螺旋焊管用S355J0的研制与开发

董 磊[1,2],董 方[1],闫 波[2],曹 妍[2]

(1. 内蒙古科技大学材料与冶金学院,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢稀土钢板材厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 根据低合金高强度结构钢S355J0欧盟标准的通用技术条件,利用包钢稀土钢板材厂先进的装备,通过设计合理的化学成分及制定合适的生产工艺,试制产品的各项质量指标满足客户的要求,并成功通过用户试用打入国际市场,得到用户的好评。

关键词: S355J0;低温冲击;螺旋焊管

中图分类号: TG142.41 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2017)02-0032-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.02.011

Research and Development of S355J0 for Helical Weld Tube

DONG Lei[1,2], *DONG Fang*[1], *YAN Bo*[2], *CAO Yan*[2]

(1. *School of Material and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*;
2. *Rare Earth Steel Plate Plant of Baotou steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*)

Abstract: According to the general technical requirements of EU standard for low-alloy high-tensile structural steel S355J0, by using the advanced equipment in Rare Earth Steel Plate Plant of Baotou Steel, through designing reasonable chemical components and developing appropriate production technology, and each quality index of the trial products meet customer requirements. Successfully enter international market through user trial and get the praises from users.

Key words: S355J0; low-temperature impact; helical weld tube

随着国内钢结构产业的发展,国内开始大量承接欧洲及非洲地区的钢结构项目,这些项目大多数采用欧洲标准内的钢材,如S355J0等,使得国内生产欧标产品越来越多[1],在一定程度上提高了材料的使用要求。包钢稀土钢板材厂为埃及苏伊士运河桩用管项目提供S355J0热轧钢带,产品规格25 mm×2 000 mm,要求产品具备高强度、良好的低温韧性和焊接性能。通过生产实践,成功完成了螺旋焊管用钢S355J0的产品设计开发试制,实现批量生产,得到用户的好评。

1 技术要求

1.1 化学成分

化学成分符合欧标EN10025-2:2004,《热轧结构钢产品的要求》[2],具体化学成分见表1。

收稿日期: 2017-02-17

作者简介: 董 磊(1986-),男,内蒙古包头市人,在读硕士,助理工程师,现主要从事质量管理等工作。

表 1　化学成分(质量分数)　%

项目	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	V	Nb	Ti	N	C_{EV}
标准[2]	≤0.20	≤0.55	≤1.60	≤0.030	≤0.030	≤0.55						≤0.012	≤0.45
用户	≤0.20	≤0.50	≤1.60	≤0.030	≤0.030	≤0.30	≤0.30	≤0.30	≤0.15	≤0.07	≤0.20	≤0.012	≤0.44

注:(1) 碳当量计算公式: $C_{EV} = w[C] + w[Mn]/6 + (w[Cr] + w[Mo] + w[V])/5 + (w[Ni] + w[Cu])/15$[3];
(2) $w[Als] \geqslant 0.015\%$。

1.2　力学性能(见表 2)

表 2　力学性能要求

屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	V 型冲击韧性			
			(-10℃)冲击能量/J		(-10℃)断面剪切率/%	
			单个试样最小值	三个试样平均值	单个试样最小值	三个试样平均值
≥370	470~630	≥21	≥40	≥60	≥40	≥60

2　化学成分设计

根据技术条件要求,对 S355J0 的成分设计上应符合欧标 EN10025—2: 2004[2] 的要求,螺旋焊管用 S355J0 热轧钢带对强度和低温(-10℃)冲击韧性有较高的要求,为保证 S355J0 的各项性能和焊接性能,充分发挥碳、硅、锰的强化作用,成分设计采用低碳+高锰+微合金,同时降低磷、硫含量的基本路线生产。

2.1　低碳、高猛

为保证钢材拥有良好的冲击韧性和焊接性能,需要降低 C 含量。Mn 具有固溶强化的作用,还可以降低奥氏体的相变温度,促使晶粒细化,提高材料韧性,降低韧脆转变温度,但是随着锰含量增加会加速钢带内部中心偏析,从而引起钢带性能的各向异性加剧,所以必须合理选择锰的加入量。

2.2　Nb 微合金

通过 Nb 微合金化来提高强度,以弥补降碳强度。Nb 的微量加入可提高再结晶温度,为非再结晶轧制提供更加有利的温度区间,能够有效阻止形变奥氏体的回复和再结晶,有利于形变奥氏体畸变能的积累,为后续组织转变提供大量的形核能,充分细化晶粒,提高材料的强韧性[3]; 采用 Nb 微合金化设计,再匹配以适宜的控轧控冷工艺,保证产品的各项性能稳定,满足客户的要求。

2.3　降低 P、S 含量

对于绝大多数钢 P、S 都是有害元素,P 主要影响钢的塑性,S 主要影响钢的冲击韧性和韧—脆转变温度,另外,钢中硫化物夹杂对钢材不同方向的性能也会产生一定的影响。

综合以上分析及客户的技术要求,所以,生产的 S355J0 化学成分设计见表 3。

表 3　化学成分设计(质量分数)　%

C	Si	Mn	P	S	Als	Nb	C_{EV}
≤0.10	≤0.25	1.10~1.50	≤0.018	≤0.010	0.020~0.050	≤0.025	≤0.40

3　生产工艺

3.1　工艺流程

高炉—KR 脱硫—转炉—LF 炉—板坯连铸。

加热炉—粗轧高压水除鳞—定宽压力机—E1R1 粗轧机—E2R2 粗轧机—(保温罩)—飞剪—精轧高压水除鳞—F1~F7 精轧机—加密型层流冷却—卷取—托盘运输系统—取样、检验。

3.2　冶炼工艺

3.2.1　转炉冶炼

为保证 S355J0 良好的低温冲击韧性,严格控制冶炼过程,保证钢水的纯净度,利用包钢稀土钢板材厂先进的冶炼设备,转炉冶炼过程确保低的 P、S 含量,合理控制终点碳含量,防止钢水氧化性过强,提高一次出钢率,降低 C、P、S 含量,同时控制钢水的温度。采用硅锰、锰铁、铌铁进行合金化,挡渣出钢,有利于钢水中夹杂物的去除[4]。

3.2.2　LF 炉精炼

通过造白渣、钢包底吹氩气搅拌等措施对钢水进行精炼,达到脱氧、脱硫、去除钢中的有害气体及夹杂物、均匀化学成分。通过适当高碱度的精炼渣,

可以将 S 含量降低到 0.005% 以下; 通过微调成分, 确保终点成分准确控制。

3.2.3 连铸保护浇铸

连铸全程采用保护浇铸; 控制合理的过热度及拉速; 采用合理的二冷系统和轻压下技术; 通过以上一系列操作, 减少了钢中夹杂物, 同时有效的避免了钢水的二次氧化, 改善了铸坯的偏析、疏松程度及板坯表面质量, 获得了优质的板坯。

3.2.4 轧制工艺

根据稀土钢板材厂 2 250 mm 生产线的工艺特点及优势, 通过二级系统自学习不断的修正工艺参数, 提高了产品轧制过程工艺温度命中率及产品尺寸外形的精确性。

(1) 加热工艺: 制定合理的加热温度和在炉时间, 使微合金元素和奥氏体成分均匀且晶粒度适中, 一方面降低轧制抗力, 另一方面均匀的材料组织和成分, 有利于均匀变形。若加热温度过高且加热时间过长会导致奥氏体晶粒异常长大, 严重影响产品的综合性能, 所以板坯在炉时间控制在 180 ~ 240 min, 出炉温度(1 200 ± 20) ℃。

(2) 轧制工艺: 粗轧: 属于再结晶区轧制, 通过大变形量使得晶粒充分再结晶, 细化奥氏体晶粒。控制累积形变量≥70%, 粗轧温度控制≥1 020 ℃。

精轧: 未再结晶区轧制, 通过合理的变形量和终轧温度来积累畸变能和形变位错, 为材料后续组织转变奠定基础。通常, 奥氏体的畸变能和位错密度越大, 组织转变形核率越高, 越易形成细小的晶粒, 提高材料的强韧性。制定终轧温度控制在(870 ± 20) ℃, 累积变形量≥73%。

(3) 层流冷却: 通过选择不同的层流冷却方式, 改变钢带的冷却速度和得到不同的卷取温度, 以此实现材料强韧性的合理匹配。

4 产品结果分析

根据欧标 S355J0 的标准及客户提出的特殊要求, 产品熔炼成分均在内控范围之内, 表面质量得到很好的控制, 性能均满足客户要求, 沿轧制方向 30 ℃检验的产品屈服强度范围为 386 ~ 418 MPa, 抗拉强度范围为 519 ~ 547 MPa, 延伸率范围为 47% ~ 50%; 沿轧制方向 30℃(-10℃) 检验的纵向冲击功单个值范围为 230 ~ 340 J、平均值范围为 256 ~ 303 J; 断面剪切率单个值范围为 90% ~ 100%、平均值范围为 98% ~ 100%, 具体熔炼成分见表 4; 力学性能检验情况见图 1 。

表 4 S355J0 熔炼成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Als	Nb	C_{EV}
0.07	0.19	1.41	0.012	0.001	0.028	0.019	0.31
0.06	0.21	1.38	0.013	0.002	0.026	0.021	0.29
0.07	0.18	1.40	0.011	0.002	0.029	0.019	0.30
0.07	0.17	1.38	0.011	0.002	0.021	0.020	0.30
0.07	0.18	1.42	0.009	0.001	0.025	0.021	0.31

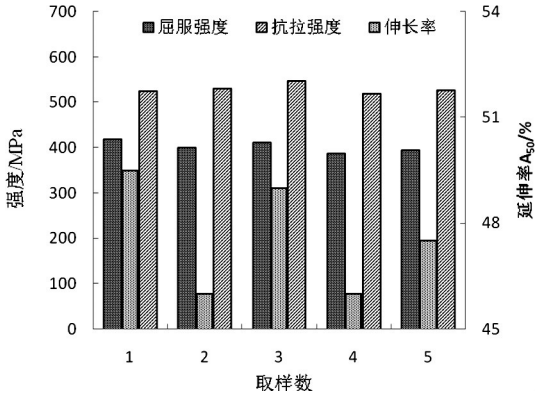


图 1 S355J0 力学性能

金相组织主要是铁素体 + 珠光体 + 少量贝氏体。冲击试样断口呈韧窝状, 钢材韧性良好, 金相组织见图 2。

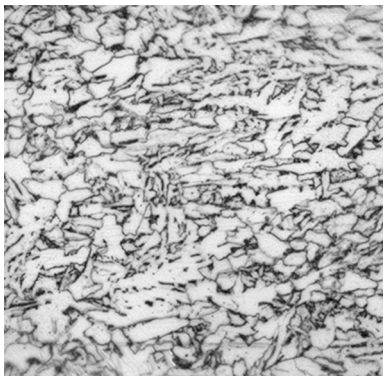


图 2 金相组织(500 ×)

5 客户使用情况

稀土钢板材厂生产的欧标 S355J0 经客户使用, 效果良好。包钢“稀土高强钢”经螺旋埋弧焊接工艺制管, 成品钢管规格 Φ2 032 mm × 25 mm × 3 400 mm, 钢管单重 42 t, 是国内目前生产单根最重的钢管, 被称之为“巨无霸”, 此批钢铁从秦皇岛装船发往埃及, 将用于“一带一路”重要节点——苏伊士运河北大门塞得港港口建设。 (下转第 52 页)

5 结论

(1) 适当控制氢爆工艺参数，使钕铁硼铸片粉碎过程中沿晶断裂成为主要的断裂方式而避免穿晶断裂，有效地保护了晶体结构的完整，并使粉末颗粒具有单晶结构。

(2) 氢爆工艺较机械磨粉，可改善粉末的形貌，粉末颗粒形状呈多面体；经过气流磨粉后得到的粒子颗粒尺寸分布比较集中，不会出现过大和过细的粉末。

(3) 氢爆制粉得到的粉末是十分脆的氢化物，可以缩短气流磨粉的时间，有效地提高了磨粉的效率。

(4) 氢爆加气流磨粉得到的粉末在压型完成后真空烧结，可以在炉内提供氢气作为还原气氛，减少了炉料的氧化。

(5) 氢爆工艺与传统工艺相比，可以提高磁体的性能，这是由于氢爆粉末的取向度有所提高，使剩磁、磁能积得到有效的提升，磁体晶体结构的改善，使内禀矫顽力提高。

参 考 文 献

[1] 王新林，韩晓英. 从稀土永磁大国走向稀土永磁强国[J]. 新材料产业，2009，10：76－79.

[2] Fidler J. Analytcal microscope studies of sintered NdFeB magnets [J]. IEE Trans Magn，1985，21(5)：1955.

[3] 周寿增. 超强永磁体(2) [M]. 北京：冶金工业出版社，2004.

[4] Harris IR，McGuiness P J. NdFeB Permanent Magnets：Hydrogen Absorption /Desorption Studies (HADS) on Nd16Fe76B8 and Nd2Fe14B [J]. J. Phys. Sci，1987 19：435.

[5] 杨刚，刘颖. NdFeB 合金选择氢爆的研究[J]. 中国稀土学报，2005，23(1)：58－61.

[6] 娄树普，陈蓓新，王强. 国内外真空氢粉碎装置现状及发展趋势[A]. 第八届全国真空冶金与表面工程学术会议论文集[C]. 沈阳：中国真空学会，2007，84－88.

[7] 王红锋，杨刚，高升吉，等. NdFeB 铸块在 HD 工艺中的吸氢行为研究[J]. 稀有金属，2004，28(2)：354－571.

(上接第34页)

6 结束语

实验证明欧标 S355J0 通过采用低碳＋高锰＋微合金化的成分设计原则，以及合理控制冶炼、连铸、轧制过程中的工艺参数，稀土钢板材厂成功的研制出厚规格、高强度、高韧性的螺旋焊管热轧钢带，检验的产品各项性能均满足标准要求，且富余量较大，并实现欧标 S355J0 批量化生产，使用后得到用户的好评。

参 考 文 献

[1] 郭秀辉. 欧标 S355J0 热轧 H 型钢研制开发[J]. 河南冶金，2013.(2)：17.

[2] EN10025－2：2004，热轧结构钢产品的要求[S].

[3] GB/T 24186—2009，工程机械用高强度耐磨钢板[S].

[4] 黄开文. X80 和 X100 钢级管线钢的合金原理和生产要点[J]. 轧钢，2004，21(6)：55－58.

[5] 宿成. 输送管线用热轧钢带 L360M 的研制[J]. 包钢科技，2015.4：40－42.