

锻造钩尾框用25MnCrNiMoA圆钢的开发

裴建华, 翟正龙, 袁淑君, 李小雄
(莱芜钢铁集团有限公司, 山东 莱芜 271104)

摘要:针对钩尾框恶劣的使用条件,对其用钢25MnCrNiMoA的开发制定了严格的技术要求。通过控制钢的化学成分,采用合理的冶炼(电炉→LF→VD)、连铸、轧制工艺,获得了纯净的钢质和良好的组织,检验表明,圆钢屈服强度 ≥ 750 MPa,抗拉强度 ≥ 890 MPa,脆性转变温度为 -50 °C,目前已形成小批量生产,产品质量稳定可靠,各项性能指标满足技术协议及客户使用要求。

关键词:钩尾框用钢;热轧圆钢;25MnCrNiMoA;冲击性能;脆性转变温度

中图分类号:TF762

文献标识码:B

文章编号:1004-4620(2013)05-0006-03

1 前言

我国铁道部车辆钩尾框原为铸造成型,随着铁道车辆不断提速加载,铸造钩尾框性能已不能满足车辆运输要求,强度、韧性良好的锻造钩尾框将取而代之。钩尾框是铁道车辆上的关键配件,25MnCrNiMoA钢为锻造钩尾框的专用钢材牌号。钩尾框使用条件恶劣,对钩尾框的机械性能、内外部质量要求很高,另外,钩尾框形状复杂,热弯过程中容易

出现裂纹现象^[1]。因此,对生产钩尾框用的25MnCrNiMoA热轧圆钢提出了很高的技术要求。

2 技术要求

目前,国内还没有关于25MnCrNiMoA钢种的相关标准,莱钢参照钩尾框国标及客户要求,结合钩尾框实际工况条件,制定了技术协议,主要技术要求如下。

1)化学成分要求见表1。

表1 25MnCrNiMoA钢化学成分(质量分数)%

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo
0.24 ~ 0.28	1.20 ~ 1.50	0.20 ~ 0.40	≤ 0.020	≤ 0.020	0.40 ~ 0.60	0.35 ~ 0.55	≤ 0.15	0.20 ~ 0.30

2)低倍组织。钢材不允许有铸态组织。疏松、锭形偏析应 ≥ 2.0 级,一般点状偏析、边缘斑点状偏析及皮下气泡不允许存在,钢材横截面酸浸低倍组织试样上,不得有目视可见的缩孔、气泡、裂纹、夹杂、翻皮、白点、晶间裂纹等。

3)非金属夹杂物按GB/T 10561中的方法A及ASTM评级图评定。A、B、C、D类非金属夹杂物均 ≥ 2.0 级。如同一视场中同时出现A、C类夹杂物时,应合并评定,且 ≤ 2.5 级。

4)力学性能。钢材经过调制处理,淬火温度 $880 \sim 930$ °C,水冷;回火温度 (580 ± 50) °C,水冷。试样的力学性能要求:规定非比例屈服强度 $R_{p0.2} \geq 690$ MPa,抗拉强度 $R_m \geq 850$ MPa,断后伸长率 $A \geq 14\%$,断面收缩率 $Z \geq 30\%$; -40 °C冲击功 $A_{KV} \geq 27$ J。

5)末端淬透性。末端淬火试验时,按GB/T 225标准要求制作试样,试样淬火温度 (910 ± 10) °C,时间为 (30 ± 5) min。试样末端淬透性结果应符合:C $\leq 0.24\%$ 时, $J_{11} \geq 30$ HRC;C为 $0.25\% \sim 0.28\%$ 时, $J_{11} \geq 33$ HRC。

3 生产实践

根据技术要求及生产实际情况,25MnCrNiMoA钢的开发采用如下工艺流程:50 t电炉冶炼→LF精炼→VD真空处理→合金钢连铸(260 mm × 300 mm)→入坑缓冷→成材($\Phi 70 \sim \Phi 150$ mm)。

3.1 冶炼控制要点

采用电炉冶炼,控制钢包烘烤温度 ≥ 800 °C,控制冶炼钢水终点[C] $\geq 0.10\%$ 、[P] $\leq 0.015\%$,并且使钢水的残余元素含量符合设计要求。出钢温度控制在 $1650 \sim 1670$ °C,完成钢液的脱碳脱磷;同时氧化脱碳均匀沸腾,去除钢中的部分H和N。

采用LF炉精炼,精炼炉送电化渣、调渣、喂线、搅拌等,进行钢液的脱氧脱硫、去除夹杂、调整成分、控制温度等处理。出钢前酸熔铝含量控制在 $0.03\% \sim 0.045\%$ 的范围内。

LF炉精炼后进行VD真空处理,将VD炉(真空脱气炉)内的真空度控制为 < 67 Pa并保持15 min以上的时间,以利于真空处理,保证脱气效果。破空后控制软吹氩的时间 ≥ 10 min,从而保证足够的时间使夹杂物上浮,使成分和温度均匀。VD真空处理

收稿日期:2013-03-04

作者简介:裴建华,男,1982年生,2009年毕业于东北大学材料加工专业,硕士。现为莱钢特钢事业部工程师,从事技术研发工作。

后上钢温度为1 570~1 585 ℃。

3.2 连铸控制要点

采用电磁搅拌、恒温、恒速、恒液面、轻压下、中间包升降、全保护浇注、动态弱冷配水模型等技术,确保铸坯质量符合要求。将结晶器的液面波动控制在 (700 ± 2) mm,中间包的液面波动控制在 (800 ± 25) mm,过热度控制在15~25 ℃,中间包的温度控制在 $(1 532 \pm 5)$ ℃,拉钢速度控制在 (0.65 ± 0.05) m/min,连铸坯入坑缓冷时间 ≥ 36 h。

3.3 轧钢控制要点

加热温度影响轧前奥氏体晶粒度大小,各道次的轧制温度及终轧温度影响道次之间及终轧后的奥氏体再结晶程度及再结晶后的晶粒大小。结合现场生产设备状况,参照国内化学成分与之接近的钢种的温度控制,制定了该钢种的加热制度:加热温度1 130~1 200 ℃,加热时间 ≥ 2.5 h,开轧温度 $\geq 1 080$ ℃,终轧温度 ≥ 850 ℃。钢材轧后采用堆垛缓冷,控制轧制速度,使之堆垛缓冷温度达到500 ℃以上,冷却至100 ℃以下方可移出。

4 产品质量分析

首轮共试制7炉,轧制成两个规格,其中 $\Phi 70$ mm规格1炉(炉号T211-5471), $\Phi 150$ mm规格6炉。每炉取两个试样进行机械性能及非金属夹杂检验,检验结果见表2、表3。

表2 钢材的机械性能

炉号	$R_{p0.2}/\text{MPa}$	R_m/MPa	A/%	ZI/%	$-40^\circ\text{C} A_k/\text{J}$	J11/HRC
T211-5471	770	890	16	39	150	38.1
T211-5472	900	1 020	15	56	152	41.4
T211-5473	895	1 015	15	59	148	41.2
T211-5474	890	1 015	15	60	153	36.0
T211-5475	890	1 010	15	59	151	39.0
T211-5476	900	1 015	15	59	149	36.6

表3 钢材非金属夹杂物级别 级

炉号	A类		B类		C类		D类	
	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系
T211-5471	0.5/0	1.5/1	0/0	0.5/1	0/0	0/0	0/0	0/0.5
T211-5472	0/0	1/1	0/0	0.5/0.5	0/0	0/0	0/1	0.5/1
T211-5473	0/0	1/1	0/0.5	0/0.5	0/0	0/0	0.5/1	0.5/0.5
T211-5474	0.5/1	1/1	0/0.5	0/0.5	0/0	0/0	0.5/1	0/0.5
T211-5475	0/0	1/1	0/0	0.5/0.5	0/0	0/0	0.5/1	0.5/0.5
T211-5476	0.5/1	1/1	0/1	0/1.5	0/0	0/0	0.5/1	0.5/1

火车的启起、刹车以及速度突然改变时,钩尾框都会受到冲击,刹车愈急,起动愈猛,冲击力就愈大。通常情况下,材料抵抗冲击载荷作用的能力用冲击功 A_k 值来评定。材料 A_k 值随着温度变化的总趋势是随着温度的降低而降低;当温度降低到到某一数值时, A_k 值急剧下降,钢材由韧性断裂变为脆性断裂,这种转变即为冷脆转变,转变温度称为冷脆

温度。历史上由于冷脆而造成火车、船舶等大型构件脆性断裂的事故曾在世界各国发生,造成了巨大的损失。随着火车运行范围不断扩大,零件使用温度达到 -40 ℃,甚至更低,因此,需要检测钩尾框材料的冲击性能和冷脆转变温度。

确定脆性转变温度(DBTT)的方法很多,本研究采用能量法及断口观察结合的方法来确定。根据能量法,取上阶能与下阶能的1/2所对应的温度,作为脆性转变温度^[2]。图1为依据冲击试验平均值做出的脆性转变温度曲线。从冲击功数值可以看出,下阶能为65 J,上阶能为152 J,二者平均值所对应的温度在 -50 ℃左右。根据断口形貌确定脆性转变温度,以断口中韧脆各占50%时所对应的温度作为脆性转变温度。将冲击试样的断口在扫描电镜上进行观察,微观断口形貌如图2所示。 -40 ℃时微观断口呈现较深的等轴韧窝(见图2a),说明在断裂前经历了很大的塑性变形^[3]。 -60 ℃时,断口中出现大部分石状解理花样和小部分准理解小平面,表明断裂已属于脆性断裂(见图2b);而当温度降低至 -80 ℃时,断口呈现明显的完全解理花样,证明断裂达到完全的脆性断裂(见图2c)。由此可知,脆性转变温度应在 -40 ℃与 -60 ℃之间,结合能量法所得出的结论,将脆性转变温度确定为 -50 ℃。

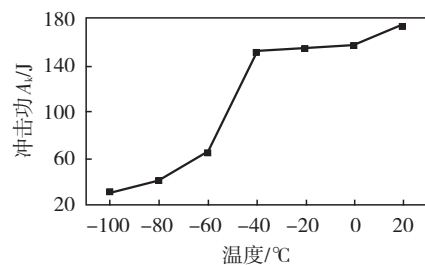


图1 不同温度下的冲击功

产品质量检测表明,莱钢开发的25MnCrNiMoA 钢机械性能和非金属夹杂控制均能满足客户要求,脆性转变温度低,质量合格。

5 结语

通过控制钢的化学成分,采用合理的冶炼、连铸、轧制工艺获得纯净的钢质和良好的组织,可保证25MnCrNiMoA 钢的冲击性能,生产出合格的铁道车辆钩尾框用钢,满足客户的要求。

材料低温冲击试验表明,莱钢生产的25Mn-CrNiMoA 钢的脆性转变温度为 -50 ℃,完全满足钩尾框在寒冷地区的使用要求。钢的冲击性能和冷脆性能对材料品质、宏观缺陷和显微组织非常敏感,如夹渣、气泡、分层、夹杂物和锻造、热处理所造成的缺陷,包括过热、过烧、回火脆性、淬火及锻造裂纹等均明显降低材料的冲击性能。材料的内部

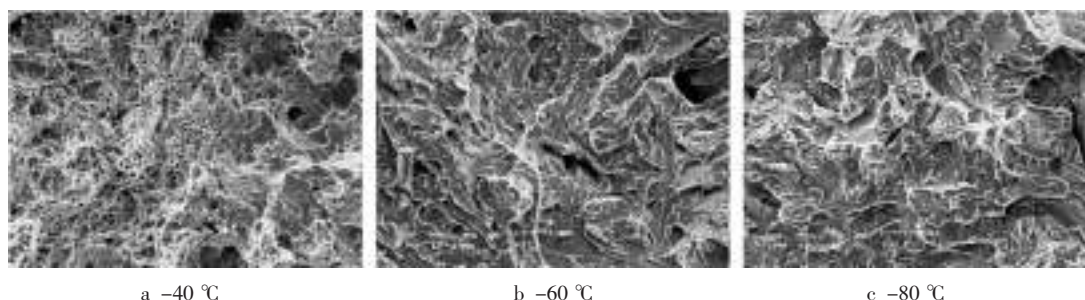


图2 不同温度下冲击试样断口扫描电镜形貌

组织结构、合金元素及杂质对钢的冲击性能和冷脆性能影响也很大。因此,通过适当调整成分,采用合理的冶炼、加工及热处理工艺以获得纯净的钢质和良好的组织,就能够提高钢的冲击性能和冷脆性能,提高零件的承载能力。目前已形成小批量生产,平均每月生产销售300 t左右,质量稳定,用户反映使用情况良好。

参考文献:

- [1] 王玉玲.铁道车辆钩尾框用25MnCrNiMoA钢研究[J].机械管理开发,2009,24(5):99-101.
- [2] 束得林.金属的力学性质[M].北京:机械工业出版社,1987:86-92.
- [3] 崔约贤,王长利.金属断口分析[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1998:71-75.

Development of 25MnCrNiMoA Round Steel for Forging Hook Tail Frame

PEI Jianhua, ZHAI Zhenglong, YUAN Shujun, LI Xiaoxiong

(Laiwu Iron and Steel Group Corporation, Laiwu 271104, China)

Abstract: According to the bad using condition of hook tail frame, the strict technical requirements of developing 25MnCrNiMoA steel for hook tail frame was made. By controlling the chemical composition and adopting reasonable processes (EAF→LF→VD→CC→CR), developed 25MnCrNiMoA steel have high cleanliness and good microstructure. The test showed that the yield strength (R_{102}) \geq 750 MPa, the $R_m \geq$ 890 MPa and the ductile brittle transition temperature(DBTT) is -50 °C. At present, the 25MnCrNiMoA steel has formed a small batch production, the product quality is stable and reliable, and each performance index meets the technical agreement and customer requirements.

Key words: hook tail frame steel; hot rolled rounds; 25MnCrNiMoA; impact property; DBTT

(上接第5页)

表3 改进后Q550D钢板头中尾性能对比

批号	屈服强度/MPa				抗拉强度/MPa			
	头	中	尾	差值	头	中	尾	差值
12T-002388	520	540	535	20	635	655	638	20
12T-002389	515	550	510	40	606	613	595	18
12T-002390	596	620	582	38	698	687	675	23
12T-002391	489	526	516	37	612	635	626	23
12T-002392	565	606	583	41	619	602	598	21
12T-002393	575	593	588	18	679	669	655	24
12T-002394	601	625	589	36	712	696	686	26

匀性;同时,改造水冷设备,改善水冷系统冷却的均

匀性,提高冷却水纯净度和水量控制精确度,优化Mulpic工艺参数,结合反馈温度对二级模型自适应系数进行定期回归修正等措施,最终提高了Q550D钢板冷却的均匀性和强度的均匀性。

参考文献:

- [1] 肖九红,曹波.Q550D钢板的研制及其回火工艺的分析[J].轧钢,2009,26(5):16-19.
- [2] 小指军夫.控制轧制控制冷却—改善材质的轧制技术发展[M].李伏桃,陈焜,译.于世果,审校.北京:冶金工业出版社,2002.
- [3] 张大志,高建雄,刘涛,等.中厚板轧后快速系统的控制策略与控制模型[J].北京科技大学学报,2005,26(5):605-606.

Cause Analysis on Poor Uniformity of the Properties in Same Plate of High-strength Steel Plate and Improvement Measures

WANG Yong

(The Production Department of Jinan Iron and Steel Group Corporation, Jinan 250101, China)

Abstract: Pointing to poor uniformity problem in the microstructure and properties for same TMCP high strength plate, taking Q550D plate as an example, analysis considered that the main cause for poor cooling uniformity of plate is caused by oxide scale, wave plate shape and setting of Mulpic system, etc. Through transforming the high pressure water descaling system, optimizing draught distribution system, transforming Mulpic cooling process parameters and reforming water cooling equipment, etc, the surface fineness and flatness of plate were improved, and the cooling uniformity of steel plate was risen. After improvement, the yield strength difference of head, medium and tail in same plate was decreased from 55-139 MPa to 20-41 MPa and tensile strength difference was decreased from 53-186 MPa to 18-26 MPa.

Key words: high-strength steel plate; property in same plate; uniformity; water-cooling; flatness; fineness