

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI  
LUIS CARLOS ATAIDE BARBOSA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DO DEPÓSITO DE UMA LIGA  
INOXIDÁVEL SUPERMARTENCÍTICA NA MICROESTRUTURA DE  
REVESTIMENTO DE ROLOS DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO.**

São Bernardo do Campo

2024

## 1 INTRODUÇÃO

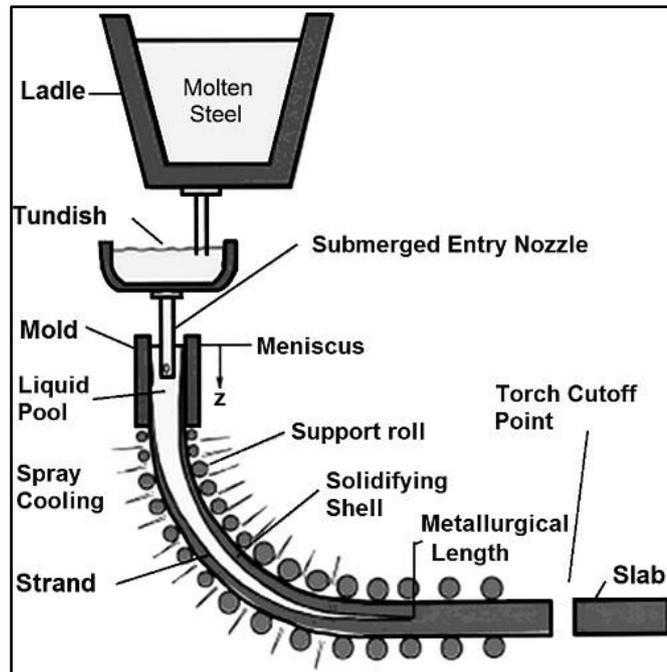
Segundo a World Steel Association (2022), 96,9% da produção mundial de aço em 2021 foi realizada pelo processo de lingotamento contínuo. Criado na década de 1950, tinha como grande objetivo dinamizar a fabricação de aço que até a década de 1960 utilizava sistemas de fundição de lingotes estáticos em grande parte das usinas siderúrgicas. O lingotamento contínuo, além de tornar o processo mais produtivo, também buscava a redução das perdas de aproximadamente 15% presentes no processo estático, referente a cortes e nivelamento dos lingotes. O processo de lingotamento contínuo apresentou a seu primeiro equipamento bem-sucedido com moldes verticais em 1954, no Canadá (RODERICK & MIHAIELA, 2022).

No processo de lingotamento contínuo o aço fundido é escoado e resfriado por um molde com refrigeração a água. Durante esta etapa inicial do processo, a troca de calor entre a superfície do aço e o molde formam uma camada de aço solidificado com 3,2 a 12,7 mm de espessura. Esta espécie de casca formada na superfície do lingote funciona como um recipiente para todo o metal fundido internamente, facilitando a alimentação em uma taxa de velocidade controlada através do molde. Em seguida o aço em processo de solidificação é guiado por uma sequência de rolos endireitadores que realizam tração no tarugo. Durante a passagem pelos rolos, uma grande quantidade de água é pulverizada no aço e nos rolos, esta etapa acelera a solidificação e resfria todo o sistema. A etapa final do processo de lingotamento é a realização do corte do tarugo com tesouras ou oxiacetileno (AMERICAN SOCIETY FOR METAL, 1985) (NORDENSTRÖM & STENBACK-LUND, 2006).

Os rolos fazem parte de área do lingotamento contínuo chamada de zona de resfriamento e movimentam placas de aço em temperaturas superiores a 850°C com cargas de até 100 toneladas que atuam com forças aplicadas nas direções horizontais e verticais, dependendo da posição da etapa do processo de lingotamento contínuo, conforme a figura 1. A combinação de desgaste abrasivo gerada pelo contato do tarugo com o rolos, o desgaste por fadiga térmica causado pelos choques térmicos provocados pela alta temperatura e resfriamento originado pela pulverização de água e a corrosão em alta temperatura geram uma alta taxa de desgaste na superfície dos rolos (NORDENSTRÖM & STENBACK-LUND, 2006) (VINAS, GUZANOVA, BREZINOVA, & BALOG, 2013).

A vida útil de um conjunto de rolos utilizados para lingotamento contínuo é de aproximadamente 103 toneladas de aço, sendo necessário realizar a troca de todo o conjunto e recuperação do conjunto desgastado. Processos de soldagem aplicáveis na recuperação

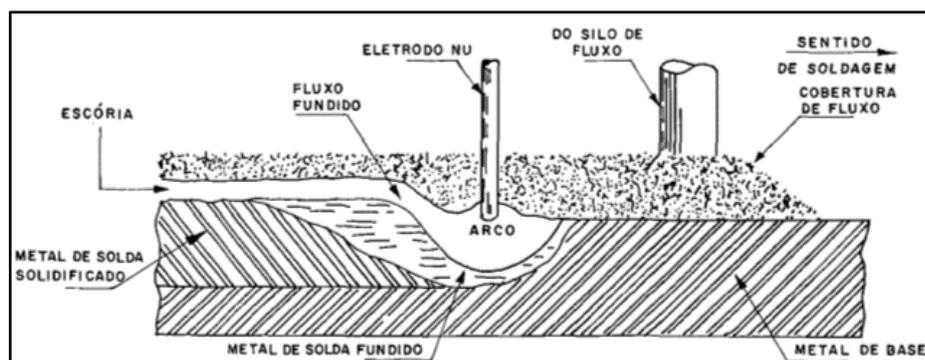
Figura 1: Layout de uma linha de lingotamento contínuo.



Fonte: VINAS, GUZANOVA, BREZINOVA, & BALOG, 2013.

dimensional dos rolos. Os processos Arco Submerso, figura 2, e o *Open Arc* estão entre os mais utilizados. Ambos os processos podem ser completamente automatizados e os passes de solda revestem os rolos lado a lado com uma pequena sobreposição até o revestimento completo da superfície dos rolos. A principal diferença entre os dois processos é a utilização de um fluxo no processo arco submerso que age como fundente protegendo o metal fundido de possíveis contaminações, enquanto o processo *open arc* utiliza um arame onde a mesma proteção é realizada pela queima de elementos químicos presente em sua composição (NORDENSTRÖM & STENBACK-LUND, 2006) (VINAS, GUZANOVA, BREZINOVA, & BALOG, 2013) (WAINER, BRANDI, & DE MELLO, 1992).

Figura 2: Imagem ilustrativa do processo arco submerso.



Fonte: WAINER, BRANDI, & DE MELLO, 1992.

Os rolos são produzidos em aço SAE 4140 e revestidos após a degradação com ligas resistentes aos desgastes abordados. Os materiais de revestimento com maior aplicação são as ligas martensíticas pois apresentam características compatíveis com os requisitos do processo de lingotamento contínuo, combinadas com um custo acessível (NORDENSTRÖM & STENBACK-LUND, 2006) (VINAS, GUZANOVA, BREZINOVA, & BALOG, 2013).

Os aços supermartensíticos são aços martensíticos com baixo teor de carbono, eles possuem grande aplicação em segmentos relacionados à petróleo e gás na qual a resistência a corrosão é o principal requisito. A composição química destes aços é baseada em Fe-Cr-Ni-Mo (13 a 16% de Cr, 4 a 6% de Ni e 0,5 a 2,5 de Mo). O percentual de cromo auxilia na formação de camada passiva, melhorando a resistência da liga a corrosão, o níquel contribui na manutenção da microestrutura martensítica que proporciona boa resistência mecânica e o molibdênio aumenta a resistência a corrosão por *pitting*. A combinação destes elementos com o baixo teor de carbono,  $\geq 0,02$ , que contribui para uma melhor soldabilidade, torna os aços supermartensíticos uma opção viável para o revestimento dos rolos de lingotamento contínuo (MA, WANG, SUBRAMANIAN, & LIU, 2012) (MA, et al., 2010) (BOJACK, ZHAO, MORRIS, & SIETSMA, 2016).

Durante a operação, os rolos que apresentam problemas como trincas e superfícies irregulares são removidos e usinados, caso a área removida esteja dentro da tolerância, este valor pode variar para cada usina, os rolos voltam para o equipamento de lingotamento contínuo. Se após a retirada da superfície os rolos apresentarem baixo dimensional, é necessário realizar um novo revestimento. Não há um número pré-determinado de camadas de revestimento, depende da espessura da camada removida ou do procedimento desenvolvido por cada usina siderúrgica. Neste processo, ligas podem ser combinadas buscando um melhor desempenho dos rolos (NORDENSTRÖM & STENBACK-LUND, 2006) (VINAS, GUZANOVA, BREZINOVA, & BALOG, 2013).

## **2 OBJETIVOS**

Determinar a influência da quantidade de camadas de revestimento com uma liga supermartensítica no desempenho dos rolos de lingotamento contínuo.



## REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR METAL. (1985). *METALS HANBOOK*. Ohio: AMERICAN SOCIETY FOR METAL.
- BOJACK, A., ZHAO, L., MORRIS, P., & SIETSMA, J. (2016). Austenite Formation from Martensite in a 13Cr6Ni2Mo Supermartensitic Stainless Steel. *METALLURGICAL AND MATERIALS TRANSACTIONS*.
- MA, X., WANG, L., SUBRAMANIAN, S. V., & LIU, C. (2012). Studies on Nb Microalloying of 13Cr Super Martensitic Stainless Steel. *Metallurgical and Materials*.
- MA, X., ZHOU, C., WANG, L., LIU, C., SUBRAMANIAN, S., & OLIVEIRA, M. P. (2010). Role of Nb in 13Cr supermartensitic stainless steel. *Metallurgy and materials*, 185.
- NORDENSTRÖM, H., & STENBACK-LUND, E. (Agosto de 2006). Technology and Market Study on Continuous Casting Rolls. Göteborg, Suécia.
- RODERICK, G. I., & MIHAIELA, I. M. (18 de May de 2022). Continuous Casting Practices for Steel: Past, Present and Future. *Metals*, p. 862.
- VINAS, J., GUZANOVA, A., BREZINOVA, J., & BALOG, P. (Fevereiro de 2013). Evaluation of the quality of cladding deposited on continuous steel casting rolls. *International Journal of Materials Research*, p. 9.
- WAINER, E., BRANDI, S. D., & DE MELLO, F. D. (1992). *Soldagem - Processos e Metalurgia*. São Paulo: Edgard Blucher Ltda.
- WORLD STEEL ASSOCIATION. (2022). *World Steel in Figures*. Belgium: Make Alias.