

O EMPRÊGO DE EXOTÉRMICOS EM LINGOTES DE AÇO ⁽¹⁾

LIVIO EULER DE ARAUJO ⁽²⁾

GIUSEPPE TRINCANATO ⁽³⁾

RESUMO

Após considerações sobre o resfriamento do aço em lingoteiras e sobre métodos usuais para a condução do fenómeno, os Autores apresentam o histórico e o estado atual do emprêgo de exotérmicos, em pó e moldados, para massalotes de lingoteiras. Apresentam resultados práticos e fazem considerações sobre as vantagens e desvantagens do processo.

1. INTRODUÇÃO

Originárias da necessidade de conformação do aço ainda em estado líquido, as lingoteiras devem, após a operação de extração de calorías por absorção e posterior irradiação, fornecer um lingote de medidas apropriadas para ser deformado plásticamente por laminação ou forjamento. Independentemente do tamanho do lingote, é prática lógica dar-lhe uma forma aproximada da do perfil final. Por estas razões, existem lingoteiras de secções quadrada, retangular, redonda, oval, além de outras especiais. Outros detalhes construtivos das lingoteiras, além dos referentes ao destino do lingote e do equipamento desbastador e laminador, são função da facilidade de estripamento, solidificação dirigida, contrôle de segregação e zonas de cristalização. Com o balanceamento das variáveis técnicas e econômicas, procura-se a obtenção de um lingote perfeito, isento tanto quanto possível de defeitos superficiais e de cavidades de contração.

(1) Contribuição Técnica nº 510. Apresentada ao XVIII Congresso da ABM; Belo Horizonte, julho de 1963.

(2) Membro da ABM e Químico Industrial; Diretor Técnico da BETA Industrial e Comercial S.A.; São Paulo, SP.

(3) Membro da ABM e Técnico Industrial; da BETA Industrial e Comercial S.A.; São Paulo, SP.

Diferentemente dos aços efervescentes e semi-acalmados, que pela própria constituição e natureza não criam grandes problemas de alimentação, os aços acalmados apresentam uma cavidade pronunciada, de forma afunilada, proveniente da contração, conhecida como *bôlsa*, *rechupe*, (pipping), etc. Esse problema também se apresenta agravado em muitos casos pela formação de microcavidades em torno dos grãos.

Medições levadas a efeito por Briggs e Gezelius mostram que, para um aço de 0,35% C, a *contração volumétrica* total entre as temperaturas de 1.600°C e 20°C é da ordem de 11,8%. Dessa contração total, são consideradas três fases distintas a saber:

A) *Contração líquida* — Acima da linha *liquidus* do diagrama de equilíbrio Fe-Fe₃C, representando 1,6%/100°C.

B) *Contração de solidificação*, assim denominada a que ocorre entre as linhas *liquidus* e *sólidus*, e que no caso em foco de um aço carbono 0,35% equivale a 3,0%. Para considerações laterais, é apropriado lembrar que essa contração é de 2,2% para ferro puro, e de 4,0% para um aço com 1% C. A influência de elementos especiais é leve; pode-se levar em conta, entretanto, que o índice de contração aumenta com a presença de C, Si, Mn e P, e diminui com a presença de Cr e Al.

C) *Contração sólida* — Considerada abaixo da linha *sólidus*, e valendo 7,2% ainda para o caso do aço C = 0,35%.

O estudo da alimentação de lingotes deverá levar em conta apenas as fases 1) e 2); e como a prática de lingotamento não pede mais de 100°C acima do *Sólidus*, a contração total influinte é da ordem de 4,5%, ou seja a soma da *Contração de Solidificação* mais a *Contração Líquida* em uma faixa inferior a 100°C. Neste período fica determinada a presença (ou não) e a amplitude do rechupe.

2. RESFRIAMENTO

O mecanismo da formação do rechupe ou cavidade de contração decorre principalmente da combinação de dois fenômenos distintos que se processam simultaneamente, a saber:

- 1.º) Contração Líquida e de Solidificação.
- 2.º) Resfriamento progressivo.

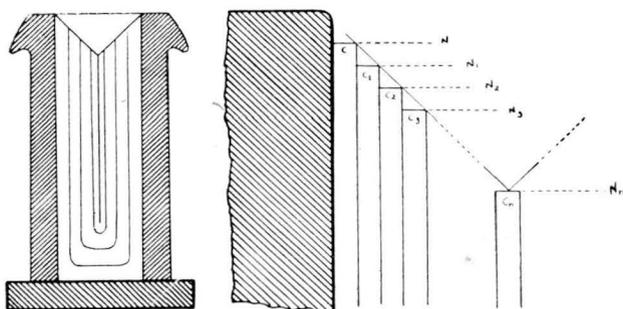


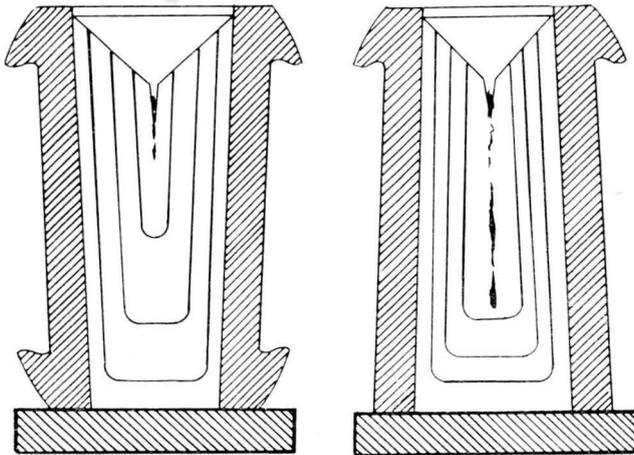
Fig. 1 — Explicação sôbre a formação do rechupe num lingote de aço; o fenômeno decorre principalmente de dois fatores distintos: contração líquida e de solidificação e resfriamento progressivo.

Admitindo-se (fig. 1) a secção vertical de uma lingoteira de paredes paralelas, cheia de aço líquido até o nível N ; considerando-se que a solidificação se processa a partir da superfície lingoteira/metal, em direção ao eixo do lingote dentro de um plano horizontal, e em direção aos maiores gradientes de temperatura no eixo vertical — as isotermas de temperatura distribuem-se conforme as linhas finas que as representam. Considerando-se em detalhe o canto superior do desenho, teremos que, após a solidificação de uma primeira camada C , haverá uma diminuição de volume do aço líquido que, contido em um invólucro de dimensões estáveis, cairá do nível N para o novo nível N_1 . Após a solidificação de nova camada C_1 , repete-se o fenômeno da diminuição de volume (contração), passando o aço líquido a novo nível mais baixo, N_2 .

A cada camada solidificada C , C_1 , C_2 , etc., corresponde respectivamente um nível N , N_1 , N_2 etc., de aço ainda em estado líquido, mais baixo que o anterior, até que duas camadas C_n , de solidificações sucessivas provenientes de paredes opostas se confundem em apenas uma linha líquida vertical, última a solidificar, cujo tópo corresponde a um nível N_n ocupado pelo vértice do furo de rechupe.

A formação dessa cavidade é, pois, normal em lingotes deste tipo. Daí, a parte superior do lingote, desde o seu extremo até o nível do vértice da cavidade de contração, deverá ser removida para se obter uma secção laminada satisfatória, considerando-se que a superfície exposta é oxidada e não caldeia novamente nas operações subseqüentes de laminação ou forjagem.

Na prática, lingoteiras de paredes paralelas são empregadas apenas quando se as pode fazer bipartidas, em lingotes de pequenas proporções. A necessidade de se dispor de conicidade na lingoteira para a operação de estripamento deu origem aos dois tipos correntes, conhecidos como BEU (*big-end-up*) e BED (*big-end-down*), segundo a conicidade tenha a maior abertura para cima ou para baixo.



Figs. 2 e 3 — Conicidade nas lingoteiras “big-end-up” (esquerda) e “big-end-down” (direita); isotermas do mecanismo de resfriamento. Nas lingoteiras BED resultam rechupes primário e secundário.

O mecanismo de resfriamento nessas lingoteiras segue os moldes representados pelas isotermas das figuras 2 e 3, já bastante conhecidas e que nos lembram que: 1) os lingotes obtidos em lingoteiras do tipo BEU têm a tendência de deslocar para o tampo a bolsa de rechupe; 2) os lingotes obtidos em lingoteiras tipo BED, além da bolsa de rechupe do tampo, chamada *primária*, apresentam geralmente uma bolsa *secundária*, que obriga a novo descarte na base, além dos cortes usuais.

Verificadas as boas características técnicas da lingoteira BEU, foi esta melhorada, pela adição de um reservatório refratário sobreposto, com o objetivo de armazenar uma quantidade de aço suficiente para compensar as contrações da fase líquida, produzindo um lingote isento de rechupe no

corpo principal. A este reservatório se deu o nome de “cabeça quente” (*hot-top* ou *hot-head*) e este sistema é ainda empregado quando se produz aços especiais, sob especificações rígidas. Este processo atinge seu mais alto grau de eficiência, quando se procede à cobertura da superfície líquida do aço com pó exotérmico (desprendedor de calor). O padrão de isotermas de resfriamento nessas lingoteiras é o representado na figura 4. Os estudos que conduziram a esse desenho são devidos principalmente a Emil Gathmann, que desde 1906 vinha procedendo às experiências de solidificação de aço em lingoteiras.

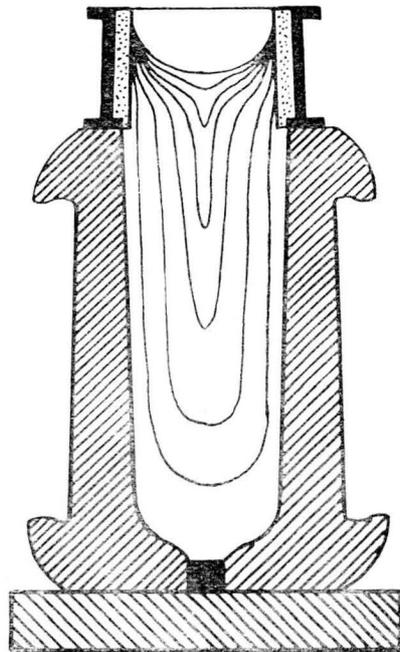


Fig. 4 — Lingoteira com “cabeça quente” (“hot-top” ou “hot-head”); isotermas de resfriamento.

Diferentes perfis foram projetados, partindo da observação de solidificação de materiais de baixo ponto de fusão, como a estearina e parafina que, semelhantemente ao aço, cristalizam, contraem e segregam durante o processo. Essas observações foram complementadas pelo esvaziamento da parte líquida de vários lingotes (em diferentes estágios de solidificação) e com a observação do seu contorno interno após seccionamento.

A lingoteira resultante possui paredes de espessura variada para dirigir a solidificação a partir do fundo, e um tampão refratário substituível em cada lingotamento.

Se, de um lado, fica resolvido, sob o aspecto metalúrgico, o problema da obtenção de um lingote isento de cavidade de rechupe, do outro, ficam extremamente comprometidos os aspectos técnicos e econômicos do processo. Dentre as desvantagens surgidas, citam-se como principais: 1) necessidade de uma caixa adicional sobreposta, revestida internamente de refratário; 2) aumento do número de operações com ponte rolante; 3) consumo de refratários e mão-de-obra para substituição freqüente dos mesmos; 4) vazamentos de aço na junta entre o tópo da lingoteira e o adicional, provocando muitas vezes trincas de contração no lingote; 5) necessidade de girar de 180° o conjunto lingoteira/lingote, ou emprêgo de equipamento especial para o estripamento e, finalmente, 6) obrigatoriedade da operação de aquecimento da cabeça refratária, sem o que a "cabeça quente" perde a eficiência.

3. "CABEÇAS QUENTES" EXOTÉRMICAS

Os excelentes resultados conseguidos com a simples adição de cobertura (topping) exotérmica em "cabeças quentes" comuns, encorajaram as tentativas de produção de um dispositivo exotérmico totalmente envolvente do tópo do lingote. Misturas à base de resíduos de carvão, madeira e celulose, moída de coque e melaço foram experimentadas e estão em uso em diferentes usinas. Essas misturas apresentam três inconvenientes principais, que não recomendam o seu emprêgo: 1) são muito pouco termógenas; 2) contaminam o aço. O pick-up de carbono em lingotes produzidos com "cabeças quentes" dêsse material torna obrigatórios descartes excessivos nos aços de especificação rígida. Foram constatados aumentos no teor de carbono de 7 a 10 pontos, na região adjacente a essas "cabeças quentes"; finalmente 3) produzem muita fumaça.

Os materiais exotérmicos que estamos considerando especificamente são os baseados na clássica reação do processo Termita:



Os fumos produzidos no processo são apenas instantâneos, e as misturas são isentas de carbono. Êsses exotérmicos têm sido empregados desde há longa data em massalotes para lingotes pequenos de aços inoxidáveis e ferramenta, tanto na América como na Europa. O seu emprêgo em placas moldadas para lingoteiras grandes, foi iniciado nos Estados Unidos, em princípios de 1958, mediante a colaboração entre um produtor de aço e um fabricante de exotérmicos.

As bases do processo, que tem sido aperfeiçoado constantemente, foram estabelecidas após uma série de experiências levadas a cabo em duas usinas, nessa época, totalizando acima de 48.000 t de aço de baixo e médio carbono, aços de baixo teor de liga, e aços inoxidáveis. Consiste na inserção no tampo de lingoteiras BED, de duas ou quatro placas refratárias, revestidas internamente de material exotérmico. Após o lingotamento, a superfície do lingote é recoberta com pó exotérmico. As experiências demonstraram que são requeridas 4 placas em uma lingoteira, quando a relação entre suas dimensões internas horizontais é menor que 1:1,5. Para relações maiores, é satisfatório o emprêgo de apenas duas placas (Sideboards) ocupando os lados de maior dimensão.

Quando as placas são em número de quatro, formam um *massalote*; e para completar o conjunto empregam-se diferentes sistemas de encaixe, dos quais o mais comum é o tipo "T" que pode ser observado na figura 5.

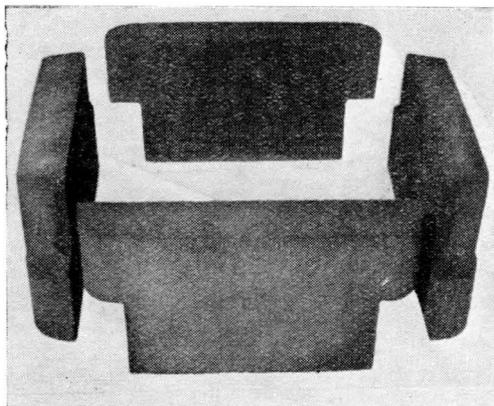


Fig. 5 — Massalote exotérmico de 4 placas; encaixe tipo "T", para ser montado no tampo de lingoteiras BED.

O conjunto pode ser montado na lingoteira: 1) *Nivelado* com o tampo. Este é o processo mais empregado. 2) *Abaixo* do tampo, com bastante flexibilidade até cerca de 50 cm e 3) Com até 2/3 de sua altura *acima* do tampo. Neste caso o conjunto é travado por 2 ou 3 cintas de aço, procedendo-se à vedação das juntas com massa refratária exotérmica.

As placas exotérmicas são constituídas de uma parte estrutural, preferivelmente refratária, que suporta a camada exotérmica, de resistência mecânica relativamente baixa. Quando a parte estrutural é feita de material refratário, compõe-se geralmente de areia, chamote e dolomita em granulometria apropriada, convenientemente aglomerados e providos de armação interna. Essa armação pode ser de tela, arame ou vergalhões conforme a dimensão da placa, sendo sempre provida de alças por onde são suspensas as placas ao tampo da lingoteira.

A camada exotérmica tem 15 a 25 mm de espessura, sendo constituída, além dos componentes da reação aluminotérmica (alumínio e óxido de ferro), de elementos como chamote, alundum, criolita, Ca-Si e sais fornecedores de oxigênio como nitrato de bário, permanganato de potássio; catalisadores e aglomerantes. Têm sido feitas experiências com encostos feitos de chapa de aço, convenientemente preparada por meio de estampagem, para suportar melhor o exotérmico, e bem se adaptar às paredes internas do tampo da lingoteira. O sistema não tem encontrado aceitação devido aos inconvenientes seguintes: 1) alto custo da chapa estampada; 2) baixa resistência aos esforços de torção e flexão, a que são solicitados os conjuntos durante o transporte e manuseio; 3) baixo índice de isolamento térmico, permitindo irradiação muito rápida do calor produzido na reação.

Os conjuntos de placas são calculados e projetados especificamente para cada tipo de lingoteira; por isso adaptam-se com perfeição ao local, sendo deixadas folgas apenas para compensar variações de fabricação nas dimensões de diferentes lingoteiras. Praticamente não existe limitação ao tamanho e forma de placas exotérmicas, das quais algumas variações podem ser vistas nas figs. 6, 7 e 8.

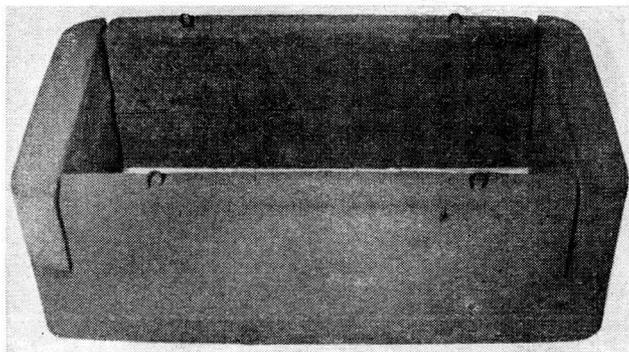


Fig. 6 — As placas exotérmicas são projetadas especificamente para cada tipo de lingoteira, sem limitação de forma ou de tamanho. Delas a figura mostra algumas modalidades.

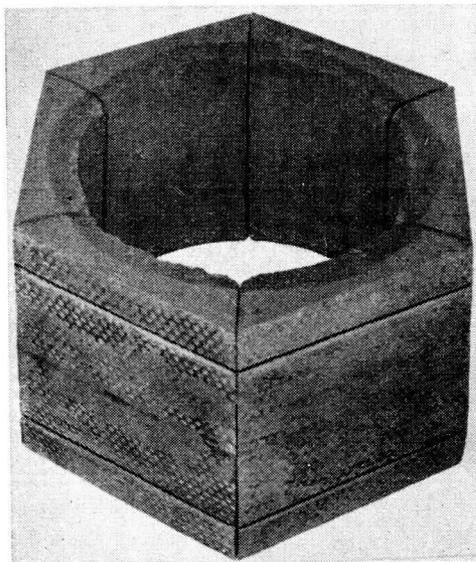


Fig. 7 — As placas exotérmicas são projetadas especificamente para cada tipo de lingoteira, sem limitação de forma ou de tamanho. Delas a figura mostra algumas modalidades.

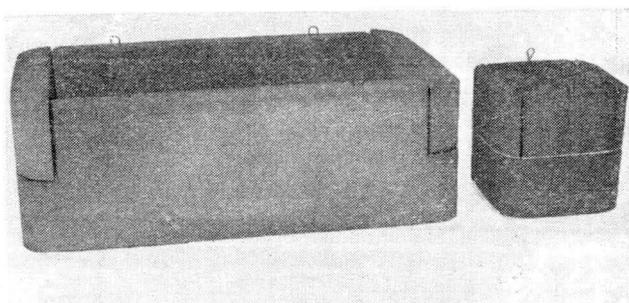


Fig. 8 — As placas exotérmicas são projetadas especificamente para cada tipo de lingoteira, sem limitação de forma ou de tamanho. Delas a figura mostra algumas modalidades.

Como as misturas exotérmicas sempre são higroscópicas em virtude dos sais que fazem parte de sua composição, as placas são acondicionadas em sacos de polietileno, geralmente fechados eletronicamente, e colocadas em engradados revestidos internamente de papelão corrugado (fig. 9).



Fig. 9 — As substâncias exotérmicas são higroscópicas; as respectivas placas são acondicionadas em sacos fechados de polietileno.

A adoção de placas ou massalotes exotérmicos em determinada linha de lingoteiras envolve um período de experiências e desenvolvimento, durante o qual os dados básicos são aplicados, seguindo-se observações da qualidade e rendimento após o desbaste.

Muitas vêzes são necessárias diferentes alterações, sejam no dimensionamento ou no poder exotérmico da mistura, até se obter os resultados desejados. Exige-se, nessa fase dos estudos, estreita colaboração entre o consumidor e o produtor. Aquêle deverá proceder a diferentes lingotamentos, evitando a interferência de fatores estranhos, e testar os produtos de desbaste por macrografia, ultrassom e pesagens, tabulando os dados obtidos. Êste deverá participar dos testes e proceder às alterações que se fizerem necessárias na forma e quantidade do produto.

O emprêgo de massalotes exotérmicos permite a obtenção de lingotes isentos de furos de contração com uma "cabeça quente" pesando 8 a 12% do lingote, enquanto massalotes refratários não o conseguem com menos de 16 a 25%.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Ê é apresentado a seguir um estudo comparativo de dois lingotes de aço produzidos em lingoteira tipo BED, de $40 \times 40 \times 177$ cm simples, e com massalote exotérmico, respectivamente.

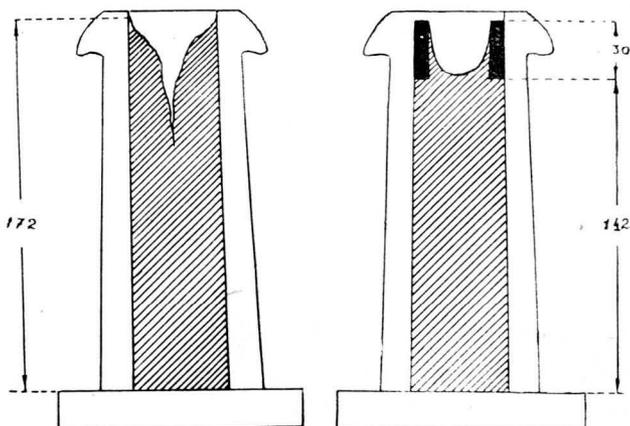


Fig. 10 — Estudo comparativo de dois lingotes de aço produzidos em lingoteiras tipo BED, simples e com massalote exotérmico.

ESTUDO COMPARATIVO DE DOIS LINGOTES DE AÇO

Especificações	Simple	Exotérmica
Dimensão média do lingote	40×40×175 cm	40×40×142 (lingote) + 28×28×30 (massalote)
Volume calculado do lingote	276 dm ³	250,7 dm ³
Pêso calculado do lingote (d = 7,7)	2.125 kg	1.930 kg
Descarte do tópo 23%	489 kg	9,4% 181 kg
Descarte da base 1%	21 kg	1,1% 21 kg
	—————	—————
24%	510 kg	10,5% 202 kg
Pêso utilizável em blooms	1.615 kg	1.728 kg
Rendimento	76%	89,5%

Observação — A quantidade de aço necessária à produção de 10 lingotes comuns (21.250 kg) e 16.150 kg utilizáveis em blooms, permite a obtenção de 11 lingotes com massalotes exotérmicos (21.230 kg), com 19.000 kg utilizáveis em blooms. Além das quatro placas exotérmicas, a alimentação desse lingote necessita cobertura de pó exotérmico, em proporção nunca inferior a 2 kg/t de aço.

Complementando a comparação teórica e representando os resultados que se podem esperar do emprêgo de “cabeças quentes” exotérmicas, tabulamos a seguir resultados reais obtidos em diferentes usinas do País e dos Estados Unidos, que indicam a obtenção de valores semelhantes para lingotes os mais variados:

USINA "A": Lingoteira BED 20,5×20,5×230,0 cm

Pêso médio do lingote: 700 kg

Aço: SAE 1045

Alimentação	Cabeça (%)	Descartes				Perda em carepa		Aproveitamento em blooms	
		Tôpo		Fundo		kg	%	kg	%
		kg	%	kg	%				
Simplex	—	176	25,1	13	1,8	10	1,4	501	71,5
Cabeça refratária	16	146	20,8	12	1,7	15	2,1	527	75,2
Idem + cobert. exotérmica	16	108	15,4	16	2,2	7	1,0	569	81,1
4 placas exot. + cobertura	8	45	6,4	14	2,0	8	1,1	633	90,4

USINA "B": Lingoteira BED 56×90×215 cm

Pêso médio do lingote: 7.600 kg

Aço: Baixo Carbono — Baixa Liga

Alimentação	Cabeça (%)	Descartes				Perda em carepa		Aproveitamento em blooms	
		Tôpo		Fundo		kg	%	kg	%
		kg	%	kg	%				
2 placas exot. + cobertura	10	707	9,3	228	3,0	114	1,5	6551	86,2

USINA "C": Lingoteira BED 35×70×180 cm

Pêso médio do lingote: 3.300 kg

Aço: SAE 1017

Alimentação	Cabeça (%)	Descartes				Perda em carepa		Aproveitamento em blooms	
		Tôpo		Fundo		kg	%	kg	%
		kg	%	kg	%				
4 placas exot.+ cobertura	7,6	265	7,5	122	3,7	36	1,1	2880	87,2

Observação — As placas, neste caso, foram dimensionadas para lingotes de menor altura. Daí a percentagem de metal entre placas ser baixa e não ter o rendimento atingido os valores esperados.

USINA "D": Lingoteira BED 40,5×40,5×180 cm

Pêso médio do lingote: 1.850 kg

Aço: SAE 1040

Alimentação	Cabeça (%)	Descartes				Perda em carepa		Aproveitamento em blooms	
		Tôpo		Fundo		kg	%	kg	%
		kg	%	kg	%				
Cabeça d'água	—	440	27,8	40	2,0	47	2,4	1413	67,9
4 placas exot.+ cobertura	8	108	5,9	46	2,5	39	2,1	1627	89,4

Observação — Os resultados acima representam a média de 12 lingotes, dos quais 6 foram fundidos com cabeça d'água e 6 com cabeça exotérmica. Os testes foram destrutivos; consistiram na retirada de sucessivas secções da extremidade do bloom de 20×20 cm resultante do desbaste do lingote. As secções obtidas a distâncias aproximadas de 25 cm uma da outra, e preparadas para observação macrográfica, mostraram:

- 1) Lingote cabeça d'água — Bloom de 20×20×631 cm
Laminado isento de rechupe 439 cm
% aproveitamento do bloom perfeito 63%
- 2) Lingote com massalote exotérmico — Bloom de 20×20×540 cm
Laminado isento de rechupe 592 cm
% aproveitamento do bloom perfeito 91%

5. CONCLUSÕES

O objetivo fundamental do uso de massalotes exotérmicos é o da obtenção de maiores rendimentos na produção de lingotes. Vários fatores secundários interferem no sucesso do emprêgo, entre os quais podem ser citados: dimensionamento da lingoteira, espessura de paredes, etc.; prática de enchimento (direto ou indireto, velocidade, temperatura, etc.) e caracteres físicos do aço a lingotar.

Mediante uma série relativamente pequena de experiências, podem ser determinados a quantidade de exotérmico e o dimensionamento dos massalotes para a obtenção de rendimentos da ordem de 90% em blooms perfeitos. A quantidade de aço na "cabeça quente" exotérmica deve representar entre 8 e 10% do pêso do lingote para a efetiva localização do rechupe no tópo. Paralelamente à obtenção de rendimento elevado, outras vantagens adicionais são conseguidas. Assim, podem ser mencionadas:

- 1) Manutenção total da qualidade do produto.
- 2) Ausência de contaminação por carbono ou qualquer outro elemento.
- 3) Maior limpeza na ala de corrida comparado com o emprêgo de cabeças quentes de refratário.
- 4) Menor problema de equipamento e espaço.
- 5) Embora seja aconselhável em certos casos o reenchi-mento (back-pouring), o lingotamento com massalotes exotérmicos requer menor número de aberturas de válvula que com massalotes refratários. Há menor possibilidade de lingotamento descontrolado.
- 6) Liberação de ponte rolante para qualquer operação de colocação e movimentação de caixas adicionais de cabeça quente.
- 7) Aumento virtual da capacidade da usina, sem investimento de capital, decorrente do maior aproveitamento percentual do aço produzido em lingotes.
- 8) Possibilidade de se operar com lingoteiras tipo BED em tipos de aços que exigem normalmente lingoteiras invertidas com cabeça quente.
- 9) Simplificação da linha de lingoteiras em uso. É incomparavelmente mais econômico operar com apenas um tipo de lingoteira com ou sem massalote exotérmico do que com dois tipos, sendo um o BED e outro o BEU com adicional.

O processo não poderia deixar de apresentar suas desvantagens, embora não comparáveis, em número e pêsô, com as vantagens. A sua consideração é uma porta aberta ao melhoramento do seu emprêgo.

- 1) O tempo de espera do lingote deve ser aumentado, antes do estripamento. Embora não hajam provas concludentes de que a movimentação de composições prejudique a boa alimentação, a espera, nesses casos, deverá ser feita na área de vazamento, área de estripamento ou ainda em desvio intermediário.
- 2) Apesar de as placas exotérmicas serem fornecidas em acondicionamento especial, devem ser estocadas em lugar sêco, devido à alta higroscopicidade.
- 3) O transporte e manuseio das placas e massalotes precisa ser realizado cuidadosamente em vista da sua relativa fragilidade. Devem ser evitados muitos transbordos. Com razoável cuidado já foram transportados entre São Paulo e Minas Gerais, cêrca de 40.000 massalotes exotérmicos com quebra da ordem de apenas 2:1.000.
- 4) Dificuldades do assentamento quando as lingoteiras estão excessivamente quentes. Aliás, isso não é considerada boa prática mesmo sem o emprêgo de massalotes.

Como última consideração, porém não a menos importante, está a questão do custo. Embora nos Estados Unidos o custo dos massalotes e placas exotérmicas torne o seu emprêgo acessível apenas aos aços especiais, os preços a que têm sido oferecidos no Brasil permitem o seu emprêgo autofinanciado mesmo nos aços carbono. Cálculos efetuados sôbre resultados reais evidenciaram ser vantajosa a adoção do sistema sob ambos os aspectos, técnico e financeiro.

BIBLIOGRAFIA

- BRIGGS, CHARLES WILLERS — *The Metallurgy of Steel Castings*. McGraw-Hill, 1946.
- BRAY, JOHN L. — *Ferrous Production Metallurgy*. John Wiley & Sons, 1942.
- MEHL, ROBERT FRANKLIN — *Metallurgia do Ferro e Aço*. E.P.U.S.P., 1945.
- SILVA, ARMENIO L., AFRÂNIO CAMARÃO Sob., LUIZ A. YAGUE — *Influência de alguns fatores sôbre o lingotamento do aço e sua desoxidação*. ABM-Boletim nº 76.
- McCANNON, T. C. — *Exothermic hot topping big-end-down ingots for higher yields*. Electric Furnace Proceedings, 1960.
- BAYERS, Jr. W. E., C. D. BOYLE — *Exothermic sideboard hot tops*. Proceedings of Open Hearth Steel Conference, 1961.

DISCUSSÃO

C. Dias Brosch (1) — Dado que o autor não as mencionou em seu trabalho, desejaria saber algo sobre a aplicação de «cabeças quentes» isolantes, refratárias e isolantes.

L. Euler Araujo (2) — Delas temos conhecimento. Com o advento dos massalotes exotérmicos, esse outro tipo de massalote passou para um segundo plano. Resultados comparativos desfavorecem os massalotes simplesmente refratários e isolantes. A respeito, posso indicar os resultados apresentados no livro de John Bray — “*Ferrous Production Metallurgy*” — quanto a lingoteiras *big-end-up*. Aquêlê autor considera ideais os massalotes isolantes, para os quais dá de 86 a 88% de rendimento.

A. P. Pádua (3) — Gostaria de saber se há algum estudo sobre o rechupe secundário e segregação, ou se de acôrdo com o trabalho apresentado há simplesmente utilização de lingoteiras *big-end-down*.

L. E. de Araújo — Com relação à segregação em aços de alta liga, sabemos que quando houve emprêgo de placas exotérmicas — não massalotes — não se constatou aumento de segregação com relação à lingoteira normal. Apenas estou mencionando no trabalho documentação sobre uma usina americana, em que há referência a experiências feitas em lingotes de placas com largura acima de 1,05 m; procurou-se saber da influência da segregação no caso de aço de alto teor de liga. Mas não se constatou o efeito de segregação em relação à lingoteira normal.

A. P. Pádua Netto — Quanto ao rechupe secundário, nos aços de alto carbono, há algum estudo estatístico sobre essa parte?

L. Euler de Araújo — A esse respeito temos experiência relativamente nova no Brasil. Posso afirmar que em duas usinas conseguiu-se fazer desaparecer o rechupe secundário em lingotes tipo *big-end-down* com o emprêgo de massalote exotérmico. Quanto ao teor de carbono, não tenho dados de aços abaixo de 0,40%.

D. Horta Machado (4) — Em «Aços Villares» estamos usando «cabeças quentes» com certa limitação baseada no tamanho do lingote e no tipo de aço que se funde. De maneira geral, damos preferência à utilização dessas «cabeças quentes» para aços altamente ligados. Chegámos à conclusão de que nos aços carbono não havia vantagem econômica na sua utilização, porque, fazendo-se um balanço financeiro, verificamos que o aço carbono financeiramente não as comportava. Entretanto, há uma certa vantagem, como o autor do trabalho demonstrou — embora eu discorde um pouco dos números — no emprêgo de «cabeças quentes», no caso de perdas de 23% no desbaste em lingote normal.

(1) Membro da ABM e na Presidência da Comissão; Doutor em Metalurgia; da Divisão de Metalurgia do IPT; São Paulo, SP.

(2) Membro da ABM e Químico Industrial; Diretor Técnico da BETA Industrial e Comercial S.A.; São Paulo, SP.

(3) Membro da ABM e Engenheiro da ACESITA; Acesita, MG.

(4) Membro da ABM e Engenheiro de Aços Villares S.A.; São Paulo, SP.

Acho isso muito exagerado; deveria ser, no máximo, 18%. Quanto ao material exotérmico, a economia deveria ser, talvez, de 15%. Mas, se computarmos a cabeça e mais o lingote, quer dizer, a quantidade que vai na cabeça, em relação à peça, esse aproveitamento é da ordem de 8%, mesmo utilizando-se material exotérmico de alto poder calorífico. De maneira que a cabeça exotérmica só é admissível para lingotes até 1 t, e para aços altamente ligáveis. Neste caso, reputo a vantagem financeira de 2 a 3%.

L. E. de Araújo — Queria lembrar que estamos encarando em nosso trabalho o emprêgo de massalotes exotérmicos principalmente em grandes lingotes. Naturalmente, não são aquêles aos quais o senhor está se referindo.

D. Horta Machado — Quero dizer que o senhor não poderia pôr uma camada de 30 mm para compensar tôda a radiação de calor num lingote, como na parte que o senhor indica em seu trabalho. Quanto maior o lingote, maior deveria ser o massalote exotérmico. Para compensar a perda de calor, que é rápida, pela lingoteira *mais o massalote*, é preciso calcular uma quantidade de material exotérmico para tudo isso. No caso de um lingote grande, não adianta pôr mais pó exotérmico, porque não chegaria a compensar a perda de calor.

L. E. de Araújo — Complementando a minha idéia, insisto em que lingotes, digamos de 8 t para cima, de aços acalmados e semi-acalmados, bem como em aços-liga, considero admissível corte do tópo da ordem de 23% e, às vêzes, até mais. Depende do critério seguido e da qualidade dos «blooms» que se vão aproveitar. Discordo também do Eng. Dalcy Machado quanto à quantidade de exotérmico. Não vamos discutir aqui radiação e produção de calor, mas quero dizer que na prática, mesmo nas nossas lingoteiras maiores, que são para lingotes de 15 t — temos documentação a respeito — nunca se empregou camada de exotérmico acima de 30 mm; esse exotérmico naturalmente envolve totalmente a cabeça quente, lados e tópo.

D. Horta Machado — Então existe rechupe secundário. Uma camada de exotérmico de 30 mm em lingotes de 15 t? O senhor não conseguirá calorificamente alimentar todo esse lingote à custa de uma cabecinha assim, a não ser que lhe adicione uma cabeça maior. Neste caso, perde-se o efeito do material exotérmico na compensação financeira. Portanto, é uma questão, digamos assim, de balanço térmico.

Existe uma certa limitação. Digamos, num lingote de 1.200 kg, o material exotérmico dá um certo resultado não só no desbaste como no rendimento e também na parte econômica. Acima desse peso, a coisa já não se torna interessante. Sou adepto de lingotes com cabeça exotérmica. Mas há limitações para o processo, tanto para lingotes pequenos como para os de alto porte.

C. Dias Brosch — Quais seriam essas limitações?

D. Horta Machado — No caso de lingotes pequenos, se vamos confeccionar cabeça exotérmica, isso vai demandar uma certa quantidade do material, que custa dinheiro. No vazamento, ganho um lingote. Mas, se fôr computar quanto gastei de material exotérmico, embora tenha tirado a vantagem de um lingote, no fim essa economia resulta perdida face ao gasto de material exotérmico. Por outro lado, no caso de lingotes grandes, é preciso uma determinada quantidade de aço na cabeça para alimentar esse lingote durante a sua confecção. Então, vai-se

diminuindo essa cabeça, mas é preciso introduzir material exotérmico numa quantidade tal que compense a perda de calor que essa cabeça tenha durante a sua solidificação. Portanto, chegar-se-á à conclusão de que aquilo que se gastou em material exotérmico não compensa em relação ao que se produziu.

L. Euler de Araújo — A essa conclusão ainda não chegamos. Dos resultados financeiros que são do nosso conhecimento, até hoje não conseguimos, com os massalotes exotérmicos, chegar a 1/3 do preço do aço ganho com o emprêgo desse material. Tenho dados suficientes. Demais, quanto aos preços, existe bastante diferença entre nossos preços e os do senhor. Os que temos aqui são os de fabricantes de massalotes exotérmicos; os do senhor são de fabricantes de aços finos.

C. Dias Brosch — Realmente há duas restrições, apontadas pelo Eng. Horta Machado. Há uma limitação do balanço econômico, o de se ganhar certa quantidade de aço em relação ao preço do material exotérmico gasto. E há uma limitação de ordem técnica, referente ao tamanho do lingote. É evidente que o material exotérmico colocado no tópo tem uma certa limitação. O Eng. Lívio de Araújo disse que ainda não foi alcançado esse limite e que até 15 t o processo é considerado útil, dando bons resultados. Teoricamente, porém, acho que deve existir uma limitação técnica, ligada ao tamanho do lingote.

J. Vecchiati ⁽⁵⁾ — Dado o interesse do tema, desejaria apenas sugerir que os Engs. Lívio de Araújo e Dalcy Machado estudassem bem o assunto e, no próximo Congresso, trouxessem mais dados para um perfeito esclarecimento do problema.

C. D. Brosch — A sugestão é interessante; será lembrada aos responsáveis pela organização do próximo Congresso.

A. P. de Pádua Neto — Apenas queria perguntar ao Eng. Dalcy Machado qual o tipo de lingoteira utilizada nos aços de alta liga.

D. Horta Machado — Atualmente estamos usando lingotes de 100 kg, redondos, com mais ou menos 800 mm de altura e 160 mm de diâmetro médio, de pequena conicidade. São lingotes pequenos, como se vê. Entretanto, estamos produzindo também lingotes maiores, de 700 kg, redondos e quadrados. São lingotes *big-end-up*. O rendimento é de 8 a 10% de cortes, sem computar a parte financeira; só a parte de custo.

A. Anacleto de Queiroz ⁽⁶⁾ — Já existe alguma firma usando normalmente essas placas exotérmicas?

L. Euler de Araújo — Tenho conhecimento de várias firmas empregando massalotes exotérmicos, em fase experimental ou já em fase intensiva. Segundo as experiências que são do meu conhecimento, estão sendo empregados em lingotes vazados por baixo, em número de 4, de 8 e de 16 por canal. Existem também lingotes vazados por cima individualmente. A prática da realimentação tem sido desencorajada por dificuldades técnicas. Vi, por exemplo, realimentação de lingotes com cabeças exotérmicas, como é feito nos Estados Unidos; mas são lingotes de grandes proporções, e isso porque o efeito coquilhante da

(5) Membro da ABM e Engenheiro Metalurgista; São Paulo, SP.

(6) Membro da ABM e Engenheiro da CSBM; Monlevade, MG.

lingoteira não se fazia sentir tão rapidamente; então conseguia-se vaziar mais um lingote antes de ser feita a realimentação e cobertura com pó exotérmico. Mas não é indicado realimentar depois da cobertura feita com pó exotérmico.

C. Dias Brosch — O autor faz referência ao transporte de 30.000 massalotes exotérmicos para Minas Gerais. Queria saber qual a firma que os usou.

E. Euler de Araújo — Mais de uma firma. Não estou autorizado a mencioná-las. Algumas usam-nos sistematicamente; outras, experimentalmente.

C. Dias Brosch — A Mannesmann está usando massalotes exotérmicos?

Fritz Gnoth (7) — Realmente, estamos usando. Estamos montando agora essas «cabeças» e aguardando os resultados das observações sobre o seu emprêgo em escala industrial.

(7) Membro da ABM e Engenheiro da CSM; Belo Horizonte — MG.