

水基自干/快干铸造涂料的工艺性能

冯胜山^{1,2}, 谢树忠^{3,4}, 刘春晶^{3,4}, 张传波², 梁家豪^{3,4}, 高运华³, 徐幼喜²

(1. 广东科学技术职业学院机电工程学院, 广东珠海 519090; 2. 湖北工业大学, 湖北武汉 430070;

3. 珠海市福联造型材料实业有限公司, 广东珠海 519180;

4. 广东省造型材料工程技术中心, 广东珠海 519180)

摘要: 分析了节能环保型水基自干/快干砂型铸造涂料的涂层自干固化特性, 通过对比试验研究了新型水基自干/快干砂型铸造涂料与普通水基涂料和醇基涂料在强度、抗吸湿性、发气特性及其对树脂砂强度的影响等方面的差异。研究结果表明: 新型水基自干/快干涂料的涂层自干速度和热风快干速度均达到并且超过国内外同类产品水平; 涂层强度显著高于普通水基涂料, 与醇基涂料相当; 对树脂砂强度的影响在三种涂料中最小; 抗吸湿性明显好于普通水基涂料和醇基涂料; 涂层自干后的残留含水量仅约 1.4%; 涂层发气量虽然与普通水基烘干型涂料相当, 但是水基自干/快干涂料的发气速度几乎慢 1 倍, 尤其是在最初的 5s 左右发气速度相差很大, 为避免铸件气孔缺陷提供了良好条件。

关键词: 水基; 自干; 涂料; 工艺性能

砂型铸造水基自干/快干涂料具有安全可靠, 运输方便, 价格低廉, 清洁无污染, 悬浮性和涂刷性能好, 涂层干燥速度快等特点, 克服了醇基涂料易燃、易爆、有毒, 悬浮稳定性较差, 涂刷时刷痕严重和普通水基涂料需要烘干, 难以自然干燥, 涂层容易吸湿等问题。从节能降耗、改善操作环境、提高生产安全性和铸件表面质量等方面综合考虑, 水基自干/快干涂料无疑是砂型铸造涂料的发展方向。

珠海市福联造型材料实业有限公司与湖北工业大学合作研制的新型水基自干/快干砂型铸造涂料, 以锆英粉、铬铁矿粉、粉石英和含锆复合硅酸盐矿粉等不经煅烧或电熔处理的天然耐火材料为基料, 采用自制的常温固化型改性高分子聚合物乳液有机粘结剂作为主要的常温自干/低温快干粘结剂, 同时以快干型硅酸盐粘结剂作为主要的高温粘结剂, 采用具有自主知识产权、耐火度高、热收缩率低的高效复合悬浮分散剂, 在较高粘度和固含量(不挥发物含量)条件下具有良好的涂刷性和低的渗透性, 能够实现在较低烘温和较短时间内快速烘干, 或者实现喷灯、煤气、氧-乙炔或热风短时快速表面干燥, 以至在环境温度较高、湿度较低和良好通风条件下实现快速自然干燥, 并且不恶化型砂强度, 干燥后的涂层抗吸湿能力强, 为铸造企业节约能源消耗、改善环境条件、提高铸件质量提供了良好条件。

1 新型水基自干/快干铸造涂料的种类及主要性能指标

在实验室正交优化试验、样品试生产及其性能测试、应用考核试验的结果基础上, 优选出新型水基自干/快干砂型铸造系列涂料, 共 6 种, 其中单质耐火粉料品种 4 种、复合耐火粉料品种 2 种。各品种及其适用范围如表 1 所示。

经广东省质量监督涂料产品检验站和广东省铸造造型材料工程技术中心检测, 4 种单质耐火粉料水基自干/快干涂料的主要性能如表 2 所示。

新型水基自干/快干系列涂料在粘度高达 25s 以上时仍然具有良好的涂刷性和流平性, 涂层不挥发物含量高达 71%以上, 悬浮性优异, 存放 2h 基本不沉淀, 存放 24h 后悬浮率高达 98%以上, 粘度不低于 18s 左右时一般不板结, 1000℃发气量不超过 20ml/g, 涂层干燥后的强度高, 抗吸湿性好, 高温爆热抗裂等级为 I 级~II 级。该系列涂料能在高粘度、高不挥发物含量、低耗水量条件下施涂,

基金项目: 广东省珠海市科技攻关及高新技术产业化项目资助(项目编号 2011B020102013)

作者简介: 冯胜山, 男, 研究员, 硕士研究生导师, 主要从事造型材料与铸造工艺研究。E-mail: fss8172@126.com。

对砂型（芯）的渗透性低，对砂型（芯）强度的不利影响较小，也可保证其自干速度较快。厚度为 0.5mm 的涂层在环境温度 25℃、相对湿度 80%条件下，在 2h 以内就能完全自然干燥；在涂层厚度为 0.5~0.8 mm、热风温度为 80℃±5℃的条件下，涂层热风快干时间为 3.5~7.0min；干燥速度达到并且超过国内外同类产品先进水平（自干时间 3h，热风快干时间≤10min）。

表 1 新型水基自干/快干砂型铸造系列涂料的种类及其适用范围

涂料种类	适用范围
锆英粉	厚大型碳钢件和合金钢件
铬铁矿粉	普通碳钢件和合金钢件
锆英粉与含锆复合硅酸盐复合	普通碳钢件、合金钢件和厚大型铸铁件
含锆复合硅酸盐矿粉	中小型碳钢件、合金钢件和各种铸铁件
含锆复合硅酸盐与粉石英复合	中小型碳钢件、普通铸铁件、各种有色铸件
粉石英	小型碳钢件和铸铁件、各种有色铸件

表 2 新型水基自干/快干砂型铸造系列涂料的主要性能

种类	条件粘度 s/表 观粘度 Pa·s	密度 g·cm ⁻³	悬浮 性(24h) %	不挥发物 含量%/ 耗水量%	涂刷 指数	自干 时间 h/min	发气量 ml·g ⁻¹	磨耗量 g/cm ³	高温爆热 裂纹等级
锆英粉	25.6/16.7	2.38	98.8	77.2/27	6.7	1.45/87	15.1	1.73/0.73	I ~ II
铬铁矿粉	32.6/12.8	2.13	98.5	73.2/31	7.2	1.33/80	18.2	0.91/0.43	I ~ II
含锆硅酸盐	35.3/11.5	2.06	98.0	74.4/31	7.6	1.75/105	19.4	0.25/0.12	I
粉石英	38.6/6.1	1.70	99.3	71.8/38	6.4	1.67/100	18.9	0.76/0.45	I

注：①自干时间（h）系采用 QGZ 型漆膜干燥时间测定仪在 25℃、80%RH 条件下对树脂砂平面基底上厚度为 0.5mm 的涂层的测试结果，表征涂层的干燥速度。

②磨耗量是涂层耐磨性表征值，可间接表征涂料的内聚强度。采用 JM-IV 型漆膜磨耗仪测试，试样为 $\Phi 105\text{mm} \times 10\text{mm}$ 树脂砂圆板，涂层厚度为 1.0~1.5mm，涂层充分干燥，测试条件为 750g 载荷、砂轮摩擦 60r。带涂层的圆板试样在测试前后的质量差值即为涂层磨耗量（g）。

2 新型水基自干/快干铸造系列涂料的流变性能

铸造涂料的各种施涂方法（刷涂、流涂、喷涂、浸涂）均要求结构触变性（涂刷指数）尽量高。涂刷指数是指涂料在低剪切速率下的表观粘度与高剪切速率下的表观粘度之比。涂刷指数越高，表明涂料的剪切稀释作用越强，涂刷性也越好。

刷涂涂料还要求具有触变性流体特征，即具有时间触变性：在剪切速率不变的条件下，流体粘度会随剪切时间的延长而进一步下降，到某一极限值后才趋于恒定；停止剪切后，粘度的恢复也经过一段时间逐步完成。即刷子饱蘸涂料在砂型（芯）上移动（施以剪切力）时，涂料粘度逐渐下降；当刷子离开砂型（芯）（剪切力去除）后，黏附在砂型（芯）上的涂料粘度又以适中的速度逐渐恢复，粘度的恢复有一个过程，使涂料的刷痕在粘度恢复前能够流平而消失，即流平性好。但是，涂在垂直面上的涂料就难免有些下淌，即抗流淌性差。涂料触变率越高，即涂料时间触变性越好，则涂料流平性越好，但抗流淌性越差。因此，刷涂涂料的触变率应适中，以便在流平性和抗流淌性之间求得平衡。

浸涂涂料要求具有假塑性流体特征，即不具有时间触变性：一经剪切，其粘度立即下降；匀速剪切时，粘度是定值，不因剪切时间而变化；停止剪切，粘度立即恢复。砂芯进入涂料时，给涂料以剪切力，涂料的粘度急剧下降，砂芯表面无一遗漏地覆盖上一层涂料；随后将砂芯取出，涂料的剪切力消失，覆盖在砂芯上的涂料粘度快速上升恢复，使得涂料的滴滴停止，从而避免涂料产生滴痕。

流涂涂料和喷涂涂料与浸涂涂料的要求有相似之处，即为假塑性流体。

综合以上分析可知：

- ①浸涂涂料、流涂涂料和喷涂涂料均要求时间触变性（触变率）尽量低。
- ②刷涂涂料要求时间触变性（触变率）要适中。
- ③各种施涂方法均要求结构触变性（涂刷指数）尽量高。

图 1 为新型水基自干涂料的时间触变性典型特征曲线。

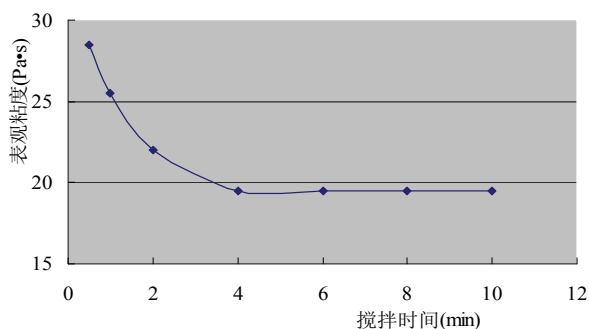


图 1 新型水基自干涂料的时间触变性典型特征曲线（含铝复合硅酸盐矿粉涂料）

从上图可知：新型水基自干涂料在匀速剪切前期（4min 内），具有明显的时间触变性，呈现良好的触变性流体特征；在匀速剪切后期（4min 后），粘度不因剪切时间而变化，不具有时间触变性，呈现典型的假塑性流体特征。即新型水基自干涂料兼有触变性流体和假塑性流体特征。其触变率为 31.6%，比较适中。

从表 2 可知：几种水基自干涂料的涂刷指数（结构触变性）均较高（ ≥ 6.4 ）。

因此，新型水基自干涂料的涂刷性好，流平性和抗流淌性的综合平衡性优良，可以同时满足刷涂、流涂、喷涂和浸涂等各种施涂方法的流变性要求。

3 新型水基自干/快干铸造涂料的涂层自干固化特性

铸造涂料既要具有一定的常温强度，又要具有良好的高温强度。根据要求，我们研制了一种常温固化型改性高分子聚合物乳液作为主要的常温自干/低温快干粘结剂，同时以一种快干型无机粘结剂作为主要的高温粘结剂，外加相应的潜伏型硬化剂。

新型水基自干涂料涂层的强度随时间的变化规律（即水基自干涂料涂层的自干固化特性）如图 2 所示。该过程可分为以下四个阶段：

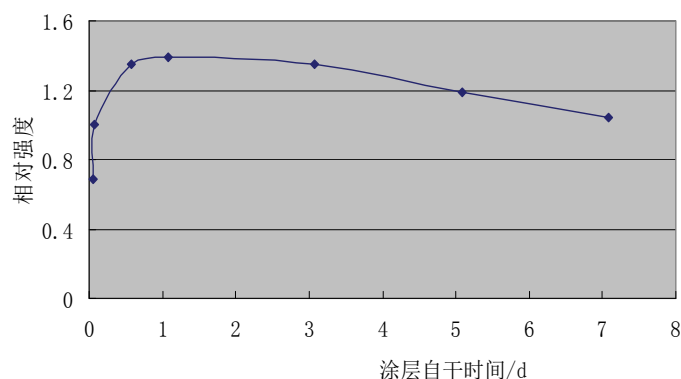


图 2 水基自干涂料涂层的自干固化特性

3.1.1 初期的脱水-转化阶段

水基自干涂料在铸造生产的常温、常压、开放环境条件下施涂为涂层后，由于涂层与空气的接触界面面积显著扩大，界面两侧的水和固化剂蒸气分压差使涂层中的水分（包括涂料的稀释剂水和

粘结剂中的自由水)和改性高分子聚合物乳液粘结剂中的潜伏型固化剂(挥发性碱液)产生蒸发,一定温度的气流作用又进一步促进水分和潜伏型固化剂蒸发,涂层开始发生脱水现象,同时涂层从碱性向中性和酸性转化,但尚未发生固化。此阶段涂层尚未建立强度,时间约10 min~30min。

3.1.2 中期的物理-化学共同固化阶段

随着涂层存放时间的持续,涂层继续脱水,改性高分子聚合物乳液中的聚合物紧密堆积,发生物理硬化;快干无机粘结剂在铝离子水解反应和水不溶性有机纤维的毛细作用下,自由水快速蒸发脱失,致使无机粘结剂开始胶凝,也发生物理硬化;改性高分子聚合物乳液同时使无机粘结剂的胶凝临界浓度下降,更快达到胶凝临界浓度,从而加速其物理硬化;同时涂层已转化为酸性,改性高分子聚合物乳液中的锌离子开始逐渐从其配合物中游离出来,与乳液聚合物线状分子链上的羧基负离子作用,形成水不溶性配合物,从而实现聚合物链的交联,形成不易溶于水的网状结构高分子聚合物,使涂层产生化学固化。此阶段物理硬化和化学硬化同时发生,强度快速增长,时间约为0.5~3h。此阶段的终点即为漆膜干燥时间测定仪测试的自干时间止点,此时脱水干燥固化已经完成(相对强度设定为1)。自干过程的初期和中期即漆膜干燥时间测定仪测试的自干时间。

3.1.3 后期的化学固化阶段

随着涂层存放时间的继续推进,涂层物理固化已不再发生,但改性高分子聚合物乳液的化学固化继续存在,强度发展到最高值。此为水基自干涂料涂层自干过程的后期,时间约3h~24h。

3.1.4 存放吸湿阶段

如果涂层在铸造生产的常温、常压、开放环境条件下继续存放,涂层将开始发生吸湿反应,导致涂层强度也开始降低,时间约为1~7天。7天后降低到接近自干时间止点的水平。

4 新型水基自干/快干铸造涂料自干后的残留水分

涂料中的水分有三种形态:(1)自由水,在加热到约110℃之前完全失去;(2)吸附水,在加热到140~220℃时失去;(3)结构水,在加热到400~700℃时失去。水基自干涂料干燥过程中,可脱除绝大部分自由水,但是无法脱除吸附水和结构水。

如果水基自干涂料干燥后的残留水分较多,将会导致涂料发气量大,不利于防止铸件气孔缺陷。为此,我们采用双盘红外烘干机(承样盘表面温度140~220℃)和精密天平测试了水基自干涂料涂层在干燥过程中的水分(包括自由水和大部分吸附水)含量和磨耗量的变化情况,结果见表3和图3。

表3 水基自干涂层在干燥过程中的水分含量和磨耗量变化

涂层制备后的存放时间/min	0	30	50	60	70
涂层含水率/%	27.3	11.1	1.7	1.4	1.4
磨耗量/g	/	/	1.43	0.99	0.89
相对强度			0.69	1	1.11

注:①涂料品种:粉石涂料;

②涂层水分采用双盘红外烘干机(承样盘表面温度140~220℃)和精密天平测定;

③涂料条件粘度为29s(涂6型粘度杯);

④涂层制备和自干条件:28~29℃,47%~49%RH,玻璃板基体,涂层刮制厚度0.5mm。

该涂层的实测自干时间为61min。从表3和图3可以看出:

①涂层自干后,残留含水量不再减少,一直保持在1.4%,但磨耗量继续有所降低,这证明本水基自干涂料在脱水干燥的物理固化完成后,化学固化反应还在继续进行。

②该实验证明采用QGZ-6型漆膜干燥时间测定仪测试的自干时间比较准确地表征了涂层残留含水量不再降低(完成脱水干燥-基本固化)的特征时间点,不能表征涂层强度达到最高值(完成化学固化-完全固化)的特征时间点。但是涂层自干时间可以作为涂层固化速度的表征值,反映涂层固

化速度的相对水平。

③涂层自干后的残留含水量（主要是吸附水）仅约 1.4%，这对涂料总发气量的影响很小，为避免铸件气孔缺陷提供了良好条件。

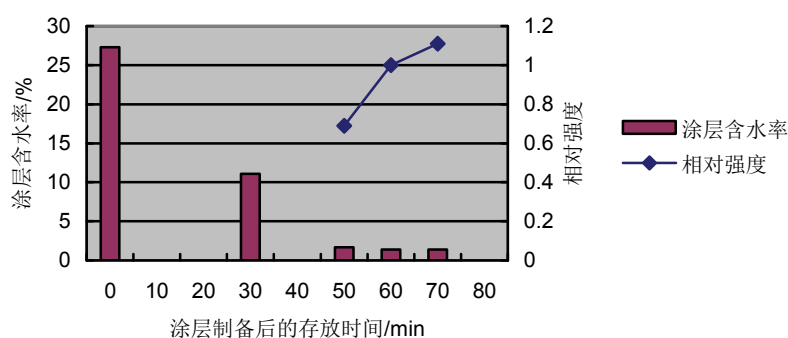


图 3 水基自干涂层在干燥过程中的水分含量和磨耗量变化

5 新型水基自干/快干铸造涂料的强度及抗吸湿性

固化后的涂层在存放时，如果环境湿度较大，往往会使涂层吸潮，导致涂层强度降低，发气量提高。

为了分析比较水基自干涂料的抗吸湿性，我们同时测试了水基自干涂料、普通水基涂料和醇基涂料在相同存放条件下的涂层体积磨损量（通过测试质量磨损量后计算得到）和相对强度的变化情况，结果见表 4 和图 4。

表 4 三种涂料的涂层在存放后的磨损量和相对强度

涂层固化后的存放时间/天		0	0.5	1	3	5	7
水基自干涂料	磨损量/cm ³	0.29	0.22	0.21	0.22	0.25	0.28
	相对强度	1	1.35	1.39	1.35	1.19	1.04
普通水基涂料	磨损量/cm ³	1.46	1.71	1.81	1.98	/	/
	相对强度	1	0.86	0.81	0.74	/	/
醇基涂料	磨损量/cm ³	0.23	0.27	0.31	0.32	/	/
	相对强度	1	0.83	0.74	0.71	/	/

注：①水基自干涂料品种：粉石英涂料；涂层自干条件：20~21℃，56~59%RH，自干 3h 后开始计时和测试；

②普通水基涂料为某市售石英粉商品涂料，在 120℃烘干 1h 后冷却到室温时开始计时和测试；

③醇基涂料为某市售锆英粉商品涂料，即时点燃干燥后冷却到室温时开始计时和测试；

④砂板基体条件：酸自硬呋喃树脂砂基体，原砂为 50/100 目；

⑤涂层试样存放条件：室温存放，9~12℃，38%~51%RH。

从图 4 可以很直观地看出：

①普通水基涂料和醇基涂料的涂层在存放后，其强度一直处于下降状态，存放 3 天后强度都损失约 30%；而水基自干涂料在 7 天的室温自然存放观测期间，在前期由于固化反应还在持续进行，使其强度继续显著提高约 40%，随后由于涂层吸湿反应，使其强度在后期也有所降低，但是在 7 天的室温自然存放观测期间一直高于起始强度。

②水基自干涂料的自干强度与某市售醇基涂料的燃烧固化强度相当，但比某市售普通水基涂料

的烘干强度高数倍。

因此,水基自干涂料的抗吸湿性明显好于普通水基涂料和醇基涂料;水基自干涂料的强度显著高于普通水基涂料,与醇基涂料相当。

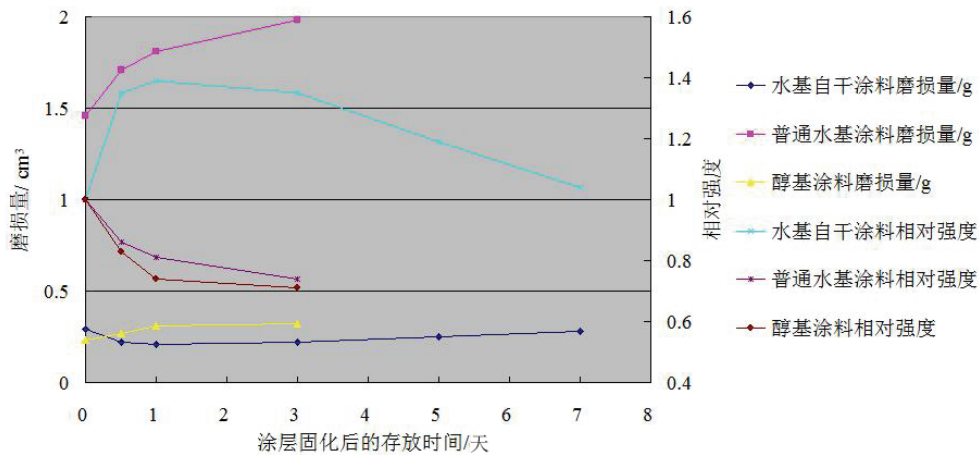


图4 三种涂料的涂层在存放后的磨损量和相对强度变化

6 新型水基自干/快干铸造涂料对树脂砂强度的影响

涂料中的溶剂和涂料对树脂砂型(芯)的渗透性会对树脂砂强度产生影响。涂层无论是烘干、点燃干燥还是自然风干,固化后难免还会在树脂砂渗透层残留部分溶剂。残留溶剂有可能使部分固化不充分的树脂膜溶蚀,导致树脂砂强度降低。涂料渗透性越强,涂料对树脂砂强度的影响也越大。

为了比较水基自干涂料、普通水基涂料和醇基涂料对树脂砂强度的影响,我们将酸自硬呋喃树脂砂8字试样(原砂粒度为50/100目)单面浸涂三种涂料(浸涂5s),待涂层分别以相应方式干燥后,在相同条件下存放不同时间后对比测试树脂砂8字试样的抗拉强度,结果见表5和图5。

表5 三种涂料的涂层对树脂砂抗拉强度的影响

存放时间/h	树脂砂试样抗拉强度 (MPa)			
	醇基涂料	水基自干/快干涂料	普通水基涂料	无涂料
0	0.95	1.27	1.59	1.08
2	0.78	1.15	1.56	1.00
4	0.69	1.01	1.25	0.95
6	0.61	0.98	1.06	0.95
8	0.57	0.98	1.02	1.01
24	0.66	0.96	0.94	1.06

注:①水基自干涂料品种:含铅复合硅酸盐矿粉涂料;涂层自干条件:23~30℃,28%~38%RH,自干3h后开始计时和测试;

②普通水基涂料为某市售石英粉商品涂料,在120℃烘干1h后冷却到室温时开始计时和测试;

③醇基涂料为某市售锆英粉商品涂料,即时点燃干燥后冷却到室温时开始计时和测试;

④树脂砂试样条件:酸自硬呋喃树脂砂,原砂为50/100目;

⑤涂层试样存放条件:室温存放,9~12℃,38%~51%RH。

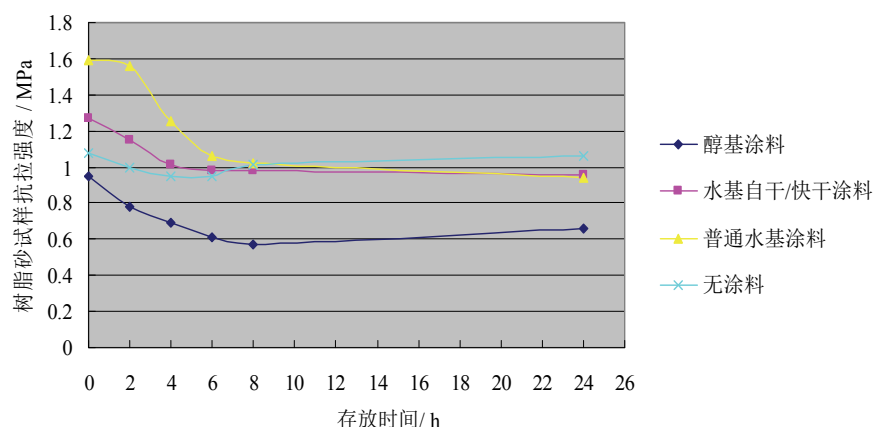


图5 三种涂料的涂层对树脂砂抗拉强度的影响

分析该表和图可知:

①醇基涂料对树脂砂强度的影响最大,显著降低树脂砂强度,存放 24h 后,相对于不涂涂料的树脂砂试样的强度损失率高达 38%,相对于浸涂醇基涂料的树脂砂试样的固化初始强度的损失率也高达 31%。其原因是醇基涂料的溶剂是甲醇、乙醇和异丙醇,都为有机溶剂;残留在树脂砂中的有机溶剂容易使部分固化不充分的树脂膜溶蚀,同时醇基涂料涂层的抗吸湿性较差,导致树脂砂强度显著降低。

②普通水基涂料由于是加热烘干固化,涂层加热烘干的同时也使树脂砂尚未充分固化的树脂膜得到进一步聚合强化,树脂砂强度得以显著提高;但是普通水基涂料的粘结剂一般为水溶性无机粘结剂,在固化后的存放过程中易吸潮失强,涂层吸湿性强,难以阻止表层吸湿后水分向树脂砂内部渗透,导致涂层强度和树脂砂强度均严重下降;存放 24h 后,相对于浸涂普通水基涂料的树脂砂试样的加热固化初始强度的损失率更高达 41%。

③水基自干涂料由于粘度较大,浸涂后对树脂砂的渗透性低,使水对树脂膜的溶蚀作用较弱;浸涂后约 3h,涂层已经基本固化,产生较高强度,使树脂砂试样的整体强度相对于不涂涂料的树脂砂试样的强度提高约 18%;存放 24h 后,由于水基自干涂料涂层的抗吸湿性较好(原因是水基自干涂料中的改性苯丙乳液粘结膜具有较强的抗吸湿性),相对于浸涂水基自干涂料的树脂砂试样的自干 3h 固化初始强度的损失率为 24%,相对于不涂涂料的树脂砂试样的强度损失率仅 9%。

因此,水基自干涂料对树脂砂强度的影响在三种涂料中最小。

7 新型水基自干/快干铸造涂料的发气特性

涂料的发气特性包括发气量和发气速度两方面内容。

发气量是影响铸件气孔缺陷的主要因素,因此国内外涂料标准都对其加以严格控制。目前国内执行的机械行业标准《砂型铸造用涂料》(JB/T 9226-2008)规定水基涂料的发气量一般 $<20\text{ml/g}$ (石墨粉和滑石粉涂料可分别放宽至 $<35\text{ml/g}$ 和 $<35\text{ml/g}$)。水基自干涂料成分正交优化试验结果表明:高分子聚合物乳液有机粘结剂是涂料发气量的最显著因素。因此在保证涂料具有一定常温强度的前提下,应尽量减少涂料中聚合物乳液的加入量。

发气速度其实对铸件气孔缺陷也产生较大影响。涂料发气速度的差异主要体现在发气初期,而涂料产生的气体是否导致铸件产生气孔缺陷主要取决于发气时铸件表面是否产生凝固。即使涂料发气量相当,如果发气速度过快,也更有可能在铸件浇注初期的表面尚未凝固阶段侵入气体,导致铸件产生气孔缺陷;反之,如果发气速度较慢,则在铸件表面初步凝固后气体难以侵入,铸件产生气孔缺陷的可能性就减小。

影响发气速度的主要因素是有机粘结剂的种类及其热分解温度。涂料所用粘结剂的种类不同,其热分解温度一般也有差异,涂料在受热后粘结剂开始热分解产生气体的时间也就不同,因而发气

速度不同。

图 6 示出了对比测试的水基自干/快干粉石英涂料和某市售普通水基烘干石英粉商品涂料的发气性曲线。

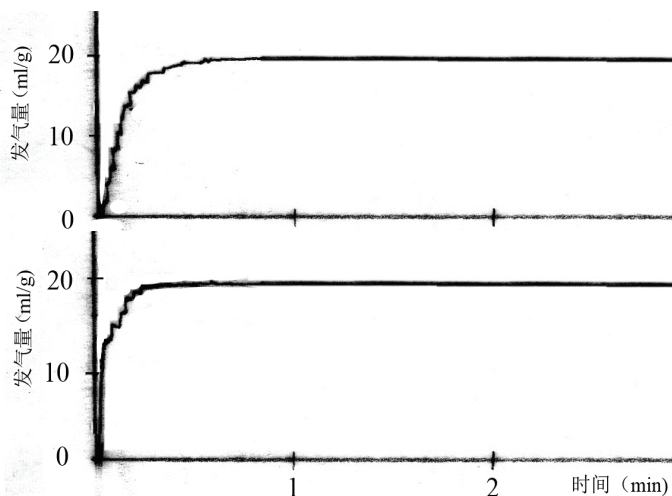


图 6 水基自干/快干粉石英涂料（上）和普通水基烘干石英粉涂料（下）的发气性曲线

从测试结果可知：虽然两种涂料的发气量相当（约 19ml/g），但是普通水基烘干石英粉涂料发气达到峰值所需要的时间仅约 15s，而水基自干/快干粉石英涂料发气达到峰值所需要的时间约 30s，速度几乎慢 1 倍，尤其是在最初的 5s 左右发气速度相差很大。我们认为：其原因主要在于水基自干/快干粉石英涂料采用的高分子聚合物乳液含有大量苯环 C 结构，其热分解温度比一般链状 C 结构的普通有机粘结剂相对较高，热分解速度相对较慢。

8 结论

（1）新型水基自干/快干砂型铸造涂料兼有触变性流体和假塑性流体特征，触变率适中，涂刷指数较高，涂刷性好，流平性和抗流淌性的综合平衡性优良，可以同时满足刷涂、流涂、喷涂和浸涂等各种施涂方法的流变性要求。

（2）新型水基自干/快干涂料的固化机理是以下两种反应的交互作用：一是水分蒸发脱失的物理硬化；二是体系转变为酸性后的化学硬化。涂层的自干固化过程分以下三个阶段：初期的脱水-转化阶段、中期的物理-化学协同固化阶段、后期的化学固化阶段。

（3）厚度为 0.5mm 的水基自干/快干涂层在环境温度 25℃、相对湿度 80%条件下，在 2h 内就能完全自然干燥；在涂层厚度为 0.5~0.8mm、热风温度为 80℃±5℃的条件下，涂层热风快干时间在 3.5~7.0min 之间；干燥速度均达到并且超过国内外同类产品先进水平（自干时间 3h，热风快干时间≤10min）。

（4）新型水基自干/快干涂料自干后的残留含水量仅约 1.4%，为避免铸件气孔缺陷提供了良好条件。

（5）新型水基自干/快干涂料的强度显著高于普通水基涂料，与醇基涂料相当；对树脂砂强度的影响在三种涂料中最小。

（6）新型水基自干/快干涂料的抗吸湿性明显好于普通水基涂料和醇基涂料。

（7）新型水基自干/快干涂料的发气量虽然与普通水基烘干型涂料相当，但是水基自干/快干涂料的发气速度几乎慢 1 倍，尤其是在最初的 5s 左右发气速度相差很大，为避免铸件气孔缺陷进一步巩固了条件。

参考文献:

- [1] A.M.Заварина 著, 张颂超译. 砂芯用的自硬水涂料[J]. 热加工工艺, 1980, (2): 42.
- [2] 刘生银, 孙兴华, 金晓春, 等. 用于冷芯盒工艺的高性能水基涂料的研究[C]// 中国机械工程学会铸造分会. 威海: 2008 中国铸造活动周论文集.
- [3] 冯胜山. 新型铬铁矿粉铸钢复合涂料的研究与应用[J]. 铸造工程, 2005, (3): 17-19.
- [4] 刘承尧. 聚乙烯醇水基自干涂料的性能与应用[J]. 铸造, 1990, (3): 24-27.
- [5] 魏兆连, 曹立宏. 磷酸盐自硬涂料的研究[J]. 武汉工学院学报, 1992, (4): 40-46.
- [6] 魏兆连, 曹立宏. 磷酸盐自硬涂料高温性能的研究[J]. 特种铸造及有色合金, 1994, (5): 17-20.
- [7] 胡幼甫. JZ-1 型水基快干涂料生产试验[J]. 汽车科技, 1993, (3): 23-28.
- [8] 冯胜山, 谢树忠, 刘春晶, 等. 水基自干/快干铸造涂料干燥速度的影响因素[C]. 2014 年广东省铸造压铸年会论文集