



**Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia
(Organizadores)**

Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica 3

Atena
Editora
Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia
(Organizadores)

**Impactos das Tecnologias na
Engenharia Mecânica**
3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias na engenharia mecânica 3 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, Ricardo Vinicius Bubna Biscaia. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v.3)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-248-7

DOI 10.22533/at.ed.487190504

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Biscaia, Ricardo Vinicius Bubna. III. Série.

CDD 670.427

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

APRESENTAÇÃO

A engenharia mecânica está em constante mudança, sendo uma das mais versáteis, se olhar desde seu surgimento durante a Revolução Industrial até os dias de hoje é visível a modernização e modificação dos métodos e das tecnologias empregadas.

Nesta evolução um dos pontos de destaque é a área de materiais e dos modos de obtenção dos mesmos, sendo responsável por grande parte desta modernização da área. Neste livro são tratados alguns assuntos ligados diretamente a área de matérias, bem como os processos de transformação dos mesmos em produtos finais.

A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas de desempenho técnico e econômico. Ainda são base da formação do engenheiro projetista cujo ofício se fundamenta na correta escolha de materiais e no processo de fabricação do mesmo.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a seleção, desenvolvimento e processos de obtenção e fabricação são apresentados nesse livro.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DAS LIGAS Al-3%Si E Al-9%Si ATRAVÉS DO PROCESSO “SQUEEZE-CASTING”, E A INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NA DUREZA, MACRO E MICROESTRUTURA	
<i>Diógenes Linard Aquino Freitas</i> <i>Cláudio Alves de Siqueira Filho</i> <i>José Joelson de Melo Santiago</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905041	
CAPÍTULO 2	12
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CEMENTANTES ATRAVÉS DA MEDIÇÃO DE MICRODUREZA VICKERS	
<i>Bernardo Rota</i> <i>Alisson Geovane Silva de Souza</i> <i>Annemarie Henker</i> <i>Daniel Amoretti Gonçalves</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905042	
CAPÍTULO 3	22
ESTIMATIVA DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO USANDO O MÉTODO DO FIO QUENTE	
<i>Alisson Augusto Azevedo Figueiredo</i> <i>Jefferson Gomes do Nascimento</i> <i>Luís Henrique da Silva Ignácio</i> <i>Vinicius Soares Medeiros</i> <i>Fernando Costa Malheiros</i> <i>Henrique Coelho Fernandes</i> <i>Gilmar Guimarães</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905043	
CAPÍTULO 4	27
PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE NANOFUIDOS TiO ₂	
<i>Letícia Raquel de Oliveira</i> <i>Stella Rodrigues Ferreira Lima Ribeiro</i> <i>David Fernando Marcucci Pico</i> <i>Alessandro Augusto Olimpio Ferreira Vittorino</i> <i>Enio Pedone Bandarra Filho</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905044	
CAPÍTULO 5	35
DESENVOLVIMENTO DE UM INDENTADOR INSTRUMENTADO PARA MEDIÇÕES DE PROPRIEDADES ELÁSTICAS E PLÁSTICAS	
<i>Lucas dos Reis Heni Madeira</i> <i>Vinicius Carvalho Teles</i> <i>Washington Martins da Silva Junior</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905045	

CAPÍTULO 6 43

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL EM HIDROXIAPATITA COMERCIAL E SINTETIZADA PELO MÉTODO SOL-GEL UTILIZANDO CASCA DE OVO DE GALINHA COMO PRECURSOR

Marcelo Vitor Ferreira Machado
José Brant de Campos
Marilza Sampaio Aguilar
Vitor Santos Ramos

DOI 10.22533/at.ed.4871905046

CAPÍTULO 7 53

PARAMETRIZAÇÃO DE TEXTURIZAÇÃO VIA MECT EM METAL PATENTE

Túlio Alves Rodrigues
Erika Michele Damas
Gabriela Caixeta Alcarria
Náthaly Nascimento Sousa
Washington Martins da Silva Junior

DOI 10.22533/at.ed.4871905047

CAPÍTULO 8 59

CORRELAÇÃO ENTRE DIFERENTES FORMAS DE AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL DE FERROS FUNDIDOS E SEU COEFICIENTE DE ATRITO

Luiz Eduardo Rodrigues Vieira
Guilherme de Oliveira Castanheira
Leonardo Rosa Ribeiro da Silva
Wisley Falco Sales
Álison Rocha Machado
Wilson Luiz Guessser

DOI 10.22533/at.ed.4871905048

CAPÍTULO 9 69

MANUFATURA DE LIGA DE AL5%CU PELO PROCESSO DE METALURGIA DO PÓ

André Pereira da Silva
Juliano de Lemos Navarro
Leonardo Almeida Lopes
Felipe Antônio Viana de Araújo
Gabriel Aires Honorato
Sérgio Mateus Brandão

DOI 10.22533/at.ed.4871905049

CAPÍTULO 10 85

ANÁLISE DO FENÔMENO DAS BOLHAS EM SOLDAGEM SUBAQUÁTICA MOLHADA COM ARAME TUBULAR AUTOPROTEGIDO

Camilla Mara Mendonça
Alexandre Queiroz Bracarense
Douglas de Oliveira Santana
Marcelo Teodoro Assunção

DOI 10.22533/at.ed.48719050410

CAPÍTULO 11	99
O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS NA SIMULAÇÃO DE OPERAÇÕES DE SOLDAGEM	
<i>Heitor Abdias da Silva Pereira</i>	
<i>Marcelo Cavalcanti Rodrigues</i>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050411	
CAPÍTULO 12	114
ANÁLISE EXPERIMENTAL DA USINAGEM COM AÇO INOXIDÁVEL	
<i>Gabriella Arruda Martins</i>	
<i>Lays Edinir da Cunha</i>	
<i>Luís Gustavo Moreira</i>	
<i>Mikael Henrique Morais</i>	
<i>Thomas Ernst de Goes Ferreira Kohler</i>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050412	
CAPÍTULO 13	123
AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE R_v DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS USINADOS PELO PROCESSO DE BRUNIMENTO FLEXÍVEL	
<i>Leandro Carvalho Pereira</i>	
<i>Leonardo Rosa Ribeiro da Silva</i>	
<i>Rosenda Valdés Arencibia</i>	
<i>Luciano José Arantes</i>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050413	
CAPÍTULO 14	131
INFLUÊNCIA DO FLUIDO DE CORTE NO DESGASTE DE MICROFRESAS DE METAL DURO NA MICROUSINAGEM DO AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX UNS S32205	
<i>Aline Gonçalves dos Santos</i>	
<i>Daniel Fernandes da Cunha</i>	
<i>Mayara Fernanda Pereira</i>	
<i>Bruno Souza Abrão</i>	
<i>Mark James Jackson</i>	
<i>Márcio Bacci da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050414	
CAPÍTULO 15	139
GERAÇÃO E PARTIÇÃO DE CALOR EM USINAGEM POR MEIO DO MÉTODO CALORIMÉTRICO: UMA REVISÃO	
<i>Ivanilson Sousa da Costa</i>	
<i>Márcio Bacci da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050415	
CAPÍTULO 16	153
GERAÇÃO DE CALOR NA FURAÇÃO DO FERRO FUNDIDO CINZENTO POR MEIO DO MÉTODO CALORIMÉTRICO	
<i>Ivanilson Sousa da Costa</i>	
<i>Guilherme Henrique Alves Andrade</i>	
<i>Márcio Bacci da Silva</i>	

DOI 10.22533/at.ed.48719050416

CAPÍTULO 17 168

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA DE USINAGEM EM AÇOS DE CORTE FÁCIL POR MEIO DO MÉTODO DO TERMOPAR FERRAMENTA- PEÇA

Ivanilson Sousa da Costa

Márcio Bacci da Silva

DOI 10.22533/at.ed.48719050417

CAPÍTULO 18 177

SISTEMA DE MEDIÇÃO DE POTÊNCIA NO PROCESSO DE FRESAMENTO UTILIZANDO SENSORES POR EFEITO HALL

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Kenji Fabiano Ávila Okada

Gabriel Marçal de Carvalho

Eder Silva Costa

Álisson Rocha Machado

DOI 10.22533/at.ed.48719050418

CAPÍTULO 19 187

INFLUÊNCIA DE VÁRIOS PARÂMETROS OPERACIONAIS EM RETIFICAÇÃO NO ACABAMENTO E NA TEXTURA DA SUPERFÍCIE DE FERRO FUNDIDO CINZENTO

Bruno Souza Abrão

Mayara Fernanda Pereira

Mariana Landim Silveira Lima

Eduardo Carlos Bianchi

Rosemar Batista da Silva

DOI 10.22533/at.ed.48719050419

CAPÍTULO 20 193

INFLUÊNCIA DA PENETRAÇÃO DE TRABALHO E VELOCIDADE DA PEÇA NO ACABAMENTO DO FERRO FUNDIDO VERMICULAR APÓS A RETIFICAÇÃO COM REBOLO DE SIC

Lurian Souza Vieira da Silva

Rosemar Batista da Silva

Mariana Landim Silveira Lima

Deborah de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.48719050420

CAPÍTULO 21 202

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE USINAGEM DO BRUNIMENTO FLEXÍVEL NA QUALIDADE GEOMÉTRICA DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS

Leandro Carvalho Pereira

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Rosenda Valdés Arencibia

Luciano José Arantes

DOI 10.22533/at.ed.48719050421

CAPÍTULO 22 210

USINAGEM ELETROQUÍMICA SUPERFICIAL EM AMOSTRAS DE FERRO FUNDIDO

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Leandro Carvalho Pereira

Henara Lilian Costa

DOI 10.22533/at.ed.48719050422

SOBRE O ORGANIZADOR..... 219

ANÁLISE DAS LIGAS Al-3%Si E Al-9%Si ATRAVÉS DO PROCESSO “SQUEEZE-CASTING”, E A INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NA DUREZA, MACRO E MICROESTRUTURA

Diógenes Linard Aquino Freitas

Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Mecânica, João Pessoa - PB.

Cláudio Alves de Siqueira Filho

Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Mecânica, João Pessoa - PB.

José Joelson de Melo Santiago

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciência e Tecnologia, Campina Grande – PB.

RESUMO: Diante dos diversos processos de fabricação de peças metálicas, a fundição e o forjamento destacam-se por produzirem milhões de peças de diferente tamanhos e peso. O processo squeeze-casting tenta combinar as vantagens dessas tecnologias, também conhecido como forjamento do metal líquido, fundição por extrusão ou cristalização sob pressão. Esse processo vem sendo bastante utilizado com ligas de alumínio-silício na indústria automobilística, pois oferece ao produto final leveza e propriedades mecânicas excelentes. As aplicações incluem componentes automotivos como pistões, discos de freio, rodas e cubos, componentes de mísseis e engrenagens. Para tal, foram caracterizadas ligas de Al-Si produzidas pelo processo squeeze-casting, correlacionando as propriedades mecânicas com suas estruturas metalográficas. Através deste estudo é possível

ter melhor compreensão dos fenômenos metalúrgicos acontecidos durante o processo de fundição sob pressão, do refinamento dos grãos, e dos efeitos das maiores taxas de resfriamento sobre a macroestrutura, microestrutura e propriedades mecânicas das ligas.

PALAVRAS-CHAVE: Squeeze-Casting. Fundição com pressão. Ligas de Alumínio.

ABSTRACT: Given the various manufacturing processes of metal parts, casting and forging are noted for producing millions of pieces of different size and weight. The squeeze-casting process attempts to combine the advantages of these technologies, also known as liquid metal forging, casting or extrusion crystallization under pressure. This process has been widely used with aluminum-silicon alloys in the automotive industry, as it offers the final product light and excellent mechanical properties. Applications include automotive components like pistons, brake discs, wheels and hubs, missile components and gears. To this end, we characterized Al-Si alloys produced by squeeze-casting process and correlate the mechanical properties with their metallographic structures. Through this study it is possible to have better understanding of the metallurgical phenomena that occurred during the die casting process, the refinement of the grain, and the effects of higher

cooling rates on the macrostructure, microstructure and mechanical properties of the alloys.

KEYWORDS: Squeeze-Casting. Casting with pressure. Aluminum Alloys

1 | INTRODUÇÃO

A fundição caracteriza-se com diversos processos que permitem produzir desde milhões de peças de pequeno tamanho até poucas peças pesando várias toneladas. É um dos mais antigos e mais versáteis processos de fabricação de componentes metálicos. Na fundição de metais não-ferrosos, devido sua temperatura de fusão ser considerada baixa em relação ao dos aços, aplicam-se moldes permanentes confeccionados em aços especiais. Por essa técnica realiza-se a fundição sob pressão ou por gravidade, ou seja, o metal pode ser pressionado para o preenchimento do molde ou ser vazado por gravidade.

O processo squeeze-casting, literalmente fundição por aperto (compressão), também conhecido como forjamento do metal líquido, fundição por extrusão ou cristalização sob pressão. Este consiste, basicamente, na solidificação do metal em um molde metálico sob a aplicação de altas pressões.

Com uma crescente ênfase na redução do peso dos veículos, a demanda por componentes automotivos mais leves vem aumentando consideravelmente. Squeeze Casting tem demonstrado ser um processo de fundição econômico em grande volume, e capaz de produzir componentes leves de alta integridade que podem ser utilizados para aplicações estruturais. Nos últimos anos o processo squeeze-casting tem sido empregado com várias ligas de alumínio para produzir peças que exigem alta resistência mecânica, resistência à pressão, ductilidade e resistência à corrosão.

A técnica é econômica e relativamente simples, possuindo grande potencial para automatização e altas taxas de produção. O produto é de alta qualidade e, geralmente, tem a forma final, pois o processo permite fundir peças finas de geometrias complexas.

Atualmente, componentes de ligas de alumínio, cobre, magnésio, ferro fundido, aços inoxidáveis e de superligas à base de níquel são facilmente fabricados por squeeze casting. As aplicações incluem componentes automotivos como pistões, discos de freio, rodas e cubos, componentes de mísseis e engrenagens [3,4]. Recentemente, a técnica de squeeze casting tem sido muito estudada para o uso na fabricação de compósitos de matriz metálica, especialmente em ligas de magnésio, silício, alumínio e cobre.

As morfologias estruturais variam em função da amplitude dos parâmetros operacionais e a forma de crescimento que podem ser aplicadas ao metal líquido no processo de solidificação. Sabe-se também que macroestrutura e microestrutura são influenciadas fortemente pelo comportamento térmico do sistema metal/molde, resultando em uma estreita correlação com as estruturas resultantes de solidificação.

O estudo da formação da macroestrutura tanto nos metais puros, quanto nas ligas metálicas é igual no aspecto macroscópico e no que diz respeito à disposição das estruturas. Essa macroestrutura pode se apresentar em três diferentes morfologias: coquilhada, colunar e equiaxial.

No caso da microestrutura de uma liga, o fenômeno de rejeição de soluto e do gradiente térmico à frente da interface sólido/líquido também dependerá do sistema metálico utilizado, bem como da composição da liga, velocidade de deslocamento da interface, dentre outros parâmetros. Esse gradiente térmico provocará uma instabilidade que deixará de apresentar uma morfologia plana e passará a desenvolver morfologias celular ou dendríticas.

Neste contexto, este trabalho visa analisar as estruturas macro e microestruturais produzidas por ligas de Alumínio-silício pelo processo squeeze-casting, e a partir destas análises relacioná-las com as propriedades mecânicas.

2 | METODOLOGIA

A sequência de etapas e atividades adotadas para obtenção deste trabalho foram desenvolvidas nas instalações do Laboratório de Solidificação Rápida na Universidade Federal da Paraíba (UFPB). A metodologia adotada está apresentada no fluxograma da Figura 1.

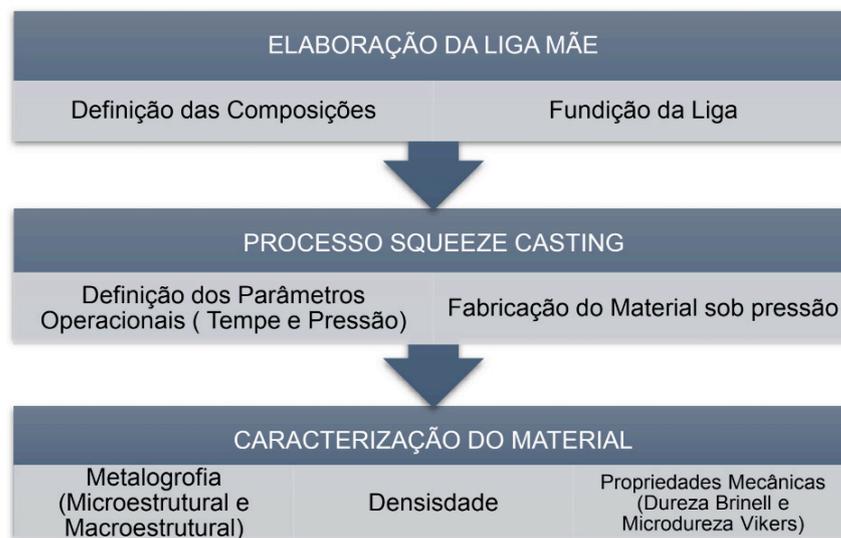


Figura 1 - Fluxograma da sequência metodológica

Inicialmente definiu-se as ligas de composição hipoeutética do sistema binário Al-Si. A partir das equações abaixo, obtemos as massas do alumínio e do silício.

$$m_{Al} = C_{Al} \cdot \rho_{Al} \cdot V_t \quad (\text{eq. 1})$$

$$m_{Si} = C_{Si} \cdot \rho_{Si} \cdot V_t \quad (\text{eq. 2})$$

Onde levou-se em consideração para o cálculo das massas (m), a densidade de cada elemento (ρ), a concentração do soluto (c) e volume total da liga (V_l). As massas e temperatura de fusão de cada elemento estão representadas na Tabela 1.

Composição	Massa (g)		Temperatura de fusão (°C)
	Alumínio	Silício	
Al-3%Si	490,96	15,18	640
Al-9%Si	460,59	45,55	595

Tabela 1 - Quantidade dos elementos das ligas Al-Si.

A elaboração das ligas mãe de Al-Si foram realizadas em duas etapas específicas: fundição das ligas com a massa total do silício em parte do alumínio, com posterior refusão da liga mãe adicionando a massa restante de alumínio.

Após a fabricação das ligas, foram preparadas as amostras para a caracterização metalográfica macroestrutural e microestrutural. A partir dos lingotes solidificados, foram seccionadas as amostras da macroestrutura e microestrutura conforme é apresentado na Figura 2.

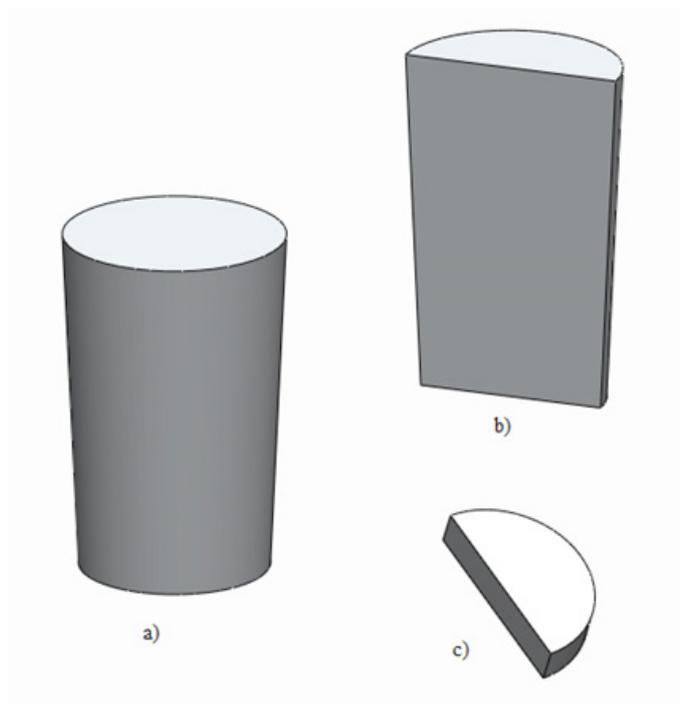


Figura 2 Lingote Obtido: (a) lingote solidificado. (b) amostras para macroestrutura. (c) amostras para microestrutura.

A preparação das amostras para metalografia foi realizada com lixas de granulação de 100 a 800 mesh para análise macroestrutural e com lixas de granulação de 100 a 1500 mesh e polimento em alumina de $1\mu\text{m}$ para análise microestrutural, ambas seguidas de ataque químico, na qual foi utilizado o reagente keller, de composição: 10ml de ácido fluorídrico (HF), 15ml de ácido clorídrico concentrado (HCl), 25ml de ácido nítrico concentrado (HNO_3) e 50ml de água destilada (H_2O), com tempo de 15 a

30 segundos, até revelar os grãos, para análise macroestrutural. O reagente químico da análise microestrutural foi de composição: 15ml de ácido fluorídrico (HF) e 85ml de águas destilada (H₂O).

As microestruturas foram visualizadas através de microscópio ótico. As imagens foram retiradas em pontos diferentes ao longo do raio da amostra, do centro à extremidade, conforme mostrado na Figura 3(b). Após as imagens serem capturadas, foram realizadas as medições dos Espaçamentos Dentríticos Secundários (EDS) através do Software Analysis Imager Olympus, para cada amostra.

Decidiu-se utilizar da região próxima a base do lingote, como mostrado na Figura 3(a), por esta apresentar uma homogeneidade dos grãos mais significativa em relação às demais regiões do lingote. Utilizou-se da mesma amostra para a realização dos ensaios de dureza e microdureza, bem como para as análises metalográficas. Conforme pode-se observar na Figura 3 as posições dos pontos estão ao longo do raio das amostras.

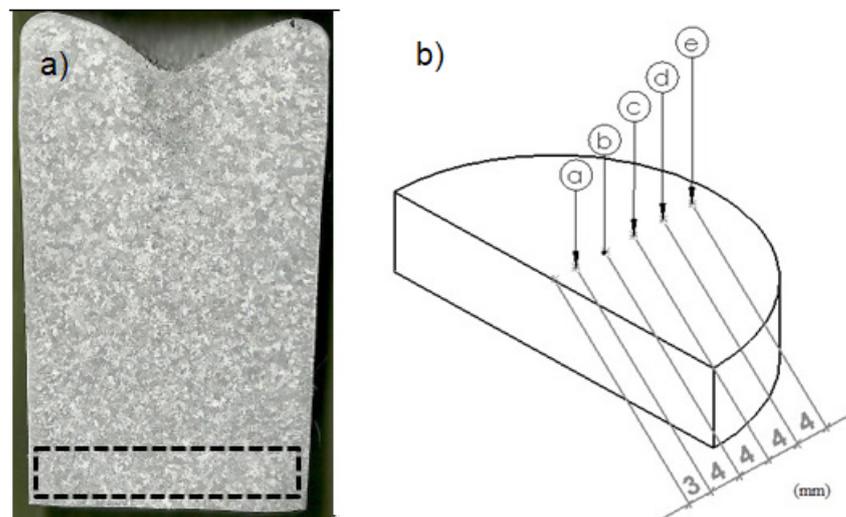


Figura 3 -Lingote obtido: (a) amostra de macroestrutura. (b) ilustração dos pontos observados nas amostras da microestrutura, microdureza e dureza.

Para o ensaio de microdureza, foram realizadas vinte endentações equidistantes ao longo do raio da amostra, do centro para a extremidade. O ensaio foi executado para dureza Vickers, com uma carga de 0,2 kgf durante um tempo de 15 segundos. Enquanto que para o ensaio de dureza, foram realizadas dez endentações, utilizou-se uma carga de 60 kgf durante 15 segundos, com penetrador esférico de diâmetro 2,5 mm. As medições dos diâmetros impressos foram realizadas através do software Analysis Imager Olympus. Para o cálculo da dureza Brinell, utilizou a equação 3.

$$HB = \frac{2F}{\pi \cdot D \cdot (D^2 - \sqrt{D^2 - D_i^2})} \quad (\text{eq. 3})$$

Onde: HB= Dureza Brinell, F= carga (kgf), D= diâmetro da esfera (mm) e D_i= diâmetro impresso na amostra (mm)

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Macroestrutura

As macroestruturas da Liga Al-3%Si e da Liga Al-9%Si, obtidas pelo processo de squeeze-casting com temperatura de vazamento (T_v) de 700°C , podem ser visualizadas nas Figura 4 e Figura 5.

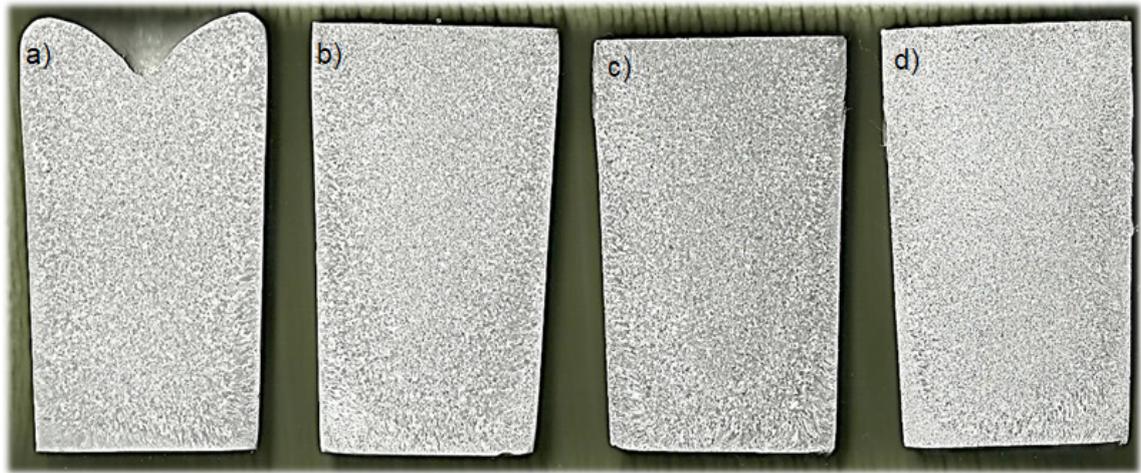


Figura 4 - Macroestrutura da Liga Al-3%Si com $T_v = 700^\circ\text{C}$. a) Pressão Atmosférica, b) 50MPa, c) 100Mpa, d) 150MPa.

Para o lingote solidificado a pressão atmosférica Figura 4(a), observou-se uma leve contração volumétrica no topo do lingote da liga após a solidificação, denominada de rechope. Evidenciou-se a presença de grãos equiaxiais refinados mesmo sem aplicação de pressão e, nas extremidades, grãos colunares na direção transversal do lingote e em sua base, tal fato se deu devido o contato do metal líquido com o elemento de extração.

A Figura 4(b) mostra a macroestrutura para o lingote com aplicação da pressão de 50 MPa. Nota-se que a pressão contribuiu para o refino dos grãos equiaxiais e a eliminação quase da totalidade dos grãos colunares. As macrografias das Figuras 4(c) e Figura 4(d) mostram que para pressões maiores de 50 MPa não há mudanças significativas na macroestrutura da liga Al-3%Si. É possível observar que um refinamento ligeiramente mais acentuado ocorre para os lingotes submetidos às pressões de 100 e 150 MPa. Tal fato pode ser explicado pela maior facilidade na extração do calor entre o metal fundido e o molde, provocado pela diminuição da resistência de contato entre a interface metal/molde durante a solidificação.

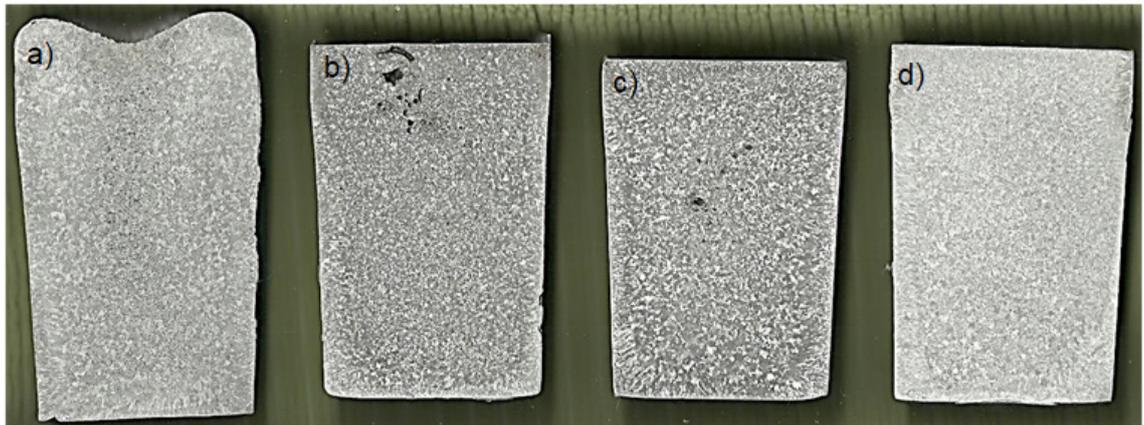


Figura 5 - Macroestrutura da Liga Al-9%Si com $T_v = 700^\circ \text{C}$. a) Pressão Atmosférica, b) 50MPa, c) 100Mpa, d) 150MPa.

Para aplicação de pressão de 50 MPa, Figura 5(b), nota-se uma macroestrutura do lingote com grãos equiaxiais pouco refinados, além do aparecimento de defeito de Shrinkage. Observou que, quando se aplica baixas pressões no processo squeeze-casting surge esse defeito, que consiste no aprisionamento de bolhas de gases no interior do metal líquido durante sua solidificação. Fenômeno semelhante foi reportado por MALEKI (2006).

Quando comparada com a liga Al-3%Si, a liga Al-9%Si apresentou uma macroestrutura muito mais grosseira para uma pressão de 150MPa. Isso provavelmente está associado ao fato de que a liga Al-9%Si se encontra mais próximo do eutético do diagrama Al-Si provocando assim um superaquecimento maior do que aquele observado para a liga com menor teor de Si.

3.2 Microestrutura

A Figura 6 e Figura 7 mostram as micrografias dos pontos observados das amostras na condição de 150MPa. É possível observar a presença de poros de Shrinkage espalhados aleatoriamente.

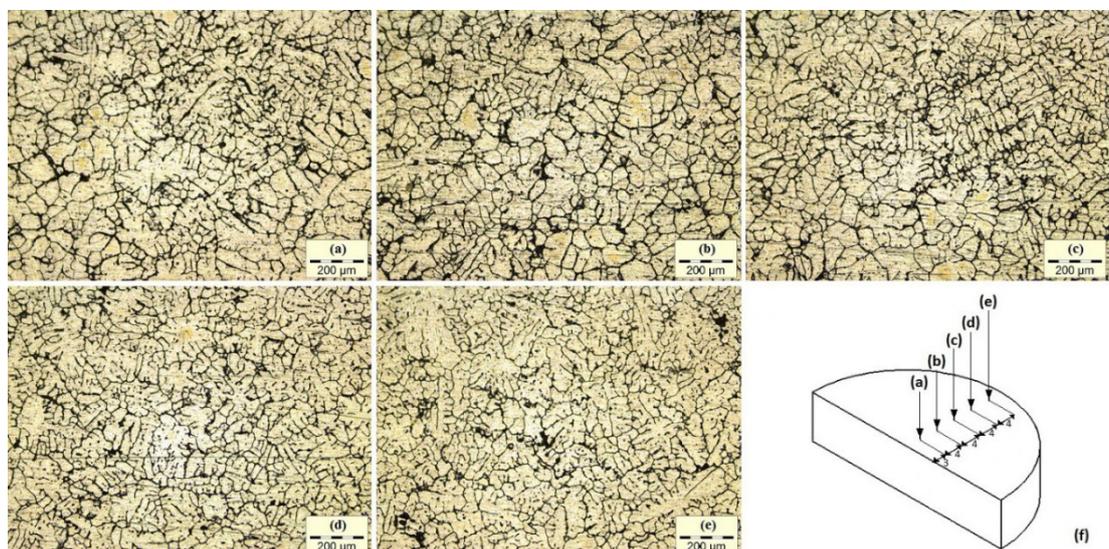


Figura 6 - Microestruturas das amostras da Liga Al-3%Si, para cada ponto observado e pressão

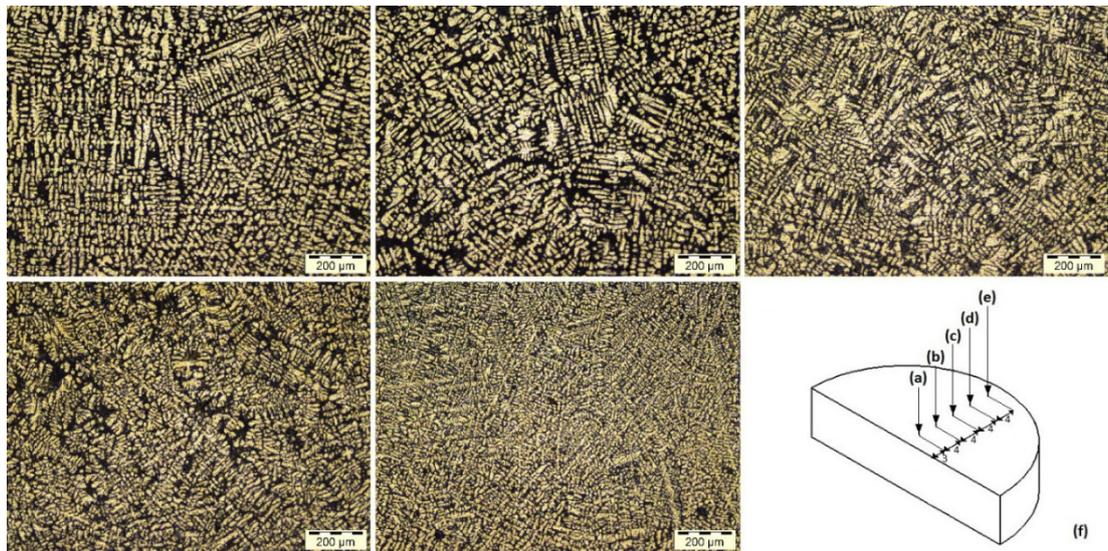


Figura 7 - Microestruturas das amostras da Liga Al-9%Si, para cada ponto observado e pressão de aplicação 150 MPa

Os gráficos da Figura 8 representam os valores dos Espaços Dendríticos Secundários (EDS) referente a cada pressão de aplicação, em função do raio da amostra. Pôde-se observar que a medida que os pontos foram sendo observados, afastando-se do centro à extremidade da amostra, que os EDS diminuem de maneira linear. Isso se dá pelo fato de que a extração de calor ocorreu preferencialmente pelas paredes e base lingoteira, e pela superfície em contato com o ambiente, ou seja, a solidificação ocorreu radialmente.

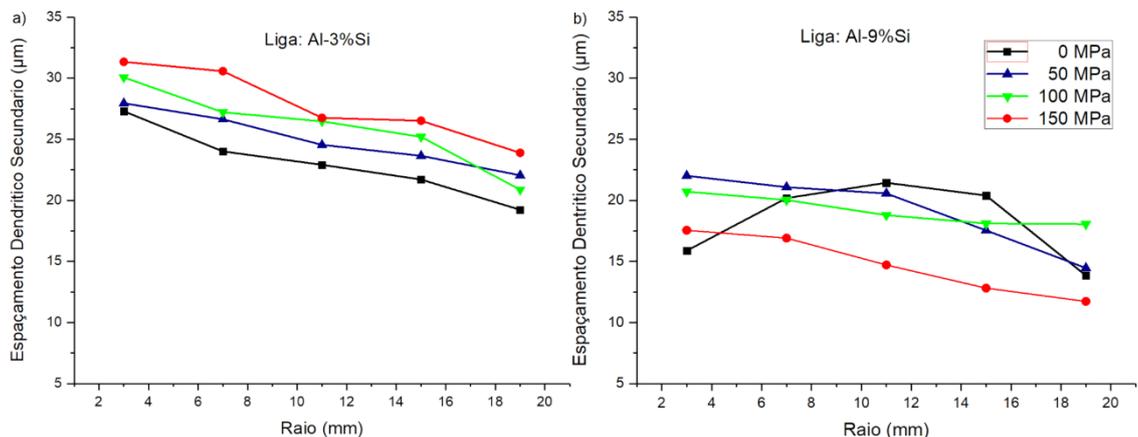


Figura 8 - Evolução do Espaço Dendríticos Secundários para cada pressão aplicada, em função do raio da amostra. a) Liga Al-3%Si, b) Liga Al-9%Si

Observa-se que há um aumento gradativo da microdureza HV ao longo do raio da amostra. Porém para a pressão de 150 MPa, não apresentou esse crescimento, no entanto, sua média permaneceu alta em relação às outras pressões, como mostra na Figura 4.14.

3.3 Microdureza e Macrodureza

As microdurezas das amostras para cada pressão aplicada estão representadas na Figura 9. Os pontos do eixo da abscissa são referentes aos pontos (a, b, c, d, e) da amostra estudada, como representado na Figura 3(b). Para a Liga Al-3%Si com aplicação de pressão de 150 Mpa não houve aumento significativo da microdureza em relação à amostra sem aplicação de pressão, porém para a Liga Al-9%Si há 7,4% de aumento na média da microdureza

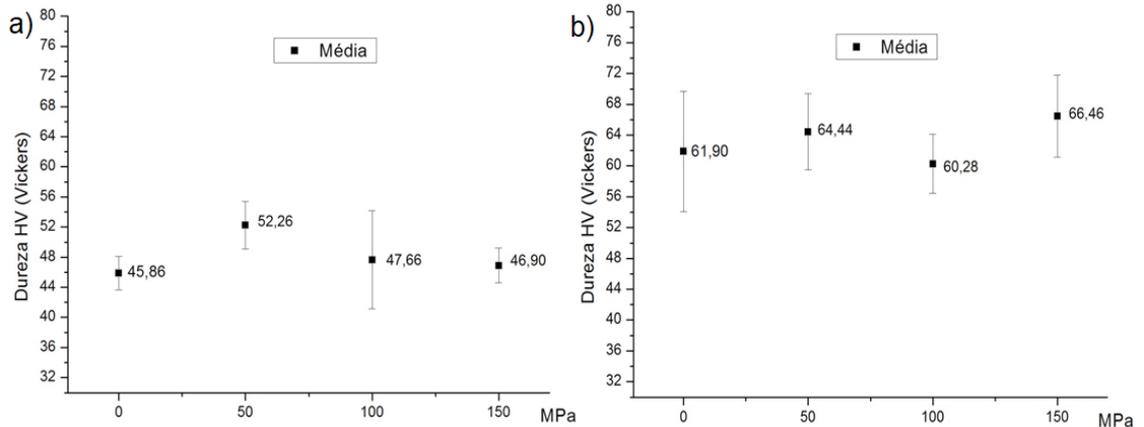


Figura 9 - Média e Desvio Padrão das microdurezas. a) Liga Al-3%Si, b) Liga Al-9%Si

Foram analisadas as Durezas das ligas Al-3%Si e Al-9%Si, nas mesmas regiões utilizadas para a microdureza. O tipo de ensaio utilizado foi o Brinell, com carga de 60 kgf, com uma duração de aplicação de 15 segundos. A média com seus respectivos desvios padrão estão representados nas Figuras 10 e Figura 11.

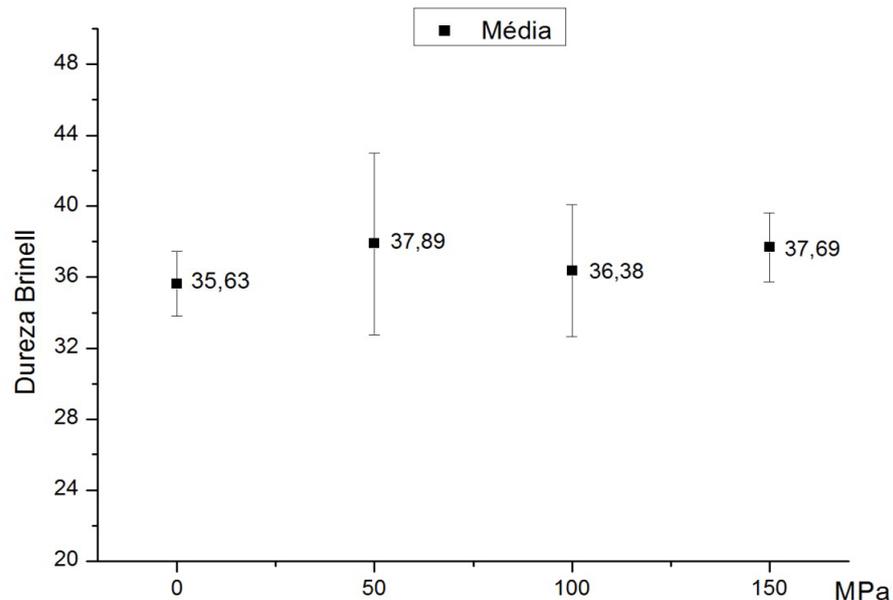


Figura 10 - Médias da Dureza das Ligas Al-3%Si, em função da pressão.

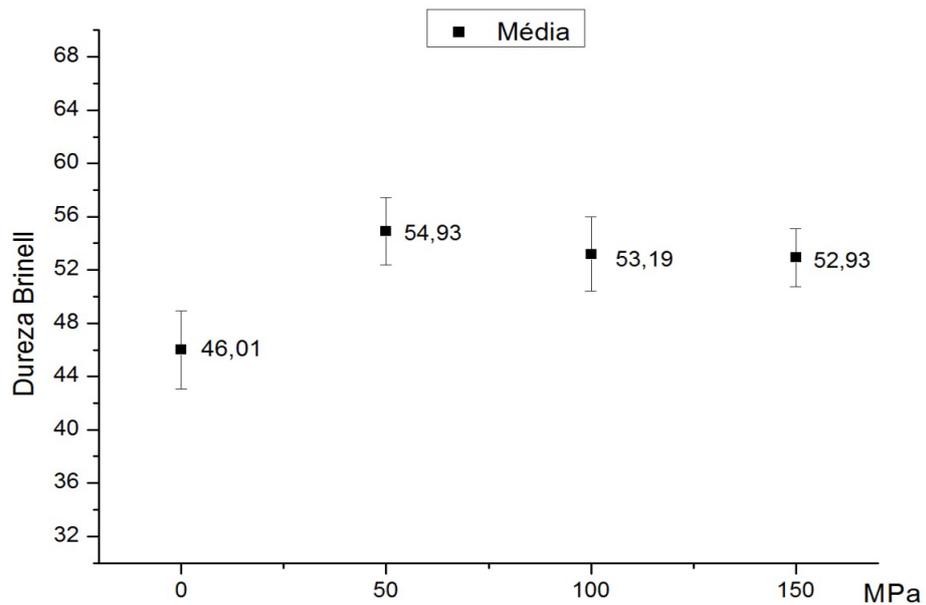


Figura 11 - Médias da Dureza das Ligas Al-9%Si, em função da pressão

4 | CONCLUSÕES

Com base nos resultados das análises realizadas do processo de fundição squeeze-casting, pode-se constatar que:

- A utilização de uma liga-mãe Al-Si e posterior refusão com Al puro mostrou-se um meio viável para assegurar a composição final das ligas;
- O processo squeeze-casting mostrou-se um processo viável para obtenção de lingotes de ligas Al-Si com propriedades mecânicas superiores aos obtidos por fundição convencional;
- As macroestruturas da liga Al-3%Si indicaram um refinamento significativo dos grãos com o aumento da pressão aplicada.
- A liga Al-9%Si, apresentou defeitos de fundição, e o refinamento da microestrutura não foi tão significativo como para a liga com Al-3%Si;
- A microdureza das ligas estudadas acompanha o comportamento do espaçamento dendrítico secundário;
- As ligas Al-3%Si e Al-9%Si apresentaram um valor máximo da dureza, para uma pressão de aplicação de 50 MPa, não se diferenciando consideravelmente para as pressões ambiente, 100 e 150 MPa;
- O silício tem forte influência na diminuição dos espaçamentos dendríticos secundários.

REFERÊNCIAS

- NAVEIRO, R.M., 2007, Setor de Fundição: aspectos econômicos, tecnológicos e organizacionais. Brasília, SENAI.
- Kanicki, D. P., Castings Advantages, Applications, and Market Size, IN.: American Society for Metals: ASM Handbook, vol 15, "Casting", 9a edition, pp. 37-45, 1988.
- Hu, H., Squeeze Casting of Magnesium Alloys and their Composites, J. Mater. Sci. 33, pp. 1579-1589, 1998.
- A. Maleki, B. Niroumand, A. Shafyei - Effects of squeeze casting parameters on density, macrostructure and hardness of LM13 alloy.
- SANTOS, C.A., QUARESMA, J.M.V., GARCIA, A., "Determination of transient interfacial heat transfer coefficients in chill mold castings", Journal of Alloys and Compounds, v. 319, n. 1, pp. 174-186, April, 2001.
- GARCIA, A., Solidificação: Fundamentos e Aplicações, 1ª edição, Campinas, Brasil, Ed. UNICAMP, 2001.
- Dorcic, J. L. and Verma, S. K., Squeeze Casting, IN.: American Society for Metals: ASM Handbook, vol 15, "Casting", 9a edition, pp. 323-327, 1988.
- M. Freitas, S. A. Pianaro, F. N. Nadal, S. M. Tebcherani, E. A. T. Berg., Preparação e caracterização de materiais compósitos SiC/caulim/Al via "squeeze-casting"
- HAMN, M.; TALIB, LA.; DAUD, A.R. Effect of element additions on wear property of eutectic aluminium-silicon alloys. 1996, WEAR, Vol 194, p.54-59.
- Chiaverini, V., Tecnologia Mecânica – Vol. 1, 1986.
- ROOY, E.L., Aluminum and Aluminum Alloys, 15 ed., 743-770, ASM Handbook, 1988.

SOBRE O ORGANIZADOR

Henrique Ajuz Holzmann - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

Ricardo Vinicius Bubna Biscaia - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia de Produção pela UTFPR. Trabalha com os temas: análise microestrutural e de microdureza de ferramentas de usinagem, modelo de referência e processo de desenvolvimento de produto e gestão da manutenção.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-248-7

