

## ● 综述 ●

# 金属材料液态成型技术的研究进展

郑伟刚<sup>1</sup>, 刘志军<sup>1</sup>, 阳鑫<sup>1</sup>, 李春龙<sup>1</sup>, 肖敏<sup>2</sup>, 李晓乐<sup>3</sup>

(1. 贵州大学机械工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州交通职业技术学院机械电子工程系, 贵州 贵阳 550025; 3. 厦门大学物理与机电学院, 福建 厦门 361005)

**摘要:**随着汽车工业的迅速发展以及市场竞争对铸件质量要求的提高,推动了金属材料液态成型技术发展。从20世纪70年代压铸技术的广泛运用,到90年代挤压铸造技术的不断完善,随后挤压压铸技术不断创新,使液态成型技术向多学科渗透融合发展,应用领域不断拓展,铸件用量逐年上升。重点介绍了压铸、挤压铸造、挤压压铸这三种重要的成型技术发展以及取得的最新成果。

**关键词:**压铸; 挤压铸造; 挤压压铸; 发展现状

中图分类号: TG249

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2013)23-0005-03

## Research Progress of Metal Material Liquid Forming Technology

ZHENG Weigang<sup>1</sup>, LIU Zhijun<sup>1</sup>, YANG Xin<sup>1</sup>, LI Chunlong<sup>1</sup>, XIAO Min<sup>2</sup>, LI Xiaole<sup>3</sup>

(1. Mechanical Engineering College, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Department of Mechanical & Electronic Engineering, Guizhou Polytechnic College of Communications, Guiyang 550025, China; 3. School of Physics and Mechanical & Electronic Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** With the rapid development of auto industry and the market competition on the increase of the requirement of the casting quality, the development of metal material liquid forming technology was promoted. From the extensive use of the die casting technology in the nineteen seventies to constant maturity of the 90's the squeeze casting technology, and then the continuous innovation of squeezing die casting, the liquid forming technology for multidisciplinary permeated and developed, application area continued to expand, and casting quantities increased year by year. The development and the latest achievements of three kinds of important forming technologies (die casting, squeezing casting and squeezing die casting) were mainly introduced.

**Key words:** die casting; squeezing casting; squeezing die casting; development status

金属液态成型技术具有生产效率高, 经济指标优良等优点, 在机械制造业中占有重要地位, 被广泛应用于航天航空, 汽车, 通信电子领域。其年用量增长速率, 普通铸件为 18%, 精密铸件为 25%。该技术在汽车业中的应用最为显著, 近年来随着汽车行业内部的优化升级, 逐步用铝铸件代替灰铸铁铸件, 这使铸件的需求量不断增长。现今美日以及我国汽车压铸件占有色铸件总量的比例约为 80%~90%, 2012 年我国各类铸件总产量为 4250 万吨, 产量位居世界首位<sup>[1]</sup>。

铸件市场需求量的增长和铸件质量要求的提高, 促进了金属液态成型技术的发展, 金属液态成型

技术包括压铸技术、挤压铸造技术、挤压压铸技术、熔模铸造、陶瓷型铸造、离心铸造。由于篇幅问题, 本文重点介绍前三种技术的发展现状。

## 1 压铸技术发展现状

压铸技术出现较早, 20 世纪 60 至 70 年代是压铸技术的完善阶段; 70 年代至今是电子技术和计算机技术用于压铸工艺与设备的大发展阶段。新技术的应用, 标志着压铸生产开始从经验操作转变为科学控制的新阶段。压铸技术涉及诸多学科, 因此, 各学科研究的不断深入和工业技术的进步, 推动了该技术的发展。

### 1.1 半固态压铸技术

半固态压铸技术包括流变压铸成型和触变压铸成型两种。

流变成型技术已取得较多成果, 如: 根据 Flemings<sup>[2]</sup>提出的低过热度制浆式流变压铸理论, 而

收稿日期: 2013-06-29

基金项目: 贵州省(贵阳市)工业攻关项目(黔科合 GY 字[2012]3004; 筑科合同[2012101]2-13 号)

作者简介: 郑伟刚(1955-), 男, 贵州贵阳人, 教授, 研究方向: 精密压力成形; 电话: 13984071690; E-mail: weigangzheng@163.com

发展出低过热度倾斜板浇注式、低过热度浇注和弱机械搅拌式三种方式的新型流变成型技术。日本 Hitachi 金属有限公司研发的压射室制浆式流变压铸成型技术,解决了半固态浆料的储存和输送问题。韩国学者洪俊杓等人对此技术进行改进,在合金液送入压室前启动电磁搅拌,保证各部分组织均匀。北京科技大学开发的锥桶式流变成型技术<sup>[3]</sup>,如图 1 所示,制备出组织均匀的半固态浆料。意德拉集团公司研发的意德拉 SSR 技术<sup>[4]</sup>,将 SSR 工作站集成到压铸单元中,用低固相率(小于 20%)成型。南昌大学开发的斜管法流变压铸技术<sup>[5]</sup>,实现了细化晶粒的目的。

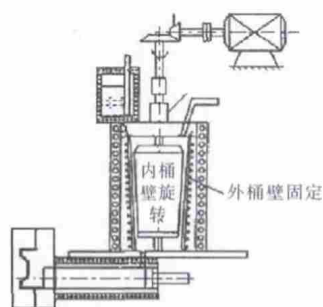


图 1 锥桶式半固态流变成型

Fig.1 Cone barrel semi-solid rheoforming

触变成型需要两次将铸锭加热到半固态温度。首次加热制备浆料的方法有固态法和液相法。固相法中应用最广的是应力诱发激活法<sup>[6]</sup>(简称 SIMA),即先将铸锭预变形,然后加热到一定温度使之再结晶,最后再将坯料加热到两相线之间的温度,保温一定时间后获得非枝晶半固态浆料,如李元东等人<sup>[7]</sup>利用 SIMA 法制备出的 AZ91D 合金半固态浆料晶粒细小、均匀。液相法以搅拌法为主,搅拌法的典型代表为 Brunel 大学研发的双螺旋注射成型法<sup>[8]</sup>,可获得球状晶的半固态组织。目前,新开发的浆料制备方法,有我国东北大学和澳大利亚墨尔本大学共同研发的近液相铸造法和 Flemings 等人研发的 MIT 法<sup>[9]</sup>,二者都是在液相线温度附近使合金熔体内产生大量晶核进而形成半固态组织;日本株式会社的 NRC 技术<sup>[10]</sup>是从熔融金属中直接制备出含有球状晶的半固态浆料。

第二次加热方式有电磁感应加热、电阻炉和盐浴炉加热等。其中 AEG 公司开发的感应线圈能量输入控制法通过控制温度来间接测控固相体积分数;Buhler 和 EFU 公司开发的感应线圈涡电流法解

决了显微组织粗大、坯料表皮氧化严重的问题。

## 1.2 真空压铸技术

真空压铸法主要有急冷排气槽法和真空阀法,急冷排气槽法由于设备简单应用较为普遍;真空阀法则以日本宇部公司开发的 Gas-free 法<sup>[11]</sup>最为典型,既能高效排出空气又能避免金属液流入真空系统。

高真空压铸技术是在真空技术的基础上发展的一种新型压铸技术,较常用的为 Vacural 法和 MFT 法,在生产中得到广泛应用。此外,最近 Alcan 公司研发的 High-Q-Cast 法已经用于生产车身件 B 柱,能够解决压铸过程的粘膜问题且铸件性能良好。SVDC 高真空技术制造的汽车减震塔也改进了铸件的拉伸强度和伸长率<sup>[12]</sup>。

## 1.3 充氧压铸技术

充氧压铸是消除铸件内部气孔的另一较为普遍的技术。压铸机内的气体大部分是氮气和氢气,氧气充入压铸模型腔时空气被排出,在金属液凝固的过程中氧气与活性金属发生反应生成固体氧化物,这种氧化物颗粒细小,仅占总质量的 0.1%~0.2%<sup>[13]</sup>,不影响力学性能和加工性能,并可使铸件进行热处理和焊接。

## 2 挤压铸造技术的发展

压铸技术获得的铸件虽能满足大多数零件的使用要求,但压铸件内部的缩松问题难以消除,对于要承受较大压力的零件,压铸件还无法满足使用要求。因此,挤压铸造技术的开发,很大程度上改善了上述问题,该技术始于 1937 年的前苏联,90 年代得到飞跃发展。目前,已臻成熟。

### 2.1 双重挤压铸造技术

双重挤压铸造又称“二次补压”,该技术有效地解决了零件厚大部位的缩松缺陷。如日本宇部公司用 VSC 全立式挤压铸造机生产的铝轮毂<sup>[14]</sup>,在轮毂易出现缩松的厚大部位,安排上冲头二次补压,如图 2 所示。该公司新生产的 VSC18000kN 大型挤压铸造机采用抽真空技术排出型腔中的空气,进一步减少了铸件的气孔现象。

### 2.2 半固态挤压铸造

半固态挤压铸造技术也是国内外迅速发展的一项新技术。日本宇部公司在 VSC、HVSC 挤压铸造机上进行了半固态挤压铸造方面的研发工作,其新工艺流程<sup>[15]</sup>如图 3 所示,此工艺适合于生产铝合金

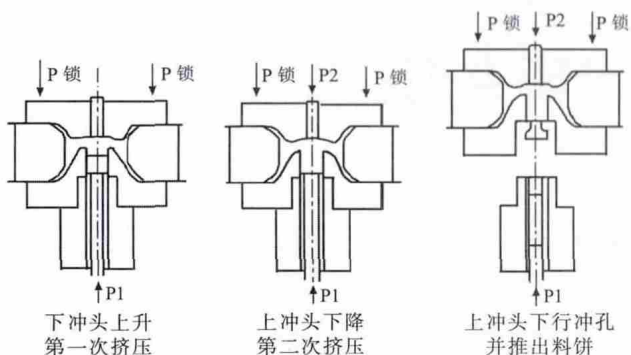


图2 VSC机上生产铝合金轮毂示意图

Fig.2 Schematic diagram of manufacturing aluminum alloy hubs on VSC machine

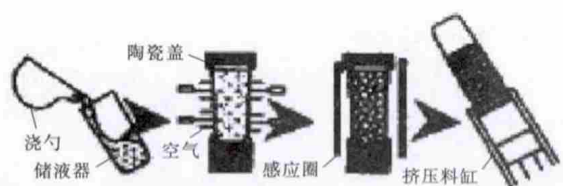


图3 半固态挤压铸造新工艺流程图

Fig.3 The new technological process flow chart of semi-solid squeeze casting

和镁合金铸件。东芝公司在DXHV和DXV型挤压铸造机基础上,将其挤压料缸增加冷却控温系统,实现了半固态挤压铸造的全过程生产。用此铸造机生产的A356、A357合金汽车零件性能良好,并已在尼桑汽车上使用<sup>[16]</sup>。

### 2.3 多向挤压铸造技术

多向挤压铸造技术能根据零件的需要,在具体方向上施加挤压力,克服传统挤压铸造中压力单向性的缺点,此项技术有效地解决了局部壁厚差大、结构复杂的零件,整体或局部的缩松等问题。

此外,重庆大学研发的新型挤压铸造技术,已申请国家发明专利<sup>[17]</sup>,硕龙科技有限公司运用此技术生产的新型挤压铸造机,进行了125和150两种排量的摩托车镁合金轮毂的生产,其性能优于传统的挤压铸造生产所得。荷兰Prince Machine公司、法国JL公司以及美国Grandville和Michigan公司联合开发的“满料筒”挤压铸造技术<sup>[18]</sup>,为福特汽车公司生产了质量为10kg的A380铝合金的下曲轴箱,性能良好。

## 3 挤压压铸技术的发展

从国内铸件质量来看,铸件的内部普遍存在局部缩松、热处理气泡和力学性能不稳定等缺陷。1997年我国工程技术人员发明了一项拥有自主知识产权

的新液态成型技术即挤压压铸技术,又称“液态金属模压技术”,解决了上述问题。其包含了特种铸造、半固态加工及连铸连锻工艺所具有的特性,适用于高低流动性有色金属合金的生产。

挤压压铸技术在我国快速发展表现为挤压压铸机的发展和多向挤压压铸技术的发展。挤压压铸机有两种:①对传统压铸机进行改造得到的挤压压铸机;②标准挤压压铸机,如肇庆英华机电工业有限公司研制的1250kN挤压力和顺德市华大机械制造有限公司研制的具有1000kN挤压力的标准机已经投入使用,其中华大机械制造有限公司目前可生产的最大机型达9000kN,几乎可满足所有零件的生产。

多向挤压压铸模锻指利用倍增力锻压缸实现多向高比压锻压补缩的挤压压铸模锻的工艺与装置。利用次级活塞与初级活塞杆截面积之比来改变输出的锻压力。它可生产轴向(厚度)尺寸大,需在径向多方位、大投影面积进行高比压锻压补缩的连铸连锻件。“倍增力锻压缸”原理如图4所示。

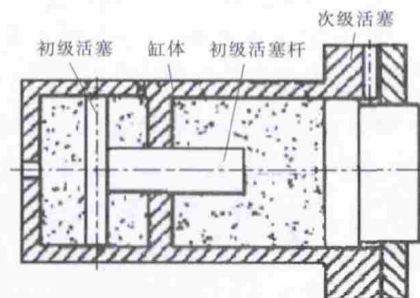


图4 倍增力锻压缸增压装置原理图

Fig.4 The schematic diagram of boosting device of multiple force forging cylinder

## 4 结语

理论和应用研究的发展使液态成型技术更新的步伐越来越快。21世纪“绿色环保铸造工程”的实施及“铸件净成型供货”的要求又加快了更新的步伐。面临铸造业的新形势,我国的铸造业必须进行改革,如优化产业结构、加大在设备自动化、CAD/CAE等方面的研究力度,加快技术自主开发战略的实施等。

### 参考文献:

- [1] 2013-2017年中国钢铁铸件行业产销需求预测与转型升级分析报告[R]. 深圳:FORWARD Business Information Co. Ltd. 2013:13-27.
- [2] Flemings M C, Martinez R. Principles of microstructure information in semi-solid metal processing[J]. (下转第13页)



- hybrid welding parameters on bead geometry [J], Weld J. , 2004, 83(5):147-153.
- [27] Song G, Luo Z M. The influence of laser pulse waveform on laser-TIG hybrid welding of AZ31B magnesium alloy [J]. Opt. Lasers Eng. , 2011, 49(1): 82-88.
- [28] Wang X Y, Wang W, Lin S Y. Effect of welding parameter on weld penetration in laser-MIG hybrid welding of aluminum alloy[J]. Trans. China Weld. Inst. , 2008, 29(6):13-16.
- [29] Petnng D, Fuhrmann C, Wolf N, et al. Investigations and applications of Laser\_arc hybrid welding from thin sheets to heavy section components [C] //22nd International Applications of Laser Elect Optics. Jackson-ville, 2003.
- [30] Ribic B, Rai R, DebRoy T. Numerical simulation of heat transfer and fluid flow in GTA/Laser hybrid welding [J]. Sci Technol Weld Joi, 2008, 13(8): 683-693.
- [31] Zhang J, Shen Q, Luo G Q, et al. Microstructure and bonding strength of diffusion welding of Mo/Cu joints with Ni interlayer[J]. Mater Design, 2013, 39: 81-86.
- [32] Flynn M R, Susi P. Local exhaust ventilation for the control of welding fumes in the construction industry-a literature review [J]. Ann Occup Hyg, 2012, 56(7): 764-776.
- [33] Aydin K, Kaya Y, Kahraman N. Experimental study of diffusion welding/bonding of titanium to copper[J]. Materials & Design, 2012, 37: 356-368.
- [34] Shi H X, Qiao S, Qiu R F, et al. Effect of welding time on the joining phenomena of diffusion welded joint between aluminum alloy and stainless steel [J]. Mater Manuf Process, 2012, 27(12):1366-369.
- [35] 王艳芳, 李京龙. 瞬间液相扩散焊过程中的接触熔化与等温凝固模型[J]. 焊接, 2006, (7): 7-11.
- [36] Ustinov A, Falchenko Y, Melnichenko T, et al. Diffusion welding of aluminium alloy strengthened by Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles through an Al/Cu multilayer foil [J]. J Mater Process Tech, 2013, 213(4): 543-552.
- [37] Aydin K, Hidiroglu M, Kaya Y, et al. An investigation into the joining of titanium with copper through diffusion welding/bonding [J]. J. Fac. Eng. Archit Gaz, 2013, 28 (1): 15-26.
- [38] Dave V R, Beyerlein I J, Hartman D A, et al. A Probabilistic diffusion weld modeling framework[J]. Weld J., 2003, 82(7): 170S-178S.
- [39] Mizia R E, Clark D E, Glazoff M V, et al. Optimizing the diffusion welding process for alloy 800H: thermodynamic, diffusion modeling and experimental work [J]. Metall Mater Trans A, 2013, 44A: 154-161. 

## (上接第7页)

- Solid State Phenomena, 2006 (116/117):1-8.
- [3] 王平, 郑连辉, 路贵民, 等. 低过热度电磁铸造合金组织与性能 [J]. 材料科学与工艺, 2007, 15(5): 738-740.
- [4] Roberto Boni, 王杰. 意德拉半固态流变压铸技术[J]. 特种铸造及有色合金, 2009, 29(2): 21-22.
- [5] 蔡卫华, 杨湘杰, 郭洪民, 等. 斜管法流变制浆工艺初探[J]. 特种铸造及有色合金, 2003 (增刊): 308-310.
- [6] 杨晓婵. 半固态金属成型技术在国外的研究与应用 [J]. 矿冶, 2000, 9(1): 65-68.
- [7] 李元东, 郝远, 阎峰云. SIMA 法制备 AZ91D 镁合金非枝晶组织锭料[J]. 甘肃工业大学学报, 2008, 28(4): 34-38.
- [8] Das A, Ji S, Fan Z. Solidification microstructure obtained by novel twin screw liquids casting method [C]//Proceeding of the 7th S2P, Japan. 2002: 689-694.
- [9] Findon F, Apelian D. Meit mixing approaches for the formation of thixotropic semi-solid metal structure [C]// Proceeding of the 7th S2P, Japan. 2002: 557-562.
- [10] Flemings M C, Materials R, Figueredo A M, et al. Efficient formation of structures suitable for semi-solid forming [C]//The 21st International Die Casting Congress, Cicinatti, OH. 2001.
- [11] 万里, 赵芸. 铝合金高真空压铸技术的开发与应用[J]. 特种铸造及有色合金, 2008(11): 858-861.
- [12] Brown Z, Luo A A, Development of super-vacuum die casting process for magnesium alloys[C]// North American Die Casting Association Transactions, T09-043. 2009: 723-729.
- [13] 赖华清. 充氧压铸及其应用[J]. 金属成型工艺, 2004, 22(2): 12-14.
- [14] Kaufmann H. Influence of heat treatment conditions on the mechanical properties of new rheocasting aluminum parts [C]// Second International Conference on processing Materials for Properties, San Francisco, USA. 2000.
- [15] Wahlen A, Fragner W. Optimization of the new rheocasting process using cellular automata[C]//7th International Conference on Semi-solid Processing of Alloys and Composites. 2002: 635-640.
- [16] Takao K, Ryoichi S. Development of new semi-solid metal casting process for automotive suspension parts [C]// 7th International Conference semi-solid metal Processing of Alloys and Composites. 2002: 145-150.
- [17] 龙思远. 一种间接挤压铸造方法: 中国, 200310110903.7[P]. 2004-II-03.
- [18] Damian B, Nelson C. 用普通卧式压铸机进行 Full-sleeve 挤压铸造[C]// 第二届中国国际压铸会议论文集. 沈阳: 东北大学出版社, 2000. 