DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.03.009

压铸工艺设计与实践

王龙生

(连云港钰泰机械有限公司,江苏 连云港 222300)

摘　要:压铸件在批量生产过程中,为了保证产品质量的稳定,在压铸件设计前期,通过对压铸机的选型、模具造型分析、压铸工艺设计、以及辅助设备的选用等各个方面综合因素进行考虑;对可能会发生的铸件质量问题提前采取预防措施,优化了生产工艺。结果表明,压铸件符合客户需求,对生产制造企业能提升合格率,可降低生产成本。

关键词:压铸机选型;模具造型分析;压铸工艺设计;辅助设备

中图分类号:TG249　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)03-0269-07

Die Casting Process Design and Practice

WANG Longsheng

(Lianyungang Yutai Machinery Co., Ltd., Lianyungang 222300, China)

Abstract: Die casting in the mass production process, in order to ensure the stability of product quality, in the early stage of die casting design, the selection of die casting machine, mold modeling analysis, die casting process design, as well as the selection of auxiliary equipment and other comprehensive factors were considered; Taken preventive measures in advance for casting quality problems, the production process was optimized. The results show that the die casting meets the requirements of customers, improves the pass rate and reduces the production cost.

Key words: die casting machine selection; mold modeling analysis; die casting process design; auxiliary equipment

压力铸造依靠生产效率高,铸件尺寸精度高,表面粗糙度值小(压铸件尺寸公差等级可达CT3~CT6,表面粗糙度一般为 $Ra0.8\sim3.2\ \mu m$),广泛应用于灯饰外罩、园林机械,发动机及变速箱壳体等汽车零部件行业。但是由于压力铸造的几个特有的铸造形式,高压、高速势必会在铸造过程中产生铸造缺陷,比如气孔、缩孔、冷隔、裂纹等。

本文根据实际生产中出现的问题,从铸件开发前期就对压铸件容易发生的缺陷进行有效管控,在各个生产环节需要注意的事项进行探讨,从而提高铸件质量,保证稳定生产。

1　压铸机设备选型

在压铸产品报价初期和压铸模具设计时均涉及到压铸机吨位的选择,吨位的选用对后期的产品质量稳定性以及压铸件生产效率会产生重大影响。设备型号选择大了,会造成成本浪费,充满度不足导致产品会出现过多的卷气,造成产品缺陷;设备型号选择小了,会导致铸造过程中涨型力大于锁模力而限制了设备铸造压力的有效使用,影响产品内部质量。所以对于压铸机吨位的选型依据下面3个步骤。

1.1　校验锁模力

(1)总投影面积　A= 铸件投影面积 $A1$+ 浇道面积 $A2$ (0.15~0.3A1)+ 排溢系统 $A3$(0.1~0.2A1)+ 料柄面积 A4(3.14xdxd;d 为料室直径,亦既为冲头直径)(见图1)。

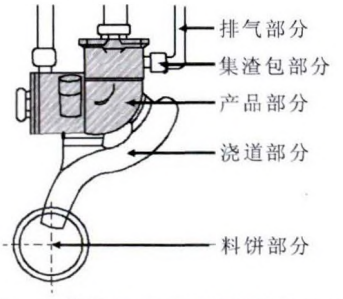


图1 压铸件投影面积各结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of projection area of die-casting products

(2)胀型力　$F1$= 总投影面积 Ax 压射比压(MPa)。所谓压射比压即为单位面积上所承受的压力,根据经验:一般件 30~50,承载件 50~80,耐气密件 80~100。

(3)锁模力　$F2$= 胀型力 $F1/K$。K 为保险系数:0.85 初选压铸机吨位。

收稿日期:2018-10-01

作者简介:王龙生(1981-),山东菏泽人,大专.主要从事镁、铝合金压力铸造的工艺研究.电话:15020001066,
E-mail:wanglongsheng66@163.com

1.2 校验充满度

(1)总重=铸件重+浇道重+料柄重+排溢系统重各个部分的投影面积已有,算其深度,则知其体积。

(2)充满度=总重/浇铸量　浇铸量为不同的压铸机使用不同的料室时的最大合金重,根据充满度值校验初选压铸机吨位,通常充满度在40%~75%(见图2-a)选择压铸机熔杯,建议选择此压铸机推荐的熔杯型号取中间型号为佳。

1.3 校验模具尺寸

(1)对铸件进行简单的模具测量,估测出模具基本尺寸。

(2)根据模具尺寸校验所选压铸机的哥林柱内距是否合适,最后确定使用压铸机的吨位。

在产品设计时针对压铸机选型期间,要充分考虑综合性因素,充满度40%~75%,模具大小不易超出哥林柱间距,建议选择压铸机型号宜大不宜小。

2 模具建模分析

在高压铸造中,虽然可以配备足够好的真空系统,来提高产品质量,但是如果没有良好的浇铸系统,如流道设计、溢流系统、排气系统,不能对金属液的流向和流动分布进行优化,那么最终结果还是会得不到预期的结果。所以在模具设计之初我们需要对模具设计进行反复论证,通过模流分析,确定最佳的浇排方式。

2.1 模流分析意义

每一款压铸件的形状和结构各不相同,每一套新压铸模可能都会隐藏着未知的潜在问题。如果仅仅依靠个人经验和技术来设计压铸模具,很难保证每一套压铸模具设计都达到最佳的浇铸方式,很难有效提高模具设计质量,给后期生产也会造成很大的困难。

所以有必要用辅助软件来实现压铸模具设计的先期策划。压铸模流分析软件可以对模具设计方案和完成3D数模分析进行验证。在模具制作前期就能观测出潜在的问题,比如填充流动顺序合理性?是否卷气?模具热节部位位置在何处?缩孔位置会出现在哪里?等等,然后通过数字化模拟改变模具的浇铸方式以及排溢系统来改善和解决先期缺陷,并通过冷却系统,改善热节部位的温度场,保证模具的热平衡,消除或者减少模具缺陷。

2.2 模流方案案例

(1)在模拟参数相同的前提下,设计方案一采用4个进料浇口的设计方式在填充完成时,进料均匀、料流平稳,填充顺序合理,不会产生卷气,有利于成型。

(2)在模拟参数相同的前提下,设计方案二采用2个进料浇口的设计方式在填充完成时,明显可以看出进料不足,填充不同步,顺序不合理,很容易产生卷气,对产品质量造成很严重影响。

根据以上案例可以得出,任何一种压铸件的进料方式,在模具制作前期,通过模拟对浇排系统进行分析并提前进行预防,最终确定最佳的设计方案,从而确保在后期生产中保证产品质量和生产效率。

3 压铸机工艺参数设计

压铸是熔融金属填充型腔的过程,此过程是将压力、速度、温度以及时间等工艺因素得到动态平衡的过程。

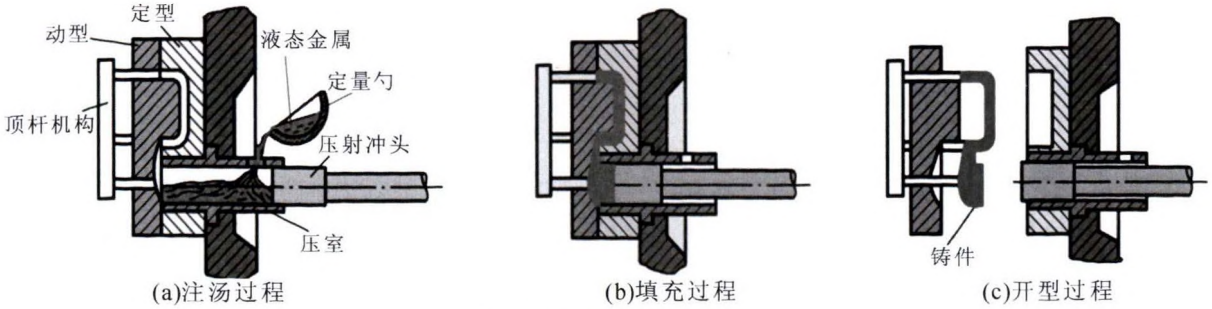
这些工艺因素既相互制约,又相辅相成,只有正确选择和调整这些因素,使之协调一致,才能获得预期的结果。

压铸过程中,我们不仅重视铸件结构的工艺性,铸型的先进性,压铸机性能和结构优良性,压铸合金选用的适应性和熔炼工艺的规范性。更应重视压力、速度和时间等工艺参数对铸件质量的重要作用。

3.1 铸造中压力选择

压力的存在是压铸工艺区别于其他铸造方法的主要特点。压力是使铸件获得组织致密和轮廓清晰的因素,压力的表示形式有压射力和比压两种。

(1)压射力　压射力是压铸机压射机构中推动压射活塞运动的力。压射力是反映压铸机功能的



(a)注汤过程　(b)填充过程　(c)开型过程

图2 压铸填充过程示意图

Fig.2 Schematic diagram of die casting filling process

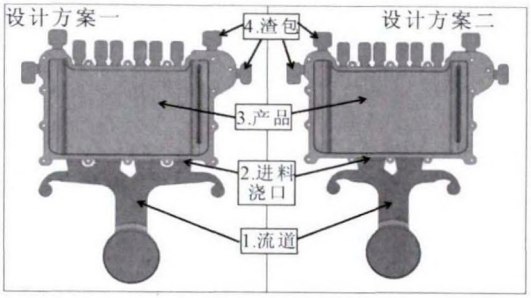


图 3 压铸件两种浇铸方式方案示意图

Fig.3 Schematic diagram of two casting modes of die casting

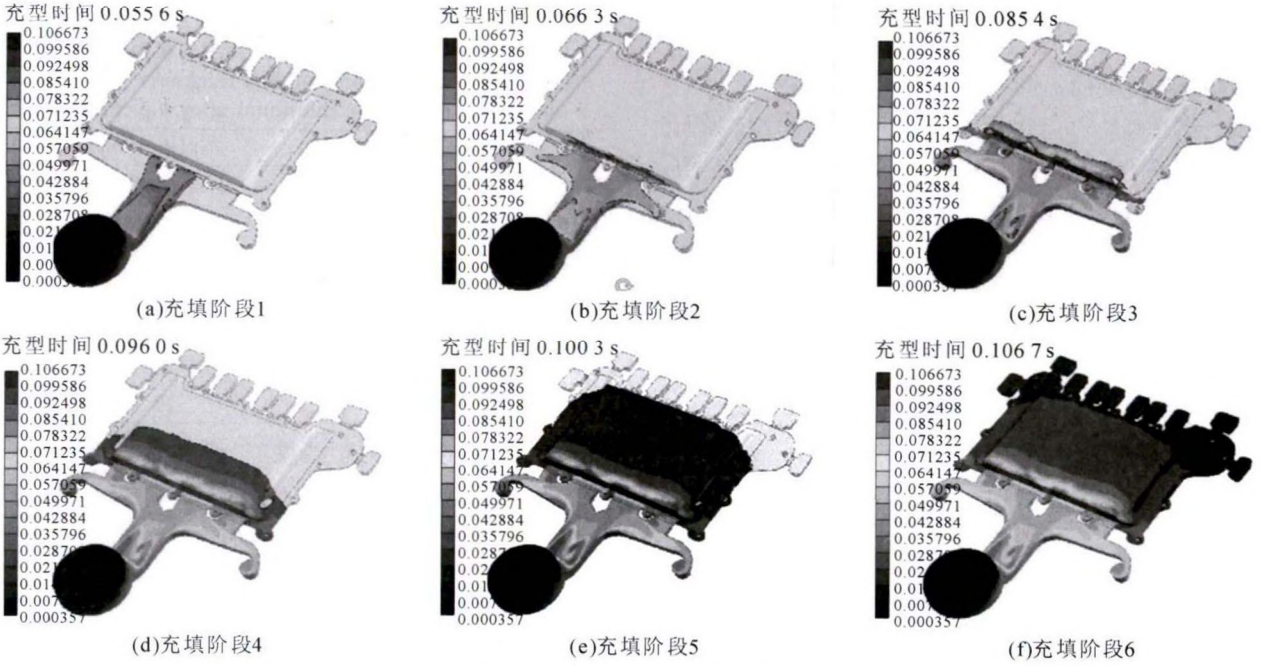
一个主要参数。压射力($F_{压}$)的大小是由压射缸的截面积($A_{缸}$)和压射腔内工作液的压力($P_{液}$)所决定。压射力的公式如下：

$$F_{压}=P_{液}\times A_{缸}$$

(2)压射比压　压室内熔融金属在单位面积上所受的压力称为比压。比压是压射力($P_{射}$)与压室截面积($A_{室}$)的比值，其计算公式如下：

$$P_{比}=P_{射}/A_{室}$$

将填充时的比压称为填充比压又称压射比压。

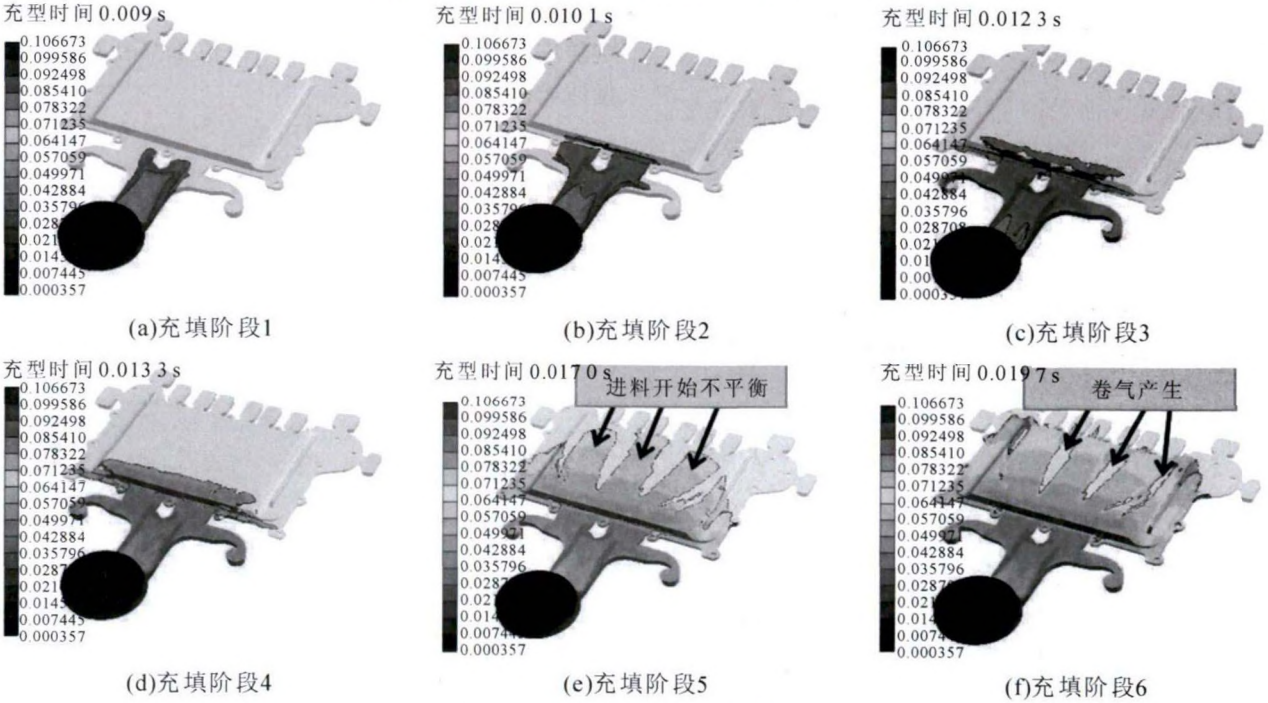


(a)充填阶段1　(b)充填阶段2　(c)充填阶段3

(d)充填阶段4　(e)充填阶段5　(f)充填阶段6

图 4 设计方案 1 模流模拟效果图

Fig.4 Simulation effect of mold flow in design scheme 1



(a)充填阶段1　(b)充填阶段2　(c)充填阶段3

(d)充填阶段4　(e)充填阶段5　(f)充填阶段6

图 5 设计方案 2 模流模拟效果图

Fig.5 Simulation effect of mold flow in design scheme 2

增压阶段的比压称为增压比压，这两个比压的大小同样都是根据压射力来确定的。

(3)压力的作用和影响　①填充比压是克服浇注系统和型腔中的流动阻力，特别是内浇口处的阻力，使金属液流保证达到需要的内浇口速度；②增压比压则是决定了正在凝固的金属所受到的压力以及这时所形成的涨型力的大小；③比压对铸件力学性能的影响：比压大，结晶细，结晶层增厚，由于填充特性改善，表面质量提高，气孔影响减轻，从而抗拉强度提高；④对填充条件的影响：合金熔液在高比压下填充型腔，合金温度升高，流动性改善，有利于铸件质量的提高。

针对压力的作用以及对产品质量的影响，我们在生产过程中，需要保证设备压力正常，减少铸造压力损失以及设备本身压力内泄；减少压射充填时对压射头行进的阻力，保证蓄能器内氮气压力及储能压力正常。国内设备蓄能器氮气压力大小一般依照设备系统压力为基准：增压氮气压力为系统压力的 70%~75%，高速氮气压力为系统压力的 75%~80%为宜。

3.2　压射速度选择

(1)慢压射速度　指自冲头运动开始，将压射室内合金液向型腔慢慢推进，直至合金液推到内浇口时的前进速度，这一级速度的选择原则(见图 6)：①使注入压射室的合金液推至内浇口时的热量损失为最小；②尽量避免冲头前进时合金液不产生翻滚，涌浪卷气现象；③充分排出浇道内的气体；④减少热量损失。

所以低速速度过高，铸件容易产生气孔，低速速度过低，低速前进时间加长，合金液热量损失过多，流动性降低，影响充型能力，铸件外观质量差。一般的铸造低速速度根据压室充满度：压室的充满度小 (40%以内)0.25~0.35 m/s，压室的充满度大(40%以上的)0.15~0.25 m/s。

(2)快压射速度　指冲头推送合金液由内浇口至充满型腔时的速度，一般设定高速速度的选择原则为(见表 1)：①合金液在充满型腔前必须具有良好的流动性；②保持合金液呈理想有序地充满型腔，并把型腔中气体排出；③不形成高速金属流冲刷型腔型芯，避免粘膜。一般情况均按从低速向高速逐步调节，在不影响铸件质量的情况下，以较低的充填速度为宜。因高速会加快模具型芯，型腔的老化；④在平时生产过程中，如果部分设备无法验证压射速度大小，就依照没有飞边产生的情况下，保证外观良好为准，适当增加速度可减少缩孔的产生，但是卷气的几率会增大。

表1 铝合金压铸件壁厚与快压射速度对照表
Tab. 1 Comparison table of wall thickness and rapid injection velocity of aluminum alloy die casting

壁厚 /mm	浇口速度 /(m/s)
-0.8	46~55
1.3~1.5	43~52
1.7~2.3	40~49
2.4~2.8	37~46
2.9~3.8	34~43
4.6~5.1	32~40
6.1-	28~35

(3)减速速度(刹车速度)　高速射出充填完了时，为了减少射出冲击波对模具的影响，可以选择在高速充填完了之前进行减速的功能，这对防止、减少飞边非常有效。但是减速速度过低，会影响产品质量，需要谨慎选择减速速度。一般减速速度建议为高速平均速度的 50%为宜。

3.3　压射时间及切换位置

压射充填过程中，切换位置分为高速切换位置，增压位置，减速位置。每一个切换位置都会对产品质量造成影响(见图 7)。

(1)增压切换位置(增压起点)对压铸件质量的影响及选择方法(见图 8)　①在型腔尚未填充或者填充中途，增压缸提前动作，待型腔填充完毕，增压缸活塞活动也终止，故无法形成增压后的高压比，铸件在较低压力下结晶成形，严重影响产品质量；②增压转换过迟，铸件已经凝固，增压压力虽然已经建

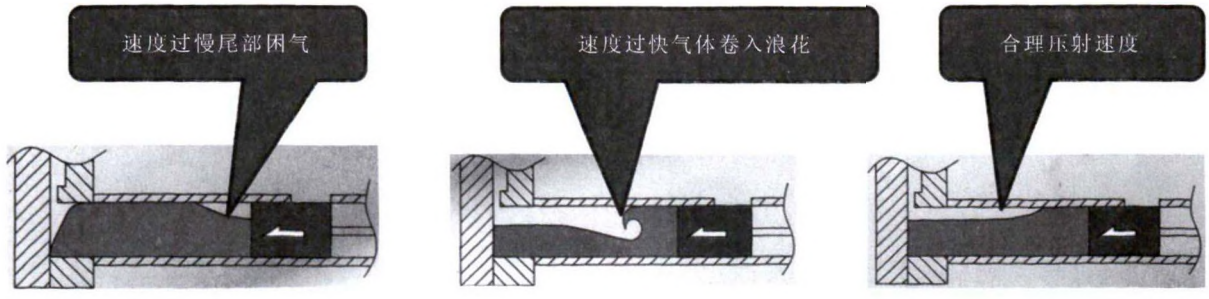


图 6 压射低速速度选择示意图
Fig.6 Diecasting speed position switching diagram

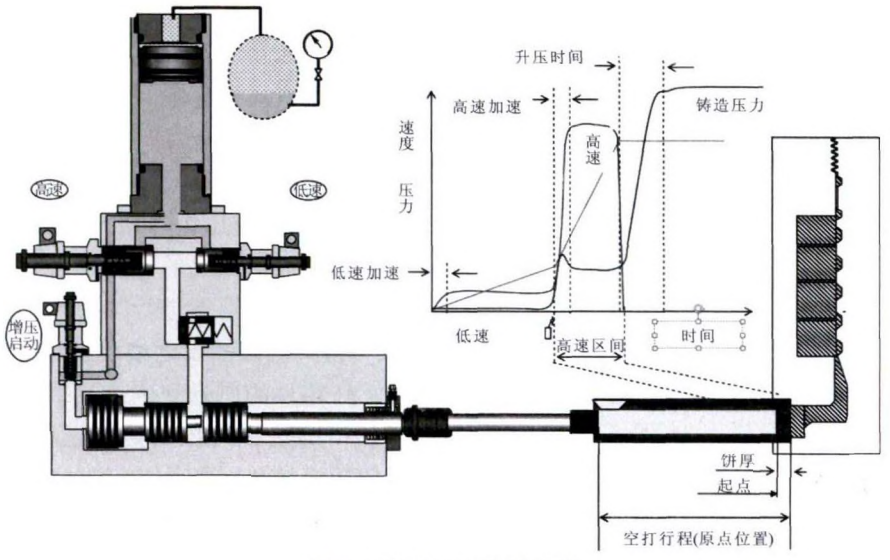


图 7 压射系统工艺展示图

Fig.7 Process diagram of injection system

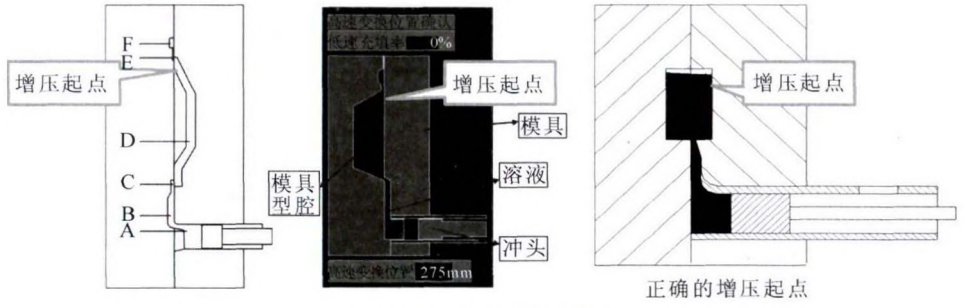


图 8 增压切换位置示意图

Fig.8 Diagram of pressurized switching position

立,但是无法传递至铸件内部;③正确的增压转换点,应选取在型腔基本填充满前,立即进行增压,方能获得预期的效果; ④增压位置选择计算方式:压射原点-料饼厚度-(增压缸长度×0.75)。

(2)高速切换位置(二快切换位置)对压铸件质量的影响及选择方法 (见图 9) ①高速切换点过早,熔杯内气体没有完全排出,部分气体卷入金属液内部,随之被压入型腔,在铸件内部形成气孔;②高速切换点过晚,金属液已经进入模具型腔,液流阻力增大; 另外部分接触模具的金属液过早冷却凝固,与内部过热金属液产生分层,展现在产品表面的缺陷就是麻面, 后处理抛丸会出现产品外观起皮;②最佳的高速切换点是金属液在刚刚达到内浇道时。对于复杂大型压铸件, 比如离合器壳体, 变速器壳体,缸体等,在不影响产品外观和后续表面处理的情况前提下,高速切换位置可选择滞后,这样会增加产品内部致密性,尽可能的排尽型腔内的气体,滞后位置为待金属液进入型腔 1/4 位置时高速开启为宜。

(3)减速位置的设置(见图 10) ①减速位置设定基准在铝液未进入排溢系统之前开始; ②在高速位置与增压位置之间设定减速位置 (或者速度开始降低),当减速位置越靠近高速位置,则表示效果越大;当靠近增压位置,则表示减速效果越小;③根据经验,设置减速位置在增压位置前 0~50 mm 的范围内,根据铸件飞边大小进行调整;不能无限制的延长减速形成来保护模具,减速行程过长,会影响产

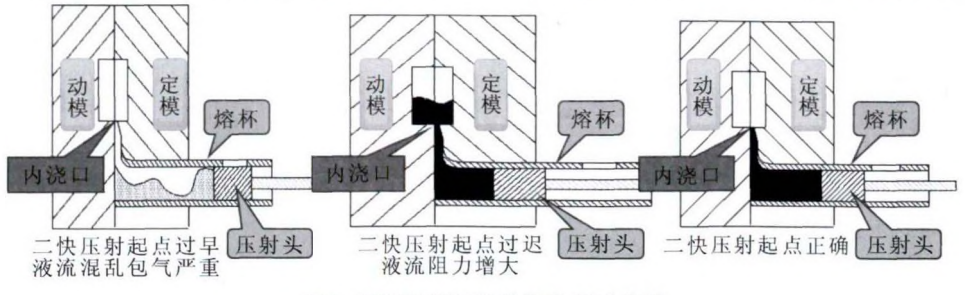


图 9 压射高速切换位置选择示意图

Fig.9 Schematic diagram of switch position of injection at high speed

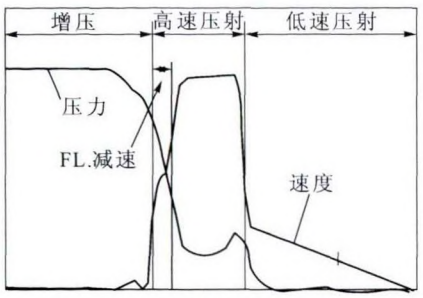


图 10 压射减速位置设置示意图

Fig.10 Schematic diagram of setting position of injection deceleration

品质量。

4 辅助设备选用

4.1 真空技术在压铸生产中的应用

压力铸造的成型过程为将熔融金属高速射入金属型并使之在高压下凝固，见图 11。这种工艺有其天生的缺陷，即铸件中存在气孔，其主要原因是熔融金属液高速射入压铸型腔过程中带入了空气，金属液进入型腔在与型腔内的气体置换的过程中，型腔内气体不能及时的全部排出，被迫在铸件内形成气孔。铸件中气孔的存在对力学性能非常不利，并严重破坏了铸件高压气密性。另外，那些已经形成尤其是接近铸件表面的气孔，都有膨胀的趋势，导致热处理后铸件表面形成气孔。因此，铝合金压铸件的应用仅限于那些不要求这种热处理的非结构件。通过分析压铸过程中有害气体的来源，利用先进的压铸真空工艺，来解决产品质量问题。

4.1.1 压铸过程中有害气体的主要来源

(1)熔杯内以及模具型腔内的气体不能顺利排出。

(2)脱模剂粘附于模具表面，受到金属液高温后产生的气体。

(3)冲头润滑剂产生的气体进入型腔，无法顺利排出。

4.1.2 真空压铸的优点及应用

(1) 压铸工艺过程使用真空辅助设备显著降低了铸件中气孔的容积和孔径。

(2)铸件组织致密性和力学性能都得到了提高，尤其是拉伸强度和延展性得到了很大提高。

(3)与传统压铸件相比，热处理之后真空辅助压铸件出现表面气孔的情况少得多。这就表明，可对真空压铸件在高温下进行热处理，以改善其力学性能。

4.2 模具温度控制之模温机(见表 2)

压铸件的质量和生产效率在很大程度上取决于压铸模的热平衡控制是否正确，有效地控制和调节压铸模的热平衡，才能促使压铸工艺参数的稳定。

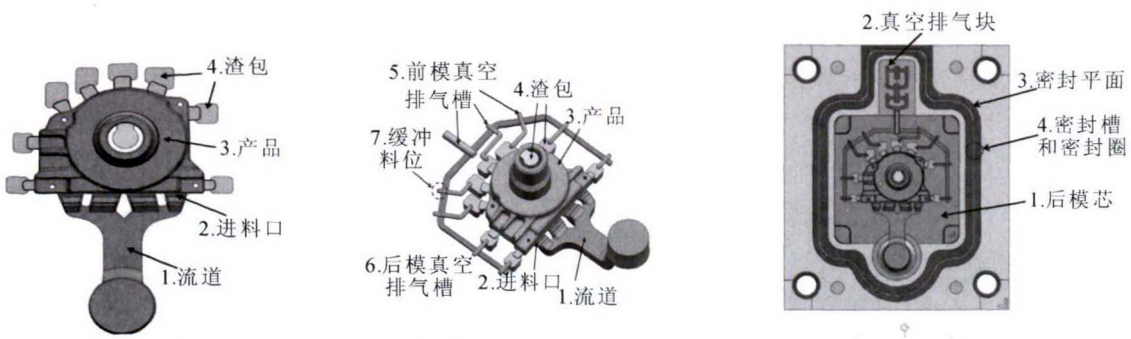
表2 各种铸造金属模具温度工作温度范围参考

Tab.2 All kinds of casting metal mold temperature working temperature range reference

合金种类	模具温度/℃
锌合金	160~200
镁合金	180~240
铝合金	200~250
铜合金	280~350

压铸生产中当模具散失输出的热量大于从合金液传导输入给模具的热量，例如当采用较大的模具压铸薄壁零件或采用较多滑块结构的模具时，为了达到模具的热平衡，必须另给模具附加热量；增加附加热量的方法可以采用模具温度控制机（模温机），模具外部置放绝热体或铸件多余部分包括溢流槽的设置等方法解决。反之模具输入的热量大于散失输出的热量，模温超过规范，模具温度控制机还可以加速冷却，通过降低模温油的温度，带走模具过热造成的多余热量。最终实现模具在设定的温度场连续工作，保证产品质量的稳定。

有效地控制与调节模具温度，不仅可以延长压铸模寿命，而且也是保证合金液充型良好、稳定铸件质量的关键工艺参数。目前对压铸件质量有要求，而又没有相应控制模温手段的压铸车间，基本要求在



(a)普通压铸　(b)普通压铸改进真空压铸　(c)真空压铸

图 11 普通压铸改进成真空压铸示意图

Fig.11 General die casting improved into vacuum die casting schematic diagram

生产前模具要预热，避免合金液激冷过快，突然增大模具温度梯度而降低铸件质量和过早损坏模具，要按工艺规程对模具关键部分的温度进行检查和调节，控制好生产节奏与合金液的浇注流量，以及喷涂的调整。

4.3 高压点冷机

高压点冷机是针对压铸模具的局部温度进行控制。其主要功能是在铸造过程中将模具局部进行循环冷却及对超细型芯内部进行高压点冷却，使模具整体实现均匀冷却，以消除型腔或型芯局部过热造成的铸件热缩或提前龟裂缺陷。通过本设备对模具局部温度的控制，提高铸件整体质量和降低产品因为局部过热产生缩松而导致试压泄露的几率。同时大幅延长模具和型芯的使用寿命，降低模具维护频率，提高压铸生产效率。

5 结论

影响压铸件质量以及生产效率的因素不仅局限于量产阶段对压铸机工艺参数的控制，无论铸件开发前期或者后期的量产阶段，产品质量以及生产效率的提升都是一个持续改善的过程。每一个阶段的持续改善，都需要我们对铸件结构，浇铸方式等进行收集大量的分析数据作为依据，进行有条理的，针对性的改进，从而达到我们预期的效果。

参考文献：

[1] 姜银方，顾卫星，朱元右，等. 压铸模具工程师手册[M]. 北京：机械工业出版社，2009.

[2] 吴春苗. 压铸技术手册[M]. 广州：广东科技出版社，2007.

[3] 刘付国宇. 探讨压铸模具的创新设计 [OL]. 百度文库：https://wenku.baidu.com/view/8fba181f182e453610661ed9ad51f01dc281578b.html，2017.

[4] 刘付国宇. 局部厚壁件全密封真空压铸模具设计 [OL]. 百度文库：https://wenku.baidu.com/view/8fba181f182e453610661ed9ad51f01dc281578b.html，2017.

[5] 金重阳，张素香，孙铁，等. 真空压铸技术对铝合金压铸件的外观质量和力学性能的影响[J]. 铸造，2016，65(6)：524-526.

[6] 万里，赵芸芸，潘欢，等. 铝合金高真空压铸技术的开发及应用[J]. 特种铸造及有色合金，2008，28(11)：858-861.

[7] 王晓梅，程晓宇. 压铸铝合金工艺与性能研究 [J]. 铸造技术，2012，33(4)：449-451.

[8] 薄冰，潘冶，陆韬，等. 工艺参数对 ADC12 铝合金压铸件微孔缺陷与力学性能的影响[J]. 铸造，2017，66(2)：127-130.

(上接第 262 页)

过在涡轮导向器的叶片排气边加强保温，可以解决重力浇注条件下的叶片欠铸与粗大柱状晶的缺陷问题。

3 结论

(1)涡轮导向器的叶片排气边厚度薄，在铸造过程中易形成欠铸缺陷，且由于叶片排气边与叶身存在温度梯度，导致粗大柱状晶缺陷的产生。

(2)调整浇注工艺参数，并通过在涡轮导向器型壳的叶片排气边位置覆盖保温层，可以降低叶片排气边型壳的散热速度，减小或消除叶片排气边与叶身的温度梯度，实现叶片排气边的完整充型，使粗大的柱状晶转变为较细小的等轴晶，提高了导向器的冶金质量。

参考文献：

[1] 于保正，汤鑫，刘发信. 细晶铸造 K418B 合金热处理工艺研究[J]. 航空材料学报，2002，22(3)：13-21.

[2] 袁文明，刘发信，汤鑫. 铸型搅动法细晶铸造对 K418B 合金整体涡轮组织和力学性能的影响 [J]. 航空材料学报，1998，18(4)：19-25.

[3] 于保正，汤鑫，刘发信. 细晶铸造 K418B 合金热等静压工艺研究[J]. 机械工程材料，2003，27(3)：24-26.

[4] Fei Wang, Fei Li, Bo He, et al. Gel-casting of fused silica based core packing for investment casting using silica sol as a binder [J]. Journal of European Ce ramic Society, 2013, 33 (13-14): 2745-2749.

[5] 尹庆玲. K403 合金涡轮导向器的精密铸造工艺 [J]. 铸造技术，2014，35(3)：602-603.

[6] 周志华，李维，吴剑涛，等. K414 导向器精铸工艺研究[J]. 钢铁研究学报，2011，23(增 2)：438-441.

[7] 黄艳松，马俊文，文柏衡，等. 某发动机涡轮导向器精密整体叶盘铸造工艺研究[J]. 新技术新工艺，2012，(5)：64-68.

欢迎到当地邮政局(所)订阅 2019 年《铸造技术》杂志

国内邮发代号：52-64　国外发行号：M855　国内定价：18 元/本　海外定价：18 美元/本