DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.10.021

熔模精密铸造型壳制备工艺研究进展

林　波,陈云祥
(浙江机电职业技术学院,浙江 杭州 310053)

摘　要:对熔模铸造型壳制备工艺进行了分析和研究,目前采用的方法有水玻璃制壳工艺、硅溶胶制壳工艺、复合制壳工艺和3D快速打印制壳工艺。今后熔模铸造型壳制备技术将向降低成本、提高强度、环保、快速制备方向发展。

关键词:熔模铸造;水玻璃;硅溶胶;发展前景;3D打印

中图分类号:TG249　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)10-0925-03

Research Progress on Shell Mold Making Technology of Investment Casting

LIN Bo, CHEN Yunxiang
(Zhejiang Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Hangzhou 310053, China)

Abstract: To investment casting molding shell preparation technology were analyzed and studied. At present, the methods used include sodium silicate shell making process, silica sol shell making process, composite shell making process and 3D rapid printing shell process. In the future, the preparation technology of investment casting shell will be developed in the direction of reducing cost, improving strength, environmental protection and rapid preparation.

Key words: investment casting; sodium silicate; silica sol; prospects; 3D printing

熔模精密铸造是指用蜡做成蜡样,在其外表包裹多层粘土、粘结剂等耐火材料,加热使蜡熔化流出,从而得到由耐火材料形成的型壳,再将金属熔化后灌入壳型型腔,待金属冷却后将耐火材料敲碎得到金属零件,这种加工金属的工艺就叫熔模精密铸造,也称为熔模铸造或失蜡铸造。熔模精密铸造生产过程非常复杂,主要有压型设计、蜡膜制备、型壳制备、浇注、清理和热处理等工序,目前业内对熔模铸造已经进行了很多研究[1-4]。

熔模精密铸造技术作为目前国内外精密铸件重要成形工艺,涉及航空航天、电子、工程机械、汽车、医疗交通、能源、五金等行业,可为高端装备制造业提供关键零部件[5-8]。熔模精密铸造的主要优点是:铸件尺寸精度高、表面粗糙度细,能够铸造外型复杂的铸件,还能铸造异形复杂小孔及薄壁零件;其主要缺点是:工艺过程较复杂、生产周期较长,且不易控制,使用和消耗的材料较贵,故它适用于生产形状复杂、精度要求高、或很难进行其它加工的小型零件,如涡轮发动机的叶片等。因此,熔模精密铸造能生产泵、阀、五金、汽摩配件外,也是生产航空航天等高端精密铸件的主要方法。型壳制备方法有很多种,对其进行研究对生产优质铸件有着重要的意义。

1　常用型壳制备方法

型壳制备作为熔模铸造中重要环节之一,如何掌握好该工序的工艺技术、操作方法,了解壳型制造所产生的物理化学反应,对制定合理的操作工艺有着关键影响。因此,对型壳制备技术进行分析,研究不同工艺方法对精密铸件生产的影响,对实现改善型壳制备工艺生产优质精密铸件、提高生产效率、改善生产环境有着重大意义。目前常见的型壳制备工艺有水玻璃制壳工艺、硅溶胶制壳工艺、水玻璃-硅溶胶复合工艺及3D打印快速制壳技术等。

1.1　水玻璃制壳工艺

以水玻璃作为粘结剂,通过挂涂料、撒砂、硬化等方式制备型壳。具有成本低、硬化速度快(化学硬化)、制壳周期短等特点,缺点是型壳表面质量差,尺寸精度不高,对环境有影响。水玻璃结壳工艺由于材料价格低廉、设备投资少、制壳周期短等特点,铸件品质相对较差,适用于对铸件品质要求不是太高的

收稿日期:2021-04-06
基金项目:浙江机电职业技术学院智能铸造技术与装备科技创新团队项目(A-0274-20-009);学院科教融合重点培育项目(A-0271-20-207);浙江省教育厅访问工程师项目(FG2020100)
作者简介:林　波(1985—),浙江温州人,讲师,高工.研究方向:铸造工艺与材料研究.电话:0571-56098256,Email:zjfoundry008@163.com
通讯作者:陈云祥(1964—),浙江衢州人,副教授.研究方向:金属材料热处理.电话:13958006825,E-mail:chyx-zy@163.com

碳钢件、低合金钢件、铸铁件、铜铝合金件。目前通过改进制壳工艺,开发新型硬化剂等方式可有效提高铸件质量和改善生产环境。蓝勇[9]等研究了一种新型的型壳强化技术,通过合理配比强化剂和控制工艺方案,解决了水玻璃型壳高温强度低的难题,实现型壳减层工艺的大批量生产应用。通过强化剂的应用,撒石英砂的水玻璃型壳高温强度达到了11 MPa,达到了全硅溶胶的水平。传统的熔模铸造水玻璃结壳工艺,采用氯化铵和结晶氯化铝作硬化剂,会污染环境,恶化工作条件,造成铸件的品质问题。景宗梁[10]采用新型硬化剂改善操作环境,减轻劳动强度,有益于环境保护。

1.2 硅溶胶制壳工艺

是以硅溶胶为粘结剂制备型壳的方法。硅溶胶作为黏结剂,其型壳具有高的表面粗糙度和高的尺寸精度,并具有较高的高温强度和高温抗变形能力,尤其是应用于高合金铸件时就更能显示其优越性。目前多数铸造企业采用该方法生产不锈钢精密铸件。但该工艺在实施过程制备型壳中,常遇到一些技术难题,如模壳开裂。目前国内一些专家如籍君豪、吕志刚等在型壳制备方法对精密铸件影响方面已有一些研究[11-12]。目前,一般认为中温蜡硅溶胶模壳产生裂纹主要受以下几个因素影响:

(1)蜡料老化,灰分含量高,蜡的运动粘度变大。

(2)流道工艺设计不合理,排蜡不畅。

(3)浆料配比不合理,材料选择不当或材料质量不达标。

(4)制壳生产环境:包括温度、湿度、风速、风量等。

(5)脱蜡操作不当,或者脱蜡设备有问题。

硅溶胶熔模精铸工艺中,模壳开裂作为型壳制备环节常见缺陷之一,一般在铸件上最直接的表现是表面细小裂纹。铸件表面裂纹有两种表现形式:凸裂纹和凹裂纹,前者主要出现在低碳类不锈钢产品表面,后者主要出现在碳钢、合金钢等含碳量较高的铸件上,浇注时如果壳型温度低表现得更为明显。表面裂纹对后续的生产过程产生了很大的困扰,比如凸裂纹打磨后,裂纹根部出现小型气孔。裂纹严重的导致产品报废。究其根本原因,还是型壳脱蜡后表面已经出现了裂纹,经焙烧后裂纹进一步放大,进而导致钢水溢出或钢水直接接触空气被氧化。当采取中温蜡熔模铸造工艺时,型壳开裂导致铸件报废问题,也成为一个技术难题。

1.3 水玻璃-硅溶胶复合工艺

虽然水玻璃制壳工艺投资少,设备低廉,生产效率高,但铸件质量偏低。而硅溶胶制壳工艺工艺复杂、铸件质量好,但全部采用硅溶胶型壳费用偏高。为降低成本,提高铸件表面质量,部分企业采用了水玻璃-硅溶胶复合工艺,即表面采用硅溶胶涂料制壳工艺,加固层则仍应用水玻璃工艺。

1.4 3D 打印快速制壳技术

该技术是近几年来发展起来的,是将3D打印技术应用于金属铸造可以大大简化工艺过程,实现快速铸造,也是3D打印技术应用的最成功的范例。目前,基于微喷射分层粘结(3DP)快速砂型、选择性激光烧结(SLS)覆膜砂型、光敏树脂选择性固化(SLA)制造模样等都有成功的应用。其中,将3D打印技术原理应用于熔模精密铸造,对简化工艺过程、降低生产成本具有很大的潜力。

目前,将3D打印与熔模精密铸造相结合有几种可能的途径与方法:

(1)采用光敏树脂选择性固化(SLA)方法或PS粉选择性激光烧结(SLS)成型制作模样以代替蜡样,再结合传统的多层耐火材料结壳的方法完成“壳型”制造。实现了代替蜡模的快速成型制造,缩短了单个蜡样成形周期及成本。采用这种方法需要解决低成本的光敏树脂材料、代替蜡模从耐火材料壳型中去除、以及代替蜡模受热气化时的有害气体排放等问题。国内外都已开展相关的试验研究[13-15],杨来侠[16]等采用选择性激光烧结(SLS)的诱导轮复杂曲面零件快速熔模铸造工艺研究。采用SLS成形聚苯乙烯(PS)工艺制作了叶轮树脂模型并进行浸蜡处理,并采用硅溶胶工艺制得型壳。Boeing公司与Honeywell公司联合研究,拟采用增材制造技术生产整体机翼、环状框梁、侧壁板等大型产品[17-18]。

(2)直接采用3D打印设备制造蜡样,再经石膏型或者传统熔模铸造工艺制造铸件。陈光辉[19]等采用3D打印蜡样后经石膏型熔模精铸工艺,成功开发了汽车用铝合金变速箱壳体,性能优良,较传统开模再铸造工艺缩短了50%新产品开发时间。

(3)选择性激光烧结(SLS)或熔丝沉积制造(FDM)直接成型陶瓷壳型[20-21]。目前华中科技大学樊自田教授团队[22-23]正在开展该方面的研究。这种方法的成功实现,可大大缩短精密铸造制壳流程及成本,将给传统的熔模精密铸造工艺方法带来革命性的改变。该工艺技术难点在于需要解决陶瓷材料、3DP精密成型工艺、陶瓷型壳尺寸精度及表面精度控制等问题。

2　发展趋势

经过多年的发展，熔模精密铸造技术已经有了很大的发展，今后各种制壳工艺将会长期共存。在传统工艺上，由于水玻璃制壳工艺在环境因素和产品质量上的不足，硅溶胶制壳工艺将向降低成本、环境友好、产品质量优良等方向发展将部分代替水玻璃制壳工艺。同时，3D 打印技术在精铸领域的应用，将在新产品开发、缩短产品开发周期和模具制造成本及高端精密铸件生产提供有效的技术支持。而型壳直接 3D 打印技术的出现将使实现工序简单、快速、绿色铸造变为可能。

3　结论与展望

虽然目前已经有了很多种型壳制备方法，不管采用何种工艺方法制备型壳，型壳制备方法和过程对型壳性能影响很大，而型壳的性能对铸件质量起着决定性作用。通过对型壳制备技术对铸件质量的影响进行分析，提出预防和解决方案，解决型壳开裂问题，浇铸出合格铸件对提高铸件质量、合格率、提高经济效益非常重要。

参考文献：

[1] 沈昀，郑功，冯辰铭. 熔模精密铸造技术研究进展[J]. 精密成形工程，2019(1): 54-62.

[2] 景宗梁，车顺强. 熔模铸造表面层制壳工艺的研究 [J]. 铸造，2010(8): 803-807.

[3] 李爱宗. 熔模铸造铜花管离心浇注工艺的研究 [J]. 特种铸造及有色合金，2017，37(7): 750-751.

[4] 杨斌，孙少纯，郭常振，等. FDM 技术在熔模铸造生产中的运用[J]. 铸造技术，2018，39(2): 374-378.

[5] 徐贵强，郑蕊，包学春，等. 薄壁汽车零部件精铸工艺设计[J]. 特种铸造及有色合金，2019，39(11): 1229-1231.

[6] 鞠富，徐贵强，郝素斌，等. 某阀体浇注系统工艺设计[J]. 特种铸造及有色合金，2017，37(7): 729-731.

[7] 樊振中. 熔模精密铸造在航空航天领域的应用现状与发展趋势[J]. 航空制造技术，2019，62(9): 38-52.

[8] 姜耀林，邵中魁. 3D 打印在快速熔模精密铸造技术中的应用[J]. 机电工程，2017，34(1): 48-51.

[9] 蓝勇. 熔模精铸型壳强化技术研究与应用[J]. 铸造，2012，61(2): 161-164.

[10] 景宗梁，陆黎明，陆洲. 水玻璃型壳新型硬化剂的研制及应用[J]. 特种铸造与合金，2010，30(12): 1127-1129.

[11] 籍君豪. 精铸硅溶胶型壳质量的控制 [J]. 特种铸造与合金，2008，28(9): 702-706.

[12] 吕志刚. 我国熔模精密铸造的历史回顾与发展展望 [J]. 铸造，2012，61(4): 347-356

[13] 段望春，高佳佳，董兵斌，等. 3D 打印技术在金属铸造领域的研究现状与展望[J]. 铸造技术，2018，39(12): 2895-2900.

[14] 傅骏，蔺虹宾，周棣华，等. 基于 3D 打印的艺术品模具快速熔模铸造实践[J]. 热加工工艺，2016 (13): 99-100.

[15] UPADHYAY M, SIVARUPAN T, MANSORI M E. 3D printing for rapid sand casting-A review [J]. Journal of Manufacturing Processes, 2017, 29: 211-220.

[16] 杨来侠，白祥，徐超，等. 基于 SLS 的诱导轮快速熔模铸造工艺研究[J]. 铸造，2019，68(10): 1121-1126

[17] 姜耀林，邵中魁. 3D 打印在快速熔模精密铸造技术中的应用[J]. 机电工程，2017，34(1): 48-51.

[18] 杨恩泉. 3D 打印技术对航空制造业发展的影响[J]. 航空科学技术，2013(1): 13-17.

[19] 陈光辉，崔爱红，崔国起. 变速箱壳体 3D 打印熔模铸造工艺分析[J]. 铸造，2017，66(9): 948-951.

[20] 郭璐，朱红. 陶瓷 3D 打印技术及材料的研究现状[J]. 陶瓷学报，2020，41(1): 22-28.

[21] 李涤尘，杨强，鲁中良，等. 一种基于 3D 打印技术的氧化钙基陶瓷铸型制造方法：中国专利：CN201710284229.6 [P]，2017-08-08.

[22] 董选普，黄乃瑜，吴树森，等. 复杂薄壁金属零件的快速制造技术[J]. 铸造，2001(6): 321-324.

[23] 蔡基利，吴和保，刘富初，等. 微滴喷射快速成形 Al_2O_3 陶瓷微球的性能[J]. 材料工程，2018，46(11): 84-89.

（上接第 924 页）

terials Characterization, 2015, 105(50): 47-55.

[25] LOMBARDI A, ELIA D F, RAVINDRAN C. et al. Interplay between residual stresses, microstructure, process variables and engine block casting integrity [J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2012, 43: 5258-5270.

[26] YANG X W, ZHU J C, LAI Z H, et al. Finite element analysis of quenching temperature field, residual stress and distortion in A357 aluminum alloy large complicated thin-wall workpieces[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2013, 23 (6): 1751-1760.

[27] 李名扬，张朋朋，郑骥，等. 振动时效在大型铝合金薄壁环中的应用[J]. 金属热处理，2015，40(6): 145-148.

[28] LADOS D A, APELIAN D, WANG L. Minimization of residual stress in heat-treated Al-Si-Mg cast alloys using uphill quenching: mechanisms and effects on static and dynamic properties[J]. Materials Science & Engineering A, 2010, 527(13): 3159-3165.

[29] 李敬民，李凤春，滕宇，等. 深冷处理在 ZL204 铝合金中的应用[J]. 金属热处理，2021，46(1): 80-83.