DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.12.024

石膏型表面喷涂强冷涂料对铸件缩松缺陷的改善研究

杜　平[1],张　伟[1,2],岳　鑫[1],韩　明[1],王　磊[1]
(1. 山东豪迈机械科技股份有限公司,山东 高密 261500;2. 山东省轮胎模具关键技术重点实验室,山东 高密 261500)

摘　要:低压铸造中对石膏型表面质量及性能有非常高的要求,根据多年低压铸造铝合金花纹块的经验及建立缩松数据库,分析石膏型表面喷涂强冷涂料对花纹块缩松的影响,主要包括强冷涂料性能研究、喷涂手法、涂层厚度、喷涂时机、烘干时间等,并应用于实际生产中,极大地降低了花纹块的缩松率,改善了铸铝花纹块缩松缺陷,降低了生产成本。

关键词:石膏型;铝合金;低压铸造;强冷涂料;缩松
中图分类号:TG249　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)12-1328-04

Study on Reducing Shrinkage Porosity Defects by Spraying Strong Cold Coating on the Surface of Plaster Mold

DU Ping[1], ZHANG Wei[1,2], YUE Xin[1], HAN Ming[1], WANG Lei[1]
(1. Himile Mechanical Science And Technology (ShanDong) Co. Ltd., Gaomi 261500, China; 2. Shandong Key Laboratory of Tire Mould Technology, Gaomi 261500, China)

Abstract: The surface quality and properties of gypsum mold were very high in low pressure casting. Based on years of experience in low-pressure casting aluminum alloy pattern blocks and the establishment of shrinkage database, the influence of gypsum surface coating on shrinkage of pattern blocks was analyzed. It mainly includes performance research of strong cold coating, spraying technique, coating thickness, spraying time, drying time, etc. When applied to practical production, the shrinkage porosity rate of the pattern block is greatly reduced, the shrinkage porosity defects of the cast aluminum pattern block is improved, and the production cost is reduced.

Key words: plaster mold; aluminum castings; low pressure casting; spraying coating; shrinkage

缩松是低压铸造中最普遍的铸造缺陷,它是由于铸件顺序凝固条件差,补缩性能不佳所导致的结果。合金铸件中如果存在缩松,使部分结构不致密,导致组织疏松,会显著降低铸件的力学性能,对铸件的冲击韧度、伸长率、气密性、物理和化学性能影响较大。轮胎模具的主要组成部件花纹块,具有形状特殊、花纹和钢片较多且铸件壁厚不均,变化较大等特点,花纹块在壁厚差较大处容易出现缩松,因花纹块在硫化橡胶时,处于高温和腐蚀的环境中,并频繁进行开合模动作,所以花纹块需要具备耐腐蚀、耐磨、耐高温和高硬度的性能,以满足使用要求。因此,为满足花纹块的使用要求,缩松缺陷是不允许存在的,一旦出现缩松的缺陷,会降低花纹块的使用寿命,缩松严重时甚至造成报废,无法通过修整或焊补的方式进行修复。花纹块进行修整或焊补时,由于要求精度高、且其花筋粗细不一、钢片密集等原因,花纹块的修整或焊补很难进行,加工成本较高。因此,铝合金花纹块铸件的缩松问题亟待解决。

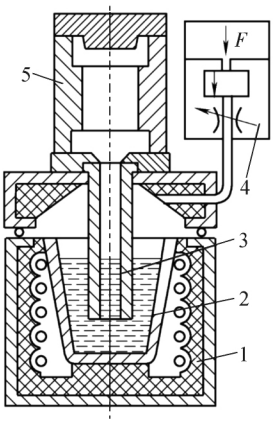
本文通过石膏型表面喷涂强冷涂料的方式改变了铸件的冷却顺序,降低了低压铸造铝镁合金花纹块产生缩松的几率。

1　低压铸造原理

如图1,在装有合金液的密封容器(坩埚)中,通入干燥的压缩空气,作用在保持一定浇注温度的合金液面上,造成密封容器内与铸型腔的压力差,使合金液在较低的充型压力作用下、沿着升液管内孔自下而上地经输液过道、铸型浇口、平稳地充入铸型;待合金液充满型腔后,增大气压,使型腔里的合金液在较高的压力作用下结晶凝固;然后卸除密封容器内的压力,让升液管、输液过道内尚未凝固的合金液

收稿日期:2019-04-01
作者简介:杜　平(1979-),山东高密人,工程师.主要从事铝合金精密铸造相关工作.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



1- 坩埚；2- 金属液；3- 升液管；4- 密封盖；5- 铸型

图 1 低压铸造原理图

Fig.1 Low-pressure die casting simplified schematic

依靠自重回落到坩埚中。至此，即完成了一个低压浇注工艺过程，再经脱模取件而得到所需要的铸件[1]。

2 缩松形成机理

缩松是低压铸造中最普遍的铸造缺陷，它所引起的原因是由于铸件顺序凝固条件差，补缩性能不佳所导致的结果。由于铸件各部分的“凝固速度差”和补缩条件不佳，所以铸件上呈分散的、细小的缩孔——常称为缩松缺陷[2]。

铸件上产生缩松的缺陷可根据不同的铸件结构和特点，而导致不同的结果。厚大截面积的铸件，若顺序凝固条件不好，则会在铸件内部出现缩松的位置主要分布在铸件最后凝固的厚实部分，其缩松面积随铸件的厚实处面积而定。图 2 中的铸件分散缩松就是在缺欠良好的补缩条件下引起的，其解决办法就应该控制铸件各处的冷却强度，以达到自上而下的顺序凝固过程。

由于轮胎模具铸件要求铸造出花纹部分，石膏型本身保温性能良好，铸件始终遵循由外而内的凝固顺序，铸件截面积变化不一，很难实现同一剖面下的花纹同时凝固的状态。

3 低压铸造涂料概述

3.1 低压铸造涂料简介

低压铸造在浇注前，铸型表面可喷涂专用涂料，这使石膏型强度增强，改善石膏型传热不佳的特点，并对金属液浇注及铸件质量产生显著的影响。

3.2 低压铸造涂料组成

低压铸造涂料一般由耐火骨料、悬浮剂、粘结剂、载体以及添加剂等 5 部分构成，是一种多组份物相分散体系。根据其具体用途，有对应的涂料与之匹配[3]。

3.3 低压铸造涂料作用

低压铸造用涂料与一般铸造涂料不同，它只需涂覆石膏型上，可以充当一种铸型的作用，所以涂料在低压铸造中的作用归纳如下：①提高石膏型强度和刚度，起到保护型腔的作用；②充型时分隔开金属液与石膏型，提高石膏型的稳定性；③改善石膏型传热性能及发气量，减少铸件缩松缺陷；④减少铸件表面粗糙度，提高铸件表面精度。

本文使用的水基环保强冷涂料不同于传统的导热型激冷涂料，是一种反应吸热涂料，涂料成分在高温作用下相互作用发生吸热化学反应。涂料可吸收大量结晶潜热，促使金属液快速凝固，从而得到致密的组织；可广泛应用于铝合金铸件的局部冷却，解决铸件的缩孔、疏松缺陷，改善表面质量。

4 涂料喷涂工艺研究

强冷涂料与石膏型的结合方式影响到石膏型的尺寸精度，进而影响到铸件的精度。本文所使用的强冷涂料通常情况下是在所需激冷部位对应的砂芯、石膏型或低于 500 ℃的模具上刷涂，粘涂或者喷涂，最大的激冷深度可达 15 mm。轮胎模具铝合金铸件石膏型结构复杂，确定强冷涂料的喷涂工艺及最佳参数是发挥涂料作用的关键。

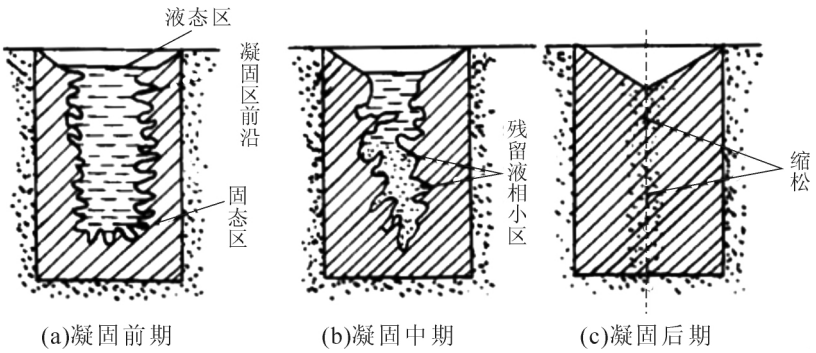


图 2 缩松形成机理图

Fig.2 Formation mechanism of shrinkage porosity

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4.1 涂料的组成

表 1 中列举了低压铸造涂料组成[4]，按照低压铸造用涂料的常见组成部分制定工艺配方，并根据铸造环境选择对应的原材料和强冷元素，从而达到激冷效果。

表1 低压铸造涂料组成
Tab.1 Coating composition of low pressure casting

涂料组成	配方材料	特点
耐火骨料	滑石粉	提高涂料流平性及金属液充型能力
悬浮剂	膨润土	涂料具有退让性，减少铸造应力
粘结剂	硅溶胶	吸附性高、粘结力强、耐高温
载体	水基涂料	涂覆性好、绿色环保
添加剂	OP-10	活性剂

4.2 涂料的制备工艺

制备涂料常用的方法有 4 种：搅拌法、球磨法、碾压法和胶体磨法。由表 2 中强冷涂料制备工艺[5]可知，由于其制备工艺的不同，最后获得涂料的性能也有所差异，因此选择合适的制备工艺对于涂料的设计和制备非常有必要。

表2 强冷涂料制备工艺
Tab.2 Preparation process of coating

制备工艺	特 点
搅拌法	制备涂料便捷、量大、机械磨损小
球磨法	工作环境密闭，溶剂的挥发量少
碾压法	涂层表面质量高，生产效率高
胶体法	机械化生产、周期短、效率高

本文采用搅拌法进行涂料制备，制备完成后进行 24 h 静置陈化处理，从而保证涂料的性能状态。

4.3 涂料喷涂方式

由于石膏型表面精度要求非常高，使用人工喷涂的效果不佳，结合表 3 中列举的强冷涂料常用涂覆工艺[6]，采用机械喷涂的方式，既能够保证石膏型精度，又能够保证涂料厚度均匀可控。通过机械喷涂后使用机械臂扫描仪检验精度，喷涂公差可控制在±0.005 mm。

石膏型焙烧后尺寸趋于稳定，如图 3 所示，应当在焙烧后降至一定温度后喷涂强冷涂料。传统烘干方式的缺点是短时运行不经济，占地面积大、干燥后砂芯表面温度高等，因此在缩短干燥时间、提高水基涂料层及铸型的强度等方面需要进一步进行研究[7]。

表3 强冷涂料常用涂覆工艺
Tab.3 The normal coating process

涂覆工艺	特 点
刷涂法	简单方便应用广，涂覆效率低，难自动化
浸涂法	生产效率高，易于实现自动化
喷涂法	涂层表面质量高，生产效率高
流涂法	生产效率高，涂层厚度不均

4.4 喷涂工艺参数制定

影响涂料附着力的因素主要有石膏模温度、涂料浓度、喷涂厚度[8]。涂层的厚度对其使用有重要影响，必要时可采取不同部位厚度不同的方式进行喷涂[9]。除喷涂厚度外，结合强冷涂料的性质及铝合金低压铸造对于石膏型的要求，确定将涂料厚度、烘干时间、石膏型温度作为重点参数控制，通过单一变量法确定表 4 的参数进行试验。

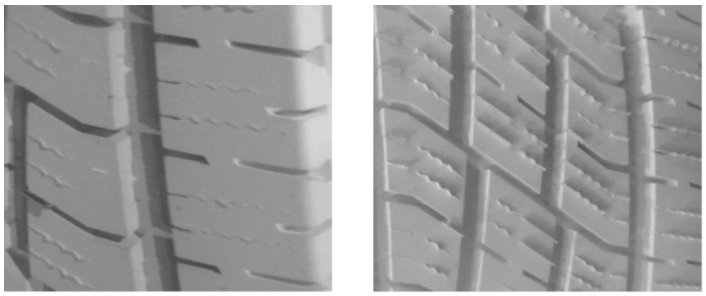
表4 强冷涂料喷涂工艺参数试验条件
Tab.4 Test conditions for spraying process parameters of coating

影响因素	涂料厚度 /mm	石膏型温度 /℃	烘干时间 /min
试验条件	0.3	140	3
	0.4	160	5
	0.5	180	10
	0.6	200	15
	0.7	220	20
	0.8	230	25
	0.9	240	30
	1.0	250	35
	1.2	270	40

通过多组对比实验得出，强冷涂料最佳喷涂工艺参数如表 5。

表5 强冷涂料喷涂工艺参数
Tab.5 Spraying process parameters of coating

参数项	涂料厚度 /mm	石膏型温度 /℃	烘干时间 /min	备注
数值	0.4~0.6	160～200	10	使用 N_2 防护



(a)喷涂前　　(b)喷涂后

图 3 喷涂强冷涂料前后石膏型表面
Fig.3 Plaster surface before and after spraying of coating

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

采用表 5 工艺参数获得如图 4 的铝合金轮胎模具成型表面质量较好，无缩松缺陷，满足使用要求。生产过程中对 1 480 付铸铝花纹块模具表面质量进行跟踪研究，此工艺参数获得的铝合金轮胎模具缩松比例下降 78%。

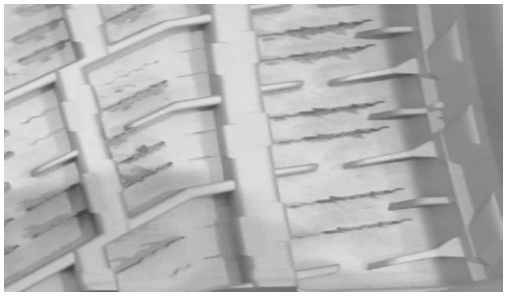


图 4 铝合金轮胎模具表面质量良好
Fig.4 High surface quality of aluminum alloy tire mold

5 结论

（1）制备强冷涂料能够满足低压铸造使用要求，生产过程简单，涂料性能良好。

（2）使用机械喷涂的方式对石膏型表面喷涂强冷涂料后表面精度符合使用要求，喷涂公差可控制在±0.005 mm。

（3）石膏型表面喷涂强冷涂料最佳参数为 0.4~0.6 mm 厚度，石膏型温度 160～200 ℃，烘干时间 10 min，采用此工艺参数获得的铝合金轮胎模具缩松比例下降 78%。

参考文献：

[1] 王振东. 低压铸造新工艺新技术与铸件缺陷防治及机械设备运行维护实用手册[M]. 北京:中国科技文化出版社，2009.

[2] 陈宗民. 铸造金属凝固原理[M]. 北京:北京大学出版社，2014.

[3] 李远才. 铸造涂料及应用[M]. 北京:机械工业出版社，2007.

[4] 陈宗民，姜学波，类成玲. 特种铸造与先进铸造技术[M]. 北京:化学工业出版社，2008.

[5] 郑徐雨. 铝合金新型低压铸造涂料研究[D]. 武汉:华中科技大学，2016.

[6] 安朝阳. 铸造涂料综述[J]. 涂层与防护, 2018, 39(5):48-49.

[7] 罗吉荣,黄乃瑜.铸造涂料的发展趋势与若干建议[J]. 铸造, 1999, 48(6):50-52.

[8] 王森，廖卫军. 低压铸造铝合金轮毂模具保温涂料附着力的改进[J]. 特种铸造及有色合金, 2017, 37(11):1215-1217.

[9] 李志强，刘春梅，娄振洋，等. 低压铸造铝合金轮毂用模具表面涂料的实验研究[J]. 装备制造技术, 2017(11):178-179.

2020 年《铸造技术》杂志征订启事

《铸造技术》杂志，月刊，1979 年创刊，中国铸造协会会刊，中文核心期刊，国内外公开发行，国内邮发代号：52-64，国外发行号：M855，中国标准刊号：ISSN1000-8365/CN61-1134/TG.

报道范围：报道国内外铸造领域的先进科技成果、应用技术、生产管理经验及信息和铸造设备，覆盖铸铁、铸钢和有色合金等铸造领域，包括砂型铸造、熔模铸造、金属型铸造、消失模铸造和压铸等特种铸造技术。

主要栏目：试验研究、工艺技术、生产技术、特种铸造、装备技术、实用成型技术、材料改性、材料开发、材料保护及表面工程、材料失效分析、应力控制与理化测试技术、今日铸造等。

发行对象：国内外铸造企业，科研院所，高等学校，铸造原辅材料厂商，设备、仪器厂商，铸件采购商等。

广告范围：刊登铸造原辅材料、铸造设备、熔炼设备、热处理设备、环保设备、检测仪器以及铸件生产、科研成果转让、企业形象宣传等相关广告。

订阅方式：请从当地邮局订阅，也可以直接从铸造技术杂志社订阅。全年 12 期，每期定价 25 元，平寄全年 300 元（含邮费），挂号全年 336 元，快递全年 420 元。

欢迎订阅、欢迎投稿、欢迎刊登广告

地址：陕西省西安市碑林区友谊西路 127 号西北工业大学凝固楼 301 室　　邮编：710048

联系人：李巧凤　029-83222071

电话/传真：029-82312140　　网址：www.zhuzaojishu.net　　E-mail：zzjs@263.net.cn

银行汇款：户　名：陕西铸造技术杂志社有限责任公司

账　号：3700 0235 0920 0091 309

开户行：中国工商银行西安市互助路支行

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net