EH36级船体结构用钢的小轧机实验研究*

徐 强[1],杨晓东[2],刘 霞[3]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司薄板坯连铸连轧厂,内蒙古 包头 014010;
3. 包头市少先路小学,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 利用包钢技术中心Φ750 mm×550 mm热轧试验机组,对EH36级实验钢进行控轧控冷工艺制度研究,并获得实验钢的组织和性能,为开发各种级别的低成本高强度钢提供实验依据。

关键词: 控轧控冷; 高强钢; 细化晶粒
中图分类号: TG335 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2019)05-0045-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.05.013

Experimental Study on EH36 Grade Hull-structure Steel with Small Mill

Xu Qiang[1], *Yang Xiao-dong*[2], *Liu Xia*[3]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *CSP Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
3. *Baotou Shaoxian Road Primary School, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The controlled rolling and controlled cooling process system of EH36 grade experimental steel was studied with the Φ750 mm×550 mm hot rolling test crew of Technical Center of Baotou Steel as well as the microstructure and propertjes of experimental steel were obtained, which could provide the experimental evidences for developing various grades of low-cost high-strength steel.

Key words: controlled rolling and controlled cooling; high-strength steel; refining grain

近年来,随着微合金化的应用和控轧控冷技术的发展,使某些正火状态交货的钢板可以用热机械处理(TMCP)状态交货,使用TMCP生产工艺,不仅在产品设计方面可以采用更低的合金含量来降低成本,而且提高了产品的可焊性,同时提高了生产效率和产品质量[1]。船舶及工程用结构钢作为包钢中厚板产品之一,部分产品规格已通过了中国及多国船级社工厂认证,因此,拓展更多高强度船板用钢的品种对提高包钢中厚板的市场竞争能力,扩大船板的市场份额,增加品种效益都具有十分重要的意义。本文采用包钢生产的中厚钢坯,在技术中心冶轧实验室Φ750 mm×550 mm热轧试验机组上,摸索控轧控冷工艺制度,获得高强度级船舶及工程用结构钢,为开发各种级别的低成本高强度钢提供实验依据。

* 收稿日期:2019-04-24
作者简介:徐 强(1982-),男,山西省原平市人,工程师,现从事板材研究工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 实验材料

EH36高强度船板对强度和低温冲击韧性有较高的要求，虽然GB712—2011标准给出了EH36的化学成分要求，但微合金化技术及控轧控冷技术是设计本钢种的关键。

实验用钢采用厚度250 mm的中厚钢坯为实验基料，表1为实验钢实测化学成分。

表1 化学成分(质量分数) %

编号	C	Si	Mn	P	S	Al_t	Al_s
1	0.140	0.220	1.050	0.013	<0.002	0.025	0.023
2	0.075	0.270	1.500	0.010	<0.002	0.027	0.026
编号	Ca	O	N	Nb	V	Ti	
1	0.002	0.002	0.004	<0.005	0.008	0.004	
2	0.002	0.001	0.004	0.043	0.056	0.009	

2 实验工艺过程

控轧控冷试验在包钢技术中心冶轧实验室Φ750 mm×550 mm热轧试验机组上进行，图1为Φ750 mm×550 mm试验轧机组设备布置简图。

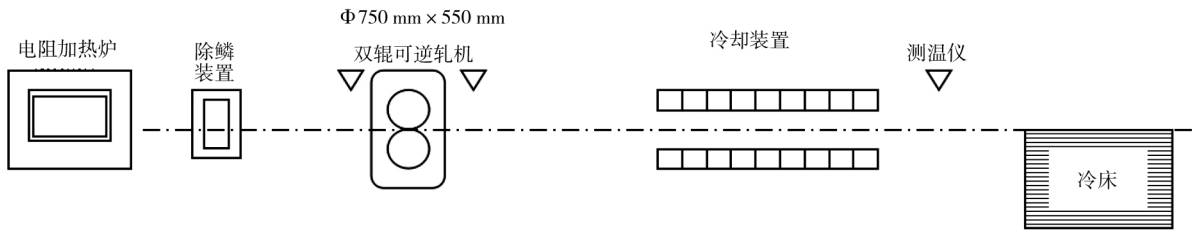


图1 Φ750 mm×550 mm试验轧机组备布置简图

将坯料切割成250 mm×280 mm×310 mm的小方坯，并保证小方坯长度方向与原坯料长度方向一致；轧制成品厚度为40 mm。

加热工艺：均热温度控制在1 200 ℃，为防止加热温度过高和加热时间过长引起钢坯奥氏体晶粒粗化，均热时间控制在1.5 h内 。

粗轧工艺：开轧温度1 150～1 200 ℃，终轧温度大于950 ℃，单道次压下率大于18%，累积压下率大于60%。

精轧工艺：开轧温度920 ℃，单道次最小压下率不低于8%，累积压下率大于50%。终轧温度控制在830 ℃左右，控制冷却温度控制在500～650 ℃。控制冷却主要是通过轧后快速冷却，降低奥氏体转变温度，从而细化铁素体晶粒。

3 组织及性能

3.1 显微组织

依据取样GB/T 2975标准取样，在板宽1/4处取样。金相试样经研磨、抛光后用4%硝酸酒精溶液腐蚀，在ZEISS金相显微镜上对实验轧制钢板的显微组织进行观察。针对厚板在控轧控冷轧制后厚度方向组织不均匀特征，沿板厚方向分别制取1/4处和中心处金相试样进行比较观察。

1#和2#试样微观组织为F+P，见图2。组织及晶粒度评定见表2。

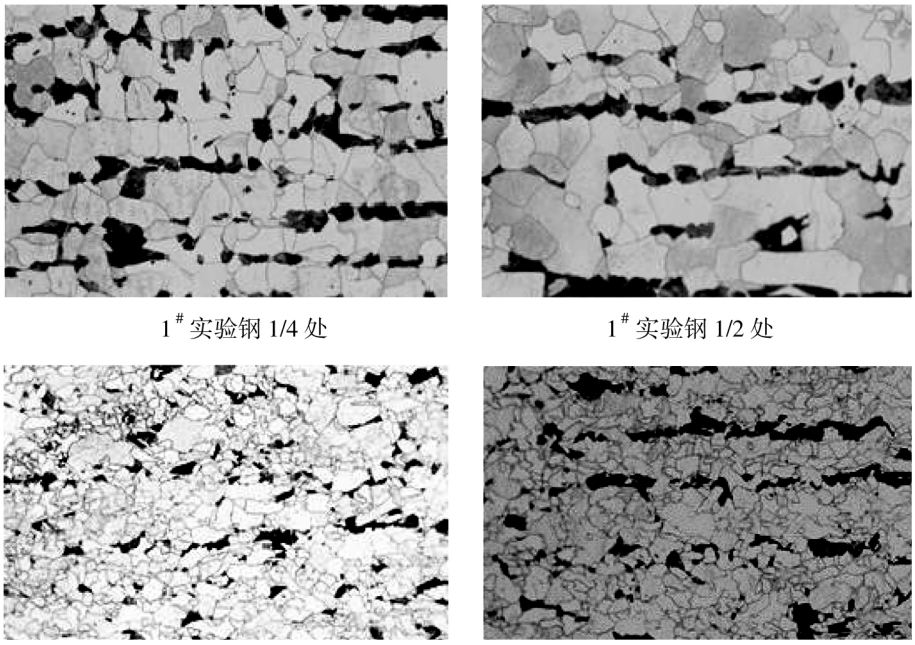
表2 组织及晶粒度评定结果

编号	晶粒度/级	平均晶粒尺寸/μm	组织	带状组织/级
1	7	32	F+P	3
2	9～10	16～10	F+P	1

在光学显微镜下，1#试样晶粒尺寸在32 μm左右，2#试样晶粒尺寸在16～10 μm左右，1#试样微观组织带状组织比较明显且连续。2#试样中珠光体弥

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

散分布，不聚团，这样的组织形貌有利于韧性性能提高。由于钢板终轧厚度为40 mm，在控制冷却时钢板中间部位冷却效果不如表面，从而造成了显微组织的差异，由 1#、2#实验钢的显微组织照片可看出中间部位铁素体的含量少于 1/4 处。



1# 实验钢 1/4 处　　1# 实验钢 1/2 处

2# 实验钢 1/4 处　　2# 实验钢 1/2 处

图 2　微观组织

3.2　力学性能

依据 GB/T 228 标准试验方法检验，实验钢力学性能测试结果见表 3。1# 实验钢屈服强度最小 300 MPa，抗拉强度最小 440 MPa，实验钢横、纵向强度偏差小于 10%，延伸率无偏差；2# 实验钢屈服强度最小 430 MPa，抗拉强度最小 510 MPa，钢横、纵向强度偏差小于 10%，延伸率偏差在 13%。1# 面缩率偏差在 5%，2# 面缩率偏差在 17%。

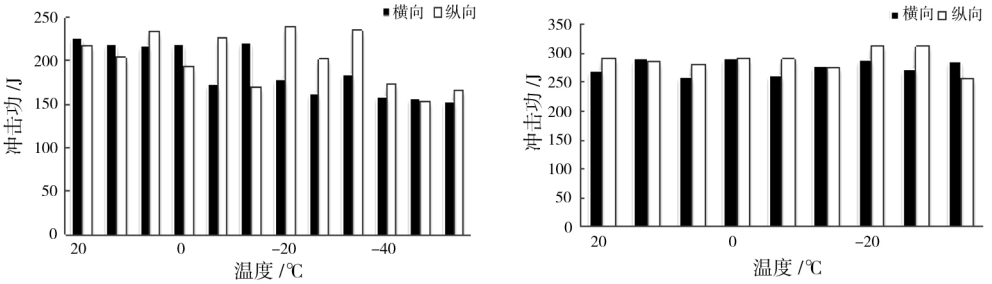
表 3　实验钢力学性能

编号	取样方向	屈服强度 /Mpa	抗拉强度 /Mpa	延伸率 /%	面缩率(Z35) /%		
					Z1	Z2	Z3
1	纵	325	445	35	68.5	70.0	71.5
	横	300	440	35			
E 级标准要求		≥235	400～520	≥22	≥35	≥35	≥35
2	横	445	525	26	78.0	79.5	65.0
	纵	430	510	30			
EH36 级标准要求		≥355	490～630	≥21	≥35	≥35	≥35

依据 GB/T229 标准试验方法检验，横、纵向冲击都满足要求，检验结果见图 3。

由图 2 看出，2# 实验钢通过加铌微合金化和控轧控冷工艺，轧制的钢板晶粒度 9～10 级，达到了细化晶粒的目的。从表 3 可以看出，1# 实验钢力学性能结果都满足 E 级一般强度船板的要求，2# 实验钢力学性能全部满足 EH36 级高强船板的要求，各项指标均有富余。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



（a）1#实验钢冲击试验结果　　（b）2#实验钢冲击试验结果

图3　实验钢不同温度冲击功

EH36高强度船板的生产难度主要在于它要求具有较高的低温（－20 ℃）冲击性能，由图3（b）可以看出，虽然冲击试验结果符合标准，但同温度下横、纵冲击功的比值并不大于1，这可能是由于控轧工艺与实验节奏不匹配造成的。调整生产节奏使之与控轧工艺相匹配是进一步稳定和提高钢板性能努力的方向。

4　讨论

锰在钢中部分与铁互溶，形成固溶体（铁素体或奥氏体），能够强化铁素体和细化珠光体。同时，由于锰和硫有较大的亲和力，能促使钢中的硫形成熔点比硫化铁高的硫化锰，避免硫化铁在晶界析出，降低热脆性，提高热加工性能[2]。其中硫含量小于0.002%，降低硫化物的形成，有利于塑性。提高抗硫化氢腐蚀能力。

铌对奥氏体的再结晶有明显延迟作用，加热温度会直接影响初始奥氏体的组织大小，所以在制定加热温度时要在确保钢中铌溶解的前提下，尽可能采用低的出炉温度，以获得细小的初始奥氏体组织。板坯加热温度过高，碳氮化合物完全固溶后，奥氏体晶粒会迅速长大，影响控轧效果，对钢的强度和韧性有负面影响，同时延长了控制轧制中间待温冷却时间，降低轧机产量，另外，加热温度过高甚至会发生过热、过烧现象。因此合适的加热温度会直接影响控制轧制效果。

轧后的冷却制度、化学成分和奥氏体状态决定着最终的机械性能。这是通过控制奥氏体转变产物、位错密度、析出特性和组织来实现的。对于组织和性能而言，冷却速度是重要的工艺参数。与空冷相比，较高的冷却速度可以提高铁素体晶粒形核率并且有助于铁素体和珠光体的形成。终冷温度应低于珠光体变终了温度，试验控制终冷温度在500～650 ℃，即要保证组织为完全的铁素体、珠光体组织，又防止再结晶晶粒长大，进一步细化晶粒。

5　结论

（1）实验钢力学性能测试结果完全满足同等厚度规格EH36高强度船板用钢要求。且钢板强度适中、塑性、韧性、Z向断面收缩率有较大的富余量。

（2）摸索精轧阶段的开轧温度和累计压下率，为开发超高强度等级产品提供了技术储备。

（3）说明控轧控冷工艺是可行的，完全可以取代正火工艺，实现高强度船板以控轧态直接交货。

参　考　文　献

[1] 高珊，张才毅，章传国. 高强度高韧性TMCP船板的研制[J]. 世界钢铁，2009，(5)：14－17.

[2] 王有铭，李曼云，韦光. 钢材的控制轧制和控制冷却[M]. 北京：冶金工业出版社，2009.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net