

LATERAL ROMPIDA - CARACTERIZAÇÃO DO DEFEITO, MEDIDAS
TOMADAS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS (1)

Paulo Ernesto Lainetti (2)
Odair Rodrigues (3)
Valdomiro Roman da Silva (4)
Fernando Godoy (5)

R E S U M O

O trabalho consta de considerações teóricas a respeito dos fatores que influenciam na nucleação e propagação de trincas até a superfície lateral do esboço, dando origem a um defeito, durante o desbaste, denominado lateral rompida. Determinou-se os três fatores principais no aparecimento de trincas ou rupturas na lateral do esboço:

- Estado desfavorável de tensões.
- Concentração de tensões.
- Tensões térmicas.

Finalmente tentou-se avaliar os aspectos de cada etapa do processo, ligados aos fatores citados, e a maneira de atuar sobre os mesmos, no sentido de reduzir o índice de defeitos. São mostradas, em caráter geral, as medidas tomadas e é feita a discussão dos resultados.

-
- (1) Contribuição Técnica à COLAM para ser apresentada no Seminário sobre Laminação de Planos e Não-Planos - Setembro de 1983 - Volta Redonda - RJ.
 - (2) Engenheiro em Desenvolvimento da Gerência de Chapas Grossas da COSIPA.
 - (3) Técnico de Desenvolvimento da Gerência de Chapas Grossas da COSIPA.
 - (4) Engenheiro de Desenvolvimento da Gerência de Metalurgia e Qualidade da COSIPA.
 - (5) Técnico de Desenvolvimento da Gerência de Chapas Grossas da COSIPA.

1 - INTRODUÇÃO

O defeito conhecido na COSIPA como lateral rompida é a ruptura que ocorre na lateral do esboço, geralmente na região que corresponde ao terço inferior do lingote. O defeito costuma vir associado a um outro: esponjoso. O aspecto também lembra o esponjoso grave.

A consequência imediata do problema é: o corte longitudinal da placa, o que leva a uma reaplicação da mesma para uma largura inferior; ou corte no sentido transversal, com diminuição do comprimento da placa. Nos dois casos ocorre queda no rendimento placa/lingote.

Um levantamento preliminar da ocorrência do defeito permitiu que se chegasse as seguintes conclusões:

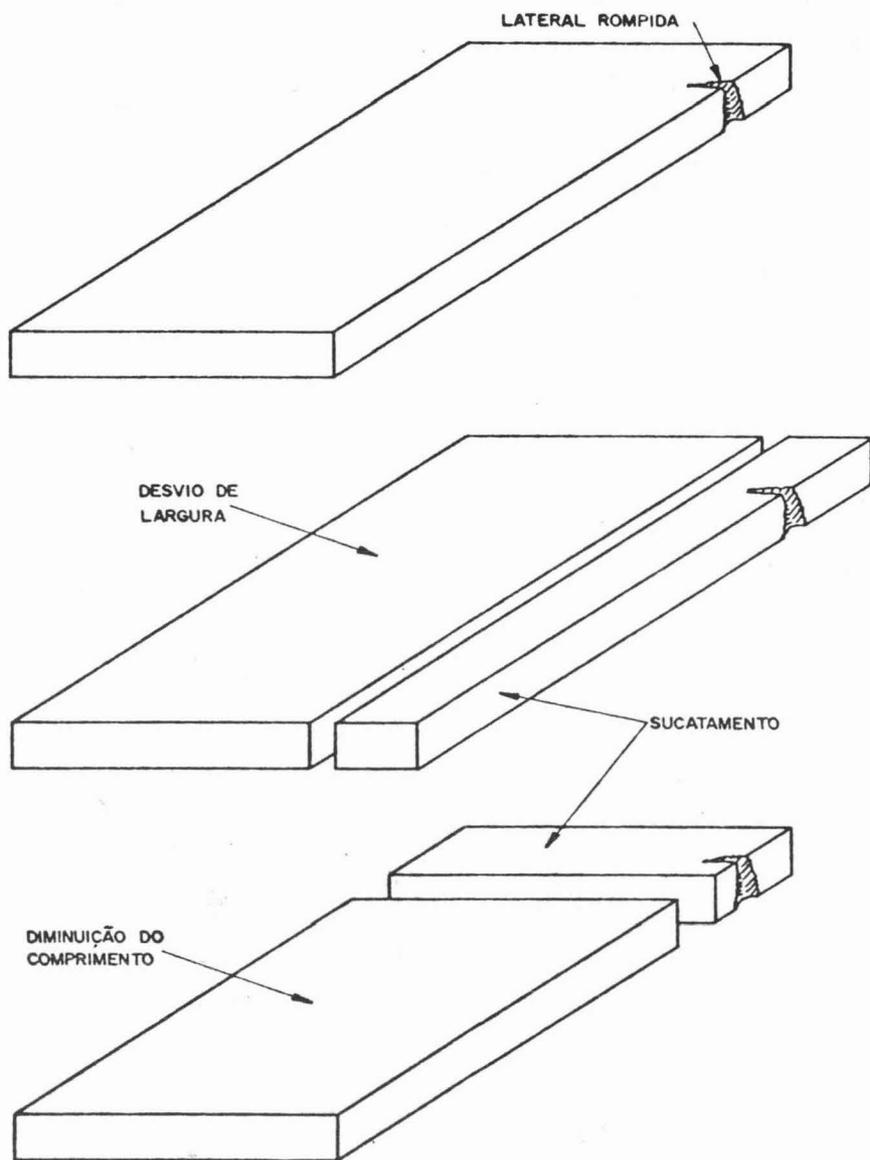
- A incidência do defeito está intimamente relacionada com o tipo de aço, sendo os mais atingidos o capeado e o efervescente, seguidos de maneira distante pelo estabilizado e semi-acalmado. A incidência do defeito em aços acalmados é, comparativamente, desprezível.
- Para cada tipo de aço, mais especialmente para o capeado e o efervescente, observou-se que o defeito era bastante significativo para alguns tipos de lingoteiras, laminados e esquemas de passe. Exemplo: lingoteira SA, padrão 22 e 25, laminados com 1250 mm de largura.

As conclusões acima permitem direcionar o estudo do problema, detendo-se particularmente nas características de cada tipo de aço, tentando-se correlacioná-las com o defeito; bem como nas variáveis de processo, naqueles laminados mais críticos.

2 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS (1)

1 - Características dos aços afetados pelo defeito

Analisando os aços mais atingidos pelo defeito, verifica-se que eles apresentam características semelhantes:

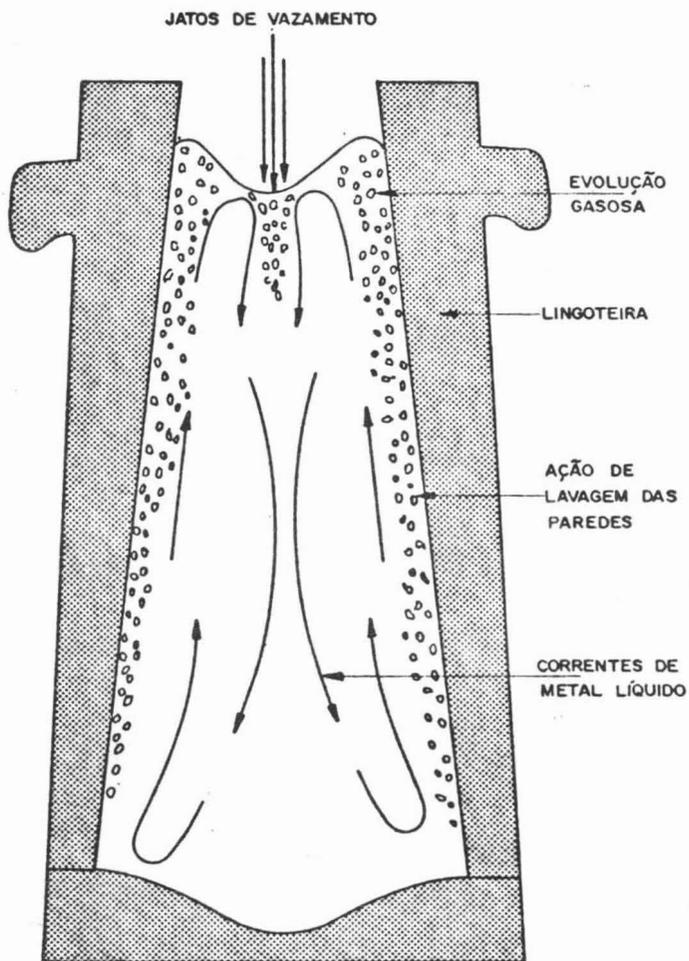


- A característica básica dos aços efervescentes e capeados é a evolução gasosa. Grande quantidade de bolhas de gás (CO e CO_2), formadas pela reação do oxigênio e do carbono dissolvidos no aço, que tendem a subir ao topo do lingote, durante o vazamento e solidificação. Essa agitação do topo do lingote é conhecida como ação de efervescência. Outra característica importante é a formação de uma "pele" sólida de elevada limpeza, na parte externa do lingote. Isso torna esses tipos de aço ideais para utilizações que exijam elevada qualidade superficial do produto, aliando-se a um custo relativamente baixo de produção.

No caso dos aços efervescentes ocorre, entretanto, um grau acen tuado de segregação, no núcleo do lingote, além de incidência de inclusões não-metálicas, funções da composição química do me tal e da técnica de lingotamento. A "pele" do lingote, por ou tro lado, apresenta-se livre de segregação e inclusões, devido à ação de efervescência, que promove o arraste e redistribuição das mesmas.

Contudo, a principal desvantagem do aço efervescente é o nível de segregação e incidência de inclusões, que podem vir a preju diciar as propriedades mecânicas e de conformabilidade do produ to final. A segregação e a incidência de inclusões serão tanto mais elevadas quanto maior for a duração da efervescência. Para contornar esse inconveniente foram desenvolvidos os aços capea dos, nos quais a interrupção forçada da efervescência é realiza da a um tempo que possibilite a obtenção de uma "pele" da espes sura conveniente e um nível de segregação suficientemente baixo.

O controle do aço capeado é realizado principalmente através do tempo de fechamento do topo. Um tempo demasiadamente curto pro voca uma espessura de "pele" insuficiente, podendo vir a provo car defeitos superficiais nos produtos ou fissuras nas placas; um tempo muito longo dá origem a um efervescente normal, anulan do a vantagem característica do aço capeado, que é o nível mais baixo de segregação.



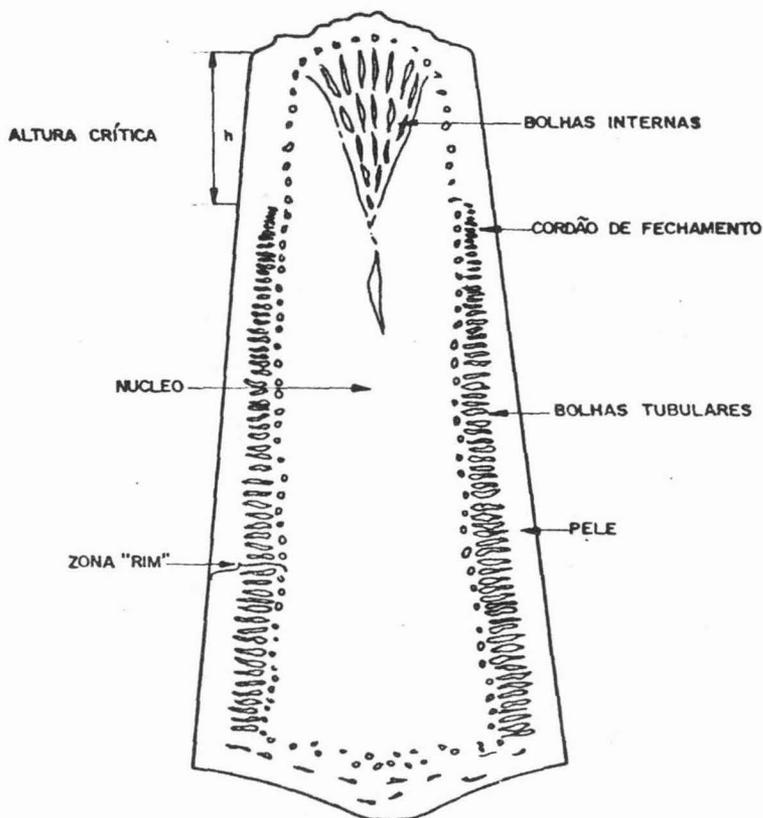
VAZAMENTO DE AÇO EFERVESCENTE

O aço estabilizado objetiva a obtenção de propriedades intermediárias entre o efervescente, que possui boa qualidade superficial e características de estampabilidade, não sendo entretanto resistente ao envelhecimento, e o aço acalmado ao alumínio, com adequado teor de Al solúvel, que apresenta ótimas características de estampabilidade e são resistentes ao envelhecimento, mas tem uma qualidade superficial inferior. Procura-se, portanto, a conjugação das boas características dos aços acalmados com a qualidade superficial dos aços efervescentes. Dessa forma, o lingote de aço estabilizado é obtido lingotando-se normalmente um aço efervescente, esperando-se o desenvolvimento de uma "pele" de espessura conveniente e acalmado-se com alumínio o núcleo do lingote. Obtém-se, assim, um aço acalmado com superfície de aço efervescente.

O aço semi-acalmado é caracterizado por um teor de oxigênio ou nível de oxidação entre o do efervescente e o do acalmado. O objetivo é conciliar a homogeneidade química do acalmado à economia do efervescente (que se constitui de pouca mão-de-obra, pequeno gasto com desoxidantes, e elevado rendimento de processo). A falta de ação de efervescência impede a formação de uma superfície comparável à do efervescente. Seu emprego é recomendável onde seja requerida boa homogeneidade química e as exigências de qualidade de superfície não sejam muito grandes.

2 - Formação da Pele Sólida em Aços Efervescentes e Capeados

As bolhas de CO formadas na interface de solidificação se desprendem e tendem a subir no metal líquido, na medida em que sua velocidade de crescimento linear, na direção de avanço da interface, seja superior à velocidade de solidificação de um valor α (coeficiente de separabilidade), o que define a capacidade da bolha de se desprender. Isso significa que se a velocidade de crescimento das bolhas de CO for maior que a velocidade de avanço de frente de solidificação, de um valor α , existe a formação de pele sólida. Caso a diferença seja menor, ocorre o aprisionamento do gás e formação das bolhas tubulares. A condição em que a velocidade de crescimento das bolhas menos a velocidade de avanço da frente de solidificação é igual ao coeficiente α , corresponde à separação entre a pele sólida e as bolhas tubulares. A velocidade de crescimento das bolhas é proporcional ao volume de gás gerado e ao inverso da seção reta das bolhas formadas.



CORTE ESQUEMÁTICO DE UM LINGOTE DE AÇO EFERVESCENTE

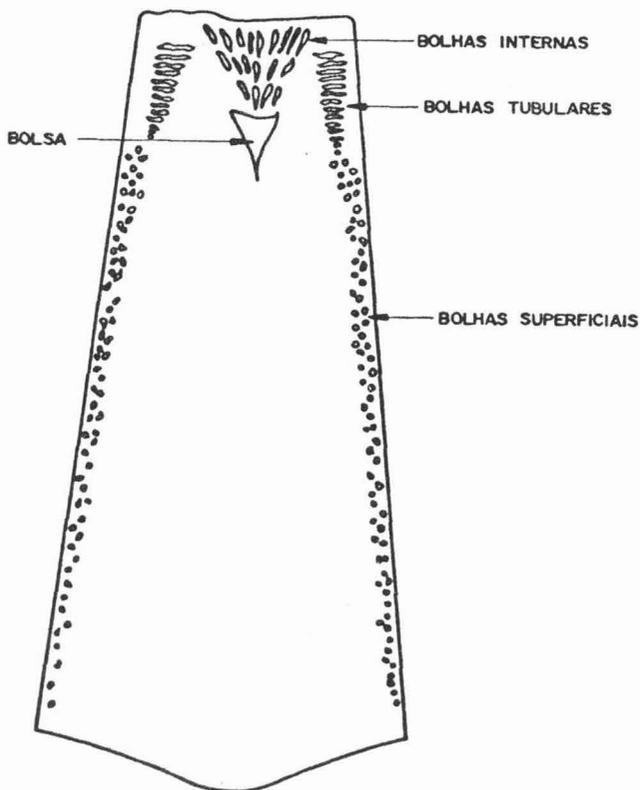
A intensidade de ação de efervescência pode ser definida como o volume de gás despreendido na unidade de tempo, em uma seção unitária da frente de solidificação. A ação de efervescência faz circular o aço no topo do lingote. O metal se oxida acentuadamente em contato com a atmosfera, o que tende a acelerar a ação da efervescência.

O mecanismo de formação da pele sólida é afetado basicamente por:

- nível de oxidação do metal definido pelos teores de O, C e Mn;
- velocidade de lingotamento;
- teor de S do metal;
- temperaturas do metal e lingoteiras;
- adições de NaF e Al na lingoteira.

3 - Mecanismos de Formação das Bolhas

Os gases são de maneira geral mais solúveis no material líquido do que no material sólido, ocorrendo uma acentuada variação de solubilidade durante a solidificação. A diferença entre os gases solubilizados no líquido e o passível de ser solubilizado no sólido deve ser eliminado na interface S/L, durante o processo de solidificação. Ocorre, portanto, a nucleação de bolhas gasosas na interface. A relação entre a cinética da solidificação e a cinética do crescimento das bolhas determinará se as mesmas permanecerão presas ou não no material solidificado. Serão definidas também, dessa mesma maneira, a morfologia e distribuição dessas bolhas.



LINGOTE DE AÇO SEMI-ACALMADO

A forma mais efetiva de atuar sobre esse processo seria através do controle da velocidade de solidificação. Determinar-se-ia, assim, o controle das bolhas ao longo da pele solidificada.

Uma velocidade de solidificação grande determinaria o aparecimento de microbolhas no material solidificado.

Velocidades intermediárias da solidificação levariam ao desenvolvimento de bolhas alongadas, do tipo tubular, as quais também estariam aprisionadas ao material solidificado.

Velocidades lentas de solidificação levariam à libertação das bolhas.

À medida que diminui a temperatura de um banho de aço, para um mesmo teor de C , o teor de oxigênio admissível é cada vez menor. Portanto, o resfriamento cria condições favoráveis para a desoxidação pelo carbono, já que o CO é o único produto gasoso de importância na desoxidação.

A pressão de CO também tem efeito sobre a desoxidação. Quanto menor a pressão, ou particularmente a pressão de CO , mais o equilíbrio é deslocado no sentido da desoxidação. Isso explica porque o vácuo e o borbulhamento de gás inerte favoreceriam a desoxidação.

Durante o lingotamento, a pressão de um ponto na superfície do metal líquido é igual a pressão atmosférica. A pressão no seio do metal líquido é proporcional a altura correspondente a diferença entre a superfície e a profundidade do ponto considerado. Essa pressão é denominada pressão ferrostática. Portanto, à medida que se processa o lingotamento, a pressão de pontos internos vai aumentando podendo tornar-se igual ou maior que a pressão de CO , o que determinaria o aprisionamento ou a interrupção do crescimento da bolha. Isso nos leva a conclusão de que deve existir uma altura do lingote a partir da qual todas as bolhas se desprendem, em virtude da altura da coluna de metal líquido ser insuficiente para superar a pressão de CO . Essa região é denominada "isenta de bolhas" e h é a altura crítica.

O crescimento das bolhas tubulares prossegue até o fechamento do topo do lingote. Nesse ponto, o grande aumento da pressão provocado faz com que a pressão interna exceda as condições de desenvolvimento da reação $C + O \rightarrow CO$ a qual é interrompida.

Ao mesmo tempo, a pressão na região isenta de bolhas tubulares aumenta rapidamente, mas mantendo-se durante certo tempo inferior a

pressão de interrupção do desenvolvimento de CO. Possibilita-se assim, as condições de formação e fixação das bolhas esféricas, que constituem o cordão de fechamento.

Finalmente, a medida que a solidificação prossegue, os alívios da pressão interna, devidos a contração de solidificação, são seguidos da nucleação de CO na região de máxima segregação no topo do lingote, com a formação de bolhas internas, que acompanham o perfil de solidificação final.

Podemos concluir, através do mecanismo descrito, que a espessura da pele sólida é dada pela camada solidificada até o instante em que $P_p = P_{CO}$. Portanto, será influenciada, principalmente, por:

- composição do metal líquido, que determina P_{CO} ;
- velocidade de lingotamento, a qual define, para um dado valor de P_{CO} , o tempo no qual $P_p = P_{CO}(t_1)$.

Como h corresponde a t_1 , a espessura da pele sólida e a altura crítica devem se relacionar através da velocidade de lingotamento.

4 - Discussão dos Fatores que Afetam a Espessura da Pele

Como já foi dito anteriormente, o mecanismo de formação da pele sólida é afetado basicamente por:

- nível de oxidação do metal definido pelos teores de O, C e Mn;
- velocidade de lingotamento;
- teor de S do metal;
- temperatura do metal e lingoteira;
- adições de NaF e Al na lingoteira.

O aumento do teor de Mn tem como efeito a diminuição da espessura relativa da pele, pois o Mn age como controlador do nível atingido pelo O (teor) na interface - como a nucleação de uma fase sólida, FeO. MnO, é mais provável que o de uma fase gasosa, pode-se considerar que o O reagirá primeiro com o Mn e, atingindo o equilíbrio Fe-Mn-O, passará a reagir com o C.

A medida que o teor de C aumenta, a intensidade relativa da ação de efervescência (que pode ser relacionada com o volume de gás gerado no lingote até o fechamento do topo) aumenta, passando por um máximo

em torno de 0,07% de C. A intensidade da efervescência está relacionada com a espessura da pele, ou seja, com o aumento do teor de carbono a efervescência aumenta, da mesma forma que a espessura da pele, passando ambas por um máximo (0,07% C).

A velocidade de lingotamento tem influência acentuada sobre a formação da pele, e está relacionada com o tempo gasto para o metal atingir, na lingoteira, uma altura, em relação a um dado nível de referência correspondente a uma pressão ferrostática, tal que, aliada a pressão atmosférica, iguale a pressão crítica de fixação das bolhas de CO naquele nível, função do grau de oxidação do metal.

O teor de S (enxofre) no aço influi na espessura da pele através de dois mecanismos:

- diminuição da tensão superficial do aço;
- atuando sobre a reação $C + O$.

Uma menor tensão superficial corresponde a uma melhor molhabilidade de entre as bolhas e o aço líquido, e uma separabilidade menos ativa. Assim elementos como S e O, que diminuem a tensão superficial do aço, terão efeito maléfico sobre a espessura da pele sólida. O efeito do O é mascarado pela sua participação na reação $C + O$, enquanto o do S é agravado pela sua segregação.

O enxofre atua também sobre a própria reação $C + O$. Essa reação se processa na interface gás-líquido, ou seja, na interface da bolha de CO. O processo dessa reação se divide em duas etapas:

- absorção de átomos de oxigênio na superfície da bolha;
- reação entre o oxigênio absorvido e o C da frente de solidificação.

Sendo o S um elemento tenso-ativo, ele perturba a primeira reação, diminuindo a absorção do oxigênio e, portanto, a velocidade da reação $C + O \rightarrow CO$.

Temperaturas elevadas do banho provocam um retardamento da ação de efervescência, com conseqüente diminuição da espessura da pele.

A temperatura da lingoteira vai influenciar diretamente a velocidade da solidificação. Quanto maior a temperatura da lingoteira, menor a velocidade de extração de calor e menor a espessura da pele.

Durante o lingotamento do aço efervescente, as bolhas formadas tendem a subir ao longo das paredes da lingoteira e depois ao longo da

parte já solidificada. Por outro lado, as bolhas de ar arrastadas pelo jato servem como núcleos para a reação $C + O$.

O desprendimento gasoso da região central pode obstruir o fluxo ao longo das paredes. Sendo prejudicado o fluxo ascendente junto a face solidificada, a ação de arraste das bolhas é prejudicada e a formação da pele não é satisfatória. A adição de Al e NaF visa pois restringir a evolução gasosa no núcleo do lingote.

3 - ORIGENS DA RUPTURA NA LATERAL DO ESBOÇO

Como parece evidente existe uma coerência muito grande entre o nível de incidência do defeito e as características do aço. A relação entre espessura da pele, profundidade e tamanho das bolhas tubulares, e a ocorrência de lateral rompida é muito clara.

Contudo, não há como negar a influência de outras variáveis, que podem provocar por si sós, ou em conjunto, a lateral rompida.

Para tornar o fenômeno do defeito mais compreensível poder-se-ia atribuir as rupturas a três causas fundamentais:

- estado desfavorável de tensões;
- concentração de tensões;
- tensões térmicas localizadas.

O estado desfavorável de tensões decorre dos seguintes aspectos:

- Laminação de regiões espessas.
- Estrutura dendrítica nos lingotes.
- Existência de regiões preferenciais de propagação de trincas.
- Deformação mais acentuada nas bordas em virtude da coroa negativa.
- Tensões desfavoráveis na lateral do esboço provocadas pelos cones de deformação restrita.

A concentração de tensões, que pode agir no sentido de nuclear trincas ou favorecer a propagação de trincas pré-existentes, tem como principais agentes:

- Trincas transversais.
- Escamas.

FATORES QUE AFETAM O DEFEITO

ACIARIA

Controle da espessura de "pele"

- .nível de oxidação
- .composição (C, Mn, S)
- .temperatura do aço (líq.)
- .temperatura da lingoteira
- .velocidade de lingotamento
- .tempo de fechamento

Inclusões de refratário e escória

Defeitos nas lingoteiras

FORNOS-POÇO

Tempo de permanência

Atmosfera dos fornos (e de carepa)

Velocidade su subida da t

Tombamento da carga

Mal aquecimento dos lingotes

DESBASTADOR

Redução insuficiente na largura

Excesso de redução inicial na espessura

Tempo de espera na balança

PROGRAMAÇÃO

Tempo de estripamento

Compatibilização entre lingoteira e lam.

Tempo de permanência após "OK" de lam.

Ritmo da produção

Programa mensal

- Dobras
- Inclusões grósseiras de escória
- Inclusões grosseiras de refratários
- Bolhas de gases
- Cavidades
- Bolhas deformadas mas não caldeadas.

Os fatores citados, principalmente quando presentes nas camadas superficiais e próximos às bordas, seriam um obstáculo a deformação mecânica, reduzindo a utilidade dessas regiões. As trincas poderiam, sob o efeito da concentração das tensões e da proximidade da superfície, levar à ruptura das bordas, como forma de aliviar localmente as tensões.

Trincas térmicas, que podem agir como concentradoras de tensões, poderiam aparecer no estripamento, pelo excesso de material líquido e a consequente pressão ferrostática sobre paredes relativamente finas; ou no enformamento, seja por gradientes térmicos elevados e/ou velocidades de subida da temperatura muito altas ou transformações de fase com expansão de volume; ou ainda pelo fato de no desenformamento a superfície resfriar muito mais rapidamente que as camadas internas.

Portanto, a combinação dos três fatores básicos torna difícil a análise profunda do problema das rupturas. O mais provável é que ocorra a interação entre alguns deles cada vez que aparecer o problema. Isso explicaria porque situações aparentemente iguais não levam às mesmas consequências.

4 - MEDIDAS ADOTADAS

No sentido de reduzir o índice de defeitos considerou-se que o principal problema, baseando-se nos indícios fornecidos pelas informações dos tipos de aços e laminados mais atingidos, era a pequena espessura da pele associada ao não caldeamento das bolhas tubulares (que agiriam então como trincas).

O problema atingia principalmente laminados, que em função da largura e do lingote de origem, necessitavam de menores reduções da largura. Isso não possibilita o caldeamento das bolhas, nem uma quebra eficiente da estrutura bruta de fusão. Contudo, tais laminados apresentavam alto rendimento (que tem bastante relação com a pequena redução nos passes iniciais de largura, o que diminui a formação de rabo-de-peixe).

DESVIO DE PLACAS - LATERAL ROMPIDA - maio 82										
Lingoteira Aço	H	J	K	P	S	N	A	T	Total por aço	Total por placas
1 (tq)	12	-	-	-	-	-	-	-	12	1134
2 (tq)	/	/	-	2	90	7	/	-	99	2008
4 (tq)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	58
8 (tq)	-	-	-	-	-	1	/	3	4	1192
4 (cg)	/		-	/	/	/	-	1	1	43
7 (cg)	/	-	-	-	/	/	-	-	0	646
Total Placas	12	-	-	2	90	8	-	4	116	5572

Produção . t	Aço t qt %	mês					
		1	2	4	7	8	9
135 100,3	janeiro	219,6	585,1	0	0	9,2	0
		25	55	0	0	1	0
		0,33	1,27	0	0	0,716	0
		65314,1 t	46023,1	6754,8	10474,3	5776,9	270,8
102 900,7	fevereiro	149,7	404,9	0	0	0	8,6
		20	39	0	0	0	1
		0,43	0,78	0	0	0	0,30
		34506,0	51803,6	5662,0	2869,1	5053,1	2817,0
10 734,6	março	0	11,2	0	0	0	0
		0	1	0	0	0	0
		0	0,29	0	0	0	0
		5749,3	3846,8	111,7	148,5	545,0	317,8
83 320,3	abril	237,8	349,2	0	0	20,4	0
		26	33	0	0	2	0
		0,60	1,31	0	0	0,41	0
		39157,5	26574,0	11613,3	199,5	4888,3	431,4
57 983,7	maio	139,6	1247,1	0	0	45,1	0
		14	111	0	0	5	0
		1,26	5,87	0	0	0,38	0
		10998,0	21229,6	11795,6	4,4	11635,6	1782,3
57 333,8	junho	144,9	915,9	0	0	0	6,9
		14	88	0	0	0	1
		1,18	3,93	0	0	0	0,49
		12231,5	23274,6	2742,2	1873,4	8382,5	1404,8

Desvio de Placas TQ por Lateral Rompida

Foram tentadas algumas modificações nos esquemas de passe, no sentido de aumentar as reduções iniciais, visando obter no mínimo 100 mm de redução. A utilização desses recursos implica na alteração negativa de outros fatores importantes, como o rendimento. Além disso o Laminador Desbastador já é um equipamento bastante otimizado, oferecendo pequena margem de modificação dos esquemas.

Outro fator responsável pela diminuição do defeito foi a entrada da dessulfuração em operação. Como vimos o S é um dos fatores prejudiciais à formação de boa espessura de pele.

O acompanhamento dos índices do defeito apresenta um aumento no período em que, em virtude de problemas no Alto-Forno II e a baixa temperatura do gusa, nem todas as corridas puderam ser dessulfuradas, o que está em consonância com o apresentado.

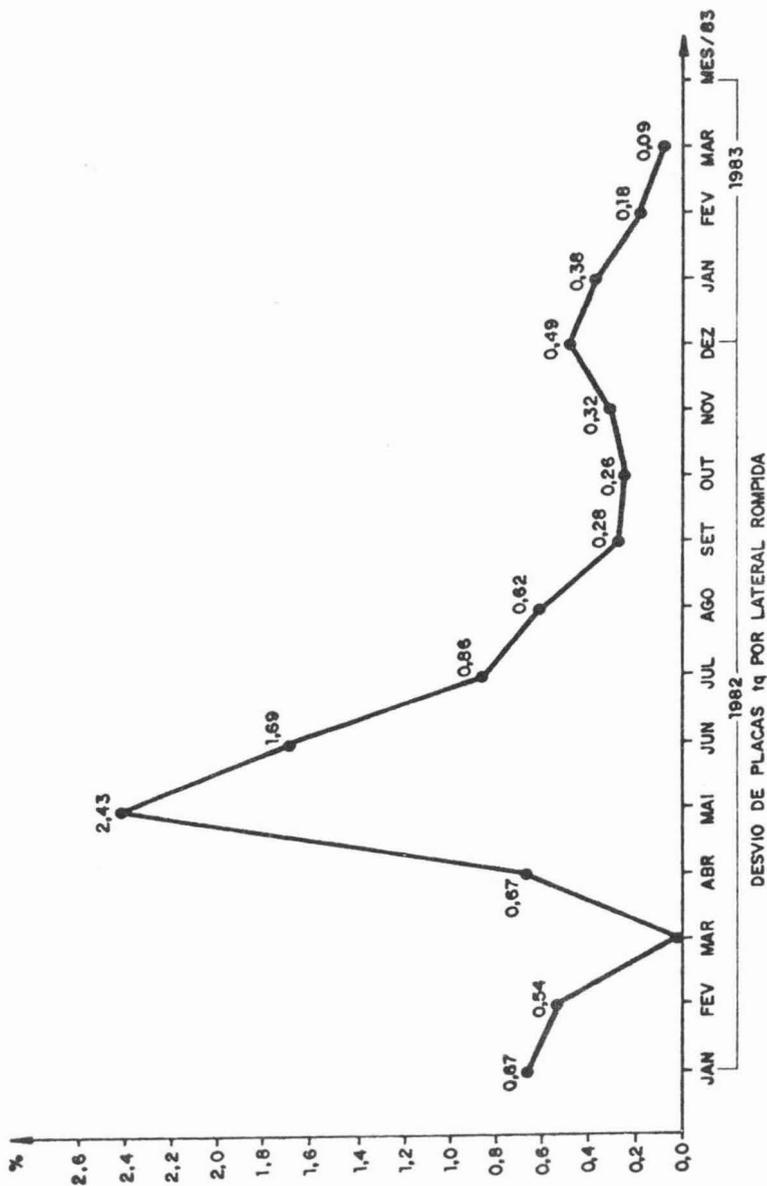
Também se atuou com relação a cuidados operacionais tais como a solicitação aos operadores de que o lingote deveria aguardar o mínimo na balança após o desenformamento.

5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A variação do programa mensal de produção impede uma análise acurada da evolução do defeito. O problema foi crítico, em termos de índices de desvio e sucata, nos meses em que a produção de determinados laminados, desfavoráveis nesse aspecto, foi muito grande.

Cabe ressaltar que as modificações efetuadas nos esquemas de passes visam sanar um problema proveniente dos estágios anteriores do processo: seja por programação inadequada, em virtude da falta de lingoteiras compatíveis com determinados laminados; seja por problema de processo, tais como a velocidade de lingotamento, tempo até o estripamento, permanência no forno-poço, ou elevados teores de S.

É óbvio que as reduções iniciais na largura de lingote estão condicionadas pela dimensão final da placa objetivada. Portanto, ainda que os resultados alcançados, com as modificações nos esquemas de passes tenham sido satisfatórias, esse recurso já foi explorado ao máximo. Evoluções futuras exigem um controle cada vez mais apurado nas etapas anteriores do processo, principalmente porque os laminados, onde o problema se mostrou crítico, apresentam excelentes resultados de rendimento.



É evidente que a resolução de certos problemas do processo, anteriores à laminação de desbaste, permite maior flexibilidade nos esquemas de passes, menores reduções iniciais na largura e consequente aumento no rendimento placa/lingote.

A programação associada à disponibilidade de tipos de lingoteiras afeta, portanto, os índices.

Algumas alterações de esquemas de passe parecem ter agravado o problema (lingoteira SA, padrão 25) levando ao abandono desse padrão para essa lingoteira. O laminado passou a ser obtido de outra lingoteira mais larga, com os consequentes efeitos sobre o rendimento.

A alteração dos esquemas, aumentando a redução na 1ª série de passes, aumenta o sulco lateral nos passes seguintes. Para diminuir o problema haveria necessidade de passes mais violentos na espessura, sendo que, no caso, a limitante é o equipamento.

Na maior parte dos casos, contudo, as modificações foram satisfatórias, confirmando a importância das reduções iniciais, na incidência de lateral rompida. Além disso, a maximização do rendimento metálico pode ser um índice falseador do resultado global, uma vez que nem sempre é seguido pelo índice de aprovação. A consciência desse fato pode exigir a aplicação de outros critérios, na escolha das lingoteiras, que não os de rendimento.

6 - BIBLIOGRAFIA

- (1) Solificação e Desoxidação dos Aços
Apostila - ABM.
- (2) Alguns Problemas na Laminação a Quente de Placas
Beese, J.G.
Iron and Steel Engineer - AUG. 1980.
- (3) Causas da Formação dos Defeitos Superficiais quando da Laminação em Instalações "Blooming".
Millman, E.A.
Steel in the USSR - FEB. 1979.
- (4) Mecanismo de Formação da Estrutura do Lingote de Aço Efervescente.
Steel in the URRS - NOV. 1980.

