

## 南钢铌微合金化汽车后桥横梁用热轧钢带 TL1114Nb 的开发

部书忠 仇必宁 李 军

(南京钢铁联合有限公司带钢厂,南京 210035)

**摘 要** TL1114Nb (% : 0.07 ~ 0.13C, 0.80 ~ 1.25Mn, 0.10 ~ 0.30Si,  $\leq 0.010P$ ,  $\leq 0.010S$ , 0.03 ~ 0.05Nb, 0.02 ~ 0.07Al) 钢的生产流程为 100 t UHP 电弧炉-LF(VD)-150 mm × 150 mm 连铸-连轧工艺。研制结果表明,通过采用合理的轧制加热温度(1 100 ~ 1 200 °C),适当提高终轧温度(780 ~ 820 °C),控制轧后冷速(喷水 4 s,风冷)和卷取温度(700 °C),带钢各项指标合格:TL1114Nb 热轧钢带的晶粒为 10 ~ 10.5 级,组织为铁素体 + 珠光体,无异常组织,带钢的屈服强度  $R_{eL}$  440 ~ 460 MPa,抗拉强度  $R_m$  530 ~ 550 MPa,伸长率  $A$  31.5% ~ 33.0%,冷弯  $d = a$  合格。

**关键词** 100 t EAF-LF(VD)-CC-连轧流程 铌微合金化 热轧带钢 汽车后桥横梁钢 开发

## Development of Hot Rolled Strip of Niobium Microalloying Steel TL1114Nb for Rear Axle Crossbeam of Auto at Nanjing Steel

Gao Shuzhong, Qiu Bining and Li Jun

(Hot Strip Rolling Mill, Nanjing Iron and Steel Co Ltd, Nanjing 210035)

**Abstract** The production flow sheet for steel TL1114Nb (% : 0.07 ~ 0.13C, 0.80 ~ 1.25Mn, 0.10 ~ 0.30Si,  $\leq 0.010P$ ,  $\leq 0.010S$ , 0.03 ~ 0.05Nb, 0.02 ~ 0.07Al) is 100 t UHP arc furnace-LF (VD)-150 mm × 150 mm billet casting-continuous rolling process. Examination results show that by using reasonable heating temperature for rolling (1 100 ~ 1 200 °C), suitable increasing finishing rolling temperature (780 ~ 820 °C) and coiling temperature (700 °C), controlling cooling speed after rolling (spraying water for 4 s, fan cooling), all the various indexes of properties of hot rolled strip steel TL1114Nb are qualified i. e. strip grain size rating 10 ~ 10.5, structure- ferrite + pearlite without abnormal structure, strip yield strength  $R_{eL}$  440 ~ 460 MPa, tensile strength  $R_m$  530 ~ 550 MPa, elongation  $A$  31.5% ~ 33.0%, cold-bending ( $d = a$ ) test qualified.

**Material Index** 100 t EAF-LF (VD)-CC-CR Flow Sheet, Niobium Microalloying, Hot Rolling Strip, Steel for Rear Axle Crossbeam of Auto, Development

为进一步降低轿车生产成本,上汽集团与上海大学、南钢进行合作,研发德系汽车后桥横梁用钢带(TL1114Nb)。

### 1 横梁钢主要技术要求、工艺路线和成分设计

钢带的晶粒度 9 级以上、带状组织  $\leq 2$  级、表面光洁、力学性能和工艺性能要求为:屈服强度  $R_{eL} \geq 360$  MPa,抗拉强度  $R_m$  520 ~ 620 MPa,伸长率  $A \geq 22\%$ ,冷弯  $d = a$  合格。

生产 TL1114Nb 横梁钢的主要工艺路线为:100 t UHP 电弧炉冶炼 → 100 t LF 精炼 → 70 t VD 真空处理 → 连铸 → 检验 → 加热 → 轧制 → 卷取 → 检验 → 喷字 → 入库。

#### 1.1 化学成分

根据钢种要求强度高、韧性好、耐疲劳及良好成型性的特点,采用低 C-Mn 钢,同时添加微量合金元素 Nb 的成分设计路线。

对于室温组织是铁素体 + 珠光体的汽车横梁钢,C、Mn 的含量对其韧性具有重要的影响。C 含

量的变化主要改变了钢中铁素体和珠光体两者百分数的配比。增加钢中 C 的含量,将使铁素体量减少,珠光体量增多,可提高强度,但钢的塑性降低,降低 C 的含量,将使强度下降。

Mn 可降低  $A_{r3}$  温度,细化铁素体晶粒;Mn 又降低  $A_{r1}$  温度,减小珠光体的片间距,有利于提高钢的韧性;同时较高的 C 和 Mn 含量会加剧磷的偏析。

另外,在钢中加入适量 Si,以起固溶强化作用。铌元素主要起沉淀强化作用,同时可细化晶粒,提高钢的强度。在钢中加入微量合金元素 Nb,配以控制轧制生产工艺,能够得到较细小晶粒、高强度、高韧性及良好的冷弯性能的汽车横梁用热轧钢带。TL1114Nb 钢的化学成分为(%):0.07 ~ 0.13C, 0.80 ~ 1.25Mn, 0.10 ~ 0.30Si,  $\leq 0.010P$ ,  $\leq 0.010S$ , 0.03 ~ 0.05Nb, 0.02 ~ 0.07Al。

由于 S 在钢中易形成 MnS 夹杂物与偏析,P 的扩散速度小,易形成偏析,从而提高带状组织的级别,沿轧制方向的硫化物夹杂与偏析会造成钢带的各向异性增加,因此尽量将钢中的 P、S 含量控制在

较低范围内<sup>[1]</sup>。

### 1.2 冶炼和连铸

根据汽车横梁钢的要求,采用电弧炉冶炼,原料采用优质废钢,入炉铁水加生铁量大于总量 10%。出钢 P≤0.015%,出钢采用铝预脱氧,选用低氮增碳剂。在 LF 进行合金化,成分按目标值控制。上 VD 真空处理时间大于 10 min,精炼完毕每炉需喂入 150~200 m 的 Si-Ca 丝,喂丝后确保软吹氩时间大于 3 min。连铸液相线温度 1 528 ℃,拉速为 2.5~3.0 m/min,过热度≤45 ℃。连铸全保护浇铸,中间包液面高度大于 300 mm,连铸坯规格(mm)为 150×150×6 000 方坯。

### 1.3 轧制

进行热轧时,适当控制终轧温度及卷取温度,使其在保证强度的同时,尽可能提高钢带的塑性。

(1)加热温度。含钕微合金钢加热温度的控制,对奥氏体晶粒的大小和微合金元素在奥氏体中的溶解度以及钢材性能有重要作用。而 Nb 的碳氮化合物需在 1 050~1 250 ℃溶解,考虑 Nb 的碳氮化合物充分固溶,为其析出强化创造条件,制定加热温度为 1 100~1 200 ℃,坯料在加热炉内保温时间大于 1.5 h,确保加热均匀。

(2)轧制工艺参数的控制。南钢带钢厂采用 3/4 连续式轧机布置如图 1 所示,具体压下规程如表 1、表 2 所示。

在保证材料力学性能的前提下,适当提高终轧

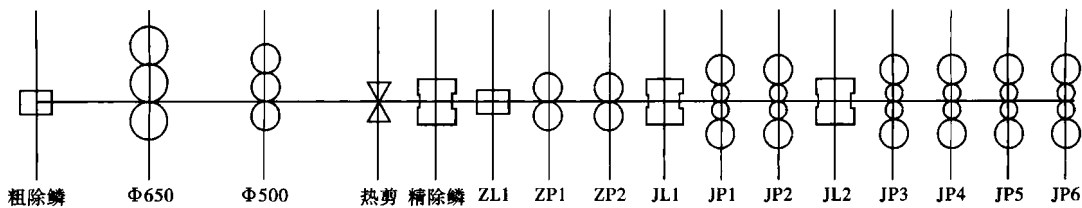


图 1 3/4 连轧机布置图

Fig. 1 Layout of 3/4 continuous rolling mill

表 1 粗轧压下规程/mm  
Table 1 Schedule for roughing rolling /mm

项目	K1	K2	K3	
Φ650	孔型	120 ± 1	94 ± 1	160 ± 1
	红坯(厚×宽)	121 × 160	96 × 167	160 × 94
Φ500	孔型	66 ± 1	45 ± 1	31 ± 1
	红坯(厚×宽)	68 × 168	48 × 178	34 × 183

注:红坯厚度偏差(-2~+2 mm),宽度偏差(-3~+3 mm);Φ500 K3 两边差≤1 mm。

温度和卷取温度,钢的强度将降低,塑性将提高。反之,随着终轧温度、卷取温度的降低,钢的塑性将下降,同时会促进和加剧带状组织的形成<sup>[2]</sup>。为此,上海大学与南钢合作,利用 Gleeble 热模拟机依据设定的参数进行热模拟并绘出动态 CCT 曲线,结果见图 2 与表 3。

No1 材料热轧后空冷,铁素体晶粒较粗,表现在材料力学性能上强度较低而塑性较高,强度未能达到大众公司的性能指标。

表 2 精轧压下规程/mm  
Table 2 Schedule for finishing rolling /mm

ZL1	ZP1	ZP2	JL1	JP1	JP2	JL2	JP3	JP4	JP5	JP6
159 ± 2	25 ± 1	17 ± 1	166 ± 1	12.5 ± 0.3	8.7 ± 0.3	168 ± 1.5	-	6.3 ± 0.1	-	5.2 ± 0.1

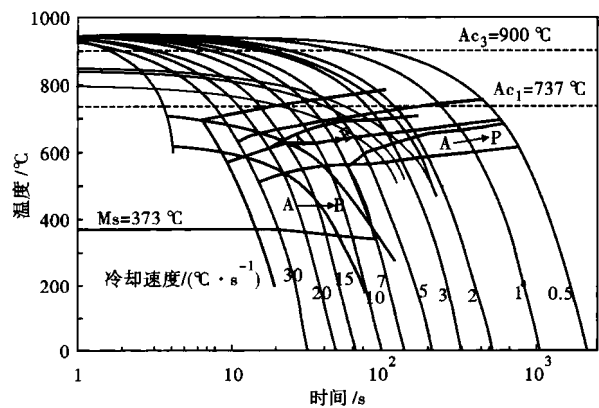


图 2 TL1114Nb 钢动态 CCT 图 and 不同冷却工艺曲线

Fig. 2 Dynamic continuous cooling transformation diagram and curves of different cooling process, steel TL1114Nb

No2 材料的力学性能符合要求,材料的铁素体晶粒较细,晶粒度等级约为 12 级。

No3 材料的力学性能也符合要求,材料组织出现部分贝氏体,强度较高。延伸已接近最下限。

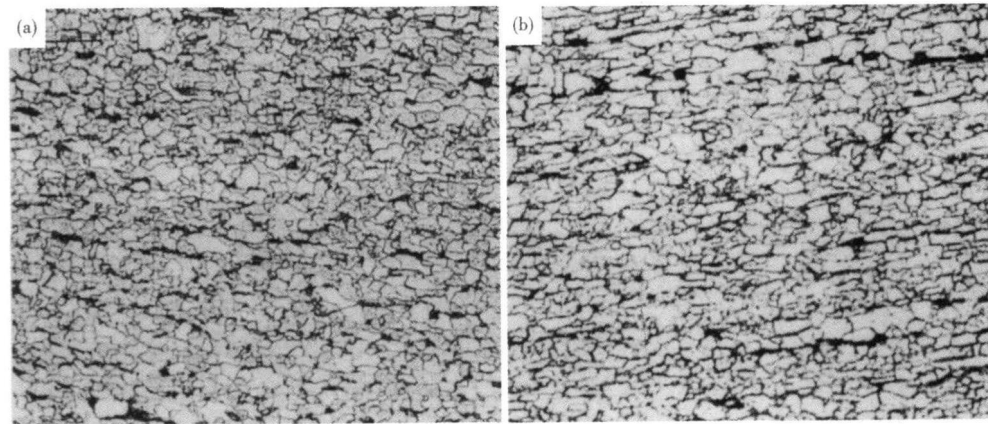
根据试验结果可见, No2 材料能符合要求,因此制定终轧温度为 780~820 ℃,轧后以 1~3 ℃/s 快速冷却至目标卷取温度 700 ℃。

为保证终轧温度,成品轧机 JP6 速度

表 3 冷却工艺对 TL1114Nb 钢的力学性能的影响

Table 3 Effect of cooling process on mechanical properties of steel TL1114Nb

材料 序号	终轧 温度/℃	冷却工艺	$\sigma_s$ / MPa	$\sigma_b$ / MPa	$\delta_{80}$ / %
No1	952	空冷	375	420	28
No2	820	喷水冷却 4 s, 后风冷	481	543	26.8
No3	926	喷水冷却 6 s, 后风冷	490	590	22

图 3 热轧 TL1114Nb 钢带组织形貌: (a) 横向,  $\times 500$ ; (b) 纵向,  $\times 500$ Fig. 3 Structure morphology of hot rolled strip of steel TL1114Nb: (a) cross section,  $\times 500$ ; (b) longitudinal section,  $\times 500$ 

定为 3.5 ~ 4.5 m/s。终轧后采用 30° 倾角, 压力 0.2 MPa 喷水冷却加钢带上平板链后 4 台风机从两个方向的强制风冷。

## 2 试验结果

最终成分控制和力学性能见表 4、表 5。

统计表明, TL1114Nb 汽车横梁用热轧钢带晶粒度为 10 ~ 10.5 级, 其组织为均匀细小的铁素体 + 珠光体 (图 3), 无异常组织。这不仅体现了晶粒度的

表 4 TL1114Nb 钢化学成分/%

Table 4 Chemical composition of steel TL1114Nb /%

轧制批号	C	Mn	Si	P	S	Nb
F00263401	0.088	0.98	0.15	0.010	0.009	0.031
F00263402	0.083	0.98	0.15	0.010	0.009	0.031
F00263405	0.086	0.91	0.15	0.010	0.010	0.030
要求成分	0.07 ~ 0.13	0.80 ~ 1.25	0.10 ~ 0.30	≤ 0.010	≤ 0.010	0.03 ~ 0.05

表 5 TL1114Nb 钢带力学性能和组织检验结果

Table 5 Examination results of mechanical properties and structure of strip of steel TL1114Nb

轧制批号	$R_{eL}$ / MPa	$R_m$ / MPa	A/ %	带状 组织	晶粒 度	$d = a$	组织
F00263401	460	550	32.0	1.0	10.0	合格	F + P
F00263402	460	545	31.5	1.0	10.5	合格	F + P
F00263405	440	530	33.0	1.0	10.5	合格	F + P

强化作用, 提高了强度, 而且也能降低冷脆性转变温度, 提高韧性, 从而使强度和韧性同时得到了改善。

试制结果说明此工艺是可行的, 组织、性能都能达到设计的要求。带状组织缺陷在采用轧后喷水冷却和风机强制冷却等措施后得到了控制。其原理是提高轧后冷却速度加速相变过程, 无碳原子扩散, 使

带状组织来不及形成。研究表明, 轧制钢带的带状组织密度随冷却速度增加而降低, 当冷却速度达到一定值时 (临界冷却速度), 带状组织会减轻甚至消失。但同时应注意避免冷却速度过大产生魏氏组织和贝氏体。

TL1114Nb 热轧钢带用于制造汽车的后桥横梁, 是

关键的安全部件。要求材料必须具有一定的强韧性、良好的冷弯性能, 同时板型好、尺寸精度高、表面光洁。

## 3 结论

(1) 在采用低 C-Mn-Nb 系合金化路线, 结合合理的轧制工艺, 有效解决了带状组织等关键技术问题, 开发出组织和性能良好的低碳微合金高强度汽车用热轧钢带 TL1114Nb, 现已全面用于上海大众德系朗逸车型。

(2) 由于技术及装备所限, 在表面还存有轻微的划痕, 尺寸在公差范围内跳动较大 (主要反映在头、中、尾), 带钢的通条性能也略有差异, 还需进一步进行研究和改善。

## 参考文献

- 1 宋立秋. 16Mn 钢中 Mn 含量的偏析及其对带状组织的影响. 攀钢技术, 2000, 23(5): 10
- 2 王有铭, 李曼云, 韦光. 钢材的控制轧制和控制冷却. 北京: 冶金工业出版社, 2008

部书忠 (1969-), 男, 工程师, 1992 年北京科技大学毕业, 特殊钢带的开发。

收稿日期: 2010-11-23