

OBTENÇÃO DE TIRAS METÁLICAS ATRAVÉS DA SOLIDIFICAÇÃO RÁPIDA¹

Leandro Akita Ono²
Antonio de Pádua Lima Filho³
Márcio Iuji Yamasaki⁴
Suelen Cristina Santos⁵

Resumo

O foco deste trabalho de pesquisa é o estudo do fluxo de pasta metálica durante a tixolaminação de tiras da liga 70%Pb-30%Sn com espessura variando de 0,5 mm a 1,0 mm. O procedimento experimental usa um laminador duo construído no Departamento de Engenharia Mecânica/UNESP-Campus de Ilha Solteira. A velocidade do laminador é controlada para obter um ótimo arraste da pasta/lama metálica quando ela é puxada pelo cilindro inferior para ser conformada pelo cilindro superior. O laminador é alimentado com liga metálica que tem sido vazada na calha de resfriamento. Esta possibilita um resfriamento contínuo da liga fundida para promover a formação da pasta metálica com a necessária estrutura reofundida para o sucesso da tixoconformação. Foi verificado nos ensaios preliminares, que a liga 70%Pb-30%Sn fundida a 350 °C, diferente da 50%Pb-50%Sn, não forma uma tira contínua. Isto é devido um maior intervalo de solidificação para a primeira (75 °C) em comparação com a última (31 °C). Ligas com maior intervalos de solidificação resultam em dendritas grosseiras as quais dificultam a formação de uma pasta metálica plástica. Neste trabalho, a liga 70%Pb-30%Sn será inoculada com enxofre antes do vazamento, para verificar o efeito do inoculante na plasticidade da pasta metálica. Isto deve possibilitar a obtenção de uma tira contínua desta liga. A tira metálica tixolaminada será caracterizada pela qualidade superficial e micro-constituintes utilizando microscópio óptico e possivelmente microscópio eletrônico de varredura (AMR-CTA).

Palavras-chave: Tixolaminação; Reofundição.

ATTAINMENT OF METALLIC STRAPS THROUGH THE FAST SOLIDIFICATION

Abstract

The focus of this research work is the study of metallic mush/slurry flow during thixorolling of 70%Pb-30%Sn alloy strips with thickness varying from 0.5mm to 1.0mm. The experimental procedure uses a two roll high mill built at the Department of Mechanical Engineering/UNESP- Ilha Solteira Campus. The speed of the mill is controlled to achieve an optimum drag on the mush/slurry as it is pulled at the lower roller and formed at the upper roller. The mill is fed with alloy that has been poured onto a cooling slope. This enables a continuous cooling of the liquid alloy to promote the formation of metallic mush with the necessary rheocasted structure for successful thixoforming. It was verified from preliminary assays, that 70%Pb-30%Sn alloy cast at 350°C, unlike 50%Pb-50%Sn, does not form a continuous strip. This is due to a higher solidification interval for the former (75°C) in comparison with the latter (31°C). Alloys with higher solidification intervals result in coarse dendrites which make it difficult to obtain a plastic mush. In this work, the 70%Pb-30%Sn will first be inoculated with sulfur before pouring, to verify the inoculant's effect on the plasticity of the metallic mush. This should make it possible to obtain a continuous strip from this alloy.

The thixorolled metallic strip will be characterized by surface quality and micro-constituent utilizing optical microscopy and possibly scanning electronic microscopy (AMR/CTA).

Key words: Thixorolling; Rheocasted.

¹ Contribuição técnica ao 62° Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

² UNESP – Universidade Estadual Paulista - Depto. de Engenharia Mecânica , Ilha Solteira, le.ono@terra.com.br

³ UNESP - Depto. de Engenharia Mecânica , Ilha Solteira, padua@dem.feis.unesp.br

⁴ UNESP –Depto. de Engenharia Mecânica , Ilha Solteira, miyamasaki@aluno.feis.unesp.br

⁵ UNESP -- Depto. de Engenharia Mecânica , Ilha Solteira, su_mec@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

O objetivo do trabalho é laminar tiras metálicas de alto intervalo de solidificação através de um laminador duo irreversível, onde através de uma única laminação obteríamos tiras conformadas, ao contrário do processo convencional que necessitaria de uma cadeia de laminadores. Dessa maneira, o uso desse método seria viável, pois haveria grande economia de energia e espaço físico.

A idéia de laminar uma chapa metálica diretamente a partir do metal líquido, sem reaquecimento foi idealizada inicialmente por Sir Henry Bessemer após realizar alguns experimentos. Bessemer registrou a sua patente em 1857. O interesse dessa tecnologia voltou a ser investigada no início dos anos de 1980 e tem permitido um grande avanço tecnológico no processo, juntamente com a injeção de pastas metálicas.

O processamento de tiras metálicas a partir do estado líquido tem sido adaptado junto aos laminadores de dois cilindros para produzir tiras de ligas metálicas tixoconformadas. A liga metálica semi-sólida obtida através do resfriamento contínuo em uma calha (cooling slope) produz a pasta semi-sólida que alimenta o laminador. O cilindro inferior arrasta a pasta metálica que vai ser conformada pelo cilindro superior.⁽¹⁾

Existem quatro possibilidades de utilização do laminador duo, que é esquematizado na Figura 1. Utilizamos a técnica do “single roll”, ou seja, utilizando apenas o cilindro inferior (cilindro de solidificação) para obter tiras solidificadas rapidamente, Figura 2. A obtenção de tiras diretamente do estado líquido tem várias vantagens sobre o processamento convencional, por exemplo, solidificação rápida (granulação fina), pequena força de separação entre os cilindros porque a tensão de escoamento do semi-sólido é menor do que a do metal sólido – não necessitando cilindros de aço, e assim baixo custo do equipamento. Neste contexto, Garcia⁽²⁾ cita que: “A fabricação de fios ou tiras metálicas diretamente do estado líquido já é uma realidade industrial, tanto na forma de estruturas amorfas quanto na forma cristalina, e seriam de difícil produção convencional em função das limitações de plasticidade de alguns materiais”.

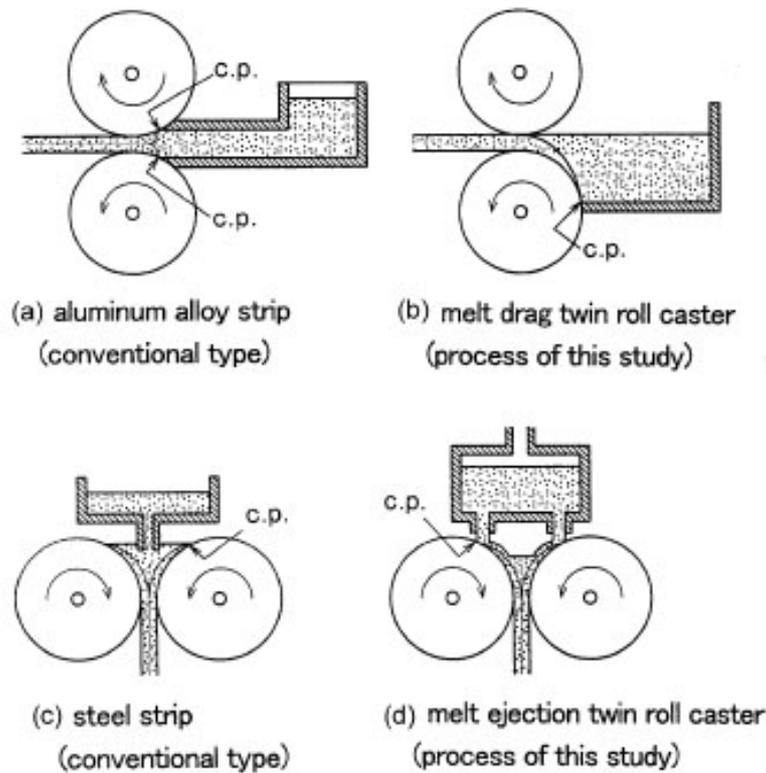


Figura 1. Processo convencional de tiras de liga de alumínio (a); processo de arrasto do fundido pelo laminador duo (b); processo convencional para obter tiras de aço (c); processo de injeção de fundido no laminador duo (d).⁽³⁾

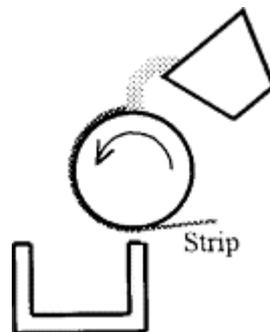


Figura 2. Ilustração do processo utilizando apenas o cilindro inferior “Single Roll” – O fundido é vazado no cilindro e a tira é solidificada.⁽³⁾

Por outro lado, algumas desvantagens podem ser listadas: possível agarramento da tira nos cilindros, limitações das ligas metálicas que podem ser processadas e baixa velocidade dos cilindros.

Geralmente, cilindros de aço são substituídos por cilindros de cobre para produzir um resfriamento rápido da pasta metálica. Isto possibilita uma maior velocidade de processamento e evita a aderência da tira no cilindro durante a fabricação. A maior velocidade do cilindro produzirá uma menor espessura da tira. Este processamento permite obter tiras de espessura maior do que 1 mm a uma velocidade de até 60 m/min.⁽³⁾ O acoplamento é muito simples da calha de resfriamento com os cilindros do laminador, Figura 3. Este acoplamento não necessita nenhuma modificação dos cilindros de laminação. O cilindro inferior do laminador provoca o arrastamento da pasta metálica para ser conformada pelo cilindro superior. A inclinação da calha de resfriamento é 60° e o comprimento de contato entre o metal fundido e a calha de resfriamento é 100 mm.⁽³⁾

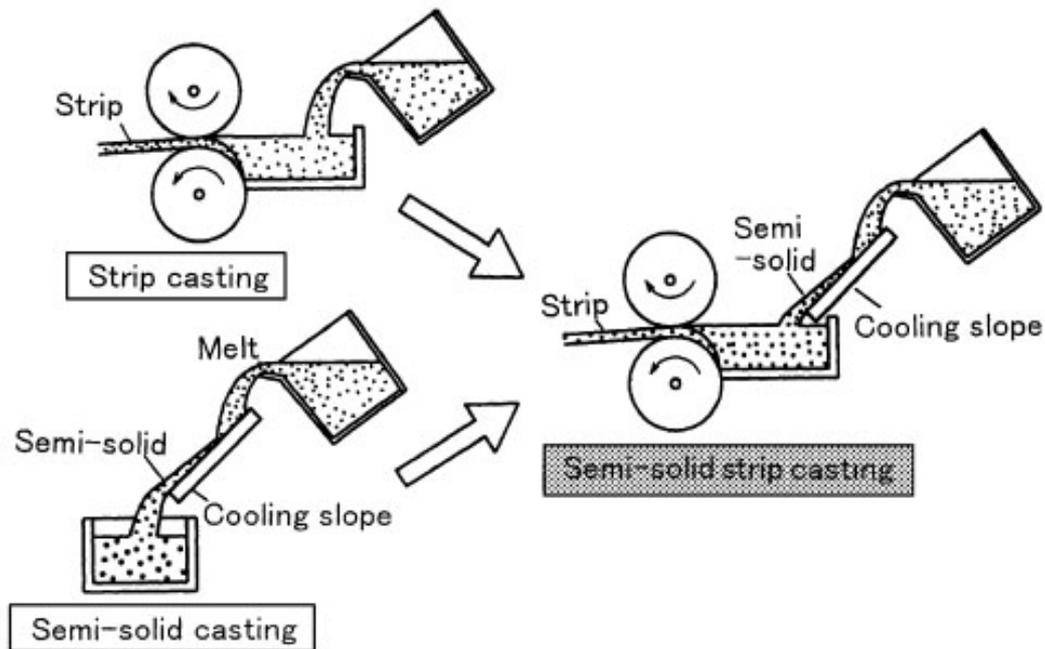


Figura 3. Ilustração esquemática mostrando a combinação da calha de resfriamento com o cilindro de laminação e forma de obter fundido semi-sólido (“semi-solid casting”) diretamente da fase líquida (reofundição).⁽³⁾

A microestrutura da tira fundida usando esta técnica é muito fina devido à solidificação rápida imposta pelas condições de processamento que ocorrem durante a laminação do material.⁽¹⁾ O material durante o processamento passa do estado líquido para lama metálica e estado pastoso para ser conformado pelo cilindro superior do laminador. Este processo tem sido denominado de tixolaminação. Outras técnicas de fabricação aplicam uma pressão para melhorar o contato do fundido com os cilindros para obter um melhor acabamento da superfície laminada.⁽⁴⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 4 mostra o laminador duo modificado para o processamento em semi-sólido neste trabalho. A liga 70%Pb-30%Sn foi vazada no *tundish* (bocal que recebe o fundido) onde é escoada através de uma calha de resfriamento para obter o material semi-sólido. Um bocal *nozzle* foi acoplado junto ao cilindro inferior para receber o material proveniente da calha de resfriamento. Três termopares tipo K estão posicionados a partir do *tundish* e espaçados aproximadamente de 100 mm ao longo da calha de resfriamento, o bocal acoplado junto a cilindro tem um termopar tipo K acoplado, bem como o cilindro inferior e o sistema de refrigeração do laminado. Para esse projeto utilizamos a técnica do *Single Roll*, ou seja, laminação feita apenas com o cilindro inferior de maneira a obter tiras resfriadas rapidamente, assim o espaçamento entre os cilindros foi deixado de tal forma que o material pudesse ser resfriado pelo cilindro inferior sem sofrer conformação pelo cilindro superior. A tira é resfriada rapidamente por um chuveiro de água após passar pela cadeira do laminador.



Figura 4: Laminador duo utilizado pelo grupo de pesquisa na obtenção de tiras metálicas.

A taxa de resfriamento e deformação, ou seja, a velocidade dos cilindros pode ser variada para obter a máxima produtividade sem afetar a qualidade da tira. Tabela 1 mostra os dados do laminador modificado para este experimento.

Tabela 1. Dados do laminador.

Potência do motor elétrico		7,5cv; 1735 rpm		
Cilindros	Diâmetro	105 mm		
	Largura	101 mm		
	Material	Aço carbono cementado		
	Velocidade	Marcha	rpm	m/min
		1	46	15
2		85	28	
3		132	44	
4	195	117		

3 RESULTADOS

A Figura 5 mostra o perfil das temperaturas obtidas ao longo do processamento. Observa-se o aumento da temperatura dos cilindros. Isto poderia causar uma modificação microestrutural. Temperaturas maiores da calha de resfriamento são obtidas junto ao bocal (*nozzle*). A Figura 6 mostra a tira obtida.

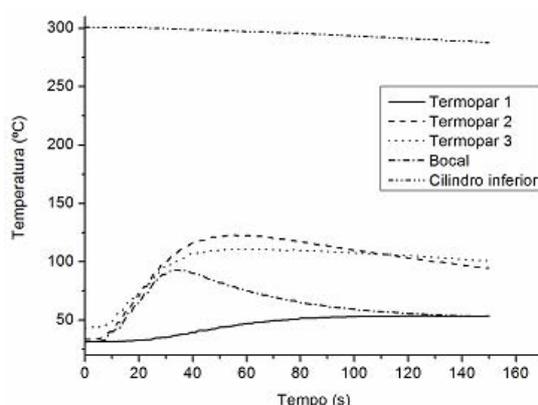


Figura 5. Evolução do perfil térmico ao longo do processamento. $T_v = 375 \text{ }^\circ\text{C}$ (temperatura de vazamento); $V_c = 0,46 \text{ m/s}$ (velocidade dos cilindros).



Figura 6. Tira obtida com os defeitos superficiais.

A Figura 6 mostra alguns defeitos ocorridos durante a laminação, como a formação de imperfeições, trincas e furos. Os furos podem ser formados pela não uniformidade no fluxo de fundido que chega ao laminador, uma vez que, o processo de vazamento do fundido é manual.

4 DISCUSSÃO

Velocidades de solidificação rápida implicam que o calor sensível da liga metálica fundida tem que ser removido mais rapidamente pelos cilindros do que o material sendo processado na máquina de lingotamento. Então, o controle da velocidade superficial dos cilindros pode gerar tiras de diferentes qualidades mecânicas/metalúrgicas.

As trincas observadas na Figura 6 são defeitos que comprometem seriamente a estrutura de peças fundidas e lingotes e podem levar até mesmo a um descarte de volumes significativos de uma produção em série e são geralmente classificadas em trincas frias e gotas quentes (*hot tears*). As trincas frias são provocadas pelas tensões que surgem durante o resfriamento, causadas ou pela resistência do molde ou por restrições à contração de seções mais delgadas ou por seções mais espessas que se resfriam mais lentamente. Essas trincas estão consequentemente relacionadas com a geometria da peça e ao projeto do sistema de fundição.

Um primeiro tipo de gota quente que surge durante o resfriamento da tira se desenvolve em regiões nas quais acontece o estágio final do processo de solidificação e é típico de ligas com grandes intervalos de solidificação.⁽¹⁾ Essas regiões ficam isoladas do líquido e são caracterizadas por dendritas primárias separadas por um filme de metal líquido, e as tensões de contração que acompanham esse final de solidificação podem ser suficientes para a formação desse gênero de trincas.

Nota-se também que a geometria da tira foi próxima da geometria do bocal acoplado ao cilindro, dessa maneira, a tira laminada obteve a mesma largura da saída do bocal.

5 CONCLUSÃO

O grande potencial desse novo processamento é a economia de energia e etapas necessárias à conformação plástica a quente e a frio dos metais e ligas metálicas. Este processamento em um futuro breve poderá substituir o lingotamento contínuo aplicado em produtos ferrosos e não-ferrosos para posterior processamento

termomecânico. Dessa forma, o processamento convencional requer um consumo de grande quantidade de energia, espaço físico para instalação dos laminadores, alto custo de operação e a necessária manutenção periódica.

Para ser competitiva no mercado, pelo menos, a tixolaminação e a solidificação rápida de tiras têm por finalidade produzir uma tira metálica com qualidade metalúrgica igual ou superior ao material laminado a quente.

A contribuição deste trabalho será otimizar o processamento de tiras metálicas obtidas diretamente do estado líquido e capacitar à equipe envolvida a simular outras ligas metálicas de elevadas temperaturas de fusão. Estas serão caracterizadas pela microestrutura, distribuição e tipo de inclusões, propriedades mecânicas e controle geométrico da tira.

A pesquisa ainda em caráter de desenvolvimento mostrou um grande desafio a ser alcançado: Como controlar as variáveis do processo de forma a obter tiras uniformes e com mínimo de defeitos? A resposta é realizar bateria de testes a fim de aprimorar o controle dessas variáveis.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Antonio de Pádua Lima Filho pela orientação.

Aos técnicos Darcy, Edvaldo, Marino e Ronaldo do Departamento de Engenharia Mecânica pelo suporte técnico durante os ensaios realizados.

Ao Prof. Dr. Edson Del Rio Vieira, o Sr. Elias e o Sr. Moisés pelas fotografias e filmagens digitais.

A Cookson Electronics Brasil pela liga utilizada neste trabalho.

Ao mestrando Márcio Iuji Yamasaki pelo apoio durante a realização dos testes experimentais.

A Foseco Industrial e Comercial Ltda pelo desmoldante empregado.

REFERÊNCIAS

- 1 GARCIA, A. Solidificação: fundamentos e aplicações. Editora Unicamp. 2001.
- 2 HAGA, T.; SUZUKI, S. A high speed twin roll caster for aluminum alloy strip. *Journal of Materials Processing Technology*, 113, 291-295, 2001.
- 3 HAGA, T. Semisolid strip casting using a twin roll caster equipped with a cooling slope. *Journal of Materials Processing Technology*. 130-131, 558-561, 2002.
- 4 HAGA, T.; NISHIYAMA, T.; SUZUKI, S. Strip casting of A5182 alloy using a melt drag twin-roll caster. *Journal of Materials Processing Technology*. 133, 103-107, 2003.