

## 铌钛复合微合金化载重汽车轮辐钢板的研制

邵正伟

(济南钢铁集团总公司 技术中心, 山东 济南 250101)

**摘要:** 过合理设计成分和性能, 采用Nb+Ti复合微合金化技术和结晶器喂稀土丝等工艺, 开发生产了JCL355载重汽车轮辐钢板。JCL355钢的平均屈强比达0.77, 钢板晶粒度在8级以上。经用户使用验证, JCL355钢冲压和焊接性能良好, 耐疲劳性能达到原用20g钢板的2倍。

**关键词:** 轮辐钢板; JCL355; 冲压; 耐疲劳; 微合金化

中图分类号: TF762<sup>+</sup>.3 文献标识码: B 文章编号: 1004-4620 (2004) 06-0040-03

**Development of Niobium and Titanium Microalloyed Steel Plate for Camion Spoke**

SHAO Zheng-wei

(The Technology Center of Jinan Iron and Steel Group Corporation, Jinan 250101, China)

**Abstract:** By reasonable design composition and property, JCL355 camion spoke steel is produced with niobium and titanium micro-alloyed technology and applied process feeding metal thread of rear earth element into mould. The steel's yield ratio reaches to 0.77 and grain size reaches to 8 grade. It is validated through the use of consumer that JCL355 spoke steel has good pressing and welding properties, and its fatigue resistant characteristic is double the original using 20g steel plate.

**Keywords:** spoke plate; JCL355; pressing; fatigue resistant; micro-alloying

## 1 前言

当前载重汽车向着大吨位发展, 载重量越来越高, 相应的车轮需承受更高的强度、疲劳应力、冲击载荷以及蠕变, 原普遍使用的Q235B、20g钢已不能满足用户的需要, 迫切需要进行材料的升级换代。新材料要具备高强度、良好的塑韧性、抗蠕变性能和耐疲劳性能, 达到车辆在增加载荷的同时实现自身减重、降低油耗、提高安全性的目的。同时, 随着汽车轻量化和性能要求的提高, 汽车用板高强度化。车轮恶劣的使用条件还要求钢板具有高的耐疲劳性能和抗蠕变性能。因此在设计钢成分时要综合考虑各种性能要求。

## 2 JCL355成分及性能设计

### 2.1 成分设计

为保证强度提高后塑韧性不降低, 且要有良好的冲压性能和焊接性能, C含量按0.12%以下控制, 通过添加微合金元素来提高强韧性。目前常用的微合金元素有Nb、V、Ti、Mo、Al、B等。经平衡考虑, 该钢以加Nb为主, 同时加入微量Ti。因为Nb的细化晶粒作用最大, 综合性能优于V, 另外考虑到Nb在抗蠕变性能方面具有独特作用。

汽车车轮在长时间行驶过程中, 尤其是在低纬度地区的夏天, 轮辐温度很高, 又承受着很高的交变应力, 必须要考虑蠕变的影响。当前提高蠕变性能一般是在钢中加Mo、Nb, 但Mo铁比较昂贵。固溶铌和NbC对蠕变性能的影响机制是完全不同的, 固溶铌与钼的作用相同, 是以固溶强化为主要机制, 而碳化铌则在蠕变过程中以阻止蠕变滑动为主要机制。另据资料: 铌对18Cr2Mo和18Cr0Mo钢的870°C、100h下2%的蠕变性能的影响的试验结果表明, 0Mo钢加0.32%的Nb与2Mo钢加0.22%Nb的蠕变强度相当。显示出0.1%的Nb的作用与2%Mo相当, 铌的作用20倍于钼。因此该钢以Nb微合金化为主。

Ti是表面活化元素，可以充填晶界空位，阻碍晶界原子扩散，提高蠕变抗力；钢中加入Ti改善了钢的热塑性，且钢中细小的TiN颗粒抑制了焊接热影响区的奥氏体晶粒长大，改善热影响区的韧性，并且也能抑制再结晶、细化晶粒；Ti也有脱氧和改善夹杂物的效果。车轮钢很重要的一个指标是耐疲劳性能。车轮轮辐失效的一个重要原因是出现疲劳裂纹，大多起源于轮辐的螺栓孔和通风孔处并向外扩展。钢中夹杂物是疲劳裂纹的发源地，因此必须严格控制钢中夹杂物的含量，纯净钢质。

另外需注意Al和RE对车轮用钢的影响。众所周知， $Al_2O_3$ 和铝酸盐对疲劳寿命是有害的，因此该钢不准备在钢中用Al来脱氧和细化晶粒，在大包喂Si-Ba-Ca线进行脱氧和夹杂物改性处理。稀土处理可显著改善钢的韧、塑性，特别是横向韧、塑性，冲压性能好。因此该钢采用结晶器喂稀土丝技术添加一定量的稀土。

## 2.2 性能设计

根据该钢的成分范围和性能要求，以及相关钢种的经验，设计了JCL355的性能标准，根据实际生产情况进行了一定修正。

**2.2.1 强韧性指标** 屈服强度指标按355MPa设计，抗拉强度指标在470~570MPa之间，常温纵向冲击Ak<sub>v</sub>不小于41J。

**2.2.2 冲压加工性能指标** 为保证钢的冲压加工性能，要求延伸率 $\delta_5$ 不小于22%。钢的成型性能亦与屈强比( $\sigma_s/\sigma_b$ )有关，要求车轮钢具有较低的屈强比。用冷弯性能亦可模拟钢材的成型性，钢材试样越宽，弯心越小，则成型性越佳。12mm厚JCL355钢的成分性能标准见表1。

表1 JCL355成分及性能标准

厚度/mm	C/%	Si/%	Mn/%	P、S/%	Nb/%	$\sigma_s$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	Ak <sub>v</sub> 纵向 20°C/J	冷弯b=2a 180° d=2a
6~16	≤0.12	≤0.30	≤1.30	≤0.030	≥0.01	≥355	470~570	≥22	≥41	

## 3 生产过程

### 3.1 工艺路线

25t氧气顶吹转炉冶炼→脱氧合金化→精炼→板坯连铸(200mm×1250mm×L, 结晶器喂稀土丝)→精整→板坯加热→高压水除鳞→三辊粗轧→四辊精轧→矫直→剪切→检查→喷号→打印→入库→发货

### 3.2 冶炼和连铸工艺

转炉冶炼要求终点C含量在0.06%~0.08%，不得过氧化，P不大于0.018%，S不大于0.025%。合金加入顺序为：硅铁—硅锰铁(必要时配加中碳锰铁)—硅铝钙—铌铁。在大包采用精炼渣工艺，加大吹氩力度，使钢水能与精炼渣充分发生界面反应，以钢水不溢出大包为限，延长吹氩时间不大于7min，先喂Si-Ba-Ca线，后喂Ti-Fe包芯线；大包到中间包、中间包到结晶器全程采用保护浇注。连铸拉速小于1.0m/min。结晶器喂稀土丝。采用双挡渣出钢，全程采取保护浇注。

实践证明，钢铸坯表面良好，连铸拉钢正常。由于含Nb钢的铸坯轧材表面易出现表面横裂纹，所以要采用合适的保护渣、连铸矫直时避免塑性低谷区，但Nb、Ti复合微合金化几乎无裂纹敏感性，这是由于Nb、Ti复合微合金化钢的塑性下降区在830°C，而Nb钢在950°C。

### 3.3 轧制工艺

轧制钢板尺寸为12mm×2000mm×6000mm以上。为适应冲压加工，应严格控制钢板厚度公差，厚度公差按锅炉钢公差控制。

为充分发挥低C、Mn钢Nb、Ti复合微合金化钢的优势，发挥Nb的碳氮化物在钢中沉淀析出抑制奥氏体形变再结晶，阻止奥氏体晶粒长大的作用，轧制时要采用控制轧制措施，实施低温终轧。Nb、Ti复合加入的效果要好于单纯加Nb，Nb、Ti高温析出扩大了未再结晶区的范围，可实现严格的未再结晶区轧制，复合加入Nb、Ti提高了奥氏体再结晶激活能，从而有效地抑制了再结晶的发生，其阻滞作用比单独加入时大。

(1) 加热温度：在保证Nb的碳氮化物全部固溶的前提下，控制加热温度低于1200°C，防止奥氏体晶粒长大。

(2) 精轧时控制开轧温度、终轧温度不大于900℃，控制总压下量和道次压下量，增加形变带和形变诱导析出的效果。

## 4 结果分析

### 4.1 机械性能分析

JCL355钢板机械性能见表2。

表2 JCL355实物性能

$\sigma_s$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	$A_{kv}$ 纵向 20℃/J	$A_{kv}$ 横向 20℃/J	$\sigma_s/\sigma_b$	冷弯 $b=2a$ 180°
$\frac{370\sim 425}{401}$	$\frac{490\sim 570}{524}$	$\frac{24\sim 31}{27}$	$\frac{122\sim 178}{141}$	$\frac{46\sim 67}{53}$	$\frac{0.73\sim 0.82}{0.77}$	$d=2a$ 完好

从轧后钢板的性能看，钢板的屈服强度、韧性都达到了较高的水平，富裕量较大。平均屈强比为0.77，可保证该钢有良好的冷冲压成型性能。对JCL355钢进行的冷弯试验结果表明，该钢具有良好的冷弯性能。但JCL355的横冲和延伸率水平稍低一些，就延伸率而言，置换固溶强化和晶界强化能对其产生有利的作用，所以细化晶粒及适当降碳提Mn对延伸率指标的提高有利。

下一步准备在净化钢质和控轧工艺等方面采取措施。随着济钢第三炼钢厂工程及中厚板厂三期工程的竣工，采用铁水预处理、120t顶底复吹转炉、LF+VD等先进流程，加以济钢中厚板厂7000t轧制力的精轧机、步进式加热炉和控冷设施的应用，对于JCL355纯净钢质提高各项性能将非常有利。

### 4.2 金相组织及RE对钢组织性能的影响分析

JCL355金相组织如图1、图2所示。

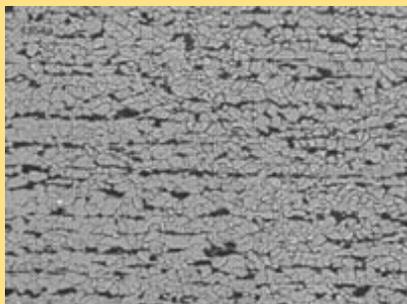


图1 JCL355金相组织



图2 球化的D类夹杂物

由图1可见，JCL355的组织为F+P。钢板晶粒度全部为8级以上，体现了Nb钢控制轧制的细化晶粒作用。对于低温终轧的钢材，奥氏体处于未再结晶温度区域，变形带等缺陷密度增加，使得终轧后奥氏体很快就发生相变，晶粒细化。

对不同炉次进行结晶器喂稀土丝的效果对比，发现喂稀土丝的钢较没有喂稀土丝的钢A、C类夹杂物球化

作用明显。结晶器喂稀土丝技术，可以有效地使钢材中长条状的硫化锰夹杂球化，减轻夹杂物对钢材各向异性的影响，提高板材的冷弯，特别是宽冷弯合格率；同时对减少应力集中抑制裂纹的形成与发展有利，因此可提高钢的疲劳寿命，这是冶炼含S量高的钢种的一项有效措施。另外，稀土元素也有提高钢抗蠕变性能的作用，在钢中添加RE能增加晶界扩散激活能，既能阻碍晶界滑动，又增大晶界裂纹的表面能，因而对提高蠕变极限，特别是持久强度是很有效的。从疲劳性能对比试验看，喂稀土丝的钢轮辐过载（设计3t 钢圈承载5t 力）疲劳寿命达18万次，而没有喂稀土丝的钢14万次，提高28.6%，可见钢中添加稀土元素对提高轮辐钢板的疲劳寿命效果明显。

### 4.3 使用情况分析

开发的JCL355车轮钢用于载重车车轮的轮辐板，经用户使用冲压性能良好，强韧性、焊接性能优良，疲劳寿命达到原20g钢板的2倍以上。

**4.3.1 冲压性能** 制作轮辐主要是冷冲压成型，对钢板塑性要求较高，尤其是拉深和挤通风孔这两道工序。拉深是将冲出中心小孔的钢板圆片放在冲床上一次冲压成炒瓢状，挤通风孔是将通风孔外侧的钢板折直。经现场跟踪，所制作的轮辐冲压折边良好，没有出现裂纹等现象。

**4.3.2 焊接性能** 对JCL355与轮辋钢LW12等所进行的异种钢焊接性试验的结果表明，焊接性能优良，接头性能良好。

**4.3.3 疲劳试验** 疲劳实验在CFT—03型车轮弯曲疲劳试验机上进行。等载疲劳试验100万次未裂。采用过载疲劳试验方法，用5t力试验。12mm的JCL355钢板做成的成品车轮的疲劳试验次数达14~20万次，而同规格的20g钢板仅为6~9万次，12mm的JCL355钢板完全可代替同等规格的20g钢板，但13mm的20g钢板和14mm的Q235B板同样试验条件可达30万次，因此暂时还达不到以薄代厚，需要进一步的试验研究。

## 5 结 论

**5.1** 采用Nb+Ti复合微合金化生产的355MPa级 JCL355轮辐用钢，强韧性高、冲压性能好、焊接性能和耐疲劳性能优良，12mm的JCL355轮辐钢板过载疲劳试验次数是同规格的20g钢板的2倍。

**5.2** 采用结晶器喂稀土丝工艺在钢中添加RE，对A、C类夹杂物的球化效果明显，减少了应力集中、抑制了裂纹的形成与扩展，对比试验证明可提高轮辐疲劳寿命28.6%。

---

[返回上页](#)