

# 稀土 Ce 对桥壳钢组织性能影响研究

郭冬青, 王少炳, 惠 鑫

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010)

**摘 要:** 采用中碳含量 + 微合金 Nb、Ti 设计以及控轧控冷工艺在实验室轧制出屈服强度 550 MPa 级热轧桥壳试验钢。研究表明, 试验钢中加入适量稀土 Ce 元素, 对钢的组织及强度影响不明显, 稀土 Ce 降低了试验钢 B 类夹杂物的评级, 加稀土试验钢低温冲击功明显优于不加稀土试验钢的冲击功, 稀土 Ce 改善了桥壳试验钢的疲劳性能。

**关键词:** 桥壳试验钢; 稀土 Ce 元素; 夹杂物; 冲击韧性; 疲劳韧性

中图分类号: TG142.1

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2022)03-0035-04

## Study on Effects of Rare Earth Ce on Microstructure and Properties of Axle Housing Steel

Guo Dong-qing, Wang Shao-bing, Hui Xin

(Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

**Abstract:** The 550 MPa grade hot rolled axle housing test steel is rolled in laboratory with the design of medium carbon content + micro alloy Nb and Ti as well as controlled rolling and controlled cooling process. The results showed that the effects of adding moderate rare earth Ce into test steel on its microstructure and strength were not obvious, rare earth Ce reduced the grade of inclusion (class B) in test steel, low temperature impact energy of test steel with rare earth was obviously better than that of test steel without rare earth and fatigue property of axle housing test steel was improved by rare earth Ce.

**Key words:** axle housing test steel; rare earth Ce; inclusion; impact toughness; fatigue toughness

桥壳是汽车行驶系统的主要构件之一, 在使用过程中, 它支承车架及车架以后的各总成重量, 同时它保护传动系统中的各部件。随着中、重型卡车车桥制造技术的发展、汽车节能减重的需要及整车性能的不断提高, 市场对包括驱动桥在内的各总成的要求也相应提高, 大吨位和复杂路况都对桥壳的性能提出了挑战, 汽车驱动桥壳用钢要求产品有足够

的强度、刚度和良好的冷弯及拉延成形性, 以及优异的耐疲劳性能<sup>[1-2]</sup>。为了提高包钢桥壳用钢产品在中型、重型卡车制造市场占有率, 需要开发更高强度级别且高延展性的桥壳用钢以满足用户要求。桥壳钢属于汽车承载部件用钢, 要求其具有良好的耐疲劳性能。实验室开展稀土 Ce 元素对桥壳试验钢组织性能的影响研究, 对比探讨添加稀土的效果。

## 1 化学成分和工艺

### 1.1 化学成分

根据桥壳钢用户的使用性能要求和文献,参照其他钢厂桥壳钢成分设计,考虑降低成本及微合金元素用量,提高室温强度,实验室炼钢以中碳+微合

金 Nb、Ti 设计为主,添加微量的稀土元素 Ce。Mn 是固溶强化元素,可提高钢的强度和塑性<sup>[3]</sup>;Nb 是细晶强化元素,提高钢的强韧性和疲劳性能<sup>[4]</sup>;低的 S 含量降低了含硫的 A 类夹杂物对性能的影响。稀土 Ce 加入量为 0.003 0%,对应试验钢中存留量为 0.002 0%。表 1 为试验钢化学成分。

表 1 550QK、550QK-RE 试验钢化学成分(质量分数)

牌号	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Ti	Ce
550QK	0.18~0.20	≤0.030	1.40~1.50	≤0.018	≤0.006	0.020~0.050	0.045~0.055	0.015~0.025	
550QK-RE	0.18~0.20	≤0.030	1.40~1.50	≤0.018	≤0.006	0.020~0.050	0.045~0.055	0.015~0.025	0.002 0

### 1.2 热轧轧制工艺

实验室轧制试验钢的目标厚度为 12 mm。

(1)加热和轧制。加热温度为 1 200~1 220 ℃。轧制分为第一阶段和第二阶段轧制,第一阶段在奥氏体再结晶区轧制,开轧温度为 1 170~1 180 ℃,第 1—2 道次压下量应大于 10%,其余至少有 1—2 道次压下率控制在 25% 以上;第二阶段在奥氏体未再

结晶区轧制,开轧温度不大于 960 ℃,中间坯厚度为 2.0~3.5 倍成品厚度,终轧温度 820 ℃。

(2)冷却。控制轧制结束后,钢板进入层流冷却区域,以 10~15 ℃/s 的冷却速度冷却至 450~480 ℃,之后进入冷床冷却。主要轧制工艺参数见表 2。

表 2 主要加热轧制冷却工艺

板坯厚度 /mm	加热温度 /℃	加热时间 /h	轧制道次	辊道速度 /(m·s <sup>-1</sup> )	冷却水开启 组数	终轧温度 /℃	终冷温度 /℃
110	1 200~1 220	4	11	0.55	4	820	450~480

## 2 试验结果及分析

### 2.1 力学性能

屈服强度 550 MPa 级试验钢的力学性能见表 3,

550QK、550QK-RE 试验钢屈服强度、抗拉强度和延伸率均符合要求。稀土 Ce 元素的加入对强度的影响不明显。

表 3 550QK、550QK-RE 试验钢力学性能

牌号	$R_{eL}$ /MPa	$R_m$ /MPa	A/%	180° 冷弯( $d = 1.5a$ )
550QK	565~577	677~695	20.0~22.5	合格
550QK-RE	550~583	680~706	19.0~21.0	合格
设计要求	≥550	≥600	≥15	合格

### 2.2 显微组织

试验钢 500 倍显微组织见图 1。试验钢组织为铁素体+珠光体+贝氏体。在本试验条件下,适量

稀土 Ce 的加入对成品显微组织的影响不明显。晶粒度为 12~13 级。

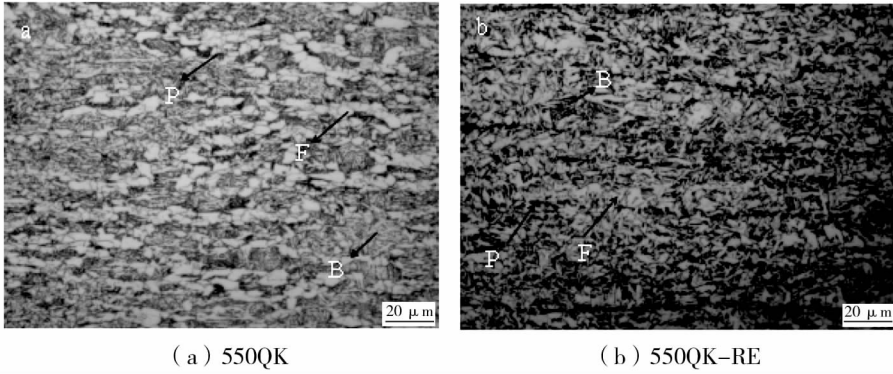


图1 金相组织照片

2.3 夹杂物

试验钢的夹杂物评级见表4。实验室小炉炼钢采用 Al 脱氧,与工业生产比较,实验室小炉炼钢的 B 类(氧化铝类)夹杂物的评级较高。550QK、550QK-RE 试验钢夹杂物的典型形貌如图2所示,550QK、550QK-RE 试验钢 B 类夹杂物评级分别为 2.5 级、1.0 级。550QK-RE 试验钢 B 类稀土夹杂物评级降低。在实验室冶炼条件下,微量稀土 Ce

的加入降低了 B 类夹杂物的危害,对钢的综合性能是有利的。

表4 550QK、550QK-RE 试验钢夹杂物 级

牌号	A	B	C	D	Ds
550QK	0	2.5	0.5	1.0	1.0
550QK-RE	0	1.0	0.5	1.0	1.5

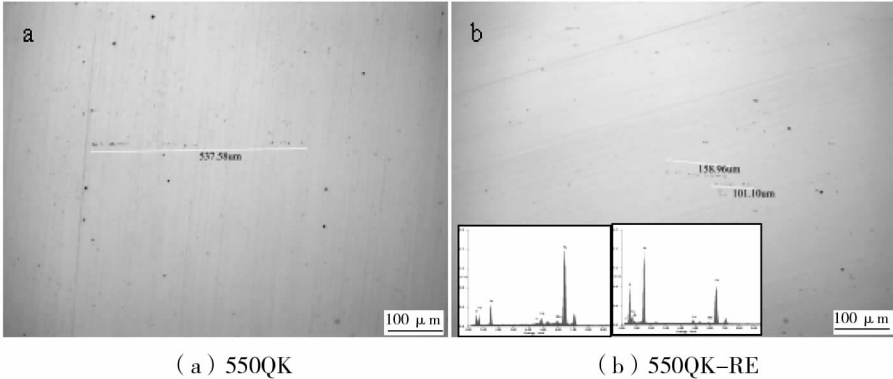


图2 试验钢的夹杂物形态

2.4 系列温度冲击韧性

未加稀土和加入微量稀土 Ce 的 550QK、550QK-RE 试验钢进行了系列温度 V 型夏比冲击试验,试验温度为 20 ℃、0 ℃、-20 ℃、-40 ℃、-60 ℃,表5 分别列出了 550QK、550QK-RE 试验钢系列温度冲击检测数值,可以看出 550QK-RE 试验钢其低温冲击韧性要比 550QK 试验钢略高,尤其在 -40 ℃、-60 ℃,550QK-RE 试验钢冲击功明显优于 550QK 试验钢的冲击功。

550QK、550QK-RE 试验钢低温冲击断口形貌见图3。由图3 可以看出,550QK 试验钢 -40 ℃、

-60 ℃冲击断口形貌为准解理,550QK-RE 试验钢 -40 ℃、-60 ℃冲击断口形貌为准解理+韧窝,并且在韧窝处有细小的球状小颗粒,能谱分析韧窝中出现的细小球状夹杂物为稀土硫化物夹杂。经稀土处理的桥壳钢夹杂物为球状稀土硫化物,起到了很好的变质夹杂的作用。一般钢中添加稀土元素后,能够形成颗粒细小的稀土夹杂物,有利于韧窝的形成,增加韧窝数量和深度,提高钢的冲击性能。稀土含量较高时,形成的稀土夹杂物尺寸更为细小,韧窝数量增加,有利于提高钢冲击性能。稀土处理桥壳钢具有良好的冲击韧性,尤其对低温冲击韧性的

提高比较明显。钢中含有细小、球形的稀土硫氧化物夹杂,分布在钢的基体界面上,稀土元素的加入把呈条带状的 MnS 夹杂物变成了高硬度难变形的球形稀土硫氧化物,在轧制时不会沿轧制方向伸长,当裂纹扩展到夹杂物处时,稀土球形夹杂大大减轻了夹杂物引起的应力集中,使得夹杂不易脱离基体,阻碍了裂纹的扩展,从而使冲击功数值提高。微量稀土元素偏聚于晶界,减少了杂质元素 S 等在晶界的

偏聚,净化了晶界,提高了晶界的强度,试样在承受冲击载荷时,晶界将吸收更多的裂纹扩展的能量,从而使试样的冲击功提高。

表 5 550QK、550QK-RE 试验钢系列温度冲击功 J

牌号	20 °C	0 °C	-20 °C	-40 °C	-60 °C
550QK	194	186	183	150	104
550QK-RE	198	187	192	170	143

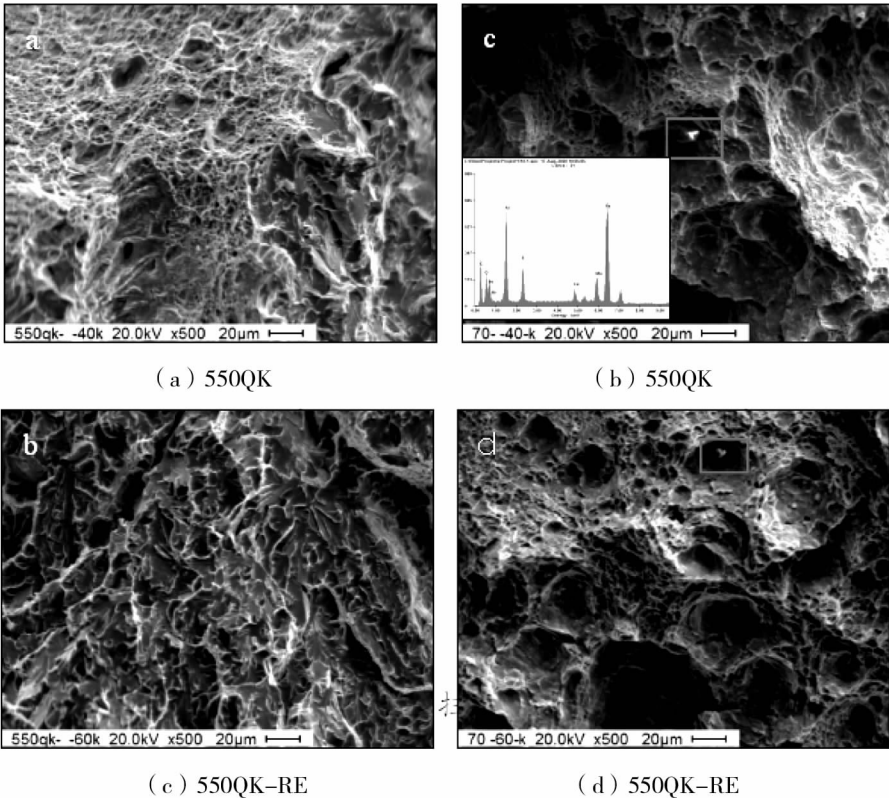


图 3 冲击断口扫描电镜照片

## 2.5 稀土元素 Ce 对桥壳钢疲劳性能的影响

550QK 与 550QK-RE 试验钢分别进行高周疲劳测试,探索其疲劳极限,测试结果见图 4。

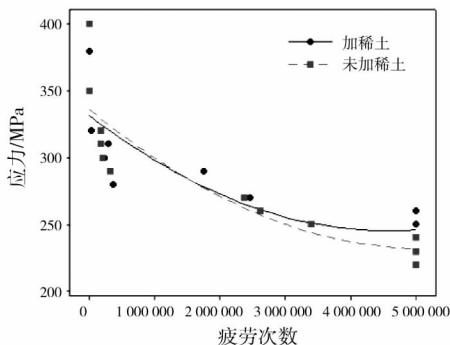


图 4 550QK、550QK-RE 试验钢高周疲劳性能

550QK-RE 试验钢疲劳极限为 260 MPa, 550QK 试验钢疲劳极限为 240 MPa,在实验室条件下,适量稀土 Ce 的加入对疲劳性能是有益的。

## 3 结论

(1) 550QK、550QK-RE 试验钢的显微组织为细晶粒铁素体+珠光体+贝氏体,适量稀土 Ce 的加入对钢的组织影响不明显。

(2) 550QK、550QK-RE 试验钢的力学性能满足技术要求,适量稀土 Ce 的加入对钢的强度影响不大。

(下转第 42 页)

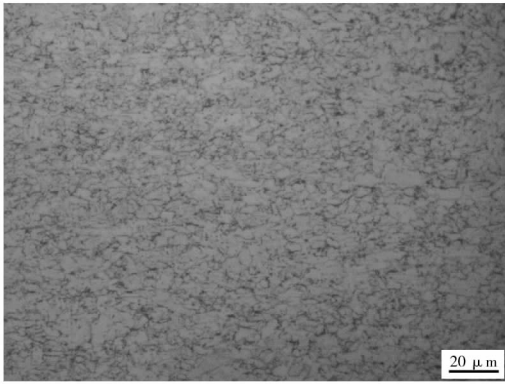


图 2 金相组织



图 3 夹杂物

## 4 用户试用

原料按炉进行入厂检验,化学成分、力学性能、夹杂物、晶粒度均符合技术要求。钢带制管后管体和焊缝的拉伸、冲击、落锤试验均符合要求。将制管后直管下料,在钢管待弯部分套上感应圈,通入中频

电流加热钢管,当钢管温度升高到塑性状态时,用机械推力推进,进行弯制。对弯管直管段和弯曲段的内弧区、外弧区、过渡区及弯曲区进行性能评价,全部符合标准要求。包钢生产的 L415M 热煨弯管用热轧钢带尺寸精度高、表面质量和板型控制良好,实现了批量供货,产品质量获得用户好评。

## 5 结论

(1)L415M 热煨弯管用热轧钢带采用低碳及 Nb-Ti-Mo 微合金化成分设计,高洁净度冶炼以及合理的控轧控冷工艺,钢带性能满足技术要求,组织为细小均匀的铁素体和珠光体,晶粒度为 12.0 级。

(2)钢带在制管、热煨弯制过程中,充分发挥钢带机械性能的遗传效应,保证了热煨弯管优良的性能,弯管性能全部满足标准要求。

(3)L415M 热煨弯管用热轧钢带尺寸精度高、表面质量和板型控制良好,实现了批量供货,产品质量获得用户好评。

## 参 考 文 献

(上接第 38 页)

(3)适量稀土 Ce 的加入降低了试验钢 B 类夹杂物的评级。

(4)加稀土的试验钢低温冲击功明显优于不加稀土试验钢的冲击功,微量稀土 Ce 改善了高强桥壳试验钢的疲劳性能。

## 参 考 文 献

[1] 刘东升,宋丹,王国栋.汽车桥壳用热连轧微合金高强钢板的研究[J].钢铁,2000,35(2):

[1] 纪美术.螺旋缝焊管热煨弯管可行性与制造工艺研究[D].天津:天津大学,2004.

[2] 马玉龙.热处理对 K65 热煨弯管组织性能影响的研究[D].秦皇岛:燕山大学,2015.

[4] 梅茜迪,梁光川.Φ325 mm×8 mm X52 的螺旋焊缝热煨弯管试验研究[J].科技展望,2015,(16):116-118.

[4] 宋耀华,周佩.热煨弯管用钢板(L360-WG 系列)工艺研究[J].山东冶金,2004,26(S1):224-227.

41-46.

[2] 宋振官.60 kg 级冲压桥壳钢 600QK 的生产实践和应用[J].宽厚板,2014,20(4):28-31.

[3] 张中平.高强汽车大梁钢微观组织控制与 TMCP 工艺开发[D].沈阳:东北大学,2007.

[4] 卢军辉,王晓春,张慧,等.Nb-Ti 微合金化 610 MPa 级汽车大梁钢板工艺研究[J].炼钢,2011,27(4):61-64.