

# 基于数值模拟的正时链盖压铸工艺研究

侯丽彬 姚金池 李晶

(大连科技学院机械工程学院,大连 116036)

**摘要** 介绍了汽车发动机正时链盖的结构特点及技术要求。针对其形状不规则、薄壁且有密封性能要求的特点,借助 AnyCasting 软件对横向单侧浇注系统、纵向双侧浇注系统和 U 形浇注系统 3 种方案进行 CAE 模拟数值分析。对分析结果进行综合评估,纵向 U 形浇注系统填充过程平稳,铸件温度场均衡,凝固顺序合理无产生缩孔的风险,是最适合生产正时链盖产品的浇注系统。经批量生产验证,铸件合格率在 96% 以上。

**关键词** 数值模拟;浇注系统;正时链盖;压铸

中图分类号 TG249.2;TP311

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.T20230412

## Die-casting Process of Timing Chain Case Based on Numerical Simulation

HOU Libin, YAO Jinchi, LI Jing

(School of Mechanical Engineering, Dalian University of Science and Technology, Dalian 116036)

**Abstract:** The structural features and technical requirements of timing chain case for automobile engine were introduced. In view of irregular shape, thin wall and sealing performance requirements, CAE simulation numerical analysis was carried out for three schemes of transverse single-side gating system, longitudinal double-side gating system and U-shaped gating system with the help of AnyCasting software. According to the comprehensive evaluation, the longitudinal U-shaped gating system is the most suitable gating system for timing chain case products due to the smooth filling process, balanced casting temperature field, reasonable solidification sequence and absence of shrinkage tendency. Through mass production verification, the qualified rate of castings reaches over 96%.

**Key Words:** Numerical Simulation, Gating System, Timing Chain Case, Die-casting

收稿日期:2023-11-21;修订日期:2024-02-12

基金项目:辽宁省新能源汽车轻量化铸件数字化设计及智能制造重点实验室资助项目(2022JH13/10200058);模具设计与压铸应用技术团队资助项目(KYTD202206)

第一作者简介:侯丽彬,女,1968年出生,高级工程师,E-mail:houlubin\_dalian@163.com

引用格式:侯丽彬,姚金池,李晶.基于数值模拟的正时链盖压铸工艺研究[J].特种铸造及有色合金,2025,45(1):140-144.

HOU L B, YAO J C, LI J. Die-casting process of timing chain case based on numerical simulation[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2025,45(1):140-144.

### 2.4 生产验证

盖板零件最终优化工艺 2 相比原工艺,铸件出品率由原来的约 65% 提高至约 90% 提升了约 40%,消除了石棉保温套的使用,并减少了冒口清理工作。

采用优化工艺 2 方案制作了金属型低压铸造模具,结合优化方案 2 最终模拟仿真参数指导了生产试制 40 件,铸件全部合格。

### 3 结论

(1) 低压铸造 GIS 盖板取消冒口的初始工艺模拟仿真,充型过程平稳,凝固过程中法兰与 4 处凸台相交位置存在明显缩孔缩松缺陷。

(2) 优化方案 1 采取铸出直孔与密封槽,并减少注胶槽位置加工余量,该工艺模拟仿真结果相比初始工艺,

铸件法兰热节明显减小,原先缺陷减小,但明显增多。

(3) 优化方案 2 将铁质镶块替换为铜质镶块,将铝液温度进一步提高至 720 °C,模拟仿真显示盖板铸件缺陷消除。

(4) 盖板零件生产采用优化工艺 2,相比采用原工艺,铸件出品率提高了约 40%,消除了石棉保温套的使用,并减少了冒口清理工作。

### 参 考 文 献

- [1] 杨欢庆,孙飞,王琳,等.铝合金叶轮铸造工艺优化设计[J].特种铸造及有色合金,2014,34(6):570-573.
- [2] 马广辉,李润霞,段林.铸造缺陷对 ZL101 合金断裂行为的影响[J].铸造,2018,67(2):162-166.
- [3] 李智运.基于 MAGMA 的铝合金阀体压铸缺陷分析及优化[J].特种铸造及有色合金,2014,34(11):1148-1150.
- [4] 孙义,赵玉刚,刘广新,等.基于 AnyCasting 的减速器下箱体铸造模拟及工艺优化[J].热加工工艺,2020,49(7):60-67.

(编辑:张正贺)

汽车发动机正时链盖采用铝合金高压铸造生产,安装在发动机侧面,是发动机正时齿轮及链条保护罩。汽车零部件轻量化一直是汽车零部件研发的方向和目标,因此铝合金高压铸造零件也趋向于形状复杂的薄壁件。由于正时链盖结构、形状的特殊性,同时产品的尺寸、性能、表面质量都有很高的要求,给铸造工艺带来很大的难度。因此在开发前期,借助AnyCasting软件对不同结构的浇注系统进行数值模拟分析,可以快速确定合理的工艺方案,降低模具开发的成本和时间的。

## 1 零件基本情况

图1为一款新研发的正时链盖3D图。从外形来看该零件呈羊角状,中间镂空区域较大,薄壁处设计有加强筋,周边有不规则的窄条密封面。铸件外形轮廓尺寸为590 mm×356 mm×46 mm,质量为2.135 kg,铸件中部一般壁厚为2 mm。铸件材质为ADC12合金,密封性能要求在100 kPa压力下,允许泄漏量最大为10 mL/min。由于正时链盖安装在发动机侧面,又是外观件,铸件不允许有流痕、冷隔等表面缺陷。

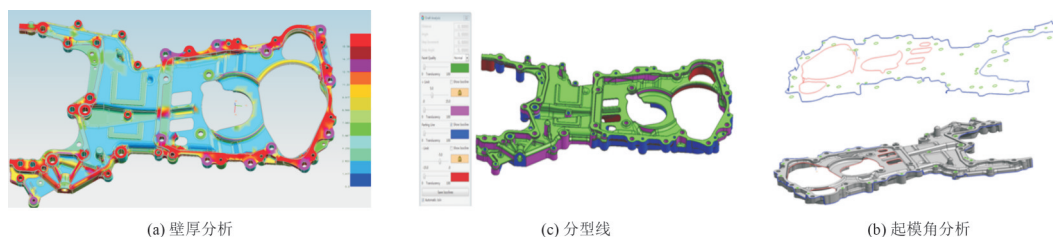


图1 正时链盖3D图  
Fig.1 3D diagram of timing chain case

## 2 压铸工艺设计

### 2.1 分型面及内浇口位置的确定

对正时链盖的壁厚和起模斜度进行分析,见图2。铸件中间壁厚为2 mm,边缘最大壁厚为21.9 mm;起模斜度 $\geq 1.5^\circ$ ,满足工艺要求。依据铸件起模角确定分型

线,主分型面选择在铸件最大轮廓处,为平面分型面,局部异形按分型线形状设计局部分型面,因铸件无侧向抽芯和凹陷,所以无需设置侧抽分型面。

内浇口的位置设计是浇注系统设计的关键,内浇口一般设计在分型面上铸件厚壁区域,有利于压射压力的传递,此正时链盖的内浇口可以布置在外边缘的厚壁处。为防止内浇口冲击型芯,铸件适合采用多股分支浇道分区域充填<sup>[1]</sup>。

### 2.2 压铸工艺

铸件投影面积为980 cm<sup>2</sup>,浇注系统投影面积取铸件投影面积的30%,总投影面积约1 274 cm<sup>2</sup>。由于铸件属于薄壁密封件,压射比压选择100 MPa,安全系数取1.2,经计算选择16 000 kN压铸机。

依据铸件壁厚和结构特点,内浇口填充速度选择50 m/s,填充时间选择0.03 s,经计算内浇口的截面积为658 mm<sup>2</sup>。压室直径选择 $\phi 105$  mm,经计算压射冲头

快压射速度为3.8 m/s。

### 2.3 浇注系统方案

卧式冷室压铸机常用的浇注系统形式见图3。横向浇注系统浇注过程平稳可控,适用于多数零件。纵向浇注系统适用于零件结构复杂或特殊零件,尤其是图3c和图3d两种结构,因其浇道的结构形式导致内浇口高度不一致,初始的铸造工艺的调整过程复杂,因此在方案确定前需进行数值模拟以确定其工艺的可行性。

正时链盖因其结构的特殊性和复杂性,在设计阶段初选图3a和图3c两种浇注系统方案,见图4。横向浇道从正时链盖一侧进入,另外3侧开集渣包和排气道;纵向浇道布置是将零件不规则的“羊角”形向上,浇道从铸件双侧进行填充,填充末端上下两侧设置集渣包。利用AnyCasting软件对其填充、排气、凝固、温度等过程进行分析,确定最优的工艺方案。

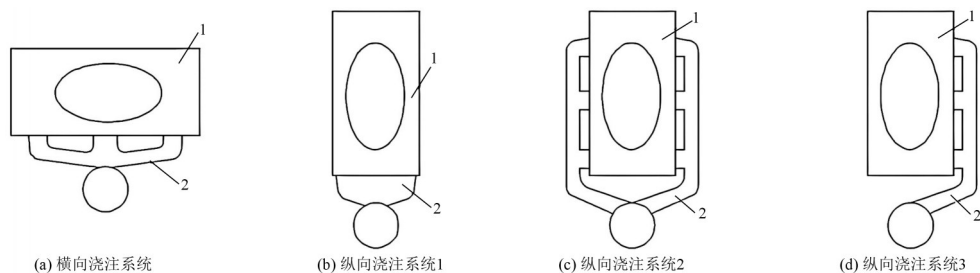
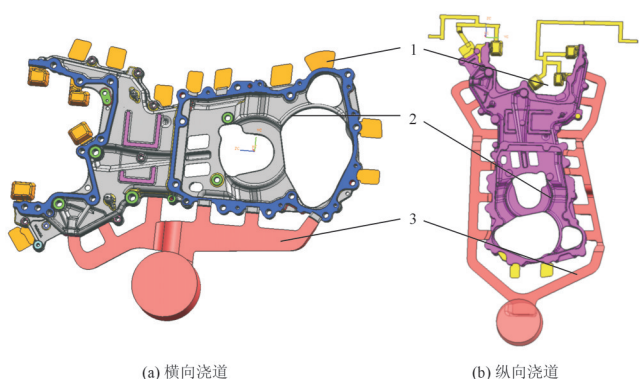


图3 卧式压铸件常用浇注系统结构

Fig.3 Common gating system structure of horizontal die casting

1. 铸件 2. 浇道



(a) 横向浇道 (b) 纵向浇道

图4 含浇注系统正时链盖结构图

Fig.4 Structure diagram of timing chain case gating system

1. 浇道 2. 铸件 3. 集渣包

### 3 数值模拟的前处理

#### 3.1 网格划分

使用AnyCasting软件进行模流分析前,需将原3D文件中的建模实体输出STL格式导入模拟软件中,然后进行可变网格的划分。划分网格时,确保X、Y、Z

个方向上零件每一个截面至少有3层网格,包括内浇口和溢流槽,划分有足够的网格才能保证模拟计算的准确性。正时链盖自动划分网格最小尺寸设定为1,最大尺寸比率设定为2;自动过渡光滑因子为1.1,最大尺寸比率设置为3。横向浇道共划分网格567万个,纵向浇道划分网格482万个。

#### 3.2 压铸条件设定

正时链盖材质选择ADC12合金,液相线温度为595℃,固相线温度为540℃,设置浇注温度为645℃,凝固收缩体积变化为7.14%;与铝合金接触的压铸型按设计要求选用进口热作模具钢W350。铸件带浇注系统总质量为4.77 kg,料缸直径为 $\phi 105$  mm,长度为780 mm,压射冲头一级压射速度为0.15 m/s,二级快压射速度为3.8 m/s。

### 4 横向浇注系统的数值模拟结果分析

正时链盖按图4a横向单侧浇注系统进行模拟分析,结果见图5。可以看出:①填充过程较平稳,在填充

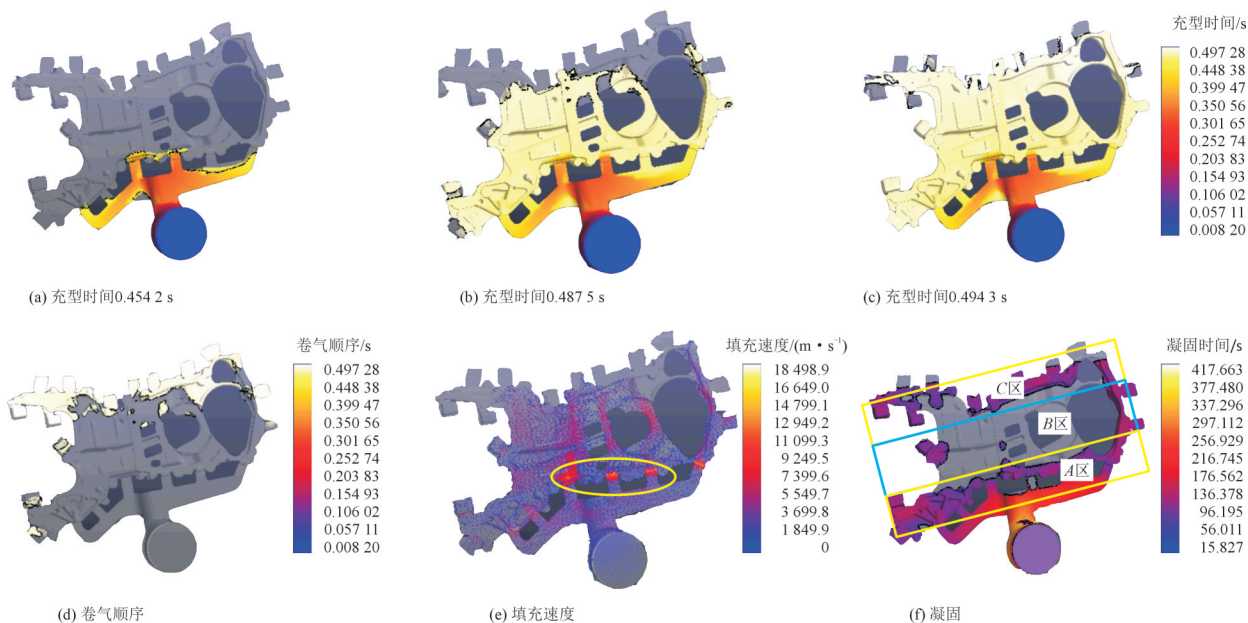


图5 横向单侧填充数值模拟

Fig.5 Numerical simulation of transverse single-side filling

时间为0.454 2 s开始进行高速切换,0.497 2 s时充型结束,铸件充型时间为0.043 0 s。由于中间区域B壁厚薄,并且有许多空洞阻碍铝液填充,同时增压压力难以通过B区传递到壁厚较大的C区,会造成远离浇道的区域C产生冷隔、填充不良等铸造缺陷。②对填充过程卷气分析,铸件型腔内无明显的紊流和卷气,填充末端卷气部位合理布置溢流和排气槽,能够辅助末端气体的排出。③充型过程中内浇口的速度不稳定,见图5c,中间部位内浇口某定时瞬间速度大于80 m/s,会出现喷射流造成C区的填充不良,同时对模具冲刷严重,影响铸件品质和模具寿命。④凝固过程中由于铸件壁厚不均,中间壁厚薄(壁厚为2 mm),B区最先凝固,C区壁厚较厚(局部壁厚为21.9 mm)且远离浇道,最后凝固,形成部分孤立液相区,会造成C区产生缩孔。

根据对正时链盖横向浇注系统数值模拟的分析,该浇注系统在填充和凝固过程中会产生铸造缺陷的风险很大,而且会降低模具使用寿命,此浇注系统不适合正时链盖的压铸。

### 5 纵向浇注系统的数值模拟结果分析

正时链盖按图4纵向双侧填充浇注系统进行模拟分析,结果见图6。可以看出,①填充过程实现铸件循序填充,在填充0.447 9 s开始进行高速切换,0.477 6 s充型结束,铸件充型时间为0.029 7 s,能够实现薄壁铸件的快速填充;同时采用双向填充,内浇口从两侧面厚壁处进入型腔,有利于压射压力的传递<sup>[2]</sup>。②对填充过程卷气分析,下侧的分支浇道对应铸件内部空腔,金属液进入型腔后冲击型腔壁,造成局部的紊流和卷气,见图6d;填充末端上侧卷气部位合理布置溢流和排气槽,能够辅助末端气体的排出;下侧卷气部位无法设置排气道。③充型过程中内浇口的速度较稳定,瞬间速度小于60 m/s,适合于铝合金薄壁件的填充。④凝固过程中间薄壁区先凝固,两侧厚壁区后凝固,在凝固过程中两侧厚壁处通过内浇口增压补缩,不存在孤立的液相区域,没有产生缩孔的风险。

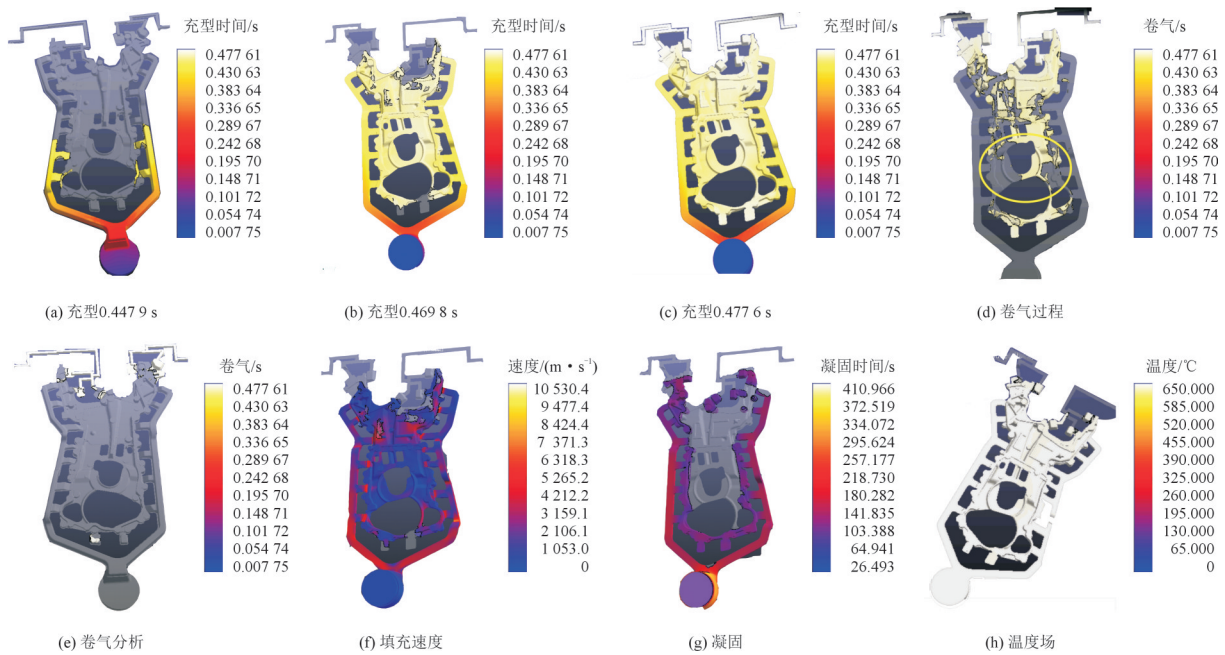


图6 纵向双侧填充数值模拟

Fig.6 Numerical simulation of longitudinal double-side filling

根据对正时链盖纵向浇注系统数值模拟的分析,该浇注系统适合此铸件,但卷气过程分析存在问题,填充过程型腔中间有涡流卷气,同时下侧卷气部位也无法开设排气道,铸件内部会产生气孔缺陷,严重时会影响铸件的密封性。进一步对纵向双侧浇注系统进行优化,见图7。将下侧金属液汇流处的集渣包变更为分支浇道,加快该区域的充型速度,使整个充型过程更加平稳、顺畅<sup>[3-5]</sup>。根据金属液的流向和卷气位置,在中心通孔处增加两处集渣包,改善卷气状态。

优化后的浇注系统呈“U”形状态填充,数值模拟见图7,可见充型过程平稳、顺序填充,排气顺畅;增加的两处溢流槽在填充过程中起到了辅助排气的作用。凝固分析不存在孤立的液相区域,没有产生缩孔风险。通过温度场分析,铸件温度场均衡,能够大大降低铸件温度降低过程中产生缩孔和变形的风险。根据以上模拟分析的结果,纵向U形浇注系统方案适合该正时链盖零件的压铸。

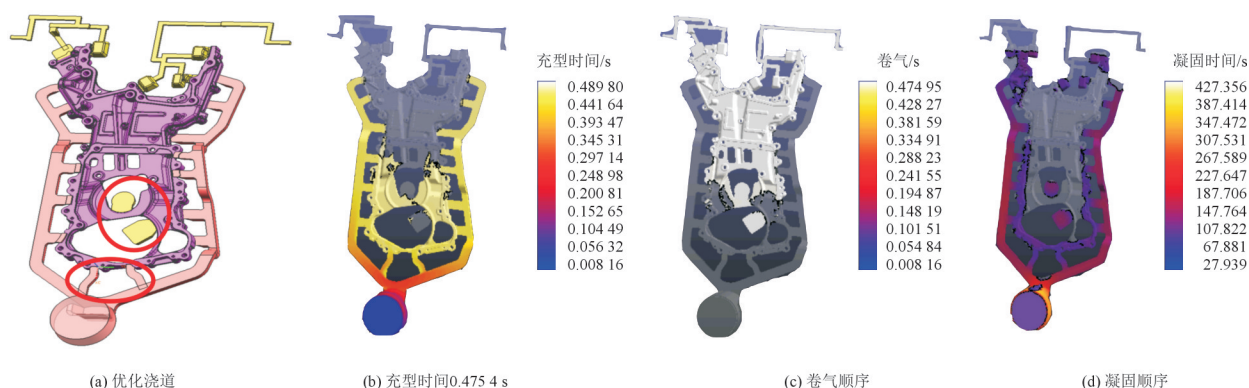


图7 纵向U形填充数值模拟

Fig.7 Numerical simulation of longitudinal U-shaped filling

## 6 生产验证

根据对正时链盖纵向浇注系统数值模拟分析的结果,采用纵向U形浇注系统进行了新产品的模具开发和试制,使用16 000 kN压铸机,采用数值模拟优化的压铸参数:铸造压力为100 MPa,慢压射速度为0.15 m/s,快压射速度为3.8 m/s,铸件外观无明显的流痕、冷隔等铸造缺陷。清理后的正时链盖零件如图8所示,对其进行X光探伤和密封测试,产品质量优良,OTS样件一次通过。现已进入大批量生产,产品合格率在96%以上,质量高于同类产品。

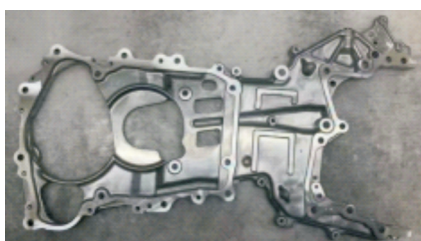


图8 正时链盖零件

Fig.8 Timing chain case part

## 7 结 语

根据正时链盖的结构特点,应用数值模拟优化了浇注系统,最终确定纵向U形浇注系统适合正时链盖这种异形中间镂空的薄壁板类铸件。基于数值模拟的正时链盖压铸工艺研究,降低了模具开发的成本和时间。

### 参 考 文 献

- [1] 杜磊,谢晓亮. 铝合金正时罩盖压铸模浇注系统优化设计[J]. 模具制造, 2019(2): 61-64.
- [2] 江昌勇. 压铸成型工艺与模具设计[M]. 北京: 北京大学出版社, 2019.
- [3] 刘红娟, 刘海. 汽车发动机铝合金前盖的压铸工艺优化[J]. 特种铸

造及有色合金, 2019, 39(12): 1 305-1 307.

- [4] 黄美莲, 罗柏奎. 基于数值模拟的发动机前盖压铸模开发[J]. 特种铸造及有色合金, 2018, 38(11): 1 222-1 224.
- [5] 朱洪军. 基于AnyCasting缸盖罩盖压铸工艺研究[J]. 铸造, 2021, 70(2): 248-252.

(编辑: 张正贺)

## 《特种铸造及有色合金》征稿启事

《特种铸造及有色合金》杂志是中国科学技术协会主管、中国机械工程学会铸造分会和武汉机械工艺研究所共同主办的全国性科技期刊,是对国内外公开发行的中文核心期刊,中国科技论文统计与分析用刊,INSPEC、CA、MA、AJ、JST、Scopus等国内外权威数据库及检索系统收录期刊,并获得全国优秀科技期刊一等奖、国家期刊奖、新中国60年有影响力的期刊、湖北省十大有影响力的自然科学期刊等。

本刊面向国内外广大科技工作者征稿,征稿内容包括:各种(黑色和有色合金)特种铸造方法、各种有色合金及复合材料的成形理论、工艺、设备、材料、测试与控制、计算机应用等方面的科技成果、生产技术和现场经验,此外还包括各相关学科和交叉学科,如挤压铸造(液态模锻)、半固态加工、新能源材料、电子封装、高熵合金、非晶合金(金属玻璃)、焊合、粉末冶金、合金化、热处理、表面处理等方面的学术和技术研究成果等。

特种铸造及有色合金杂志社(武汉)有限公司

地址:武汉市江汉区唐家墩路32号国创大厦A座21楼

邮编:430013

电话:027-85358206, 85486024,

85358127

投稿网址:www.special-cast.com

邮箱:tzzz@special-cast.com

