

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
DIEGO BASSANI

PROJETO: Análise da variação da composição química na microestrutura e propriedades mecânicas de uma liga super-martensítica 13%Cr depositada pelo processo de soldagem “self-shielded”

São Bernardo do Campo
2023
DIEGO BASSANI

1 INTRODUÇÃO

O Processo de produção de aço por lingotamento contínuo (do inglês, *continuous casting*), apesar de relativamente novo em termos históricos, se tornou a principal rota de fabricação de aço, responsável pela produção de cerca de 95% do total das ligas do mundo (1) (2). Esse processo é reconhecido por fabricar aços de alta qualidade, com maior rendimento em relação aos processos anteriores e maior economia de energia e mão de obra (2) (3).

Em resumo, o processo de lingotamento contínuo consiste em transferir o aço líquido da panela de fundição para um funil, que então irá fluir para um molde de cobre resfriado por água (2) (3). Uma vez dentro do molde, o aço fundido começa a se solidificar, formando uma casca sólida. Rolos de lingotamento (support rolls) mais baixos da máquina retiram continuamente a casca do molde a uma taxa que corresponde ao fluxo de metal entrante de modo que, idealmente, o processo opere em estado estacionário (3). A Figura 1 representa um esquema do processo de lingotamento contínuo.

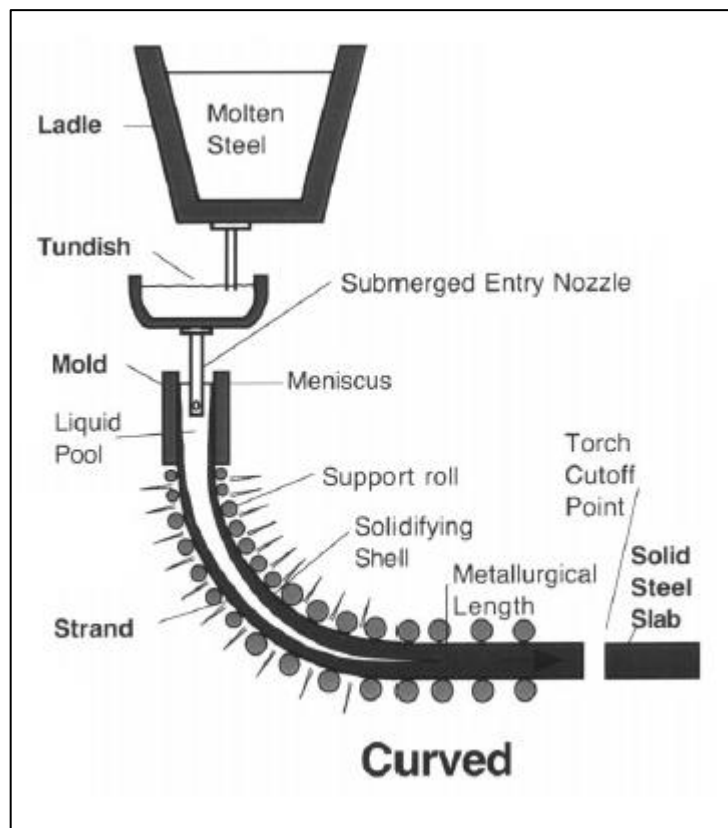


Figura 1: Representação do processo de lingotamento contínuo (3)

Neste processo, um dos equipamentos que operam em condições mais severas são os rolos de lingotamento (do inglês, *continuous casting rolls* ou CCR). Por estar em contato com o aço recém solidificado, a temperatura na superfície dos rolos pode atingir até 600°C. Devido ao óxido formado na superfície da casca, os rolos estão sujeitos à severa abrasão, além de deformações plásticas pelos esforços inerentes ao processo. A água utilizada durante o resfriamento do aço pode induzir à corrosão dos CCR's (4).

Dessa forma, a escolha do material dos rolos de lingotamento será fundamental para assegurar a viabilidade do processo e otimizar o ciclo de trabalho do lingotamento contínuo. Os rolos de lingotamento são comumente produzidos em aços resistentes à fluência de baixa liga e alta resistência, como por exemplo os aços ferríticos-martensíticos 41CrMo4 (4). Entretanto, é uma prática comum revestir esses rolos com uma liga de elevada resistência ao desgaste, visando aumentar a vida útil do equipamento. Para o revestimento dos rolos, o tipo de liga mais utilizado são os aços inoxidáveis martensíticos 13%Cr, também conhecidos como “super-martensíticos”, que oferecem excelente balanço entre resistência mecânica à elevadas temperaturas, tenacidade e resistência à corrosão.

O efeito da microestrutura e do processamento de lingotes de aço super-martensítico foi amplamente estudado (5) (6) (7) (8). Teores de Cr superiores à 12% conferem proteção à corrosão, enquanto micro adições de Nb, Ti, V e W previnem a precipitação do Cr na forma de carbonetos em elevadas temperaturas. Adição de Mo entre 1 e 3% conferem resistência à corrosão por pite. Tanto o Cr como o Mo são elementos ferritizantes, portanto é necessário adicionar níquel (até 7%) e Mn para estabilizar a fase austenita, que se transformará em martensita durante o resfriamento (5) (7) (8). Nb ainda desempenha um papel fundamental em retardar as transformações de fase que ocorrem à elevadas temperaturas, como a recristalização da matriz martensítica e precipitação de carbonetos e da fase chi (6) (7).

O processo de revestimento dos rolos ocorre através da deposição por soldagem. Diversos processos, como a soldagem a arco com gás (GMAW ou “*gas-shielded*”), soldagem a arco com eletrodo de tungstênio (TIG), soldagem a arco de plasma (PAW) e o processo de soldagem a arco submerso (SAW), têm sido aplicados para revestir os rolos com material resistente ao desgaste (9), com ampla literatura desenvolvida a cerca desses processos (9) (10).

Entretanto, outro processo de deposição pouco estudado é o revestimento por soldagem “self-shielded” ou “arco aberto”. Este se diferencia dos outros por não necessitar de nenhum outro consumível (como gás ou fluxo) além do próprio material que será depositado, representando um processo versátil e econômico (11). A Figura 2 e a Figura 3 apresentam esquemas do processo de soldagem “*self-shielded*”, a gás (“*gas-shielded*”) e a arco submerso

(SAW), onde podemos observar que o processo “*self-shielded*” é relativamente mais simples pois não é preciso manter a estrutura para a alimentação do gás (cilindro e tubulação) em relação ao processo GMAW nem o equipamento para a alimentação do fluxo, como no processo SAW. Para o processo “*self-shielded*”, toda a proteção contra o nitrogênio e o oxigênio da atmosfera, prejudiciais à soldagem, estão contidos no próprio consumível. Por não necessitar de fluxo externo ou gás de proteção, a troca de calor durante a soldagem pelo processo “*self-shielded*” será única e característica.

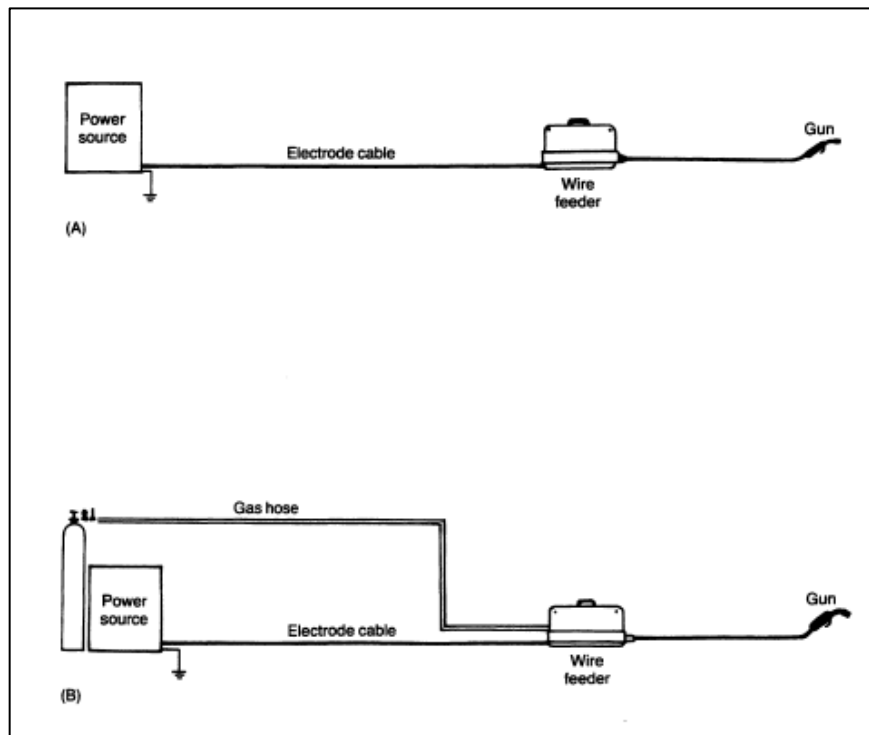


Figura 2: Exemplos de processo de soldagem por (a) “*self-shielded*” e (b) “*gas-shielded*” (11)

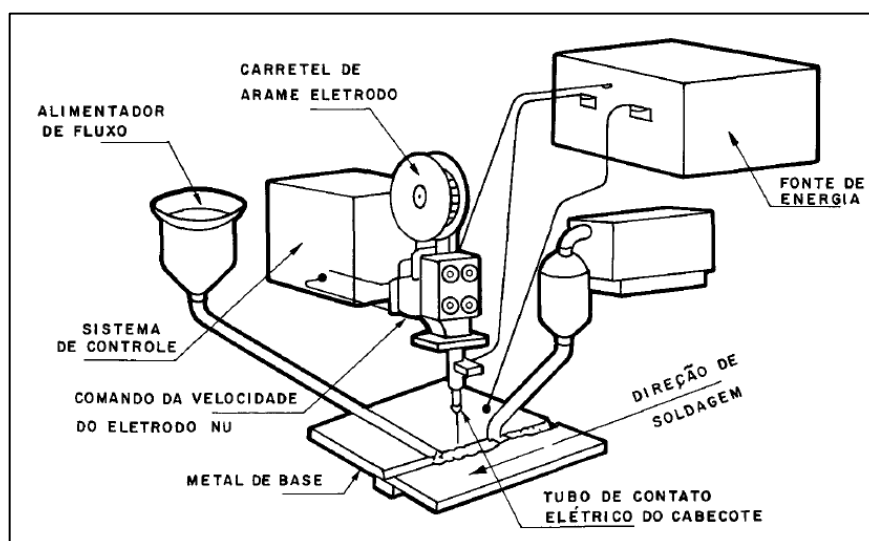


Figura 3: Exemplo de processo de soldagem por arco submerso (SAW) (12)

2 OBJETIVOS

Este projeto pretende estudar o efeito da variação da composição química na microestrutura e propriedades mecânicas de uma liga comercial super-martensítica de composição química nominal descrita na Tabela 1, depositada pelo processo de soldagem “*self-shielded*”, com o objetivo de otimizar a resistência mecânica do metal depositado.

Tabela 1: Composição química nominal da liga comercial super-martensítica 13%Cr

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	V	W
0,06%	0,80%	1,20%	13,5%	4,5%	1,3%	0,20%	0,20%	0,20%

3 CRONOGRAMA

A Figura 4 apresenta o cronograma de atividades proposto para o desenvolvimento do projeto por semana. As etapas incluem desde a elaboração e fabricação das ligas, ensaios necessários (preparação metalográfica, difração de raios-X, análise microestrutural e micro dureza) e o tempo necessário para a análise, discussão, conclusões e redação da monografia. O início proposto para as atividades é outubro/2023.

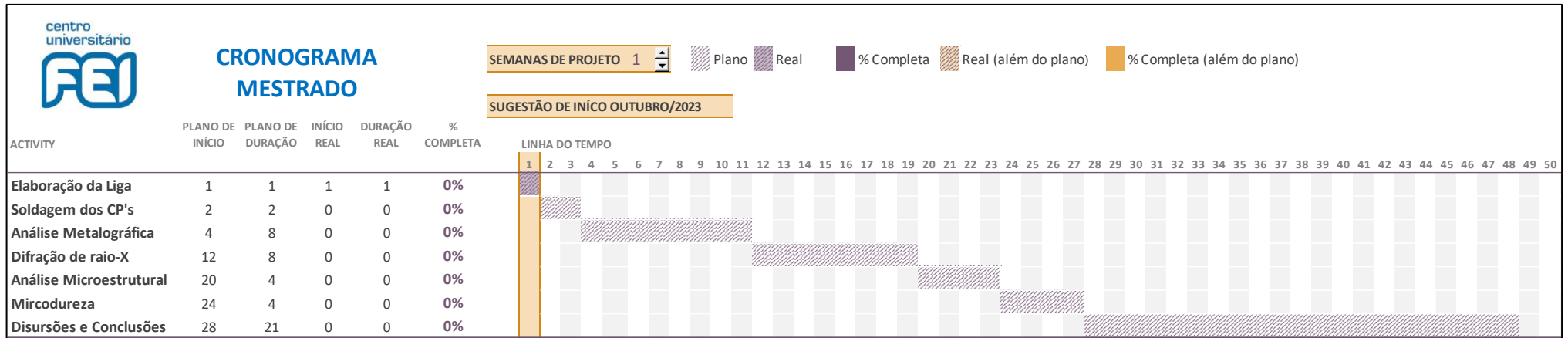


Figura 4: Cronograma de atividades

REFERÊNCIAS

- 1 THOMAS, B. G. **Encyclopedia of Materials: Science and Technology**. Illinois: Elsevier Science Ltd., 2001. 1595 - 1599 p.
- 2 LOUHENKILPI, S. Continuous Casting of Steel. In: SEETHARAMAN, S. **Treatise on Process Metallurgy**. [S.l.]: Elsevier, v. Volume 3: Industrial Processes, 2014. Cap. 1.8, p. 373-434.
- 3 GUTHRIE, R. I. L.; ISAC, M. M. Continuous Casting Practices for Steel: Past, Present and Future. **Metals**, Montreal, dez. 2022. 862.
- 4 HADIZADEHA, et al. Establishing the cause of failure in continuous casting rolls. **Engineering Failure Analysis**, 108, 2020.
- 5 XIAOPING , M. et al. **INOX 2010- 10th Brazilian Stainless Steel Conference**. Role of Nb in 13Cr super-martensitic stainless steel. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2010. p. 179-185.
- 6 AL., D.-S. L. E. Amount of retained austenite at room temperature after reverse transformation of martensite to austenite in an Fe-13%Cr-7%Ni-3%Si martensitic stainless steel. **Scripta Materialia**, 2001. 767-772.
- 7 PEREZ DE OLIVEIRA, M. et al. Effect of Niobium on Phase Transformations, Mechanical Properties and Corrosion of Supermartensitic Stainless Steel. **Journal of Materials Engineering and Performance**, Abril 2017. 1664–1672.
- 8 KIMURA, M. et al. Effect of Retained Austenite on Corrosion Performance for Modified 13% Cr Steel Pipe. **CORROSION SCIENCE SECTION**, Orlando, 2001. 433-439.
- 9 YANG, K. et al. A New Type of Submerged-Arc Flux-Cored Wire Used for Hardfacing Continuous Casting Rolls. **JOURNAL OF IRON AND STEEL RESEARCH, INTERNATIONAL**, 2011. 74-79.
- 10 SANZ, A. New coatings for continuous casting rolls. **Surface and Coatings Technology**, 2004. 1-11.
- 11 BONISZEWSKI, T. **SELF-SHIELDED ARC WELDING**. Cambridge: ABINGTON PUBLISHING, 1992.
- 12 PARANHOS, R. P. D. R. Soldagem com Arco Submerso. In: WAINER, E.; BRANDI, S. D.; HOMEN DE MELLO, F. D. **Soldagem: Processo e Metalurgia**. [S.l.]: Edgard Blücher LTDA, 1992. Cap. 2e.