

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM SIMULADOR DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO DE PLACAS FINAS (1)

Fernando César Gentile (2)
Ernandes Marcos da Silveira Rizzo (2)
Wagner Palmiere (2)
Geraldo Nonato Telles (2)
Paulo Roberto Mei (2)
Rezende Gomes dos Santos (2)

RESUMO

A indústria siderúrgica vem sofrendo uma série de transformações tecnológicas na direção da obtenção de produtos com maior nível de qualidade a um menor custo. Uma importante tendência nesse sentido é o desenvolvimento de processos para a obtenção de produtos na forma e dimensões próximas às do produto acabado. Esses processos são conhecidos como “near net shaping casting”. Tais processos, apesar de já apresentarem aplicação industrial, necessitam de um maior desenvolvimento para que sua aplicação seja mais extensiva. Neste trabalho é apresentado o projeto, dimensionamento e construção de um dispositivo para a simulação do processo de lingotamento de placas finas, dotado de um sistema de acionamento para a redução da espessura durante a solidificação e de instrumentação para o controle da temperatura do metal, do deslocamento durante a redução e da força aplicada. O trabalho, de cunho multidisciplinar, vem sendo desenvolvido no Departamento de Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, como parte integrante de um projeto de inovação tecnológica firmado entre a UNICAMP, a FAPESP e a Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST).

Palavras-Chave : deformação à quente; lingotamento contínuo; placas finas.

(1) Trabalho apresentado no 53^o Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais - ABM

(2) Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM), Departamento de Engenharia de Materiais (DEMA).

1- INTRODUÇÃO

Para ser competitiva é imperativo à indústria siderúrgica a contínua redução dos custos de produção e a melhoria da qualidade dos produtos. O custo de produção está diretamente relacionado com o aumento da capacidade de produção e a eliminação de determinadas etapas do processo, assim como a economia de mão de obra, o que é obtido graças ao desenvolvimento científico e tecnológico^[1]. Depois do processo de aciaria LD, a introdução da tecnologia de lingotamento contínuo de placas grossas nos anos 50 foi um dos maiores sucessos no campo da metalurgia visando alcançar o objetivo citado. Nos anos 50 e 60 a motivação para o desenvolvimento era a criação de meios para o fornecimento de grandes quantidades de aço com alta qualidade^[2]. Isto foi traduzido no estilo japonês de siderúrgicas integradas. Estas grandes fábricas com seu grande volume de investimento de capital e de flexibilidade limitada, estão se tornando inadequadas em vários países desenvolvidos, apesar de permanecerem atrativas em situações onde existe uma grande demanda por um alto volume de produção (países como China, Coréia e Índia).

Nos anos 70, a crise de energia forçou a uma dramática melhoria na eficiência térmica das unidades industriais, tornando-se assim, o fator motivador de novos desenvolvimentos tecnológicos e ampliando a aplicação do lingotamento contínuo. Ainda nos anos 70 a expansão e, conseqüentemente, o surgimento de uma oferta maior do que a demanda na siderurgia no mundo, acirrou a competitividade, tornando o preço um importante fator a ser considerado, de forma que a construção de plantas integradas tornou-se economicamente inviável para a produção de uma série de tipos de aços. Tal fato propiciou o rápido desenvolvimento de miniusinas nos estados Unidos, Itália e, até mesmo em países como a Índia. Estas miniusinas baseadas no uso de sucata eram mais baratas do que usinas integradas (possivelmente um quarto do custo ou menos), necessitando do emprego de menor mão de obra e apresentando uma maior flexibilidade.

A partir do início dos anos 80 e mais ainda nos anos 90, os aspectos ambientais adquiriram uma maior importância. Considera-se que, pelo menos nos países desenvolvidos, a necessidade de atender os requisitos de proteção ambiental contribui de 20 a 30% do custo total de capital de novas plantas siderúrgicas.

De acordo com os desenvolvimentos citados acima, a indústria siderúrgica está sendo forçada a uma transformação visando atender as novas exigências. Para responder a este desafio, uma usina siderúrgica ideal deve atentar para os seguintes aspectos: não ser poluente, ser energeticamente eficiente e, idealmente, ser uma recicladora de materiais; exigir um baixo custo de capital; empregar as tecnologias e processos de controle considerados como o estado da arte de uma maneira eficiente; permitir flexibilidade no processo de produção; garantir uma alta produtividade dos funcionários; estar localizada próximo dos clientes e possuir a capacidade de fornecer rapidamente novas linhas de produtos quando for necessário.

Com relação às miniusinas siderúrgicas, o último desenvolvimento é a entrada deste tipo de empresa no mercado de produtos planos. O desenvolvimento de máquinas de lingotamento contínuo de placas finas torna possível o surgimento de linhas de produção de chapas em pequenas plantas com reduzido investimento de capital. O aumento de valor agregado das tiras através do revestimento com plástico, galvanização, grãos orientados, etc., deverá ser definitivamente aplicados aos produtos planos.

Uma das vantagens da tecnologia do lingotamento contínuo de placas finas^[3] é a possibilidade de acoplar o lingotamento contínuo e a laminação, processos que até então eram separados. Com a integração desta unidade com uma aciaria elétrica, pode-se reduzir tanto o investimento de capital como o custo operacional, resultando em uma alta produtividade e em menores tempos de execução dos pedidos.

Devido às considerações acima, o estudo e desenvolvimento do processo de lingotamento contínuo de placas finas (near net shape) é de muita importância no que refere-se à redução dos custos de produção das usinas siderúrgicas. Este trabalho apresenta o projeto e construção de um dispositivo para a simulação do processo de lingotamento contínuo de placas finas, dotado de um sistema de acionamento para a redução da espessura durante a solidificação e de instrumentação para o controle da temperatura do metal, do deslocamento durante a redução e da força aplicada. Este simulador irá operar em série com um forno de indução para a fusão de aços e com um laminador, para que se possa estudar a laminação direta da placa fina laminada. Este trabalho tem sido desenvolvido no Departamento de Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, como parte integrante de um projeto de inovação tecnológica firmado entre a UNICAMP, a FAPESP e a Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST).

2- PROJETO E CONSTRUÇÃO DO SIMULADOR

O simulador foi projetado para ser o mais flexível possível em relação às dimensões da placa fundida, à liga a ser estudada, às condições de extração de calor, à quantidade de redução durante a solidificação e a velocidade com que esta redução é aplicada. Obviamente, fatores operacionais e de custos limitam essa flexibilidade. Sendo assim, pode-se comparar resultados de placas fundidas de espessuras reduzidas com placas de espessuras maiores, confrontar resultados de placas fundidas com diferentes reduções e em diferentes condições de solidificação.

Com o equipamento será possível o estudo dos fenômenos de transferência de calor dentro do metal e entre metal e molde, dos efeitos da redução com núcleo líquido sobre a segregação no centro da placa fundida^[4-7] bem como das cargas necessárias para essa redução.

Uma vista da montagem do simulador é apresentada na Figura 1. O simulador é constituído, basicamente, de uma câmara para solidificação da liga metálica (1), uma célula de carga para medição da força necessária para a deformação da liga durante a solidificação (2), de um cilindro hidráulico responsável pela aplicação da força de deformação (3) e de um sistema de guias para direcionamento do movimento (4). A Figura 2 mostra o equipamento de simulação do lingotamento contínuo de placas finas já construído.

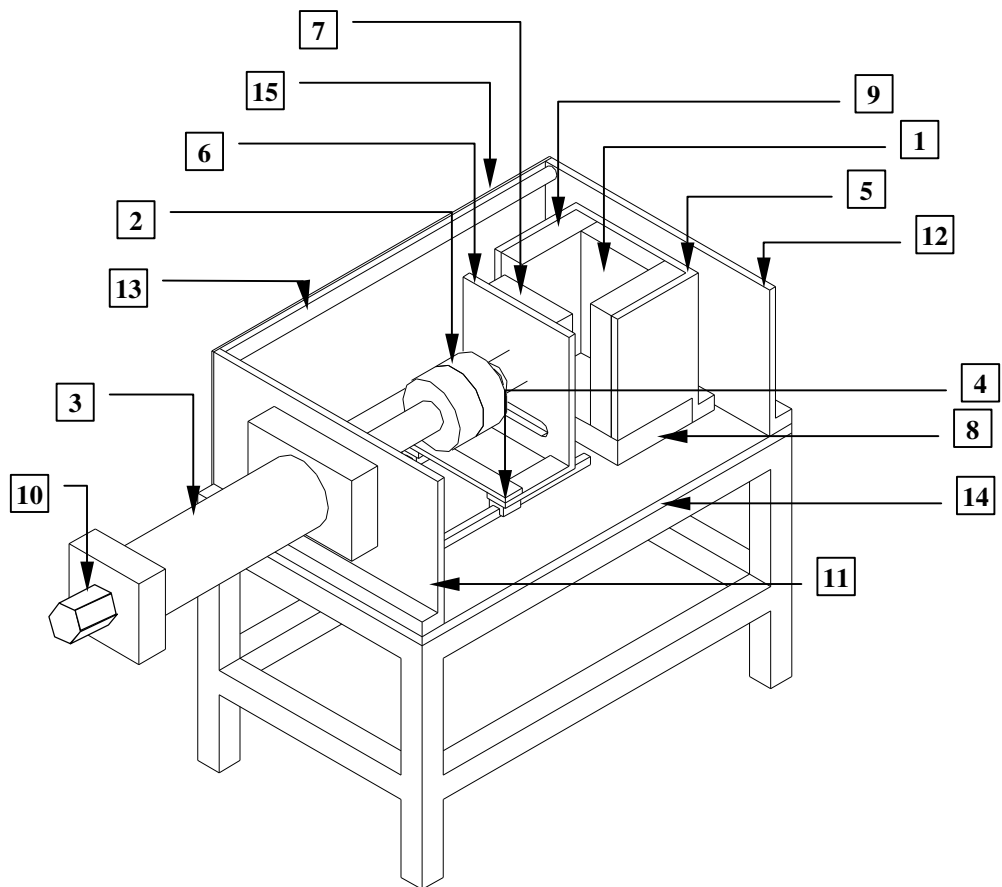


Figura 1 - Esquema do equipamento de simulação do lingotamento contínuo de placas finas.

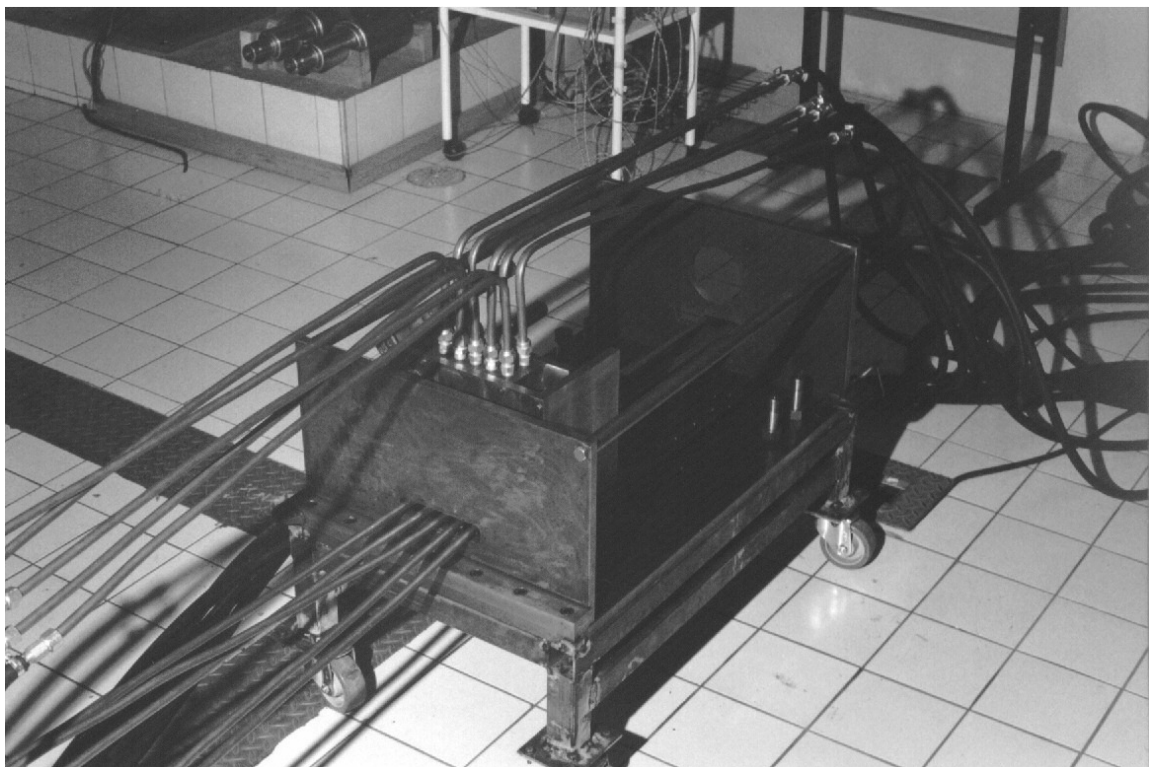


Figura 2 - Simulador de lingotamento contínuo de placas finas.

2.1- Câmara de Solidificação

A câmara para solidificação da liga é constituída de três paredes fixas (5) e uma parede móvel (6), sendo que na parede móvel e na parede fixa oposta à mesma são fixadas placas de cobre refrigeradas a água (7). As paredes fixas e a parede móvel são construídas em aço 1020. A parede móvel é dotada de um rasgo para entrada dos tubos do sistema de refrigeração da placa de cobre, de um encaixe para fixação da célula de carga e de um assento na parte inferior para o acoplamento com o sistema de guias para a movimentação. Na parede fixa, onde é fixada a placa de cobre, também existe um rasgo para entrada dos tubos do sistema de refrigeração. Esta parede é soldada em uma peça, também em aço 1020, para fixação na mesa de apoio. Uma das paredes laterais é também fixada através de uma peça na mesa de apoio e a outra tem uma altura menor para, depois de soldada, permitir o encaixe da placa de material cerâmico (8). Outras duas placas cerâmicas (9) são inseridas entre as paredes fixas laterais e as placas de cobre para que a extração de calor ocorra preferencialmente na direção da espessura da placa fundida.

As placas de cobre, que permitirão a simulação do molde refrigerado, são dotadas de canais de secção circular ligados aos tubos do sistema de entrada e saída do sistema de refrigeração, para permitir o resfriamento da mesmas durante a solidificação da liga.

O molde projetado permite a solidificação de placas com espessura variando entre 20 mm e 100 mm de espessura.

2.2- Sistema de Movimentação (Cilindro e Agregado Hidráulico)

A movimentação da parede do molde é feita através de um cilindro hidráulico com capacidade de 1000 N, curso de 350 mm e pressão de trabalho de 160 bar^[8]. Apesar da redução ser aplicada somente ao final da solidificação com núcleo da placa ainda líquido, ao final desta redução pode ocorrer o contato entre as dendritas das cascas solidificadas, o que justifica as características do cilindro hidráulico usado^[9]. O cilindro é acionado por uma unidade hidráulica composta de reservatório com capacidade para 100 l de óleo mineral com trocador de calor, de uma válvula proporcional de vazão e uma válvula de retenção conforme esquema apresentado na Figura 3.

A válvula proporcional de vazão permite a variação de velocidade de avanço da parede móvel de 0 a 70 cm/minuto^[10], que pode representar um parâmetro importante para a microestrutura final da placa solidificada^[11]. A válvula de retenção impede o retorno do cilindro no final da deformação da placa, no caso de haver uma carga contrária ao avanço do mesmo. O cilindro é dotado de um sensor de posição acoplado à sua haste (10). Através desse sensor captador de posição pode-se determinar a posição exata da placa móvel durante o movimento e a extensão da deformação aplicada. O sensor também foi fornecido pelo produtor do cilindro hidráulico. O cilindro é fixado em uma placa fabricada em aço 1020 (11), que é soldada a uma peça para permitir sua fixação na mesa e, para aumentar a rigidez do sistema, esta placa é fixada a outra placa idêntica (12) através de duas barras de aço 1045 (13).

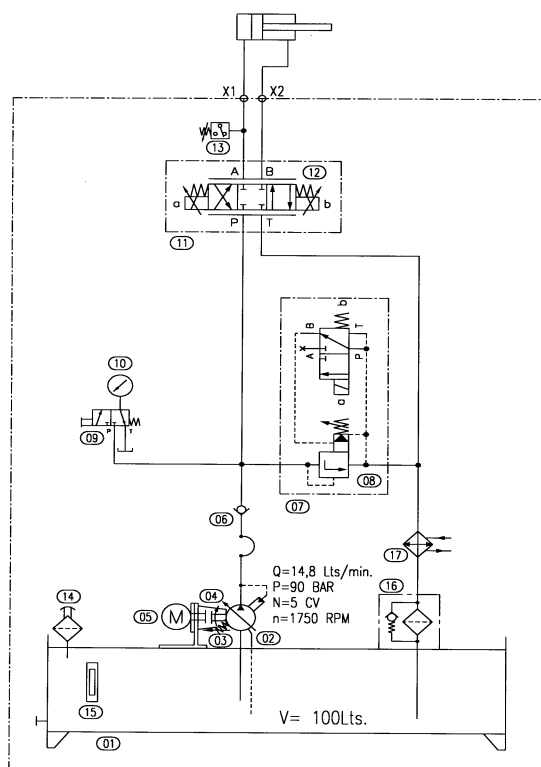


Figura 3 - Esquema representativo da unidade hidráulica de acionamento do pistão do simulador de lingotamento contínuo de placas finas.

2.3- Guias do Sistema

A movimentação da parede móvel, acionada pelo cilindro hidráulico, é feita através de um sistema de patim e trilho com capacidade para suportar cargas dinâmicas de até 6000 N (por patim)^[12]. Este sistema de patim e trilho foi fornecido pelo mesmo fabricante do cilindro hidráulico e é fabricado com o mesmo aço usado em rolamentos.

O conjunto do simulador é montado sobre uma base de aço 1020 (14) e duas placas de aço de pequena espessura formam uma caixa ao redor do simulador (15).

2.4- Sistema de Refrigeração das Placas de Cobre

O sistema de refrigeração das paredes de cobre que constituem o molde é composto de um reservatório com capacidade para 500 litros de água, uma bomba com capacidade para 200 m³/h, um distribuidor de vazão construído em aço inoxidável e de tubos de alimentação. A bomba succiona a água do reservatório e alimenta o distribuidor através de duas mangueiras de ¾ de polegada de diâmetro e com capacidade para suportar pressões de até 150 psi, a vazão de água que alimenta o distribuidor pode ser variada através de duas válvulas tipo gaveta, podendo assim variar a extração de calor do metal líquido através das placas de cobre. O distribuidor alimenta os canais de refrigeração das placas de cobre através de mangueiras com ½ polegada de diâmetro com capacidade para suportar 150 psi de pressão. Cada placa é alimentada por 5 canais, constituídos por tubos de cobre acoplados às mangueiras do distribuidor. As Figuras 4 e 5 mostram detalhes do sistema de refrigeração.

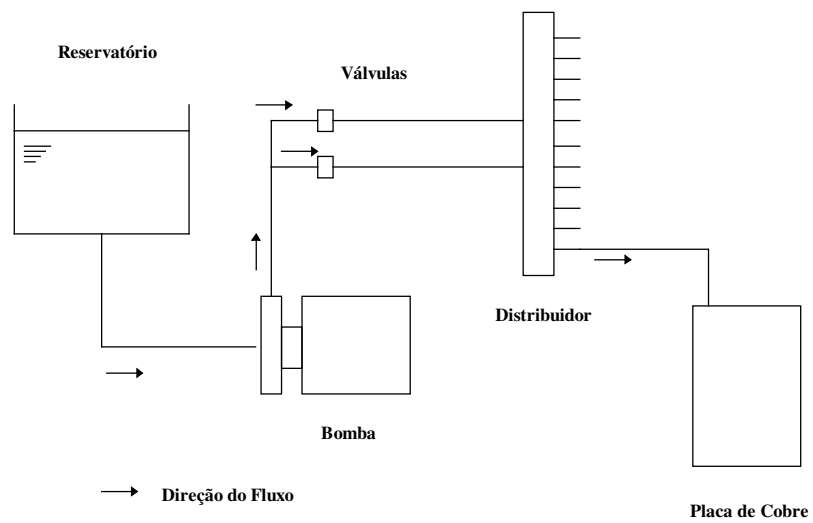


Figura 4 - Esquema do sistema de refrigeração das placas de cobre do simulador de lingotamento contínuo de placas finas.

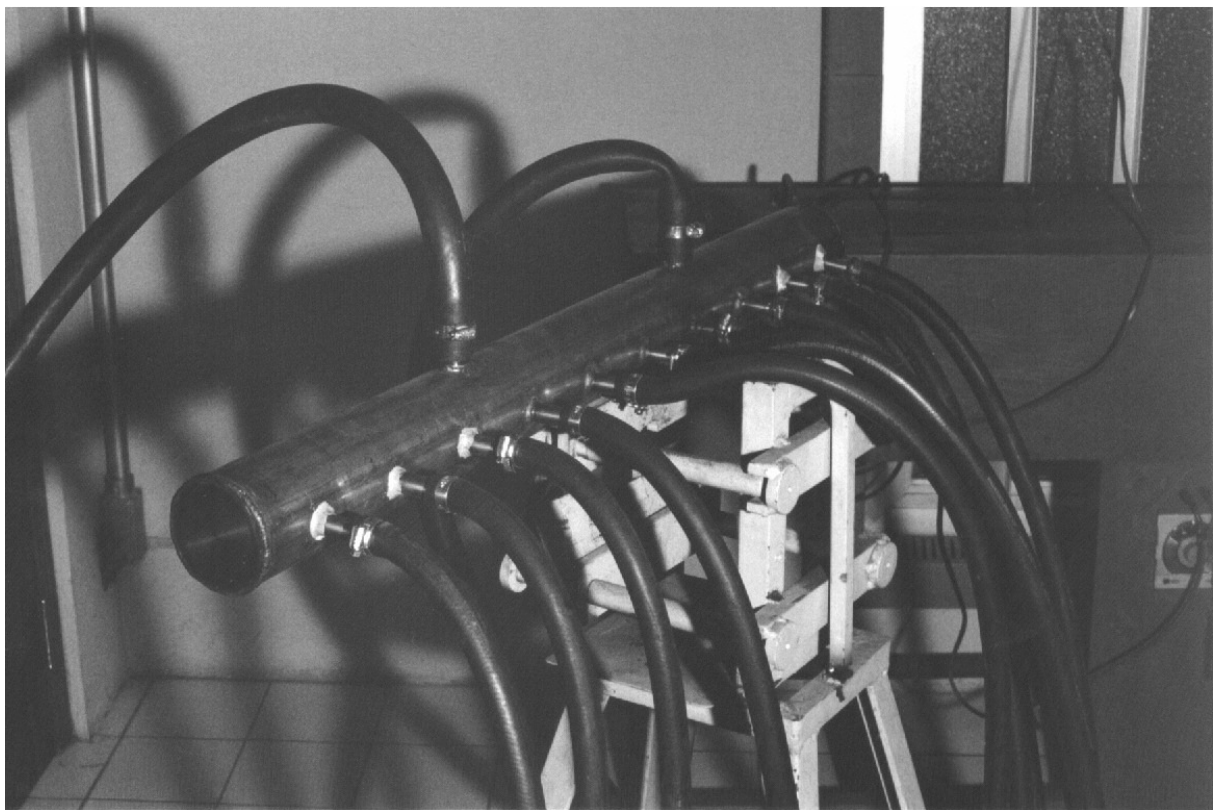


Figura 5 - Sistema de distribuição da água de refrigeração das placas de cobre do simulador de lingotamento contínuo.

2.5- Instrumentação

A célula de carga, com capacidade nominal de 1000 N^[13], está posicionada entre o cilindro e a parede móvel e permite medir a carga que está sendo aplicada para a deformação do metal durante a solidificação e também controla o movimento do cilindro no caso de uma sobrecarga no sistema. A medida da força aplicada feita pela célula de carga é enviada para um condicionador de sinais, uma vez que o sinal deste sensor necessitar de amplificação, sendo então enviado para o sistema de aquisição de dados.

As variações de temperatura são medidas através de termopares convenientemente posicionados nas paredes do molde e no metal líquido acoplados ao sistema de aquisição. No molde serão usados termopares do tipo K em até 10 pontos de medida e nas ligas metálicas serão usados termopares do tipo S no caso de aços e do tipo K no caso de ligas com menor ponto de fusão, sendo seu número máximo definido pela número de canais da placa de aquisição de dados.

A medida da posição será feita através de sensor de posição ao sistema de aquisição, não havendo necessidade de um condicionador de sinais pois a saída deste sensor apresenta um sinal padrão de -10V para haste do cilindro retraída e +10V para a posição de avanço máximo^[14].

2.6- Aquisição de Dados e Controle do Processo

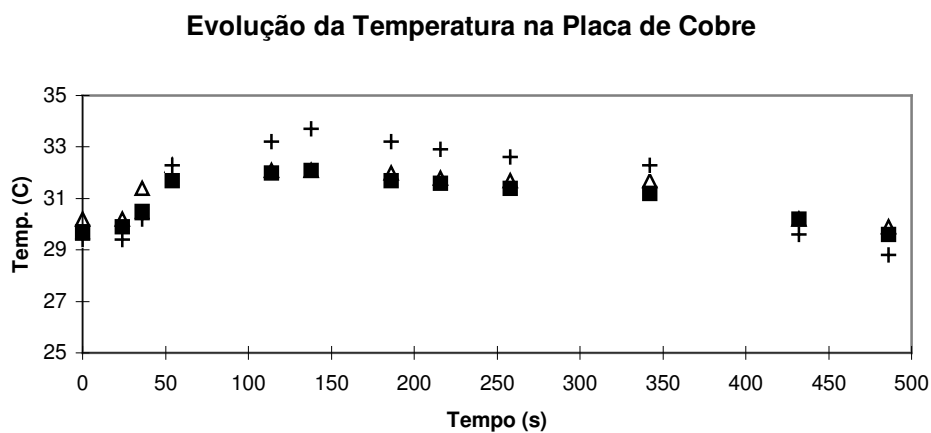
O sistema como um todo é monitorado através de um sistema de aquisição de dados de 12 bits de resolução, acoplado a um microcomputador, dotado de 32 canais de leitura e taxa de aquisição de 10 Hz por canal . O sistema permite a leitura das variações de temperatura no metal e no molde, da posição da parede móvel do molde e da força de deformação.

O único ponto de controle do processo esta na movimentação da parede móvel do molde que é feito através do cilindro hidráulico que recebe os comandos da válvula proporcional de vazão. Este controle é efetuado através de uma placa de controle de 2 canais de saída. Esta placa de controle recebe os dados provenientes da placa de aquisição e através de um software envia sinais para a válvula efetuar o avanço, retorno ou parada da haste do cilindro. A medida de temperatura de um ou alguns termopares inseridos no metal líquido e a medida da força de deformação durante a solidificação são os parâmetros para o controle do processo. O primeiro é responsável pelo início e fim da redução, enquanto o segundo é responsável pela interrupção da redução caso haja sobrecarga no sistema. O algoritmo de controle deverá proporcionar um ensaio a velocidade constante (excetuando-se as rampas de aceleração e desaceleração. Chaves de fim de curso também foram posicionadas por questões de segurança.

2.7- Teste de Eficiência das Placas de Cobre

A eficiência do sistema de refrigeração foi testada posicionando uma placa de aço, inicialmente a 1200°C, entre as duas placas de cobre refrigeradas que constituem a parede do forno e acionando o sistema de refrigeração. A variação de temperatura na placa de cobre foi obtida posicionando termopares em diferentes pontos no interior da mesma. Os resultados indicaram que a temperatura nos diferentes pontos da placa não sofrem variações sensíveis

ficando em torno de 32 a 34°C. Na Figura 6 é mostrado, como exemplo, curvas de variação de temperatura em três pontos diferentes da placa de cobre.



Posição dos termopares na placa :

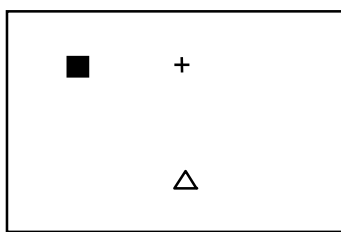


Figura 6 - Curvas de variação de temperatura na placa de cobre.

3- CONCLUSÃO

A redução dos custos de produção de uma usina siderúrgica é de vital importância para sua sobrevivência em uma economia globalizada e altamente competitiva. Um dos meios para se atingir este objetivo é o uso do lingotamento contínuo de placas finas (near net shape). Um dispositivo para a simulação do processo de lingotamento contínuo de placas finas, dotado de um sistema de acionamento para a redução da espessura durante a solidificação e de instrumentação para o controle da temperatura do metal, do deslocamento durante a redução e da força aplicada foi projetado e construído para viabilizar o estudo e desenvolvimento deste processo de forma que o mesmo torne-se mais extensiva.

4- AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP Projeto 1997/2036-9) e à FINEP através do convênio RECOPE pelo apoio financeiro concedido para a execução do “Projeto de Lingotamento Contínuo de Placas Finas” no Departamento de Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP.

5- BIBLIOGRAFIA

- 1 - DÖRING, K.; WIESINGER, H.; EBERLE, A.; FLICK, A.; HIRSCHMANNER, F.; WALLNER, F.; GIEDENBACHER, G.; GÄBEL, D.; KAHLE, P.; LOOSE, J. Continuous casting and rolling of thin slabs. *Metallurgical Plant and Technology International*, n.5, p.16-29, 1990.
- 2 - CHATTERJEE, A. Recent developments in ironmaking and steelmaking. *Ironmaking and Steelmaking*, n.2, v.22, p.100-104, 1995.
- 3 - GREIS, P. Radical changes in the industry - Some technical trends at METEC 94. *Metallurgical Plant and Technology International*, n.5, p.25-43, 1994.
- 4 - MASSAOKA, T.; MIZUOKA, S.; KOBAYASHI, H.; SUZUKI, M. Improvement of centerline segregation in continuously cast slab with soft reduction technique, *Steelmaking Conference Proceedings*, p.63-69, 1989.
- 5 - OGIBAYASHI, S.; KOBAYASHI, M.; YAMADA, M.; MUKAI, T. Influence of soft reduction with one-piece rolls on center segregation in continuously cast slab. *ISIJ International*, n.12, vol.31, p.1400-1407, 1991.
- 6 - TSUCHITA, Y.; NAKADA, M.; SUGAWARA, I.; MIYAHARA, S.; MURAKAMI, K.; TOKUSHIGE, S. Behavior of semi-macroscopic segregation in continuously cast slab and technique for reducing the segregation. *Transaction ISIJ*, vol.24, 1984.
- 7 - CHIANG, L. K. Application of soft reduction techniques for improving centerline segregation in continuously cast slab. *Steelmaking Conference*, p.81-89, 1989.
- 8 - MANNESMANN REXROTH - Cilindro hidráulico com tirantes série CD160 - *Catálogo Geral*.
- 9 - EL GAMMAL, T.; PLESCHIUTSCHNIGG, F. P.; VON HAGEN, I.; SHASH, Y.; MEGAHED, G. Simulation of thin slab casting (ISP) of low-carbon and stainless steel grades with and without direct cast rolling and the benefit for energy and plate quality. *21ST Century Steel Industry of Russia and CIS*, p.240-248, 1994.
- 10 - MANNESMANN REXROTH - 4/2 and 4/3 Proportional directional valves, direct operated, without electrical position feedback types 4WRA and 4WRAE., series 2x.
- 11 - ESSADIQUI, E.; COLLINS, L.E.; SHEHATA, M. T.; CHIANG, L. K. Thin slab simulation of 1020 C steel with liquid core reduction. *Second Canada-Japan Symposium on Modern Steelmaking & Casting Techniques*, p.251-264.
- 12 - MANNESMANN REXROTH (DEUTSCHE STAR)- Patines de bolas sobre raíles - *Catálogo Geral*.
- 13 - HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK - Product summary.
- 14 - BALLUFF - Sensor captador de posição do cilindro hidráulico - *Catálogo Geral*.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF THIN SLAB CONTINUOUS CASTING SIMULATOR.

ABSTRACT

The near-net-shape continuous casting has been recently researched in order to reduce costs in steel production. However, this technology needs to be developed to its wide application in steel plants. This work presents a design and construction of thin slab continuous casting simulator in order to provide experimental conditions to study steel near-net-shape casting. This project is supported by FAPESP, FINEP (RECOPE) and Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST).

Key words: hot deformation, continuous casting, thin slab.