

无机黏结剂工艺的研究及在铸钢件上的应用

孔艺博¹, 魏甲¹, 李锋², 兰晓东³

(1 沈阳汇亚通铸造材料有限责任公司, 辽宁 沈阳 110136; 2 济宁运河机械有限公司, 山东 济宁 272400;

3 牡丹江中车金缘铸业有限公司, 黑龙江 牡丹江 157000)

*通讯作者: 孔艺博, 男, 助理工程师, 学士, 935911116@qq.com

摘 要: 随着环保法规的严格化和绿色制造需求的提升, 铸造用无机黏结剂因其环保性、低成本和资源可再生性, 逐渐成为替代有机树脂黏结剂的重要选择。本文综述了无机黏结剂的材料开发、技术试验及在铸钢件领域的应用, 无机黏结剂工艺主要包括第四代酯硬化水玻璃自硬砂工艺、新型水玻璃 CO₂ 硬化工艺、新型无机黏结剂冷芯盒工艺。重点研究了无机黏结剂的强度、溃散性和抗吸湿性等性能特点。

关键词: 无机黏结剂; 自硬砂工艺; CO₂ 硬化工艺; 冷芯盒工艺; 环保; 低成本; 可再生

Research on Inorganic Adhesive Technology and Its Application in Steel Castings

Kong Yi Bo¹, Wei Jia², Ma Shuang³

Abstract: This article mainly introduces the current technological level of inorganic bonding agent technology and its application in cast steel parts. The inorganic bonding agent technology mainly includes the fourth generation ester hardening water glass self hardening sand technology, the new water glass CO₂ hardening technology, and the new inorganic bonding agent cold core box technology. The main focus is on studying the process performance of three processes, conducting experiments on strength, collapsibility, moisture absorption resistance, and other aspects. In terms of application, it mainly introduces the application in steel casting enterprises such as rail transit, engineering machinery, metallurgy and mining.

Keywords: Inorganic binders; self hardening sand process; CO₂ hardening process; cold box process; rail transit; engineering machinery; metallurgy and mining

1 前言

“十三五”以来, 铸造企业加快建设以“高端、绿色、智能、质量提升”为标志的铸造强国的步伐。面对新的机遇和挑战, 铸造企业必须不断创新和变革, 实施绿色铸造, 加快企业转型升级步伐, 持续提升产品质量, 实现企业的可持续发展。因此, 无机黏结剂工艺成为了铸造工厂首选工艺, 用于造型和制芯。

2 工艺研究

无机黏结剂主体材料为水玻璃, 在传统水玻璃基础上攻克了多项关键核心技术, 提高了水玻璃的活性和黏结力, 使“水玻璃砂性能树脂砂化”, 解决了水玻璃砂工艺多年存在的工艺技术难题, 实现了水玻璃砂工艺的“重大突破和技术创新”, 成套工艺

主要由三种工艺组成: 第四代水玻璃自硬砂工艺、新型水玻璃 CO₂ 硬化工艺、新型无机黏结剂冷芯盒工艺。

2.1 第四代水玻璃自硬砂工艺

采用复合活化改性技术, 研制出第四代水玻璃自硬砂工艺, 工艺主要特点低黏度、低加入量、高强度、高溃散性。解决了普通改性水玻璃在高温高湿环境下型砂吸湿大、硬透性差、强度低, 型芯易蠕变的问题, 以及普通改性水玻璃在低温下硬化速度变慢、硬透性变差、需要吹 CO₂ 辅助硬化的问题。工艺研究从物理指标、强度、溃散性、抗吸湿性几个方面进行试验研究。

2.2.1 物理指标

表 1 水玻璃技术指标

Tab.1 Technical indicators of water glass

水玻璃	黏度	密度	外观
第四代水玻璃	120-160 mPa·s	1.48-1.52 g/cm ³	无色透 明液体

2.1.2 抗拉强度

试验用原砂采用 40/70 目福建海砂，水玻璃加入量占砂量 2.8%，固化剂占砂量 0.5%，在不同的环境温度，调整硬化速度，可使用时间调整到 5-7min，制作标准“8”字试样，数据见表 2。

表 2 第四代水玻璃抗拉强度

Tab.2 Fourth generation water glass tensile strength

环境温 度	抗拉强度 MPa			
	1h	2h	6h	24h
0°C	0.12	0.25	0.60	0.85
10°C	0.15	0.28	0.65	0.82
20°C	0.20	0.32	0.68	0.81
30°C	0.25	0.35	0.67	0.78
40°C	0.28	0.39	0.55	0.75

2.1.3 溃散性

试验用原砂采用 40/70 目福建海砂，水玻璃加入量占砂量 2.8%，固化剂占砂量 0.5%，在环境温度 25°C 下制作“Φ50×50”的标准圆柱试样，硬化 24h 后进马弗炉高温灼烧 30min，取出试样室温放置 30min 后测残留的抗压强度，数据见表 3。

表 3 第四代水玻璃溃散性

Tab.3 Fourth generation water glass collapsibility

温度	300°C	500°C	700°C	900°C
残留强度	0.4MPa	0.2MPa	0.2MPa	0.6MPa

2.1.4 抗吸湿性

试验用原砂采用 40/70 目福建海砂，水玻璃加入量占砂量 2.8%，固化剂占砂量 0.5%，在环境温度 25°C 下制作标准“8”字试样，起模后放入不同湿度环境下测得抗拉强度，数据见表 4。

2.2 新型水玻璃 CO₂ 硬化工艺

在普通改性水玻璃基础上，研制出新型吹 CO₂ 专用水玻璃以及水玻璃砂专用增强剂。新型 CO₂ 专

用水玻璃主要是提高了水玻璃砂的溃散性，可应用于制芯；水玻璃砂专用增强剂为粉状无机物，用于提高型砂强度。工艺研究对新型吹 CO₂ 专用水玻璃强度、溃散性方面，加增强剂与不加增强剂进行对比。

表 4 第四代水玻璃抗吸湿性

Tab.4 Fourth generation water glass moisture resistance

环境湿 度	抗拉强度 MPa			
	1h	2h	6h	24h
60%	0.12	0.20	0.60	0.82
70%	0.14	0.22	0.62	0.80
80%	0.18	0.25	0.60	0.70
90%	0.17	0.24	0.56	0.65
100%	0.15	0.22	0.50	0.60

2.2.1 抗拉强度

试验用原砂采用 40/70 目福建海砂，水玻璃占砂量 3.5%，增强剂加入量占水玻璃 0、5%、10%、15%、20%，环境温度 25°C，下制作“Φ50×50”的标准圆柱试样，试样制作好后盖上吹气盖，调整 CO₂ 气体压力 0.4MPa，流量 25L/min，吹气时间 30s，对比抗压强度，数据见表 5。

表 5 新型水玻璃抗压强度

Tab.5 New compressive strength of water glass

增强 剂量	抗压强度 MPa			
	即时	1h	4h	24h
0	0.3	0.52	0.80	1.26
5%	0.36	0.58	0.84	1.31
10%	0.47	0.65	0.96	1.47
15%	0.55	0.78	1.18	1.68
20%	0.56	0.76	1.10	1.56

2.2.2 溃散性

试验用原砂采用 40/70 目福建海砂，水玻璃加入量占砂量 3.5%，增强剂加入量占水玻璃 0、5%、10%、15%、20%，环境温度 25°C，下制作“Φ50×50”的标准圆柱试样，试样制作好后盖上吹气盖，调整 CO₂ 气体压力 0.4MPa，流量 25L/min，吹气时间 30s 起模，起模后 24h 进马弗炉高温灼烧 30min，取出试样室温放置 30min 后测残留的抗压强度，数据见表 6。

表 6 新型水玻璃溃散性

Tab.6 New type of water glass collapsibility

增强剂 量	残留抗压强度 MPa			
	300℃	500℃	700℃	900℃
0	0.5	0.25	0.2	0.5
5%	0.5	0.28	0.24	0.5
10%	0.52	0.25	0.26	0.57
15%	0.57	0.34	0.25	0.54
20%	0.65	0.35	0.42	0.61

2.3 新型无机黏结剂冷芯盒工艺

新型无机黏结剂冷芯盒工艺打开了 CO₂ 硬化新机理的突破口, 实现黏结剂加入比例低至 2% 时, 型砂抗拉强度 $\geq 1.0\text{MPa}$, 型砂强度是传统 CO₂ 硬化水玻璃砂的三倍以上; 砂溃散性好; 旧砂可再生回用; 该技术具有低碳环保、节能、经济、生产效率高、铸件质量好的整体优势。

新型无机黏结剂冷芯盒工艺用材料包括无机黏结剂和增强剂, 黏结剂是精制石英粉与一级纯碱经反射炉高温熔融反应, 生成纯净硅酸钠, 再装入转鼓, 通入蒸汽, 做成初制水玻璃, 初制水玻璃打入储料罐沉淀, 得到无色透明的水玻璃, 再加入改性剂, 经过优选得到无机黏结剂, 黏结剂性能指标见表 7。

表 7 无机黏结剂性能指标

Tab.7 Performance indicators of inorganic binders

牌号	外观	密度 g/cm ³	抗拉强度 MPa	功能
L-201	透明液体	1.45-	1.2-	普通型
L-202	透明液体	1.51	1.8	抗湿型

增强剂为多种无机材料复合物, 是球状纳米颗粒, 能提供活性负离子和黏结剂中的正离子发生交联反应, 增加砂粒间的连接桥。它有三种功能: a、提高黏结剂膜的强韧性, 提高力学性能; b、是球状纳米颗粒, 改善砂混合料的流动性, 易紧实; c、提高型、芯的抗吸湿性。增强剂性能指标详见表 7。

表 8 增强剂性能指标

Tab.8 Performance indicators of enhancer

牌号	外观	密度 g/cm ³	加入量	功能
Z-411	灰白色粉末	2.1-2.8	10-25% (占黏 结剂)	普通型
Z-412	白色粉末			抗湿型

试验用原砂采用内蒙擦洗砂, 50/100 目, 黏结剂 L201 占砂量 2.0%, 增强剂占黏结剂量分别为 10%、15%、20%、25%, 在环境温度 25℃ 下制作标准“8”字试样, 然后盖上吹气盖开始吹气, 一次吹气时间 25s, 二次吹气时间 30s, 吹气结束后取出试样, 测抗拉强度, 结果见表 9。

表 9 无机黏结剂冷芯盒抗拉强度

Tab.9 Tensile strength of inorganic adhesive cold core box

增强剂 量	抗压强度 MPa			
	即时	1h	4h	24h
10%	0.15	0.28	0.60	1.24
15%	0.19	0.31	0.63	1.37
20%	0.23	0.35	0.71	1.39
25%	0.25	0.34	0.69	1.34

3 无机黏结剂在铸钢件上的应用

无机黏结剂成套工艺已在轨道交通、工程机械、冶金矿山等铸钢件上广泛应用, 先后代替普通 CO₂ 水玻璃砂、普通有机脂水玻璃砂、呋喃树脂砂、邦尼树脂砂工艺。

3.1 某铁路机车厂采用无机黏结剂成套工艺生产钢件上

现场造型和制芯采用第四代水玻璃自硬砂工艺, 造型砂为 90% 再生砂+10% 新砂, 水玻璃加入量 2.7%, 固化剂加入量 0.45%, 起模抗拉强度 $\geq 0.2\text{MPa}$, 表干后抗拉强度 $\geq 0.8\text{MPa}$ 。制芯砂为 100% 内蒙擦洗砂, 水玻璃加入量 2.8% 水玻璃, 固化剂加入量 0.50%, 起模抗拉强度 $\geq 0.2\text{MPa}$, 表干后抗拉强度 $\geq 0.8\text{MPa}$ 。

制芯另外有一台射芯机, 采用冷芯盒无机黏结剂工艺, 射芯机射芯, 100% 内蒙擦洗砂, 2.2% 黏结剂, 0.45% 增强剂, 吹气硬化时间 40-90s, 即时抗拉强度 0.15MPa, 24h 抗拉强度 $\geq 0.8\text{MPa}$ 。采用无机黏结剂工艺生产照片见图 1, 铸件照片见图 2。



图 1 某铁路机车厂芯子

Fig.1 Railway locomotive factory core



图 2 某铁路机车厂铸件
Fig.2 Railway locomotive factory castings

3.2 某机械公司采用无机黏结剂生产工程机械铸钢件上

现场造型采用第四代水玻璃自硬砂工艺，造型砂 85%再生砂+15%新砂，2.6%水玻璃，0.45%固化剂，起模抗压强度 $\geq 0.4\text{MPa}$ ，表干后抗压强度 $\geq 1.2\text{MPa}$ 。制芯采用新型水玻璃 CO_2 硬化，制芯砂 60%新砂+40%再生砂，3.6%水玻璃，吹气时间 30-90s，即时抗压强度 $\geq 0.4\text{MPa}$ ，24 后抗压强度 $\geq 1.5\text{MPa}$ 。生产照片见图 3，铸件照片见图 4。



图 3 某机械公司砂型
Fig.3 Mechanical company sand mold



图 4 某机械公司铸件
Fig.4 Mechanical company castings

3.3 某大型重机厂采用无机黏结剂生产冶金矿山铸钢件上

现场造型和制芯均采用第四代水玻璃自硬砂工艺，造型砂 80%再生砂+20%新砂，2.8%水玻璃，0.50%固化剂，24h 抗拉强度 $\geq 0.8\text{MPa}$ 。制芯砂 100%福建海砂，3.0%水玻璃，0.50%固化剂，24 后抗压强度 $\geq 0.8\text{MPa}$ 。生产照片见图 5、图 6。



图 5 某重机厂芯子
Fig.5 Heavy Machinery Factory Core



图 6 某重机厂铸件
Fig.6 Heavy Machinery Factory Castings

4 结论

无机黏结剂凭借其环保优势和不断突破的技术瓶颈，正逐步成为铸造行业的主流选择。未来需进一步深化材料改性研究，推动工艺智能化，并建立全生命周期的绿色制造体系，以实现铸造行业的高质量持续发展。

参考文献:

- [1] 朱纯熙等.水玻璃砂基础理论[M].上海:上海交通大学出版社, 2000: 6-7.
- [2] 樊自田.水玻璃砂工艺原理及应用技术[M] 1 版.北京:机械工业出版社, 2004: 126.
- [3] 魏甲, 金广明, 尹德英等.改性水玻璃制芯(型)技术研究[J].中国铸造装备与技术,2017(3):18-21.
- [4] 金广明, 尹德英等.无机黏结剂硬化机理及应用研究[J].中国铸造装备与技术, 2019,5-8.