

# 宝钢湛江定宽机不锈钢堆焊技术研究

舒泽平

二重装备重机公司, 四川 德阳 618000

[摘要] 宝钢湛江项目中大量产品要求堆焊DIN8555-8-200材料, 从制定合理的焊接工艺, 包括焊接材料的选择、焊接方法、焊接参数的确定、焊后热处理等多个方面确保产品质量。

[关键词] 奥氏体不锈钢; 焊接方法; 变形

## Study on Stainless Steel Surfacing Technology of Zhanjiang width Fixing Machine in Baogang

SHU Zeping

Dual Equipment Heavy Machinery Company, Sichuan Deyang, China 618000

**Abstract:** A large number of products in Zhanjiang project of Baosteel require surfacing DIN8555-8-200 materials to ensure product quality from the aspects of reasonable welding process, including welding material selection, welding method, determination of welding parameters, post-weld heat treatment and so on.

**Keywords:** Austenite stainless steel; Welding method; Deformation

### 引言

宝钢湛江 2250mm 热轧项目粗轧区定宽机大量部件需具备耐腐蚀的性能, 以往它是通过在表面焊接不锈钢钢板实现, 但随着技术改进, 为减少成本, 此次定宽机工件表面要求通过堆焊来实现防腐功能。经统计, 该项目中共有 25 种 34 件需堆焊 DIN8555-8-200 材料。

堆焊是借助焊接的手段, 在金属材料表面堆敷一层或几层希望具有的性能的材料, 用于改变表面性能。在过去的堆焊件中, 堆焊位置仅限于局部, 面积都很小, 但这次堆焊面都很大, 例如长达 8600mm 的支柱其底面为整体堆焊。这对堆焊操作、变形控制是一次全新的挑战。

### 1 产品技术要求

宝钢湛江项目中支柱、机架、牌坊等件的图纸上均要求堆焊 DIN8555-8-200 的堆焊材料, DIN8555 代表标准号, 数字 8 代表合金组 NO 8。该合金组的主要成分是 Cr-Ni-Mn 奥氏体钢, 具有韧性好, 加工硬化小, 防锈性好等特性, 不需热处理, 可机加工, 无磁性。数字 200 代表硬度 (HB), 范围 175HB ~ 225HB。

### 2 产品堆焊难点

2.1 单件不锈钢堆焊面多, 最多的需堆焊 8 处。

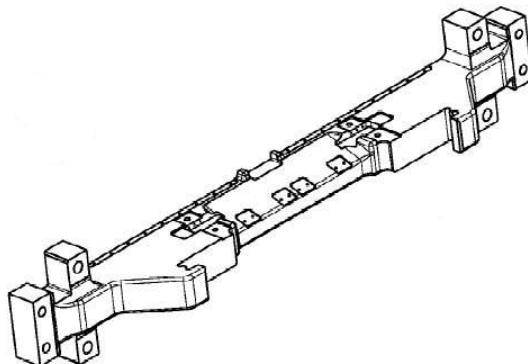


图1

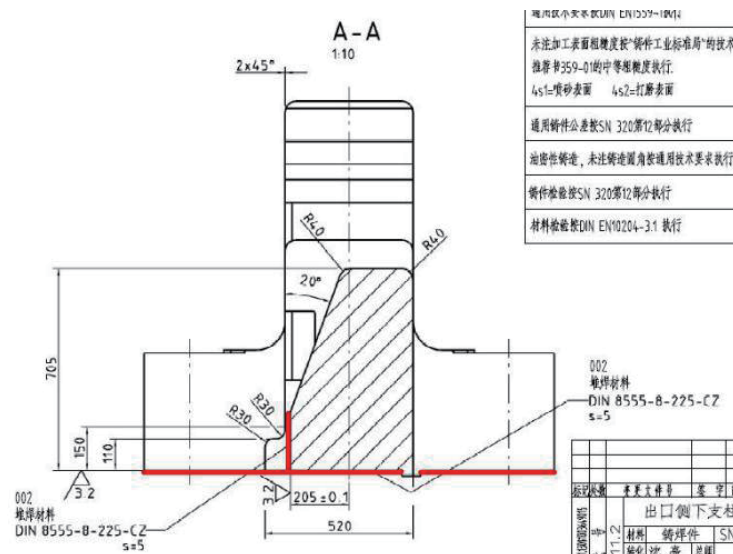


图2

单件不锈钢堆焊面大, 最大达 405mmx8635mm。以出口侧下支柱为例, 该产品的外形尺寸为 1290mmX1440mmX8635mm (见图 1)。堆焊位置 180mmx500mm=1 处; 125mmx450mm=2 处; 450mmx960mm=2 处, 其中最大的堆焊位置是 405mmx8635mm =1 处 (见图 2)。

大面积堆焊对操作者的技术稳定性要求很高, 由于不锈钢堆焊采取熔化极气体保护焊, 堆焊时容易出现气孔、夹渣等缺陷。

## 2.2 堆焊件母材种类很多, 有合金钢, 有铸件以及锻件

铸件材质为 GS240+N, G17CrMOV5-10+QT, G20Mn5+QT, 锻件材质为 42CrMo。铸件与锻件在堆焊时会有产生热裂纹的倾向。

## 2.3 堆焊件中如支柱和机架等均为细长结构的铸件

堆焊层最终厚度为 5mm。细长件大面积堆焊易产生弯曲变形。

## 3 制订操作工艺

### 3.1 焊接工艺评定

#### 3.1.1 确定焊接材料。

奥氏体不锈钢以铬、镍为主要成分, 分为 18-8 系列和 25-20 系列。其中 18-8 系列是使用最广泛的不锈钢。其熔敷金属化学成分中多含有 C、Mn、Si、Cr、Ni、Mo、Cu 等元素, 其中 C、Ni、Mn、Cu、Co 是扩大奥氏体区域的元素 (奥氏体化元素)。奥氏体不锈钢常用于耐腐蚀的工作环境, 但对它的硬度没有特别要求, 通常其硬度范围在 HB150 左右。因此常规使用的奥氏体不锈钢材料 (H0Cr18Ni9Ti 等) 堆焊出的熔敷金属不能满足此次的硬度要求。因此, 必须选择提高合金成分强度的堆焊材料。奥氏体不锈钢材料中 Cr, Ni, Mn 是其中含量较多的合金元素, 普通奥氏体不锈钢中 Mn 元素含量为 0.5-2.5, 而 Mn 元素能够提高强度的元素, 根据 AWS A5.9 ER307Si 生产的奥氏体不锈钢 MIG 焊丝在不改变 Cr-Ni 含量的情况下将 Mn 的含量提高到 6.88 左右, 从而使熔敷金属的抗拉强度从 500MPa 升高到了 600MPa 左右。随着抗拉强度的增大, 熔敷金属的硬度也会相应提高。

我们选择了焊丝 ER307Si 进行了试验。该焊接材料是在 18-8 型铬镍钢基础上, 加入 Mo、Cu、Si、Mn 等元素。它的突出特点是耐蚀性强、抗氧化性好和热强性好, 但耐磨损能力不高, 主要用于耐腐蚀、耐热零件表面堆焊。加入 Mn 后, 显著提高了冷硬化效果。焊接时采用直流反接, 焊接工艺优良, 成形细且光亮, 飞溅小且少。焊缝金属具有良好的塑韧性和抗裂性。通过试验, 测定其硬度平均值在 HB200 左右, 能够满足图纸技术要求。

#### 3.1.2 确定焊接方法

宝钢湛江项目中的堆焊件有 25 种 34 件, 共需堆焊焊丝 6187 吨, 最大堆焊面积为 405X8635mm。如此大面积堆焊若能采用埋弧焊能够显著地提高生产效率, 降低工作强度, 但因为没有满足技术条件的焊接材料而无法采用该种方法。

焊条电弧焊虽然有适宜的焊接材料 (A157Mn), 但效率太低, 不适合大规模施焊。因此只有熔化极气体保护焊既有适宜的焊接材料 (ER307Si), 又有较高的工作效率。但大面积堆焊全靠手持焊枪操作, 焊道宽度、厚度、

直线度很难保持一致，会严重影响焊接质量。同时，按目前的生产进度要求，必须倒班作业才能保证进度，在人员紧张又是手工操作的状况下难以实现。

如果有带行走机构的焊枪就能解决这一问题。通过试验，将 CO<sub>2</sub> 气保焊的焊枪固定在半自动气割机小车上，在堆焊面外侧架设小车行走轨道，焊接时通过半自动气割机行走代替人工手持焊枪（见图 3），有效地提高了焊接过程的稳定性，保证焊缝质量。操作者只需焊前调整轨道直线度，施焊过程中观察熔池状态及焊缝成形情况并适当加以调整即可，大大降低工人的劳动强度。

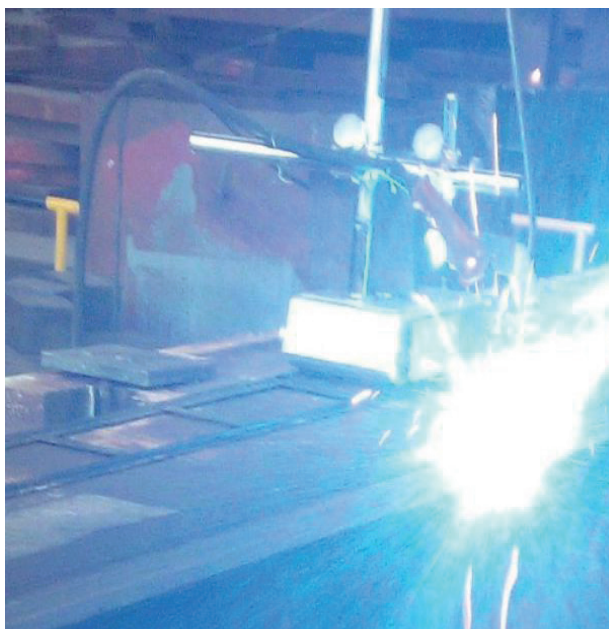


图3



图4

焊缝外型美观（见图 4），由于焊接速度不变，使焊道宽度整齐划一，焊缝笔直，焊缝厚度均匀。后一道焊缝的中心位于上一道焊缝的焊趾处，使整个堆焊面焊缝最高处与最低处的差值不大于 1mm，避免了以往手工操作时因差值偏差大造成的局部缺少加工余量的情况。

### 3.1.3 确定焊接工艺参数

#### 3.1.3.1 确定预热温度，层间温度

由于堆焊层与基材金属成分相差较大，线膨胀系数也相差较大，从而引起较大内应力，使得堆焊层在冷却过程中产生开裂。防止开裂的方法就是减少堆焊时的热应力，即对工件进行焊前预热和焊后缓冷。

此次堆焊件母材分为四类，低合金钢板材 Q345D，碳素铸钢 GS240+N，低合金铸钢 G17CrMOV5-10+QT 和 G20Mn5+QT，锻件 42CrMo。不同材料的焊接性能是不一样的。以下从碳当量和冷裂纹倾向来进行分析。

根据 SN200 标准中规定的碳当量（碳含量 ≤ 0.5 时）计算公式可以算出上述几种材料的碳当量（见表 1）：

$$CET = C + (Mn + Mo) / 10 + (Cr + Cu) / 20 + Ni / 40$$

表1

材料	Q345D	GS240	G17CrMOV5-10	G20Mn5	42CrMo
碳当量	0.36	0.34	0.2905	0.315	0.615

根据经验，碳当量在 0.4% ~ 0.6% 之间的钢材，其淬硬倾向逐渐增加，焊接性较差。而碳当量大于 0.6% 则需要采取预热措施和严格的工艺要求，以防止冷裂纹的产生。因此焊接过程中必须进行预热。

根据 SN200 标准中规定的预热温度计算公式可以算出上述几种材料的最低预热温度（见表 2）：

$$T_p = 750 \times CET - 150 (^\circ C)$$

表2

材料	Q345D	GS240	G17CrMOV5-10	G20Mn5	42CrMo
预热温度	120	180	68	86	311

预热时为保证工件受热均匀，当外表温度达到规定值时，需根据工件厚度不同，保温一定时间达到内外温度一致时，才允许开始堆焊，均温时间（见图 5）进行计算。

纵坐标—保温时间（小时）  
横坐标—工件厚度（mm）

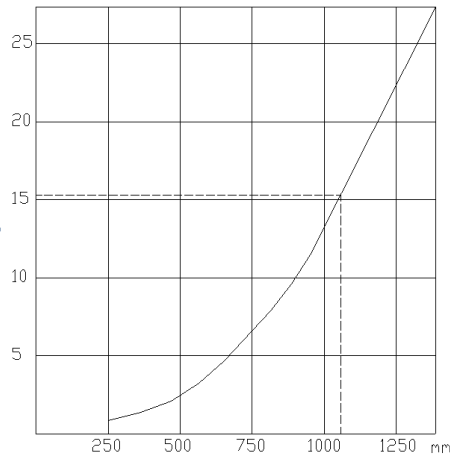


图5

3.1.3.2 工艺参数规范

堆焊时，工艺参数的选择首先要保证获得优良的焊缝成型。其次，在打底层堆焊时，会有一定数量的熔化母材和填充金属相混合，若母材被过多的稀释将引起成分变化，就会影响堆焊层金属的性能。因此还要尽可能减少表层熔化的母材对熔敷金属成分的影响。为防止过分稀释和合金元素的烧损，焊接时需采用小电流，短弧焊。

按照相关标准要求，我们提出工艺评定任务书，确定焊接方法、焊接电流、电压等所需要的评定内容。并经过评定确定焊接规范。规范参数见表 3。

表3

焊接顺序	焊接方法	层数	电流（A）	电压（V）	电源特性	气体种类	焊速（mm/min）	气体流量（L/min）
1	GMAW	打底层	230-250	24-26	DC+	82%Ar+183%CO <sub>2</sub>	260-290	20-25
2	GMAW	中间层	240-260	26-28	DC+	82%Ar+183%CO <sub>2</sub>	260-290	20-25
3	GMAW	盖面	240-260	26-28	DC+	82%Ar+183%CO <sub>2</sub>	260-290	20-25

多层多道焊时控制道间温度在 50-100℃。

3.1.3.3 金相及化学成分

无论是堆焊层的化学成分（见表 4），金相组织（奥氏体+少量铁素体）（见图 6），还是最终的硬度（表 5 为焊态，表 6 为热处理态）均满足工艺要求。同时，操作者在焊接过程中也未发现影响操作性能的问题。堆焊后的成分为奥氏体+铁素体，少量铁素体能够有效减少热裂纹的产生。

表4 化学成分

试验位置	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
从母材上算3mm	0.10	0.70	5.51	0.015	0.010	15.34	6.74	0.01	0.02
从母材上算5mm	0.10	0.72	5.81	0.016	0.012	16.48	7.21	0.01	0.01
从母材上算8mm	0.10	0.73	6.02	0.014	0.011	17.47	7.66	0.01	0.02

表5 硬度试验

试样状态	硬度值（HB）
堆焊层3mm	222、222、222、213、213、213
堆焊层5mm	197、197、197、195、195、195
堆焊层8mm	195、195、195、193、193、198

表6 硬度试验

试样状态	硬度值（HB）
堆焊层3mm（热处理退火态）	207、207、226、224、239、207
堆焊层5mm（热处理退火态）	197、195、193、197、197、197
堆焊层8mm（热处理退火态）	207、193、193、187、187、200



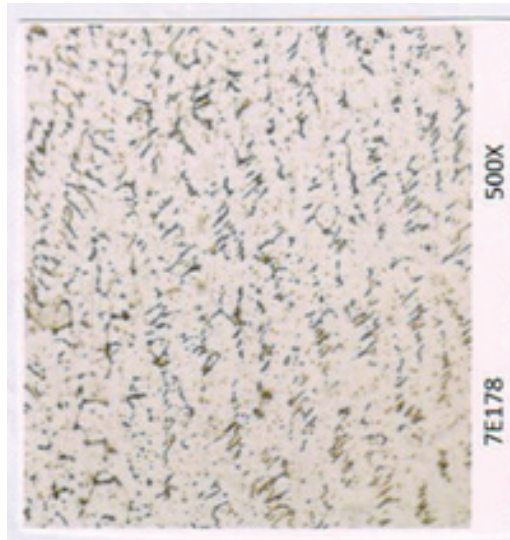


图6

#### 3.1.4 确定热处理退火参数

奥氏体不锈钢具有高的耐性，在低温、室温及高温下均有较高的塑性和韧性，以及较好的冷作成型和焊接性。但室温下的强度较低，晶间腐蚀及应力腐蚀倾向较大，切削加工性较差。

奥氏体不锈钢堆焊后虽然也存在着焊接残余应力，但由于其具有良好的塑性和韧性，使残余应力的有害影响显著减少。特别是常规消除应力的温度范围恰好处于不锈钢的敏化温度区，消除应力反而容易导致耐蚀性的降低。

因设计图纸要求必须对机架、支柱、牌坊等件进行热处理消应。

通过工艺评定，确定消应热处理温度为  $460 \pm 10^\circ\text{C}$ ，停留时间 1.5 小时。机架、支柱采取进炉退火的方式，牌坊因超重则在堆焊现场采用远红线消应。

#### 3.2 堆焊与变形

根据图纸要求，堆焊层使用厚度为 5mm。在试验过程中，堆焊一层的厚度为 3 ~ 3.5mm。如果堆焊两层，则厚度为 6 ~ 7mm，加工余量仅为 1 ~ 2mm。考虑到工件细长，堆焊面长达 8635mm，在施焊、起吊过程中都有可能产生弯曲变形，最终确定的堆焊层数为三层，使堆焊层厚度保证在 10mm 左右。

为减少焊接变形，要求工件在堆焊前支垫平整，并在堆焊面的相邻面设置观测线，即在非堆焊面长度方向拉钢丝，并打样冲眼 6 处设置为基准，以便观察变形情况。大面堆焊时，每堆焊一层，检测一次，变形量约在 1mm 左右。

焊接时要求分段对称施焊。工件上带转角的堆焊位置，需先对转角处进行堆焊，圆滑过渡以减少应力集中。

#### 4 结论

通过宝钢湛江项目的堆焊生产，我们针对 ER307Si 这种材料的焊接工艺更加成熟，对堆焊件产品质量又有了新的保障措施，特别是对大面积堆焊如何提高焊接质量，如何有效控制变形，积累了详实的数据。通过生产实践，它改变了以往堆焊件加工过程中常常暴露出气孔等缺陷的问题，焊接件产品质量提升的一项重大突破。

#### [参考文献]

- [1] 田錫唐. 焊接结构 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1982.
  - [2] 曾乐. 现代焊接技术手册 [M]. 上海: 科技技术出版社, 1989.
  - [3] 英若采. 熔焊原理及金属材料焊接 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
  - [4] 周浩森. 焊接结构生产及装备 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- 作者简介: 姓名, 舒泽平, (1981. 3. 12) 四川德阳人, 本科学历, 工程师。