

低合金高强度结构钢 Q345B 特厚板的复合轧制工艺

陈振业¹ 张晓力¹ 张云飞¹ 杨跃辉² 韦明³ 李红文³

(1 河北钢铁技术研究总院, 石家庄 050000; 2 唐山学院机电工程系, 唐山 063000;

3 河北钢铁集团舞阳钢铁有限责任公司科技部, 平顶山 462500)

摘要 去除两块规格为(/mm)210 × 1 630 × 2 570的 Q345B 钢连铸坯待复合面上氧化铁皮, 开环周坡口, 叠放并焊接在一起得到(/mm)415 × 1 630 × 2 570的复合坯。对复合腔抽真空、密封、加热至1 220 ~ 1 260 °C和在1 150 °C轧制成 100 mm 特厚板, 前3道次总压下率大于40%, 终轧980 °C。检验结果表明, Q345B 钢复合板各项力学性能均达到 GB6396-2008 和 GB1591-2008 的要求, 抗拉强度530 ~ 535 MPa, 屈服强度325 MPa, 伸长率27.5% ~ 28.0%, 厚度Z方向抗拉强度为520 ~ 530 MPa, 断面收缩率30.0% ~ 60.5%, 界面组织结合率99%以上, 拉伸试样断口为混合断裂和少量韧性断裂, 冷弯性能良好。

关键词 低合金高强度钢 Q345B 特厚板 复合轧制 组织 力学性能

Pilot Production of High Strength Low Alloy Steel Q345B Supper-Heavy Plate by Compound-Rolling Process

Chen Zhenye¹, Zhang Xiaoli¹, Zhang Yunfei¹, Yang Yuehui², Wei Ming³ and Li Hongwen³

(1 Hebei Central Iron and Steel Technology Research Institute, Shijiazhuang 050000;

2 Department of Electrical and Mechanical Engineering, Tangshan College, Tangshan 063000;

3 Technology Department, Wuyang Iron and Steel Co Ltd, Hebei Iron and Steel Group, Pingdingshan 462500)

Abstract The compound-slab (/mm) 415 × 1 630 × 2 570 for compound-rolling is got by removing the scale of awaiting compound-rolling faces of double (/mm)210 × 1 630 × 2 570 Q345B steel casting slabs, cutting circle welding V and welding together. By vacuum-pumping compound-slab cave, packing and heating to 1 220 ~ 1 260 °C the compound-slab is rolling at 1 150 °C to 100 mm supper heavy plate with total reduction more than 40% in preceding three passes, and finishing rolling at 980 °C. Examination results show that all mechanical properties of Q345 steel compound plate meet the requirements of GB6396-2008 and GB1591-2008, that is its tensile strength 530 ~ 535 MPa, yield strength 325 MPa, elongation 27.5% ~ 28.0%, thickness Z direction tensile strength 520 ~ 530 MPa and reduction of area 30.0% ~ 60.5%. The ratio of bonding interface of compound-plate is more than 99%, and the tensile specimen fracture is mixing fracture and a small amount of toughness fracture with nice cold-bending performance.

Material Index High Strength Low Alloy Steel Q345B, Supper-Heavy Plate, Compound-Rolling, Structure, Mechanical Properties

目前国内外主要采用铸锭轧制的工艺路线生产特厚钢板,但是利用铸锭生产特厚板存在工艺复杂,成材率低的缺点。连铸坯轧制工艺的优点是生产率高、成材率高、可连续作业,主要供薄板和中厚板生产用料,缺点是坯料厚度受限制,轧制压缩比小,低倍质量即使做得很好,也难以满足100 mm以上特厚板的轧制要求^[1-4]。

轧制复合工艺是一种利用普通连铸板坯生产特厚板的新途径。日本学者开发了一种真空复合轧制生产技术,在一个密闭的真空室内利用真空电子束焊接技术将两块铸坯焊接在一起,然后进行热轧复合^[5]。河北钢铁技术研究总院在轧制同材质复合工艺生产特厚板方面提出了一种工序简化,成本更低、产品质量可靠的特厚板生产工艺。

1 试验材料及方法

选用两块尺寸大致相同 Q345B 连铸坯作为基板,其规格(mm)为210 × 1 630 × 2 570。

除去两块坯料的待复合面上的氧化铁皮,开环周坡口,叠放并焊接在一起得到一个复合坯。复合坯规格(mm)为415 × 1 630 × 2 570。对复合腔抽真空,密封、加热、轧制。

在河北钢铁集团-宽厚板生产线上进行轧制,计划轧制钢板规格100 mm。复合坯入炉实际加热制度为一加热段1 100 ~ 1 150 °C,二加热段1 250 ~ 1 280 °C,均热段1 220 ~ 1 260 °C,开轧温度1 150 °C,要求前3道次总压下率大于40%,终轧温度980 °C。

2 试轧结果检验及分析

2.1 拉伸试验

对试轧的低合金高强度结构钢 Q345B($\% : \leq 0.20C, 1.00 \sim 1.60Mn, \leq 0.55Si, \leq 0.040P, \leq 0.040S, 0.02 \sim 0.15V, 0.015 \sim 0.060N, 0.02 \sim 0.20Ti$)特厚板按国标 GBT2975-1998 的要求取样并进行了纵向和厚度方向拉伸。纵向拉伸性能见表 1, 厚度 1/4 处和 1/2 处水平纵向试样的拉伸性能均满足标准要求, 弯芯 3a, 180° 的横向冷弯性能良好。试验钢板厚度方向拉伸性能如表 2 所示, 可见 Z 向抗拉强度在 530 MPa 左右, 平均断面收缩率为 43.5%。

图 1(a) 为板厚 1/2 处的拉伸断口。可见, 复合面未导致拉伸断口开裂。图 1(b) 是厚度拉伸断口的形貌, 未发现明显的氧化现象。

由图 2 可见, 拉伸断口上存在两个区域, 分别呈现混合断裂和韧性断裂形貌。

2.2 冲击试验

按国标 GBT2975-1998 对试轧的 Q345B 特厚板取样并按 GBT229-2007 进行了冲击试验(表 3)。可

表 1 Q345B 钢轧制复合板的力学性能

Table 1 Mechanical properties of rolled compound-plate of Q345B steel

规格/mm	板厚 取样位置	屈服强度 (R_{el})/MPa	抗拉强度 (R_m)/MPa	伸长率 (A)/%
100	1/2	325	530	27.5
	1/4	325	535	28.0

表 2 100 mm Q345B 钢复合板厚度方向拉伸性能

Table 2 Thickness direction tensile properties of 100 mm rolled compound-plate of Q345 steel

取样位置	断面收缩率/ %	厚度方向抗拉强度/ MPa
距头部 400 mm	60.5	530
	38	525
	30	540
距尾部 400 mm	33	545
	45	525
	54.5	520

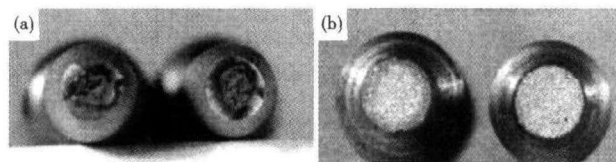


图 1 Q345B 钢复合板厚度 1/2 处拉伸断口 (a) 和厚度方向拉伸断口 (b) 的宏观形貌

Fig.1 Macro-morphology of tensile fracture at plate thickness 1/2 (a) and thickness direction tensile fracture (b) of rolled compound-plate of Q345B steel

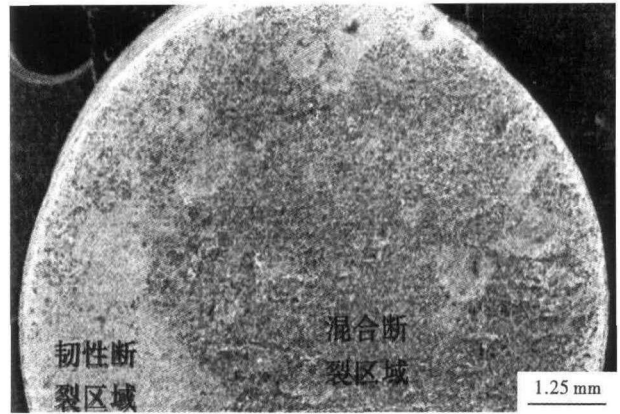


图 2 Q345B 钢复合板厚度方向拉伸断口形貌, SEM
Fig.2 Morphology of thickness direction tensile fracture of rolled compound-plate of Q345B steel, SEM

表 3 100 mm Q345B 钢复合板的纵向冲击功性能

Table 3 Longitudinal impact properties of 100 mm rolled compound-plate of Q345B steel

试验温度	板厚取样位置	冲击功/J
常温	1/2	138 ~ 157
常温	1/4	95 ~ 132
0 °C	1/2	86 ~ 132
0 °C	1/4	37 ~ 87
-20 °C	1/2	78 ~ 91
-20 °C	1/4	37 ~ 83

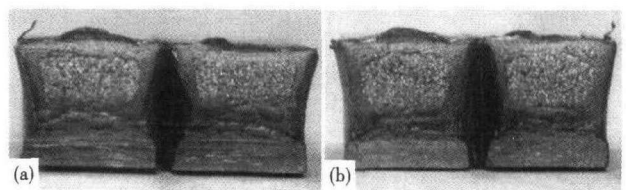


图 3 Q345B 钢复合板冲击断口形貌:(a) 厚度 1/2 处;(b) 厚度 1/4 处

Fig.3 Morphology of impact fracture of rolled compound-plate of Q345B at plate thickness 1/2 (a) and 1/4 (b)

见钢板厚度 1/2 和 1/4 处的冲击性能较为接近, 并且 1/2 处的冲击功略高于 1/4 处。由于 1/2 处为结合面处, 由此可知, 复合面的存在并未导致冲击功的下降。图 3(a, b) 为 1/2 和 1/4 处冲击断口, 可见冲击断口未出现异常。

2.3 复合面结合情况

根据 GB6396-2008 对试轧的 Q345B 特厚板取样并进行冷弯试验。

(1) 心部横向弯曲。在板厚 1/2 处取样, 样品尺寸厚度 25 mm, 宽度 30 mm, 长度 280 mm, 弯心 $d = 2a$, 弯曲 180°, 试样弯曲后如图 4(a) 所示, 复合面未出现肉眼可见裂纹。

(2) 侧弯。对试验钢板进行全厚度取样, 再对上下表面分别去掉 30 mm, 得到样品尺寸(/mm)厚

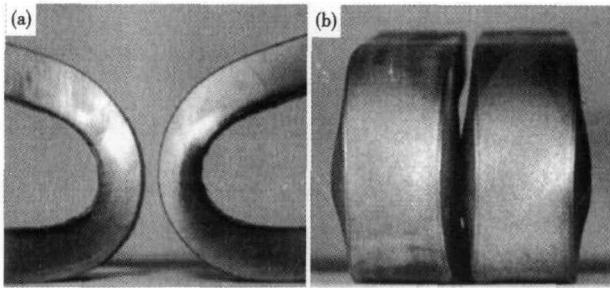


图4 Q345B 钢复合板心部横弯(a)和侧弯(b)试样形貌
Fig.4 Morphology of transverse bending specimen from center (a) and side bending specimen (b), Q345 steel compound-plate

20 × 宽 40 × 长 280,对试样进行侧弯试验,弯心 $d = 2a$,弯曲 180°,试样弯曲后如图 4(b) 所示,复合面未出现肉眼可见裂纹。

(3)复合面结合度。在心部取横向试样,样品尺寸(/mm)厚 40 × 宽 40 × 长 270,进行弯曲,统计复合面上开裂部分所占的比例得出,复合面上没有观察到裂纹,复合面结合度为 100%。

2.4 超声波探伤

按照 GB/T7734-2004 对试轧的复合特厚板进行超声波探伤,结果显示除头尾 200 mm 范围内存在少量的探伤不合的区域外,钢板其他部位均达到国标 I 级探伤标准。

2.5 显微组织分析

由表 4 可见,复合面附近夹杂物的情况与其他部位没有差异;试轧的 Q345B 特厚钢心部复合面附近的晶粒度及带状组织与 1/4 处基本处于同一水平,晶粒度 7.5 ~ 8.0 级,带状组织 1.0 ~ 1.5 级,沿厚度方向差异较小。

由图 5 可见,复合面处的组织为铁素体、珠光体和魏氏体。绝大多数地方的复合界面痕迹完全消失,复合界面和基体没有区别。较少的地方可以看见复合界面,但是复合界面已经全部焊合,界面附近除了铁素体和珠光体组织外没有出现颗粒物,如图 5

表 4 Q345B 钢复合板的非金属夹杂物、晶粒度和带状组织/级

Table 4 Inclusions, grain size and banded structure of rolled compound-plate of Q345B steel /rating

板厚位置	非金属夹杂物								晶粒度	带状组织
	A		B		C		D			
	粗	细	粗	细	粗	细	粗	细		
1/4 处	0	0	1.0	0.5	0	0	0.5	0.5	7.5	1.0
1/2 处	0	0	1.0	0.5	0	0	0.5	0.5	7.5	1.0
另一个 1/4 处	0	0	0.5	1.0	0	0	0.5	0.5	8.0	1.5

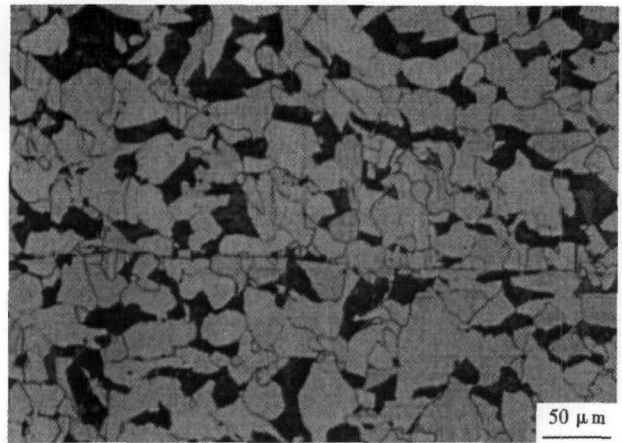


图5 Q345B 钢复合板复合面附近的组织形貌
Fig.5 Morphology of structure of Q345B steel rolled compound-plate near compound interface

所示。经多次取样观察,复合特厚板界面结合率达到 99%。

3 结论

(1)在真空条件下,利用 Q345B 复合钢坯,经过热轧能够得到复合特厚板,其各项力学性能均达到国标 GB6396-2008 和 GB1591-2008 的要求。

(2)复合板的力学性能与 Q345B 基本相当,其冷弯性能良好,复合界面的结合率达到 99% 以上,复合面的存在并未导致冲击功的下降。

(3)复合特厚板的 Z 向平均抗拉强度为 530 MPa,平均断面收缩率为 54.5%,拉伸试样断口在微观上表现为混合断裂和少量纯韧性断裂。

(4)真空复合轧制工艺能够实现复合界面的冶金结合,采用该工艺能够生产同种材质的特厚复合板,可在此基础上进一步研究异种材质金属复合板的生产新工艺。

参考文献

[1] 崔风平,孙玮,赵乾,等.我国极厚钢板生产制造技术的发展[J].山东冶金,2013,35(1):1-6.
[2] 胡兆辉.极厚复合钢板的实验研究[D].沈阳:东北大学,2008.
[3] 刘清梅,魏丽艳.特厚钢板品种生产现状及新技术研究[J].上海金属,2011,33(6):57-60.
[4] 马瑞金.首秦公司特厚板坯连铸生产工艺实践[J].首钢科技,2011(3):27-34.
[5] Nishida S, Matsuoka T, Wada T. Technologies and Products of 3 Steel Plate Mills in JFE Steel[J]. JFE GIHO, 2004, 8(5):1-4.

陈振业(1983-),男,硕士(武汉大学),工程师,2006年武汉大学(本科)毕业,新产品新工艺的研究和开发。
E-mail: wustchenzhenye@163.com