

数字化智能化铝合金低压金属型绿色铸造系统

徐贵宝

(中车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司, 江苏常州 213011)

摘要: 阐述了绿色智能铸造的概念。针对复杂中小型铸铝产品——高铁齿轮箱, 设计了一条数字化、智能化、模块化、柔性化、信息化的金属型低压铸造生产线, 主要由精炼除气站、坩埚炉转运线、砂芯表干及输送线和低压浇注系统组成, 整个过程由控制中心管理和监控。系统采用金属型替代砂型, 选用节能型连续熔化炉, 布置了完善的除尘系统和VOC处理系统, 符合节能、环保、高效、持续发展的理念。工厂拥有铝合金技术和技能专家团队, 具备3D打印、产品建模以及低压铸造数值模拟的能力, 并建立了精益生产管理示范线, 这将很大程度地稳定生产过程, 确保产品质量, 满足高端铸件的需求。

关键词: 智能化; 低压金属型; 铝合金; 绿色铸造; 生产线

习近平总书记指出:“我们既要绿水青山,也要金山银山。宁要绿水青山,不要金山银山,而且绿水青山就是金山银山。”李克强总理在政府工作报告中提出了“蓝天保卫战”和“中国制造2025”的概念。随着社会的发展和科学技术的进步,人类已改变了在其自身发展中单纯利用自然的行为,开始追求清洁卫生、符合生态规律的生产技术。推动形成人与自然和谐发展现代化建设新格局,是中国特色社会主义生态文明观的价值取向。面对科技创新发展的新态势,我国提出了“中国制造2025”,加快实现中国制造向中国创造转变、中国速度向中国质量转变、中国产品向中国品牌转变,完成中国制造由大变强的任务。“中国制造2025”的主线是工业化和信息化的融合,把智能制造作为主攻方向,促使制造业数字化、网络化和智能化,实现我国“强国梦”。

国外铸造行业十分注重环保,欧美日等发达国家对环保问题极其重视,并投入了大量的人力、物力和资金开展了环保工程的建设^[1]。发达国家铸造机械化、自动化程度较高,操作工人免受高温烘烤,劳动条件得到极大改善,并且,已经向数字化、网络化和智能化方向发展,相关研究工作全面而深入,软硬件市场占有率较高。铸造企业的设计者清洁化生产意识很强:将车间里的皮带运输机、斗提机尽量封闭起来,要求设备厂家配置密闭吸尘罩;铸造厂房实行基本全封闭,并补充一定量的新鲜空气;严格控制废弃物的排放,其废砂、废渣、粉尘和废气的排放量不及我国排放量的1/10^[2]。

在我国,铸造在机械制造业中占有十分重要的地位,据中国铸造协会统计报告显示,自2000年起,我国铸件产量已连续17年居全球首位,与第二至第十位的国家铸件产量总和相当,2017年中国各类铸件总产量4 940万吨,是名副其实的铸造大国。我国铸造企业数量目前约有2.3万家,数量呈逐年下降趋势,规模铸造企业产量集中度不断提高,铸造企业平均年产量从2010年的1 320 t增长至2017年的2 147 t,但仍远低于工业发达国家。我国铸造行业面临环境保护的严重困扰^[3-7]。除少数大型企业铸造技术先进、生产设备精良、环保措施基本到位外,90%以上的铸造企业依旧是制造技术落后、生产装备陈旧、环保问题突出。近年来,在政府引导和企业积极参与的共同努力下,我国在铸造过程的数字化、网络化、智能化方面开展了大量的工作,较大地提高了铸造成形技术水平,但总体来说,我国铸造整体水平与国际先

作者简介:

徐贵宝(1963-),男,硕士,教授级高工,主要从事铸造凝固模拟、材料与工艺的研究,以及铸造技术与质量管理工作。E-mail: gbxu921@126.com

中图分类号: TG 249.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)04-0347-06

收稿日期:

2018-11-30 收到初稿,
2019-02-10 收到修订稿。

进水平尚有较大差距。

1 绿色智能铸造理念

早在1992年,联合国在里约热内卢召开的“环境与发展大会”上,就提出了人类环境与发展问题进行了全球性的规划,提出了可持续发展的新思路。此后不久,我国提出了“绿色铸造”战略思想。所谓“绿色铸造”,就是将综合预防污染和合理利用资源的环境策略,持续地应用于实际的铸造生产过程,通过循环利用及无害化处理,以实现企业的环境自净,尽可能少的向外界排出废弃物。在保证产品功能、质量和成本的前提下,从原辅材料选择、铸件设计、生产过程、使用到报废的整个产品生命周期中,都将考虑其对环境、资源、能源的影响,使环境污染最小化,经济效益和社会生态效益协调最优化。

“智能铸造”是在现代传感技术、网络技术、自动化技术、拟人化技术等先进技术的基础上,通过智能感知、分析与决策、智能执行技术,从而扩大、延伸和部分地取代铸造工作者的劳动。智能铸造以数字化、网络化和智能化作为主攻方向,应用建模与数值模拟、物联网、大数据、人工智能、快速铸型制造、智能装备、在线检测等先进技术,实现铸件成形过程的工艺优化,预测铸件组织和性能,从而在最短的时间内制造出高质量的产品^[8-10]。

绿色铸造与智能铸造相互补充,相互促进,不可分割。绿色铸造强调科技含量高、资源消耗低、环境污染少,侧重降低消耗;智能铸造强调数字化技术、自学习能力、机器代替人的活动,侧重提质增效。智能铸造中的综合自动化技术、信息技术、现代管理技术的应用,有利于减少资源消耗,促进节能减排。绿色铸造中推行新材料新工艺及回收再利用技术,与智能铸造的提质增效不谋而合。结合铸造生产的全部过程,提出如下实现“绿色智能铸造”的有效途径。

(1) 提高对绿色智能铸造的认识,制定相关规章制度和标准;

(2) 在产品定位和设计方面,选择轻量化材料,并尽量减轻产品的设计重量;

(3) 尽量选用先进的精密清洁铸造成形技术,如金属型、壳型、消失模等铸造工艺;

(4) 铸造成形全过程计算机工艺模拟与优化技术的应用,全面提升铸造技术水平;

(5) 建设数字化、智能化铸造生产线,大量应用在线监测和信息化管理手段;

(6) 加强机器人在熔炼、浇注、造型、制芯、上涂料、清理打磨等工艺中的应用;

(7) 智能传感器系统的技术应用,如视觉系统、

力觉系统、数据采集等;

(8) 以熔化和加热系统为重点,全方位挖掘节能潜力,研究开发余热回收利用技术;

(9) 加大废弃物的资源化利用,如提高旧砂再生效果和回用比例;

(10) 提高生产过程的清洁化水平,如采用环保型冷芯盒制芯工艺,砂芯水基涂料等;

(11) 应用有害气体的处理技术,采用活性炭吸附法、湿式洗除法、光氧催化处理;

(12) 铸造车间全面通风及吹吸通风理论的应用,开发强力真空吸尘清扫装置。

2 铝合金低压金属型铸造生产线建设

从2010年开始,作者组织团队进行了高铁铝合金齿轮箱的开发,通过技术攻关,先后自主研发了380A、380B和标准动车组齿轮箱铸件,其内在质量指标达到甚至超越国际先进水平,打破了国外技术的垄断。为了进一步提升齿轮箱的质量,提高生产效率,改善生产环境,减轻劳动强度,适应时代对绿色铸造的呼唤,满足客户对高端铸件的需求,本文针对铝合金中小型复杂铸件,设计了一条金属型低压铸造生产线。采用机、电、气、液等一体化控制技术,通过有轨转运小车,从熔化炉取铝液,运到精炼除气站处理,然后送到各个低压浇注机下,由升降机上到工作平台进行浇注。设计产能为年产10 000多套,可满足国内所有高铁动车组铝合金齿轮箱的生产需求。该生产线主要由熔化及精炼除气、制芯及涂料表干、模具安装与加热、低压浇注及取件等四个工部组成,其平面布局流程如图1所示,熔炼浇注三维布局如图2所示。

2.1 模具安装与加热

采用模块化结构的装模小车。小车和驱动机构是独立的,装模时将小车吊过来,由隐藏在操作平台下的驱动机构拖动小车,装好模具后将小车吊走。设计了专用的烘烤机构,在半合模状态下,整体式加热。加热器放置在低压机平台上,现场加热比较方便。燃料使用天然气,上方有除尘罩。

2.2 熔化及精炼除气

采用天然气对铝锭和回炉料进行熔化,设置1.2 t/h集中熔化炉和1 t/h坩埚熔化炉各一台,坩埚炉作为应急备用。加料塔根据铝锭量自动投料,炉膛内无视觉死角,清渣方便省力,全过程自动运行、自动诊断、自动异常响应及故障报警等,操作便捷、可靠、安全。

精炼除气机有2套,精炼剂自动给料,采用氩气自

动有挡板转子除气，配有升液管和炉盖保温炉2台。在此工位进行实时检测，包括使用密度当量仪检测铝液含氢量，直读光谱仪检测铝液包括有害元素在内的所有元素成分，德国IDECO热分析仪判断组织并预测变质处理效果和晶粒细化程度。

2.3 制芯及涂料表干

采用环保型冷芯砂和制芯机自动制芯，采用水基涂料浸涂，泥芯组装后进入表干炉烘干，然后运输到浇注平台。制芯和涂料在其他车间完成。表干炉由炉

体、燃气式加热室、冷却室、炉内平板输送机以及热风循环系统、排湿系统、电气控制系统组成，使用天然气，具有泄漏报警和欠压切断功能。

2.4 浇注及开模取件

采用低压浇注机自动浇注，启动按钮将坩埚炉升液管升至浇注平台，根据设定好的浇注曲线“一键浇注”。浇注完毕后，在保压的状态下进行凝固，因此铸件的致密度较高。凝固结束后卸压，然后系统按照设定的程序自动开模，先移开四周边模各5 mm，打开

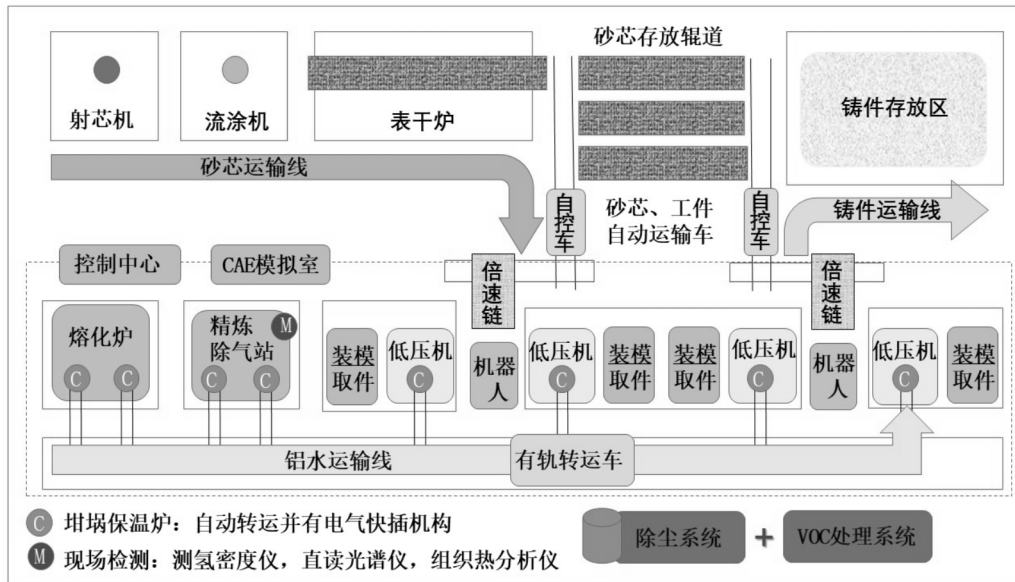


图1 生产单元平面布局流程图
Fig. 1 Flow chart of production unit layout

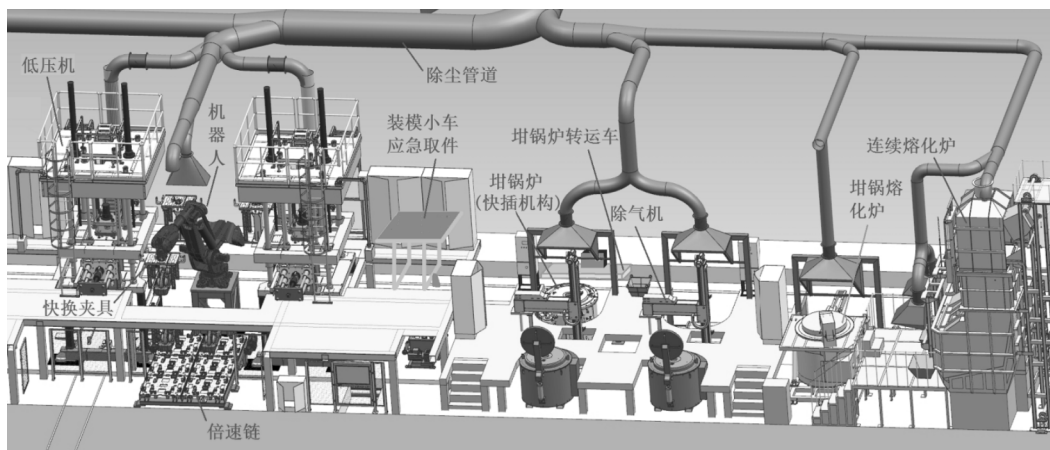


图2 熔炼浇注三维布局图
Fig. 2 3D layout of melting and pouring

顶模，然后交替移动各边模，最终打开边模。浇注完毕后，由机器人来抓取工件，放到倍速链上运走。该低压浇注机通过八导柱结构保证了平稳性，坩埚炉升液管液面加压控制方式具有液面悬浮功能。

3 金属型生产线的特点

由于在坩埚炉中直接除气，除氢效果好，并且采用专用的加热装置使模具烘烤到位，因此，第一件浇注就能获得合格的铸件，适合于单件和小批量生产。生产线的整个过程由控制中心进行管理和监控，自动化和信息化程度较高，符合绿色智能的理念。

3.1 精益化的设计理念

在生产线设计的同时，充分考虑了目视化管理、标准化作业和准时化生产的精益管理理念，建立了精益生产示范线。对作业过程的每一操作程序和每一动作进行分解，形成一种优化作业程序，进行目视化管理，达到安全、准确、高效、省力的作业效果。生产过程保持物质流和信息流的同步，实现以恰当数量的物料，在适当的时候进入适当的地方，生产出恰当质量的产品。

3.2 数字化的技术应用

本厂长期从事铸造数字化模拟和专家系统的研究，开发了铸造凝固过程模拟分析和铸造缺陷分析专家系统软件，并在1997年开始引进德国MAGMASoft软件，拥有一个强大的技术团队。项目组对铝合金齿轮箱金属型低压铸造工艺进行了模拟分析，图3是铸件与金属型模具在循环生产过程中的模拟计算温度曲线

图。由图可见，铸件热电偶1在不同的循环阶段冷却速度不同，边模热电偶2（靠近铸件表面）和底模热电偶3（远离铸件表面）的冷却曲线相差较大，据此可以指导工艺方案改进、模具设计和生产过程控制。在工艺试制过程中，利用本厂的数字化3D打印机，快速打印砂芯或塑料模，大大方便了工艺方案的试验验证。

3.3 自动化的运输线

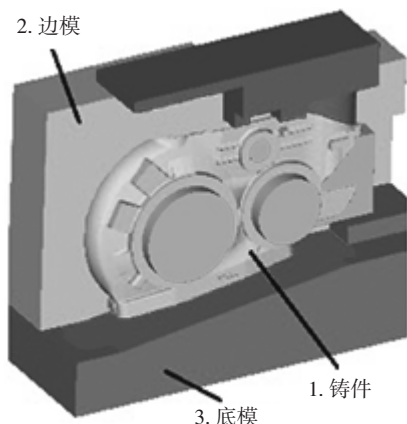
设计了砂芯和铝液两条运输线，通过自动化运输，取消了行车操作，避免了行车作业的安全风险。砂芯转运系统由轨道转运小车、平板输送机、电气控制系统等组成，具有自动检测和控制功能，小车前方有人或其他物体时则自动切断电源并报警。铸件的运输也在砂芯的运输线上完成。坩埚炉铝液自动转运系统，通过有轨转运小车，从熔化炉取铝液，运到精炼除气站处理，然后送到各个低压浇注机下，由升降机上升到工作平台，然后开始自动浇注。坩埚保温炉有推拉机构移动到各个工位，通过快插机构自动接通电源和气源。

3.4 智能化的机器人作业

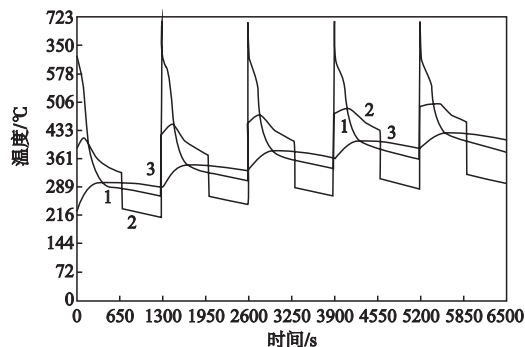
下芯和取件都由ABB机器人来完成。砂芯输送到倍速链上，从倍速链上抓取砂芯，然后安放到模具中。浇注完毕后，由机器人来抓取工件，放到倍速链上运走。砂芯和铸件托板也由机器人抓取换位。不同工件的夹具，通过机器人快换机构自动快速更换。

3.5 模块化的功能应用

换模小车和应急小车等采用模块化的结构。更换



(a) 工艺图



(b) 温度曲线图

图3 铸件与模具循环生产模拟计算温度曲线图

Fig. 3 Temperature curves of castings and molds simulated in the cyclic production process

模具时将换模小车吊运过来，小车和驱动系统是独立的，直接挂到驱动机构上即可换模。如果机器人出现异常，立即调用接物小车进行人工下芯或取件。模块小车用完后即可吊走，操作方便，安全可靠。

3.6 信息化的管控系统

中控室配有服务器、监控显示器和信息数据显示器，通过网络把相关信息发送到个人计算机或手机，警示和提醒自动通过邮件发送给责任人。中控系统采集熔化炉、低压浇注机、热分析仪等设备的数据，实时监控温度、能耗、模具和设备状态，显示生产信息。设备管理包括配件出入库操作、保养和检修计划、记录查询等功能。产品管理包含工艺方案及其模拟结果、工艺文件、作业指导书、生产过程检测数据和二次检验数据等资料，通过产品编码查询到产品信息。系统具有统计分析功能，如个人效率、设备能效、熔化能耗等信息，并可进行多台设备之间的数据比较。图4显示的是各种设备在不同时间段的能效统计图。

3.7 绿色化的节减措施

本改建项目具有绿色产品及绿色设计的特点。产品定位是铝合金铸件，符合材料轻量化的特点。工艺方案采用金属型铸造，取消了外模砂子，砂芯采用冷芯工艺，均符合环保的理念。

熔化炉利用烟气余热加热固态铝锭，对烟气、炉膛及铝液等多点进行温度采集控制，适时调整燃烧

率，因此能耗低和铝烧损率低，能耗仅为 55×10 Kcal/tonal，熔化烧损率不大于1.5%。低压机采用伺服液压系统，配备蓄能器，在保证压力流量的前提下能够降低电能损耗，比传统液压系统节能70%以上。

生产线布置了完善的除尘处理系统，各冒烟点都有吸尘罩。对烟气挥发性有机物VOC，采用活性炭吸附和光氧化方法进行处。砂子和灰尘不使用风吹，而采用强力真空吸尘装置。

4 结束语

新建一个铸造厂或铸造车间，是提升装备能力和改善生产环境的有效办法。本文以高铁齿轮箱为主要产品，针对复杂中小型铸铝件，设计了一条金属型低压铸造生产线，采用金属型替代砂型工艺，利用数值模拟和3D打印技术，采取节能熔化措施，设置完善的除尘和VOC处理系统，具有数字化、智能化、模块化、信息化的特点，符合节能、环保、高效、持续发展的理念，满足高端优质铸件的生产需求。由于受到已有厂房、产品批量和改造资金的限制，机器人浸涂和车间吹吸通风等功能未能实现，但留有了后续改造的余地，下一步可实施这些技术，同时实现后处理机器人清理打磨的目标。

在以可持续发展为主旋律的21世纪，铸造业的生存和发展取决于其环境保护和资源利用的水平。我国应从长远考虑，制定吸引和稳定铸造人才的优惠政策，同时，加强人才的培养，尤其重点培养铸造技术与环保技术有机结合的复合科技人才。铸造企业深刻

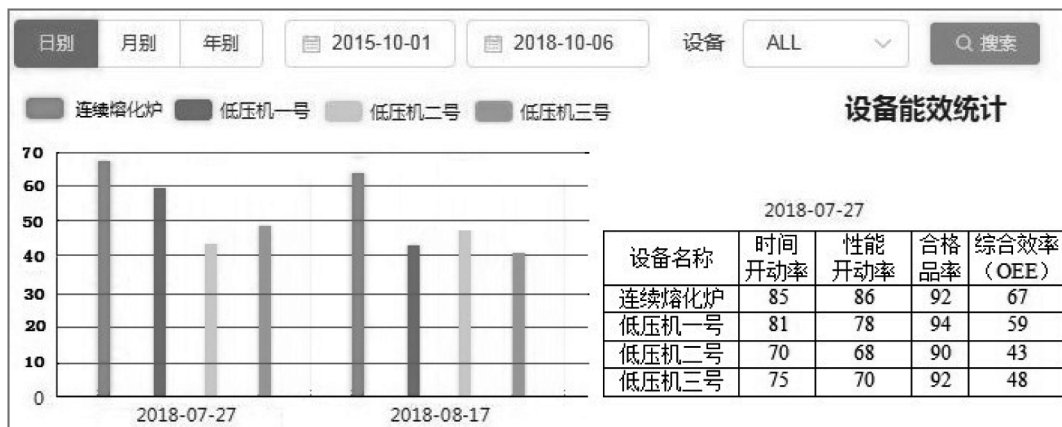


图4 各种设备在不同的时间段能效统计图

Fig. 4 Energy efficiency statistics of various devices in different time periods

理解绿色智能铸造的内涵特征,把握政策导向,探索符合自身发展的模式,制定绿色智能发展路线图,促进我国铸造行业由大变强。以清洁生产为核心,采用先进的技术、设备和现代化的管理模式,并逐步进行铸造企业的综合产业化改造,最终实现铸造废弃物的零排放和回收利用,这是我们努力奋斗的目标。

参考文献:

- [1] 吴景峰. 清洁铸造技术在汽车铸造业的发展 [J]. 汽车工艺与材料, 2002 (5): 1-6.
- [2] 周恬武, 李娄明, 张福全. “绿色铸造”与铸造行业环保 [J]. 铸造设备与工艺, 2011 (1): 49-52.
- [3] 周尧和. 世纪需要绿色集约化铸造 [J]. 现代铸铁, 1998 (2): 3-5.
- [4] 陈友熙. 新的制造战略——绿色制造 [J]. 中国机械工程, 1997 (3): 94-95.
- [5] 丁根生, 黄久晖. 铸造生产绿色工程系统发展战略的研究 [J]. 中国铸造装备与技术, 1996 (5): 3-6.
- [6] 李荣德. 时代呼唤绿色铸造 [J]. 铸造, 2010 (1): 1-3.
- [7] 鲁永杰. 铸造行业绿色铸造技术发展战略 [J]. 铸造, 1999 (增刊): 71-73.
- [8] 叶未, 屈伸, 赵建华. 中国绿色智能铸造发展路线图解读 [C]// 重庆市铸造年会论文集, 2018: 1-3.
- [9] 杨涛, 郭毅, 马寒坤, 等. 以工业4.0为基础的智能化铸造系统展望 [J]. 金属加工 (热加工), 2016 (5): 48-49.
- [10] 许庆彦, 熊守美, 周建新, 等. 铸造技术路线图: 数字化、网络化、智能化铸造 [J]. 铸造, 2017 (12): 1243-1250.

Digital and Intelligent Green Casting System for Low-Pressure Metal Mold of Aluminum Alloy

XU Gui-bao

(CRRC Qishuyan Institute Co., Ltd., Changzhou 213011, Jiangsu China)

Abstract:

The concept of green intelligent casting is expounded. A digital, intelligent, modular, flexible and information-based low-pressure metal mold casting production line has been designed for complex medium and small sized aluminum alloy castings, such as gearbox for high speed railway. It is mainly composed of refining and dehydrogenation unit, crucible furnace transfer line, sand core drying and transportation, low pressure pouring system. The whole process is managed and monitored by control center. The system adopts the metal mould to replace the sand mould, selects the energy-saving continuous melting furnace, arranges the perfect dust removal system and VOC treatment system, which conforms to the concept of energy conservation, environmental protection and sustainable development. The factory has an expert team with the ability of aluminum alloy casting, 3D printing, product modeling and numerical simulation of low pressure casting, and establishes the lean production management demonstration line. This will stabilize greatly the production process, improve product quality and meet the needs of high-end castings.

Key words:

intelligence; low pressure metal mold; aluminum alloy; green casting; production lines
