.
- b) Cerca de 35% de óxido de Fe e Mn do forno e o óxido de ferro manganês da adição na çaçamba.
- c) Cerca de 18% provém do revestimento da çaçamba incluindo válvula, tampão e luvas.
- d) Os canais de boa qualidade não são praticamente atacados, podendo aí mesmo haver deposição dos óxidos.

\*

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Direção da Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira a permissão e os meios por ela dados para a execução deste trabalho. Agradecemos, ainda, à equipe do Laboratório Químico que nos auxiliou nesta elaboração, com as análises.

#### BIBLIOGRAFIA

- IRSID — *Coulée de l'Acier* — Cahiers du Cessid.
- Basic open Hearth Steelmaking* — AIME, 1951.
- C. A. EDWARDS — *The Physic Chemical Properties of Steel*. Sheet Metal Industries, vol. 378, 1958.
- Colombier* — Siderurgia, 1956.
- Rare Metals Handbook* — 1954.
- Metals Branch* — Transations AIME, 1960.
- Handbook of Chemistry and Physics* — 42 ed., 1960-1961.
- ELLIOTT & GLEIXR — *Thermochemistry Steelmaking*. AISI, 1960.
- JIMENO e MORRAL — *Metalurgia*, 1955.
- Circulaire d'Informations Siderurgique, n.º 1, 1960.
- Circulaire d'Informations Siderurgique, ns. 7 e 8, 1960.
- Circulaire d'Informations Siderurgique, n.º 3, 1962.
- O. KUBASCHEWKI e E. LL. EVANS — *Metallurgical Thermochemistry*, 1958.
- Refractaires Journal* — Março de 1959.
- R. C. E. — *Radioisótopes in Scientific Research*.

## DISCUSSÃO

**E. Patury Monteiro** <sup>(1)</sup> — Depois de termos ouvido a brilhante síntese do trabalho apresentado pela Comissão de Engenheiros da Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira e de forma muito feliz relatado pelo Eng. Armênio de Lima e Silva, está a palavra livre a quem desejar formular qualquer pergunta sobre o assunto.

**R. Wood** <sup>(2)</sup> — Poderia o Eng. Lima e Silva informar-me se a pesquisa se limitou apenas à placa de 4 lingotes ou se foram feitas experiências com placas de maior número de lingoteiras? E, se não, por que?

**A. Lima e Silva** <sup>(3)</sup> — Fizemos experiências com placas de 4 lingoteiras, porque atualmente só usamos esse tipo de placa. Costumamos, também, fundir lingotes diretos em uma lingoteira de placas simples, lingotando por cima, para concluir sobre a influência que poderia haver no refratário, pelo qual o aço deve passar, no lingotamento indireto.

**R. Wood** — Com base nessa experiência com placas de 4 lingoteiras, que resultado pensa o Eng. Armênio se obtenha com o uso de uma placa de 6, 8 ou mais lingotes?

**A. Lima e Silva** — Minha opinião é de que, se os lingotes forem acima de uma tonelada, os resultados serão bem semelhantes ao dessa experiência; mas, se os lingotes forem pequenos, os resultados serão bastante diferentes, porque não haverá tempo nem possibilidade para a subida do material não metálico que vinha no aço. Nos lingotes acima de certo peso, esta separação é possível. Imagino que acima de 1 tonelada dá bons resultados para lingotes de 1,40 metros de altura. Aí haverá decantação e o material não metálico subirá.

**R. Wood** — Quer dizer, para não haver densidade de invasão?

**A. Lima e Silva** — Acho que, devido ao rápido resfriamento, as impurezas ficam presas no seio do lingote, disseminadas no mesmo, com muito menos segregações.

**L. Euler de Araújo** <sup>(4)</sup> — Com referência aos «massalotes» exotérmicos, conforme consta das figuras 13 e 14, o autor do trabalho pode informar-nos a relação entre o peso do exotérmico e o do lingote de aço empregado?

**A. Lima e Silva** — Tenho dados apenas aproximados. Na figura 13, era acima de 15 kg por lingote. Aliás, ambas acima de 15 kg quando normalmente usamos de 3 a 4 kg por lingote. Alguns eram da ordem de 23 a 25 kg. Dá cerca de 8 kg de pó exotérmico por tonelada de aço e mais. É um tipo do qual já recebemos a placa pronta, e o que sabemos é que o peso da placa foi acima de 5 kg por tonelada. A

(1) Membro da AMB; Coronel do Exército e Engenheiro Metalurgista; Presidente da Comissão Técnica "C"; Rio de Janeiro, GB.

(2) Membro da ABM e Engenheiro Metalurgista; Consultor do BNDE; Rio de Janeiro, GB.

(3) Membro da ABM e Engenheiro da CSBM; Relator do trabalho em discussão; Monlevade, MG.

(4) Membro da ABM; Químico Industrial; Diretor da Beta Industrial S. A.; São Paulo, SP.

placa pode não ser inteiramente exotérmica (ver figs. 13 e 14), podendo o tipo de placa ser ainda diferente destes ensaiados. A figura tem uma placa em que esse exotérmico foi em torno de 10 kg por 3,1 toneladas, portanto, 3 quilos e pouco por tonelada.

**L. Euler de Araújo** — O senhor pode informar a relação aproximada de peso entre massalote exotérmico e massalote simplesmente refratário?

**A. Lima e Silva** — Não posso, porém suponho que entre o tipo refratário quanto a refratários e mão-de-obra e o tipo exotérmico, quanto a exotérmico e mão-de-obra — estima que o exotérmico seja 3 vezes mais. Minha esperança não reside nesse peso, mas no que vamos ganhar em rendimento de lingote. Suponho que vamos ganhar de 5% a 6% no lingote, devido a pontas perdidas: seja por vazio, seja por pontos sujos e incrustações.

**A. Camarão Sobrinho** <sup>(5)</sup> — Com licença do meu colega Lima e Silva, quero declarar que tenho aqui os seguintes dados: para o tipo E-1, o consumo é de 8,06 kg; para E-2 é de 11,93 kg; para o E-3 é de 4,84 kg. Esses pesos se referem a lingotes de 3,1 t, exotérmico para as placas e pó para a cobertura.

---

(5) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista da CSBM; Monlevade, MG.