

DOI: 10.16410/j.issn1000-8365.2019.01.027

Q460E 钢板轧制工艺研究

彭可武¹,董中奇²,马贺利¹,尹雪亮²,宫长伟¹

(1. 辽宁科技学院 冶金工程学院, 辽宁 本溪 117004; 2. 河北工业职业技术学院 材料工程系, 河北 石家庄 050000)

摘要:采用控冷控轧工艺对 3 种规格的 Q460E 中厚板生产的工艺过程进行研究。结果表明,采用两阶段预热和两阶段控制轧制,第一阶段在奥氏体再结晶区轧制,铸坯开轧温度为 1 050~1 100 °C,道次压下率控制在 10% 以上;第二阶段在奥氏体未再结晶区轧制,开轧温度为 ≤950 °C,终轧温度为 860~790 °C,待温后累计压下率 ≥50%,道次变形率 ≥12%;采用层流冷却方式,钢材具有良好的强韧性能。

关键词: Q460E; 轧制工艺; 力学性能

中图分类号: TG335.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2019)01-0106-03

Research on Rolling Process of Q460E Plate

PENG Kewu¹, DONG Zhongqi², MA Heli¹, YIN Xueliang², GONG Changwei¹

(1. School of Metallurgy Engineering, Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi 117004, China; 2. Department of Materials Engineering, Hebei College of Industry and Technology, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: The controlled cooling and rolling process of 3 kinds of Q460E middle and thick plate was studied. The results show that two stage of preheating and two phase control rolling should be used, the first stage should be in the austenite recrystallization zone rolling, the slab rolling temperature of 1 050~1 100 °C, under time pressure control rate in more than 10%; The second phase should be in the austenite recrystallization zone rolling, a rolling temperature is 950 °C or less and finishing temperature is 860~790 °C, after waiting for temperature cumulative pressure rate is 50% or higher, including a deformation rate 12% or higher; Laminar cooling method is adopted and the steel has good toughness.

Key words: Q460E; rolling technology; mechanical property

工程机械用钢一般采用 Nb、V、Ti 等进行微合金化,利用微合金元素形成的碳、氮化物在钢中的溶解和析出,对钢板起晶粒细化和沉淀强化作用^[1-4],其中,Q460E 具有较高的强度、良好的韧性与可焊性,由于其具有良好的综合性能,广泛应用于各种工程机械结构件制造^[5-8]。基于微合金化和控制冷却和控制轧制生产中板 Q460E,成为主要的技术方式。工程机械用钢板在轧制过程中,一般要采取控轧控冷工艺和正火处理工艺,保证钢的强韧性能。

为此,本文结合某钢厂 3 500 mm 轧机生产线装备和工艺特点,通过降低碳当量、采用 Nb、V 微合金化和控轧控冷工艺,探索制备中板 Q460E 钢。

1 实验材料和方法

Q460E 连铸坯的厚度为 30~80 mm,化学成分

见表 1,力学性能要求见表 2,轧制成为 20、25 和 32 mm 3 种规格的带钢,加热制度设计见表 3,轧制工艺参数见表 4。在带钢 1/4 处切取样坯,制备 20 mm×80 mm 规格试样采用 BDCL 型材料力学多功能试验机对其力学性能进行测试。

2 实验结果和讨论

Q460E 热轧试样力学性能见表 5,晶粒度见表 6。由表 5 和 6 可见,采用两阶段预热和两阶段控制轧制,可以有效地提高轧制后板材的晶粒度,达到 10 级,从而可明显提高钢板的屈服强度和抗拉强度;钢板韧性没有明显恶化,并有较大富余量。

试制钢板 1/4 厚度处金相组织如图 1,组织为铁素体和珠光体,晶粒度为 10 级,体积分数分别为:铁素体 62%、珠光体 38%。珠光体分布弥散细小,因此钢板强度明显提高。

2.1 温度制度

Q460E 板屈服强度、抗拉强度和韧性提高,与铸坯加热的制度密切相关。铸坯中的铌、V 主要以大颗粒的碳、氮化合物形式存在,当低温加热时,即在 900 °C 以下,铌、V 的碳、氮化合物几乎不溶解,未溶

收稿日期: 2018-08-03

基金项目: 辽宁省教育厅 2017 年度科学技术研究项目(L20171kyfwdf-04);河北省科技厅重点研发计划项目(16214526)

作者简介: 彭可武(1975-),甘肃景泰人,副教授,研究方向:新钢种的开发与应用。电话:13889306102,

E-mail: pengkewu@126.com

表1 试验钢化学成分 w(%)
Tab.1 Chemical composition of test steel

钢种	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Als	CEV
Q460E	0.14~0.18	0.20~0.40	1.45~1.65	≤0.020	≤0.010	0.020~0.035	0.060~0.080	0.015~0.035	0.39~0.45

表2 Q460E力学性能要求
Tab.2 Mechanical properties of Q460E

厚度/mm	屈服点 σ_s /MPa	抗拉强度 σ_b /MPa	伸长率 δ_5 (%)	V 型冲击功(纵向)		180 °C 弯曲试验/mm	
				温度/°C	J	≤16	>16
≤16	≥460	550~720	≥17	-20	34	d=2a	d=3a
16~40	≥440	550~720	≥17	-20	34	d=2a	d=3a
40~63	≥420	550~720	≥16	-40	34	d=2a	d=3a
63~80	≥400	550~720	≥16	-40	34	d=2a	d=3a

表3 加热制度
Tab.3 Heating process

坯料	预热段/°C	一加热段/°C	二加热段/°C	均热段/°C	加热时间/h
冷料	≤850	1 040~1 100	1 230~1 290	1 180~1 240	≥2.5
热料	≤850	1 000~1 100	1 230~1 290	1 180~1 240	≥2

表4 轧制工艺参数
Tab.4 Rolling parameters

成品厚度/mm	待温厚度/mm	待温终了温度/°C	终轧温度/°C	控制冷却	返热温度/°C
20	42	870~840	840~825	控冷	680~700
25	46	870~845	830~820	控冷	680~700
32	68	860~825	840~820	控冷	680~700

表5 Q460E试验力学性能
Tab.5 Mechanical properties of Q460E test

批号	规格/mm	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率 (%)	-40 °C V 型冲击			冷弯
					141	145	140	
1#	20	485	595	20.5	141	145	140	合格
2#	20	480	580	27	204	179	217	合格
3#	20	485	590	28	215	205	210	合格
4#	20	495	610	23	71.2	63.9	33.1	合格
5#	25	475	595	26	165	164	170	合格
6#	25	485	595	25.5	165	166	169	合格
7#	25	480	610	23.5	184	73.4	150	合格
8#	25	495	605	27	200	197	203	合格
9#	25	475	605	28	175	177	180	合格
10#	32	440	580	25	179	190	195	合格

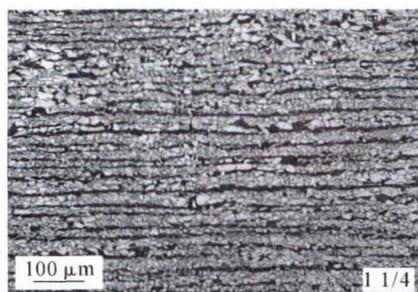
表6 Q460E晶粒度
Tab.6 Q460E grain size

钢种	夹杂物评级	金相组织	晶粒度
Q460D	A _{0.5} C _{0.5} D _{0.5}	F+P	10

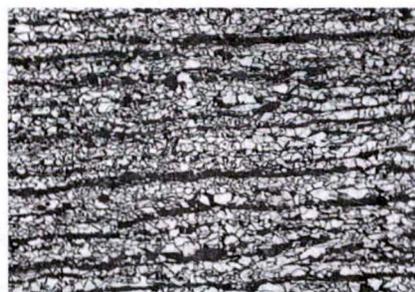
开始大量溶解,因此 1 000 °C(或 1 040 °C)的加热温度保证了有足够的铌、V 固溶到奥氏体中。

同时加热温度不能过高,这是由于加热后奥氏体晶粒尺寸的大小将直接影响轧后的晶粒尺寸,奥氏体晶粒随加热温度的升高而长大。通常奥氏体晶粒在 1 150 °C 时尺寸比较均匀,超过 1 180 °C 时,由于晶界的碳、氮化合物完全固溶,对晶粒长大的阻止作用消失,奥氏体晶粒开始急剧长大,因此加热温度不宜超过 1 180 °C。适当降低加热温度,有利于晶界析出铌的碳、氮化合物,以抑制晶粒的长大,而且降

解 Nb 的碳、氮化合物粗大颗粒保留在轧后的钢板组织中,对钢板几乎不起强化作用;超过 990 °C 时



(a) 板材 1/4 处的金相照片



(b) 板材 1/2 处的金相照片

图 1 Q460E 轧制金相组织
Fig.1 Microstructure of rolling Q460E steel

低加热温度可以缩短在高温区轧后的停留时间,避免再结晶的奥氏体晶粒在高温区不断长大,使得晶粒变粗大。

2.2 控制轧制

采用两阶段控制轧制,是基于微合金化元素的某些独特作用只有在一定的工艺条件下才能实现,影响材料机体性能的机制对工艺参数比较敏感,采用两阶段控制轧制能更好地发挥合金元素的作用。如根据铌在轧制时延迟奥氏体再结晶以及铌的碳化物、氮化物的溶解-析出特性。

奥氏体再结晶区轧制时,铸坯开轧温度为 1050~1100℃,在轧制的第一阶段利用高温下钢的变形抗力低的特点,尽可能采用较大的压下量,以细化奥氏体晶粒,道次压下率控制在 10%以上。

待温时,随着轧制温度的降低,进入奥氏体部分再结晶区,在此区间轧制时,仅有部分奥氏体发生再结晶,导致奥氏体晶粒大小不均,并可能产生部分特大晶粒,引起严重混晶。混晶组织出现后,将很难消除,并降低钢板韧性。为此,采用中间待温制度,当轧到成品钢板厚度的 2~3 倍时开始待温,以避免在奥氏体部分再结晶区轧制。

奥氏体未再结晶区轧制时,轧制过程中利用 Nb 能提高奥氏体再结晶温度,有利于在奥氏体未再结晶区的轧制特点进行控轧。采用 II 型控轧的含 Nb 钢,当温度低于 950℃时可以认为已不发生动态再结晶。因此 Q460E 第二阶段适宜的开轧温度为 ≤950℃,终轧温度为 860~790℃。当轧制 12~20 mm 厚的钢板时,终轧温度取上限,防止平整道次中温降过快,温度过低,对辊面有不利影响;当厚度 >20 mm 时,终轧温度取中下限。待温后累计压下率 ≥50%,道次变形率 ≥12%;最后一道根据板形和厚度情况可适当减小,尽量缩短道次间隙时间,以细化晶粒提高钢板强韧性。

2.3 控制冷却工艺

控制轧制过程中,通过反复变形-再结晶,可以细化晶粒,改善钢的强度和韧性,但形变过程诱发相变,使 Ar₃ 温度提高,致使铁素体在较高温度下析出,如轧后缓慢冷却易使晶粒长大,因此要控制适

当的冷却速度。根据板厚的不同,轧后采用不同的层流冷却,通过调整冷却集管组数,Q460E 返红温度控制在 670~700℃。

3 结论

(1)确定了 Q460E 中厚板的轧制工艺制度为:采用两阶段预热和两阶段控制轧制,第一阶段在奥氏体再结晶区轧制,铸坯开轧温度为 1050~1100℃,道次压下率控制在 10%以上;第二阶段在奥氏体未再结晶区轧制,开轧温度为 ≤950℃,终轧温度为 860~790℃,待温后累计压下率 ≥50%,道次变形率 ≥12%;采用层流冷却方式。

(2)采用两阶段预热和两阶段控制轧制,可明显提高钢板的屈服强度和抗拉强度。

(3)采用两阶段控制轧制和轧后快速冷却,使得晶粒细化是 Q460E 获得优良力学性能的根本原因。

参考文献:

- [1] Wenchao Li, Fangfang Liao, Tianhua Zhou, Harm Askes. Ductile fracture of Q460 steel: Effects of stress triaxiality and Lode angle [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2016, 04 (123): 1-17.
- [2] Christopher Smith, Amit Kanvinde, Gregory, Deierlein. A local criterion for ductile fracture under low-triaxiality axisymmetric stress states [J]. Engineering Fracture Mechanics, 2017, 1 (169): 321-335.
- [3] Yansheng Du, Zhihua Chen, Ming-Xiang Xiong. Experimental behavior and design method of rectangular concrete-filled tubular columns using Q460 high-strength steel [J]. Construction and Building Materials, 2016, 01 (125): 856-872.
- [4] Wenchao Li, Luca Susmel, Harm Askes, Fangfang Liao, Tianhua Zhou. Assessing the integrity of steel structural components with stress raisers using the Theory of Critical Distances [J]. Engineering Failure Analysis, 2016, 1 (70): 73-89.
- [5] 崔占斌, 王倩, 崔占辉, 等. 控冷返红温度对 Q460GJE 高建钢组织和力学性能的影响[J]. 钢铁研究学报, 2014, 26(11): 64-68.
- [6] 张强. Q460E 厚板控轧控冷工艺研究 [J]. 轧钢, 2014, 31(5): 61-63.
- [7] 刘海涛, 许立勇, 刘冬花, 等. TMCP 控轧 Q460E 高强度钢焊接工艺研究[J]. 电力机车与城轨车辆, 2016, 1(16): 64-67.
- [8] 毛国华. 微合金 Q460E 钢的研究与开发[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2014.

欢迎到当地邮政局(所)订阅 2019 年《铸造技术》杂志

国内邮发代号: 52-64 国外发行号: M855 国内定价: 18 元/本 海外定价: 18 美元/本