• 特种铸造 Special Casting •
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.03.015

熔模铸件砂眼缺陷分析

朱伟杰[1],潘玉洪[2]
(1.无锡市雪浪合金钢铸造厂,江苏 无锡 214161; 2. 无锡市凯斯特铸业有限公司,江苏 无锡 214161)

摘　要:阐述了熔模铸造铸件出现砂眼缺陷的特征与出现的部位,分析了砂眼缺陷产生的内、外部原因并提出了相应的对策。结果表明,砂眼是由于型壳内、外部的型砂和/或耐火材料进入型腔形成的,尽量减少影响型壳质量的人为因素,提高型壳质量是防止铸件砂眼最有效的措施。

关键词:熔模铸件;砂眼缺陷;控制措施
中图分类号: TG249　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)03-0267-06

Sand Hole Defects Analysis of Investment Casting

ZHU Weijie[1], FAN Yuhong[2]
(1. Wuxi Xuelang Alloy Steel Foundry Co., Ltd., Wuxi 214161, China; 2. Wuxi Kester Casting Co., Ltd., Wuxi 214161, China)

Abstract: The characteristics and parts of sand hole defects in investment casting were described, the internal and external causes of sand hole defects were analyzed, and the corresponding countermeasures were put forward. The results show that the sand hole defects are formed when molding sand and/or refractory materials from inside and outside the mold shell entered the mold cavity. Minimize the human factors affecting the quality of mold shell, the most effective measure to prevent casting sand is to improve the quality of mold shell.

Key words: investment casting; sand hole defects; control measures

砂眼是熔模铸件常见的缺陷之一。因其属于常见病、多发病而在铸件的不良品中占有的比例较大。如果砂眼在铸件的表面上,清砂后能被及时发现;如果砂眼在铸件的内部、距离表面较浅,可以在加工后被发现;如果砂眼在铸件的内部、距离表面较深,只能残留在铸件的内部,从而降低铸件的有效承载面积,降低铸件的机械性能和使用寿命,甚至导致事故。从综合经济效益方面考虑,有砂眼缺陷的铸件可以修整,增加生产成本;不能修复的铸件只能报废;如果砂眼的废品多,不仅增加生产成本,还影响正常生产进度和交货期,给企业带来更大的损失。

1 砂眼概况

1.1 砂眼特征

铸件的表面或内部有型砂和/或耐火材料形成的孔穴,称之为砂眼。如图1。

1.2 产生部位

大部分砂眼是由于型腔中的型砂和/或耐火材料,被金属液流挤到型壳的底部和/或离浇口较远的端面,不能上浮而产生砂眼;有的型砂和/或耐火材料被金属液的涡流卷入铸件的内部,形成了砂眼;距离铸件表面较浅,在机械加工后就能被发现,如图2;或残留在铸件的较深的内部。

2 产生原因

砂眼产生的主要原因有两个方面:一是来源于型腔的外部,二是来源于型腔的内部。

2.1 来自型腔的外部

(1)浇口芯棒不干净,粘有型砂和/或耐火材料;脱蜡后,型腔中残留型砂和/或耐火材料。

(2)脱蜡液中残留型砂和/或耐火材料,在脱蜡过程中当脱蜡液沸腾时,将其卷入型腔;或将浇口杯上的型砂和/或耐火材料卷入型腔。

(3)在型壳存放、搬运或焙烧时,不慎使型砂和/或耐火材料掉入型腔,浇注前没有吸净残留在型腔中的型砂和/或耐火材料,如图3;尤其是浇注时用型砂覆盖浇冒口时,不慎把型砂落入没有浇注的型腔中,如图4。

如果浇注前未能将进入型腔中的型砂和/或耐火材料清掉,浇注时,金属液将这些型砂和/或耐火材料挤入型壳的底部和/端面不能上浮;则铸件冷凝后,在铸件的底部或端面产生了砂眼。

(4)浇口杯设计不当,使浇口杯附近的型砂和/

收稿日期:2020-02-12
作者简介:朱伟杰(1971-),江苏无锡人,工程师,主要从事熔模铸造工艺方面的工作.电话:13806175022.

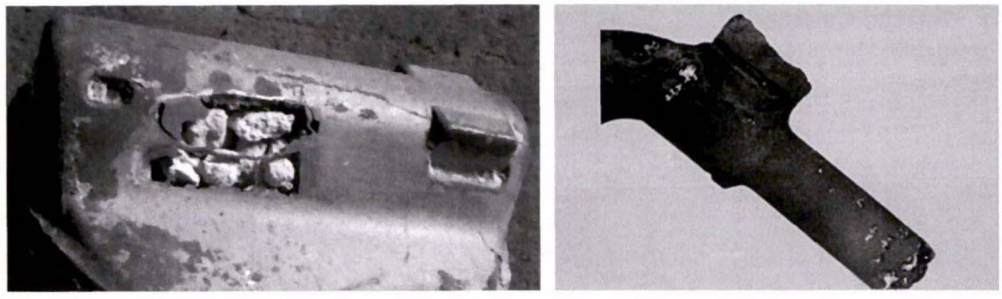

图 1 砂眼
Fig.1 Sand hole defects

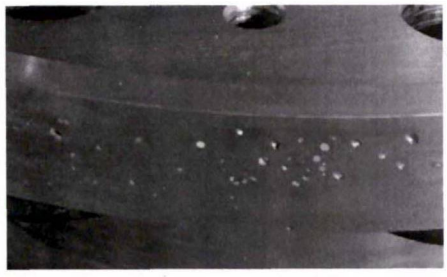

图 2 加工后发现的砂眼
Fig.2 Sand hole defects after cutting process

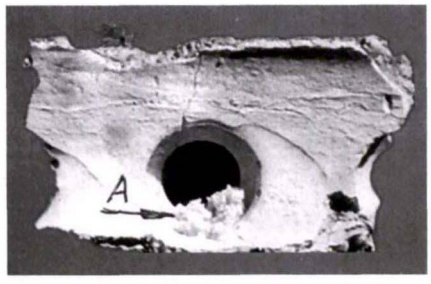

图 3 型腔中残留的型壳材料和涂料渣
Fig.3 Residual mold shell materials and paint residue in mold cavity

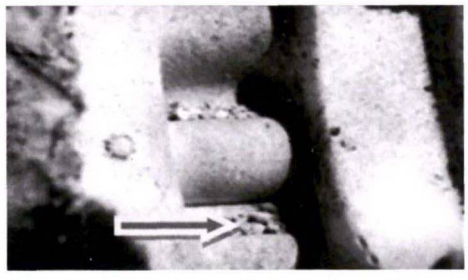

图 4 覆盖浇冒口时,型砂落入型腔
Fig.4 Molding sand falls into the mold cavity When covering the pouring riser

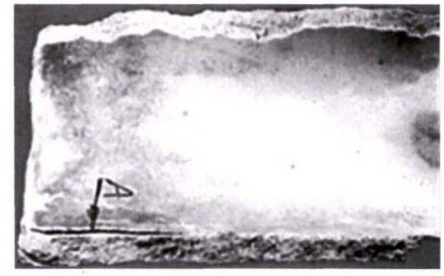

图 5 型壳面层分层
Fig.5 The layered of shell surface

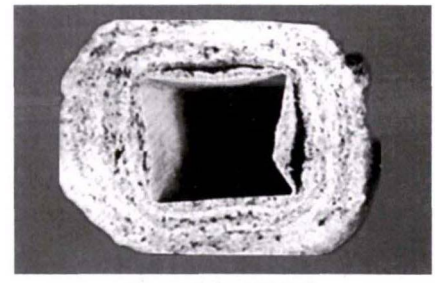

图 6 型壳面层鼓胀
Fig.6 The ballooning of shell surface

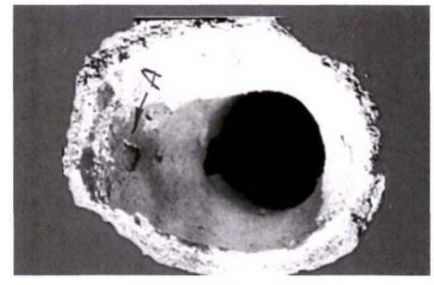

图 7 型壳面层剥落
Fig.7 The Peeling off of shell surface

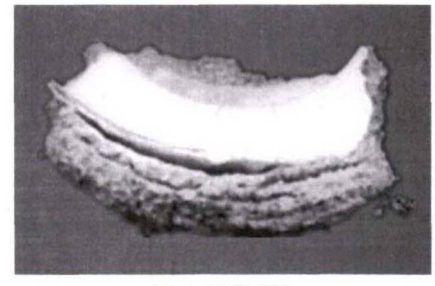

图 8 型壳酥松
Fig.8 The degeneration of mold shell

或耐火材料落入型腔。

2.2 来自型壳的内部

(1)型壳的内表面层与加固层局部结合不牢而分层,如图 5;鼓胀,如图 6;面层局部剥落,如图 7;型壳酥松,如图 8。

水玻璃型壳的面层涂料常用粉料重量略大于粘结剂重量的配比,即水玻璃:石英粉 =1:(1.00~1.10)。这样的配比在一般的情况下都能保证型壳的耐火度和表面质量,而且粘度也比较合适。如果石英粉的含量过大,使涂料的粘度增加,涂料层厚而且不易充分地硬化;同时由于水玻璃的含量过

少，表面强度将下降，脱蜡后型壳发酥，容易粉化或脱落；浇注后在铸件上产生砂眼。

水玻璃型壳面层硬化后的晾干时间过短，在其表面上残留较多的硬化液，是造成面层与加固层结合不牢的主要原因；浇注时金属液冲掉局部面层形成砂眼。

当硅溶胶中的 SiO_2 含量过低，涂料配置不当，回性时间短；撒砂种类与硅溶胶涂料不匹配，或撒砂材料中的含水量、含粉尘量过大；以及硅溶胶型壳干燥的不当，如室温、场地湿度、风速和干燥时间不当等等因素，均导致硅溶胶型壳面层开裂、剥落、分层、鼓胀和酥松等缺陷。从而导致浇注后铸件产生砂眼。

(2)型腔中有飞翅　蜡模残留裂纹，如图 9；流入组树、制壳；在蜡模的裂纹处，产生毛刺。

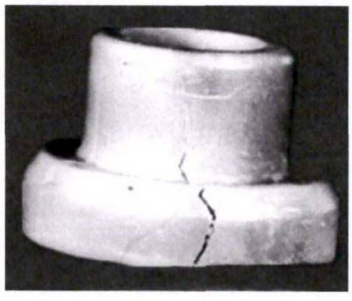

图 9 蜡模残留裂纹
Fig.9 Residual cracks in the wax mold

蜡模组装时，水口处焊缝没有焊严密，局部留有缝隙；在涂挂过程中，涂料流入该缝隙中形成薄片状的飞翅，如图 10；当浇注时，金属液冲掉这些飞翅，使铸件形成砂眼。

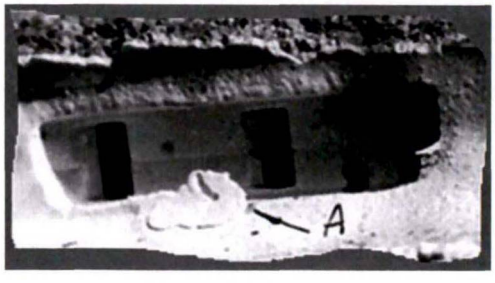

图 10 型腔中的毛刺
Fig.10 Burrs in the mold cavity

(3)浇注系统设计的不合理，使耐火材料和 / 或型砂直接进入型腔。

(4)浇注操作不当，使金属液对型腔的冲刷剧烈，冲掉耐火材料和 / 或型砂。

从生产实践中发现，砂眼中有耐火材料和 / 或型砂，则多数是由型壳本身造成的；如果砂眼中只有型砂，则多是由外界进入而造成的。

3 防止措施

3.1 防止耐火材料从外部落入型腔

(1)应经常清理脱蜡液中的杂物，使之保持洁净；脱蜡时，避免脱蜡液沸腾，以免将脱蜡液中的耐火材料和 / 或型砂卷入型腔。

(2)型壳脱蜡前，应将浇口杯附近的浮砂清除干净，以防在脱蜡的过程中自行落入型腔；最好脱蜡后在浇口杯上再涂上一层涂料，避免浇口杯上的耐火材料和 / 或型砂落入型腔。

(3)在型壳存放、搬运或浇注时，应细心操作，避免耐火材料和 / 或型砂落入型腔，尤其在浇注前，应仔细检查型腔内是否有耐火材料和 / 或型砂，并用吸尘器吸出型腔中的耐火材料和 / 或型砂。

型壳浇注后，有的单位采用将型砂填入浇口杯，以减缓浇口杯的冷却速度，增加浇注系统的补缩作用。填砂应仔细操作，如果稍有不慎，把型砂落入未浇注的型壳中，必须立即用吸尘器将其吸出。

(4)必要时改进浇口杯的设计，避免耐火材料和 / 或型砂直接落入型腔。

(5)蜡模组树时，其重要的部位应该放在上面，而且放在接近直浇口或横浇口的地方。

3.2 防止型腔内耐火材料的脱落

型壳是由粘结剂、耐火粉料、撒砂材料等，经过配置涂料、浸涂料、撒砂、干燥硬化、脱蜡和焙烧等工序制成的，如图 11。

型壳材料选用常用的材料。

3.2.1 配置涂料

涂料是型壳结构的基础。分为面层涂料和加固层涂料。面层涂料与金属液接触，它不应与金属液发生作用，并且应平整、光滑、致密又坚实。加固层涂料是加固、加厚型壳，使型壳具有良好的性能。配置涂料操作：

3.2.1.1 硅溶胶涂料

(1)配比是关键，加料顺序很重要　准确选择涂料中各组成的加入比例是保证涂料质量的关键。先加入硅溶胶，再加入润湿剂混匀；在搅拌中缓慢地加入耐火粉料(防止粉料结块)，最后加入消泡剂。

(2)涂料搅拌时间　新配置的面层涂料应大于 24 h 才能使用；部分新配置的涂料，搅拌时间也应为 12 h 后才能使用。过渡层和背层涂料的搅拌时间可以缩短，新配置的涂料搅拌时间应大于 10 h，部分新料搅拌时间可以缩短为 5 h。配置好的涂料不能及时使用，应加盖密封防止水分蒸发。

(3)涂料质量控制　可以用粘度或密度控制

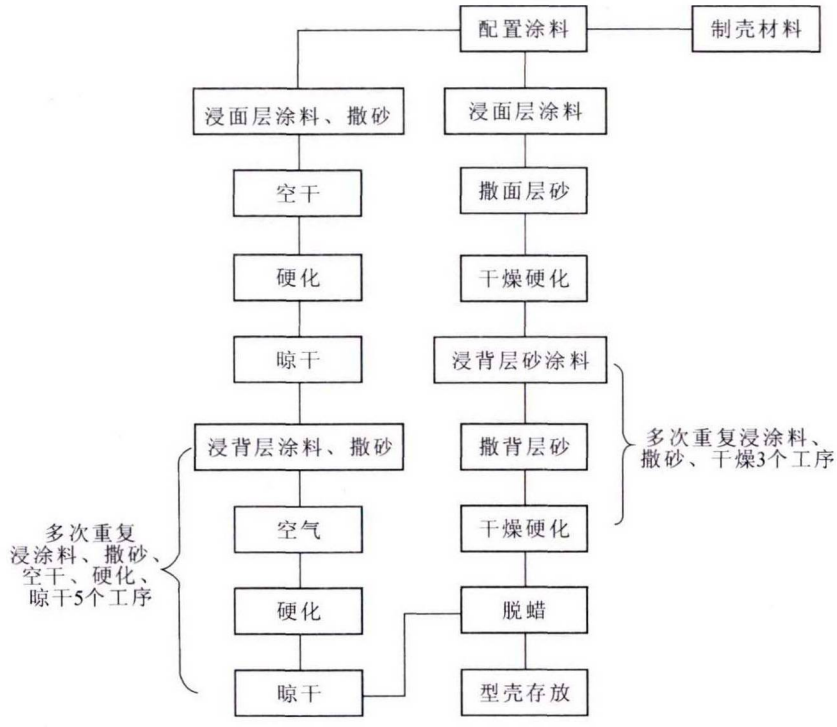

图 11 型壳制造主要工艺流程图(左:水玻璃型壳;右:硅溶胶型壳)
Fig.11 Main process flow chart of shell manufacturing (left: water glass shell; right: silica sol shell)

表 1 常用型壳材料
Tab.1 Common mold shell materials

材料种类	硅溶胶型壳	水玻璃型壳
技术要求	硅溶胶：化学成分 SiO_2 含量 30%，Na_2O 含量≥0.5%，密度 1.20～1.22 g/mm³，pH9.0～10.0，粘度(m²/s)≤8×10～4，最好≤4×10～4，SiO_2 胶体粒径：9～20 nm。 锆英粉砂：化学成分 ZrO_2 SiO_2≥ 98.6%；即 ZrO_2≥65%，TiO_2≤0.25%；Fe_2O_3≤ 0.10%；Al_2O_3≤1.0% pH6.0±0.5；密度 4.5g/cm³，外观：灰白色或掺灰黄之白色。粒度锆粉 300～325 目，锆砂 80～100 目。 莫来石粉砂：化学成分 $Al_2O_3$44～48%，$SiO_2$50～54%，TiO_2≤1.5%，Fe_2O_3≤1.2%，CaO MgO ≤0.7%，K_2O NaO≤0.3%，灼减≤0.5%；岩相：莫来石～56%；方英石～17%；非晶态：其余。密度 2.4～2.6 g/cm³，砂：16～30 目，30～60 目；粉尘量≤ 0.3%，含水量≤0.3%。	水玻璃：面层密度 1.25～1.28 g/cm³ 含背层密度 1.25～1.28 g/cm³；模数 M=3.0～3.4 石英砂粉：SiO_2 ≥98%，K_2O +Na_2O CaO + MgO≤1.0%，Fe_2O_3≤0.1%耐火度≥1 700 ℃。含水量≤0.3% 铝矾土粉：Al_2O_3>80%，Fe_2O_3≤1.5，粉尘量≤0.3%，含水量≤0.3，粒度 200 目。

注：为了满足铸件质量的需要，还可选用刚玉粉等。

表2 涂料的配置工艺参数
Tab.2 Preparation process parameters of coating

涂料种类	硅溶胶涂料	水玻璃涂料
面层、过渡层	粉液比(硅溶胶:锆英粉)1:3.6～4.0；加硅溶胶的 0.16%润湿剂，0.12%消泡剂；粘度 32～38 s；搅拌时间：新料≥12 h，部分新料≥8 h，二层涂料粉液比 1:1.5～1.8；新料搅拌≥10 h。部分新料≥5 h	面层和过渡层：液粉比(水玻璃:石英粉)1:1.10～1.30；加入 JFC0.05%；消泡剂 0.05%
背层	涂料粉液比(硅溶胶:莫来粉)1:1.4；新料搅拌≥10 h。部分新料搅拌≥5 h	液粉比(水玻璃:铝矾土)1:1.20～1.50；加入 JFC 和消泡剂各 0.05%；

涂料的粉液比，粘度有随着温度改变的特性，因此涂料的温度必须控制在很小的范围，才能采用粘度控制涂料的粉液比；采用密度就比较合适。

定期检测涂料的 pH 值，控制在 9～10 为宜，pH 值影响涂料和粘结剂的稳定性。

测定涂料中粘结剂 SiO_2 的含量。涂料在使用过程中，随着水分的蒸发，涂料中粘结剂 SiO_2 的含量的含量增加，涂料粘度升高；这时只能用蒸馏水调整；否则影响配比。有的企业用粘结剂调整，改变了涂料的配比，使涂料中的粘结剂含量增加，导致涂料过早的胶凝化，缩短涂料的使用寿命。

(4)涂料粘度或密度检测　正常生产时，涂料粘度每班上、下班前均需测定，调整粘度合格后，继续搅拌 8 h 以上可使用。

(5)涂料的有效期　面层涂料如不使用，工作寿命<14 d；过渡层涂料<30 d；背层涂料<60 d。

注：当新配置的涂料温度在工艺范围内，检测涂料的粘度过高，加硅溶胶调整；粘度过低，加锆英粉调整。

3.2.1.2　水玻璃涂料

使用氯化铵硬化剂时，水玻璃模数=3.1～3.4；表面层密度=1.25～1.28 g/cm³；加固层密度=1.30～1.32 g/cm³。

(1)涂料配置　计算水玻璃、粉料和JFC的加入量，准确称量；符合工艺要求的水玻璃一次性加入涂料搅拌机中，加JFC搅匀，粉料应分2～3次加入，边加边搅拌至全部搅拌均匀，再搅拌60～90 min。可间断搅拌每次搅拌时间不得小于30 min。配置后涂料应回性≥4 h，以便提高涂料的涂挂性和流动性，从而提高型壳的强度。

配好的涂料应静置4～8 h，使用前应充分搅拌，使其满足工艺参数(配比、温度和粘度)的要求。

若在表面层与加固层之间增加过渡层，其涂料粘度应比面层涂料粘度降低5～10 s。

注：配置涂料"配比是关键，粘度随着温度变"。为此，也可以检测涂料的比重。

3.2.2　制壳

3.2.2.1　硅溶胶制壳工艺参数

(1)硅溶胶型壳高温强度更好，制壳简单(只有："浸涂料—撒砂—干燥"3个工艺过程)，是一项绿色环保工艺方法。

(2)制壳操作　上涂料：把组树后的模组倾斜浸入涂料桶中，并且不断地转动和上下移动。特别注意蜡模的凹角、沟槽和孔洞处是否留有气泡，可以采用0.30～0.35 MPa的压缩空气、细的喷嘴轻轻的吹上述部位，或用毛笔涂刷上述部位，除去这些部位的气泡和多余的涂料，使模组的各处都均匀的涂挂上涂料；有效的防止型壳的裂隙、分层和产生的孔洞。

必要时，把型壳浸入硅溶胶预湿剂中，不超过2 s，取出后滴约5 s。有的企业在生产中取消预湿，因为该项操作弊大于利。

撒砂：撒砂是为了增强型壳和固定涂料，防止涂层干燥时由于胶凝收缩而产生的裂纹。

撒砂种类应与该层涂料的耐火材料一致，以保证热膨胀系数相同，增强撒砂与涂层的结合力。

撒砂粒度应合理。面层型砂不易过粗，易击穿涂层、打坏蜡模；过细不利于形成上下层的结合，导致型壳分层。

严格控制型砂中的含水量和粉尘含量，都要<0.3%。

注意：防止浇口边缘处涂层太薄。

干燥：干燥是制壳工艺中最关键的工序。型壳的干燥程度与型壳的强度密切相关；型壳面层干燥过快或型壳各部分干燥不均匀，由于凝胶的收缩应力均会导致型壳开裂。因此应严格控制壳间湿度、温度和风速。每层型壳必须干燥后才能制下一层型壳。

常用显色法和电阻法等检测型壳干燥的程度。

注：为了有效的缩短制壳周期，有些企业采用"快干硅溶胶制壳工艺"。快干硅溶胶型壳具有较高的湿强度，良好的高温强度，较低的残留强度。

有的企业在涂料中加入硅溶胶质量分数8%的防裂剂，采用强风干燥面层，不仅大幅度缩短了面层干燥时间，而且涂层没有龟裂、开裂、脱落、分层与鼓

表3 硅溶胶制壳工艺参数

Tab.3 Preparation process parameters of silica sol mold shell

型壳层数	面层	过渡层	背层	封浆
预湿剂	清洗后干燥静置>45 min的模组可进行制壳；必要时，应在予湿剂(25%的硅溶胶溶液或水)中预处理。		——	
涂料种类	面层	过渡层	背层	背层
撒砂，目	100～120	30～60	16～30	——
温度/℃	22～25			
湿度(%)	60～70		40～60	
风速，m/s	——	6～8		
干燥时间/h	4～6	>8	>12	>14

表4 制壳工艺参数

Tab.4 Preparation process parameters of sodium silicate mold shell

表面层				加固层			
硬化		空干		硬化		晾干	
温度/℃	时间/min	温度/℃	时间/min	温度/℃	时间/min	温度/℃	时间/min
20～25	6～8	20～25	15～40	20～25	3～10	20～25	10～30，或不干燥

胀等缺陷。

3.2.2.2 水玻璃型壳工艺参数

水玻璃粘结剂价格低廉,涂料稳定性好,制壳周期短;因此,水玻璃型壳在要求精度较低的铸件生产中被广泛的应用,由于环境因素的影响,近期水玻璃型壳大有被硅溶胶型壳替代的趋势。

水玻璃制壳需经过“浸涂料—撒砂—空干—硬化—晾干”5个工序,硬化是制壳工序中最关键的一个过程。

(1)制壳操作:上涂料、撒砂与硅溶胶型壳相同。

注:水玻璃型壳的撒砂,一般表面层、过渡层、加固层全部用石英砂,也可以从第三层开始用铝矾土砂、粉或高岭石系列砂。应因地制宜,以最低的成本保证最佳的型壳质量。

空干(硬化前的自然干燥时间)。空干是为了去除型壳中的一部分水分,减少型壳的凝胶收缩,使型壳具有良好的连续性和致密性。在室温为20～25 ℃时,面层空干时间为15～40 min,加固层不需要空干。

注:面层硬化前的自然风干时间由模组的大小、复杂程度、粘结剂中的Na_2O含量、涂料的粘度,以及制壳场地的室温、湿度和空气的流通等因素有关;一般选用15～40 min。时间过长,型壳外表面易生白霜、开裂或剥落,而且与第二层涂料润湿和结合不好,产生分层、起皮等缺陷。

硬化。硬化是水玻璃型壳制壳中的重要工序。严格控制硬化液的浓度、温度和硬化时间。使用氯化铵硬化液时,温度20～25 ℃,面层粘度45～40 s,背层粘度25～20 s;温度低取上限,温度高取下限。

晾干(硬化后自然干燥)。晾干是为了滴尽残留的硬化液,使涂层更紧密的结合;同时能够继续扩散硬化。晾干的时间与温度、湿度、硬化液种类、蜡模结构,以及硬化工艺参数有关,一般为10～30 min。生产中以型壳“不湿不白”为选择风干时间的依据,“白”就是太干;“湿”就是没有风干好。

注:如增加过渡层,其硬化、干燥工艺参数同表面层。

(2)改进蜡模的结构,消除内尖角;蜡模组焊前应检查蜡模质量,剔除不合格的蜡模;并检查组焊处不得留有缝隙,应使其圆滑过渡。

3.3 改进浇注系统设计

防止型砂和/或耐火材料直接落入型腔;必要时设置专门的集砂器;浇注系统应能减缓金属液对型腔表面的冲击。

3.4 改进浇注方法

如浇注应先慢后快,防止冲击等。

4 结论

(1)砂眼是熔模铸件常见的缺陷之一。

(2)砂眼是由于型壳内、外部的型砂和/或耐火材料进入型腔形成的。

(3)提高型壳质量是防止铸件砂眼最有效的措施。

(4)提高员工的素质和技能,严格执行操作规程,并且与其效益挂钩;尽量减少影响型壳质量的人为因素,是保证型壳质量的重要手段。

参考文献:

[1] 孙延明,王海林,林再生,等. 避免精密铸件夹渣,夹杂缺陷以提高密封性能[J]. 特种铸造及有色合金,2018,38(8):884-886.

[2] 王剑,刘如富. 运用均衡凝固理论设计三通管件浇注系统[J]. 特种铸造及有色合金,2018,38(8):887-889.

[3] 邢伟,秦鹏,齐建,等. 大型扁平齿轮室呛孔缺陷解决措施探讨[J]. 中国铸造装备与技术,2018,53(4):75-76.

《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