

PRINCÍPIOS DO LINGOTAMENTO CONTÍNUO DE METAIS PARTE IV – PLACAS E BLOCOS

Metalurgista Industrial

junho 2019

www.metalurgistaindustrial.com.br

Na Parte II desta série de resenhas técnicas sobre lingotamento contínuo é mencionado que as modernas máquinas para placas e blocos seguem a configuração de molde reto com dobramento e endireitamento progressivos, ou, no caso dos blocos, também a opção por máquinas verticais. Essas máquinas reúnem elevadas capacidades de produção e excelência de qualidade dos produtos lingotados.

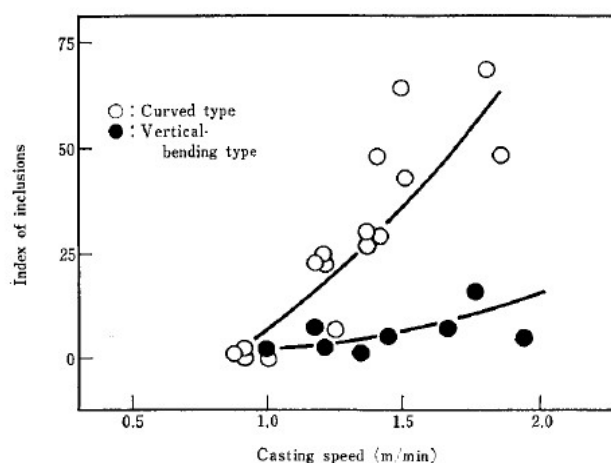
A questão inclusões não metálicas

As primeiras máquinas de lingotamento contínuo eram instalações verticais para a produção de pequenas seções. A evolução desse processo para o lingotamento de seções de maiores dimensões, como placas e blocos, motivou o desenvolvimento do molde curvo, no qual o veio em lingotamento segue a curvatura do molde e posteriormente é endireitado para a forma retilínea. Essa foi a forma encontrada para reduzir a altura das máquinas, como ilustrado na figura exibida na página 3 da Parte I desta série. A razão é que a solidificação é função do tempo, e $(\text{espessura}) = k \cdot (t)^{1/2}$, onde k é a constante de solidificação. Quanto maior a espessura, maior o tempo demandado para término da solidificação.

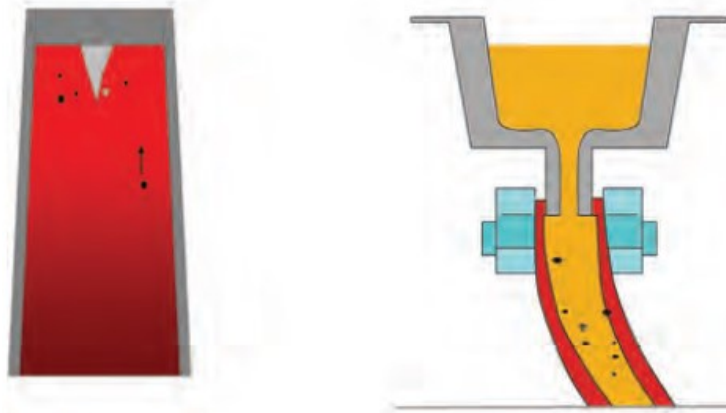
As máquinas de molde curvo popularizaram-se para placas e blocos, até que foi observado um efeito colateral que se demonstrou deletério à medida que cresciam as exigências por qualidade de produto: o acúmulo de inclusões não metálicas nas regiões mais adjacentes dos lados superiores do material lingotado que acompanham os raios internos, as quais ficavam aprisionadas com prejuízo de sua livre condição de flotação e absorção pela escória sintética formada no molde. Inclusões não metálicas, sob as formas de óxidos, sulfetos e outras, são corpos estranhos presentes nas matrizes das ligas metálicas, provocando severas influências sobre suas propriedades mecânicas.

As primeiras investigações sobre essa questão de concentração de inclusões devem-se à iniciativa da indústria siderúrgica japonesa. Essa contingência rapidamente espalhou-se entre os produtores, fabricantes de equipamentos e, principalmente, os consumidores de produtos siderúrgicos.

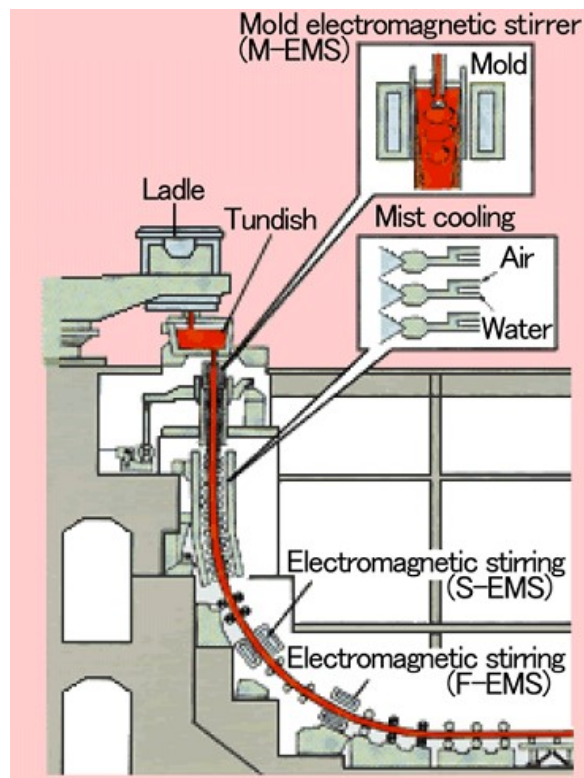
As máquinas de moldes retos, como as verticais, oferecem excelentes condições para a flotação de inclusões não metálicas e bolhas de gases. A figura ao lado ilustra o exposto, mostrando a incidência em inclusões não metálicas (*index of inclusions*) em máquina curva (*curved type*) e vertical com dobramento (*vertical bending type*) versus a velocidade de lingotamento.



Cabe adicionalmente dizer que no lingotamento convencional as inclusões não metálicas têm maiores possibilidades de flotação e então se integram na parte superior dos lingotes que é sucateada, enquanto que no lingotamento contínuo, como antes mencionado, parte das inclusões fica aprisionada na região do raio interno.

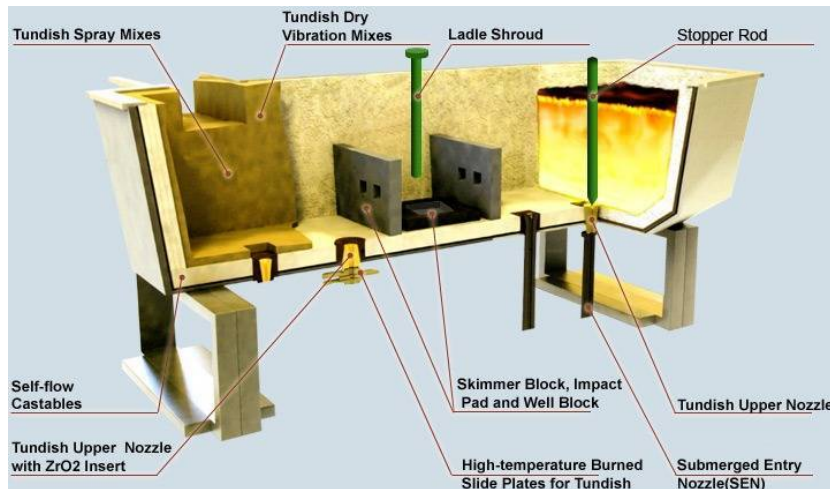


A situação conciliatória entre a elevadas alturas demandadas pelas máquinas verticais e a configuração em molde curvo foi o desenvolvimento das máquinas de molde reto com dobramento e endireitamento progressivos. Algumas instalações adotam adicionalmente a tecnologia de agitação eletromagnética do veio em lingotamento (*electromagnetic stirrer*) como um mecanismo a mais de assistência à flotação de inclusões.

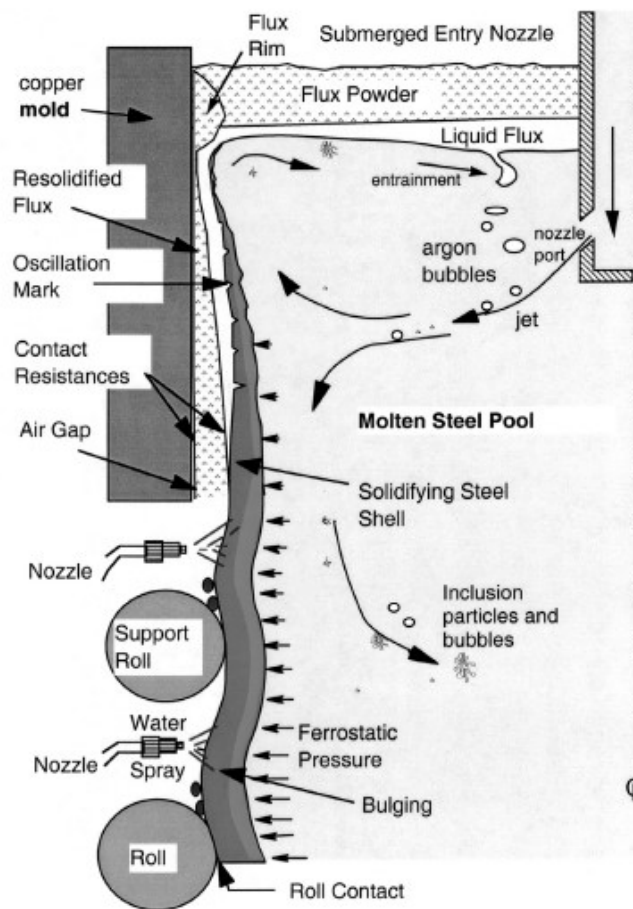


As máquinas de lingotamento contínuo para placas e blocos operam com válvulas submersas (*submerged entry nozzles*) panela-distribuidor e distribuidor – molde para evitar o contato do aço líquido com o ar atmosférico e contaminação por oxigênio e nitrogênio.

Essas máquinas são equipadas com distribuidores de grandes capacidades de modo a aumentar os tempos de residência do aço líquido e consequente promoção de flotação de inclusões não metálicas. Esses distribuidores são adicionalmente dotados de barreiras (*skimmers*) que agem como filtros. A figura a seguir ilustra o abordado:



A seguir, uma figura ilustra os fenômenos que ocorrem dentro dos moldes, nesse caso com o requinte de injeção de argônio pela válvula submersa:

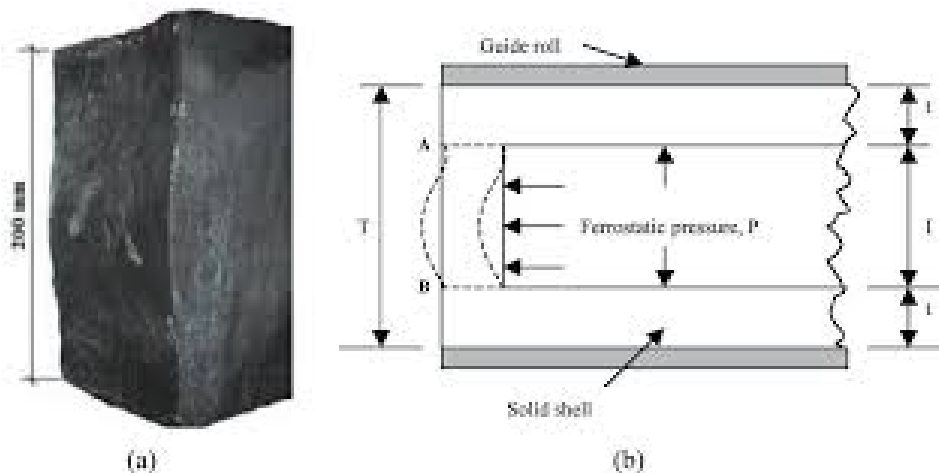


Abaulamento (*bulging*) e redução em linha (*soft reduction*)

A qualidade dos produtos continuamente lingotados é consideravelmente dependente da intensidade das deformações eventualmente sofridas pelo aço ao longo de sua solidificação na passagem pela máquina de lingotamento.

Essas deformações resultam de diversas tensões de origem térmica ou mecânica impostas ao material em lingotamento de acordo com as condições de operação (resfriamento secundário e velocidade de lingotamento) e características geométricas (desalinhamentos e excentricidade dos rolos e pontos de dobramento e endireitamento).

No lingotamento contínuo de placas e blocos, o principal mecanismo de deformação é a ação da pressão exercida pela parte líquida sobre a casca solidificada contra os rolos-suporte, como mostrado abaixo, provocando abaulamento que induz tensões na casca e na frente de solidificação (interface sólido/líquido). Essas tensões impostas manifestam-se pela ocorrência de trincas internas e de movimentos na parte ainda líquida do metal dando origem aos fenômenos de macrossegregação, que é abordada na Resenha Técnica de Eng. de Metais Segregação (Micro, Macro e Nano) e Porosidade.

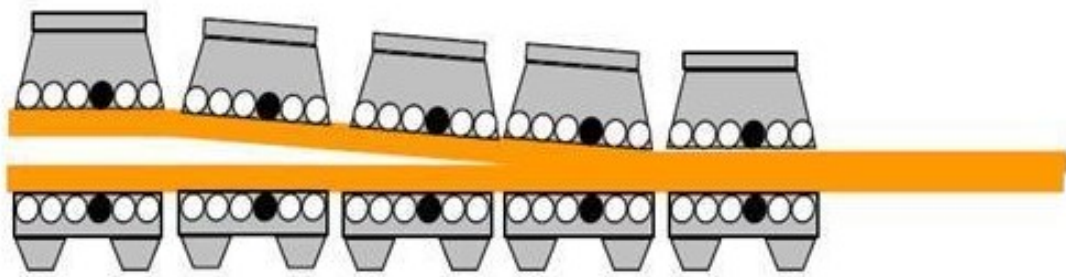


As contramedidas para prevenção do abaulamento são a rígida preservação das condições de alinhamento das máquinas de lingotamento contínuo e seu projeto mecânico privilegiando rolos-suporte de menores diâmetros e reduzido espaçamento entre os mesmos.

Posteriormente, emergiu a tecnologia de redução da espessura do material enquanto em lingotamento, que foi denominada *dynamic soft reduction* ou *liquid core reduction*.

Todas as modernas máquinas de lingotamento contínuo que privilegiam qualidade de produto incorporam essa técnica, ilustrada em prosseguimento.

A ideia por trás da redução em linha é a de aplicação de forças compressivas sobre o material em lingotamento, reduzindo sua espessura que inclui a parte ainda líquida. A segregação central que ocorre no material lingotado é devida ao líquido interdendrítico que flui para a área central por meio de convecção e abaulamento. A compressão evita o efeito de sucção por esses fenômenos, pois “espreme” o veio que ainda não completou sua solidificação.



Lingotamento contínuo de blocos

A despeito das elevadas alturas associadas às máquinas verticais de lingotamento contínuo, estas conferem as seguintes vantagens:

- (i) prescindem de operações de dobramento e endireitamento do veio em lingotamento.
- (ii) oferecem toda a altura vertical para a flotação de inclusões não metálicas.
- (iii) as operações de *soft reduction* são mecanicamente favorecidas quando realizadas na posição vertical.
- (iv) o alinhamento mecânico é igualmente favorecido.

Por essas razões, diversos produtores de blocos destinados ao processamento de barras de qualidade especial (*special quality bars –SQB*) utilizam a geometria 100% vertical para suas máquinas de lingotamento contínuo, a exemplo da ilustrada a seguir de um reputado produtor norte-americano. A altura total dessa instalação é de 270 pés (~82m), blocos com dimensões 18x24 polegadas e 11x17 polegadas (457mm x 610mm e 279mm x 432mm).

