

ELABORAÇÃO DE AÇOS COM ALTO TEOR DE CARBONO NA ACIARIA LD DA CSBM (1)R E S U M O

São apresentados os resultados obtidos na fabricação de aços com alto teor de carbono utilizando a técnica de recarburação e interrupção do sopro na faixa de carbono visada (Catch-Carbon) .

As vantagens e desvantagens do emprego de duas escórias são discutidas principalmente no que se refere à desfosforação, rendimento metálico e tempo de execução das corridas .

Autores.: Sílvia Rabelo M. Vieira (2)
Roosevelt M. de Miranda (3)
Emerson Duarte de Faria (4)
João Baptista Romão (5)

-
- 1 - Contribuição técnica Simpósio COAÇO-COREF .
 - 2 - Membro da ABM - Chefe do Departamento de Aciarias da C.S.B.M.
 - 3 - Membro da ABM - Chefe do setor aciaria LD da C.S.B.M.
 - 4 - Membro da ABM - Assistente Técnico da aciaria LD da C.S.B.M.
 - 5 - Membro da ABM - Auxiliar Técnico da aciaria LD da C.S.B.M.

1 - INTRODUÇÃO

A aciaria da C.S.B.M. de João Monlevade é composta de 2 convertedores LD e 4 fornos Siemens-Martin . Pelas características próprias de cada processo, a aciaria LD produzia os aços com baixo teor de carbono (BTC) efervescentes, semi-acalmados e acalmados, enquanto a aciaria SM produzia toda a linha de alto teor de carbono (ATC) .

Como a crescente demanda ultrapassou a capacidade de produção de ATC nos fornos SM, grande parte da programação deste tipo de aço passou para a LD .

Para a fabricação de aços com alto teor de carbono em convertedores a oxigênio, podem ser adotadas 3 técnicas :

- eliminação do carbono a teores mínimos e posterior recarburação até ao teor desejado desse elemento no aço
- interrupção do refino com o teor de carbono desejado no aço (catch-carbon) utilizando uma escória
- interrupção do sopro com catch-carbon duplo e duas escórias .

Inicialmente estes aços eram elaborados da maneira mais simples, isto é, soprando até um teor de carbono igual a 0,080 % e recarburando com coque de petróleo e/ou carbureto de silício .

Posteriormente, devido principalmente às exigências cada vez maiores na qualidade para determinados tipos de aço, passou-se a produzir aços ATC com a técnica do catch-carbon simples e catch-carbon duplo .

2 - CORRIDAS COM RECARBURAÇÃO

As corridas ATC elaboradas na aciaria LD eram aquelas destinadas a aços com exigências normais de controle superficial e interno.

A técnica utilizada para a obtenção destes tipos de aço é a de recarburação na panela, com a qual é possível elaborar aços com teores de carbono que atingem até 0,80 % .

2.1 - Sopragem

A sopragem em nada difere das corridas normais . A adição de cal é feita visando-se a basicidade de 3 . A grande vantagem do processo é que o balanço térmico proporciona um maior enforramento de sucata .

2.2 - Condições de fim de sopro

A corrida é soprada até que se atinja 0,080 % de carbono, para da esta feita pela chama . O baixo teor de carbono no final da sopragem assegura baixos teores de fósforo , observadas as normas de adição de cal, distância lança ao banho, etc .

A temperatura de vazamento deve ser tal que permita uma faixa de 1 530 a 1560 °C na panela . As eventuais necessidades de ressoprar ou resfriar as corridas não implicam numa reprogramação do tipo de aço .

2.3 - Adições corretivas e desoxidantes

O acerto da análise química depende principalmente do método e da ordem das adições na panela .

No quadro nº 1 damos a especificação química de um dos tipos de aço mais comumente elaborado pelo processo de recarburização em nossa aciaria .

ELEMENTOS	S (max.)	C	Mn	Si	P (max.)
CONCENTRAÇÃO (%)	0,030	0,670 a 0,750	0,600 a 0,900	0,150 a 0,300	0,030

Quadro 1 - Especificação química de um aço recarburado .

O quadro nº 2 apresenta o resultado de análise química média de fim de sopro e da panela .

DISCRIMINAÇÃO	ELEMENTOS ANALISADOS				
	S	C	Mn	Si	P
Fim de sopro	0,013	0,089	0,178	-	0,014
Panela	0,024	0,695	0,738	0,254	0,022

Quadro 2 - Análise química média de fim de sopro e da panela .

Os valores médios de adição na panela, assim como os rendimentos verificados são mostrados no quadro nº 3 .

DISCRIMINAÇÃO	VALORES
Coque de petróleo (95 % C)	252,6
Carbureto de silício (28 % C e 65 % Si)	130,0
Fe Si Mn (1.5 % C, 68 % Mn e 15 % Si)	373,3
Alumínio	30
Rendimento do carbono	90,58
Rendimento do manganês	92,65

Quadro nº 3 - Valores médios de adição na panela e rendimentos .

Método de adição

De um modo geral, os desoxidantes mais fracos são adicionados em primeiro lugar . No caso de corridas recarburadas de alto teor de carbono, damos prioridade para os materiais que têm maior poder recarburante , ou seja, fazemos em primeiro lugar as adições portadoras de maior teor de carbono . Deste modo as adições na panela são efetuadas na seguinte ordem :

- 1 - coque de petróleo
- 2 - carbureto de silício
- 3 - ferro silício manganês
- 4 - alumínio

O procedimento adotado nesta operação visa aumentar o rendimento da recarburação . Isto se explica pelo fato de que um aço oxidado se movimenta mais na panela, que um outro desoxidado . Então, o oxigênio presente funciona como um agitador na panela, promovendo uma renovação na superfície de contato aço-recarburante

burante . Note-se que o uso de insulflação de gases neutros (barbotage) no aço durante o vazamento permite alterar a ordem das adições na panela, pois a movimentação neste caso é conseguida independentemente da oxidação do metal .

As demais adições (FeSiMn e Al) devem ser efetuadas no momento exato em que se observar a completa incorporação dos recarburantes no aço . É interessante observar que o atraso destas adições compromete o bom rendimento dos recarburantes .

3 - CORRIDAS COM UMA ESCÓRIA E CATCH-CARBON SIMPLES

O regime de escórias adotado para a elaboração dos aços com alto teor de carbono nos conversores a oxigênio pode ser determinado pelo teor de fósforo exigido no aço a ser fabricado. Conforme a especificação visada para o teor de fósforo no aço, o regime adotado pode ser o de uma escória.

Com experiências efetuadas em nossa aciaria constatamos a inviabilidade do processo para aços com teor de fósforo abaixo de 0,030%. Utilizamos o regime de sopro com uma escória para aços tipo SAE, e outros de nomenclatura interna que requeiram um nível de melhor qualidade com o teor de fósforo na faixa de 0,040 máximo.

No quadro nº 4 damos as especificações químicas de dois tipos de aço elaborados na aciaria LD, utilizando o regime de escória em questão.

TIPOS DE AÇO	COMPOSIÇÃO QUÍMICA %				
	S (max)	C	Mn	P (max)	Si
1070	0,050	0,650	0,600	0,040	0,150
		~ 0,750	0,900		0,300
BC-80	0,050	0,700	0,40	0,060	0,150
		0,840	0,80		0,300

Quadro nº 4 - Composição química dos aços SAE 1070 e BC-80.

3.1 - Desenvolvimento do processo

Em princípio o processo consiste em se fazer o equilíbrio térmico de modo que se possa enforar o máximo de sucata . Devido à parada do carbono mais alta a proporção de sucata diminui aproximadamente em 4 % .

O consumo de oxigênio necessário para a corrida é previamente calculado e logo em seguida inicia-se o sopro ,

- Sopragem

A basicidade objetivada é de 3,5 . Toda a cal é adicionada logo no início do sopro . A vazão de oxigênio, $120 \text{ Nm}^2 / \text{min}$ é constante . A fluorita é adicionada parceladamente de acordo com a formação da escória, determinada pela prática do soprador em observar as projeções de aço, assim como pelo ruído característico do estado físico da escória . O peso de fluorita não deve ultrapassar a 100 Kg/t de cal .

A altura da lança deve ficar 200 mm acima da tabela desde o início, até que se atinja 80 % do volume de oxigênio, quando então é levantada 800 mm acima do normal .

- Resultados obtidos

Damos no quadro nº 5 os resultados médios obtidos no fim de sopro em corridas SAE 1070 e BC-80 .

ELEMENTOS	S	C	Mn	P
CONCENTRAÇÃO %	0,016	0,648	0,305	0,032

Quadro nº 5 - Resultados de fim de sopro em corridas SAE 1070 e BC-80 .

Os dados médios verificados na elaboração de aços utilizando o regime de uma escória são apresentados no anexo 1 .

4 - CORRIDAS COM DUAS ESCÓRIAS E DUPLO CATCH-CARBON

A grande experiência obtida em elaboração de corridas com alto teor de carbono com o regime de uma escória, em muito contribuiu para a fabricação de aços de especificações rigorosas, quer em análise química como metalográfica .

Antes de entrarmos em detalhes com referência ao assunto, julgamos interessante considerar certas limitações e convenções de nossa área de trabalho apresentadas no anexo 2 . Tratam-se de valores em operação normal .

4.1 - Descrição do processo

Os preparativos para as corridas com duas escórias inicia-se na corrida anterior, na qual a escória rica em FeO e CaO livre é retida no convertedor após o vazamento do aço .

Adiciona-se coque de petróleo no convertedor para reduzir o FeO da escória antes do carregamento . Normalmente o processo de duas escórias não oferece condições de enforamento de sucata . Deste modo, a carga é constituída somente de 45 t de gusa líquido .

A sopragem é dividida em duas fases distintas :

- Primeira Fase

Antes do início da sopragem, o consumo de oxigênio a ser soprado é calculado objetivando 1.00 % de carbono, pela expressão :

$$\text{CONS. O}_2 = (\text{CONS. ESP} - 12,6) \text{ G.L.} - (0,21 \text{ MIN})$$

Onde :

CONS. O_2 = Consumo total de oxigênio a ser soprado .

CONS. ESP. = Consumo específico de oxigênio calculado em corridas anteriores para carbono de fim de sopro de 0,080 .

G.L. = Gusa líquido carregado .

12,6 = Constante para correção do teor de carbono de fim de sopro .

0,21 MIM = Oxigênio estequiométrico contido no minério de ferro .

A adição necessária de minério de ferro para se obter 1610°C é previamente calculada .

A vazão inicial do oxigênio na primeira fase é a máxima possível .

Parte da cal necessária para se obter uma basicidade final de 4,0 é adicionada logo no início de sopro juntamente com o minério de ferro e a fluorita . A baixa temperatura do banho, a grande quantidade de óxidos formados nos primeiros estágios do sopro e o grande volume de escória rica em CaO livre proporciona uma alta desfosforação . Aos 6 a 7 minutos de sopro, período em que a velocidade de decarburação tende a acelerar, provocando reações violentas e secagem da escória, a vazão do oxigênio é reduzida . A sopragem torna-se bastante calma . As eventuais projeções de escória são evitadas por meio de adições parceladas de cal . A adição da fluorita é

completada quando se atinge a 80 % do volume de oxigênio , momento em que se modifica a distância da lança ao banho . No mesmo instante, aumenta-se a vazão do oxigênio . Interrompe-se a operação quando se atinge o total de oxigênio necessário . Na figura nº 1 damos os parâmetros da operação de sopragem na 1ª fase .

A escória normalmente fluída é então parcialmente vazada . A operação é facilitada pelo alto teor de carbono existente no aço, e pelo estado físico da escória . Enquanto isto é feito, faz-se a amostragem do metal, da escória e toma-se a temperatura do aço líquido .

Após o vazamento da escória, faz-se nova amostragem do aço líquido e tomada da temperatura . O quadro nº 6 apresenta os valores médios obtidos durante e após o vazamento da escória. (Anexo 3) .

- Segunda Fase

Conforme o teor de carbono existente no aço após a execução da primeira fase, calcula-se o consumo de oxigênio para a segunda fase pela expressão :

$$\text{CONS. O}_2 = (C_i - c_f) \times 382,5$$

Onde :

CONS. O₂ = Consumo de oxigênio a ser soprado na 2ª fase

C_i = Teor de carbono na primeira fase

c_f = Carbono objetivado no fim de sopro da segunda fase

382,5 = Constante para a reação do carbono em CO numa carga de 41 t .

- Sopragem da segunda fase

Na segunda fase a sopragem é feita com a vazão do oxigênio a $80 \text{ Nm}^3 \text{ min}$. A altura da lança é suspensa 200 mm acima da tabela, para corridas normais .

A adição de 600 Kg de cal e 150 Kg de fluorita é feita o mais rápido possível .

A escória remanescente da primeira fase, a fluorita e a baixa vazão do oxigênio, asseguram a fluidez da escória .

O sopro é interrompido quando se atinge o total de oxigênio calculado .

- Determinação do teor de carbono

A determinação rápida do teor do carbono presente no banho, no caso do uso da técnica catch-carbon simples ou duplo é fundamental para o sucesso da corrida .

Esta determinação era feita por análise térmica, método cuja precisão é afetada por inúmeros fatores, principalmente por aqueles relacionados ao fator humano . Uma amostra mal desoxidada ou vertida de maneira incorreta , provoca um resultado incorreto, diferente do valor real de carbono no metal . Aliado a este fator, a presença de outros elementos químicos no aço amostrado influi significativamente no resultado . Estes problemas comprometem sobremaneira o acerto de corridas .

Ciente do problema foi proposta a troca deste método pelo de fusão cuja análise oferece resultados mais significativos do real teor de carbono do banho .

4.2 - Vazamento do aço

Após verificação e acerto do carbono e da temperatura, a corrida é vazada. Para impedir a passagem de escória para a panela, o furo de corridas é obstruído por uma rolha de madeira. As adições de corretivos e desoxidantes são feitas logo no início do vazamento, momento em que se inicia a insuflação lateral do argônio com a pressão inicial de 2,0 Kg/cm

Conforme a movimentação do metal líquido na panela regula-se a pressão do gás.

Para impedir a queda de escória na panela, no fim do vazamento, introduz-se o obturador (TAP-HOLE) no furo de corridas, sendo este, de densidade intermediária entre o aço e a escória.

Após o vazamento, faz-se uma nova amostragem do metal na panela para checagem do teor de carbono. A eventual necessidade de correção deste elemento é feita mediante adição de coque de petróleo no "olho" provocado e mantido aberto pela insuflação lateral de argônio o que possibilita o arraste e homogeneização deste material no aço.

Usa-se também a insuflação de gás neutro para o controle da temperatura do aço na panela.

Feitas as necessárias correções, protege-se a superfície do aço e a corrida é então enviada ao lingotamento.

O tempo médio por corrida é de 45 minutos.

5 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS TRES TÉCNICAS

Damos no quadro nº 7 as principais vantagens e desvantagens nas técnicas de elaboração de aços ATC no convertedor LD.

Dados operacionais médios obtidos em corridas com uma escória .

DISCRIMINAÇÃO	VALORES
Gusa líquido (Kg/t)	986,5
Sucata em geral (Kg/t)	115,5
Cal virgem (Kg/t)	59,5
Fluorita (Kg/t)	6,0
Consumo de O ₂ (Nm ³ t gusa)	43,72
Tempo de sopro (min)	15
Tempo total de corrida (min)	31
Enxofre do gusa %	0,022
Silício do gusa %	0,420
Fósforo do gusa %	0,152
Manganês do gusa	0,550
CaO da escória %	48,90
Si O ₂ da escória %	13,20
Fe O da escória %	20,50
Temperatura de fim de sopro	1 608
Temperatura na panela	1 538
Rendimento metálico %	90,76
Taxa de recarburação máxima %	15,43

ANEXO 1

Dados gerais de operação

DISCRIMINAÇÃO	VALORES
Gusa líquido Kg/t	900
Sucata em geral Kg/t	212
Vazão de oxigênio (Nm ³ /min)	140
Pressão de oxigênio (Kg/cm ²)	11
Distância lança/banho (min)	1 000 / 1 300
Altura do banho metálico (min)	1 400 / 900
Altura do convertedor (min)	5 950
Diâmetro do convertedor (novo) (min)	2 570
Volume do convertedor (m ³)	28,12
Tempo de sopro (min)	17
Tempo de corrida (min)	30
Rendimento metálico (%)	90,00

ANEXO 2

INSTANTE DA AMOSTRAGEM	DISCRIMINAÇÃO										TEMPERATURA ° C
	AÇO				ESCÓRIA						
	C	Mn	P	S	CaO	SiO ₂	P ₂ O ₅	FeO	MnO	MgO	
Durante o vazamento da escória	1,090	0,252	0,034	0,016	51,0	10,0	2,9	24,3	3,5	3,2	1 596
Após o vazamento da escória	1,010	0,265	0,036	0,016	751,0	10,0	2,8	18,7	3,1	3,5	1 588

Quadro nº 6 - Valores médios de análise química obtidos durante e após o vazamento da escória .

<p>TÉCNICA</p> <p>VANTAGENS E DESVANTAGENS</p>	<p>RECARBURAÇÃO</p> <p>1</p>	<p>CATCH-CARBON SIMPLES</p> <p>(1 escória)</p> <p>2</p>	<p>CATCH-CARBON DUPLO</p> <p>(2 escórias)</p> <p>3</p>
<p>VANTAGENS</p>	<ul style="list-style-type: none"> - permite maior enfor<u>n</u>amento de sucata - mais simples do ponto de vista de execução 	<ul style="list-style-type: none"> - permite a produção de aços com exigências de qualidade 	<ul style="list-style-type: none"> - indicada para produção de aços com baixo teor de fósforo - permite a produção de aços com exigências de qualidade interna
<p>DESVANTAGENS</p>	<ul style="list-style-type: none"> - não é indicado para aços com exigências de qualidade interna - maior consumo de Fe - ligas e desoxidantes 	<ul style="list-style-type: none"> - enforramento de sucata menor que 1 - não indicado para aços com teor de fósforo baixo - exige controle de operação maior que em 1 - exige um analisador rápido do carbono 	<ul style="list-style-type: none"> - enforramento de sucata mais restrito que em 2 - mais complexo do ponto de vista de execução - tempo de execução maior e conseqüentemente uma técnica mais cara - desejável uma estação de barbotage - maior consumo de cal e fluorita

Quadro nº 7 - Vantagens e desvantagens dos 3 regimes .

B I B L I O G R A F I A

- 1 - H. Voll, D. Ramelot - Fast Determination of Decarburization Rate by Fumes Temperature Measurement. C.R.M nº 33
Pág. 11 a 19

- 2 - Mr. M.D. Ward e M. Harington - Production of special and High carbon Steels from 0,3% Phosforus Hot Metal at APPLEBY - FRODINGHAM.
7th International BOT Working meeting
1975.

- 3 - S. Mitsushima et all - Production of High Carbon Quality Steel for Special Use.
7th International BOT Working meeting - 1975

- 4 - Jiri Skala - Present Methods for manufacture of Oxigen Converter Steel With Medium and Higher Carbon Content.
A.D.M.N./TRANS. - 1972

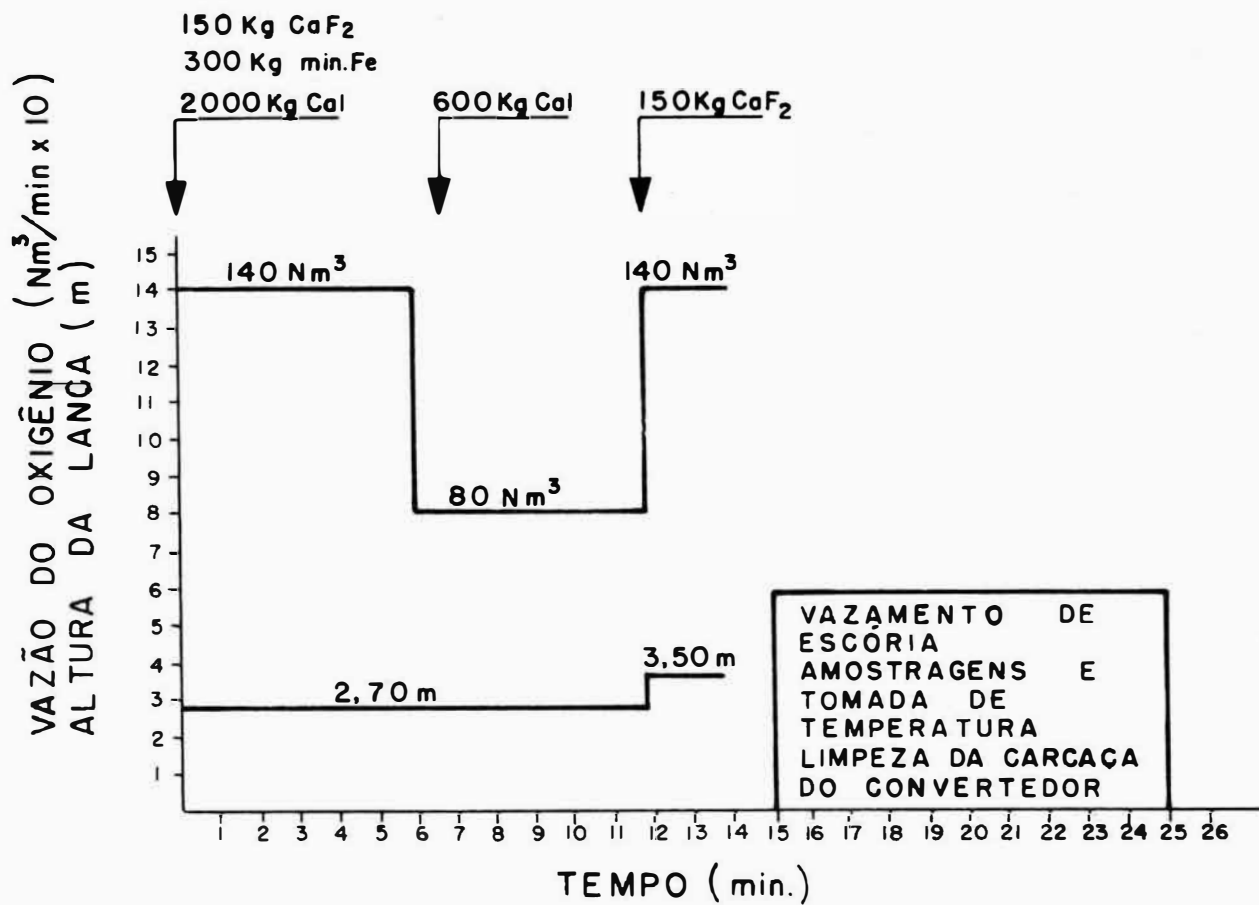


Fig. 1 - Parâmetros da operação na primeira fase.

