

PRODUÇÃO DE AÇOS INOXIDÁVEIS DE USINABILIDADE FACILITADA VIA LINGOTAMENTO CONTÍNUO

Marco A. Rezende (1)
Almir Murari (2)
Bruno P. Ramos (3)
Norival F. Andrade (4)
Egberto A. Possente (5)
José A. B. Barbosa (6)

Os aços inoxidáveis austeníticos eram produzidos no lingotamento contínuo da planta da Villares Metals em Sumaré desde o seu start-up através de um processo de tratamento ao cálcio que garantia uma boa lingotabilidade, porém proporcionava uma propriedade final ao produto não otimizada com relação ao desempenho de usinabilidade nos clientes.

Com o objetivo de se melhorar tal característica objetivou-se introduzir no produto teores de cálcio residuais entre 20 e 30ppm . Para atender a essa mudança de requisito a Villares Metals necessitou melhorar a lingotabilidade desses aços na presença desses teores de Ca e nesse sentido o padrão de processamento de elaboração desses aços tanto nos equipamentos de descarburização à vácuo, forno panela e no lingotamento contínuo foram revistos e otimizados. Foram introduzidas mudanças nos refratários de lingotamento e nos padrões de desoxidação utilizados.

Os resultados encontrados foram a melhoria da reprodutibilidade do processo de produção desses aços na máquina de lingotamento contínuo através da minimização da ocorrência de instabilidades no controle de nível de aço no molde que estavam associadas ou ao desgaste do conjunto refratário ponta do tampão-colo da válvula ou à obstrução da válvula submersa durante o lingotamento.

Palavras Chave: lingotamento contínuo, aços inoxidáveis, usinabilidade.

Trabalho a ser apresentado no XXXV Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais da ABM, a ser realizado em Salvador , de 17 a 19 de Maio de 2004.

- (1) . Gerente de Aciaria e Processos Especiais da Villares Metals - Sidenor
- (2) . Supervisor Técnico de Processos de Aciaria da Villares Metals - Sidenor
- (3) . Engenheiro de Processos da Aciaria da Villares Metals – Sidenor – Engenheiro de Qualidade CQE/ASQ
- (4) . Supervisor Operacional do Lingotamento Contínuo da Villares Metals - Sidenor
- (5) . Assistente Técnico de Processos da Aciaria da Villares Metals - Sidenor.
- (6) . Supervisor Técnico da Aciaria da Villares Metals - Sidenor

1.Introdução

No lingotamento contínuo de billets de pequenas seções o controle de fluxo de aço do distribuidor para o molde é um parâmetro de extrema importância para garantir a qualidade final do produto. Em máquinas de aços especiais normalmente esse controle é realizado através do uso de conjunto de refratários em um sistema constituído de 2 peças refratárias denominadas tampão e válvula submersa que controlam o fluxo de aço pelo contato entre a ponta do tampão e o colo da válvula . O resultado desse controle é a obtenção de um nível de aço no molde com variações de posição menores que 3 %. Essa característica é o que comumente é denominado lingotabilidade da corrida no lingotamento contínuo.

Perturbações na região da ponta do tampão ou colo da válvula submersa podem comprometer significativamente a lingotabilidade das corridas , isto é, promover variações de posição do aço dentro do molde maiores que o padrão e conseqüentemente deteriorar a qualidade interna e superficial do billet produzido.

Essas perturbações podem ter inúmeras fontes , dentre elas, as mais comuns são, a erosão/corrosão do conjunto refratário tampão-válvula e o acúmulo de partículas não metálicas na região de contato entre válvula-tampão ou no próprio interior da válvula submersa. Um dos mecanismos que podem promover a erosão/corrosão do conjunto tampão-válvula é a presença de teores de cálcio nos aços acima de 20ppm que podem reagir com alguns dos componentes desses refratários promovendo o arraste do produto da reação junto com o fluxo de aço deteriorando os refratários da ponta do tampão e colo da válvula submersa. A necessidade de se obter teores de Ca acima de 20ppm nos aços inoxidáveis advém do fato de estes níveis de teores melhoram significativamente a usinabilidade dos produtos em uso.

Esse trabalho mostrará de uma maneira sucinta as contramedidas que a Aciaria da Villares Metals tomou para minimizar a ocorrência desse mecanismo de desgaste na produção dos aços inoxidáveis austeníticos através de otimizações de processo na fase de elaboração do aço líquido e de refratários no lingotamento contínuo.

2. Aspectos Teóricos.

2.1 Usinabilidade dos aços Inoxidáveis

É bastante conhecido o fato de que os aços inoxidáveis austeníticos apresentam dificuldades nas operações de usinagem quando comparados aos aços de construção mecânica comuns. Essa característica está relacionada a algumas propriedades intrínsecas desses aços que são: alta taxa de encruamento bem como baixa condutividade térmica.

Desse modo durante as operações de usinagem desses aços tem-se como resultado um baixo fluxo de calor na ponta da ferramenta que proporciona a sua rápida deterioração , piorando de forma substancial o acabamento superficial da peça e ainda obrigando o uso de baixas velocidades de corte levando a um baixo nível de produtividade.

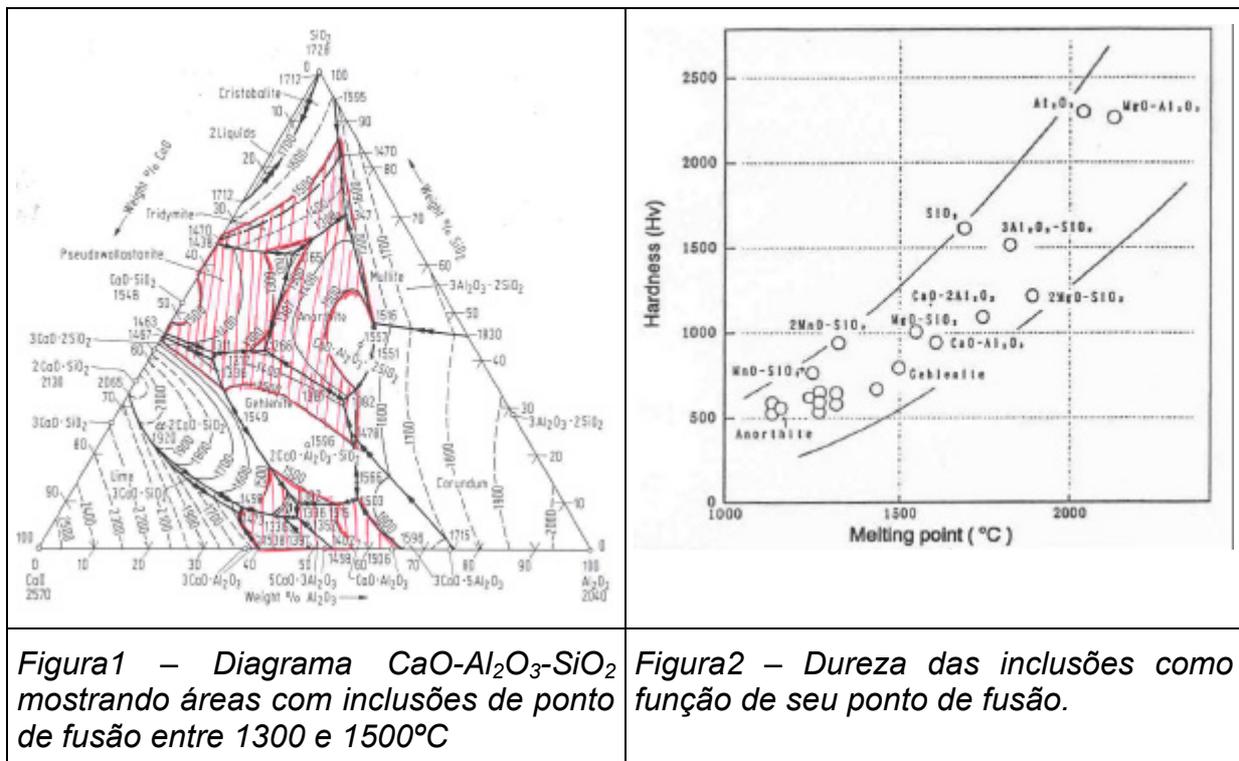
Uma das contramedidas amplamente utilizadas para se aumentar a usinabilidade desses aços é a adição de alguns elementos químicos durante a etapa de elaboração do aço líquido , tais como enxofre, cálcio, chumbo, telúrio e selênio que vão alterar o tipo e a morfologia das inclusões não metálicas presentes no aço de tal

forma que após esse tratamento as inclusões resultantes terão características específicas como : redução da quantidade das inclusões duras e abrasivas de alumina e sílica e a sua transformação em inclusões de baixo ponto de fusão e inclusões de sulfetos que apresentam também baixo ponto de fusão e alta deformabilidade.

Dessa maneira esses óxidos presentes no material durante as operações de usinagem formarão um filme lubrificante sobre a aresta de corte , devido às altas temperaturas desenvolvidas (1000°C a 1250°C) – especialmente com ferramentas de metal duro – que favorecerão a quebra dos cavacos e a minimização do desgaste da ferramenta.

Dos elementos citados, os mais comuns que são adicionados com a finalidade de melhorar a usinabilidade são o enxofre e o cálcio. O enxofre forma preferencialmente sulfeto de manganês (MnS) que possui baixo ponto de fusão (1610°C) e alta deformabilidade. O cálcio transforma as inclusões de aluminossilicatos de alto ponto de fusão e abrasivas para inclusões maleáveis e de baixo ponto de fusão mostradas na região hachurada do diagrama ternário Al_2O_3 -CaO-SiO₂ da figura 1.

Na figura 2 é mostrado um gráfico que mostra alguns tipos de inclusões presentes nos aços e a inter-relação entre o seu ponto de fusão e sua dureza onde fica claro que as inclusões localizadas na porção superior direita do gráfico podem prejudicar consideravelmente a operação de usinabilidade e portanto devem ser evitadas.



2.2 Mecanismos de erosão/corrosão do conjunto tampão-válvula

Os refratários utilizados na ponta do tampão e colo da válvula submersa para lingotamento de billets são normalmente do tipo alumina-grafitada ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$) ou magnésia-grafitada (MgO-C).

Estudos realizados em uma usina na Europa [5] foi descrito um mecanismo de erosão com base em observações da camada superficial desgastada da ponta de tampão de composição $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$. Verificou-se que na porção reagida do material de extensão de cerca de 800 μm o carbono do refratário havia desaparecido e além disso observou-se penetração de aço e grãos de alumina dissociados enriquecidos por cálcio dispersos em uma fase vítrea de baixo ponto de fusão. Assim o mecanismo proposto foi:

1º - Ocorrência de uma descarburização antecipada dos terminais do refratário que levam a um aumento do tamanho médio dos poros e conseqüentemente a infiltração de aço.

2º - O aumento do contato entre o aço e o refratário favorece a reação entre o cálcio e o oxigênio presentes no aço com as impurezas e a própria alumina do refratário formando novas fases de óxido líquido que enfraquecem a estrutura do refratário.

3º - Os grãos de alumina são dissociados pelo cálcio

4º - O refratário enfraquecido fica altamente susceptível à erosão pelo fluxo de aço líquido ficando com baixa resistência mecânica resultando na erosão/corrosão do refratário.

Para se minimizar esse efeito é amplamente utilizado nas regiões da ponta do tampão e colo da válvula submersa refratários a base de magnésia-grafite no lugar da alumina-grafite. A magnésia (p.f 2850°C) é preferível em relação à alumina (p.f. 2050° C) por ser uma material mais refratário e exibir maior resistência química ao ambiente do aço líquido.

Apesar da magnésia grafitada apresentar notadamente maior resistência à erosão comparado ao material de alumina especialmente nos aços inoxidáveis com tratamento ao cálcio ainda é observado que em algumas condições mesmo o refratário de MgO-C apresentam erosões acentuadas durante o lingotamento. Não foi encontrado na literatura mecanismos que descrevem tais eventos , porém especialistas em refratários acreditam que existem dois mecanismos que podem explicar a erosão ocorrida nesses refratários:

A. Mecanismo semelhante ao desgaste da Al_2O_3 pelo Ca

- Na presença de teores de oxigênio elevados no aço, ocorre uma perda de carbono no refratário tendcom efeito o aumento dos poros no material.
- Ocorre infiltração de aço e reação do Ca e O do aço com impurezas do refratário, especialmente a SiO_2 produzindo composto de baixo ponto de fusão.
- O refratário perde gradativamente a sua resistência mecânica à medida que o lingotamento prossegue por erosão de caráter mecânico devido ao fluxo de aço até que em um determinado ponto o refratário se colapsa e perde totalmente a sua função de controle de fluxo de aço.

B. Mecanismo de formação de uma camada de passivação.

- Durante o lingotamento ocorre a formação de uma camada vítrea complexa entre compostos do aço e do refratário a base de $O+Mg+Si+SiO_2+Al+(CaO)_x.(Al_2O_3)_y$
- A reação $MgO_{(s)} + C_{(s)} = Mg_{(g)} + CO_{(g)}$ pode ser deslocada no sentido dos produtos na região da ponta do tampão devido ao abaixamento da pressão interna no interior da válvula submersa. A camada de vitrificação impede a saída dos gases mantendo o equilíbrio da reação.
- No caso dos inoxidáveis, pode-se formar nos poros do tampão/válvula de carbonetos de cromo que devido a baixa molhabilidade deste com o aço não permite a formação dessa camada vítrea e aí desse modo a reação pode ser deslocada fortemente para esquerda culminando como a erosão do MgO-C.

3.Características da Máquina da Villares Metals (VM)

A máquina de lingotamento contínuo da VM é uma máquina de um único veio que iniciou suas operações em 1995 e vem aumentando gradativamente a sua produção (figura 3) graças principalmente a otimizações de processo que permitiram a manutenção da produção desses aços no lingotamento contínuo evitando a necessidade de deslocamento desses produtos para o lingotamento convencional, fato que acarretaria em aumento dos custos de produção.

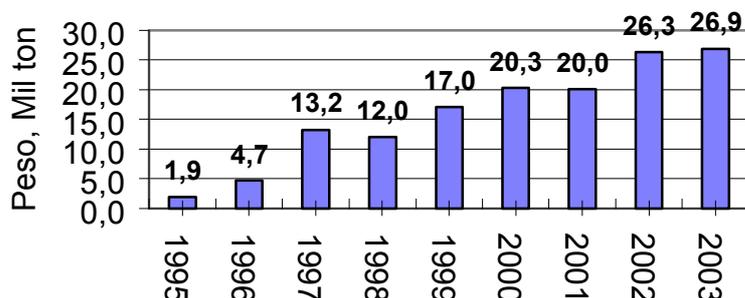


Figura 3 – Evolução da Produção anual da MLC da Villares Metals

Trata-se de uma máquina japonesa fabricada pela Mitsubishi Heavy Industries (MHI) e as suas principais características são:

Tabela 1 – Principais Características da MLC da Villares Metals	
Raio	10m
Seção	Qd 145mm
Controle de nível de aço no molde	Radioativo (Cs ¹³⁷) - Uso de tampão e válvula submersa
Agitador eletromagnético	Rotacional – molde e veio
Resfriamento secundário	Ar + H ₂ O com 3 zonas de resfriamento.

4.Principais Modificações e Resultados Obtidos.

A composição química dos aços inoxidáveis austeníticos envolvidos nesse trabalho são mostrados na tabela a seguir.

Aço	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Al
V304 XLUF	0,025	0,40	1,85	0,035	0,027	18,20	8,39	0,40	0,090	<0,010
V316 XLUF	0,025	0,45	1,80	0,035	0,027	16,70	10,20	2,10	0,060	<0,010

A rota de fabricação utilizada na aciaria para produção desses aços é a utilização de forno elétrico arco seguido do processo de VOD (vacuum oxygen decarburation) mais uma passagem no forno panela para acertos finais de composição química e liberação para o lingotamento contínuo.

A necessidade de se fixar teores maiores de Ca no aço líquido levou a Aciaria a readequar os refratários de lingotamento válvula e varão, mudando dos materiais a base Al_2O_3-C para os de $MgO-C$ (tabela 3) pois os materiais a base de Al_2O_3 tem alta afinidade com o Ca, fato que promove a erosão do conjunto refratário durante o uso.

Tipo	Al_2O_3	SiO_2	Si	C	Fe_2O_3	MgO	CaO	TiO_2	Na_2O	B_2O_3	ZrO_2
MgO-C	1,15	4,4	5,02	15,6	0,48	71,3	0,72	-	0,25	-	0,63
Al_2O_3-C	82,5	0,82	-	13,3	0,11	-				2,0	

A mudança nos refratários não foi suficiente para garantir a boa lingotabilidade das corridas pois o problema de erosão dos refratários ainda se manifestava levando a instabilidades no controle de nível com detrimento da qualidade interna / superficial e possibilidade de interrupção dos sequenciamentos.

As figuras 4 e 5 a seguir mostram respectivamente a região de desgaste ocorrida no conjunto tampão-válvula e o aspecto do registro do controle de nível que foi o efeito indesejável ocorrido devido à presença do desgaste.

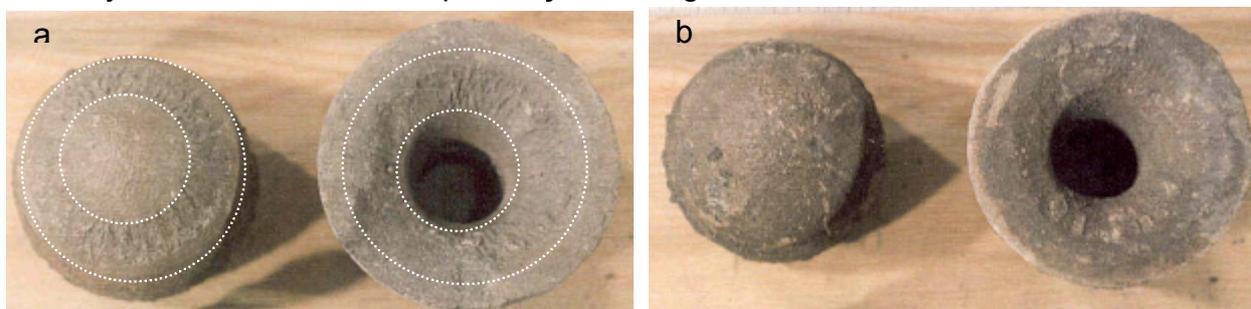


Figura 4a – Ponta do tampão Al_2O_3-C e colo da válvula submersa com sinais de desgaste. Figura 4b – Aspecto dos refratários utilizados sem sinal de desgaste.

Desse modo introduziu-se modificações no processo de desoxidação com o objetivo de se diminuir o oxigênio total através de uma mudança nos desoxidantes utilizados e na escória de trabalho na etapa de redução no VOD e ajustes finais no forno panela. Além disso essas mudanças contemplaram a necessidade de mudar a morfologia das inclusões de CaO/SiO_2 para inclusões do tipo $\text{CaO/Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ de tal forma a garantir a fixação do cálcio no aço e uma boa usinabilidade do produto final. Inicialmente essas mudanças levaram a um aumento de corridas com obstrução de válvula (clogging – figura 6) devido a formação de inclusões de alto ponto de fusão. Desse modo ajustes nas quantidades de redutores de escória e CaSi arame no final do processo foram realizados e puderam manter o processo dentro de uma janela estável de operação.

O diagrama da figura 7 mostra a composição final das escórias obtidas no processamento desses aços antes e depois das modificações .

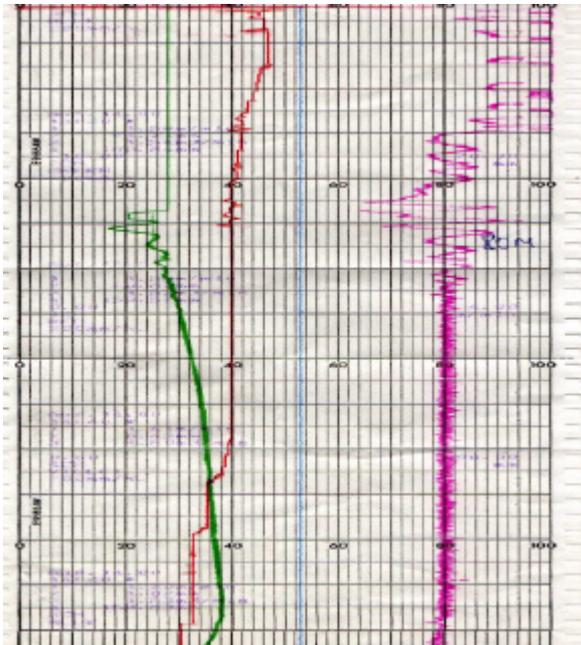


Figura 5 – Registro de um lingotamento com desgaste do tampão (linha verde) e com perda do controle automático de nível (linha rosa)

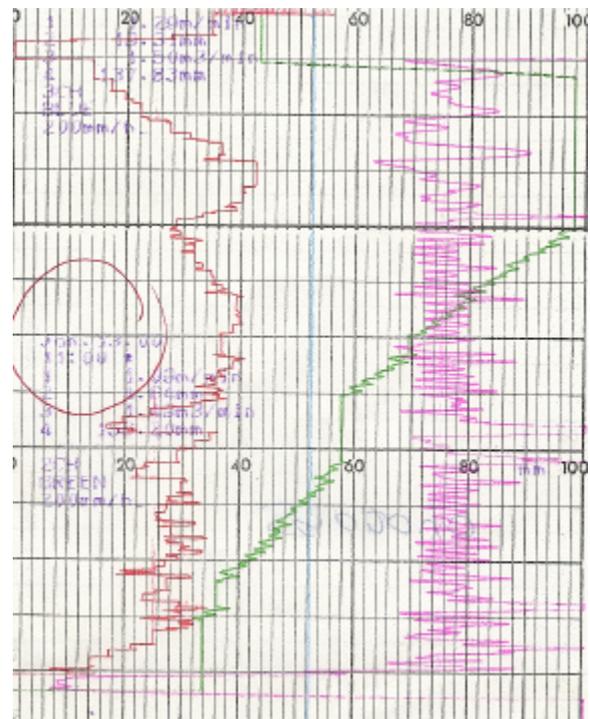


Figura 6 – Registro de um lingotamento com clogging .

Após a estabilização do processo conseguiu-se minimizar a ocorrência de erosão dos refratários e clogging durante o lingotamento (figura 8) observado pela ausência de variações de níveis acima do padrão e de uma posição estável do varão durante o lingotamento.

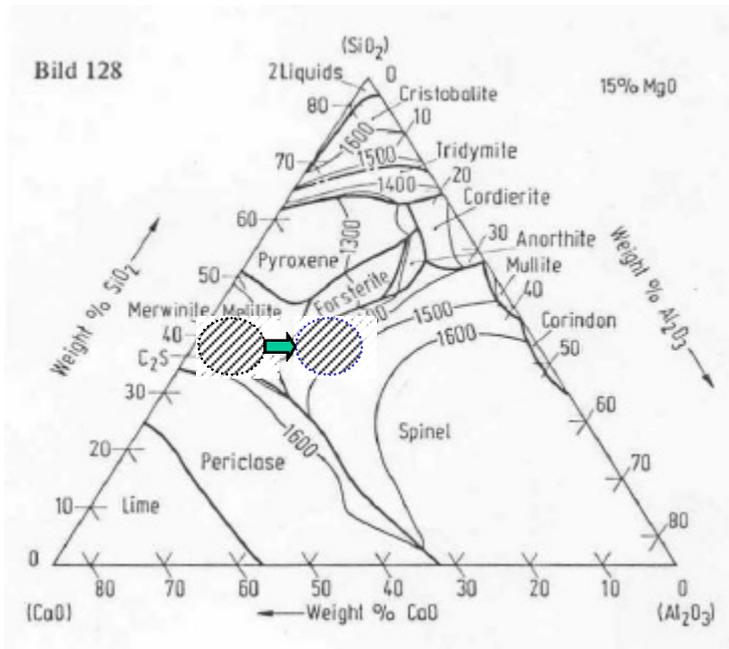


Figura 7 – Diagrama $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-MgO}$ mostrando a mudança realizada na composição química da escória.

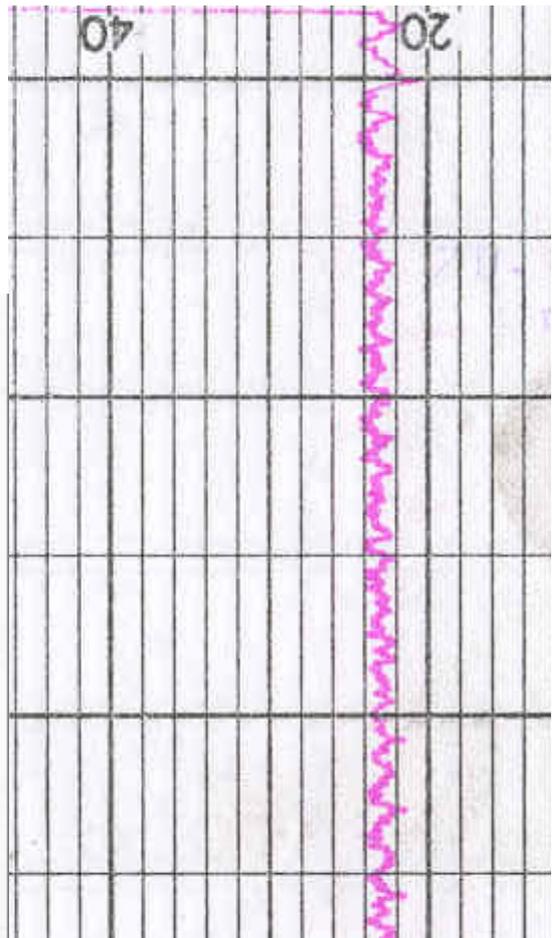


Figura 8 – Registro de um lingotamento após estabilização do processo sem ocorrência de clogging ou erosão dos refratários.

A estabilidade da operação do lingotamento contínuo foi acompanhada por uma diminuição dos teores médios de oxigênio total do aço fato que contribuiu com a minimização dos casos de erosão, bem como pelo aumento médio dos teores de cálcio presentes no aço que estão associados à presença de inclusões de baixo ponto de fusão que não obstruíram a válvula submersa durante o lingotamento e proporcionaram ótimos desempenhos com relação à usabilidade do produto final.

A figura 9 mostra a evolução desses teores ao longo de 2002 e 1º semestre de 2003. Além disso a estabilidade de operação no lingotamento contínuo pode contribuir no atendimento à demanda de produção que se fez necessária no período através do aumento do seqüencial médio das corridas conforme mostrado na figura 10 abaixo.

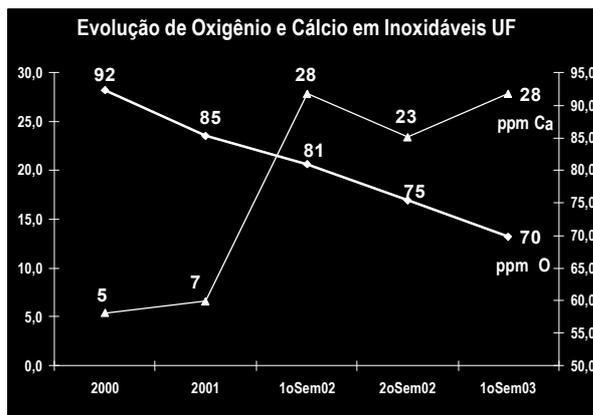


Figura 9 – Evolução dos teores de Cálcio e Oxigênio ao longo do período analisado.

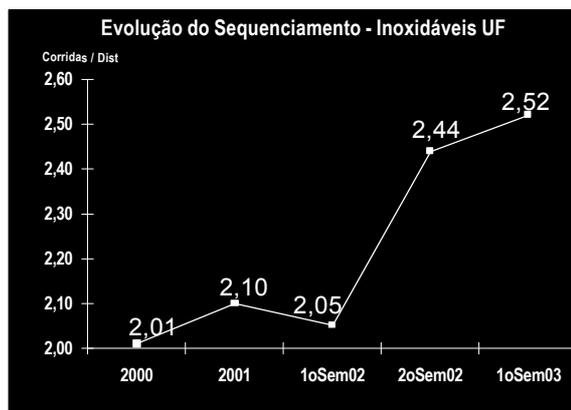


Figura 10 – Evolução do índice de sequenciamento médio dos inoxidáveis no período analisado.

5. Conclusões.

As adequações de processo promovidas na Aciaria da Villares Metals tanto nos refratários do lingotamento quanto na mudança de desoxidantes/escorificantes no processamento do aço líquido na etapa de VOD-FP promoveram a estabilização do processo com relação à minimização dos casos de erosão dos refratários e os casos de clogging na produção dos aços inoxidáveis de usinabilidade facilitada.

A estabilização do processo contribuiu fortemente no atendimento da demanda de produção do lingotamento contínuo no biênio 2002/2003 permitindo inclusive um aumento no seqüencial médio das corridas em cerca de 40%.

6. Referências Bibliográficas

- [1] – VERLAG STAHLSEISEN M.B.H. **Schlacknatlas / Slag Atlas**. Dusseldorf:1981.p.57
- [2] – KAWAHARA J.; TANABE K.; BANNO T.; YOSHIDA M. **Advance of Valve Spring Steel**, WIRE JOURNAL INTERNATIONAL ,1992, p.55-61.
- [3] – CICUTTI,C.E.; MADÍAS, J; GONZÁLEZ J.C., **Control of Microinclusions in Calcium Treated Aluminium Killed Steels** , Ironmaking and Steelmaking (1997), Vol24, N° 2, 155-159.
- [4] – HILTY, D.C.; FARRELL J.W., **Modification of Inclusions by Calcium** , Coletânea de Artigos do Curso – Inclusões: Conceitos Básicos e Prática Aplicados a sua Formação e Controle (1989), Profº. Jorge Finardi, Profª. Glória Moore Faulring.
- [5] – AUGÉARD J.M.; MOREL J.; HINE T., **Aperfeiçoamento dos refratários utilizados no lingotamento contínuo do aço**, (Tradução Lauro Chevrand) , XXIX Seminário de Fusão e Refino, 1998, 133-143

AUSTENITIC STAINLESS STEEL WITH IMPROVED MACHINABILITY PRODUCTION BY CONTINUOUS CASTING

ABSTRACT

Austenitic stainless steels have been produced in the continuous casting machine at Villares Metals plant in Sumaré since its start up using a process with calcium treatment that was good for castability purposes, but it was not optimized in the machinability performance for the final product.

In order to improve this characteristic it was decided to add calcium in the steel for the values between 20 and 30 ppm. In this new situation it was necessary to improve the castability of these Ca treated steels and standard practices in the VOD-LF and continuous casting process was reviewed and optimized. It was introduced modification in the deoxidation process and stopper-rod and nozzle seat refractories materials in the continuous casting.

The results was an improvement in the process reproductibility of these steel grades in the continuous casting machine due the minimization of the instability occurrence in the mould level control that was related with stopper-rod and nozzle seat refractories erosion or clogging during casting time.

Key Words – Continuous Casting , Stainless Steel , Machinability