

DESENVOLVIMENTO DO TRATAMENTO TÉRMICO DE RECOZIMENTO PARCIAL PARA A LIGA 3003 OBTIDA PELO PROCESSO DE VAZAMENTO CONTÍNUO¹

Rogério Minatel²

Resumo

Desenvolver o tratamento de recozimento parcial para a liga AA3003 obtida por processo de vazamento contínuo roll caster, laminada a frio sem tratamento prévio de homogeneização. Para o desenvolvimento utilizou-se o tratamento térmico de amostras laminadas a frio, sem prévia homogeneização, com fator de redução de 86%. As amostras foram tratadas em estufa com temperaturas entre 200 a 500°C. O ensaio de tração foi utilizado para determinar a curva das propriedades mecânicas em função da temperatura do tratamento térmico. Com a curva determinada foi possível definir a temperatura ideal para atingir as propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Alumínio; Recristalização; Recozimento parcial.

DEVELOPMENT OF PARTIAL ANNEALING HEAT TREATMENT TO THE 3003 ALLOY OBTAINED BY PROCESS OF CONTINUOUS CASTING

Abstract

Developing the process of partial annealing to the AA3003 alloy obtained by process of continuous casting, cold rolled without pretreatment of homogeneity. For this study was used heat treatment of cold-rolled samples without prior homogenization, with the reduction factor of 86%. The samples were treated in furnace with temperatures from 200 to 500°C. The tension test was used to determine the curve of the mechanical properties depending on the temperature of the heat treatment. With the curve it was possible to set the temperature to reach better mechanical properties.

Key words: Aluminum; Recrystallization; Partial annealing.

¹ *Contribuição técnica ao 45º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 21 a 24 de outubro de 2008, Ipojuca - Porto de Gainhas - PE*

² *Engenheiro de Processos – Companhia Brasileira de Alumínio – Votorantim, mestrando pelo Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais da Universidade de São Paulo, engenheiro de materiais – UFSCAR.*

1 INTRODUÇÃO

A larga utilização do alumínio aumenta cada vez mais a competitividade das empresas e a necessidade de redução de custos de produção, visando aumento da participação do metal em novas aplicações. As restrições normalmente estão ligadas ao custo e às limitações técnicas do metal.

Quando se fala em redução do custo de produção, o processo *twin roll continuous caster*, mais conhecido como caster é muito utilizado. Consiste no vazamento de chapas, usualmente entre 3 mm a 9 mm de espessura. O metal líquido é transportado do forno até o injetor através de uma calha, passando pelo sistema de degaseificação e filtragem. O injetor, normalmente produzido de material cerâmico, é responsável pela distribuição do metal no cilindro e é uma das peças mais importantes do caster.⁽¹⁾ Na saída do injetor existem dois cilindros rotativos de aço, refrigerados internamente com água, girando em velocidade constante e em sentidos opostos. A distância dos cilindros define a espessura final da tira vazada.⁽¹⁾ Na Figura 1 temos uma foto do equipamento da CBA.



Figura 1: Vista superior do caster da CBA.

Ao entrar em contato com os cilindros o metal se solidifica e, posteriormente, sofre deformação. A temperatura de saída da chapa dos cilindros é em torno de 350°C, insuficiente para que ocorra recristalização, resultando em uma estrutura de grãos alongados na direção de laminação na superfície, como pode ser visto na Figura 2.

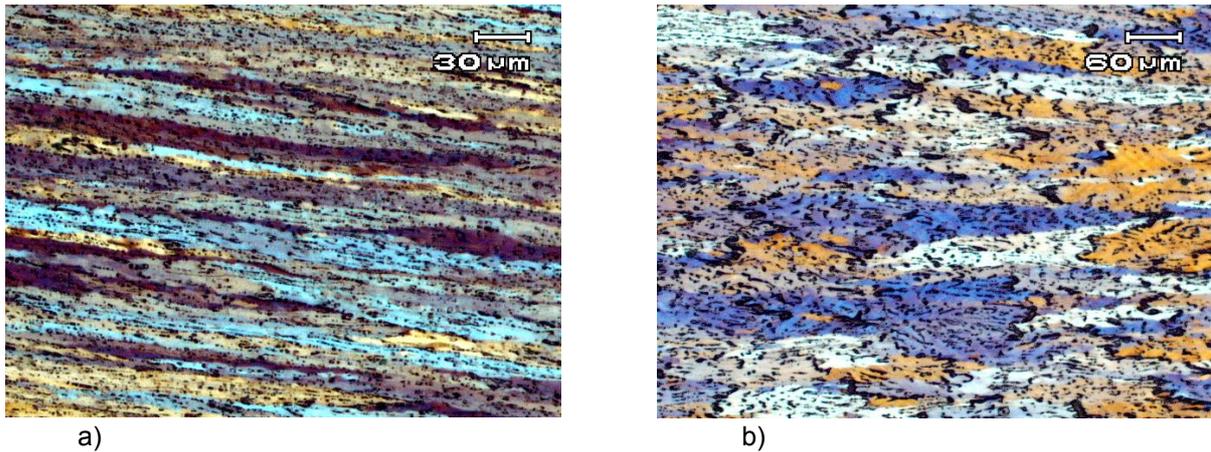


Figura 2: Microestrutura da amostra de caster na liga 3003 na secção longitudinal. a) Superfície e b) Centro.⁽¹⁾

Uma das principais características da liga 3003 obtida pelo vazamento via caster são os elementos em solução sólida. A alta taxa de resfriamento, em torno de 120°C/s, mantém o manganês retido em solução sólida. A Tabela 1 mostra a solubilidade dos principais elementos de liga do alumínio em diferentes condições de temperatura.

Tabela 1: Solubilidade dos principais elementos de liga do alumínio (% em peso).⁽²⁾

<i>Elemento de liga</i>	<i>Solubilidade máxima no estado sólido</i>	<i>Solubilidade em temperaturas mais baixas</i>	<i>Diferença de raio atômico (%)</i>	<i>Estrutura cristalina</i>
<i>Si</i>	1,65 (577 °C)	0,05 (250 °C)	- 6,3	<i>Cúbica</i>
<i>Fe</i>	0,052 (655 °C)	0,001 (400 °C)	- 11,2	<i>CCC/CFC</i>
<i>Cu</i>	5,65 (548 °C)	0,2 (200 °C)	- 11,2	<i>CFC</i>
<i>Mn</i>	1,82 (659 °C)	0,36 (500 °C)	- 8,4	<i>Cúbica</i>
<i>Mg</i>	14,9 (451 °C)	2,95 (150 °C)	+ 11,9	<i>HC</i>
<i>Zn</i>	82,8 (382 °C)	4,4 (100°C)	- 4,2	<i>HC</i>

O manganês retido em solução sólida supersaturada tende a precipitar na forma de dispersóides durante posteriores tratamentos térmicos.⁽³⁾ Os dispersóides retardam a recristalização e o tamanho de grão final chega a ser 5 vezes maior numa amostra de caster somente laminada a frio, quando comparada com o mesmo material homogeneizado.⁽⁴⁾

O tratamento de homogeneização é largamente utilizado com objetivo de precipitar os elementos em solução sólida e conseguir maior homogeneidade no tamanho e distribuição dos precipitados. Para conseguir resultados eficientes o tratamento normalmente é feito em temperaturas em torno de 500°C no metal, por tempos que variam entre 10 horas a 20 horas, impactando significativamente no custo de produção.

No processo via laminação a quente, o metal líquido é solidificado em forma de placa, posteriormente aquecida e laminada para a obtenção de bobinas que darão início ao processo de laminação a frio. Uma ilustração esquemática e a foto das placas na saída do poço de vazamento podem ser vistas na Figura 3.

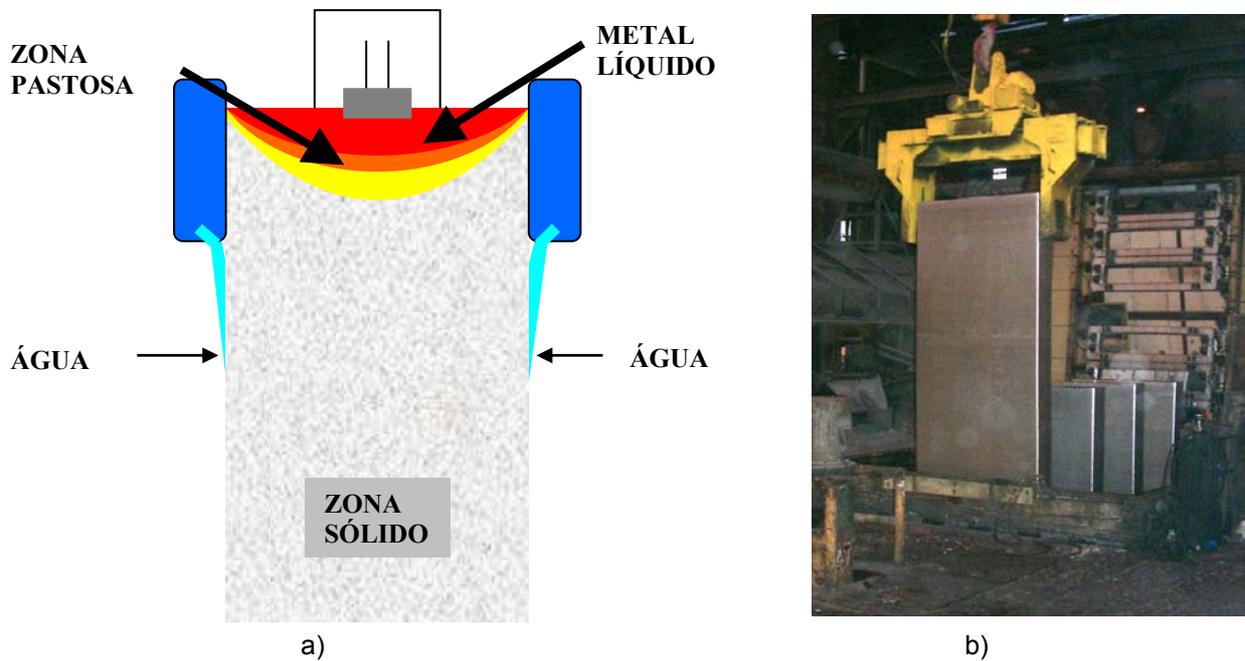


Figura 3: a) Desenho esquemático do vazamento de placas e b) Placas de alumínio no poço de vazamento.

O processo convencional de produção via caster e placa e o processo desenvolvido por recozimento parcial estão descritos na Figura 4.

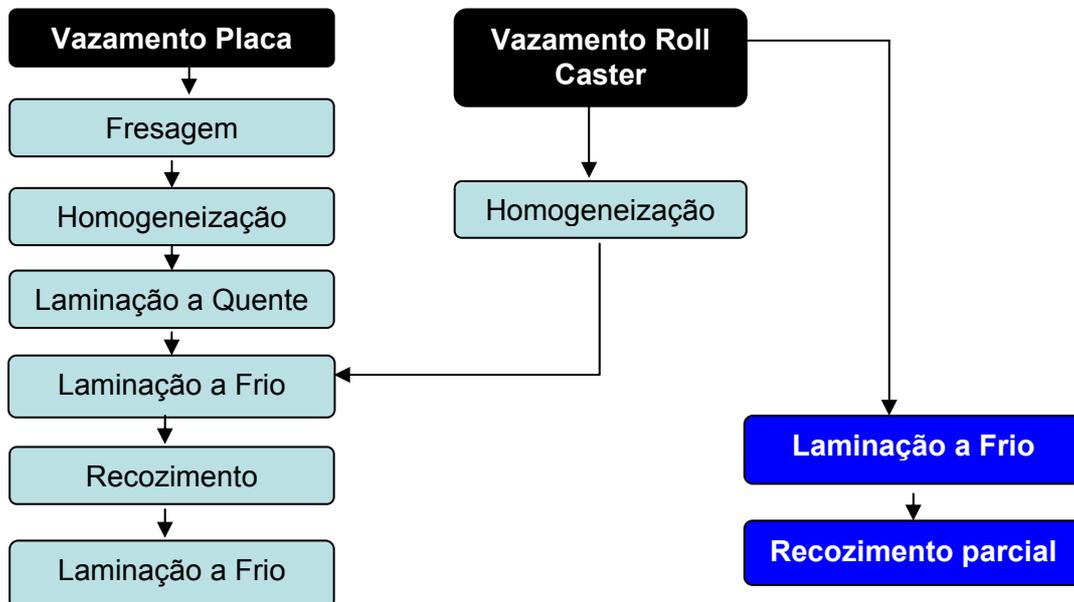


Figura 4: Fluxograma de produção para os diferentes processos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras para o trabalho foram retiradas de uma bobina na liga 3003, laminadas a frio sem tratamento térmico, com 1 mm de espessura, vazadas no caster com espessura de 7 mm.

Os principais parâmetros do caster estão listados abaixo:

Temperatura da água – Entrada 29°C e saída 32°C;

Velocidade de vazamento – 1m/min;

Temperatura de vazamento – 710°C;

A bobina foi vazada com 2.060 mm de largura, 7 mm de espessura, 600 mm de diâmetro interno e 1.970 mm de diâmetro externo.

A composição química foi analisada num espectrômetro de emissão óptica da marca ARL, modelo 3460.

A especificação dada pela norma NBR 6834 é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Composição química especificada.

Liga	Si	Mn	Fe	Mg	Cr	Ti	Cu
3003	0,6 max.	1,0 – 1,5	0,7 max.	0,001	---	---	0,10 – 0,20

O tratamento térmico foi realizado em estufa Brasimet modelo K250RJ com temperaturas entre 200°C a 500°C, em intervalos de 50°C, com tempo fixo de 1 hora por amostra.

O intervalo entre 280°C a 450°C foi melhor detalhado e as amostras tratadas a cada 10°C.

O ensaio de tração foi realizado conforme norma DIN 51221-1 e DIN EN10002-2. As propriedades mecânicas para cada têmpera são especificadas pela NBR 7823 e podem ser vistas na Tabela 3.

Tabela 3: Propriedades mecânicas de acordo com a NBR 7823

Têmpera	LRT (Mpa)		LE (Mpa)	Alongamento (%)
O	95	130	35	22
H12	120	160	85	5
H14	140	180	115	3
H16	165	205	145	3
H18	180	-	165	2
H19	195	-	-	2

Os corpos de prova para análise microestrutural foram cortados, embutidos e lixados com lixa de 220, 400, 600 e 800, com posterior limpeza em ultra-som. Para as imagens com luz polarizada as amostras foram atacadas com solução Barker por 3 min e 20V.

As imagens foram obtidas na direção longitudinal e transversal ao sentido de laminação, conforme direções indicadas na Figura 5.

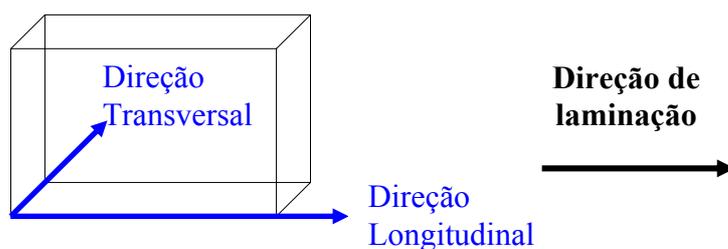


Figura 5: Definição das direções utilizadas para a análise metalográfica.

As micrografias foram obtidas com um microscópio óptico Olympus BX51M e uma câmera digital Olympus DP12.

O ensaio de dobramento a 90° foi feito com punção e raio de dobra 0.

3 RESULTADOS

A Tabela 4 e mostra a composição química da amostra.

Tabela 4: Composição química da amostra.

Liga	Si	Mn	Fe	Mg	Cr	Ti	Cu
3003	0,08	1,08	0,60	0	0	0,02	0,16

Os resultados do ensaio de tração podem ser vistos na Tabela 5:

Tabela 5: Resultados dos ensaios de tração nas amostras.

Temperatura	LRT	LE	Alongamento
H19	300	290	1,6
200°C	282	257	2,4
250°C	270	239	2,7
280°C	261	230	3
290°C	253	224	3,5
300°C	247	218	3,6
310°C	241	214	3,6
320°C	235	210	3,8
330°C	232	206	4,4
340°C	228	201	4,8
350°C	225	200	5
360°C	222	195	5,4
370°C	218	194	5,6
380°C	212	191	6,2
390°C	212	190	6,4
400°C	210	185	6,4
410°C	194	166	6,4
420°C	167	125	11,1
430°C	150	88	15,4
440°C	149	85	17,2
450°C	147	84	17,4
500°C	148	86	17,6

Com os resultados do ensaio de tração a curva de amolecimento foi traçada e pode ser visualizada na Figura 6.

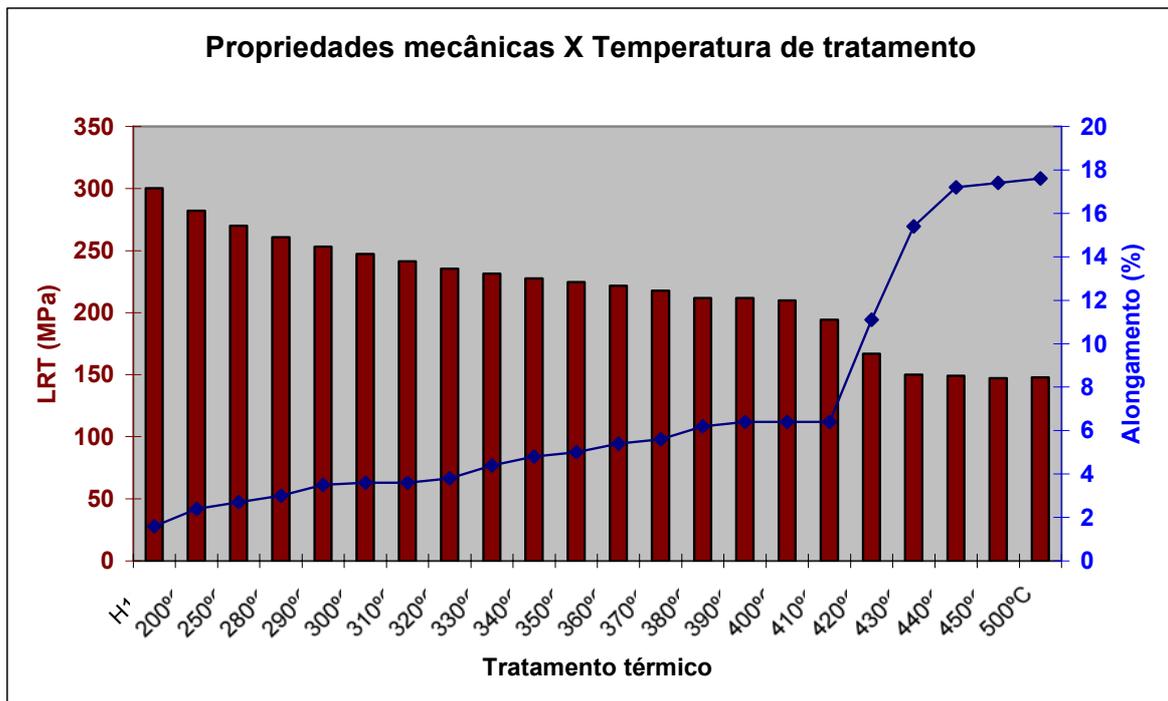


Figura 6: Gráfico de decaimento das propriedades mecânicas em função da temperatura de tratamento térmico.

Comparando os resultados obtidos com os valores especificados por norma, verifica-se o intervalo de temperatura que define cada têmpera, como sintetizado na Tabela 6.

Tabela 6: Obtenção das temperas em função da temperatura de tratamento.

Têmpera	LRT (Mpa)	LE (Mpa)	Alongamento (%)	Temperatura (°C)
O	95	130	35	22
H12	120	160	85	5
H14	140	180	115	3
H16	165	205	145	3
H18	180	-	165	2
H19	195	-	-	2

As propriedades mecânicas especificadas para as temperas intermediárias foram obtidas numa faixa estreita de temperatura o que pode ser fator restritivo de acordo com a capacidade de controle dos fornos industriais.

Analisando os resultados, nota-se que até 400°C não há potencial termodinâmico suficiente para ativar a recristalização. O decaimento das propriedades ocorre devido à recuperação. Entre 380°C e 400°C temos uma estabilização de propriedades e, a partir desta temperatura, ocorre o início da recristalização.

As propriedades mecânicas tendem a estabilizar acima de 430°C, não sofrendo influência nos resultados devido a novos aumentos de temperatura.

As micrografias do estado encruado, parcialmente recristalizado e recristalizado podem ser vistas na Figura 7.

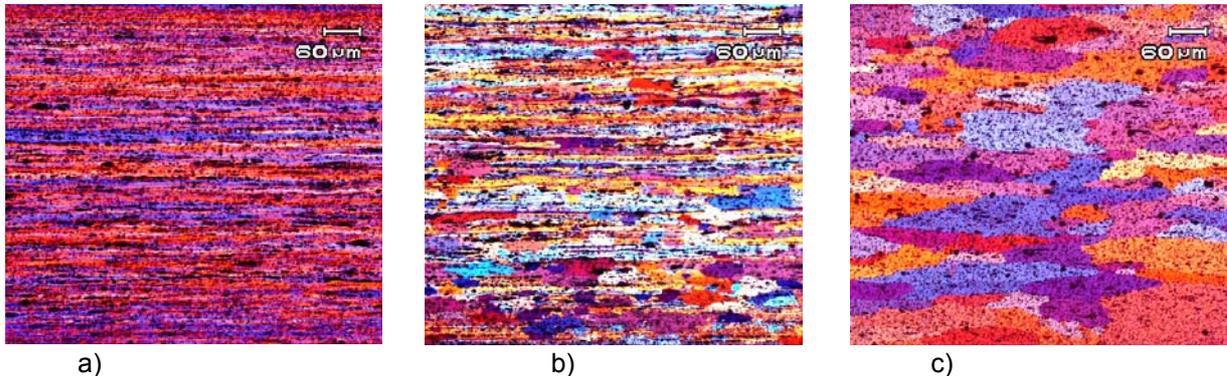


Figura 7: Microestrutura na direção longitudinal, sob luz polarizada, da amostra com encruamento de 86% (a), parcialmente recristalizada com tratamento a 420°C (b) e recristalizada com tratamento de 500°C (c).

O ensaio de dobra a 90° não apresentou fissuras.

4 CONCLUSÃO

As temperaturas necessárias para atingir cada têmpera foram definidas.

O material foi aprovado no ensaio de dobra e não houve prejuízo no aspecto visual. O processo representa ganho significativo de tempo de tratamento térmico, sendo possível eliminar o tratamento térmico de homogeneização.

Agradecimentos

À Companhia Brasileira de Alumínio, CBA, pelo incentivo à realização deste trabalho. A todos os colegas de trabalho que colaboraram com amostras, ensaios e discussões.

Ao Prof. Dr. Ângelo Fernando Padilha pela bibliografia recomendada e apoio técnico.

REFERÊNCIAS

- 1 FERNANDES, R. C. Efeito dos teores de manganês e de ferro na evolução microestrutural de duas ligas do sistema Al-Fe-Mn-Si obtidas por lingotamento contínuo (twin roll caster). São Paulo, 2006. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- 2 PADILHA, A. F. Encruamento, recuperação, recristalização e textura do alumínio e suas ligas. In: SEMINÁRIO DE METAIS NÃO FERROSOS, 10, 2002. São Paulo, ABM, 2002.
- 3 LI, Y.J.; ARNBERG, L.; Quantitative Study on the precipitation behavior of dispersoids in DC-cast AA3003 alloy during heating and homogenization. Acta materialia, 2002.
- 4 HUMPHREYS, F.J.; HATHERLY, M.; Recrystallization and Related Annealing Phenomena. Oxford, Pergamon., 1996.