

温湿度和无机粘结剂加入量对低压铸造砂芯强度的影响

刘书梅 刘海滨 董晓茂

(湖北航特装备制造股份有限公司, 荆门 448000)

摘要 针对实际低压铸造生产中无机砂芯断芯和振砂困难的问题,采用某款副车架无机制芯工艺制作了“8”字样块,研究了环境温度及无机粘结剂加入量对砂芯强度的影响。结果表明,随着粘结剂添加量的增加,其形成的网状粘结桥越牢固,砂芯的强度越高;随环境湿度升高,因无机砂的强吸湿性,其强度会逐步下降。当无机砂芯的即时强度(出模强度)在 1.352 ~ 1.496 MPa, 24 h 强度在 3.523 ~ 4.498 MPa 时,砂芯既断芯少又易振砂。

关键词 温湿度;无机粘结剂加入量;砂芯强度

中图分类号 TG249.2;TG221 **文献标志码** A **DOI**:10.15980/j.tzzz.T20250180

Effects of Temperature, Humidity and Inorganic Binder Content on Strength of Low-pressure Casting Sand Core

LIU Shumei, LIU Haibin, DONG Xiaomao

(Hubei Hangte Equipment Manufacturing Co., Ltd., Jingmen 448000)

Abstract: Aiming at problems of core breakage and difficulties in sand vibration encountered in actual low pressure casting production, an “8”-shaped block was fabricated by core-making process of a specific subframe, and effects of ambient temperature, humidity, and inorganic binder contents on strength of sand core were investigated. The results indicate that the formed network bonding bridge becomes more robust with the binder addition rising, leading to higher strength of sand core. Conversely, the strength of sand core is gradually diminished with higher environmental humidity due to the hygroscopic nature. The sand cores exhibit reduced breakage and improved vibration with the initial strength between 1.352 MPa and 1.496 MPa, and 24 h strength between 3.523 MPa and 4.498 MPa.

Key Words: Temperature and Humidity, Inorganic Binder Addition, Sand Core Strength

随着环保要求的提高,铸造行业逐步向绿色环保、高效、优质的绿色工业发展^[1]。无机粘结剂制备成的无机砂芯,从制芯到浇注全过程无毒、无味、无粉尘^[2],能有效解决铸造环境污染问题,已经开始逐步取代覆膜砂和冷芯砂应用于铝合金铸件,尤其在新能源汽车的中空型薄壁底盘件中得到重视。

目前对无机砂芯质量的把控和去砂方面,还无法做到精准、高效。我司使用的某型再生砂及相关辅料存在同样问题:砂芯在高湿度下强度下降易断裂,而在低温度下强度增大易导致去砂困难。本研究重点分析无机砂芯强度随环境温湿度及无机粘结剂加入量的变化,确定砂芯合适的强度范围,为生产提供参考。

1 试验材料和方法

1.1 制样原理

无机砂制样原理同制芯一样,无机砂辅料中的粘结剂和固化剂在温度作用下进行脱水反应,生成 3D 网状结构,见图 1。在原砂颗粒间形成粘结桥,从而制备砂芯,同时为砂芯提供强度^[3],见图 2。无机砂辅料中的粘结剂主要成分为改性水玻璃,固化剂则是一些合成的和天然的矿物混合物^[4]。

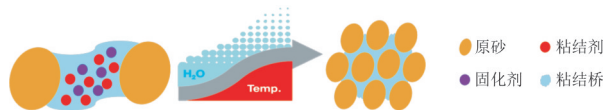


图1 粘结剂与添加剂反应原理

Fig.1 Interaction principle between adhesives and additives

收稿日期:2025-04-24;修订日期:2025-07-05

第一作者:刘书梅,女,1981年出生,工程师,E-mail:19541066@qq.com

引用格式:刘书梅,刘海滨,董晓茂.温湿度和无机粘结剂加入量对低压铸造砂芯强度的影响[J].特种铸造及有色合金,2026,46(6):945-948.

LIU S M, LIU H B, DONG X M. Effects of temperature, humidity and inorganic binder content on strength of low-pressure casting sand core [J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2026, 46(6): 945-948.

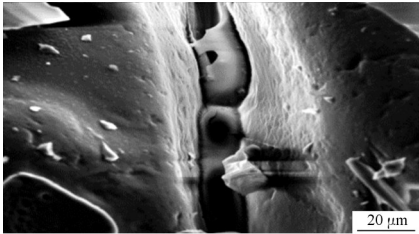


图2 粘结桥微观组织
Fig.2 Microstructure of bonding bridge



图3 “8”字样块
Fig.3 “8” character block

1.2 制样工艺

无机砂样块的制作流程与无机制芯一样,但由于样块体积较小,其工艺参数略有差异,见表1。

表1 制样工艺参数

Tab.1 Core-making process parameters					
射砂压力/ MPa	射砂时 间/s	吹气净化时 间/s	净化压 力/MPa	空气加热 器温度/℃	模具温 度/℃
0.4	2	120	0.2	150	180

注:射砂压力实际值约为0.3 MPa。

1.3 试验设备及材料

采用DXH-I多芯盒制样机、砂芯强度试验机制样和测试强度。采用某铝合金副车架无机砂芯所用的材料,主要包括原砂(40/70目焙烧砂),硅酸盐无机粘结剂(CAWN-1)和固化剂。某批焙烧砂性能见表2。

表2 焙烧砂性能检测结果

Tab.2 Performance test results of calcined sand					
项目名称	颜色	灼减量/%	AFS	含水量/%	三筛集中度/%
检测标准	淡灰色	≤0.20	41~51	≤0.15	≥75
检测结果	淡灰色	0.1	48.9	0.09	86
判定	ok	ok	ok	ok	ok
项目名称	200目粉尘/%	含泥量/%	酸耗值/(mL·g ⁻¹)	角形系数	
检测标准	≤1	≤0.2	≤6	≤1.3	
检测结果	0.2	0.11	5.72	1.1	
判定	ok	ok	ok	ok	

1.4 试验方法

选取企业正常生产中的原砂,粘结剂加入量为原砂质量的2.0%~2.3%,固化剂为粘结剂加入量的40%。首先在环境温度为10~25℃,湿度为30%时,对制芯车间混砂机中加入的粘结剂和固化剂依次进行称重。粘结剂加入量为2.0%、2.05%、2.10%、2.15%、2.20%、2.25%和2.30%,并依次与固化剂一起加入原砂中进行混砂处理。在每批混制完成的无机砂中依次取5 kg,使用DXH-I多芯盒制样机制作成“8”字样块,见图3,并使用强度试验机分别对其即时强度(出模10 s内的强度)和24 h强度进行检测记录。其次在环境温度为10~25℃,粘结剂加入量为原砂质量2.15%,在湿度分别为50%、63%、72%条件下制作“8”字样块,并测量其即时强度和24 h强度,取5个样块的平均值。

2 试验结果与分析

2.1 粘结剂加入量对砂芯强度的影响

表3是环境温度为25℃,湿度为30%时,在原砂中

表3 不同粘结剂加入量的砂芯强度

Tab.3 Strength of sand cores with different binder contents						
温 度/℃	湿 度/%	粘结剂加 入量/%	序号	即时强 度/MPa	24 h强度/ MPa	备注
25	30	2.0	1-1	1.223	3.589	断芯率 ≥30%, 大块残 砂率≤ 2%
			1-2	1.336	2.892	
			1-3	1.325	2.468	
			1-4	1.357	3.565	
			1-5	1.320	3.372	
			平均值	1.312	3.177	
25	30	2.05	2-1	1.354	3.313	断芯率 ≥10%, 大块残 砂率≤ 2%
			2-2	1.324	3.452	
			2-3	1.321	3.421	
			2-4	1.341	3.365	
			2-5	1.333	3.241	
			平均值	1.335	3.358	
25	30	2.10	3-1	1.384	3.723	断芯率 ≤5%, 大块残 砂率≤ 3%
			3-2	1.412	3.756	
			3-3	1.337	3.898	
			3-4	1.341	4.065	
			3-5	1.439	3.878	
			平均值	1.383	3.864	
25	30	2.15	4-1	1.426	4.452	断芯率 ≤2%, 大块残 砂率≤ 3%
			4-2	1.448	3.436	
			4-3	1.472	4.231	
			4-4	1.443	4.177	
			4-5	1.395	4.450	
			平均值	1.437	4.149	
25	30	2.20	5-1	1.458	4.541	断芯率 ≤2%, 大块残 砂率≤ 5%
			5-2	1.601	4.315	
			5-3	1.381	4.333	
			5-4	1.329	4.191	
			5-5	1.436	4.407	
			平均值	1.441	4.357	
25	30	2.25	6-1	1.512	4.466	断芯率 ≤1%, 大块残 砂率≥ 10%
			6-2	1.654	4.654	
			6-3	1.445	4.652	
			6-4	1.534	4.374	
			6-5	1.424	4.512	
			平均值	1.514	4.532	
25	30	2.30	7-1	1.525	4.451	断芯率 ≤1%, 大块残 砂率≥ 30%
			7-2	1.560	4.783	
			7-3	1.646	4.593	
			7-4	1.525	4.632	
			7-5	1.589	4.423	
			平均值	1.569	4.576	

加入不同含量粘结剂时的砂芯强度。可以看出,粘结剂加入量为2.0%~2.10%时,砂芯即时强度和24 h强度均较小,砂芯会出现小批量或批量的断芯;粘结剂加入量为2.10%~2.20%时,砂芯即时强度和24 h强度均逐步增大,可满足生产要求,砂芯既断芯少也易振砂;粘结剂加入量为2.25%~2.30%时,砂芯即时强度和24 h强度继续加大,但强度过大会导致砂芯在振砂后出现大块残砂,铸件也出现批量振砂困难的问题。

根据表3绘制不同粘结剂加入量的即时强度和24 h强度变化趋势,见图4。可以看出,随粘结剂加入量(2.0%~2.3%)的增加,砂芯的即时强度和24 h强度均会逐渐增大,粘结剂含量为2.3%时,砂芯即时强度和24 h强度最大,分别为1.569和4.576 MPa。这是由于更多粘结剂能更好包裹砂粒,从而形成更强的粘接桥,显著增强砂芯的强度。

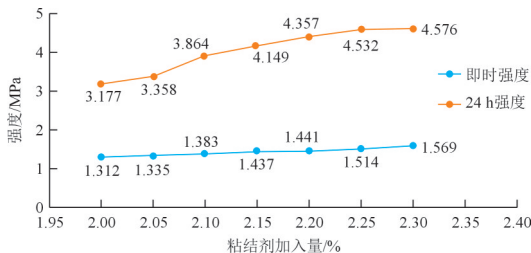


图4 不同粘结剂加入量的砂芯强度变化趋势
Fig.4 Effects of binder addition on core strength

结合表3和图4可以看出,在环境温度为25℃,湿度为30%时,粘结剂的加入量为原砂的2.10%~2.20%时,砂芯的即时强度在1.383~1.441 MPa,24 h强度在3.864~4.357 MPa范围内,砂芯断芯比例小且易振砂。

2.2 不同湿度对砂芯强度的影响

表4是环境温度为25℃,粘结剂加入量为原砂质量的2.10%,固化剂加入量均取粘结剂加入量的40%时,不同环境湿度下的砂芯强度。可以看出,在粘结剂为原砂质量2.10%时,环境湿度在50%时,砂芯的即时强度达1.373 MPa,24 h强度为3.695 MPa;环境湿度为63%时,砂芯的即时强度降为1.365 MPa,24 h强度降为3.624 MPa;环境湿度为72%时,砂芯的即时强度降低至1.352 MPa,24 h强度降为3.523 MPa。砂芯整体均断芯少,且振砂情况良好。

根据表4绘制出粘结剂含量为原砂质量2.10%,不同湿度的即时强度和24 h强度变化,见图5。可以看出,随着湿度增加,砂芯的即时强度和24 h强度均呈下降趋势。在环境湿度达到高湿(72%)时,砂芯的即时强度降到1.352 MPa,24 h强度降到3.523 MPa。这是因为无机砂砂芯强度对环境湿度十分敏感,在较高湿度环境下无机砂具有强吸湿性,会导致其强度的显著下降^[5]。

表4 不同湿度环境下的砂芯强度

Tab.4 Strength of sand cores under different humidity conditions

温度/℃	湿度/%	粘接剂加入量/%	序号	即时强度/MPa	24h强度/MPa	备注
25	72	2.10	8-1	1.323	3.352	断芯率≤5%, 大块残砂率≤2%
			8-2	1.376	3.615	
			8-3	1.366	3.639	
			8-4	1.345	3.562	
			8-5	1.348	3.445	
			平均值	1.352	3.523	
25	63	2.10	9-1	1.382	3.788	断芯率≤5%, 大块残砂率≤3%
			9-2	1.351	3.576	
			9-3	1.365	3.752	
			9-4	1.373	3.452	
			9-5	1.355	3.554	
			平均值	1.365	3.624	
25	50	2.10	10-1	1.386	3.743	断芯率≤5%, 大块残砂率≤3%
			10-2	1.391	3.942	
			10-3	1.375	3.564	
			10-4	1.362	3.481	
			10-5	1.353	3.743	
			平均值	1.373	3.695	

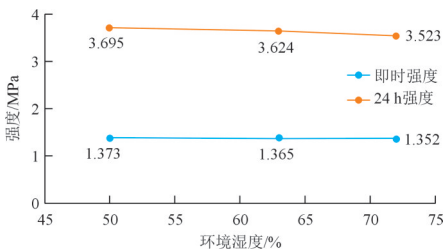


图5 不同湿度下砂芯强度变化
Fig.5 Variation of sand core strength under different humidity

2.3 不同温度对砂芯强度的影响

表5为粘结剂加入量是原砂质量的2.20%时,固化剂加入量为粘结剂加入量的40%,不同环境温度下的砂芯强度。可以看出,在粘结剂为原砂质量2.20%,湿度为30%条件下,温度为10℃时,砂芯的即时强度达1.496 MPa,24 h强度为4.498 MPa;温度为18℃时,砂芯的即时强度降为1.483 MPa,24 h强度降为4.456 MPa;温度为25℃时,砂芯的即时强度降低至1.472 MPa,24 h强度降为4.421 MPa,砂芯整体均断芯少且振砂情况良好。

根据表5绘制出粘结剂含量为原砂质量2.20%,环境湿度为30%,不同温度时的即时强度和24 h强度变化趋势,见图6。可以看出,随着环境温度降低,砂芯的即时强度和24 h强度均呈上升趋势。在环境温度降低到10℃时,砂芯的即时强度升到最大值1.496 MPa,24 h强度降到最大值4.498 MPa。这是因为环境温度过低会导致粘结剂的密度增大,砂芯强度变高。

表 5 不同温度下的砂芯强度

Tab.5 Strength of sand cores under different temperatures						
温度/ ℃	湿度/ %	粘接剂加入量/%	序号	即时强度/ MPa	24 h 强度/ MPa	备注
10	30	2.20	11-1	1.553	4.523	断芯率 ≤2%, 大块残 砂率≤ 5%
			11-2	1.523	4.512	
			11-3	1.482	4.503	
			11-4	1.439	4.465	
			11-5	1.484	4.485	
			平均值	1.496	4.498	
18	30	2.20	12-1	1.523	4.588	断芯率 ≤2%, 大块残 砂率≤ 5%
			12-2	1.538	4.376	
			12-3	1.486	4.652	
			12-4	1.469	4.231	
			12-5	1.398	4.433	
			平均值	1.483	4.456	
25	30	2.20	13-1	1.357	4.501	断芯率 ≤2%, 大块残 砂率≤ 5%
			13-2	1.498	4.463	
			13-3	1.549	4.417	
			13-4	1.559	4.324	
			13-5	1.395	4.398	
			平均值	1.472	4.421	

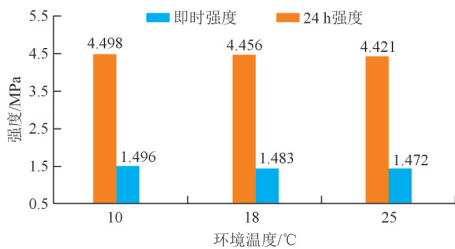


图 6 不同温度下砂芯强度变化

Fig.6 Variation of sand core strength under varied temperatures

2.4 砂芯强度的合适范围

砂芯的即时强度可算作砂芯出模的强度,其决定了砂芯的断芯情况,即时强度高则断芯少,反之即时强度低则断芯多,而振砂效果取决于砂芯的 24 h 强度。表 6 是环境温度为 10~25 ℃,湿度为 30%~70%,粘接剂加入量为原砂质量的 2.10%~2.20% 时,汇总的表 3、表 4 及表 5 中的砂芯强度。这个阶段的砂芯强度可满

表 6 断芯少且易振砂的砂芯强度

Tab.6 Strength of sand cores with low breakage and vibration-induced sand			
序号	即时强度/MPa	24 h 强度/MPa	备注
平均值 3	1.383	3.864	断芯率≤5%, 大块残砂率≤ 5%
平均值 4	1.437	4.149	
平均值 5	1.441	4.357	
平均值 8	1.352	3.523	
平均值 9	1.365	3.624	
平均值 10	1.373	3.695	
平均值 11	1.496	4.498	
平均值 12	1.483	4.456	
平均值 13	1.472	4.421	
平均值 13	1.472	4.421	

足砂芯既断芯少又易振砂的要求,即制芯时断芯率≤5%,振砂时大块残砂率≤5%。

根据表 6 绘制砂芯 24 h 强度与即时强度的变化趋势,见图 7。可以看出,整体上即时强度越高,24 h 强度也更高,且在砂芯即时强度为 1.352~1.496 MPa 时,24 h 强度为 3.523~4.496 MPa。因此,在环境温度为 10~25 ℃,湿度为 30%~70% 时,要满足砂芯既断芯少又易振砂,可控制粘接剂加入量为原砂质量的 2.10%~2.20%,砂芯的即时抗拉强度为 1.352~1.496 MPa,24 h 抗拉强度为 3.523~4.496 MPa。

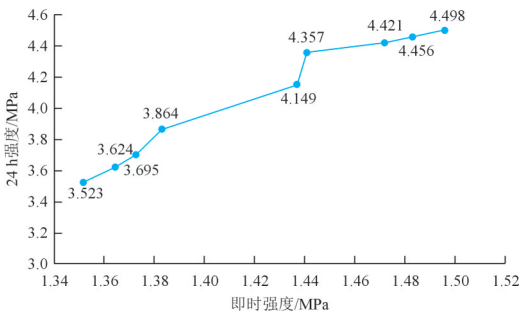


图 7 砂芯 24 h 强度与即时强度的变化趋势图

Fig.7 24 h strength variation of sand core with immediate strength

3 结 论

- (1)随粘接剂加入量的增加,粘接剂、固化剂与原砂颗粒间的粘接桥更强,能显著提高砂芯强度。
- (2)在环境温度和粘接剂加入量一定的条件下,环境湿度的升高,砂芯的即时强度和 24 h 强度均下降。
- (3)在环境湿度和粘接剂量一定的条件下,环境温度骤降会引起粘接剂密度的增大,导致砂芯强度增大。
- (4)在温度为 10~25 ℃,湿度为 30%~70% 时,控制粘接剂加入量为原砂质量的 2.10%~2.20%,固化剂为粘接剂的 40%,砂芯的即时抗拉强度为 1.352~1.496 MPa,24 h 抗拉强度为 3.523~4.496 MPa。

参 考 文 献

[1] 蔚明权,皮振江,秦红林. 无机粘结剂在铸造铝合金中的应用 [C]//中国铸造活动周论文集. 江苏苏州,2012.

[2] 熊杰,王丽峰,吴长松,等. 无机砂技术研究与工业化应用[J]. 铸造工程, 2023, 47(1): 59-63.

[3] 张文昌,郭俊,马小军,等. 无机砂在铝合金底盘副车架中的应用 [C]//湖北省铸造年会暨铸造学术会议论文集. 湖北黄石,2024.

[4] 梁金茹,郝敬禄. 改性水玻璃的研究 [J]. 热加工工艺,1991(3):40-41.

[5] 咎小磊. 水玻璃砂的吸湿特性及抗湿性研究[D]. 武汉:华中科技大学,2008.

(编辑:张正贺)