DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.07.015

基于3D打印技术的重卡自动变速器壳体铸件的快速开发

刘高峰[1],杨晨曦[2]

(1. 陕西法士特汽车传动集团有限责任公司,陕西 宝鸡 722409;2. 陕西工业职业技术学院 材料学院,陕西 咸阳 712000)

摘　要:以重卡自动变速箱壳体铸件为实例,通过MAGMA铸造模拟软件、3D砂型打印、组芯以及砂型重力铸造技术等手段,实现了重卡自动变速箱壳体铸件的快速开发,最终确定了3D打印砂型+组芯+重力浇注的新工艺。

关键词:3D打印砂型;热处理;组芯;浇注工艺

中图分类号:TG291　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)07-0656-04

Rapid Development of Automatic Transmission Housing for Heavy Trucks by 3D Printing Technology

LIU gaofeng[1], YANG Chenxi[2]

(1. Shaanxi Fast Automobile Transmission Group Co., Ltd., Baoji 722409, China; 2. College of Materials Engineering, Shaanxi Polytechnic College, Xianyang 712000, China)

Abstract: Taking heavy truck automatic transmission as an example, which has realized the rapid development of heavy truck automatic transmission through casting simulation software named MAGMA, 3D printing of sand mold and core, and sand gravity casting technology. Finally, a new process of 3D-printed sand mold , core and gravity casting was established.

Key words: 3D-printed sand mold; core; casting process

近几年,随着经济的发展和科学技术的进步,我国的汽车工业发展取得了长足的进步,在商用车领域出现了一批优秀的零部件制造企业,其中以法士特公司为代表的商用车传统变速器企业在重卡自动变速器领域研发生产取得了成功。为了降低自动变速器壳体铸件的开发周期和成本[3],采用最新的3D打印砂型技术打印铸件的砂型模具,最后通过组芯和重力铸造浇注等手段快速开发出第一款重卡自动变速器壳体铸件,并确定了3D打印砂型+组芯+重力浇注的新工艺。完美解决自动变速器壳体铸件的试生产,为其它新开发产品铸件的试生产提供了工艺参考。

1　零件介绍

铸件材料为AlSi7Mg,X射线探伤检查,铸件不得有气孔、裂纹、缩孔等缺陷,T6热处理后本体取样,抗拉强度≥200 MPa,伸长率≥3%,硬度90~100 HB。

选择自动变速器壳体铸件作为研究对象,进行工艺分析论证。铸件外形尺寸为400 mm×380 mm×370 mm,最小壁厚为6 mm,铸件质量为20.5 kg。图1为自动变速器壳体结构。

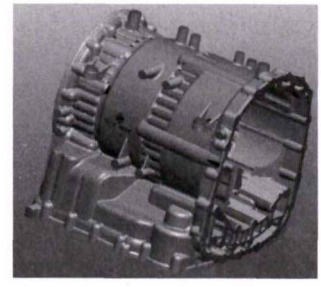


图1　自动变速器壳体结构

Fig.1　Automatic transmission housing

2　铸件工艺分析

根据铸件产品的信息分析,适合自动变速器壳体铸件的工艺方法有消失模、低压、重力和压铸等4种工艺方案,又因产品需求数量少,开发周期短等要求,故通过MAGMA铸造模拟软件、3D砂型打印、组芯以及砂型重力铸造技术等手段,完成铸件的快速开发。

收稿日期:2020-05-06

作者简介:刘高峰(1981-),陕西宝鸡人,本科,工程师.主要从事消失模铸造和3D打印砂型空腔浇注工艺方面的工作.电话:13992758335,E-mail:165566192@qq.com

3　新铸造工艺的设计开发和应用

3.1　铸件浇注系统的设计

3.1.1　重力空腔浇注系统设计总的要求

重力空腔浇注系统设计总的要求包括：在规定时间内充满型腔，保证铸件轮廓、棱角清晰；使金属液流动平稳，避免严重紊流；防止卷入、吸收气体和使金属过度氧化；具有良好撇渣能力，防止夹渣和气孔缺陷；金属液进入型腔时线速度不可过高，避免飞溅、冲刷型壁或砂芯；浇注系统结构力求简单，简化造型，减少清理工作量和液态金属的消耗。

3.1.2　浇注系统方式的选择

图 2 为按浇注系统在铸件浇注时的位置划分的浇注方式。顶注式浇注系统金属液自型腔顶部注入，铸件上部的温度高于下部的温度，有利于实现自下而上的顺序凝固和冒口补缩，冒口尺寸较小，节约金属。但是，金属液自由下落，冲击力大，充型不平稳，易发生飞溅、氧化和卷入空气等现象，铸件中容易出现砂眼、气孔和夹渣等缺陷。

底注式浇注系统金属液从下部开始充填，充型平稳，可避免金属液发生喷溅、氧化及由此而形成的铸件缺陷，利于气体排出和横浇道阻渣。但是，金属的温度分布不利于顺序凝固和冒口补缩，充型过程中温度损失大，难以保证高大薄壁铸件充满，易形成浇不到、冷隔等缺陷，金属消耗较大。

中间注入式浇注系统兼有底注式和顶注式浇注系统的优缺点。

阶梯式浇注系统金属液从下到上逐层按顺序充填型腔，充型平稳，型腔内气体排出顺利；上部金属液温度高于下部，有利于顺序凝固和冒口补缩；充型能力强，易避免缩孔、缩松、浇不到等缺陷。但是，其造型复杂，要求多个分型面；需要合理的设计和计算，否则易出现“乱浇”现象。

根据浇注系统的设置方式和优缺点结合 3D 打印砂型的特点，选择底注式浇注系统。

3.1.3　充型时的流态(开放式和封闭式)的选择

通过对产品的结构及工艺性分析，首先确定浇注系统所要采取的形式，针对铝合金砂型空腔浇注，对比两种不同的浇注系统形式(开放式和封闭式)充型时流态。图 3 为充型时的两种不同流态。可以看出，铝合金使用封闭式浇注系统空腔充型时铝液冲壁产生飞溅；而使用开放式浇注系统时充型平稳，故选择开放式浇注系统。为了强化横浇道阻渣的作用选择在直浇道下方放置过滤网。

3.1.4　最小阻流界面的计算

按经验公式计算非铁合金的阻流截面积[1,2]。

$$S_{阻}=\frac{m}{\rho\tau\delta\sqrt{2g}}=\frac{31\,800}{2.7\times7.5\times0.31\sqrt{2\times9.8}}=1\,145(mm^2) \quad (1)$$

式中，$S_{阻}$为阻流截面积，mm²；m 为流经阻流的金属总质量，kg；τ 铸件有效浇注时间，s；δ 铸件的主要壁厚，一般指最薄壁厚，mm；W 材质系数，如表 1；ρ 金

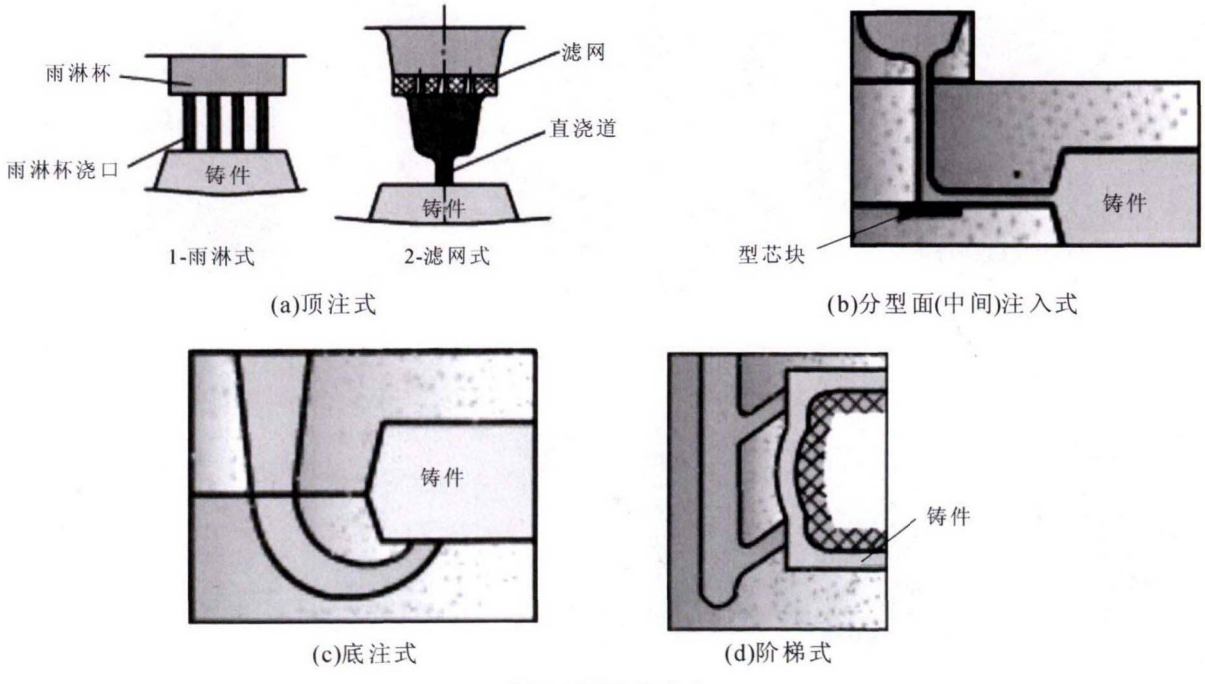
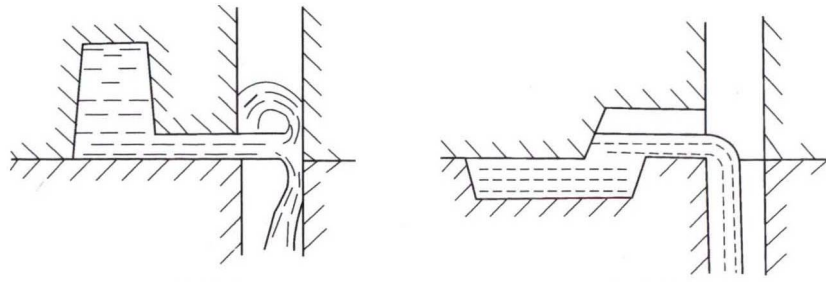


图 2　不同浇注方式

Fig.2　Different pouring methods



(a)封闭式　(b)开放式

图 3 充型时的两种不同流动状态

Fig.3 Two different flow pattern during filling

属液密度,kg/cm^3。

表 1 为常见非铁合金材质系数 W。

表 1 常见非铁合金材质系数 W

Tab.1 Coefficient of common non-ferrous alloys

合金	铝合金		铜合金		镁合金
	硅铝系、硅锌系	硅铜系、硅镁系	青铜	黄铜、青铜、紫铜	
0.32	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25

3.1.5 浇注系统各组元的截面比的选择

表 2 为典型材料的浇注系统各组元截面比。按照表格选择铝合金 $S_{直}:S_{横}:S_{内}=(0.6\sim0.7):1:0.75$。根据以上铸件浇注系统的设计信息,分析设计三维浇注系统,如图 4 所示。

表2 典型材料的浇注系统各组元截面比 W

Tab.2 Section area ration of Sprue, runner and ingate for common cast metals

材料	$S_{直}:S_{横}:S_{内}$	材料	$S_{直}:S_{横}:S_{内}$
灰铸铁	1:4:4 1.1:1.3:1 1:0.75:0.5	铜合金	1:2:2 1:4:4 1:1:1 1:1:3(黄铜)
球墨铸铁	1:0.9:0.8(壳型) 1:2:2(壳型,立浇) 1.2:1:2	铝合金	1:6:6 1:2:4(0.6~0.7):1:0.6
铸钢	1:2:1.5 1:3:3 1:1:0.7 1:2:2	镁合金	1:2:2 1:4:4

3.2 运用 MAGMA 软件进行模拟

运用 MAGMA 软件对设计好浇注系统的铸件壳体进行模拟得出以下结论,如图 5 所示。可以看出,通过对温度场和凝固场分析,铸件中部图示位置缩松风险较大需要设置冷铁。

3.3 修正浇注工艺方案,确定砂型分型工艺

修正浇注工艺方案,增加冷铁(如图 6 所示)。同时,按图 7 所示进行砂型分型工艺操作。

3.4 打印砂型及组芯浇注、清理打磨

将设计好的三维图纸进行 3D 打印，再进行组芯浇注，具体过程如图 8 所示。最后将浇注好的壳

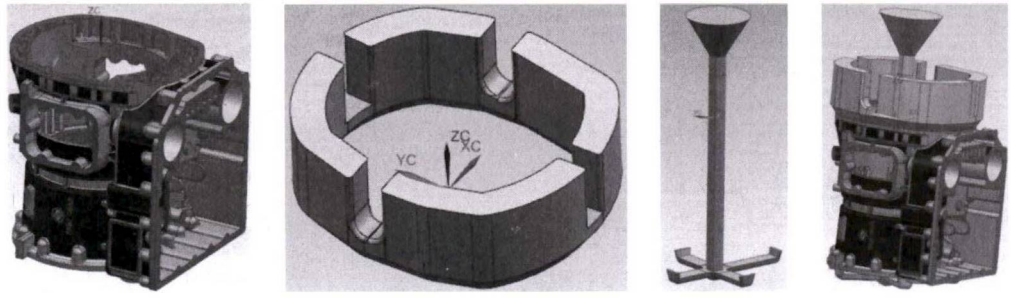


图 4 三维浇注系统

Fig.4 3D drawing of pouring system

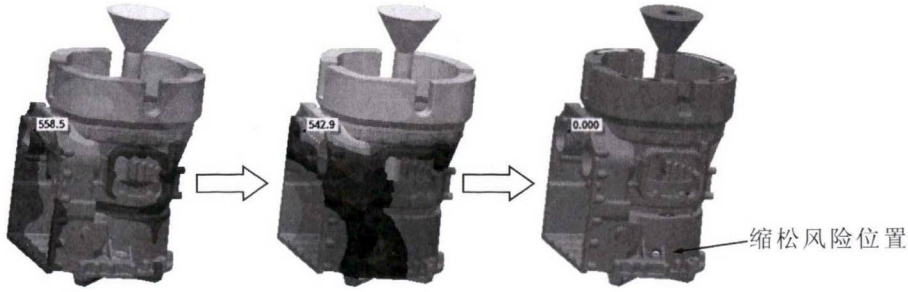


图 5 铸件壳体凝固过程模拟结果

Fig.5 Simulated result of solidification of casting

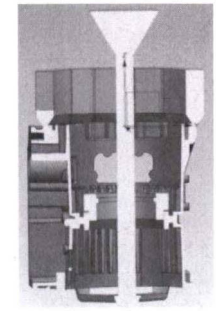


图 6 增加冷铁

Fig.6 Adding the chiller

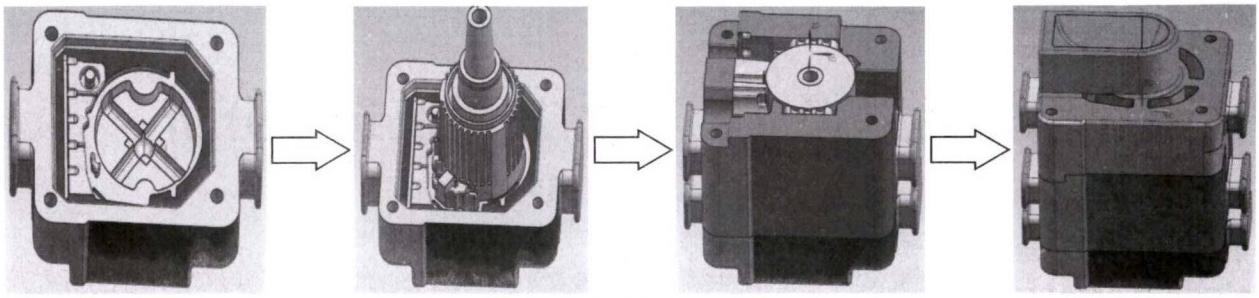
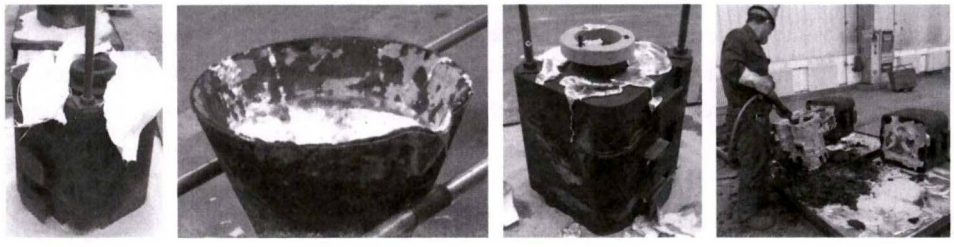


图 7 砂型分型工艺

Fig.7 Parting process of sand mould

(a)第1步　(b)第2步　(c)第3步　(d)第4步　(e)第5步



(f)第6步　(g)第7步　(h)第8步　(i)第9步

图 8 组芯浇注工艺步骤

Fig.8 Core assembly and pouring processes

体铸件清理打磨，经 X 探伤后，无气孔，无缩松等缺陷，满足使用要求。

4 结论

铝合金因密度小、熔点低、导热系数大、化学性质活泼、极易氧化和吸收气体等特点，因此易氧化生成氧化膜，在紊流情况下卷入液流中而产生夹杂缺陷。通过多次工艺试验得出以下结论：

(1)在整个铝合金浇注的过程中要求平稳、无涡流、无喷溅。

(2)浇注时间要短，以避免出现浇不到等缺陷。

(3)铝合金壳体类重力铸造尽量采用开放式底注浇注系统。

总之，3D 打印砂型+组芯+重力浇注新工艺方法的应用对后续的新产品铸件的快速开发提供了参考依据。

参考文献：

[1] 李魁盛. 铸造工艺设计基础[M]. 北京：机械工业出版社，1981.

[2] 魏华胜. 铸造工艺基础[M]. 北京：机械工业出版社，2016.

[3] 张学平，唐思熠，肇恒跃，等. 3D 打印技术研究现状和关键技术[J]. 材料工程，2016，44(2)：122-128.

《铸件均衡凝固技术及应用实例》

《铸件均衡凝固技术及应用实例》由西安理工大学魏兵教授编著。共 8 章：1、铸铁件均衡凝固与有限补缩；2、铸铁件冒口补缩设计及应用；3、压边浇冒口系统；4、浇注系统大孔出流理论与设计；5、铸件均衡凝固工艺；6、铸钢、白口铸铁、铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺；7、浇注系统当冒口补缩设计方法；8、铸件填充与补缩工艺定量设计实例。全书 320 页，特快专递邮购价 226 元。

邮购咨询：李巧凤 029-83222071，技术咨询：13609155628