

SKP27-3 面层增强型硅溶胶在精密铸造上的应用

赖 洪¹ 何 欣¹ 叶海峰¹ 王国顺¹ 吴军武² 张 兵²
(1.广东惠尔特纳米科技有限公司; 2.惠州市吉邦精密技术有限公司)

摘 要 通过对 SKP27-3 面层硅溶胶与普通 830 硅溶胶配制的浆料及铸件生产比较,发现 SKP27-3 面层硅溶胶具有更高的稳定性、优良的涂挂性和对干燥条件的不敏感性,使用效果较理想。经大批量铸件生产验证,用 SKP27-3 面层硅溶胶配制的浆料,稳定性高达 62 天,制得的型壳内腔表面光滑、致密性高,一次性成品率大幅提升。对批量生产铸件统计,不良率在 4.45% 以下,铸件返修率大幅降低,而 830 硅溶胶生产铸件不良率不低于 11.72%,表明采用 SKP27-3 面层硅溶胶优势明显。

关键词 SKP27-3 硅溶胶;面层增强;涂挂性;稳定性

中图分类号 TG249.5 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2022.02.027

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of SKP27-3 Surface Layer Reinforced Silica Sol in Precision Casting

Lai Hong¹, He Xin¹, Ye Haifeng¹, Wang Guoshun¹, Wu Junwu², Zhang Bing²

(1.Guangdong Well-Silicasol Co., Ltd.; 2.Huizhou Jibang Precision Technology Co., Ltd.)

Abstract: Comparing to slurry prepared ordinary 830 silica sol and the production of castings, SKP27-3 surface layer silica sol has higher stability, excellent coating properties and insensitivity to drying conditions, of which the performance and effect. After verification of batch production of castings, the stability of slurry prepared with SKP27-3 surface layer silica sol reach up to 62 days. The cavity surface of the prepared shell is smooth and dense, and the one-time yield rate is greatly improved. The statistical defect rate of batch production casting is below 4.45%, and the casting repair rate is greatly reduced, while the casting defect rate of 830 silica sol is higher than 11.72%, indicating that SKP27-3 surface layer silica sol has a high advantage.

Key Words: SKP27-3 Silica Sol, Surface Enhancement, Paintability, Stability

采用硅溶胶和锆英粉等耐火材料配制面层浆料时,其稳定性较差。面层浆料的使用寿命受硅溶胶、蜡模清洗剂残留物、浆料存放环境、浆料搅拌速度及锆英粉中

的杂质含量等因素的影响。弱酸性的锆英粉对浆料稳定性影响最大。因此,硅溶胶自身性能的提高以及硅溶胶与耐火材料混合体系的稳定性就变得尤为重要^[1,2]。

收稿日期:2021-10-15;**修改稿收到日期:**2021-11-25

第一作者简介:赖洪,男,1994 年出生,高级工程师,广东东莞(523445),E-mail:Laihong0621@163.com

通信作者:王国顺,男,1964 年出生,高级工程师,广东东莞(523445),E-mail:guoshun.wang@wellchina.com.cn

引用格式:赖洪,何欣,叶海峰,等. SKP27-3 面层增强型硅溶胶在精密铸造上的应用[J]. 特种铸造及有色合金,2022,42(2):257-260.

LAI H, HE X, YE H F, et al. Application of SKP27-3 surface layer reinforced silica sol in precision casting[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2022, 42(2):257-260.

备的陶瓷型壳,厚壁与薄壁之间的壁厚差达到 124%,而采用机械手制备的陶瓷型壳的厚壁与薄壁的壁厚差仅为 13%,壁厚均匀性得到了很大的提高。同时,人工成本也显著降低。

参 考 文 献

[1] JONES S, YUAN C. Advances in shell moulding for investment casting[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 135: 258-265.
[2] 曾洪,张松泉,伍林,等. 熔模精密铸造用陶瓷型壳研究进展[J]. 东方汽轮机, 2019(3): 39-41, 46.
[3] JAFARI H, IDRIS M H, OURDJINI A. A review of ceramic shell investment casting of magnesium alloys and mold-metal reaction suppression[J]. Materials and Manufacturing Processes, 2013, 28;

843-856.
[4] 李涤尘,吴海华,卢秉恒. 型芯型壳一体化空心涡轮叶片制造方法[J]. 航空制造技术, 2009(3): 38-42.
[5] 孟樊秋. 熔模铸造的自动化制壳生产线[J]. 铸造工程, 2014(6): 44-46.
[6] 吴润梅. 短切聚丙烯纤维增强型壳制壳用硅溶胶涂料的流变行为研究[D]. 呼和浩特:内蒙古工业大学, 2015.
[7] 杨爱新. 面层材料对钛合金熔模精密铸造型壳性能的影响[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2015.
[8] CHEN Y F, XIAO S L, TIAN J, et al. Effect of particle size distribution on properties of zirconia ceramic mould for TiAl investment casting[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2011, 21(2): 342-347.

(编辑:刘卫)

用普通 830 硅溶胶配制的面层浆料,存在浆料老化快、导致胶凝收缩等问题。另外,采用 830 硅溶胶生产的铸件表面品质差、返修率高,也会增加后处理的工作量和返修成本。因此,开发稳定性好、制壳干燥条件宽松,且能改善铸件表面品质的新型硅溶胶变得尤为迫切。

针对熔模铸造制壳面层不良问题,研发了 SKP27-3 新型面层增强硅溶胶。在工艺相同的条件下,经大批量生产统计表明,采用 830 硅溶胶配浆生产的铸件,表面不良率为 13%;而用 SKP27-3 型硅溶胶生产的铸件表面不良率仅为 3.5%,极大地降低了铸件后处理的返修成本,在提升铸件表面品质的同时也提高了生产效率。

1 SKP27-3 面层增强硅溶胶的研发

与普通 830 硅溶胶相比,在 SKP27-3 硅溶胶中添加了有机粘结剂,使之改性为有机复合型硅溶胶,解决了 830 硅溶胶单纯作为无机粘结剂在胶凝过程中不均衡收缩带来的缺陷,延长了面层浆料的使用寿命,有效地改善了铸件表面品质。

1.1 胶体内部结构改变增加浆料稳定性

表 1 为 830 硅溶胶和 SKP27-3 硅溶胶的物性参数。可以看出,SKP27-3 硅溶胶采用更加精细化的生产工艺,与普通 830 硅溶胶相比,pH 值更高和粒径更大。830 硅溶胶的 pH 值为 9~10,平均粒径为 7~10 nm,SKP27-3 硅溶胶的 pH 值为 10~11,平均粒径为 10~13 nm。因此,用 SKP27-3 硅溶胶配制的面层浆料,表现出更高的稳定性。

表 1 830 硅溶胶和 SKP27-3 硅溶胶的物性参数

Tab.1 Physical parameters of 830 silica sol and SKP27-3

silica sol						
型号	$w(\text{SiO}_2)/w(\text{Na}_2\text{O})/\%$	pH 值 (25℃)	密度/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	粘度/ $(\text{mPa}\cdot\text{s})$	平均粒 径/nm	
普通 830	30±1	≤0.6	9~10	1.19~1.21	≤8	7~10
SKP27-3	26~29	≤0.6	10~11	1.17~1.19	≤8	10~13

1.2 高聚物对胶体的包覆改善了面层浆料的涂挂性

SKP27-3 型硅溶胶与 830 硅溶胶的不同,还在于用含氨基类的高聚物对硅溶胶进行了改性,高聚物对硅溶胶胶粒进行包覆,且高聚物层中的氨基和胶体表面的硅醇基形成了分子间氢键。图 1 为 830 硅溶胶和 SKP27-3 型硅溶胶的模拟图。从图 1a 看出,硅溶胶粒子表面充斥着大量的 Si-OH 基。从图 1b 看出,SKP27-3 型硅溶胶最外层为含氨基类的高聚物包覆改性层,高聚物层可以是半包覆或全包覆。其中,高聚物层中的 N 可以和胶体的 Si-OH 基形成分子间氢键,使得改性过的硅溶胶不易聚集,增加了胶体的稳定性^[3,4]。同时高聚物本身具有吸附功能,SKP27-3 硅溶胶也增加了表面吸附

作用。因此,配成浆料后呈现出较好的涂挂性和流平性,制得的型壳内腔表面品质更好。

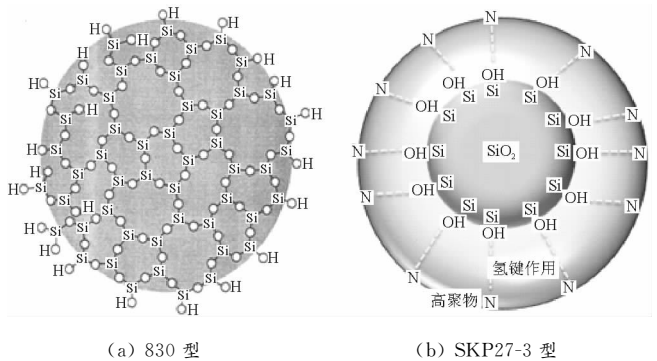


图 1 830 硅溶胶和 SKP27-3 型硅溶胶的模拟图
Fig.1 Schematic diagram of 830 silica sol and SKP27-3 silica sol

2 SKP27-3 面层硅溶胶的应用

2.1 面层浆料的配比

选用 SKP27-3 面层增强型硅溶胶和普通 830 硅溶胶,采用完全相同的锆英粉和锆英砂,按照硅溶胶与锆英粉的质量比为 1:4.4 的粉液比进行面层浆料的配制。

2.2 浆料的 pH、粘度、密度和沾浆的厚度对比

将 SKP27-3 面层和普通 830 硅溶胶配成的浆料搅拌 24 h 后,对浆料的 pH、密度和沾浆的厚度测试,结果见表 2。可以看出,在生产配浆过程中,这两款硅溶胶除了浆料的 pH 值不同以外,其他参数都接近。采用 SKP27-3 面层硅溶胶配制的面层浆料的 pH 值为 9.98,高于普通 830 硅溶胶配成浆料的 pH 值。

表 2 两种硅溶胶的所配浆实测数据

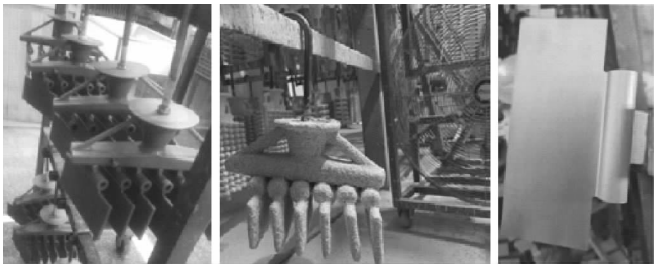
Tab.2 Measured data of the mixed slurry of each silica sol

型号	浆料的 pH 值 (25℃)	浆料的密度/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	厚度/ mm	流杯粘度/ s
SKP27-3	9.98	2.94	0.11	31
普通 830	8.92	2.96	0.10	35

2.3 制壳的干燥条件参数

用 830 和 SKP27-3 型硅溶胶配制面层浆料的适宜环境如下:①830 硅溶胶配制面层浆料的环境温度为 $(24\pm2)^\circ\text{C}$,相对湿度为 55%~70%,无风条件干燥后再进行下一层;②SKP27-3 型硅溶胶配制面层浆料温度为 22~28℃,相对湿度为 40%~70%,在无风或强风(风力为 5~6 m/s)条件下干燥,面层均未见脱落或开裂现象,干燥后直接进行下一层作业。

图 2 为 SKP27-3 型硅溶胶面层浆料及所生产铸件表面形貌。可以看出,采用强风直接干燥,得到的铸件表面光洁平滑,未见毛刺或开裂等现象。

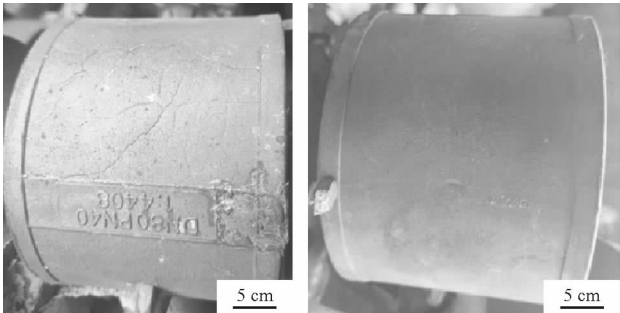


(a) 所制型壳 (b) 型壳干燥 (c) 铸件表面形貌

图 2 SKP27-3 型硅溶胶面层浆料及所生产铸件表面形貌
Fig.2 Surface layer slurry prepared by SKP27-3 silica sol and the surface morphology of produced castings

2.4 铸件的表面品质对比

将 SKP27-3 面层硅溶胶和普通 830 硅溶胶批量生产的未清砂直接脱壳后的铸件表面品质进行对比,见图 3,统计结果见表 3。可以看出,在相同条件下,SKP27-3 型硅溶胶配浆制壳生产的铸件整体表面品质较好,铸件表面不良率只有 3.92%左右,而采用 830 硅溶胶不良率为 11.72%。



(a) 普通 830 硅溶胶 (b) SKP27-3 硅溶胶

图 3 两种硅溶胶生产的 4408 型铸件

Fig.3 4408 castings produced by 830 and SKP27-3 silica sols

表 3 两种硅溶胶面浆制壳的最终铸件的表面不良率

Tab.3 The surface defect rates of the castings with surface slurry shells prepared by 830 and SKP27-3 silica sols

硅溶胶	产品 型号	总数/ 件	凸出 物/件	毛刺/ 件	表面缺陷 总数/件	表面不 良率/%
SKP27-3	4408	23 524	514	407	921	3.92
普通 830	4408	24 140	1 021	1 808	2 829	11.72

2.5 SKP27-3 硅溶胶经济效益分析

用 SKP27-3 型硅溶胶和普通 830 硅溶胶就成本和返修率进行了对比,估算其带来的经济效益,见表 4。可以看出,采用 SKP27-3 型硅溶胶面浆生产的铸件,返

表 4 两种硅溶胶面浆最终铸件的经济效益

Tab.4 The economic benefits of the ultimate castings with 830 and SKP27-3 silica sol slurry

硅溶胶 型号	产品 型号	品检总 数/件	返修件 数/件	铸件单价* / 元	原材料损* 耗/万元	返修成 本/万元
SKP27-3	4408	23 524	921	25.25	0.3	0.2
普通 830	4408	24 140	2 829	25.23	6	2.2

注:铸件单价包含硅溶胶成本;原材料损耗包括由于浆料老化引起的耐火材料等损耗

修率低,返修成本低。此外,由于普通 830 硅溶胶配成的浆料稳定性差、寿命短,浆料老化带来的原材料损耗也不能被忽视^[5]。因此,使用 SKP27-3 型面层硅溶胶综合成本低,性价比高,具有可观的成本优势。

3 SKP27-3 硅溶胶与国内外同类产品比较

3.1 硅溶胶的理化指标对比

将 SKP27-3 型硅溶胶、普通 830 硅溶胶、进口 A 型面层硅溶胶和进口 B 型面层硅溶胶的理化指标对比,见表 5。

表 5 4 种硅溶胶的理化指标参数

Tab.5 Physical and chemical index parameters of four kinds of silica sols

型号	$w(\text{SiO}_2)/w(\text{Na}_2\text{O})$ %	pH 值 (25℃)	密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	流杯粘度/ ($\text{MPa}\cdot\text{s}$)	平均粒 径/ nm	
SKP27-3	26~29	≤ 0.6	10~11	1.17~1.19	≤ 8	10~13
普通 830	30±1	≤ 0.6	9~10	1.19~1.21	≤ 8	7~10
进口 A 面层	26~29	≤ 0.6	10~11	1.17~1.19	≤ 8	10~20
进口 B 面层	26~29	≤ 0.6	10~11	1.17~1.19	≤ 8	10~20

3.2 硅溶胶面层浆料的稳定性对比

选用 SKP27-3 型硅溶胶、普通 830 硅溶胶、进口 A 型面层硅溶胶和进口 B 型面层硅溶胶,采用同一种耐火材料,按照某企业标准的配浆参数和工艺制备浆料,进行面浆稳定性比较试验。试验温度为(25±1)℃,湿度为(60±5)%,添加纯水。粉液比为 1:4.4,结果见图 4。可以看出,在相同条件下,830 硅溶胶浆料只维持 5 天,其 pH 值就从 8.86 下降至 8.0 左右,严重老化。进口 A 型面层硅溶胶浆料稳定性在 10 天左右,进口 B 型面层硅溶胶浆料稳定性约为 20 天。而 SKP27-3 型面层硅溶胶浆料的稳定性能保持 62 天。

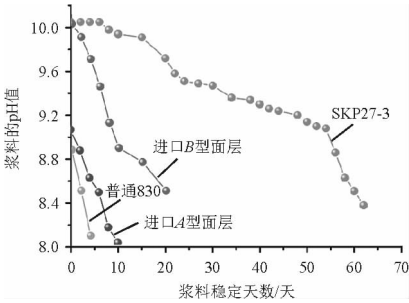


图 4 4 种硅溶胶配成的浆料 pH 随时间的变化曲线

Fig.4 The pH variation curves of the slurry prepared by four kinds of silica sols with time

3.3 硅溶胶面层浆料的涂挂性对比

将普通 830、SKP27-3 型和进口硅溶胶面层浆料进行涂挂性对比试验,结果见图 5。从图 5a~图 5d 可见,SKP27-3 型硅溶胶连续搅拌 62 天之后,其表面出现了小颗粒,并且涂挂性变差。采用进口 A 型面层硅溶胶配制的浆料仅维持了 10 天,其蜡片表面的涂挂性变差,并伴有细小的颗粒物产生,而普通 830 硅溶胶的使用寿

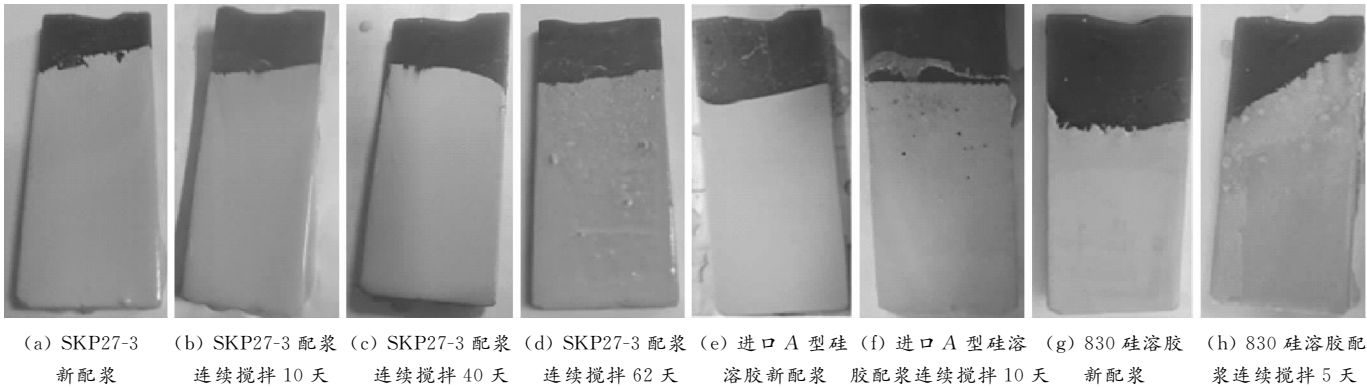


图 5 3 种硅溶胶所配面层浆料连续搅拌不同时间的沾浆表面效果图

Fig.5 The surface effect diagram of the surface layer slurry prepared by three kinds of silica sols with continuous stirring for different time
命仅仅只持续了 5 天,就有小颗粒产生,涂挂性变差。

3.4 不同面层硅溶生产铸件表面品质对比

将 SKP27-3 硅溶胶、进口 A、B 型硅溶胶和普通 830 面层硅溶胶生产的铸件进行表面品质对比,见图 6、图 7 和表 6。可以看出,在相同条件下,SKP27-3 型硅溶胶配浆制壳生产的铸件整体表面品质较好。普通 830 硅溶胶铸件的表面不良率为 14.72%,进口 A 型面层硅溶胶铸件的表面不良率为 11.82%,进口 B 型面层硅溶胶铸件表面不良率为 8.92%,而 SKP27-3 型硅溶

表 6 4 种硅溶胶面浆最终铸件的表面不良率

Tab.6 The surface defect rate of the ultimate castings of the four kinds of silica sol slurry

硅溶胶 型号	产品 型号	品检总 数/件	凸出 物/件	毛刺/ 件	表面缺陷 总数/件	表面不 良率/%
普通 830 硅溶胶	6958	1 950	153	134	287	14.72
	6958	1 100	53	77	130	11.82
进口 A 型面层	5743	1 550	180	92	272	17.55
	6958	1 930	42	130	172	8.92
进口 B 型面层	6958	2 450	24	62	86	3.51
	5743	1 550	15	54	69	4.45

胶铸件表面不良率为 3.51%。

4 结 论

(1)SKP27-3 型硅溶胶添加了高聚物,对硅溶胶具有包覆作用,使得硅溶胶表面结构发生改变。与普通 830 硅溶胶相比,SKP27-3 型硅溶胶配制浆料的稳定性和涂挂性更加突出,干燥速度快,干燥条件宽松。

(2)采用 SKP27-3 面层硅溶胶配制的浆料,在连续搅拌的前提下,其稳定性长达 62 天,明显优于普通 830 硅溶胶以及同类进口硅溶胶配制的浆料。

(3)与普通 830 面层硅溶胶相比,采用 SKP27-3 面层硅溶胶制壳生产铸件的表面品质,其表面不良率大幅降低,产品返修率大幅下降,综合经济效益明显。

参 考 文 献

[1] 陈合芝.熔模铸造硅溶胶型壳的研究进展[A]. 中国无机盐工业协会无机硅化物分会.2016 年全国无机硅化物行业年会暨创新发展研讨会论文集[C]. 2016.

[2] 柳建国,马波,朱家辉,等.熔模铸造硅溶胶快速制壳工艺研究与实践[J].铸造, 2020, 69(10): 1 081-1 086.

[3] 张歌,赵亚利,宁二宾.干燥时间对快干硅溶胶型壳质量的影响[A]. 中国无机盐工业协会无机硅化物分会.2020 年全国无机硅化物行业协会年会暨行业高质量发展研讨会论文集[C]. 2020.

[4] 武超.快干型硅溶胶在精密铸造领域中的应用[A]. 中国铸造协会.第十五届中国铸造协会年会论文集[C]. 2019.

[5] 杨银岐,李海树.熔模铸造水玻璃型壳改为硅溶胶型壳的成本分析[J].特种铸造及有色合金, 2021, 41(4): 527-528.

(编辑:刘卫)

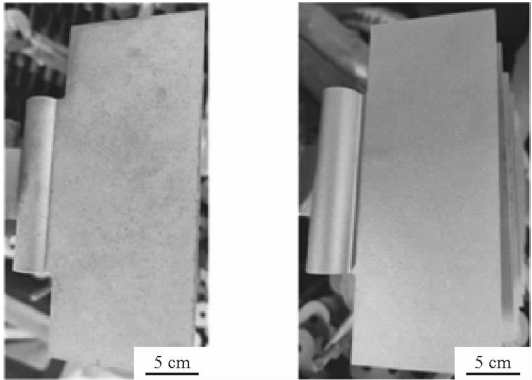


图 6 两种面层硅溶胶生产的平板类铸件表面形貌

Fig.6 Surface morphology of flat castings produced by imported A type and SKP27-3 surface layer silica sols

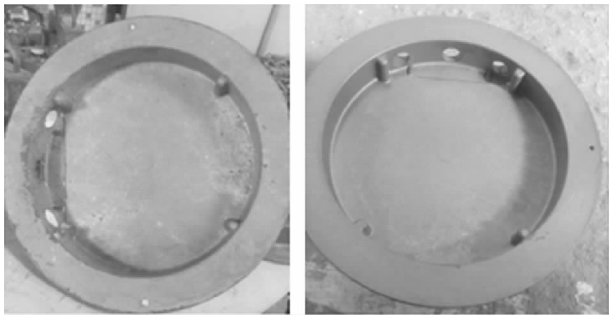


图 7 两种面层硅溶胶生产的圆形铸件表面形貌

Fig.7 Surface morphology of round castings produced by imported A type and SKP27-3 surface layer silica sols