DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.07.022

镁合金压铸件常见缺陷及改进措施

张占领[1],张艳琴[2],刘　真[3]

(1. 郑州科技学院,河南 郑州 450064; 2.郑州城市职业学院,河南 郑州 452370; 3. 天水雄风轮毂制造有限公司,甘肃 天水 741000)

摘　要:以镁合金轮毂铸件为例,完成了从铸件结构设计到铸造毛坯件小批量生产的整个系统工程,总结了镁合金铸件常见缺陷的影响因素,提出了减少缺陷的改进措施。结果表明,通过系统分析,调整设备操作和工艺参数,可以很大程度上减少缺陷,对镁合金铸件生产,提高成品率具有重要意义。

关键词:镁合金;压铸件;缺陷;改进措施

中图分类号:TG245　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)07-0718-04

Common Defects of Magnesium Alloy Castings and Improvement Measures

ZHANG Zhanling[1], ZHANG Yanqin[2], LIU Zhen[3]

(1. Zhengzhou University of Science & Technology, Zhengzhou 450064, China; 2. City University of Zhengzhou, Zhengzhou 452370, China; 3. Tianshui Xiongfeng Hub Manufacturing Co., Ltd., Tianshui 741000, China)

Abstract: Taking the magnesium alloy hub casting as an example, the whole system engineering from the structural design of the casting to the small batch production of the casting blank was completed. The influencing factors of common defects in magnesium alloy castings were summarized, and the improvement measures to reduce the defects were put forward. The results show that the defects can be greatly reduced by systematic analysis and adjustment of equipment operation and process parameters, which is of great significance to the production of magnesium alloy castings and the improvement of yield.

Key words: magnesium alloys; castings; defects; improvement measures

镁合金压铸件铸造缺陷有外部缺陷和内部缺陷,外部缺陷有推杆痕迹、腐蚀痕迹、铸件变形、擦伤、飞皮过多、表面起皱、粘模、紊流、分层等,内部缺陷包括缩孔、弯芯孔、热裂纹、冷隔、充型不良等。镁合金轮毂铸件成型加工成标准件后,需要进行扭转疲劳试验[1]。标准是 549.4 N·m 扭矩和 5×10^5 转的测试时间。径向疲劳试验,标准是载荷 2 812 N,试验次数为 1×10^5 转。径向冲击试验,标准:载荷 2 300 N,高度 230 mm。旋转弯曲疲劳试验,标准是 269.24 N·m 弯矩,试验次数 5×10^5 转。这一要求决定了铸件中不允许有影响试验的铸造缺陷,尤其是内部缺陷。造成镁合金轮毂铸件缺陷的原因主要来自于机械设备和热成型工艺两个方面,涵盖了整个铸造过程,具体有压铸机、合金纯度、模具结构、铸件结构、成型工艺参数、模具润滑等因素的相互影响。本文从挤压铸造成型工艺的角度研究了缺陷产生的机理,并提出了相应的改进措施。

收稿日期:2019-03-06

基金项目:河南省科技攻关项目(172102210534);郑州市名师工作室资助项目(郑教高[2015]70 号)

作者简介:张占领(1979-),河南商丘人,硕士,副教授.研究方向:先进制造技术的教学与研究.

电话:18039330107,E-mail:zzlyjs@163.com

1　铸件分析和铸造设备

国内汽摩车辆轮毂配置均为铝合金轮毂,铝合金轮毂易铸造成型和机械加工,不易氧化,比钢轮毂使用效果好,逐渐成为汽摩车辆行业的标配,但随着社会的进步以及全球能量危机,如何节约能源消耗成为汽摩行业研究的主要问题,而汽摩减重是一个研究方向,汽摩轻量化研究越来越多[2]。在现有金属合金中,镁合金因其比重轻,力学性能好,减震效果突出,价格低廉,矿产储量丰富,逐渐进入各汽摩厂家的视野[3],本产品是国内汽摩行业轮毂生产行业的龙头,原产品采用铝合金轮毂,市场占有份额较大,为了扩大市场份额,抢占市场先机,委托课题组进行镁合金轮毂生产研究,进行小批量生产,镁合金比铝合金的比重轻 30%;减震效果是铝合金的 30 倍,其在减重、节能、减震、降噪和车辆动力学特性等指标上大大低于镁合金。近年来汽摩行业的竞争非常剧烈,如何提高产品的市场竞争力,利用新材料和新技术来替代老工艺、老产品,就成了汽、摩制造商的追求,用镁合金替代铝合金,单位体积价格则更便宜,经济效益非常可观,但由于其生产工艺还不成

熟，轮毂铸件缺陷较多，特别是铸件中的内部缺陷更是镁合金轮毂铸件的致命缺陷，较大缺陷的存在将大大降低铸件的力学性能，致使轮毂铸件大量报废。

镁合金轮毂铸件小批量生产选用材质为AM60B镁合金，合金密度为1.8 g/cm^3，收缩率为0.6%。该合金成型后综合力学性能较好，冲击韧度、抗拉强度较高，尺寸也较稳定，非常易于铸造成形和机械加工，适于轮毂等运动部件[4]。AM60B合金熔化起始温度为468 ℃，熔化结束温度为596 ℃，固液相线温度区间为165 ℃。其化学成分列于表1。

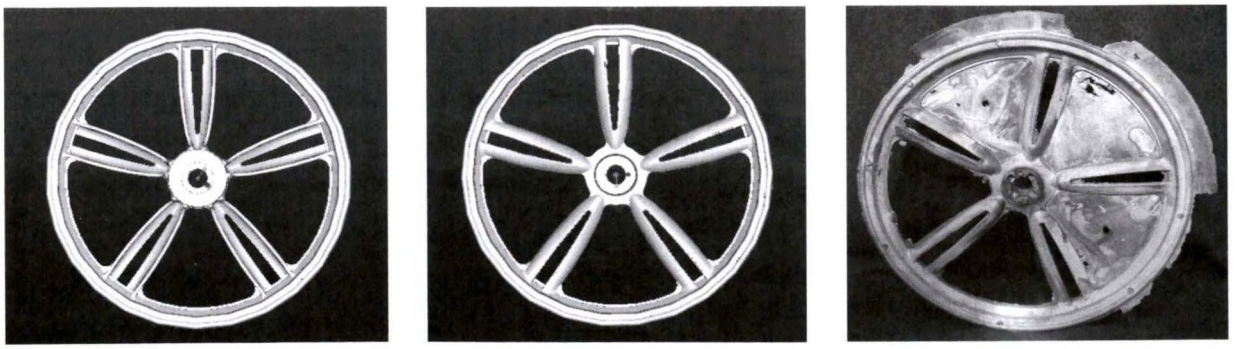
图1为轮毂铸件造型设计与铸造毛坯。该轮毂是厂家委托设计的新品种，外观简洁，壁厚均匀，其外观最大轮廓尺寸大致为ϕ459 mm×90 mm，铸件质量1.23 kg，轮缘壁厚5.4 mm，轮辐部位厚10.2 mm，轮毂部位最厚22.3 mm。原铝合金轮毂件为2.24 kg，减少了1.01 kg，由于镁合金原材料比铝合金价格优惠近1倍，成本更低，更具有竞争力。除轴承孔、打气孔以及装胎面需要加工外，其余均为铸造自然表面。

铸件设计完毕后，设计了挤压铸造用的模具。首先要进行铸件的三维建模，利用Pro/E软件辅助设计出挤压铸造模具，计算出铸件投影面积为0.166 m^2，表面积为0.48 m^2，铸件和浇注系统质量为1.81 kg，挤压铸造机为YJ32-2000四柱通用液压机，最大锁模力为5 000 kN，大于铸造模需要的3 530 kN锁模力。该挤压铸造机最大移动距离达850 mm，最大压力6 000 kN，最大充型速度为65 mm/s，模具型腔布置采用一模一腔。合金液在封闭式熔化炉内熔炼完毕后，由新型活塞式定量浇注系统浇注到挤压铸造机熔杯内，铸造机迅速合模、保压、冷却、开模，取出铸件，全程在镁合金在线保护气体发生器封闭进行保护，保证合金液的纯度，防止了镁合金在空气中的燃烧。设备经多次联线试车，系统进一步完善、扩大了各参数调节范围，采用PLC控制，提高了设备自动化程度，在实际生产中可获得更优化参数。借助铸造模充型软件Pro CAST可以优化成型工艺参数，为新产品试制成功节省了大量时间。

在整个小批量生产过程中，出现了很严重的铸件缺陷，分析了缺陷形成的原因，根据机械设备问题和热加工工艺问题不同，总结出各种缺陷形成的原因，并把它们与具体的设备及工艺过程相联系。图2为铸件缺陷与工艺设备影响关系图。可以看出，缺陷形成原因错综复杂，一个缺陷往往有多种因素造成，应具体问题具体分析。图2是一个综合用于分析铸造缺陷和原因的系统图，实际生产中，在图2的引导下，通过设备及工艺参数的调整，成功试制出完整合格的铸件。从图1可以看出轮毂毛坯充型完整(见经表面喷丸处理后，外观完好，表面无较大缺陷，机加工后的轮毂表面光滑)。经严格的力学性能检测，其结果为σ_b为228 MPa、布氏硬度为72 HBS、δ_5为10.8%和a_k为18.7×10^4 J/m^2，以上力学性能表明该轮毂铸件达到了摩托车轮毂技术标准要求，也证明轮毂铸件内部无重大缩孔缩松缩凹等缺陷。下面根据图2的关系图以及生产经验对常见缺陷形成的原因进行分析，并提出相应的防范措施。

2　镁合金铸件常见缺陷分析及改进措施

镁合金轮毂铸件有些外部缺陷，如推杆痕迹、腐蚀痕迹、擦伤、飞皮过多、表面起皱、粘模、紊流、分层等，基本上通过表面喷丸处理进行改善，几乎不影响铸件的使用，而内部缺陷以及较大的外部缺陷则尽



(a)轮毂三维造型正面　(b)轮毂三维造型背面　(c)轮毂铸造毛坯

图1 轮毂铸件造型设计及铸造毛坯

Fig.1 Modeling design and casting blank of hub castings

表1 镁合金AM60B的化学成分 w(%)

Tab.1 Chemical composition of AM60B magnesium alloy

Al	Zn	Mn	Si	Cu	Ni	Fe	其它杂质	余量
5.6~6.4	≤ 0.20	0.26~0.5	≤0.05	≤0.008	≤0.001	≤0.004	0.02	Mg

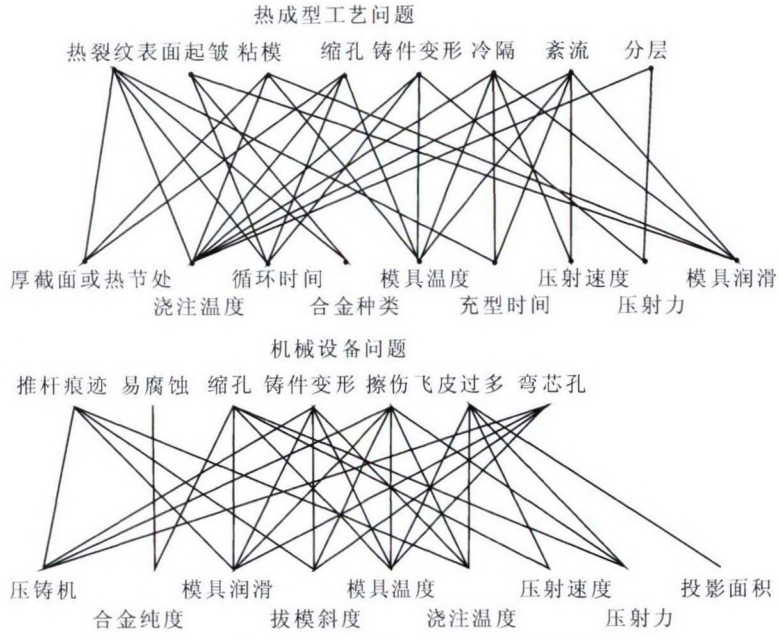


图 2 镁合金铸件缺陷与工艺设备影响关系图

Fig.2 The relationship between defects of magnesium alloy castings and process equipment

量想办法避免,或者尽量减少,否则,会影响铸件的使用,这类缺陷主要有充型不良、气孔、疏松、冷隔、裂纹、分层等,如图 3 所示。特别是充型不良、气孔和裂纹,对铸件力学性能影响加大,是造成铸件废品率的关键,对轮毂铸件沿轴线进行剖分,在铸件的剖面上,在可以观察到基体上有气孔的存在(图 3c)。发现孔壁光滑,具有气孔类缺陷的特征。下面重点就有充型不良、冷隔、气孔、热裂纹、分层等常见缺陷进行分析,并提出改进措施。

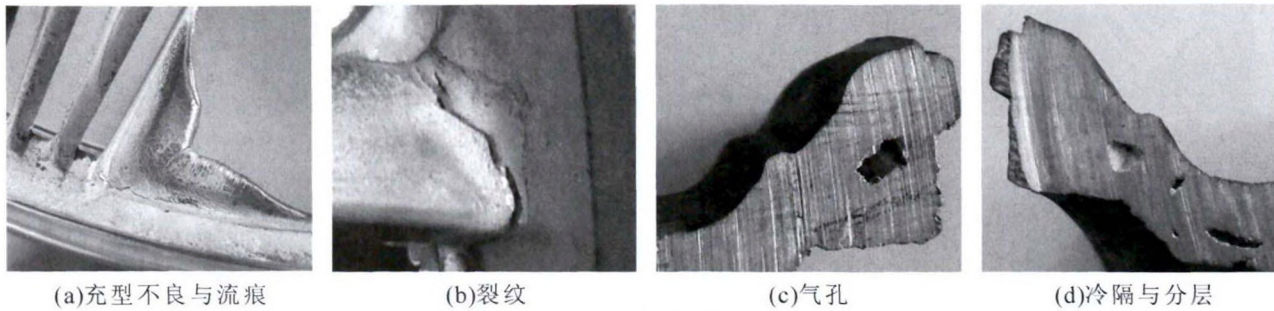
2.1 充型不良与冷隔

充型不良与冷隔缺陷多有热成型工艺问题引起,主要有浇注温度,模具温度、充型时间、压射速度以及模具润滑这几个因素影响(见图 2)。由于液压机下缸压射速度较慢,浇注金属后夹紧锁紧时间较晚,挤压后的液态金属在较低压力下充填铸件,浇注温度及模具温度较低,在凝固时无法得到瞬时压力,因而造成冷凝,往往会出现充型不良与冷隔缺陷。如果浇注温度过低或模具温度过低,即使合模后充型时间过长,也会出现冷隔或充型不良缺陷。

改进措施:要避免充型不良与冷隔缺陷,只需要调整铸造成型工艺参数即可,生产结果表明,浇注温度为 690~720 ℃,模具温度为 200~250 ℃,充型时间 20 s,压射速度不低于 1.1 m/s,模具适当的润滑,即可大大减少缺陷产生。合金液浇注温度过低,结晶潜热低,易凝固,所需充型压力高;合金液浇注温度过高,易产生收缩,形成缩孔缺陷。一般来说,由于调整液压机压力及压射速度,保持较低的浇注温度、合适的模具温度以及模具润滑,即可以消除气孔、收缩和疏松,也可以避免免充型不良与冷隔缺陷。当浇注温度较低时,气体容易从合金熔体中逸出,很少残留在合金液中,因此容易消除气孔,合模后压力越大越好。

2.2 缩孔

缩孔缺陷的影响因素包括机械设备问题和热加工工艺问题,主要有合金纯度、模具润滑、模具温度、压射速度、压射力、厚截面或热节处、循环时间等。缩孔的位置相对固定,大多分布在铸件内浇口附近,或沿内浇口的轴线分布, 远离内浇口的缩孔尺寸逐渐减小。缩孔形成的原因:①金属液在内流道中的压射



(a)充型不良与流痕　(b)裂纹　(c)气孔　(d)冷隔与分层

图 3 铸件常见缺陷

Fig.3 Common defects in castings

速度太高，引起湍流和夹气；②铸型设计不合理，金属液冲击型芯，包裹空气；③模具温度过低，使用喷涂在每个模具上的脱模剂因来不及蒸发，产生水汽；④排气不良，溢流排气过小；⑤合金液不纯净，有氧化夹渣；⑥模具润滑液进入模具型腔，与合金液发生燃烧，产生气体和夹渣；⑦铸件有较厚截面或者热节，不易排气；⑧压铸循环时间过短，模具内的空气来不及排出。

改进措施是：增加内流道和溢流槽的面积，将内流道液态金属流动的压射速度降低到 0.15 m/s，增加内流道与铸件之间的过渡角，在型芯上增加排气槽；提高模具的温度，调整铸件结构，在厚截面或者热节处设置中空结构，尽量保证铸件壁厚均匀，适当延长铸造循环时间，尽量减少合金污染，定期检查模具润滑液是否泄漏等。

2.3　裂纹

裂纹缺陷一般都是由热成型工艺引起，又称热裂纹。主要影响因素有厚截面或热节处、浇注温度、循环时间、模具温度、合金种类以及充型时间等。一般发生在型芯的过渡角，有时发生在铸件表面。裂缝产生的原因可能有以下几个方面：

(1)液态金属凝固时，芯部过渡角过小，局部应力集中过大。

(2)铸件出型过早，浇注温度较高，在凝固完成之前铸件产生热裂纹；或者铸件出型过晚，循环时间过长，铸件与型芯之间的应力过大，脱模时产生裂纹。

(3)模具温度过低，特别是芯部温度过低，使附在型腔内壁上的液态金属快速凝固成薄壳。在冷却和凝固过程中产生的收缩应力全部由非常薄的金属壳承担。当应力超过金属外壳的极限强度时，金属外壳就会撕裂。

(4)循环时间，特别是充型时间太短，铸件无法补偿。铸件薄壁冷却收缩受限，保温时间长，容易拉出裂纹。当推出铸件时，收缩应力将导致铸件变形、扭曲和冷裂。

(5)铸件有厚截面或热节处，由于镁合金冷却速度快，收缩严重，在厚截面或热节处产生应力差，产生裂纹。

(6)有些合金种类收缩率较大，在成型过程中易产生裂纹。

根据以上分析，采取了以下改进措施：

(1)调整铸件结构，铸件热节处增大过渡圆角，在厚截面处设置中空结构，可以设置加强筋来增强强度。

(2)模具温度应设定在 250 ℃，模具温度过高或过低都会对铸件质量和模具寿命产生不利影响。粘模容易，脱模困难。同时，延长了保温时间，合金液充分充型，完全冷却。如果模具温度过低，铸件的质量得不到保证，易产生冷隔和表面裂纹。

(3)充型时间应为 30 s。如果充型时间过短，铸件容易出现缩孔。如果充型时间过长，则会延长生产周期，增加变形阻力，降低模具使用寿命，加重热裂倾向。

(4)选用商用比较好的镁合金，必要时，可以调整合金成分，尽量避免裂纹缺陷。

2.4　分层

分层缺陷是压铸常见缺陷的一种，往往会引起铸件夹渣和性脆，严重影响铸件的使用，其来源也是主要由热成型工艺问题，主要因素有浇注温度、压射力以及合金纯度。一般是由于合金液除渣不干净，或是因氧化生成氧化皮，冲头加压时，因压射力大，将氧化皮、涂料等挤入铸件中引起的，造成分层缺陷。夹渣是分层缺陷的一种，会导致铸件容易脆断——性脆的根本原因。定时除渣，防止镁液氧化就能解决夹渣和性脆等问题。

改进措施：保持合金液纯度，适当降低浇注温度，尽量不超过 690 ℃，避免镁合金液大量氧化，规范铸造操作规程，保持干净的作业场地，适当降低压射力会大大降低分层缺陷。

3　结论

整个铸造过程中选择合适的铸造设备、最佳的成型工艺参数以及规范的操作规程是预防铸造缺陷的有力保障。此外，镁合金液易氧化，遇水会发生爆炸，在铸造过程中应尽可能地封闭或采用惰性气体保护，模具加热冷却介质和模具润滑严禁用水。采取以上防范措施，大大消除了铸件缺陷，得到了外表光滑、内在质量优良的镁合金轮毂压铸件，铸件成品率在 90%以上。经生产实践以及对铸件缺陷的分析，最终确定挤压铸造的最佳工艺参数为模具温度 T_0 为 250 ℃，锭料输送温度 T_p 为 690 ℃，压射比压 P_b 应为 110 MPa，保压时间 t_H 应为 30 s。

参考文献：

[1] 王春涛，吴树森，潘敏凯，等. Cu 含量及时效处理对压铸 AlSiCuNiMg 合金性能的影响[J]. 铸造技术，2018，39(3): 691-694.

[2] 高平，田迎春，邸建辉，等. Be 和 Y 对 AZ91D 压铸镁合金组织的影响[J]. 铸造技术，2017，38(10): 2348-2350.

[3] 杨虹，徐静. 镁合金压铸技术的研究现状[J]. 铸造技术，2017，38(4): 749-751，757.

[4] 张占领，张艳琴. 镁合金半固态锻造模设计与制造 [J]. 铸造技术，2018，39(1): 116-119.