

# 国内外消失模铸造技术研究新进展

陈尧剑 黄天佑 康进武 张 嘉  
(清华大学)

**摘 要** 介绍了当前消失模铸造技术的两大研究热点,即:铝镁合金消失模铸造及其缺陷形成机理的研究,模样制作过程,质量评定方法和白区制模过程的研究。这些研究表明:模样表面泡沫塑料珠粒的融合程度高、内部珠粒融合程度低、密度均匀、表面光滑的模样适合生产高质量消失模铸件。此外,X光透射、扫描电子显微镜和计算机数值模拟技术已开始用于对珠粒充型、发泡过程及其最终所得到的模样质量的评定和预测。

**关键词** 消失模铸造;铝镁合金;模样质量

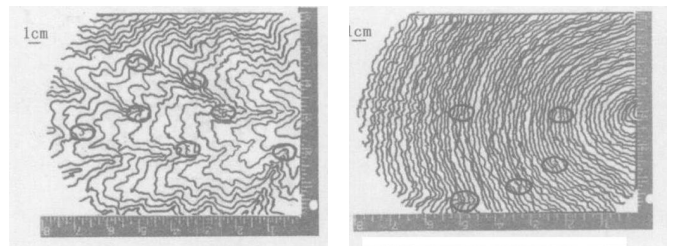
**中图分类号** TC249.6 **文献标志码** A **文章编号** 1001-2249(2005)10-0623-04

消失模铸造技术的发展是建立在对消失模铸造进行全方位研究的基础上。现在研究手段较以前有了很大的发展:X光透射检测仪用于测试消失模模样密度分布和金属液充型过程;发泡模样扫描电镜图像用于模样质量的量化评价。计算机数值模拟技术也开始用于研究珠粒充填过程。另外,对铝合金消失模铸造缺陷产生机理研究也有了很大发展。

## 1 铝镁合金消失模铸造机理研究

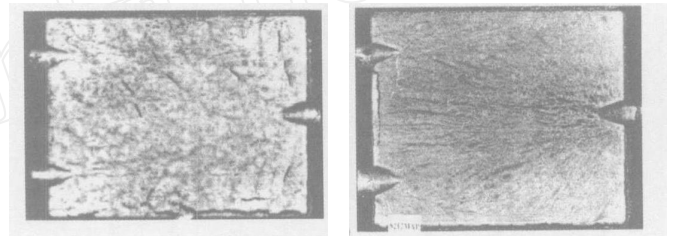
### 1.1 铝合金消失模铸造充型过程

Sun W L 等<sup>[1]</sup>用 X 透射检测仪测试了在不同的参数下,包括模样的融合程度(低和普通)、模样平均密度( $20.8 \text{ kg/m}^3$ 和 $25.6 \text{ kg/m}^3$ )、模样密度分布和涂料层透气性,铝合金消失模铸造浇注过程,得到了浇注过程各个时刻金属液前端面形状见图 1,(相邻端面线时间间隔为 0.2 s)。如图 1 所示,采用低融合度的模样浇注时金属液推进速度是普通融合程度金属液推进速度的 4~5 倍。图中黑圈处是模样的几个高密度点。图 1 a 中金属液充填低融合度的模样时在这些高密度点受到了阻碍,金属液前端面线在这几处汇聚;而图 1 b 中高融合度的模样金属液充填基本没有受到高密度点的影响。低融合度模样浇注的铸件有较多的表面缺陷,而高融合度模样浇注的铸件则有较多的内部缺陷。图 2 是铸件外观图,图 2 a 中黑线是用来标记皱皮缺陷,和图 1 a 对比,可以看出大部分皱皮缺陷在金属液端面线汇聚的地方即模样高密度点,高融合度模样的内部缺陷主要在图 2 b 中的发散线下。研究表明:表面融合程度高,内部融合程度低,密度均匀,表面光滑的模样适合消失模铸造<sup>[1~3]</sup>。



(a) 低融合度模样 (b) 高融合度模样

图 1 不同融合度模样浇注各时刻金属液前端面图



(a) 低融合度模样 (b) 高融合度模样

图 2 不同融合度模样浇注的铸件外观图

### 1.2 铝合金消失模铸造缺陷机理研究

通常,铝合金消失模铸造中,金属液充型速度高于某一数值时,液态热解产物没有足够的时间逸出而残留在铸件内部,就会形成模型与热解产物相关的缺陷,如气孔、夹杂、皱皮等。Tschopp M A<sup>[4]</sup>等和 Bennett S<sup>[5]</sup>等分析了这种缺陷的氧化层和碳化层分布情况及其与铝合金前端面充型速度之间的关系。

Tschopp M A 等<sup>[6,7]</sup>按一个金属液面,两个金属液面相遇和多个金属液面相遇分类,详细研究了这些情况下 A356 铝合金消失模铸造形成碳夹杂的机理。在没有金属液面相遇的情况下,碳夹杂通常产生于金属液面最后到达的地方,否则多产生于金属液面相遇的地方。他还研究了各种铸造参数包括浇注温度、压力头、模样性能、涂料层透气性和模片厚度等对 A356 金属液流动性的影响,结果显示影响大小排序前 3 位是模片厚度、涂料透气性和模样类型。

收稿日期:2005-06-17

第一作者简介:陈尧剑,男,1977 年出生,博士研究生,清华大学机械工程系,北京(100084),电话:010-62784537,E-mail:youngan@263.net

Hess D R 等研究了模样类型、珠粒类型、融合程度、合金类型等参数对铝合金消失模铸造金属液充型速度和缺陷形成的影响。结果表明对金属流动速度影响最大的是模样融合程度和珠粒类型(见图3),对缺陷形成影响最大的是珠粒类型、模样融合程度(图4)。铝合金中硅含量对流动速度影响不大,对缺陷形成有较大影响,随着硅质量分数的增加(从1%到12.3%),铸件中孔隙数目增加很快,同时针孔面积大大减少(见图5)。Hess D R 还用 T180 珠粒和添加了溴化物添加剂的 T185 珠粒进行试验,结果显示溴化物添加剂对减少铝合金消失模铸造缺陷有显著效果,基本消除了皱皮和针孔缺陷<sup>[8-10]</sup>。

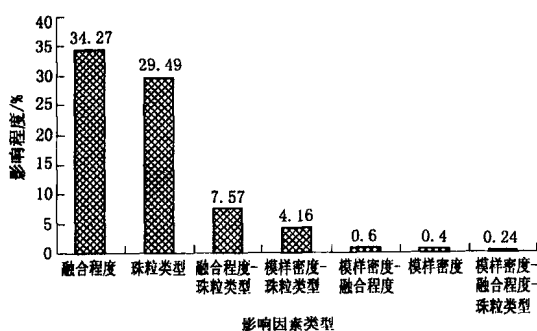


图3 金属液充型速度影响因素排列图

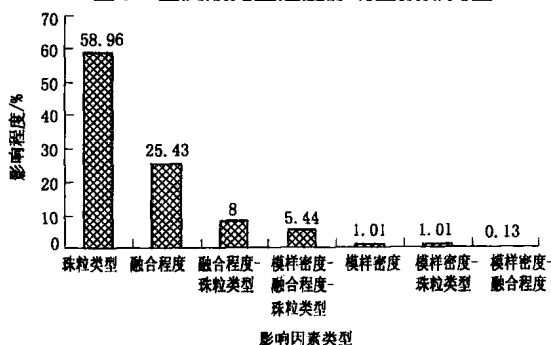


图4 缺陷形成影响因素排列图

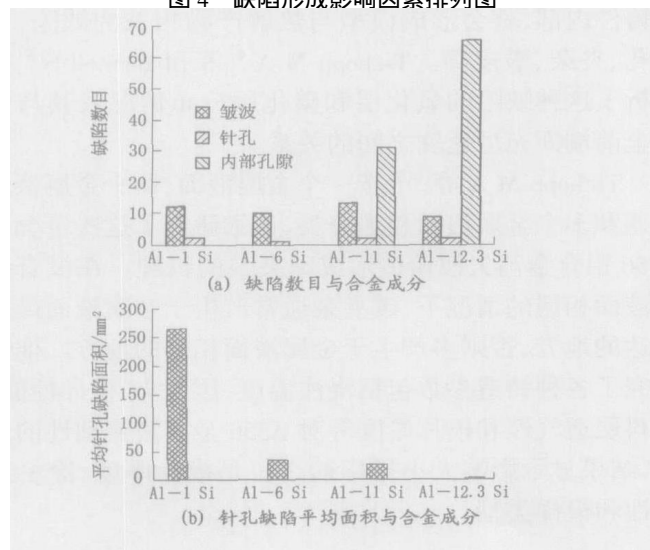


图5 缺陷-合金成分关系图

### 1.3 镁合金消失模铸造

镁合金消失模铸造也是消失模铸造研究热点之一。刘子利等采用全因子试验设计研究镁合金消失模铸造中最重要的工艺因素:浇注温度、真空度和模样厚度对充型速度的影响(见图6)。还观测了不同真空度下镁合金充型形态,不抽真空浇注时,液态金属都是平稳的向前推进;抽真空浇注时,液态金属都是优先沿壁面先行,呈凹形快速充型<sup>[11,12]</sup>。樊自田等对镁合金真空低压消失模铸造进行了研究,图7是工艺原理图。成功浇注了多种复杂镁合金铸件并认为:真空低压消失模铸造具有低压铸造和真空消失模铸造的综合技术优势,大大提高了镁合金的铸造充型能力,是一种非常适合镁合金液态成型的铸造工艺<sup>[13,14]</sup>。

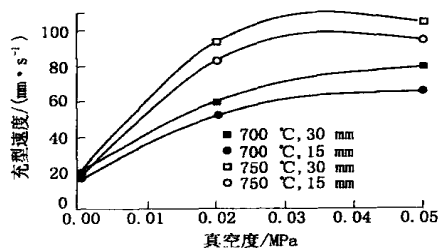


图6 AZ91 镁合金消失模铸造平均充型速度

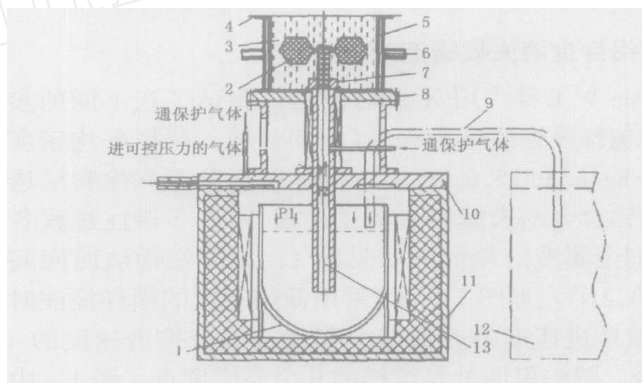


图7 镁合金真空低压消失模铸造工艺原理图

- 坩埚
- 模样
- 干砂
- 薄膜
- 砂箱
- 抽真空
- 耐火砖
- 浇注台
- 虹吸管
- 炉盖
- 保温炉
- 熔炼炉
- 升液管

## 2 消失模铸造模样制作过程及质量评定

随着消失模技术的发展,所能生产的消失模铸件形状越来越复杂,消失模模样制作也越来越重要。Brian V Smith 认为消失模铸件品质的 80%~90%取决于模样制作部分<sup>[15]</sup>。Alfredo 则认为整个消失模工艺铸造生产系统 2/3 的可变性及可控性源于模样制作<sup>[16]</sup>。

### 2.1 珠粒射料充填过程研究

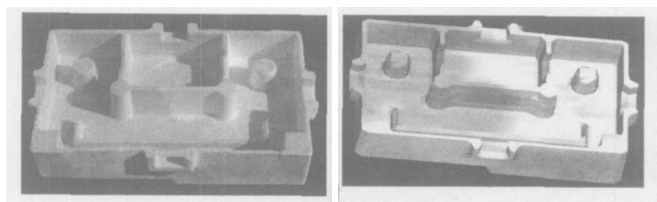
Wall K. F. 通过改变射料时间、压缩空气气压、珠粒罐压强和射料口直径等参数研究消失模珠粒射料过程。得到了不同的工艺参数下空气流量、气压等随时间变化曲线、每次充填的珠粒量和充填珠粒流量的经验公式,

对深入认识射料过程有很大的帮助<sup>[17]</sup>。

国外推出了用于珠粒射料充填的三维数值模拟商品化软件 Arena Flow。采用了生产性的发泡模具来进行射料充填试验,对射料过程进行了数值模拟。图 8 是射料充填试验和数值模拟的结果。

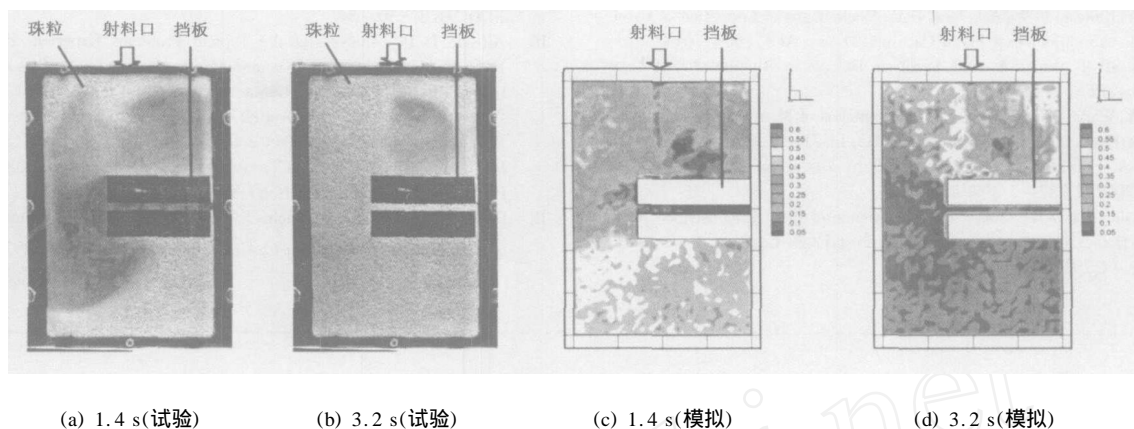
陈尧剑等采用自行设计的盒形模具进行了珠粒射料充填试验。模具内腔尺寸为 300 mm ×200 mm ×40 mm,在模具内放置各种挡板模拟各种模具形状,研究了不同形状下珠粒充填过程的空气流动、珠粒运动和压力

场分布。并对整个射料充填过程进行了数值模拟(见图 9)。



(a) 射料充填结果(试验) (b) 射料充填结果(模拟)

图 8 珠粒射料充填试验和数值模拟结果



(a) 1.4 s(试验)

(b) 3.2 s(试验)

(c) 1.4 s(模拟)

(d) 3.2 s(模拟)

图 9 珠粒射料充填试验和数值模拟结果(珠粒体积分数)

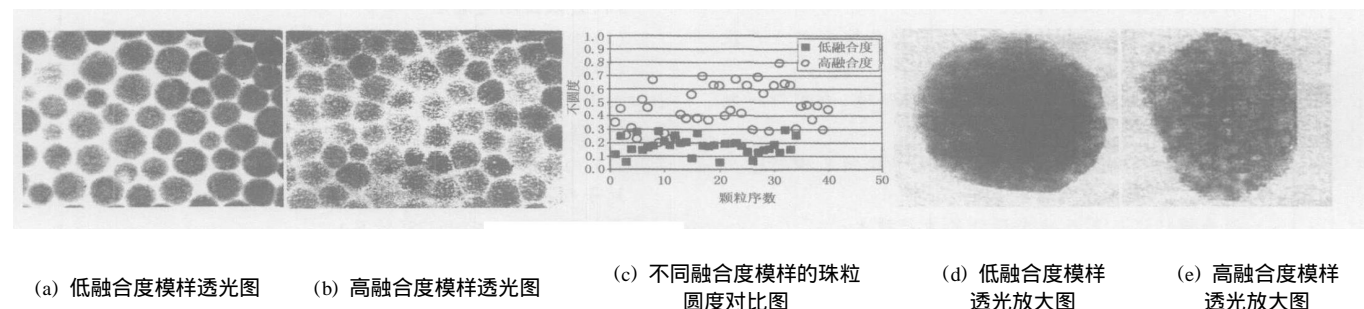
## 2.2 发泡模样品质量化研究

研究表明,表面光滑、表面融合程度高、内部融合程度低、密度均匀的模样适合消失模铸造,但这只是一个定性描述,如何定量描述一个模样的品质,这是一直困扰消失模厂家的问题。Penumadu D 等用扫描电镜对模样的微观组织进行研究,用 X 射线和透光试验来研究模样的宏观组织。Penumadu D 等对融合度不同的模样透光结果进行圆度分析,其中图 10 a、图 10 d 是低融合度模样透光图,图 10 b、图 10 e 是高融合度模样透光图。可以看出,低融合度模样的珠粒较圆,高融合度模样的珠粒相互融合在一起,圆度不如低融合度模样的珠粒。

图 10 c 是不同融合度模样的珠粒圆度对比图。显示圆度分析的方法能够确定人们一直关心的模样融合度问题,定性定量分析判断模样是否适用于某种消失模工艺<sup>[18]</sup>。

## 2.3 消失模铸造用珠粒研究

美国 StyroChem 公司研制出在 EPS 中添加专利成分有机溴化物添加剂。该添加剂在 EPS 遇热分解时,能降低 EPS 分解产物分子量,使 EPS 分解产生的气体和液体副产品可以从涂层上排出,不易在金属液中形成碳缺陷。目前该公司开发的含有溴化物添加剂的 EPS 原料已在消失模铸铝企业推广使用。



(a) 低融合度模样透光图

(b) 高融合度模样透光图

(c) 不同融合度模样的珠粒圆度对比图

(d) 低融合度模样透光放大图

(e) 高融合度模样透光放大图

图 10 高低融合度模样圆度分析

## 3 结 语

(1) X 光透射检测仪已成功的用于金属液充型过程测试。

(2) 对铝合金消失模充型过程研究表明:对金属流动速度影响最大的是模样融合程度、珠粒类型,对缺陷形成影响最大的是珠粒类型、模样融合程度。

(3) 数值模拟技术已经成功地用于研究珠粒射料

充填过程。

(4) 扫描电镜、X光透射、光透射等技术已经可用于模样质量定量化评价。

### 参 考 文 献

- Sun W L, Littleton H E, Bates C E. Real-time X-ray investigations on Lost Foam mold filling. Trans. AFS, 2002. 1 347 ~ 1 356
- Sand M, Shivkumar S. EPS Molecular Weight and Foam Density Effects in the Lost foam Process. Journal of materials science, 2003, 38: 2 233 ~ 2 239
- Sun W L, Littleton H E, Bates C E. Effects of Pattern Fusion on The Quality of Lost Foam Aluminum Castings: Real Time and Digital X-Ray Observations. Trans. AFS, 2003: 1 245 ~ 1 353
- Tschopp M A, Ramsay C W, Askeland D R. Mechanisms of Formation of Pyrolysis Defects in Aluminum Lost Foam Castings. Trans. AFS, : 609 ~ 614
- Bennett S, Moody T, Vrieze A et al. Pyrolysis Defects in Aluminum Lost Foam castings. Trans. AFS, : 795 ~ 803
- Tschopp M A, Wang Q G, Dewyse M J. Mechanisms of Misrun Formation in Aluminum Lost Foam Castings. Trans. AFS, 2002: 1 371 ~ 1 385
- Tschopp M A. Fluidity of Aluminum A356 in Lost Foam Casting Process. Trans. AFS, 2002: 1 387 ~ 1 397
- Hess D R, Askeland D R, Ramsay C W. Influence of Bead Chemistry on Metal Velocity and Defect Formation in Aluminum Lost Foam Castings. Trans. AFS, 2002. : 1 279 ~ 1 292
- Hess D R, Steinbrueck B, Ramsay C W. Observations on the Effect of Alloy Composition on Metal Flow and Defect Formation in Aluminum Lost Foam Castings. Trans. AFS, 2003, : 1 449 ~ 1 461
- Hess D R. Comparison of Aluminum Alloys and EPS foams for use in the Lost Foam Casting Process. Trans. AFS, 2004. : 1 161 ~ 1 174
- 刘子利, 吴国华, 丁文江等. AZ91 镁合金负压消失模铸造充型速度的研究. 航空材料学报. 2002, 22(2) : 12 ~ 16
- 刘子利, 吴国华, 丁文江等. 镁合金负压消失模铸造充型过程的研究. 铸造, 2002, 51(4) : 209 ~ 213
- 董选普, 樊自田, 黄乃瑜等. 镁合金消失模铸造的优势及关键. 特种铸造及有色合金. 2003(4) : 30 ~ 32
- 樊自田, 吴和宝, 张大付. 镁合金真空低压消失模铸造新技术. 中国机械工程, 2004, 15(16) : 1 493 ~ 1 496
- Brian V S, Scott B. Examining Lost Foam's 'White Side'. Modern Casting, 2000, 90(8) : 30 ~ 34
- Alfredo D P. Analysis of the Typical Problems Experienced with the Lost Foam Process Applied to Iron and Aluminum Castings and Its Future Perspectives. EPCT' 98. Beijing, China : 1 ~ 13
- Wall K F, Bhavnani S H, Overfelt R A. Investigation of the Performance of An Expandable Polystyrene Injector for Use in the Lost-foam Casting Process. Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science, 2003, 36(6) : 843 ~ 851
- Penumadu D, Benson R, Michaels R. Qualitative and Quantitative Description of EPS Foam for Lost Foam Casting. Trans. AFS, 2003: 1 293 - 1 302

(编辑: 陈渭臣)

## 第七届中国消失模铸造学术年会征文通知

为了展示当今消失模铸造技术发展与应用的最新成果, 促进业界的交流与合作, 推进我国消失模铸造水平发展, 兹定于2006年4月在南京举办第七届中国消失模铸造学术年会, 这是中国消失模铸造技术专家、学者和企业人士共聚一堂进行广泛深入学术交流、展示和经贸洽谈的极佳机会, 欢迎消失模铸造界同仁积极投稿并到会交流, 共同描绘中国消失模铸造业发展的宏伟蓝图。

**主办单位:** 中国机械工程学会铸造分会消失模铸造专业委员会

**承办单位:** 南京航空航天大学

**协办单位:** 《特种铸造及有色合金》杂志社、江苏联亚国际展览有限公司、南京市铸造学会、南京先进复合材料促进协会、南京市科学技术局、Mercourse Corporation、Profil & Design Messe - und Ausstellungen

### 一、征文内容

- 国内外消失模铸造的最新动态与发展趋势;
- 消失模铸造的理论研究;
- 消失模铸造模样原材料及珠粒的制备技术与生产设备;
- 消失模铸造工程设计、模具设计及制造、泡沫模样制模技术的开发和在生产中的应用;
- 消失模铸造新型造型材料及设备; 新型消失模铸造用干、湿涂料的制备、生产与涂敷工艺;
- 消失模铸造工艺及典型铸件的生产技术;
- 消失模铸造的精益生产及质量控制技术;
- 计算机模拟技术在材料和设备方面的应用;
- 有色金属的消失模铸造技术;
- 消失模铸造环保技术与设备。

### 二、征文要求

(1) 论文全文原则上不超过5000字(包括200字左右论文摘要), 要求图表清晰, 数据准确, 文字简练。

(2) 论文请按《特种铸造及有色合金》的稿件要求撰写。

(3) 对于符合《特种铸造及有色合金》杂志要求的论文, 将优先推荐在杂志上发表。会议邀请所有被录用的论文作者参加会议, 并颁发纪念品。

### 三、征文截止时间

请将论文稿件于2006年2月28日之前寄至组委会秘书或发电子邮件到组委会电子信箱。

### 四、会议日期与地点

(1) 日期: 2006年4月15日~18日

(2) 地点: 南京金陵之星大酒店(三星级, 南京国际展览中心对面)

### 五、联系方式

(1) 南京航空航天大学 1006 信箱, 邮编: 210016

刘子利: 025 - 84892952, 85173473

崔益华: 025 - 84895378(传真)

刘 宁: 025 - 84892952, 025 - 84892951(传真)

E-mail: liuzili@nuaa.edu.cn

(2) 《特种铸造及有色合金》杂志社, 武汉市汉口万松园路千禧园1号楼2-401室, 邮编: 430022

陈渭臣: 027 - 85486024 - 84

at 80 MPa by using the designed squeezing casting mould suitable for conventional hydraulic press. Solid solution and artificial ageing can improve the strength and plasticity of the beam barrel Mg alloy parts.

**Key Words :** Magnesium Alloy ,Direct Squeezing Casting ,Smelting-casting Method ,Heat Treatment ,Microstructure and Properties

**ZA27 Alloy Castings with High Height diameters Ratio in Squeezing Casting** Li Chenxi Cao Liang San Jingchao Xu Na Bai Yanhua Li Rongde (Shenyang University of Technology , Shenyang ,China) 2005 25(10)610~612

**Abstract** Generally ,the squeezing casting is only employed for the castings whose height-diameter ratio is less than 3.5. Researching the castings with high height-diameter ratio in squeezing casting can extend the applicable scopes of the advanced casting technology. The mechanical properties of the ZA27 alloy with the high height-diameter ratio of 7 and distribution of temperature ,pressure and shrinkage porosity during solidification process were investigated by experiment and numerical simulation. It is revealed that the shrinkage porosity in the castings with high height-diameter ratio can be obviously reduced with the increase of the pressure. Through rationally controlling pouring temperature ,preheated temperature for mould and temperature distribution of the cast mould ,the shrinkage porosity in the castings can be eliminated to obtain the castings with high and even mechanical properties.

**Key Words :** Squeezing Casting ,Castings with High Height-diameter Ratio ,Mechanical Properties ,Shrinkage Porosity

**Effects of Processing Parameters on the Mechanical Properties of Die Casting AM50 Mg Alloy** Wu Wei Zou Zhihou Ma Chunyan Yang Lin Chen Lijia Liu Zheng (Shenyang University of Technology ,Shenyang ,China) 2005 25(10)612~614

**Abstract** Effects of processing parameters ,including injection pressure at 380~420 MPa ,mould temperature at 130~210 and punch velocity at 1.8~3.4 m/s ,on the mechanical properties of AM50 Mg alloy in die casting were investigated. With proper processing parameters ,the tensile strength ,yield strength and elongation at room temperature of the AM50 Mg alloy can reach 238 MPa ,122 MPa and 13.6 % ,respectively.

**Key Words :** Mg Alloy ,Die Casting ,Mechanical properties

**Review of Progress in Investment Casting Technology at Abroad Part :Fast Forced Abrasion** Chen Bing (Beijing University of Aeronautical and Aerospace ,Beijing ,China) 2005 25(10)615~617

**Abstract** A new abrasion material-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramics near to diamond in hardness was introduced. The abrasion material can be subjected to high pressure during abrasion so that the faster the abrasive velocity is the longer the service life of the abrasive tool is. The advent of microreplication abrasive belt has changed the way of abrasive particle adhering on the substrate belt and added abrasive agent on the abrasive belt ,which can improve the abrasive efficiency and extend the service life.

**Key Words :** Abrasive Materials ,Nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ceramics ,Microreplication Abrasive Belt ,Investment Castings Abrasion

**Strictly Managing Pattern material to Prevent the Occurrence of the Ash Defects in Wax Pattern** Xu Yunxiang (Chinese University

of Science and Technology ,Hefei ,China) 2005 25(10)618~619

**Abstract** Resins base pattern materials for sol silicate mold shell in investment casting will lead to the irregular cavity in castings surface due to the repetitive reclamation resulting in the over standard of ash content in pattern materials. It is pointed out that pattern materials should avoid being polluted by powder ash and sand particle by any means during pattern-making and dewaxing ,and deposition temperature and time should be properly increased during reclamation of pattern materials with static deposition. In addition ,rational gating system can be helpful to reducing the ash-inclusion in wax pattern

**Key Words :** Resins Base Pattern Materials ,Wax Pattern ,Pattern Reclamation

**A New Technology of Mixed Binder-Sodium Silicate Compound Mold Shell for Investment Casting** Luo Shouxin Sheng Yuhai Liu Younian (Wuhan Research Institute of Machinery Technology , Wuhan ,China) 2005 25(10)620~622

**Abstract** The mixed binder ,which is composed of ethyl silicate solution ,sol silicate and active alcohol ,was applied for one to three layers of mold shells while the sodium silicate binder was applied for reinforced layer. The mixed binder for shell making has the advantages as follows : it doesn't need NH<sub>4</sub> chemical hardening and has faster drying time than sol silicate ,which is low than 1 hour in drying time of layers. Using the mixed binder can shorten the shell making period ,improve the quality of the investment casting improve the work condition and reduce the circumstance pollution and production cost.

**Key Words :** Ethyl Silicate ,Sol Silicate ,Sodium Silicate ,Alcohol ,Mold Shell for Investment Casting

**Progress in Lost Foam Casting at Home and Abroad** Chen Yaojian Huang Tianyou Kang Jinwu Zhang Jia (Tsinghua University ,Beijing ,China) 2005 25(10)623~626

**Abstract** Most interested research fields in lost foam casting is focused on aluminum and magnesium alloy ,their defects formation mechanism foam pattern making and quality description ,white zone pattern making. These researches indicate that the pattern with low fusion degree in center ,high fusion degree in surface ,and uniform density and smooth surface are suitable for the production of high quality castings in lost foam casting. In addition ,X ray ,SEM and numerical simulation have been employed to the estimation and prediction of bead filling mold pattern making and quality of finished pattern.

**Key Words :** Lost Foam Casting ,Al-Mg Alloy ,Pattern Quality

**Incubation and Fading of Refining Effects on Hypoeutectic Al-Si Alloy** Li Shuangshou<sup>1</sup> Tang Jinglin<sup>1</sup> Zeng Daben<sup>1</sup> Wu Hanqi<sup>2</sup> Lü Shuo<sup>2</sup> (1. Tsinghua University ,Beijing ,China ; 2. Diecast Wheel Manufacturing Limited Company ,Qinhuangdao ,China) 2005 25(10)627~629

**Abstract** By observing the change of grain size of A356 alloy during holding ,the incubation and fading of refinement on hypoeutectic Al-Si alloy were researched. Incubation of refinement is resulted from low solute supercooling degree during early stage of refinement. With the argument of the melt supercooling degree caused by solute Ti increase ,more nucleated particles are activated to restrain the growth of dendrite. After long holding time ,although the content of refining element Ti isn't changed ,refinement effect is fade due to the serious composi-