熔模铸造型壳缺陷分析

潘玉洪

一、概述

优质型壳是获得表面光滑、棱角清晰、尺寸正确的熔模铸件主要条件之一。据不完全统计，熔模铸件的废品中约有60%是由于型壳缺陷引起的。因此，分析型壳产生缺陷的原因，并及时采取有效的纠正和预防措施，以便提高型壳和铸件质量显得尤为重要。

熔模铸造应用最早、工艺比较成熟的是水玻璃型壳。由于水玻璃价格便宜、货源充足，水玻璃配制的涂料性能稳定、应用方便，采用氯化铵硬化剂进行化学硬化，强度建立快，湿强度大，制壳周期短；因此，至今仍然被广泛地应用。

水玻璃型壳是由粘结剂和耐火粉料经过如图1所示的工艺流程而制成的。型壳是粘结剂与耐火材料颗粒表面，即涂料层、砂

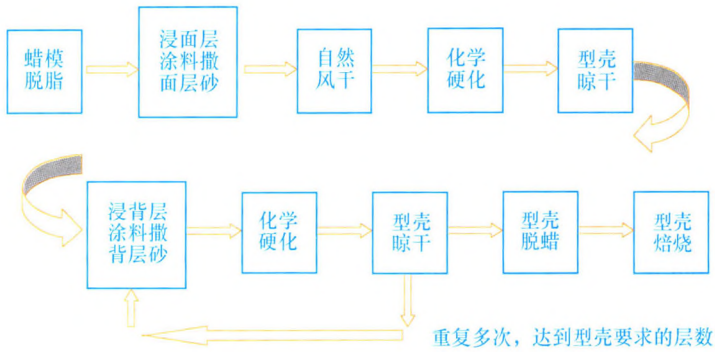

图1 水玻璃型壳制壳工艺流程

个定位，且使用砂型定位销，导致整体定位精度差，影响铸件各个方面的尺寸，比如叶片厚度和盖板厚度等，其结果直接导致叶轮铸件初始不平衡量加大。

采取的对策：①三个叶片砂芯都增加定位（见图5），这样做可以保证下芯精度，直接结果就是每枚叶片厚度更加均匀，不再靠人为调节砂芯位置来控制叶片厚度。②增加金属内定位销（见图6），原使用的砂型定位销易损坏，定位精度低，使用金属定位销可以增加定位精度，不但方便合箱，还可循环使用。③下芯后使用同轴度卡板（见图7），以保证下芯精度。

3. 效果检验

采取改进措施后我们生产了800WN叶轮3件，初始不平衡量分别为1.8kg、1.7kg、2kg，均控制在要求范围内，尺寸精度大为提高。

4. 结语

800WN叶轮初始不平衡量偏大问题的解决，不仅降低了成本，提高了铸件质量，同时保证了交货期，促进了公司质量升级工作的开展。另外，通过该次攻关活动对我们质量意识等方面也是个提高。

图5 模型增加定位

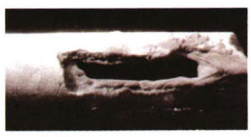

图6 金属内定位销

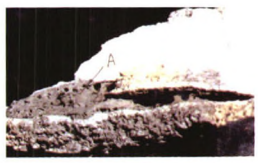

图7 同轴度卡板

作者简介：冯晓冉，石家庄强大泵业集团有限公司。

MW 20140316

粒间，以及涂料与砂粒间的黏附力、摩擦力和粘结剂本身的内聚力，使其成为一个整体。

水玻璃型壳常见的缺陷中，有的缺陷在浇注前能够及时发现，如型壳的裂纹、型壳表面析出的茸毛（也称“白毛”）等；而有的只能在浇注后检验铸件质量时才能发现，如型壳的分层、面层剥落等。现对型壳的分层、面层剥落和酥松，以及茸毛等缺陷分析如下。

二、型壳分层

当型壳各组分之间结合不牢固，就会产生型壳分层。型壳分层常有三种形式（见图2~图4），有时一只型壳上只出现一种分层缺陷，而有时在一只型壳上同时出现两种甚至三种缺陷，如图5所示。

型壳分层特征如下：

（1）涂料层中分层　型壳的局部涂料层中存在分层，常出现在加固层涂料层中。

（2）砂粒之间分层　型壳的局部砂粒之间存在分层，常出现在加固层撒砂层中。

（3）涂料-砂粒之间分层　型砂与涂料层之间存在局部分层，常出现在面层砂与过渡层涂料之间。

在实际生产中，要对型壳分层缺陷具体问题具体分析，现分述如下。

1. 涂料层中分层

（1）产生原因　加固层的涂料黏度大，使涂料的流动性变差，操作性能变坏，很容易使涂料局部堆积，还有硬化不良等原因，使涂料层中形成了没有硬化的涂料夹层。硬化的涂料中，水玻璃转变成硅凝胶；而未硬化的涂料中，仍然保留着水玻璃状态。硅凝胶在收缩时，势必在已经硬化与未硬化的涂料层间产生应力，导致涂料层分层。

当涂料层堆积过多时，焙烧后，涂料层中堆积的涂料受热急剧膨胀，冲破涂料层进入型腔（见图6），型芯中堆积的涂料焙烧后进入型腔（见图7），使浇注后的铸件产生废品。

（2）防止措施　①适当降低加固层涂料黏度，增加其流动性，使其在工艺要求范围内。必要时，在涂料中适当添加表面活性剂，以改善涂料的涂挂性、覆盖性。②注意浸涂料时的操作方法，即型壳浸入涂料中，要上下移动并不断地转动，提起后滴去多余的涂料，使涂料均匀地涂挂和覆盖在型壳的表面上，不能出现涂料的局部堆积。③型壳硬化前应自然风干一定的时间，以“不湿不白”为选择自然风干时间的依据，“湿”就是没有干好；“白”就是太干。要选择合理的硬化工艺参数，并严格控制。硬化后要进行晾干，使型壳继续进行更充分的渗透硬化。

2. 砂粒之间分层

（1）产生原因　下列原因之一，会大幅度地降低砂粒之间的结合力和摩擦力，使型壳的砂粒之间产生分层。① 同一层型砂粒度不均匀，型砂中的粉尘多。② 型砂湿度大或撒砂时的浮砂多。③操作不当，产生型砂局部

图2　涂料层中分层

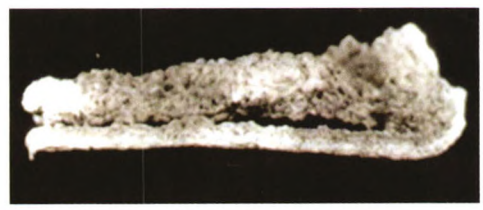

图3　砂粒之间分层

图4　涂料-砂粒之间分层

图5　一个型壳同时出现三种分层缺陷

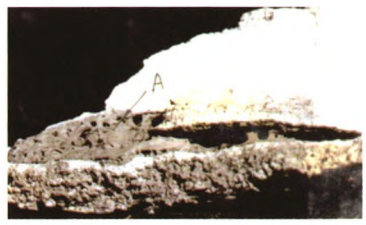

图6　焙烧后，堆积的涂料进入型腔

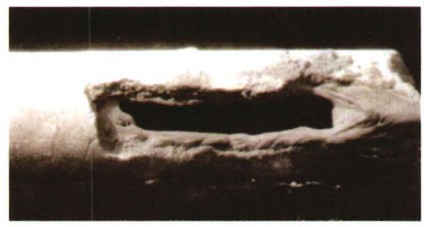

图7　型芯中堆积的涂料进入型腔

堆积等。

（2）防止措施 ①检验型砂的粒度和粉尘（粉尘含量≤0.3%），满足工艺要求后，方可用于生产。②控制型砂在使用中的湿度应≤0.3%，必要时予以更换，并及时清除型壳上多余的浮砂。③严格执行撒砂操作规程，防止型砂堆积。

3. 涂料-砂粒之间分层

（1）产生原因 ①涂料中的水玻璃模数高，降低涂料的稳定性，易老化，不易粘砂，或制壳场地温度高，这些因素导致了涂料的表面已经结壳，撒上的砂子只能浮在涂料结壳的表面，砂子黏附不牢而易造成涂料层与砂粒间的分层。另外，撒砂时间控制不当，浸涂料后撒砂过早，涂料尚在流动，也容易产生堆积（见图8），且砂子也不易撒均匀；撒砂过晚，又不易撒上砂，而且撒上的砂子也黏附不牢，容易分层和剥落。②面层硬化前的自然风干时间，或硬化后的晾干时间控制不当。面层撒砂后，如果硬化前的自然风干时间太长，与第二层涂料润湿和结合不好，易产生分层。面层硬化后晾干的时间短，型壳局部表面残留过多的硬化液。如果此时浸入涂料，涂料接触到表层硬化剂时就迅速硬化结皮，因此影响了涂层与型砂之间的紧密黏附结合，导致分层。③第二层涂料的黏度过高，降低了涂料的流动性、覆盖性和涂挂性、一般面层砂较细，砂粒间的间隙细小；涂料不能很好地渗入到细小的砂粒间隙中，从而造成分层。④涂料撒砂后，表面有浮砂；或面层砂的粒度过细，砂中粉尘过多或砂粒受潮含水分过多，导致第二层涂料与面层砂结合不牢而产生分层。⑤面层砂过细会造成背面过平，不利于上下两层牢固结合，易造成型砂-涂料分层。

（2）防止措施 ①调整涂料中水玻璃的模数，使其在M=3.0～3.4；控制制壳场地的温度不要过高，应保持在22～26℃为宜，在可能的情况下应安装空调；浸涂料后要控制撒砂时间，当涂料均匀、完整地覆盖在蜡模的表面上时，应立即撒砂。②型壳硬化前的自然干燥时间由模组的大小、复杂程度、粘结剂中的Na_2O含量、涂料的黏度，以及制壳场地的室温、空气的相对湿度和空气的流通等因素有关，一般选用15～40min。生产中常以型壳“不湿不白”为选择时间的依据。硬化后应充分晾干，可以使残留的硬化液继续对型壳扩散渗透硬化，可以减少型壳表面残留硬化剂，以利于涂料层之间的紧密结合；晾干时间的长短与制壳场地的温度、相对湿度、硬化剂种类等因素有关。当室温为18～30℃，相对湿度为40%～60%，用氯化铵硬化剂硬化时，面层晾干时间为30～45min，加固层晾干时间为15～30min（为了提高生产效率，加固层可以不晾干，或缩短晾干时间）。气温低，湿度大时则应适当延长晾干时间，以型壳“不湿不白”为佳。③降低第二层（过渡层）的涂料黏度，必要时加入适量的表面活性剂，降低涂料的表面张力，增加涂料的润湿作用，改善涂挂性；还可以改善涂料的渗透性，使涂料均匀地渗入面层砂粒的间隙之中。④注意撒砂操作，及时清除浮砂。面层撒砂的粒度不要过细，以40/70目（粒径为0.45~0.224mm）为宜；面层砂要干燥，粉尘少，一般要求面层砂的含水量和粉尘量≤0.3%（占水玻璃的质量分数）。⑤合理地选用面层砂，一般选用50/100目（粒径为0.355~0.154mm）或40/70目的型砂。

三、酥松

特征：型壳层间结合松散，呈现酥松状态，如图9所示。

（1）产生原因 ①粘结剂中起粘结作用的SiO_2含量太低，如水玻璃的模数过低或密度过小，因而降低了型壳层间的结合力，使型壳产生酥松。②涂料中的粘结剂与耐火材料配比过低，即粘结剂的含量太低，因而使型壳产生酥松。③粘结剂存放时间长而变质，导致型壳各层间结合不牢，使型壳产生酥松。④耐火材料中的杂质多，尤其是碱性杂质多，或型砂中的粉料多，这些都导致涂料与型砂的结合不牢，使型壳产生酥松。⑤型壳脱蜡时间过长，“煮烂”型壳。

（2）防止措施 ①配制涂料时应控制水玻璃的模数和密度，保证涂料中SiO_2的含量。②适当增加涂料中的粘结剂含量，使其

图8 撒砂过早形成的堆积

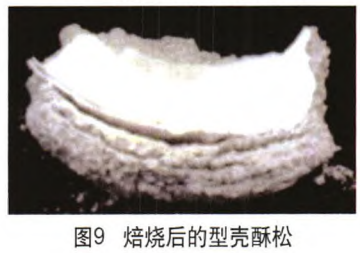

图9 焙烧后的型壳酥松

完全浸润、包裹耐火材料。生产中执行“涂料配比-黏度-温度”曲线。③加强粘结剂保管；必要时，粘结剂在使用前应检验，合格后方可投入生产。④严格控制耐火材料中的杂质，尤其是碱性杂质，以及型砂中的粉尘，使其满足工艺要求。⑤石蜡-硬脂酸蜡料，水玻璃型壳脱蜡时，应“高温快速”，即脱蜡液的温度控制在95～98℃，脱蜡时间为15～20min，不超过30min。

四、面层剥落

当面层砂与过渡层涂料分层进一步加剧时，型壳面层剥落，如图10、图11所示。

（1）产生原因 ①型壳的1～2层硬化、晾干（风干）过度。②型壳表面层析出茸毛，降低表面层强度。③也适用于型壳分层的逐项原因。

（2）防止措施 ①选用合理的制壳工艺，尤其是严格控制型壳面层硬化前的自然风干时间，以及硬化效果与硬化的晾干时间，以型壳“不湿不白”为宜。②控制型壳脱蜡后的存放时间，及其存放场地的温度和湿度等（参见“茸毛”的防止措施）。③也适用于型壳分层的逐项措施。

五、茸毛

特征：型壳的表面上有白色茸毛状析出物(见图12)，也称为白毛。

（1）产生原因 ①型壳在硬化时，由于硬化剂的浓度过低或硬化时间过短，或水玻璃的密度过大，涂料的黏度过高，硬化不充分；硬化过程的反应产物氯化钠和氯化铵都易溶入水，在湿态时，它们都以水溶液的形式存在于型壳中（尤其是脱蜡液中添加氯化铵补充硬化所生成的盐以水溶液的形式存在于型壳中）。残留的钠盐过多。②型壳脱蜡后，当存放干燥时间过长，型壳内硬化反应时生成的盐分和残留的硬化液，随水分的蒸发扩散、迁移到型壳的表面，并沿着析出孔道堆积生长成茸毛状物质。而且制壳工作场地湿度较大时，这种现象更严重。据资料介绍，茸毛中的80%是氯化钠，20%是氯化铵。③型壳脱蜡后，没有及时进行低温烘培，促使硬化反应产物随水分的蒸发扩散、迁移到型壳的表面，并沿着析出孔道堆积生长成茸毛。④脱蜡过程中，没有及时补加氯化铵或盐酸等，使其保持一定的酸度；脱蜡液没有定期检测或更换。

（2）防止措施 ①应严格控制水玻璃的密度和涂料的黏度；采用合理的硬化工艺参数，严格控制硬化液的浓度、温度和硬化时间；硬化后，充分晾干，以减少型壳残留的钠盐。②控制型壳存放场地的温度和湿度；合理安排生产，型壳脱蜡后存放的时间不易过长，应及时焙烧、浇注。③脱蜡后的型壳，必要时应进行低温烘培，使水分来不及溶解较多的盐类就被迅速蒸发。④脱蜡液中应及时补加氯化铵3%～8%，或1%的盐酸，使其保持一定的酸度。但不宜补加过多，以免补充硬化反应生成的盐类溶于水中，并定期更换脱蜡液，清理脱蜡槽。

如果型壳已经生成茸毛，应及时进行焙烧；也可以在焙烧前，用热水冲洗，或用湿布将其擦拭掉。

六、结语

（1）水玻璃涂料是水玻璃型壳的重要组成部分。涂料应保证型壳良好的性能，如强度、透气性、热稳定性和脱壳性等，同时涂料又要具有良好的工艺性，如涂挂性、流动性、分散稳定性及悬浮稳定性等。

（2）硬化是制壳中重要的一个工艺过程，必须严格控制硬化剂的浓度、温度和硬化时间，确保型壳充分硬化。

（3）合理的制壳工艺，严谨的操作规程，适时的员工培训，以及必要的奖惩制度，是获得优质型壳的根本保证。型壳制作不仅是一项技术，更是一门手艺。

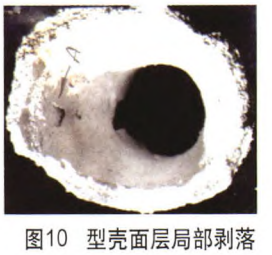

图10 型壳面层局部剥落

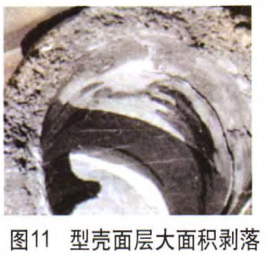

图11 型壳面层大面积剥落

图12 茸毛状析出物

作者简介：潘玉洪，深圳市盈迅精密机械有限责任公司，高级工程师。

MW 20140529