



TÍTULO DO TRABALHO

COMPARAÇÃO DAS LIGAS DE ALUMÍNIO 8079 E 3003 OBTIDAS PELO PROCESSO DE TWIN ROLL CASTER E TEMPERA H19 UTILIZADAS EM ALETAS DE RADIADORES

Alecsandro Gonçalves de Menezes, Nelson Lima Batista, Antonio Augusto Couto.

*1 - Departamento de Engenharia de Materiais(TNM), Universidade de São Paulo (USP), IPEN, SP.
(IPEN). Avenida Prof. Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - bairro Butantã, CEP 05508-000,
SP.*

(alecsandrogd@usp.br, nblima@ipen.br, acouto@mackenzi.br)

RESUMO

As bobinas primárias para fabricação de aletas são obtidas pelo processo de laminação contínua (twin roll caster – TRC). Este processo converte o alumínio líquido diretamente em bobinas sólidas em uma única etapa. Após esse processo, o metal ainda está muito espesso e sem nenhum controle no acabamento. As bobinas das ligas na 8079 e 3003 produzidas por este processo representam um material atrativo para a aplicação em aletas de radiador. A laminação é executada geralmente em laminadores quádruplos, reversíveis ou não, sendo este último mais empregado. O número de passes depende da espessura inicial da matéria-prima, da espessura final, da liga e da têmpera do produto desejado. Os laminadores estão dimensionados para reduções de seções entre 30% e 70% por passe, dependendo também, das características do material em questão. Laminadores mais sofisticados possuem sistemas computadorizados, de controle de espessura e de planicidade. Na laminação a frio utilizam-se dois recursos: tensões avante e tensões a ré. Ambas aliviam o esforço de compressão exercido pelos cilindros, ou aumentam a capacidade de redução por passe, neste trabalho material liga 8079 utiliza espessura do material 65 microns, para redução de espessura com o material liga 3003 com espessura de 55 microns, sendo os materiais com mesma tempera H19.

Palavras-chave: Radiador, Processo Twin Roll Caster, utilizado em material de aletas com liga 8079 e 3003 redução de espessura do material.

INTRODUÇÃO

As ligas de alumínio são utilizadas na fabricação de trocadores de calor, como radiadores e ar condicionados, devido à sua excelente moldabilidade, relativamente boa resistência à corrosão, elevada condutividade térmica, baixa densidade, ótima relação resistência mecânica-peso e ótima conformabilidade.

O presente trabalho busca caracterizar detalhadamente os dois materiais laminados, das ligas de alumínio 8079 e 3003 têmpera H19. A caracterização do dois materiais laminados, pode ser subdividida em composição química, propriedades mecânicas, análises óptica e difração de raio X, as medidas de ductilidade são importantes, porque indicam quanto um material irá deformar antes que ocorra a falha. Para muitas aplicações no caso de fabricação da aleta do radiador de água, com redução de espessura de 65 microns liga 8079, para 55 microns liga 3003.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo tem como objetivo geral, correlação das propriedades mecânicas, e segregação dos constituintes da liga 8079 e 3003 com a mesma tempera H19, com relação as análises de composição química, análise de propriedades mecânicas, análise de microestrutural do material, via difração de raio X e Metalografias, fabricada pelos processos de (Twin Roll Caster - TRC).

O material utilizado neste trabalho foi a folha da liga de alumínio 8079 e 3003 obtida pelo mesmo processo de fabricação: fundição contínua. A composição química de amostras de folhas fabricadas foi obtida por espectrometria de Absorção Atômica, utilizando um equipamento da Varian modelo AA 55.

Para os ensaios de tração foram preparados 30 corpos-de-prova em cada bobina no material, 65 microns de espessura liga 8079 e material, 55 micros de espessura liga 300, obtida pelos mesmo processo de fabricação. Foram realizados 30 ensaios de tração em corpos-de-prova extraídos na direção longitudinal (0°) de laminação, 30 na direção transversal (90°). A seção reduzida dos corpos-de-prova apresentou comprimento de 50 mm e largura de 12,5 mm. Nos ensaios de tração foram obtidas a tensão de escoamento, o limite de resistência e o alongamento.

A preparação das amostras para observações por microscopia óptica das folhas da liga 3003 obtidas pelos dois processos de fabricação foi feita por meio de técnicas convencionais de embutimento, lixamento, polimento e oxidação anódica utilizando-se uma solução aquosa de ácido fluorbórico (HBF₄ 3,5 %). Para as observações da microestrutura foi utilizada luz polarizada em um microscópio óptico convencional de platina invertida.

As amostras utilizadas para análise da textura cristalográfica por difração de raios-X foram cortadas nas dimensões de 20x20 mm para os dois processos de fabricação. Para análise da textura cristalográfica utilizou-se um goniômetro automático de textura acoplado a um difratômetro Rigaku modelo Dmax 2000. A radiação utilizada foi o MoK α 1 ($\lambda = 0,7093 \text{ \AA}$) passo angular de 5° e tempo de contagem de 5 s. Os planos cristalográficos escolhidos para a obtenção das figuras de pólo foram (111), (200), (220) e (311). Com os dados gerados das figuras de pólo foram obtidas as funções distribuição de orientações (FDOs).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentadas as composições químicas obtidas para amostras das folhas da liga de alumínio liga 8079 e liga 3003 obtidas pelos dois processos de fabricação.

As ligas da série 8XXX geralmente possuem como elementos ligantes o ferro (Fe) e o manganês (Mn), e quando este é o caso, não são tratáveis termicamente. Esta série é recente e seus principais desenvolvimentos foram voltados a aplicações de fundição contínua na fabricação de folhas de alumínio. Quando os principais elementos da liga são o Fe e o Mn a liga se torna endurecível por encruamento. A principal aplicação desta série está em embalagens e em ligas como a 8079, cujo principal elemento é o silício e ferro aplicadas em embalagens e outros produtos comerciais.

As ligas da série 3XXX, que possuem o manganês como seu principal elemento ligante, não são tratáveis termicamente. Para endurecê-las é necessário o trabalho a frio. As ligas desta série possuem excelente resistência à corrosão, boa conformabilidade, e resistência mecânica apreciável.

Tabela 1: Ligas conforme Norma - DIN EN 573-3 AA 8079 e AA 3003.

Descrição das liga	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Zn %	Outros Elementos	Al %
8079	0,05 – 0,30 %	0,7 – 1,3 %	≤ 0,05 %	≤ 0,05 %	≤ 0,05 %	≤ 0,05 %	Restante
3003	≤ 0,60 %	≤ 0,70 %	≤ 0,10 %	≤ 1,0 – 1,5 %	≤ 0,10 %	≤ 0,05 %	

Na análise de propriedade mecânica, tensão de escoamento, limite de resistência do material e alongamento com base nas observações

PROPRIEDADES MECÂNICAS

A análise da curva de engenharia e os dados coletados, pelos extensômetros e software do da máquina, permitem que o limite de resistência à tração, limite de escoamento, e o alongamento percentual de cada corpo de prova foi obtido. A norma utilizada para a realização dos testes conforme ASTM E8 e ASTM E345.

Os resultados dos ensaios de tração dos corpos-de-prova extraídos na direção longitudinal (0°) e transversal (90°), da laminação são apresentados nas Tabelas 2 e 3 respectivamente. Nas duas direções de execução dos ensaios de tração constataram-se valores dos tensão de escoamento e de resistência a tração e de alongamento, nas ligas obtidas pelo processo Twin roll caster.

Com relação à posição dos corpos-de-prova na folha da liga 8079 foi realizado as análises tensão de escoamento (170,26 MPa), limite de resistência a tração (177,07 MPa) e alongamento em área útil de (50 mm) o valor de 4,6 %, em (90°) na tensão de escoamento (166,30 MPa), limite de resistência a tração (174,57 MPa) e alongamento em área útil de (50 mm) o valor de 5,3 %.

Com relação à posição dos corpos-de-prova na folha da liga 3003 os valores foram (0°) tensão de escoamento material liga 3003 (221,0 MPa), limite de resistência a tração (230,0 MPa) e alongamento em área útil de (50 mm) o valor de 4,6 %, em (90°) na tensão de escoamento (209,55 MPa), limite de resistência a tração (223,57 MPa) e alongamento em área útil de (50 mm) o valor de 6,0 %.

Estes resultados sugerem que os materiais podem apresentar diferenças significativas, durante a fabricação do material liga 8079, apresenta valores relativamente abaixo, da liga 3003 apresentou valores de tensão de escoamento e resistência mecânica elevados.

No material 8079 não foram observadas diferenças significativas dos resultados obtidos nos ensaios de tração entre os corpos-de-prova extraídos nas três direções (0° e 90°) em relação à laminação. No material liga 3003 teve uma diferença comparada as duas ligas de em direção (0°) tensão de escoamento material liga 8079 relação ao tensão de escoamento e (51,74 MPa) e 23,41% em relação ao resistência a tração o diferença em (52,93 MPa) e 23,0 %, e no alongamento não teve diferença. Os valores em (90°), em relação as duas ligas tivemos uma diferença de tensão de escoamento e (57,27 MPa) e 27,32% em relação ao resistência a tração o diferença em (49,0 MPa) e 21,91%, e no alongamento teve diferença 11,6%.

Com relação à posição dos corpos-de-prova na folha da liga 3003 obtida pelo processo TRC, não foram observadas diferenças significativas dos resultados obtidos nos ensaios de tração entre os corpos-de-prova extraídos nas direções longitudinais (0°) e transversais (90°) de laminação. Isto ocorreu em função da presença da textura tipo cobre ($\{211\}\langle 111\rangle$), uma vez que nesta textura a orientação $\langle 111\rangle$ está muito próxima das direções longitudinal e transversal (uma diferença de no máximo 10°) longitudinal, ou seja, ambas as direções apresentam a orientação $\langle 111\rangle$.



Figura 1 – Tiras da liga de alumínio para confecção dos corpos de prova 30 amostras de cada direção, conforme Norma ASTM E 345.

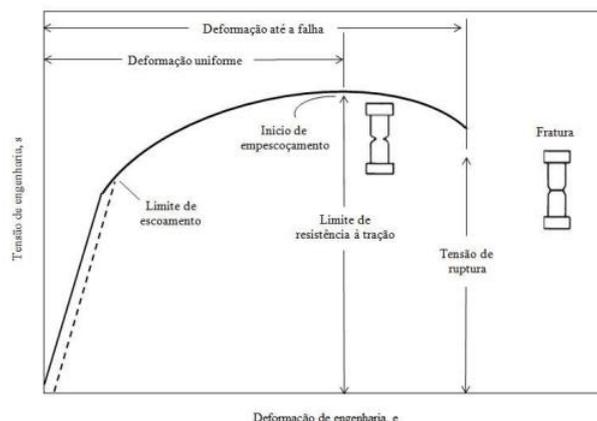


Figura 2 – Curva de Engenharia de Tensão X Deformação (ASM Handbook 8).

Tabela 2 - Resultados de média dos 30 corpos de prova obtidas em ensaios de tração de corpos-de-prova extraídos na direção longitudinal (0°) e direção transversal (90°), liga 8079 pelos processos de fundição contínua (TRC).

Processo	Media	Tensão de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento(%)
TRC Liga 8079	0°	170,26	177,07	4,6
	90°	166,30	174,57	5,3

Tabela 3 - Resultados de média dos 30 corpos de prova obtidas em ensaios de tração de corpos-de-prova extraídos na direção longitudinal (0°) e direção transversal (90°), liga 3003 pelos processos de fundição contínua (TRC).

Processo	Media	Tensão de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento(%)
TRC Liga 3003	0°	221,0	230,0	4,3
	90°	209,55	223,97	6

ANALISE DE MICROSCOPIA

A caracterização microestrutural dos materiais é de grande importância já que reconhecidamente as propriedades, essenciais à aplicação e ao desempenho do material em uso, são dependentes de suas particularidades microscópicas. Tecnologias atuais permitem a inversão da abordagem tradicional de entender e explicar as propriedades dos materiais através da análise microestrutural e tornam possível projetar propriedades, muitas vezes inéditas, por meio da manipulação a nível atômico. Atualmente a microestrutura dos metais pode ser estudada por vários meios, dentre os

mais utilizados podem ser mencionados as análises metalográficas, neste estudo será feito as imagens microestrutural os laminados foram submetidos à análise em microscópio óptico. Para cada liga laminada, uma amostra foi confeccionada. Desta forma, imagens serão obtidas em ampliações de 100, 200 e 1000 vezes.

Microestrutura material Folha Liga 8079 H19 - Ensaios realizado por microscopia óptica 500 e 1000 x, e luz polarizada em 100 e 200x, na seção longitudinal, transversal e normal, processo de fabricação típico para caster com homogeneização – Microestrutura formada por partículas de segunda fase ricas em α -AlFeSi, fragmentadas e na forma de bastonetes e placas e distribuídas de maneira homogênea na Matriz Al, na seção longitudinal, processo de fabricação caster liga 3003 – Microestrutura formada por partículas de segunda fase ricas em α -FeMnSiAl fragmentadas e arredondadas pelo tratamento térmico e distribuídas de maneira homogênea na Matriz Al. Estruturas granulares deformadas (Alongada) pelo processo de laminação encruamento tempera H19

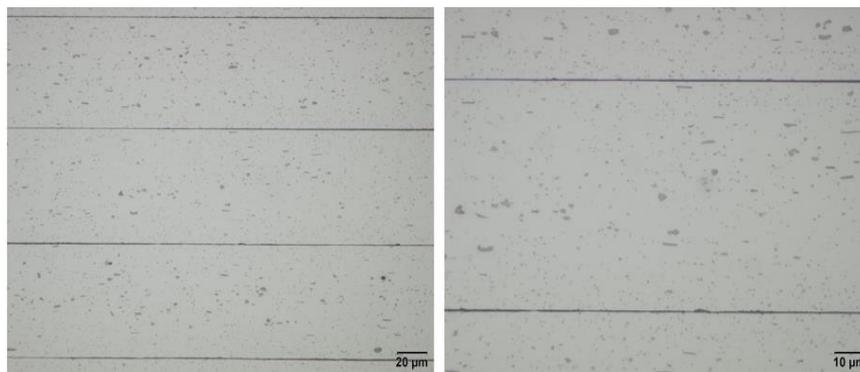


Figura 3 – Liga 8079 - Imagens 500 e 1000 X direção de laminação, seção longitudinal, detalhe da microestrutura ao longo da espessura do material.

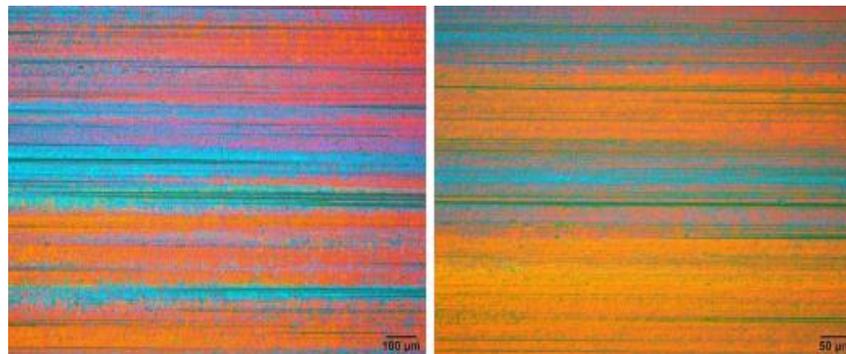


Figura 4 – Liga 8079 H19 – Imagens 100X e 200X da estrutura granular, seção longitudinal, detalhe da microestrutura ao longo da espessura do material, imagem sem ataque e com ataque solução HBF4 1%, 35s.

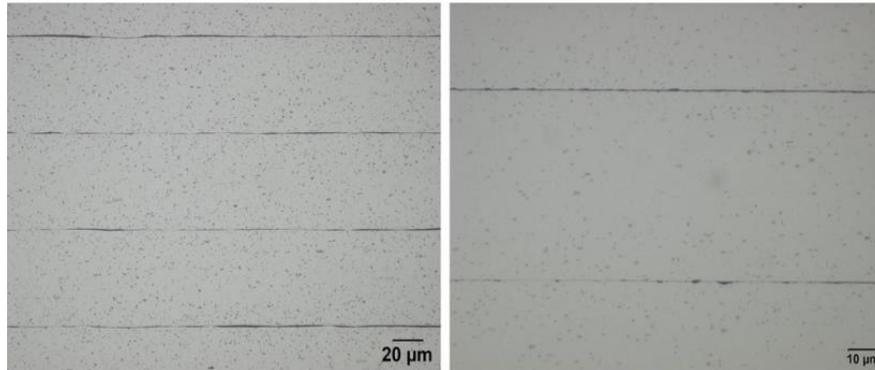


Figura 5 – Liga 3003 H 19 - Imagens 500 e 1000 X direção de laminação, seção longitudinal, detalhe da microestrutura ao longo da espessura do material.

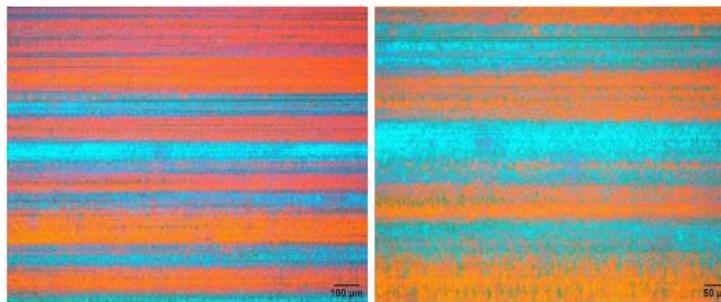


Figura 6 – Liga 3003 H19 - Imagens 100X e 200X da estrutura granular, seção longitudinal, detalhe da microestrutura ao longo da espessura do material. imagem com ataque solução HBF4 1%, 35s.

ANALISE DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X.

Materiais policristalinos são compostos por inúmeros grãos, que também são chamados de cristais. Os contornos de grão são a fronteira entre cristais com orientações cristalográficas diferentes. A orientação cristalográfica dos grãos nos sólidos policristalinos raramente é completamente aleatória, como ocorre com sólidos gerados através de tecnologias de metalurgia do pó, e geralmente possui uma tendência ou uma orientação preferencial. A esta tendência de orientação preferencial, que para muitos materiais ocorre naturalmente e é ainda mais acentuada por alguns tipos de processos termomecânicos, dá-se o nome de textura. Análises de textura são de grande importância porque muitos materiais, possuem propriedades dependentes desta orientação preferencial. As amostras das ligas de alumínio liga 8079 com 65 microns e liga 3003 com 55 microns, utilizadas para geração das Figuras de Distribuição de Orientação (FDO), serão de 5 mm x 5 mm.



Figura 09 - Amostras para análise por difração de raios X.

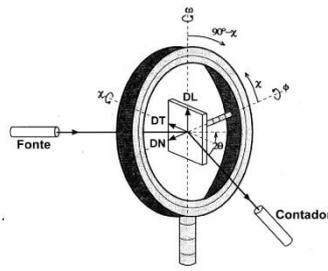


Figura 7: Goniômetro de textura com a geometria de reflexão (RANDLE ENGLER,2000).

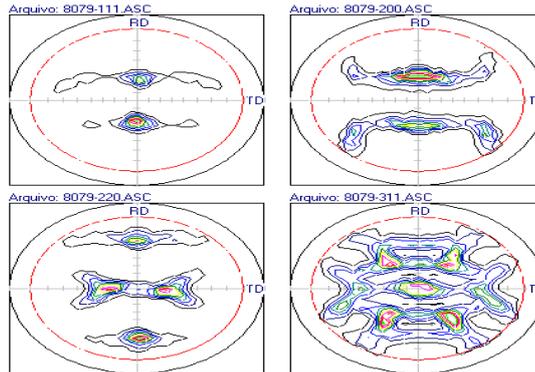


Figura 8 - Figuras dipolos no material liga 8079.

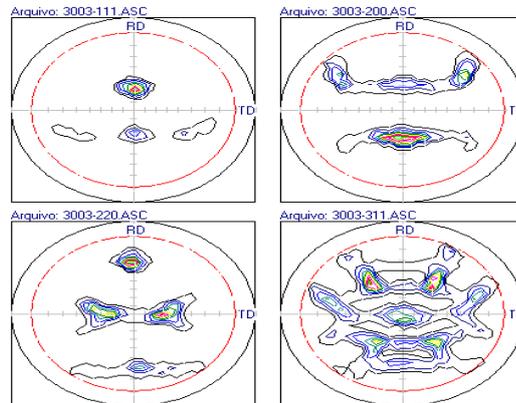


Figura 9 - Figuras dipolos no material liga 3003.

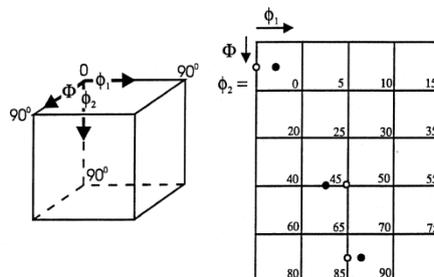


Figura 10: Espaço de euler e Eixo ϕ_2 em intervalo 5° . Fonte: ALLUMATTER website (aluminium.matter.org.uk.).

Na folha da liga 8079 textura tipo cobre $\{211\}\langle 111\rangle$. Nota-se no processo de folha de alumínio 3003, obtida a presença das texturas tipos cubo $\{100\}\langle 001\rangle$ e goss $\{110\}\langle 001\rangle$, que são texturas típicas de alumínio recristalizado, e tipo latão $\{011\}\langle 112\rangle$ que é típica da textura de deformação do alumínio.

A presença destas orientações minimiza a anisotropia das propriedades mecânicas, uma vez que a textura com diversas componentes indicam a presença de grãos distribuídos de forma relativamente aleatória. Para metais CFC que sofreram baixas deformações a frio a fibra α pode ser observada e vai da textura Goss (G) $\{011\}$ até a textura latão (Bs) $\{011\}$.

Para materiais CFC que sofreram deformação a frio mais intensa as tendências de orientação se encontram ao longo da fibra β , que vai da textura cobre (Cu) $\{112\}$ ao encontro da textura latão passando por S $\{123\}$. Por causa desta tendência exibida por metais como o alumínio e o cobre é conveniente diferenciar texturas de laminação pelas distribuições de intensidade ao longo das fibras α e β .

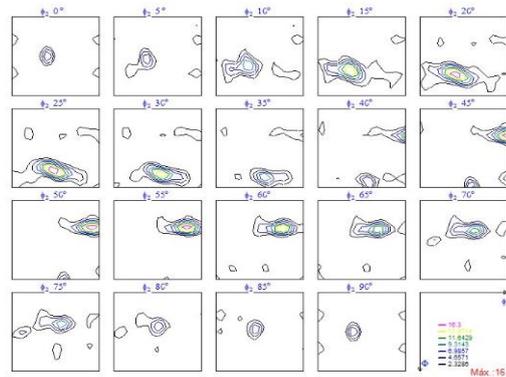


Figura 11 - Figuras Distribuição de Orientação (FDO), metais (CFC) liga 8079.

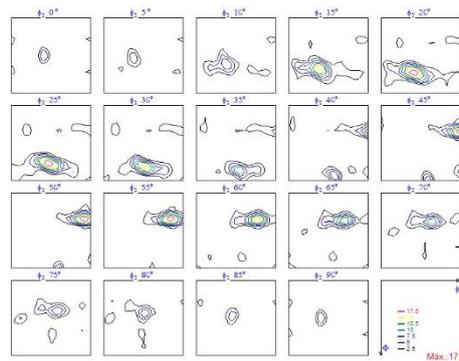


Figura 12 - Figuras Distribuição de Orientação (FDO), metais (CFC) liga 3003.

CONCLUSÕES

A comparação dos dois processos de obtenção da folha de alumínio da liga 8079 com a liga 3003 para aplicação em na fabricação de aletas de radiadores, (Twin Roll Caster - TRC) possível diminuir a espessura do material para fazer o mesmo trabalho do material 8079 diminuindo a espessura, em 10 microns, e elevando a propriedade de resistência mecânica acima de 220 Mpa. Bom base nos estudos acima e nítido que o material liga 3003 e aplicável para a aplicação da aleta dos radiadores com 55 microns de espessura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos times que nos ajudaram para finalizar este trabalho da Empresa Modine pelos materiais cedidos, e agradeço a todos os envolvidos na elaboração deste artigo

REFERÊNCIAS

1. **Livros:** KINGERY, W. D.; BOWEN, H. K.; UHLMANN, D.R. Introduction to Ceramics. New York: John Wiley & Sons, 1976.
2. **Artigos de periódicos:** DEKSNYS, T. P.; MENEZES, R.R.; FAGURY-NETO, E.; KIMINAMI, R.H.G.A. Synthesizing Al₂O₃/SiC in a microwave oven: a study of process parameters. Ceram. Int., v. 33, n. 1, p. 67-71, 2007.
3. 1. ASM METALS HANDBOOK; volume 2, **Properties and selection: Nonferrous alloy and special-purpose materials**, 1992, ASM International.
4. 2. ASM INTERNATIONAL HANDBOOK. Volume 8 **Mechanical Testing and Evaluation**. [S.I.: s.n., 2000].
5. 3. CD-ROM. ASM INTERNATIONAL HANDBOOK. Volume 10 **Materials Characterization**. [S.I.: s.n., 1998].
6. 4. CD-ROM. ASM INTERNATIONAL HANDBOOK. Volume 14 **Forming and Forging**. [S.I.: s.n., 1998].
7. 5. Aluminum Alloy Sheets. **Scripta Metallurgica et Materialia**, v. 31, p. 387-392, Abril 1994.
6. CALLISTER, W. D. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
8. 6. MENEZES, A.; COUTO, A.A.; LIMA, N.B. **Comparação de Processos de Fabricação de Folha de Alumínio Para a Aplicação em Componentes de Trocador de Calor**. [S.I.: s.n.,2013].
9. 7. OLIVEIRA, A. F. **Caracterização de um Aço IF Após Relaminação no Laminador de Encruamento**. Dissertação de Mestrado apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010
10. 8. OZTURK F.; et.al. **Grid Marking and Measurement Methods for Sheet Metal Formability**. International Conference and Exhibition on Design and Production of Machines and Dies, 5, 2009.
11. 9. PADILHA, A. F.; SICILIANO.F. **Encruamento, Recristalização, Crescimento de Grão e Textura**. São Paulo: ABM, 2005.
12. 10. PADILHA, A.F. **Materiais de Engenharia – Microestrutura e Propriedades**. Curitiba: Hemus, 2000.
13. 11. ANDRÉ LUÍS TEIXEIRA MARTINS **ESTUDO COMPARATIVO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS E TEXTURA DE LAMINADOS DA LIGA DE ALUMÍNIO 3104-H19** Dissertação de Mestrado apresentada a Escola Mackenzie de São Paulo. Paulo 2014.
14. 12. CHEMIM FILHO R. A. **Avaliação das Deformações de Chapas Finas e Curvas CLC para Diferentes Geometrias de Punções**. Dissertação de Mestrado apresentada Universidade Federal do Paraná. Curitiba , 2004.:
15. ASTM E112, *Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*
16. **Artigos apresentados em eventos:** FERREIRA, L.L.H.C.; BALDO, J.B.; RODRIGUES, J.A.; BERNARDI, L.T.; BRESSIANI, J.C. Refratários do sistema MgO-TiO₂-CaO para aplicação em zona de queima de fornos de cimento. In: 51 CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, Salvador, BA, 2007. Anais... São Paulo, ABC, 2007, p.1-12. Ref. 7-15. Disponível em: http://www.abceram.org.br/51cbc/51cbc_inicial.htm. Acesso em: 12 de dezembro de 2016.
17. **Dissertações e teses:** GHUSSN, L. Síntese e Caracterização de Vidros Niobofosfatos e Ferrofosfatos Utilizados Como Meio para Imobilização de U₃O₈. 2005, 100p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo.

18. **Capítulos de livros:** RÜHLE, M.; CLAUSSEN, N.; HEUER, A.H. Microstructural studies of Y_2O_3 -containing tetragonal polycrystals (Y-TZP). In: CLAUSSEN, N.; RÜHLE, M.; HEUER, A.H. (Eds.) Advances in Ceramics v. 12: Science and Technology of Zirconia II. Columbus, OH, The American Ceramic Society, 1984, p.352-370.

COMPARISON OF ALUMINUM ALLOYS 8079 AND 3003 OBTAINED BY THE TWIN ROLL CASTER AND H19 TEMPERA PROCESS USED IN RADIATOR FINS

ABSTRACT

The primary coils for the manufacture of fins are obtained by the continuous lamination process (twin roll caster - TRC). This process converts liquid aluminum directly into solid coils in one step. After this process, the metal is still very thick and without any control in the finish. Alloy coils 8079 and 3003 produced by this process represent an attractive material for application in radiator fins. Rolling is generally performed in quadruple rolling mills, reversible or not, the latter being the most used. The number of passes depends on the initial thickness of the raw material, the final thickness, the alloy and the temper of the desired product. The rolling mills are dimensioned for section reductions between 30% and 70% per pass, also depending on the characteristics of the material in question. More sophisticated laminators have computerized systems to control thickness and flatness. In cold rolling, two resources are used: forward tensions and aft tensions. Both relieve the compression effort exerted by the cylinders, or increase the reduction capacity per pass, in this work material alloy 8079 uses a material thickness of 65 microns, for thickness reduction with material alloy 3003 with a thickness of 55 microns, being the materials with same temper H19.

Keywords: Radiator, Twin Roll Caster Process, used in material of fins with alloy 8079 and 3003 material thickness reduction.