● 特种铸造 Special Casting ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.06.018

低熔点高强度 BAl80CuSiNi 铝基钎条的连铸生产工艺设计

张婉云[1],阳家盛[2],龙昌茂[1],叶克力[1],蒋成刚[3]
(1.广西机电职业技术学院,广西 南宁 530007;2.桂林市庆通有色金属工艺材料开发有限公司,广西 桂林 541003;3.桂林市桂冠焊材有限公司,广西 桂林 541002)

摘　要:低熔点高强度 BAl80CuSiNi 铝基钎条的研制,包括化学成分、冶炼工艺和连铸生产工艺的创新设计。其中连铸生产工艺包括连铸生产工艺流程和特点、连铸机工作原理、生产工序质量要求和控制措施。试验和经济性分析表明,自主设计的铝基钎条,连铸生产工艺具有生产效率高、成品率高、产品质量好及生产成本低等特点。

关键词:铝基钎条;连铸工艺;高性价比
中图分类号:TG249　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)06-0585-04

Continuous Casting Production Process Design of Low Melting Point and High Strength BAl80CuSiNi Aluminum Based Solder

ZHANG Wanyun[1], YANG Jiasheng[2], LONG Changmao[1], YE Keli[1], JIANG Chenggang[3]
(1.Guangxi Technological College of Machinery and Electricity, Nanning 530007, China; 2.Guiguan Welding Materials Co., Ltd., Guilin 541003, China; 3.Guilin Guiguan Welding Material Company Ltd., Guilin 541002, China)

Abstract: Development of BAl80CuSiNi aluminum-based solder with low melting point and high strength, including innovative design of chemical composition, smelting process and continuous casting process. The production process of continuous casting included the process flow and characteristics of continuous casting, working principle of continuous casting machine, quality requirements of production process and control measures. The test and economic analysis show that the self-designed continuous casting process has the characteristics of high production efficiency, high yield, good product quality and low production cost.

Key words: aluminum-based solder; continuous casting process; high cost performance

铝合金结构件的焊接,普遍采用氩弧焊和钎焊两种方法。氩弧焊(含熔化极和非熔化极)通常采用与母材化学成分相同或相近的焊丝进行焊接,且母材和焊丝同时熔化并凝固的才能实现结构件的连接,常用于厚大件铝合金结构的焊接。由于铝合金的线膨胀系数大(约为钢的 3 倍)、热影响区晶粒粗大,焊后易产生结构变形和焊接接头性能下降等问题。而钎焊方法是在较低温度(母材固相线以下温度)下加热、钎料熔化(母材不熔化)并凝固后实现结构件连接的,故不会产生明显的结构变形和接头区性能下降的问题(无热影响区),更适用于薄板结构的焊接。

作为工业化铝合金结构件钎焊所用的钎料(多为条状或丝状),应满足 3 个要求,即低熔点、高强度的性能特点和工业化生产的能力。而目前中国铝基钎料的研究和生产技术仍然处于起步状态,如定型的传统钎料[1]牌号为 H L402(型号为 BAl86SiCu),其熔点(即液相线温度)为 585 ℃,钎焊温度 586～610 ℃,接头抗拉强度为 68 MPa(抗剪强度 55 MPa),而牌号为 HL401 (型号为 BAl67CuSi) 钎料的脆性大,钎条长度短。与铝合金母材相比,钎料除熔点高和强度低外,其生产方式仍然采用手工重力铸造工艺,故即使研究出高性能的铝基钎条,也无法实现工业化生产。因此,国内所需要高品质的铝基钎条都是进口的。

现研制成功的型号为 BAl80CuSiNi 低熔点高强度铝基钎条已获得国家发明专利[2]。BAl80CuSiNi 钎条的主要性能表现为:①熔点(即液相线温度)为 561.4 ℃,比 HL402(BAl86SiCu)降低 23.6 ℃,比汽车和轨道列车车身构件常用高强度铝合金 6063 的固相线温度低 53.6 ℃;②钎焊接头强度高,抗拉强

收稿日期:2018-12-28
基金项目:广西高校科研项目《低熔点高强度连铸铝基钎料加工工艺的研究》(编号:KY2015LX678)
作者简介:张婉云(1971-),女,广西全州人,本科,副教授.研究方向:金属材料及热加工工艺研究.
电话:18648967058,E-mail:zhangwanyun2003@163.com

度达 122 MPa,比 BAl86SiCu 钎条提高 54 MPa,接近 6063 母材的强度。

新型 BAl80CuSiNi 铝基钎条,研制的 3 大关键技术是:化学成分、冶炼工艺和连铸生产工艺的设计。本文重点介绍 BAl80CuSiNi 钎条的连铸生产加工工艺情况。

1 BAl80CuSiNi 铝基钎条连铸生产工艺流程及特点

传统的铝基钎条的生产采用的是手工重力铸造工艺,不仅生产效率低、劳动强度大、能耗大,且钎料的质量也差,故属于一种初始的生产方式。连铸生产工艺的成功,是钎条生产方式的自主创新,是传统生产技术的重大突破,促进了中国铝基钎条的研究、生产和应用的发展。

1.1 铝基钎条连铸生产工艺流程

铝基钎条原连铸生产工艺流程,如图 1 所示。

由于某些技术尚未解决,原连铸生产一次生产成品率仅为 30%左右,不具备批量或工业化生产能力。因此,在原有基础上对某些工序、工艺和工装设备进行了改进和完善,取得了良好效果。

具体改进措施如下:

(1)将钢制连铸转轮的直径从 ϕ1 000 mm 增大到 ϕ1 500 mm,从而满足两个要求:一是在连铸同样长度的铸坯带时,转轮的转速缓慢,更容易进行连铸操作且铸坯带的合格率更高;二是同样长度的铸坯带的弧度变小,有利于后续各道工序的操作并减少断条现象。

(2)在分模面带的不锈钢钢带内侧垂直纵向位置,焊制了若干把分段刀片,将铸坯带在定型前(即液态时)便定长分段,再冷却凝固为定长铸坯。这样就免去了原工艺流程中的切断工序,从而使成品率和生产效率得到提高。

(3)在靠浇注口的一段不锈钢钢带外侧上安装一个高频振荡器,以对部分正在凝固的铸坯带实施机械振动,起到细化晶粒、改善组织及消除内应力的作用,即达到提高成品率的目的,同时免去了原工艺流程中的热处理(退火)工序,这样不仅可节省能源,还可使节省 8 h(热处理时间)。

(4)将钎条清洗和干燥工序合并在同一装置中进行,即先清洗后干燥,从而可减少生产辅助时间。

现设计定型的 BAl80CuSiNi 铝基钎条的连铸生产工艺流程如图 2 所示。

1.2 铝基钎条连铸生产工艺特点

型号为 BAl80CuSiNi 铝基钎条的连铸生产工艺具有如下主要特点:

(1)连铸生产工艺与手工重力铸造工艺相比较,使铝基钎条的生产由机械制造替代了手工制作,是落后生产方式的突破和生产力的解放,具有自主创新性和技术先进性特点。

(2)现连铸生产工艺与原工艺相比较,工艺更完善,技术更成熟,并从理论和实践上解决了各种实际问题,具有生产效率和成品率高(由 30%提高到 80%),生产周期短及节能环保等特点。

(3)链铸工艺生产出的 BAl80CuSiNi 铝基钎条的性能和质量达到了国外同类型产品的水平,但销售价格仅为国外产品的 37.5%,即具有性价比高的特点。

(4)连铸工艺除要求钎料在液态时具有良好的流动性和铺展性外,具有工艺简单及易操作等特点,完全可适应工业化生产的要求。

2 连铸机的组成和作用

连铸生产线上几乎所有的工装设备都是自主设计和制造,除连铸机外,还有对铸坯带进行剪飞边和分条的辊剪机、对钎条进行碾辊轧压的辊轧机及矫直机、抛光机和清洗干燥机等,它们对生产效率和产品质量都会产生不同的影响。现仅对关键工装设备

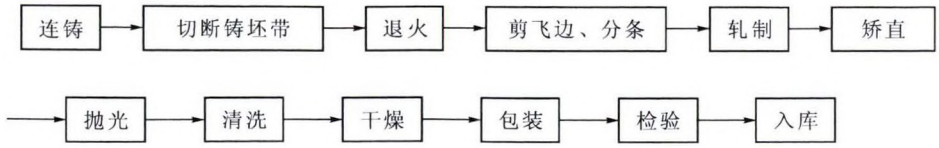


图 1 原连铸生产工艺流程图

Fig.1 The flow chart of original continuous casting production process

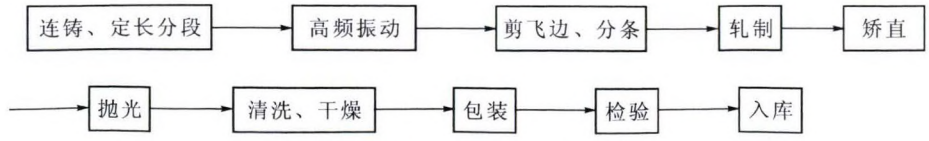


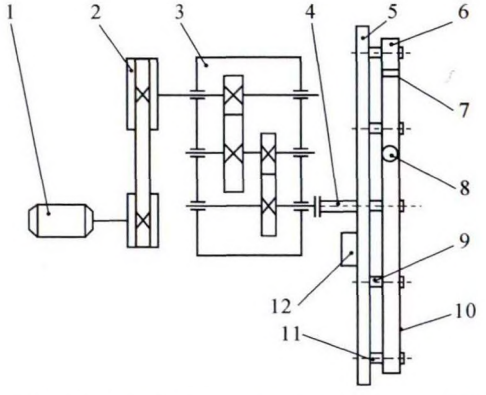
图 2 改进后连铸生产工艺流程图

Fig.2 The flow chart of improved continuous casting production process

连铸机进行介绍。

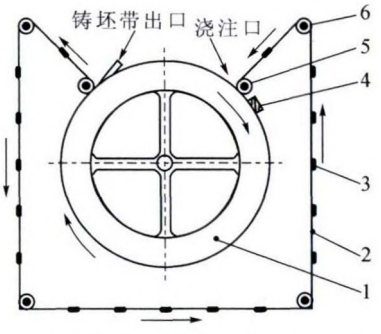
2.1 连铸机的组成

铝基钎条连铸机侧面示意图如图 3 所示，主要由动力系统（电动机、带传动、减速器、转轴）、工作系统（连铸转轮、分面模带、定长刀片、高频振动装置）、支撑和固定装置（支撑和固定架、定位轴、定向轴）及控制盘（开头、仪表）等组成。其中，工作系统等正面示意图如图 4 所示。



1- 电动机；2- 带轮（带传动）；3- 减速器；4- 转轴；5- 支撑固定架
6- 连铸转轮；7- 定长刀片；8- 振动装置；9- 定位轴
10- 分面模带；11- 定向轴；12- 控制盘

图 3 连铸机侧面示意图
Fig.3 Side view of the continuous casting machine



1- 连铸转轮；2- 分面模带；3- 定长刀片；4- 振动器；5- 定位轴
6- 定向轴

图 4 工作系统等正面示意图
Fig.4 Front view of the working system, etc.

另外需特别说明的是：

（1）钢制连铸转轮上开有 7 条形状和尺寸完全相同的 360°沟槽，其周长约为 4 712 mm（直径 D=1 500 mm），这就是精密铸造金属模，供连铸坯带之用，连铸转轮剖面的形状和尺寸如图 5 所示。

（2）不锈钢分面模带厚 1.5 mm、宽 67 mm，周长约为铸造转轮周长的 3 倍，即为 13 554 mm。在垂直不锈钢带纵向每隔 500 mm 处焊制一把钢制分段刀片（共 28 把），刀片厚度 2 mm，钢带和刀片剖面形状和尺寸如图 6 所示。

2.2 连铸机的作用

连铸机将钎条生产的铸造、切断和热处理工序

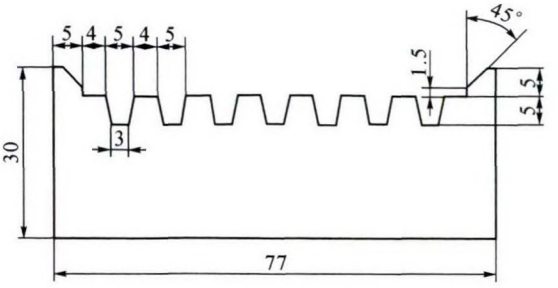


图 5 连铸转轮剖面图
Fig.5 The profile of continuous casting runner

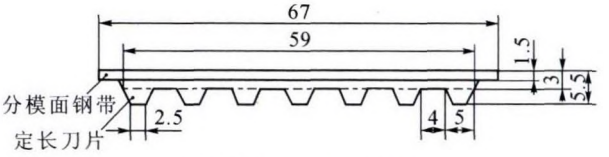


图 6 钢带和刀片剖面图
Fig.6 Sectional view of the steel strip and blade

巧妙地设计在连铸转轮上同时完成，工作原理简单，操作方便。其操作程序是：先开启电动机并经减速后使转轮向顺时针方向匀速转动，同时分面模带也以同样速度并按车身的运动轨迹转动（参见图 4）；然后开启高频振动器使之处于工作状态；将钎料金属液浇注到转轮上的 7 条金属槽内，经定长分段和消除应力等后，从出口处取出铸坯带，即完成了连铸全过程。

连铸机是连铸生产工艺中的关键工装设备和核心技术，它的主要作用如下：

（1）保证铝基钎条铸造的连续性，使手工制作转化为机械化制造，达到提高生产效率的目的。

（2）对连铸过程中的铸坯带进行定长分段，即可免去铸坯带切断工序，起到提高成品率和生产效率的双重作用。

（3）对刚凝固或部分尚未凝固的铸坯带施以高频机械振动，以替代退火热处理工序，同样可达到消除应力（应力释放）及细化晶粒、改善组织和提高性能的目的，同时可节能环保和缩短生产周期。

3 各生产工序的质量要求及控制措施

在 BAl80CuSiNi 铝基钎条连铸生产工艺流程中共有 11 道工序（参见图 2），它们对产品质量都会产生不同影响，故必须采取有效措施，以确保每道工序的质量。表 1 所列为 BAl80CuSiNi 钎条生产工序的质量要求及控制措施。

4 技术性比较及经济性分析

4.1 技术性比较

现设计定型的 BAl80CuSiNi 铝基钎条连铸生

表 1 各工序的质量要求及控制措施

Tab.1 Quality requirements and control measures of the process

序号	工序名称	质量要求	控制措施
1	连铸	7 根被飞边连接起来的铸坯带，必须完整无缺，且无气孔、缩孔等缺陷。	①钎条液态金属具有良好的流动性和铺展性； ②浇注时的液态金属温度控制在 800～850 ℃； ③调整转轮的转速； ④金属模形状为倒梯形。
2	定长分段	将铸坯定长分段为 500 mm 的长度。	在分面模带上定长焊制若干把刀片，将液态金属铸坯截断。
3	高频振动	消除应力，细化晶粒，改善性能。	①高频机械振动； ②对刚凝固或尚未凝固的铸坯带部位实施振动。
4	剪飞边和分条	将所有飞边剪掉，以得到完整的 7 根钎条。	调整好辊轮距离及辊轮速度。
5	轧制	钎条表面平整、无毛刺。	同时从钎条左右两侧和上下两面进行碾辊和轧压，碾辊轮的力度要适中。
6	矫直	垂直度误差不超过 3%	采用加热法矫直钎条
7	抛丸	去掉氧化薄膜，表面呈光亮状	采用抛光剂，振动抛光
8	清洗和干燥	表面无油污等杂质，无水份	水清洗，热风干燥
9	包装	件重误差 <2%，内包装密封，有产品说明和合格证	5 kg 为一小件，内塑料密封，外为硬塑料盒；20 kg 为一大件（即 4 小盒），为纸箱包装。
10	检验	符合 Q/BJS001-2010，企业标准要求	由企业检验人员检验
11	入库	库房应干燥通风，置于托盘上，有明显标牌	产品入库登记明细表（含产品名称、批号、规格、数量等）

表 2 BAl80CuSiNi 铝基钎条的不同生产工艺的技术性比较

Tab.2 Comparison of technical performance of different production processes of BAl80CuSiNi aluminum-based electrode

生产工艺方式	生产技术工艺与产品性能品质
手工重力铸造工艺	属传统生产工艺，为落后生产方式。技术含量低，生产效率低，劳动强度大，能耗大。产品外在质量差（表面粗糙），内在质量亦不好（脆性大，易折断，钎条长度短等），难以满足用户需求。
改进前的连铸生产工艺	连铸工艺是铝基钎条在研究技术和生产工艺上的创新成果，不仅产品的内外在质量高，且生产效率也有较大提高。但一次性产品成品率约为 30%，大大影响了该项新技术和新产品的推广和应用。
改进后的定型连铸生产工艺	通过加大铸造转轮的直径（由 ϕ1 000 mm 增大至 ϕ1 500 mm），在连铸过程中实施铸坯定长分段和高频机械振动，不仅保持了产品的高质量和高的生产效率，而且使产品一次性成品率提高到 80%以上，同时节能环保并大大缩短了生产周期。

产工艺与手工重力铸造工艺和改进前工艺相比，在技术工艺、产品质量等方面具有明显的优势（表 2），会对我国铝基钎料的研究和生产产生积极的影响。

4.2 经济性分析

若按每炉冶炼 250 kg 合金液、每天 2 炉、每月生产 22 天、年生产 10 个月、成品率 80%计算，则全年可生产成品铝基钎条 88 t。以该钎条市场销售价 15 万元 /t（进口价为 40 万元 /t）计，其年产值可达 1320 万元。与原生产工艺相比（30%成品率），全年多生产钎条 55 t（88 t-33 t=55 t），即净增产值 825 万元。若按售价 15 万元 /t 和扣除成本 8 万元 /t 计，现生产工艺每年可获纯利润 616 万元（1320 万元 -704 万元 =616 万元）。因此，低熔点高强度 BAl80CuSiNi 铝基钎条经改进后的连铸生产工艺，对生产企业产生良好的经济效益，为市场提供了一种性价比高的铝基钎条，即具有良好的社会效益。

5 结论

（1）铝基钎条的连铸生产工艺（含设备）是自主创新成果，既是手工重力铸造工艺的突破，也是落后的传统生产方式的变革，必将对我国铝基钎料的研究生产和应用产生积极的影响。

（2）现设计定型的铝基钎条生产工艺，从理论和实践上解决了各种技术和工艺问题，具有生产效率高，产品成品率高、生产周期短及节能环保等特点，完全达到了工业化生产的要求。

（3）连铸工艺生产的低熔点高强度BAlCuSiNi铝基钎条的性能，已达到国外同类型产品先进水平，但价格仅为其 37.5%，因此，连铸工艺方法具有良好的推广应用前景，也必将会产生良好的经济和社会效益。

参考文献：

[1] GB/T13815-2008 铝基钎料[S].

[2] 阳家盛. 一种低熔点高强度铝基钎料及基制备方法：中国，发明授权，CN201010523700.0[P]，2010-10-28.

[3] Q/BJS001-2010《BAl80SiNi 铝基钎料》[S].