

薄壁镁合金基座铸造工艺研究

郝 旸 董方涛 董海阔 张 强 张开望 王少刚
(西安航天时代精密机电有限公司)

摘 要 基于重力铸造,以充型难度大、易产生多种铸造缺陷的 ZM5 镁合金基座为对象,通过 CAE 模拟和浇注试验,研究了其铸造工艺。结果表明,针对壁厚为 5 mm 的镁合金铸件,采用充型时间约 5.7 s 的中注式浇注方案,浇注温度设为 740 ℃,能够有效避免基座铸件型壁上的夹渣和浇不足。在直浇道中增加多层过滤网,可进一步提高浇注系统的挡渣能力,成功获得符合要求的基座铸件。

关键词 ZM5 镁合金;铸造工艺;重力铸造;仿真模拟

中图分类号 TG146.22;TG249.1 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.02.024 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



Casting Technology of Thin-wall Magnesium Alloy Base

Xi Yang, Dong Fangtao, Dong Haikuo, Zhang Qiang, Zhang Kaiwang, Wang Shaogang
(Xi'an Aerospace Times Precision Electromechanical Co., Ltd.)

Abstract: Based on gravity casting, the casting process of thin-walled magnesium alloy base, which is difficult to fill and easy to various internal casting defects, was analyzed by CAE simulation and pouring testing. The results reveal that for magnesium alloy castings with thickness of 5 mm, slag inclusion and misrun defects on the base wall can be effectively eliminated with pouring at 740 ℃ for 5.7 s by paning-line gating system. The slag retaining capacity of the gating system can be further improved by adding filters in the sprues, and the castings that meet the product standard could be produced successfully.

Key Words: ZM5 Magnesium Alloy, Casting Process, Gravity Casting, Simulation

镁合金由于密度低、比强度高等特点,在航空航天、汽车制造领域得到广泛应用^[1-5],其中,Mg-Al 合金以其低廉的价格和优异的综合性能,受到重视^[6]。但镁合金化学性质活泼,液态流动性差,铸件中容易产生多种铸造缺陷^[7-9]。本研究以一种航天产品上应用的薄壁镁合金基座为研究对象,采用 ZM5 镁合金重力铸造,通过设计不同的浇注方案,分别进行铸造过程数值模拟并实际浇注铸件,分析总结不同方案的优缺点并改进工艺设计,最终浇注出合格的基座铸件,旨在为类似产品生产提供参考。

壁容易导致浇不足、冷隔缺陷。另外,铸件 4 个凸耳的厚度为 26 mm,和基体壁厚相差较大,易出现缩孔、疏松等缺陷。

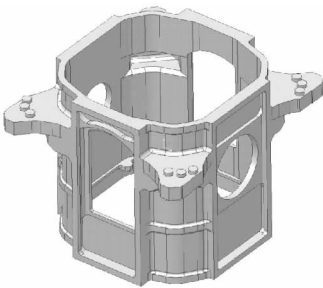


图 1 基座铸件结构图

Fig.1 Structure diagram of the base casting

1 结构分析和技术要求

1.1 铸件结构及工艺特点

基座铸件的结构见图 1,其为四面镂空的套筒状结构,轮廓尺寸为 330 mm×300 mm×250 mm,镁合金液进入型腔后,充型过程中极易产生卷气和氧化现象,从而导致铸件内部气孔和氧化夹渣。铸件壁厚为 5 mm,镁合金液的流动性不佳、充型能力较差,较薄的型

1.2 铸件技术要求

铸件材质为 ZM5(ZMgAl8Zn)镁合金,其化学成分(质量分数):0.2%~0.8%的 Zn、0.15%~0.5%的 Mn、7.5%~9.0%的 Al,余量为 Mg。采用 T6 处理,铸件应满足 QJ168-1985 的Ⅱ类铸件标准,尺寸满足 GB/T6414-1999 的 CT9 精度。铸件不允许有冷隔、裂纹、

收稿日期:2022-03-12;修改稿收到日期:2022-04-25
第一作者简介:郝旸,男,1990 年出生,工程师,西安(710061),E-mail: kocimo@163.com
引用格式:郝旸,董方涛,董海阔,等. 薄壁镁合金基座铸造工艺研究[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(2):263-267.
XI Y, DONG F T, DONG H K, et al. Casting technology of thin wall magnesium alloy base[J]. Special Casting &. Nonferrous Alloys, 2023, 43(2):263-267.

浇不足、缩孔等缺陷,并且 4 个凸耳和 2 个圆形轴端附近不允许补焊。经过热处理后铸件的力学性能能满足:抗拉强度 ≥ 225 MPa,伸长率 $\geq 2\%$ 。

2 工艺分析与方案设计

2.1 模型工艺设计

基座铸件毛坯质量约为 3.8 kg,由于其型壁上存在多个镂空孔、槽结构,且 4 个凸耳内部有中空结构,综合分析后选择采用组芯造型,使用碱性酚醛树脂砂造型。

芯盒设计见图 2,基座模型由 8 个脱落式芯盒组成。1 号为底部砂芯,承载整个砂型并保证首先进入的金属液不会过早失温;2 号为中心砂芯;3~6 号砂芯为外形,吃砂量一般选择 30 mm;7 号砂芯为过渡层,主要作用是将 8 号砂芯中的横浇道与基座本体腔分隔开。模型设计时,在各个芯盒中均设置了造型定位装置,以提高组芯造型的生产效率,并保证造型尺寸精度。

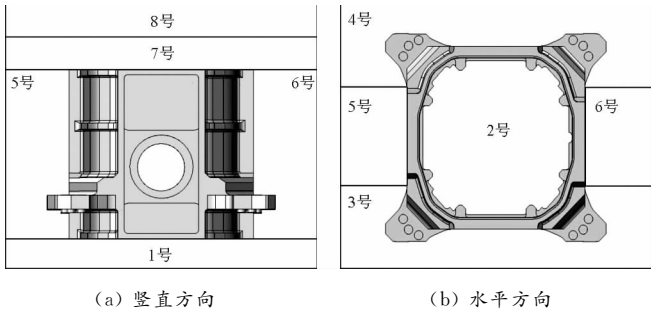


图 2 基座分型设计示意图

Fig.2 Schematic of assembled model of the base

2.2 铸件收缩率及加工余量

基座铸件的周壁厚均为 5 mm,内腔和弧形外形均为非加工面,因此,所设置的加工余量不宜过大,以防止壁厚增加带来的缩松风险,所以加工余量选择 3 mm;基座顶端面加工余量设为 5 mm,以在型腔顶端未设置冒口的情况下,使金属液内部的夹渣上浮至该加工余量范围内,从而不影响基座本体品质。树脂砂的收缩率选择为 0.6%,为减小浇注后铸件向内收缩的阻力,在造型时 2 号砂芯采用壁厚为 30 mm 的管状砂芯。

2.3 缝隙式浇注工艺设计

因铸件壁厚较薄,因此在浇注系统设计时,优先选择缝隙式浇注系统,其具有充型能力强、充型速率平稳、避渣效果好等特点。图 3 为基座铸件的缝隙式浇注系统。镁合金液从铸型顶部进入,经过横浇道被分别引导至两侧直浇道内,随后金属液经过先下沉再上浮的横浇道,镁合金液中的熔渣一般较轻,多浮于金属液上部,这样设计横浇道可以将熔渣汇集于二级横浇道内。此外,圆柱体集渣棒内也可收集大部分熔渣,以保证流入型腔

金属液的纯净度。缝隙内浇道的宽度选择与金属液进入处的壁厚相近或相同,避免其过窄造成缩松。

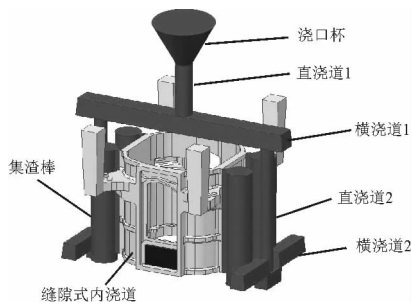


图 3 基座缝隙式浇注系统示意图

Fig.3 Schematic diagram of slot gating system for base

凸耳处与型壁处壁厚相差较大,因此在 4 个凸耳的侧面设置了冒口,不仅可以保证凸耳充型完整,为凸耳提供补缩,还能够使凸耳内残留的气体和熔渣等上浮至冒口内,改善铸件内部品质。在侧面窗口内的厚实处设置了冷铁,增加铸件顺序凝固趋势。

2.4 中注式浇注方案设计

在铸型中间某一部位开设内浇道的方式称为中注式浇注系统,其同时具有顶注式和底注式的特点。对于铸件的下半部分,该浇注系统为顶注式,拥有顶注式充型能力强的优点,并且冷却顺序有利于顺序凝固;对于铸件的上半部分,该浇注系统为底注式,可保证铸件平稳充型,而且具有挡渣功能。

图 4 为基座铸件中注式浇注系统设计图。为保证浇注系统的充型能力,横浇道和直浇道的设计尺寸较大,并且使用了较大的浇口杯,在浇注过程中作为封闭式浇注系统具有较好的挡渣能力。该浇注系统的直浇道和内浇道尺寸较大,内浇道与凸耳接触,直浇道同时起到冒口的作用。横浇道和直浇道等没有选择阶梯式横浇道等避渣效果较好的形式,防止模型拆分设计过于复杂。相应的,在直浇道内沿金属液流动方向放置卷曲的过滤网作为补充避渣措施。在铸件顶端均布出气孔,防止在顶端位置出现侵入性气孔、冷隔或浇不足等现象。

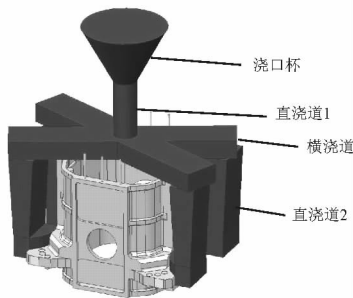


图 4 基座中注式浇注系统示意图

Fig.4 Schematic diagram of paning-line gating system for base

3 数值模拟与分析

ZM5 镁合金的液相线温度为 601 ℃,固相线温度为 420 ℃,合金密度为 1.81 g/cm³。造型材料选用树脂自硬砂,铸造原砂为 70~140 目石英砂,使用 HA 碱性酚醛树脂及固化剂,测得砂型密度为 1.49 g/cm³。采用浇注法^[10]测量了型砂的热物性参数,得到型砂比热容和热导率分别为 1 013 J/(kg·K) 和 0.795 W/(m·K)。铸件/砂型界面传热系数通过数值反算法求得,为 108.86 W/(m²·K)。

使用华铸 CAE 软件对缝隙式浇注方案的充型过

程进行数值模拟,模拟过程见图 5。可以看出,浇注开始时,高温镁合金液从顶部进入直浇道、顶部横浇道,浇注时间约为 4 s 时,在底部避渣横浇道内准备进入基座型腔,约 6 s 时底部填充完毕,约 8 s 时设置冷铁处的铸件温度最低,其余部分仍保持较高温度,约 12 s 时基座型腔基本充型完毕,此时铸件显现出明显的温度梯度,欠铸缺陷可能因此产生。

对基座中注式浇注方案的充型过程模拟结果见图 6。可以看出,横浇道和直浇道中的镁合金液流量较大,浇注 3.6 s 后进入基座型腔,此时金属液保持较高温度,镁合金液在型腔内的上升速度相对较快,但充型过程液

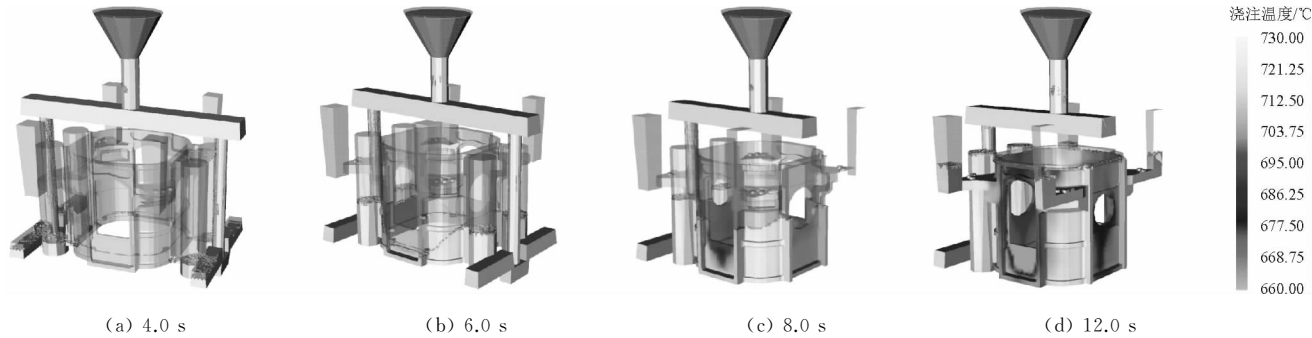


图 5 缝隙式浇注方案充型过程温度场模拟

Fig.5 Simulation of temperature field in filling process of slot casting scheme

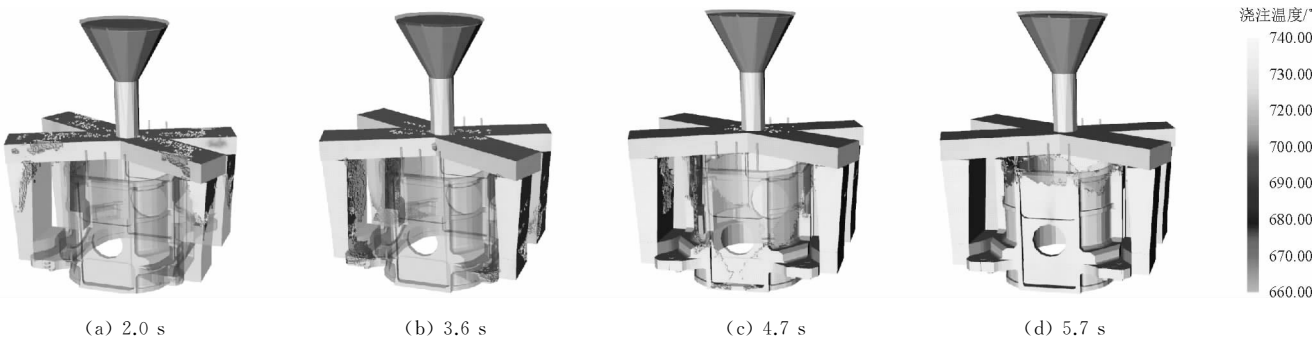


图 6 中注式浇注方案充型过程温度场模拟

Fig.6 Simulation of temperature field in filling process of paning-line gating system

面不如缝隙式浇注方案平稳。经过约 5.7 s 后基座基本充型完成,此时铸件未呈现出明显的温度梯度,有利于基体内杂质和气体的运动,充型能力较好。

对比基座铸件不同浇注方案的充型过程模拟结果,发现缝隙式浇注方案充型完成铸件本体的时间约为 12 s,充型至顶部时,铸件不同区域的温度梯度较为明显,铸件的薄壁结构对该浇注方案下镁合金液的充型能力影响较大,容易出现浇不足缺陷。而中注式浇注方案铸件本体的充型时间约为 5.7 s,铸件在较高温度下已完成充型,使熔体内的杂质和气体可顺利上浮至铸件顶部,能够有效减少内部品质缺陷和浇不足类缺陷。

4 浇注验证与改进

4.1 缝隙式浇注方案验证

采用缝隙式工艺设计方案进行了浇注试验,浇注温度为 730 ℃,部分试验铸件的上半部分存在浇不足,见图 7。从图 7a 和图 7b 可以观察到,浇不足处的内壁较为光滑,位置在靠近顶部法兰处,且位于缝隙内浇道附近。经过分析,认为是金属液通过较为复杂的缝隙式浇注系统进入型腔的过程中失温较为严重,进入型腔后,整体较薄的壁厚进一步加快了金属液的冷却,降低了镁合金金属液的充型能力,从而导致了缺陷的产生。

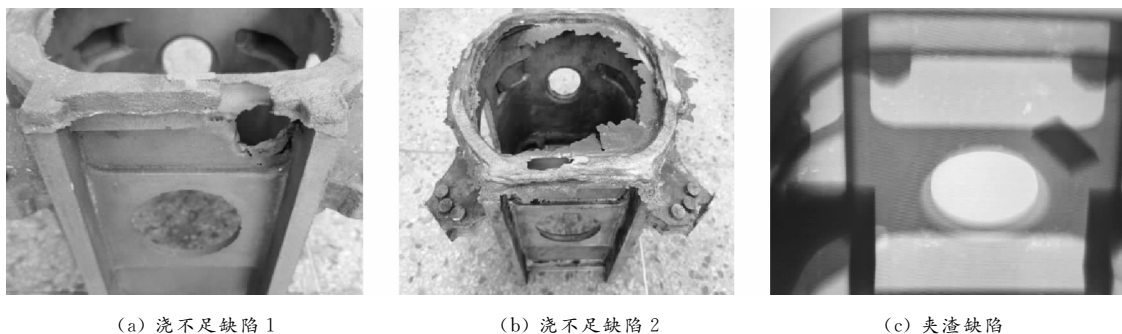


图 7 缝隙式浇注方案的铸造缺陷

Fig.7 Casting defects of slot casting scheme

对基座铸件进行 X 射线内部品质检查发现,在基座一周的薄壁上存在着不同程度的夹渣现象,见图 7c,这同样是金属液冷却过快导致,浇注和凝固过程中较低的合金温度使得镁合金熔体内的熔渣无法及时排出。

4.2 中注式浇注方案验证

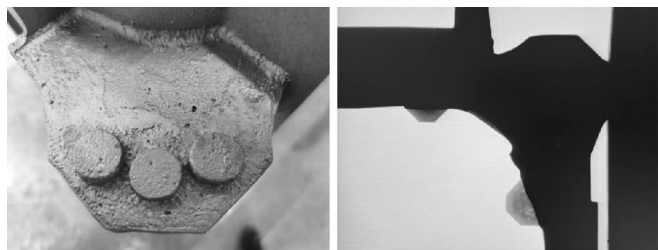
使用中注式工艺浇注后的铸件见图 8,浇注温度为 740 ℃。采用该浇注方案的铸件经过外观检验,没有浇不足、冷隔、缩松和表面气孔等缺陷,在浇注系统布局较为简化的条件下,镁合金熔体进入型腔时的温度较高,合金的充型能力也有所提升,在铸件顶部增加工艺补贴量和出气孔后,避免了上部气孔和夹渣缺陷。



图 8 中注式浇注的基座铸件

Fig.8 Base castings poured by paning-line gating system

对基座铸件的凸耳处进行观察发现,在凸耳表面存在一定程度的夹砂缺陷。经 X 射线内部品质检验,发现铸件内腔的凸台存在夹渣缺陷,将铸件表面孔洞内的残留物质取出后分析,判断为过烧的型砂颗粒,见图 9。中注式浇注系统横浇道和直浇道的横截面积较大,尺寸约为 70 mm×35 mm,凸耳附近是中注式内浇道所在处,结合镁合金熔体充型流动场进行分析,合金液经过约 500 mm 的高度落差进入型腔时,液流温度仍较高,且对型壁速度和型壁冲力较大,金属液将部分型砂冲刷落后对散落的砂粒产生过烧作用,这些砂粒和部分熔渣在凸耳和易产生涡流的凸台处聚集,产生了上述缺陷。



(a) 表面夹砂缺陷 (b) 内部夹渣缺陷

图 9 中注式浇注方案的铸造缺陷

Fig.9 Casting defects of paning-line gating system

4.3 铸造工艺改进与验证

对两种铸造工艺最终选择了充型效果更好的中注式浇注方案,浇注温度设置为 740 ℃。为避免金属液进入型腔时的冲击力过大而造成内部缺陷,在镁合金熔体进入内浇道前的直浇道内设置多层过滤网,不仅可以增强浇道的挡渣能力,也可以适当降低液流速度,更好地发挥直浇道的冒口作用。

按照改进后的铸造方案浇注,成形后的铸件表面无严重缺陷,内部品质符合标准,铸件尺寸符合图纸要求,化学成分和力学性能测试结果符合要求,铸件满足 QJ168-1985 镁合金铸件的标准要求。

5 结 论

(1)缝隙式浇注方案浇注 ZM5 镁合金基座,浇注温度为 730 ℃,浇注时间约为 12 s,浇注速度较慢,铸件温度梯度较大,铸件易形成浇不足和夹渣缺陷。

(2)采用中注式浇注方案浇注 ZM5 镁合金基座时,浇注温度为 740 ℃,浇注时间约为 5.7 s,镁合金液流速较快,冲力较大,充型能力较强,在浇道内增加过滤网后,可铸造出外观、内部品质、化学成分、力学性能均符合标准的铸件。

参 考 文 献

[1] 潘龙,余国康,邹文兵,等.镁合金筒形件低压铸造工艺研究[J].特种铸造及有色合金,2021,41(4):512-517.

新型压铸用高强 Al-Si-Mg-Cu 合金的组织及力学性能

李云翔 夏 凯 方诗杰
(湖北航特装备制造股份有限公司)

摘 要 设计、开发出一种新型压铸用 Al-Si-Mg-Cu 合金,并对其压铸件进行了自然时效和在不同温度下人工时效。通过力学性能测试和金相观察,分析了合金元素及时效处理对合金性能的影响。结果表明,提高铝合金中的镁含量和增加一定量的 Cu、Zn、Ti 等元素,并通过 Sr 变质和时效处理后,合金的抗拉强度和伸长率均提高明显。进行成分优化后合金的铸态抗拉强度超过 310 MPa,伸长率可达 5.9%。成分一定时,人工时效对合金的抗拉强度及伸长率均有提升,当时效温度在 140~170 ℃内升高时,合金抗拉强度及伸长率均呈下降趋势;在 140 ℃时效 8 h 后,铝合金具有较好的综合力学性能,平均抗拉强度可达到 377.08 MPa,伸长率平均可达 3.42%。

关键词 压铸;Al-Si-Mg;化学成分;微观组织;力学性能

中图分类号 TG146.21;TG249.2

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.02.025

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Microstructure and Mechanical Properties of Die Casting High Strength Al-Si-Mg-Cu Alloy
Li Yunxiang, Xia Kai, Fang Shijie
(Hubei Hangte Equipment Manufacturing Co., Ltd.)

Abstract: A novel die casting Al-Si-Mg-Cu alloy was designed, which was natural-aged and artificial aged at different temperature. Based on the tensile testing and microstructure observation, effects of alloying element and aging treatment on the properties of the alloy prepared were investigated. The results reveal that with increasing in Mg content and adding Cu, Zn and Ti alloying element, as well as Sr modification treatment and aging treatment, the tensile strength and elongation of the alloy are improved greatly. After composition optimization, as-cast tensile strength and elongation of the alloy reach up to 310 MPa and 5.9%, respectively. At a given constituent, the tensile strength and elongation of the alloy are increased slightly, however with increasing in aging temperature at 140~170 ℃, tensile strength and elongation of the alloy are decreased. With aging at 140 ℃ for 8 h, the alloy presents the satisfied comprehensive mechanical properties, where the tensile strength and elongation are 377.08 MPa and 3.42%, respectively.

Key Words: Die Casting, Al-Si-Mg Alloy, Microstructure, Mechanical Properties

近年来,由于压铸技术的发展及汽车轻量化的要求不断提高,基于效率、成本、精度、质量及力学性能的综合考虑,越来越多的汽车零部件采用铝合金压铸成形,如汽车发动机缸体、凸轮轴支架、轮毂、变速箱壳体等^[1-2]。随着压铸工艺的不断发展,对具有优良综合性能的压铸合金需求量越来越大。Al-Si 二元共晶合金,

收稿日期:2022-05-26;**修改稿收到日期:**2022-06-17
第一作者简介:李云翔,男,1973 年出生,高级工程师,湖北荆门(448000),E-mail: liyunxianghz@126.com
引用格式:李云翔,夏凯,方诗杰. 新型压铸用高强 Al-Si-Mg-Cu 合金的组织及力学性能[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(2):267-271.
LI Y X, XIA K, FANG S J. Microstructure and mechanical properties of die casting high strength Al-Si-Mg-Cu alloy[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(2):267-271.

[2] 赵正任,贾征,王彤,等.氩气处理对 AZ91 镁合金高温力学性能的影响[J].特种铸造及有色合金,2020,40(4):445-448.

[3] 付彭怀,丁浩源,李德江,等.镁合金副车架压铸过程计算机仿真与工艺优化[J].特种铸造及有色合金,2021,41(2):231-235.

[4] 孙浩,周改超,崔恩强,等.镁合金横梁铸件铸造工艺设计与数值仿真分析[J].航天制造技术,2017,12(6):26-30.

[5] 彭勇,王顺成,郑开宏,等.高性能镁合金铸造技术研究进展[J].铸造技术,2013,34(2):203-204.

[6] 左铁镭.21 世纪的轻质结构材料-镁及镁合金发展[J].新材料产业,2007(12):22-25.

[7] 李新雷,郝启堂,介万奇.镁合金低压铸造专用混合保护气体系统[J].铸造,2011,60(3):268-270,275.

[8] 陈思涛.基于数值模拟的镁合金普通压铸和真空铸件性能分析[J].特种铸造及有色合金,2020,40(6):636-638.

[9] 崔恩强,刘颖卓,孙浩,等.大型耐热镁合金壳体低压铸造工艺模拟[J].特种铸造及有色合金,2020,40(10):1 103-1 106.

[10] 闫新飞,李少雨,马文治,等.砂型铸造用砂型热物性参数的研究[J].铸造,2015,64(11):1 113-1 115.

(编辑:张正贺)