DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.07.012

ZTC4/H13 双金属复合铸造工艺研究

李　曼,宁二宾,赵亚利,戴　宏
(洛阳鹏起实业有限公司,河南 洛阳 471023)

摘　要:采用镶铸法制备了 ZTC4/H13 双金属复合铸件试样,从复合铸件内部质量、复合界面的结合情况及材料力学性能三方面进行了研究。结果表明,复合铸件内部未发现裂纹、缩孔等铸造缺陷,界面结合方式属于机械结合,H13 合金经熔炼浇注及热等静压后强度有所降低,断后伸长率有所提升。

关键词:复合铸造;镶嵌;ZTC4;H13 合金

中图分类号:TG249　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)07-0679-04

Research on ZTC4/H13 Bimetal Composite Casting Technology

LI Man, NING Erbin, ZHAO Yali, DAI Hong
(Luoyang Pengqi Industry Co., Ltd., Luoyang 471023, China)

Abstract: The sample of ZTC4/H13 bimetallic composite casting was prepared by inlay casting method. The internal quality of the composite casting, the bonding of the composite interface and the mechanical properties of the material were studied. The results show that no cracks, shrinkage holes or other casting defects are found in the composite casting, the interface bonding mode is mechanical bonding, the strength of H13 alloy will decrease after smelting casting and hot isostatic pressing, and the elongation after fracture will increase.

Key words: composite casting; inlay; ZTC4; H13 alloy

随着能源危机和环保问题的日益严重,人们对节能减排产品的需求越来越多,轻量化及高性能已成为新材料发展的一个趋势,且随着工业的发展,单一的材料或合金已很难满足现代生产对材料综合性能的需求[1]。双金属复合材料因具备两种金属材料的优良性能,可解决单一材料无法满足的高强度、高韧性、耐腐蚀、耐高温等综合性能问题,近年来正在吸引着越来越多研究者的注意。

目前,国内外对双金属复合铸造技术的研究多集中在钢/铝、铜/铝、铝/铝、镁/镁、铝/镁等。双金属复合的锤头、衬板、斗齿等耐磨件已经得到很好的应用[2],同时双金属复合的套、管、辊类机械零件等也得到大量研究,并有了很好地生产实际应用[3,4]。但令人遗憾的是,由于钛合金熔点较高且极易与其他合金发生反应生成金属间化合物,所以迄今为止,仍未见到钛/钢一体化复合铸造方面的研究报道。

国内航海、航天、航空等机械传动领域所用转子部件多为钛合金和耐热钢的结合件,所以钛/钢一体化复合铸造工艺的研究,试图开发新的复合材料及铸造工艺,十分具有研究价值。钛合金与钢部件通过镶嵌式复合铸造技术,铸件浇注收缩使钛合金与钢部件很好地镶嵌在一起。该领域的研究目前国内外仍属于空白,工艺研究过程充满挑战。首先钛合金极其活泼,易与钢表面发生化学反应;其次铸造内应力使钛合金与钢不同程度的收缩变形,从而产生裂纹变形等缺陷;再次钢与钛合金的不同热处理制度必将导致材料的组织性能发生变化。所以该复合铸造技术的研制,有着极大的技术和商业价值。

1　试验材料

本试验材料为 ZTC4 合金及 H13 合金钢,铸型材料为石墨。其中 ZTC4 合金为经过二次熔炼的钛合金铸锭。H13 合金钢为热处理态,热处理规范为:(790±15) ℃预热,加热至(1 000±6) ℃(盐浴),保温 5~15 min。空冷,(550±6) ℃回火。H13 钢原材料的力学性能参数详见表 1。

表 1　H13 钢室温力学性能
Tab.1 Mechanical properties of the H13 alloy at room temperature

力学性能	抗拉强度 /MPa	断后伸长率(%)	硬度(HRC)
实测参数	984~990	17	31.3~31.4

收稿日期:2019-04-23

作者简介:李　曼(1986-),女,河南洛阳人,硕士研究生,工程师.研究方向:钛合金铸造工艺技术.
电话:0379-69967101,E-mail:liman318@163.com

2 复合铸造工艺

本试验主要是结合 H13 合金钢原材料的特性要求进行方案设计，通过 H13 合金钢内镶嵌的方式，以 H13 合金钢作为镶块，ZTC4 合金作为基体材料，采用机加石墨铸型的复合铸造方法。通过真空自耗电弧熔炼方法进行浇注，使 ZTC4 合金通过凝固收缩与 H13 钢紧密结合在一起，组成复合铸件。

2.1 铸型制备

H13 钢通过机械加工为 160 mm×18 mm×45 mm 大小的镶块，为了提高钛合金的流动性减少钛液与镶块的实际接触面积，要求镶块的粗糙度≤3.2 μm，并在与石墨铸型组型前用酒精清洗去除镶块表面残余物，避免镶块表面油污在浇注过程中与钛液发生反应。

石墨铸型采用精密加工方式完成，加工完成的石墨型，往往含有水分、油污和高温挥发物，在浇注过程中均极易与钛液发生反应，影响铸件质量[5]，故在浇注前对铸型进行除气处理。除气在真空除气炉中进行，加热温度为 900~940 ℃，保温 2~4 h，随炉冷却至 400 ℃以下出炉。经除气冷却后的石墨型与镶块按照铸型要求组合在一起。为了避免铸件夹杂，在组型过程中，用吸尘器进行铸型缝隙清理，保证铸型内清洁无杂物。

2.2 熔炼浇注及热等静压

铸件浇注在 150 kg 真空电弧自耗熔炼炉内进行，钛锭选用常用的 ZTC4 铸造钛合金，铸锭为真空电弧熔炼的二次铸锭。为了提高浇注过程中钛液的流动性，减少铸件表面的冷隔、流痕等缺陷，在浇注前对组合后的整体铸型进行预热处理，预热温度 300~400 ℃，保温时间≥1 h，预热完成后立即放置到凝壳炉中进行浇注。浇注时钛液温度 1 800 ℃左右，浇注完成后，铸件炉内冷却至少 90 min 后出炉，出炉后进行型壳清理，清壳后的复合铸件形貌见图 1 所示。

图 1 复合铸件
Fig.1 The composite casting

清理后的铸件为了消除内部的缩松、缩孔等铸造缺陷，需要进行热等静压处理。铸件热等静压处理过程是一个蠕变、扩散连接的过程，它的基本参数是温度、压力和时间。该复合铸件的热等静压，按照 GJB2896A-2007 标准执行，热等静压制度详见表 2[6]。

表2 热等静压参数
Tab.2 HIP parameters

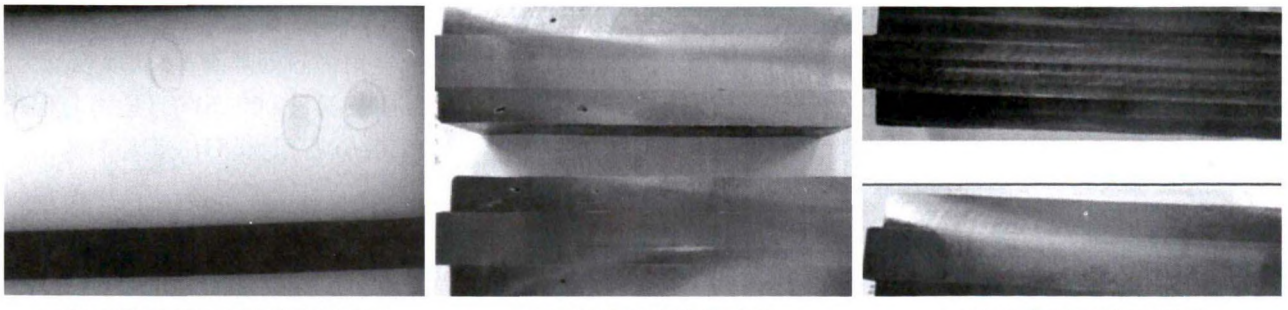
加热温度 /℃	氩气压力 /MPa	保压时间 /h	出炉温度 /℃
920±10	100~140	2~2.5	≤300

3 检测分析

3.1 内部质量

复合铸件在热等静压前后均进行 X 射线检测，检测标准按照 GB/T5677 执行。热等静压前的 X 光检测结果显示，复合铸件未发现裂纹和夹杂，钛合金铸件内部出现多处点状缩松或气孔，如图 2(a)中圆圈处及图 2(b)所示。经热等静压后再次检测，缩松或气孔缺陷均已消除，内部质量达到 GB/T5677 中 2 级要求。

为了进一步确认热压前后的铸件内部质量情况，我们对复合铸件进行了解剖分析，从铸件切割截面也可清晰反应铸件热压前的铸造缺陷，如图 2(b)所示，结果表明，热等静压过程可消除复合铸造过程中产生的点状缩松或气孔，使复合铸件内部质量可满足铸件要求。



(a)复合铸件热压X射线检测底片　(b)热等静压前铸件截面　(c)热等静压后铸件截面

图 2 热等静压前后铸件内部质量
Fig.2 Internal structure of castings before and after HIP

3.2　力学性能

H13 合金钢镶块经铸造浇注及热等静压两次受热及冷却过程，其组织会发生相应的变化，必然导致其力学性能的变化。本文主要对 H13 钢各阶段的力学性能进行了测试分析，试样规格为 R8 常温拉伸力学试样，具体结果见表 3，对比发现 H13 合金钢经整个复合铸造过程后强度和硬度有所下降，伸长率有所提升。

表3 H13合金钢热等静后常温力学性能

Tab.3 Mechanical properties after HIP of the H13 alloy at room temperature

力学性能	抗拉强度 /MPa	断后伸长率(%)	断面收缩率 (%)	硬度 (HRC)
原材料	984~990	17	/	31.3~31.4
热等静压前 / 试样 1	1725	4.5	6	52.7~53.2
热等静压前 / 试样 2	818	18	57	23.2~26
热等静压后 / 试样 3	762	18.5	51	21.7~24
热等静压后 / 试样 4	794	20.0	53	

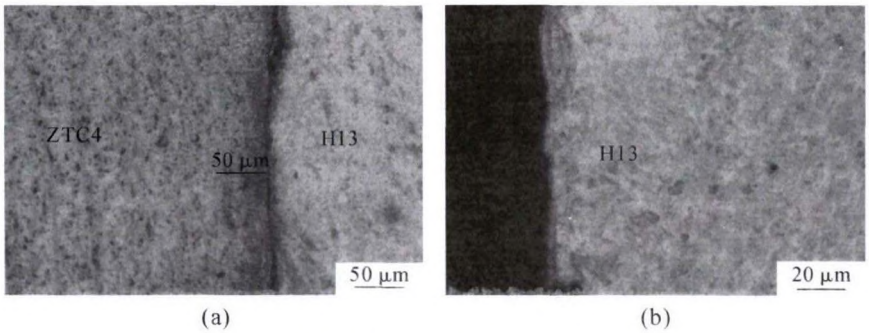
其中浇注后热等静压前试样 1 力学性能异常，原因为该试样取样位置位于镶块的外部，由于钛液浇注(浇注温度约 1 800 ℃)的瞬间，表面温度较高，使 H13 钢表面温度达到奥氏体化温度以上，使其发生奥氏体化后空冷，内部组织发生马氏体化，从而抗拉强度及硬度急剧升高，而塑形下降，其硬度最低达到 50 HRC 以上。试样 2 取样位置位于镶块的中心部位，由于浇注受热程度及冷却速度均远远小于镶块表面，故其内外部力学性能相差较大。心部在浇注过程中属于受热缓冷，使其发生类球化退火过程，形成球化退火组织，故其强度有所降低、塑性增高[7]。

3.3　界面结合

由于钛合金在高温下极易与其他合金发生反应，本文中所选用的 H13 钢为高温合金，熔点为 1 425 ℃，虽然熔点低于钛合金，但该材料及石墨的导热率都比钛合金高，钛液浇进铸型的热量迅速被传走；而钛合金的导热率较低，钛液浇入铸型，与型面接触后，立即凝固形成一层薄壳，从而可有效的加大铸型的温度梯度，铸铁及铸钢等钛合金金属型铸造也已经取得一定的成效，并在业界得到使用[5,8]。

本文对 ZTC4/H13 合金复合铸造的界面进行了研究分析，从图 2 中可以看出，合金之间有明显的平直界线，并且解剖后，H13 钢镶块可以与 ZTC4 合金轻松分离，证明镶块与钛合金的紧固为钛合金浇注后凝固收缩的物理紧固方式，未粘结或熔合在一起，属于机械结合。

为了进一步验证钛钢复合界面是否发生反应，本文对界面进行了金相组织检测，如图 3 所示。从图中可以看出，复合界面之间缝隙明显，但钛合金表面有一定程度的反应层，反应层深约为 50 μm，与姜延亮[7]等研究的钛合金金属型铸造工艺反应层厚度相当。



(a)　　(b)

图 3 复合界面金相组织形貌

Fig.3 Metallographic morphology of composite interface

4　结论

通过对 ZTC4/H13 合金的复合铸造工艺研究，以 H13 合金钢机加块作为镶块，ZTC4 合金作为基体材料，采用石墨铸型的复合铸造方法，真空自耗电弧熔炼进行浇注及热等静压处理。经过内部质量、力学性能、界面分析检测得出如下结论：

(1)经过复合铸件整体的 X 光检测，未发现裂纹和夹杂，热等静压过程可消除复合铸造过程中产生的状缩松或气孔，内部质量达到 GB/T5677 中 2 级要求。

(2)H13 合金钢镶块经复合铸造及热等静压过程，使其组织性能发生改变，其强度有所降低，塑性提高，综合力学性能有所下降。

(3)通过界面检测发现，复合界面结合方式属于机械物理结合，两种合金表面未出现粘结或熔合现象；钛合金表面反应层深约为 50 μm，与目前业界钛合金金属型铸造工艺反应层厚度相当。

参考文献：

[1] 刘平，刘腾，王渠东. 固液双金属复合铸造研究进展[J]. 材料导报，2014, 28(1): 26-30.

[2] 吴振卿，关绍康，孙玉福，等. 镶铸双金属复合锤头铸造工艺的研究[J]. 铸造技术，2005，26(3): 171-174.

[3] 李鹏志，邢书名. 破碎机锤头双金属复合铸造工艺的研究进展[J]. 金属矿山，2008，383(5): 96-99.

[4] 徐琴，王星，胡学骥，等. 磨煤机辊套双金属卧式离心复合铸造充型及凝固规律[J]. 铸造技术，2017，38(12): 2944-2947.

[5] 谢成木. 钛及钛合金铸造[M]. 北京: 机械工业出版社，2004.

[6] GJB 2896A-2007. 钛及钛合金熔模精密铸件规范[S].

[7] 宴广华. H13 热作模具钢的组织性能研究[D]. 合肥: 合肥工业大学，2011.

[8] 姜延亮，刘鸿羽，马志毅，等. 钛合金金属型铸造工艺研究[J]. 铸造，2016，65(5): 454-458.

转让出售信息

抢

本公司位于山东省蒙阴县境内，厂区占地65亩，钢结构厂房。铸造车间5 400 m²，机加工车间2 300 m²，制壳车间1 800 m²，打磨车间1 800 m²，4台1 t中频电炉。40 t粘土砂砂处理线一条，钢丸覆膜砂浇注线一条。

铸造环评手续、土地证件齐全，另有2个闲置厂房，本公司现对外转让出售，欢迎洽谈，联系电话:15854853968。