

工艺因素对首饰石膏铸型强度的影响

袁军平, 金莉莉, 陈绍兴, 骆美美

(广州番禺职业技术学院珠宝学院, 广东广州 511483)

摘要: 金、银首饰主要采用石膏型精密铸造工艺成形, 铸型的强度对铸件表面质量有很大影响。本文以业内某品牌饰用石膏铸粉为试验材料, 采用智能砂型强度仪检测了铸型在不同工艺条件下的抗压强度。研究表明, 石膏浆料凝结成形时, 随着静置时间的延长, 铸型湿态强度不断提高; 铸型经高温焙烧后, 其强度随着铸型温度降低不断下降, 且焙烧过程中如受热不均会降低其强度; 随着水粉比增大, 铸型强度不断降低, 而采用一定浓度的硼酸水制作铸型时, 可以明显提升其热压强度。为使铸型强度满足生产需要, 应根据气温条件相应调整水粉比, 铸型灌注后应静置足够时间, 铸型焙烧时应采用“缓慢升温+多台阶保温+控制最高焙烧温度”的焙烧工艺。

关键词: 首饰; 石膏型; 抗压强度; 工艺因素

首饰大部分采用石膏型精密铸造工艺成形, 这是一个涉及多工序的复杂过程, 有许多因素会对铸件质量产生影响, 石膏铸型强度便是其中之一。当铸型强度偏低时, 容易出现开裂、剥落等问题, 导致铸件出现披缝、砂眼等缺陷^[1], 特别是在离心铸造工艺中, 金属液的充填速度快, 对铸型的冲刷力大, 更容易出现铸型强度不足的问题^[2]。

首饰石膏铸型基本采用商品化的石膏铸粉来制作, 它以半水石膏为粘结剂, 以石英和方石英等为主要耐火材料, 通过配制浆料、浆料灌注、铸型凝结、脱蜡焙烧等工艺环节, 赋予铸型一定的物理性能、化学性能和力学性能^[3]。铸粉本身品质的优劣是影响铸型强度的基本因素, 不同品牌的铸粉在强度性能及稳定性方面有差别, 需要根据自身产品结构的特点选择适宜的铸粉。但是, 在实际生产中, 同种铸粉在不同厂家甚至在同一厂家使用, 也常出现铸型强度性能的波动, 反映出工艺操作对铸型强度性能有很大影响。但是有哪些工艺因素会产生影响, 影响的程度有多大, 有什么样的规律, 这方面的研究报道较少, 生产实践中大都是凭经验进行操作。为此, 本文选择铸型静置时间、焙烧工艺、水粉比、水类等几个典型的工艺因素, 研究了它们对铸型抗压强度的影响。

1 试验方法

选择珠宝首饰行业广泛应用的某品牌铸粉作为试验材料, 采用自来水、纯净水、硼酸水溶液等不同水类, 按照不同的水粉比(以100 g粉中加入水的容积表示, 单位为mL/100 g)来配制石膏浆料, 经抽真空后浇注成 $\Phi 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 的抗压试样。凝结后的试样在静置过程中, 每隔一定的时间, 采用SYS砂型表面硬度计检测试样表面硬度, 或XQY-II型智能砂型强度仪检测试样的湿态抗压强度。然后将试样放入电阻焙烧炉中, 按照不同的焙烧制度进行焙烧, 将铸型在不同温度下保温1 h后, 趁热取出检测试样的热干态抗压强度。各试验条件下的试样为3个, 最后取平均值。采用Hitachi S3400N扫描电镜观察试样断口的微观形貌。

作者简介:

袁军平(1969-), 男, 博士, 教授级高工, 主要从事金属材料及成型工艺研究。
E-mail: yuanjp@gzpp.edu.cn

中图分类号: TG221

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)08-0921-05

基金项目:

广东省珠宝首饰工程技术研究中心建设项目(粤科产学研字[2016]176号)。
收稿日期:
2019-02-02。

2 试验结果及分析

2.1 静置方式对铸型强度的影响

在不同的环境温度下,采用纯净水混制石膏浆料,水粉比为38 mL/100g,抽真空1.5 min后灌注成形,铸型静置过程中每隔一定时间检测铸型湿态抗压强度,结果分别如图1和图2所示。

可以看到,当环境温度一定时,在石膏浆料凝结成形初期,铸型强度很低,在外界作用下容易引起铸型开裂。随着静置时间的延长,铸型强度迅速增加,当静置时间为1 h时,铸型强度约为静置24 h的60%,静置2 h时约达到72%,而当静置时间达到10 h后,铸型强度的增加幅度相对较小。另外,环境温度对铸型湿态强度的形成过程影响较明显,在静置时间为2 h时,低温湿态强度很低,随着温度升高,强度迅速升高,但是如温度过高时,强度反而有所下降。究其原因,与石膏的物理化学变化过程有关。半水石膏水化的同时发生凝结硬化,石膏浆料硬化过程分为两个阶段:第一阶段是形成石膏-水胶态分散体系,当半水石膏微晶集合体遇水时,水渗入其间的显微缝隙中,半水石膏开始溶解,同时析出二水石膏,由于体积应力,微晶集合体分裂成薄片状及细针状的二水石膏,由此产生凝结,体积膨胀。第二阶段是二水石膏晶粒彼此交叉连生而搭接成多孔的网状结构,在结晶交替接触点产生范德华力,还可能产生化学键力。而晶体网络结构、接触点的数量、分布均匀程度以及残留水分决定着铸型的强度。浆料刚凝结时,网络结构尚不健全,接触点较少,残留水分多,此时铸型较脆弱。凝结后随着静置时间的延长,网络结构逐渐发达,接触点数量不断增多,铸型的强度也得到提高,并且随着残留水分的不断蒸发,铸型强度将进一步提高^[4-5]。提高温度,网络结构形成速度加快,并促进残留水分蒸发,有利于提高铸型强度,但是温度过高时,铸型内易形成显微孔洞,导致强度下降。

因此,铸型灌注后应静置足够的时间不要随意搬动,正常室温条件下此静置时间不应少于1 h,而由于生产周期所限,通常也不允许过长,一般静置2 h较适宜。当气温很低时,为使铸型尽快获得必要的强度,应将铸粉和水适当加热后再使用。

2.2 焙烧工艺对铸型热干压强度的影响

石膏型焙烧的主要目的是去除残留于石膏型中的模料、结晶水以及其他发气物,同时完成石膏型中一些组成物的相变过程,使其体积稳定^[6]。采用纯净水来混制石膏铸粉浆料,水粉比为38 mL/100 g,铸型静置2 h后,采用四种不同的焙烧工艺进行焙烧,如图3所示。其中,B1工艺为缓慢升温+多阶段保温+控制最

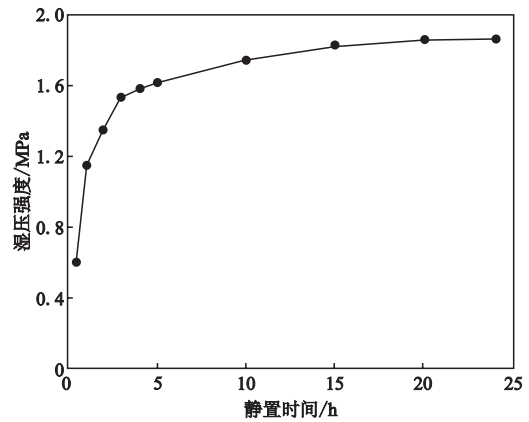


图1 静置时间对铸型湿压强度的影响(温度18 °C)

Fig. 1 Effect of standing time on green compressive strength of mould

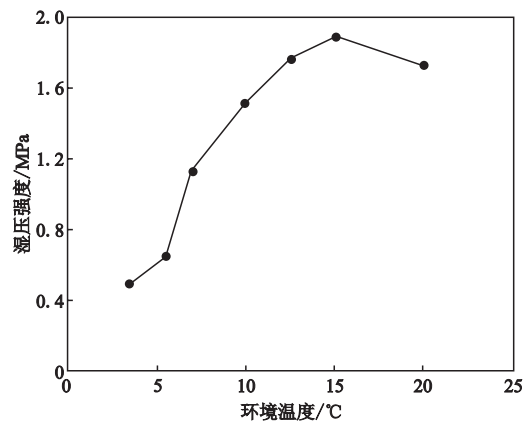


图2 环境温度对铸型湿压强度的影响(静置2 h)

Fig. 2 Effect of ambient temperature on green compressive strength

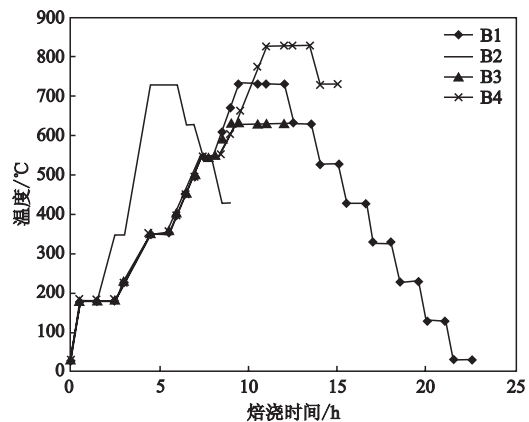


图3 试验焙烧制度的温度-时间关系

Fig. 3 Relationship between temperature and time during experimental firing cycles

高焙烧温度的焙烧工艺；B2为直接升温的快速焙烧工艺；B3为蜡镶铸造常用的缓慢升温+多台阶保温+降低最高焙烧温度的焙烧工艺；B4为针对树脂版难烧失而采用的高温焙烧工艺。在最高温度保温后，分别降温到630℃、530℃、430℃、330℃、230℃、130℃和30℃，并检测该温度下的热干压强度，试验结果如图4所示。从图4中可以看出：

(1) 铸型经高温焙烧后再降温，随着铸型温度降低，铸型强度总体呈现不断下降的趋势。以焙烧工艺B1为例，当铸型温度从730℃降低到30℃时，铸型抗压强度降低了64%。在不同的温度区间，强度下降的速率不一致。从730℃降低到530℃时，强度下降较快；在530~330℃之间时，强度值下降较平缓，而当温度继续下降到230℃以下时，强度值又快速下降，导致铸件出现砂眼、披缝等缺陷的几率增加。因此，在常规的石膏型铸造生产中，浇注时铸型温度最好保持在300℃以上，并适当降低金属液温度，以使铸造时整个温度体系是适宜的。

(2) 不同焙烧工艺对铸型干强度的影响较大。焙烧工艺B1的铸型强度总体高于其他三种工艺，直接升温的快速焙烧工艺B2的铸型强度最低，介于两者之间的是高温焙烧工艺B4和蜡镶铸造焙烧工艺B3。究其原因，是焙烧过程中产生的物理化学变化所致。采用扫描电镜观察焙烧前后的铸型显微形貌，如图5所示，箭头所指分别为石英或方石英颗粒和柱状石膏晶体。在湿态铸型中可见清晰的石膏晶体网络，形成了较发达的结晶交替接触点，因此湿态铸型的强度较高；而当铸型经过焙烧后，石膏晶体失去结晶水，晶体网络受到了破坏，降低了粘结强度^[7]。在铸型焙烧过程中，石膏收缩与(方)石英膨胀不匹配时将产生膨胀收缩应力，铸型不同部位加热或冷却速度不一致时将产生热应力，晶相发生转变时将产生相变应力等，当这些应

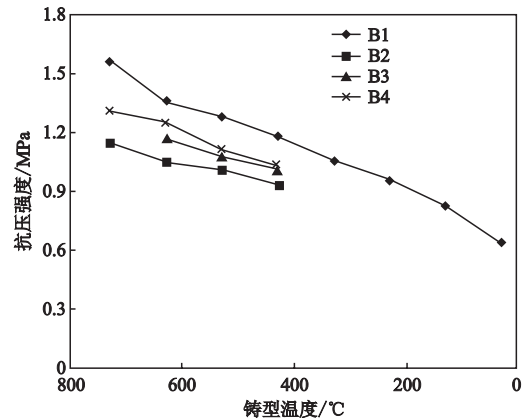


图4 焙烧工艺对铸型干态抗压强度的影响
Fig. 4 Effect of firing cycle process on compressive strength of mould

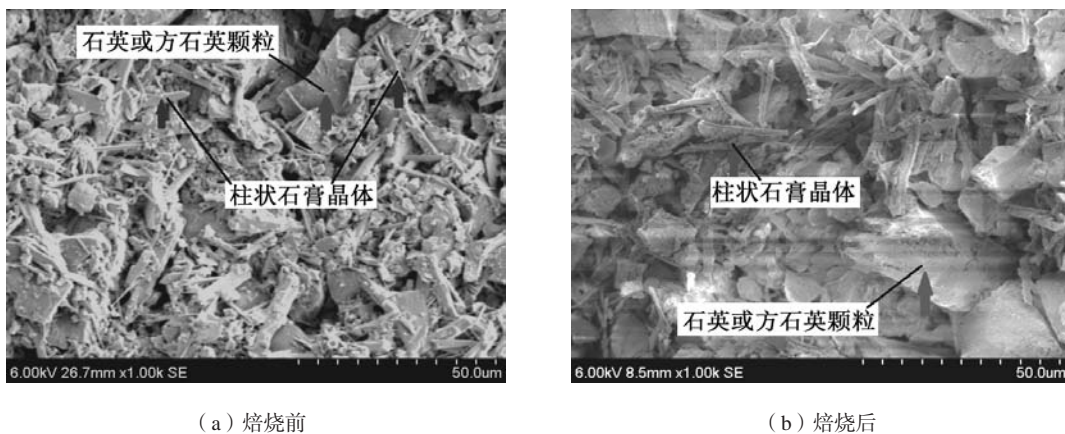
力的综合作用超过铸粉颗粒之间的连接强度时，就会引起显微裂纹而导致强度降低，尤其是当显微裂纹扩展造成铸型产生宏观开裂时，铸型强度将显著下降。

因此，焙烧工艺对铸型强度影响非常大，生产时必须采用合理的焙烧制度，升温降温均应缓慢，避免急冷急热，尤其要注意在敏感阶段的温度变化快慢。

2.3 水粉比对铸型强度的影响

采用不同的水粉比混制浆料，每个水粉比灌注3个试样，静置2 h后检测其湿态抗压强度并取平均值。将铸型按照B1焙烧曲线进行焙烧，然后降温到首饰铸造常用的630℃，保温1 h后取出检测其热压强度，两者的试验结果如图6所示。

由图6可以看出，经过焙烧后铸型的热干压强度明显低于湿态强度，且随着水粉比的增加，湿压强度和热干压强度均不断下降。另外，可观察到在曲线的中段较平坦，这个区间对应的是铸粉供应商推荐的水粉



(a) 焙烧前

(b) 焙烧后

图5 石膏铸型焙烧前后的显微组织

Fig. 5 Microstructure of gypsum mould before and after firing

比范围, 这表明在此范围内湿态强度的改变更小, 而超出一定范围后, 湿强度变化更大, 容易引起铸造缺陷。当水粉比低至36 mL/100 g时, 尽管铸型强度高, 但是浆料流动性差, 凝结时间短, 铸型不易成形。当水粉比超过40 mL/100 g时, 尽管浆料流动性好, 灌注成形成容易, 但是浆料凝结后残余水分多, 聚集在石膏晶体网络之间, 破坏其粘结力和内聚力, 铸型强度有较明显的降低, 而且过多的水分容易泌出聚集在蜡模表面, 导致铸件产生水印而降低表面质量。

经过焙烧后铸型的干态强度显著低于湿态强度, 这是因为焙烧过程中随着结晶水的脱除, 石膏晶体网络结构遭到破坏, 导致强度下降。同时可以发现, 石膏铸型焙烧后的干态强度随水粉比的变化也呈现相似的规律, 随着水粉比的增加, 铸型干态强度不断下降。

因此, 在首饰铸造生产中水粉比是一个重要工艺参数, 每种铸粉存在一个对应于产品结构、环境、水质等因素的适宜水粉比范围, 超出此范围后就可能导致铸造问题。

2.4 水类对铸型强度的影响

首饰铸造生产中, 混制石膏浆料用的水通常是自来水或纯水。而在蜡镶铸造生产中, 一般要采用硼酸水溶液, 以起到保护宝石表面的作用。分别采用纯水和不同浓度的硼酸水溶液按照38 mL/100 g的水粉比混制石膏浆料, 铸型静置2 h后检测湿态强度, 然后按照B1焙烧线进行焙烧, 检测铸型在630 °C的热压强度, 试验结果如图7所示。

由图7可以看出, 在同等水粉比和铸型温度下, 当硼酸液浓度在2.5%以内时, 其静置2 h的湿压强度比用纯水混制的铸型略高; 当浓度超过2.5%以后, 铸型湿强度不断降低, 并低于纯水混制的铸型。铸型焙烧后, 纯水混制的铸型焙烧后的热压强度明显低于其湿压强度, 而采用硼酸液混制的铸型热压强度却表现出显著不同的规律, 均明显高于其静置2 h的湿压强度, 当硼酸液浓度达到4.5%时, 热压强度有所降低。这说明添加硼酸不仅起到保护宝石表面的作用, 也提高了铸型抗冲刷的能力, 不过铸型残留强度的提高, 也增加了铸件清理的难度。

3 结论

(1) 石膏浆料凝结成形时, 随着静置时间的延长, 铸型湿态强度不断提高。铸型灌注后应静置足够的时间不要随意搬动, 以静置2 h较适宜。当气温很低时, 为使铸型尽快获得必要的强度, 应将铸粉和水适当加温后再使用。

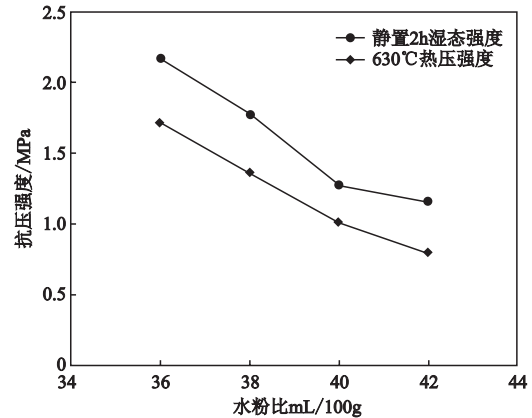


图6 水粉比对铸型抗压强度的影响

Fig. 6 Effects of water-to-powder ratio on compressive strength of mould

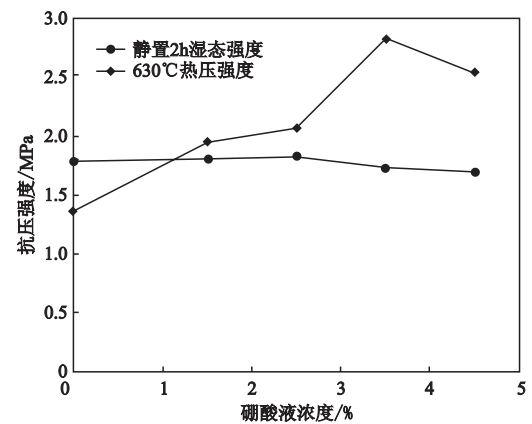


图7 硼酸液浓度对铸型抗压强度的影响

Fig. 7 Effects of different concentrations of boric acid solution on compressive strength of mould

(2) 焙烧工艺对石膏铸型强度影响很大, 采用缓慢升温+多阶段保温的焙烧工艺+控制最高焙烧温度的焙烧工艺, 可以获得相对较高的铸型强度。铸型经高温焙烧后再降温, 随着铸型温度降低, 铸型强度不断下降。

(3) 水粉比增大, 铸型强度降低。试验铸粉的水粉比低至36 mL/100 g时, 铸型强度高, 但浆料过于黏稠, 难以浇注成形; 水粉比超过40 mL/100 g时, 浆料流动性好, 但铸型强度有较明显的降低。

(4) 在同等水粉比和铸型温度下, 采用浓度为1.5%~3.5%硼酸水溶液制作的铸型热压强度明显提高, 可提高铸型抗冲刷的能力。当硼酸液浓度超过2.5%以后, 铸型湿强度不断降低; 当硼酸液浓度达到4.5%时, 热压强度也有所降低。

参考文献:

- [1] 谭德瑞, 陈美怡. 艺术铸造 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1996.
- [2] 袁军平, 王昶. 首饰生产质量检验及缺陷分析 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2015.
- [3] 黄云光, 王昶, 袁军平. 首饰制作工艺学 (第二版) [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2015.
- [4] 张永红, 蒋玉明, 杨屹. 石膏型熔模特种铸造工艺 [J]. 铸造技术, 2002, 23 (6): 347-349.
- [5] 罗启全. 铝合金石膏型精密铸造 [M]. 广州: 广东科技出版社, 2005.
- [6] 袁军平, 陈绍兴, 盛志华, 等. 降低石膏铸型内残留碳的探讨 [J]. 铸造, 2009, 58 (10): 1057-1059.
- [7] LUK W K, DARVELL B W. Effect of burnout temperature on strength of gypsum-bonded investments [J]. Dental Materials Official Publication of the Academy of Dental Materials, 2003, 19 (6): 552-557.

Effect of Process Factors on Strength of Gypsum Mould for Jewelry

YUAN Jun-ping, JIN Li-li, CHEN Shao-xing, LUO Mei-mei
(Jewelry Institute of Guangzhou Panyu Polytechnic, Guangzhou 511483, Guangdong, China)

Abstract:

Gold or silver jewelry is mainly formed by gypsum investment casting process, and the strength of the mould has a great influence on the surface quality of the casting. In this paper, a certain brand gypsum powder was used as the experimental material, and the compressive strength of the mould under different technical conditions was tested by using the intelligent sand mould strength meter. The results show that the green strength of the mould increases with the standing time. After burning-out, the dry strength of mould will continuously decrease during the cooling, and uneven heating or cooling will diminish the strength. Both the green strength and dry strength will successively decrease with the increase of the water-to-powder ratio, while the dry strength can be obviously improved if boric acid solution with a certain concentration is used to mix the slurry. To ensure the mold strength meet the needs of production, the water-to-powder ratio should be adjusted according to the temperature conditions, and the mould should be left standing for enough time after perfusion, and the mould should be fired by the process as "slow heating + multi-steps insulation + controlling the maximum firing temperature".

Key words:

jewelry; gypsum mould; compressive strength; process factor
