

热空气-微波加热复合硬化水玻璃砂性能研究

刘富初, 樊自田, 刘鑫旺, 李雪洁, 林学雄

(华中科技大学材料成形与模具技术国家重点实验室, 湖北武汉 430074)

摘要: 针对微波加热硬化水玻璃砂造型模具要求高的难题, 开展了“吹热空气硬化”与“微波加热硬化”复合硬化水玻璃砂新工艺的研究, 主要研究了空气的温度、流量、吹气时间、吹气压力对水玻璃砂样脱模时间、脱模强度和存放强度的影响。结果表明: 相比于“二次微波加热硬化水玻璃砂工艺”, 热空气—微波加热复合硬化水玻璃砂工艺操作简便, 可实现无模微波加热硬化, 基本解决了微波加热硬化水玻璃砂模具要求高的难题; 但是该复合硬化工艺前期达到脱模强度所需的时间较“微波加热硬化”长, 在实际应用中会影响生产效率。

关键词: 水玻璃砂; 微波硬化; 复合硬化; 强度

1 引言

微波加热硬化水玻璃砂能充分发挥水玻璃的粘结效率, 具有水玻璃加入量低(质量分数为砂重的 1.0%~1.5%)、硬化速度快、操作简便、强度高、不需要其他的固化剂等优点^[1-6], 被认为是最可能实现绿色铸造的工艺方法。制约微波硬化水玻璃砂广泛应用的一个难题是型砂造型模具要求很高, 木质模具和塑料模具在微波炉中加热 100s 就会发生变形, 甚至燃烧; 而金属模会反射或者屏蔽微波, 且会与微波产生电火花而损伤炉体, 故金属模绝对不能用于水玻璃砂微波硬化。但是如果能实现水玻璃砂初硬化后脱掉模具, 使砂型在微波炉内实现无模直接加热硬化, 就能消除因模具吸波效应而引起的模具损耗, 提高加热效率, 从而解决微波加热硬化水玻璃砂模具要求高的难题。

铸造厂冲天炉、高炉等加热设备均会产生温度较高的尾气, 用这些热尾气来硬化水玻璃砂型可以起到废气再利用、降低能耗及降低生产成本的作用。热空气硬化水玻璃砂基本上属于物理脱水硬化, 与微波硬化水玻璃砂的原理相同, 由热空气硬化获得的粘结膜(桥)大部分由硅酸凝胶组成, 对后续微波硬化获得的强度影响不大, 同时也可以实现水玻璃砂型无模微波硬化^[7-12]。本文开展了热空气-微波加热复合硬化水玻璃砂新工艺的研究, 主要研究了空气的温度、流量、吹气时间、吹气压力对砂样脱模时间、脱模强度和后期存放强度的影响。

2 试验原材料与方法

2.1 试验原材料及设备

原材料: 大林擦洗砂(粒度 70/140 目), 水玻璃(模数 $M=2.06$, 密度 1.45g/ml), 试验用空气由空气压缩机压缩得来, 并与吹气装置连接。

试验设备: 微波炉(设有 700W、1400W、2000W 三个功率), SHY 叶片式混砂机, 自制 $\Phi 30\text{mm} \times 30\text{mm}$ 的柱状对开木质模具, 杠杆式万能强度仪, 型砂表面性能测试仪, 电子天平(精度为 0.001g)。

2.2 试验方法

热空气-微波加热复合硬化水玻璃砂工艺: 将原砂和水玻璃按配比加入混砂机内混碾约 2 min 后出砂, 制成 $\Phi 30\text{mm} \times 30\text{mm}$ 的圆柱形试样, 并用直径为 1mm 的细铁丝对每个试样扎空; 以一定的流量和温度对试样进行吹空气硬化至其达到脱模强度时, 停止吹气并脱去模具, 再对砂样进行无模

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51375187, 51075163)。

通讯作者: 樊自田, 男, 教授, 博导, E-mail: fanzt@hust.edu.cn。

微波加热，至获得使用强度后取出待用。

测试各个试验因素对砂样脱模性能的影响，在保证脱模强度的前提下，研究了各因素对砂样后续存放强度的影响。为测试砂型的抗吸湿性能，本文主要测试砂样放置于恒湿瓶中（相对湿度为 98%~100%）和空气中一定时间的抗压强度，以及复合硬化和普通微波硬化水玻璃砂的吸湿性和表面安定性。

3 试验结果及分析

3.1 常温空气对复合硬化水玻璃砂样强度的影响

试验条件为：微波加热功率 1400W，加热时间 120s，水玻璃加入量 1.5%，环境温度 22℃、相对湿度 85%左右，制好的水玻璃砂样分别测试其脱模强度和空气中 4h 的存放强度。

在吹空气的压力为 0.4MPa、流量为 40 升/min，吹气时间分别为 1min、2min、3min、4min 的试验条件下，分别测试了不同吹气时间下砂样的脱模强度和带模具微波加热 20s 的脱模强度，其结果如图 1 所示。

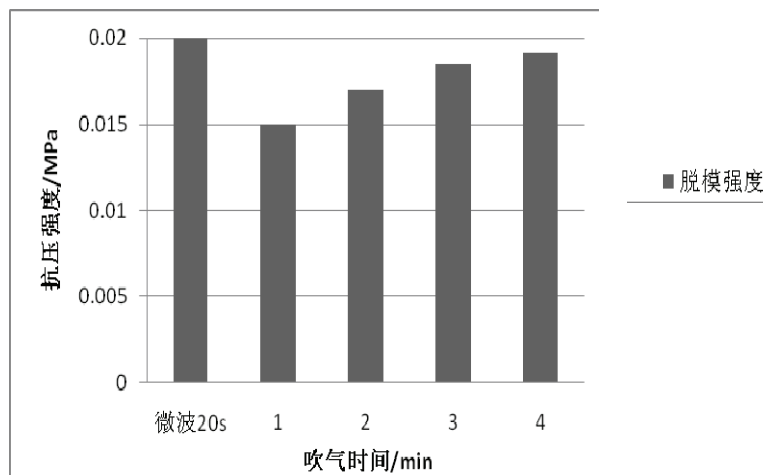


图 1 吹气时间对砂样脱模强度的影响

由图 1 可知，砂型的脱模强度随着吹气时间的延长而呈现小幅度增加，且均不小于 15kPa，基本达到了脱模要求，但还远小于微波硬化 20s 砂样的强度。这主要是由于在吹气的过程中仅依靠空气的流通作用带走砂型中的水分，且常温空气本身带有水分，减缓了其自身带走水分的能力和速度。而微波加热的原理是水分子剧烈振动、碰撞，自身产生热量，排出水分，硬化非常均匀迅速，因此在较小的时间内其砂型的强度就达到了吹空气硬化需要较长时间才能达到的高度。

在吹空气的压力为 0.4MPa、流量为 40 升/min，吹气时间分别为 1min、2min、3min、4min 的试验条件下，经微波硬化后的砂样，在恒湿瓶中存放 4h 后测试其抗压强度，其强度随吹气时间的变化趋势如图 2 所示。

由图 2 可以看到，随着吹气时间的延长，砂样的 4h 存放强度呈现一个缓慢的增长趋势，并最终高于二次微波硬化水玻璃砂的 4h 存放强度，但当吹气时间低于 1min 时，复合硬化砂样的存放强度是低于二次微波硬化水玻璃砂样的。主要是由于随着吹气时间的延长，吹出的空气相对体积逐渐增加，空气在流通的过程中从砂型中带走的水分多于带入的水分，且砂型从空气中获得的 CO_2 量也相对增加，小部分水玻璃被 CO_2 硬化，减弱了砂型的吸湿性。

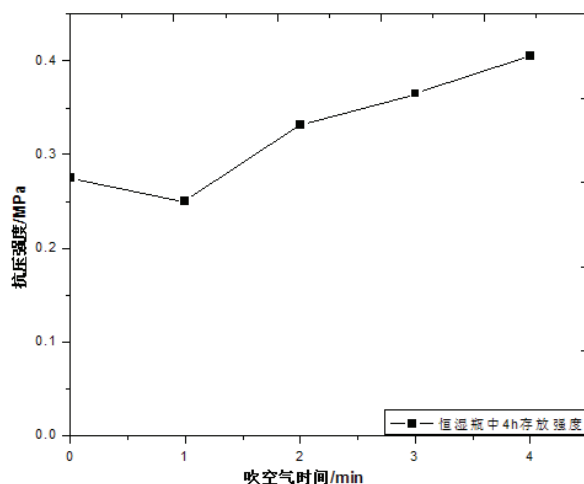


图2 吹气时间对砂样存放强度的影响

在吹气时间为 1min, 流量分别为 10 升/min、20 升/min、40 升/min、60 升/min、80 升/min 的条件下测试了砂样存放于恒湿瓶和空气中 4h 的强度, 其强度随流量变化的曲线如图 3 所示。其中吹气流量为 0 的一组为二次微波硬化水玻璃砂的存放强度。

由图 3 可知, 复合砂样的存放强度随着吹气流量的增加呈现先增后减的趋势, 在流量为 20 l/min 时获得最佳值。这主要是由于当吹气量相对较少时, 由空气引入的水分较少, 经后期微波硬化可基本排出, 且空气中含有的少量 CO_2 可使水玻璃发生小范围内的化学硬化, 在一定程度上减缓了砂样的吸湿速度, 提高了砂样的存放强度。但随着吹气流量的增加, 砂型中部分粘结剂过度硬化, 从而粘结桥破裂, 试样强度下降。

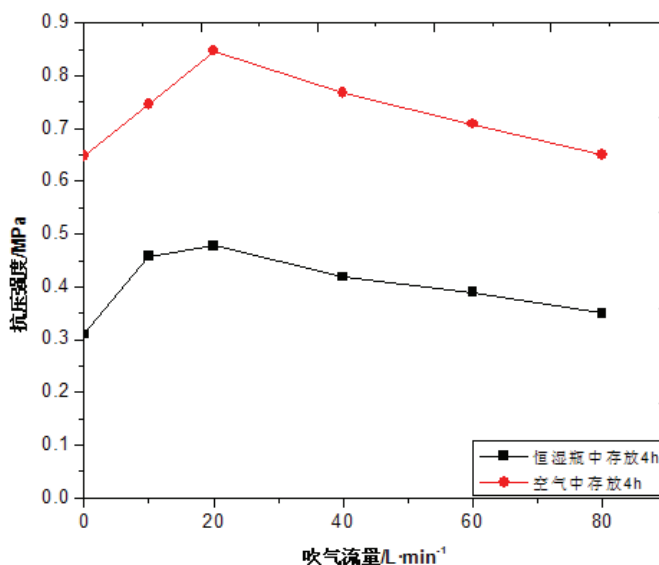


图3 吹气流量对砂样存放强度的影响

3.2 热空气对复合硬化水玻璃砂样强度的影响

试验条件为: 微波加热功率 1400W, 加热时间 120s, 水玻璃加入量 1.5%, 吹气流量为 40 升/min, 吹气压力为 0.4MPa, 吹气时间分别为 20s、40s、60s, 气体的温度分别为 40℃、50℃、60℃、70℃, 环境温度 26℃、相对湿度 90%左右, 制好的砂样分别测试其热空气硬化后的脱模强度和微波硬化后空气中 4h 的存放强度, 其强度随吹气时间和气体温度的变化情况如图 4 和图 5 所示。

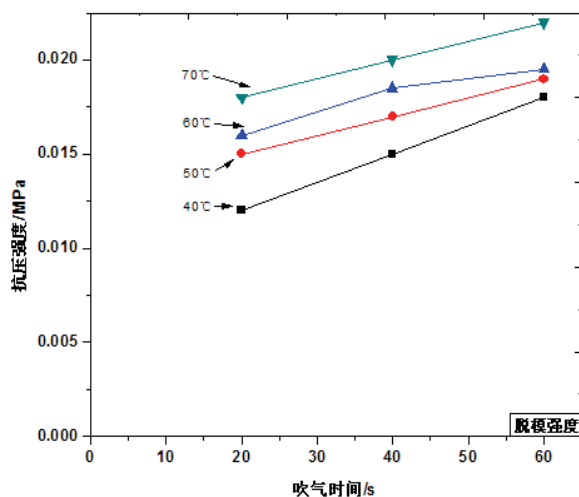


图4 气体温度、吹气时间对砂样脱模强度的影响

由图4可知,砂样的脱模强度随着吹气时间的延长,呈现上升的趋势,并随气体温度的升高而增加。较之于微波硬化工艺,吹空气硬化的速度偏慢,流量为40升/min时,吹气时间20s仍未达到要求的最低脱模强度,但热空气的脱模速率较常温空气上升的幅度较大。

由图5可知,后期经微波硬化后获得的存放强度随着温度的升高呈上升的趋势,但加热温度过高时,其存放强度随着吹气时间的延长,则呈现先增后减的趋势,主要是由于吹气时间过长,再经过微波硬化,致使其过度硬化,粘结膜发生破裂,又没有足够的化学硬化生成的硅酸凝胶来保护其粘结桥,因而导致强度有所下降。

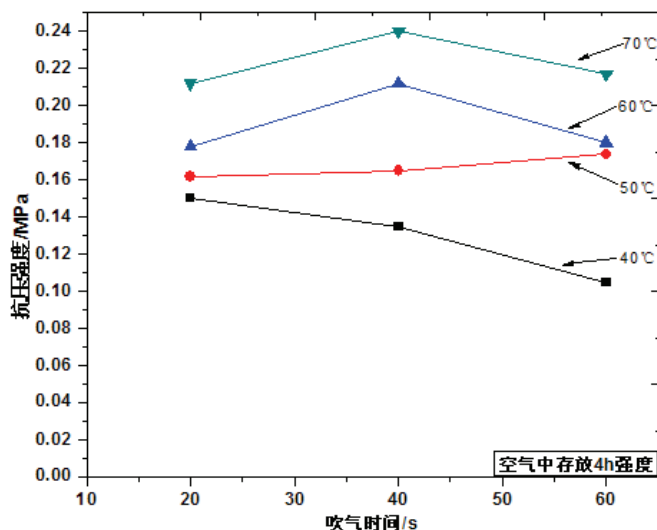


图5 气体温度、吹气时间对砂样空气中4h存放强度的影响

试验条件为:微波加热功率1400W,加热时间120s,水玻璃加入量1.5%,吹气压力为0.4MPa,吹气时间40s,气体的温度为70°C,吹气流量分别为20升/min、40升/min、60升/min,环境温度23.5°C、相对湿度88%左右。测试砂样存放于空气中4h的抗压强度,其强度随流量的变化曲线如图6所示。

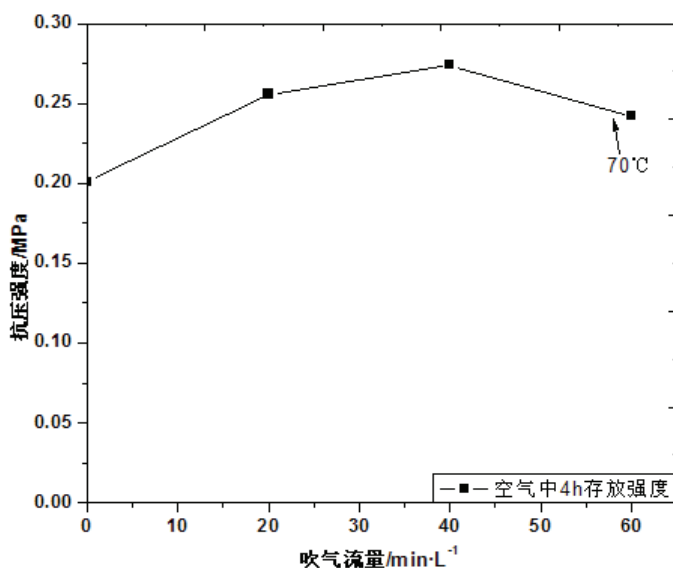


图6 吹气流量对复合硬化水玻璃砂样存放强度的影响

由图6可知,复合硬化水玻璃砂的存放强度随着吹气流量的增加呈现先增加后减少的趋势,主要是由于当热空气的吹入量相对较小时,随着热空气吹入量的增加,空气中含有的 CO_2 量也相对增多,少量的 CO_2 硬化生成的硅酸凝胶和 Na_2CO_3 等减缓了水分进入砂型内部的速率,从而在相同的存放时间内提高了砂样的存放强度,使其略高于二次微波硬化水玻璃砂的存放强度;当吹入的热空气量过多时,一方面被反应掉的水玻璃量增加,另一方面砂样的表面得到了充分的硬化,后期的微波硬化使得这部分已硬化的水玻璃砂过度硬化,导致砂样的强度出现下降的趋势。

3.3 吹气压力对复合硬化砂样强度的影响

试验条件为:微波加热功率 1400W,加热时间 120s,水玻璃加入量 1.5%,吹气流量为 40 升/min,吹气时间 40s,气体的温度为 70℃,吹气压力分别为 0.2MPa、0.4 MPa、0.6 MPa,环境温度 23.5℃、相对湿度 88%左右。测试砂样存放于空气中 4h 的抗压强度,其强度随吹气压力的变化曲线如图 7 所示。

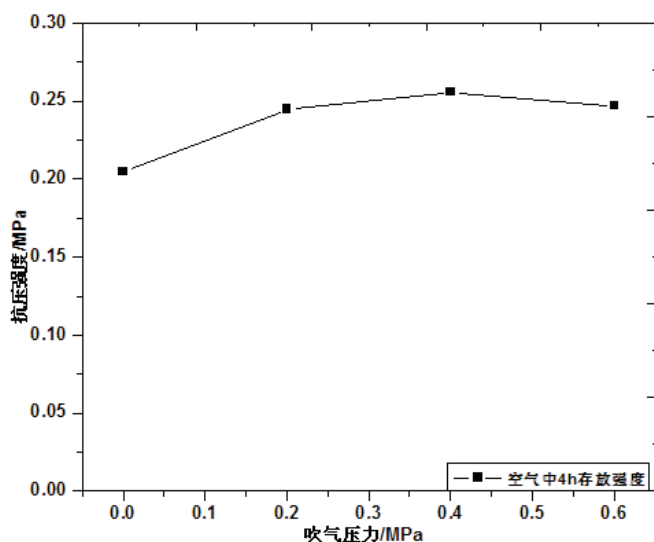


图7 吹气压力对复合硬化砂样存放强度的影响

由图7可知,随着吹气压力的增加,复合硬化砂样的存放强度没有明显的变化,表明在少量吹空气的情况下,吹气压力对砂样的存放强度没有明显的影响。

3.4 复合硬化水玻璃砂的吸湿性与表面安定性

热空气-微波加热复合硬化水玻璃砂以微波功率 1400W，加热时间 120s，水玻璃加入量 1.5%，吹气流量 40 升/min，吹气时间 40s，气体温度 70℃，吹气压力 0.4MPa 的工艺条件制样；二次微波硬化水玻璃砂以微波功率 1400W，加热时间 120s（一次 20s、二次 100s），水玻璃加入量 1.5%的工艺条件制样。分别测试二者砂样的表面安定性和存放于恒湿瓶中 4h 的吸湿率，如图 8 所示。

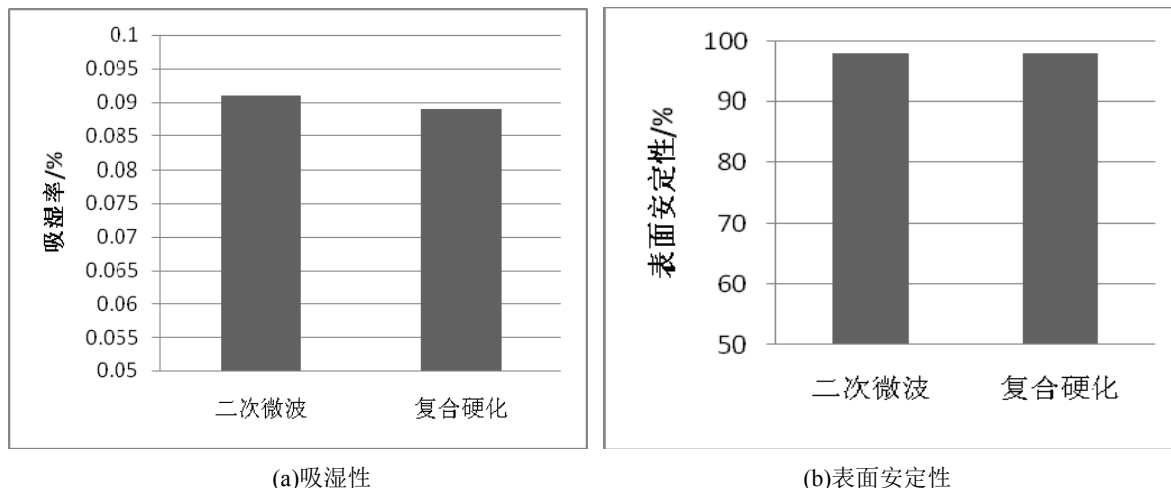


图 8 二次微波硬化与吹热空气—微波加热复合硬化的吸湿性与表面安定性

由图 8 可以看出，通过二次微波硬化工艺和复合硬化工艺的比较可知，两者的表面安定性和吸湿率相差不多，复合硬化工艺略好于二次微波硬化工艺，主要是由于一方面热空气的加热过程较微波加热缓慢一些，粘结桥不易因快速失水而产生微裂纹，另一方面空气中含有少量的 CO_2 可使部分粘结剂发生化学硬化生成不易吸水的硅酸凝胶和 Na_2CO_3 晶体，从而在一定程度上减缓了水分进入砂型内部的速率。

3.5 复合硬化水玻璃砂的硬化过程分析

吹空气-微波加热复合硬化工艺主要分为吹空气硬化获得脱模强度和微波无模加热获得可使用强度。

采用常温空气硬化时，砂样主要通过空气在砂型内部的流通带走水分硬化，但空气自身就含有较多的水分，获得脱模强度的硬化速率很慢，严重破坏了微波加热快速硬化的优势，因此实用性不强。

采用热空气硬化时，除了因空气中含有的较少的 CO_2 而发生的化学硬化外（吹空气量较少时基本可以忽略不计），砂样主要为加热硬化，与后续的微波加热硬化同属于物理硬化，水玻璃脱水后为脱水硅酸凝胶，较之于常温空气硬化，硬化速度明显加快，参数合适时，基本上不会影响到微波加热硬化的优势。

脱模后的砂样进一步进行微波加热硬化，以获得可使用强度。微波加热硬化在本质上属于一种较为均匀的加热硬化。

4 结论

本文研究了热空气硬化和微波加热硬化的复合硬化工艺，主要是为了解决微波硬化对模具要求高的难题，实现后期的微波无模加热硬化。

(1) 与普通微波加热硬化水玻璃砂相比，热空气-微波加热复合硬化水玻璃砂实现了无模微波加热，提高了微波的利用率，较好地解决了模具要求高这一问题。砂样的脱模强度随着吹气时间的延长，呈现上升的趋势，并随气体温度的升高而增加。较之于微波加热硬化工艺，吹空气硬化的速度稍偏慢，流量为 40 升/min 时，吹气时间 20s 仍未达到要求的最低脱模强度，但热空气的脱模速率

较常温空气上升的幅度较大。

(2) 尽管热空气-微波加热复合硬化工艺在一定程度上解决了微波硬化工艺的模具问题, 但脱模速度较微波硬化速率偏慢, 实际应用中会影响生产效率。

参考文献:

- [1] 樊自田,董选普,陆浔. 水玻璃砂工艺原理及应用技术[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [2] 李雪洁,樊自田,汪华方. 有机酯-微波复合硬化水玻璃砂强度及抗吸湿性研究[J]. 铸造,2012,61(2): 147-151
- [3] 牟群英, 李贤军. 微波加热技术的应用与研究进展[J]. 物理, 2004, 33(6): 438-442.
- [4] Liu Fuchu, Fan Zitian, Liu Xinwang, et al. Research on Humidity Resistance of Sodium Silicate Sand Hardened by Twice Microwave Heating Process[J]. Materials and Manufacturing Processes, 2014, 29(2):184-187.
- [5] Romualdo R Menezes, Pollyane M Souto, Ruth. HGA Kiminami. Microwave hybrid fast sintering of porcelain bodies [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 190(1-3): 223-229.
- [6] Constantinos J Millos, A Gavin Whittaker, Euan K Brechin. Microwave heating- A new synthetic tool for cluster synthesis [J]. Polyhedron, 2007, 26(9-11): 1927-1933.
- [7] R Benitez, A Fuentes, K Lozano. Effects of microwave assisted heating of carbon nanofiber reinforced high density polyethylene[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 190(1/3): 324-331.
- [8] 樊自田, 王继娜, 汪华方等. 水玻璃砂样或砂芯的微波加热硬化方法[P].中国发明专利, 200810197391.5. 2009.
- [9] Wang Hua-fang, Fan Zi-tian, Li Xue-jie,Liu Fu-chu,Yu Shao-qiang Performance and Mechanism of Sodium Silicate Sand by Ester-microwave Composite Hardening[J]. Proceedings of the 11th Asian Foundry Congress, 2011, 334-338.
- [10] FAN Zi-tian, WU Xiang-qing, WANG Hua-fang. Performance Characteristics of the Sodium Silicate Sand Hardened by Twice Microwave Heating Process[J]. The Proceedings of 69th World Foundry Congress, 2010, 654-659.
- [11] 刘富初,樊自田,汪华方. 微波加热硬化水玻璃砂表面涂层的抗湿性研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(10): 49-52.
- [12] 于涛, 樊自田, 徐志军, 吴香清, 汪华方.微波硬化水玻璃砂型内温度场分布特征及影响因素初步研究[J].铸造,2011,60(3):238-242.
- [13] 王继娜,樊自田,张辉明. 水玻璃旧砂的力学性能及其可再生性[J].华中科技大学学报(自然科学版),2009,(2):85-88.
- [14] 吴香清, 樊自田, 王继娜. 二次微波加热水玻璃砂工艺及性能特征[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(11): 90-93.
- [15] 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.
- [16] 李华基, 谢卫东. 水玻璃砂微波加热工艺及工程应用方案研究[J]. 重庆大学学报 (自然科学版), 1999, 22(6): 24-28.