

6CrNiMoVA 抗低温用钢的研究与应用

姜左¹, 卫家楣²

(1. 苏州市职业大学, 江苏 苏州 215011; 2. 南京林业大学机电工程学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 开发研制出符合国情的抗低温用钢新钢种 6CrNiMoVA, 并对 6CrNiMoVA 钢的力学性能和热处理工艺进行了研究和试验. 制定了满足力学性能要求, 特别是具有抗冷脆性能的热处理工艺. 经测试和实际使用, 用 6CrNiMoVA 钢制成的产品, 完全能替代进口产品, 且成本仅为进口同类钢材成本的 40%.

关键词: 6CrNiMoVA 钢, 抗低温, 热处理工艺

中图分类号: TB3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2002)06-0083-04

我国伐木链锯采用的锯链零件(切齿片、传动链片和连接片)材料, 一般采用 T8 钢, 抗冷脆性能差, 使用寿命低. 长期以来, 锯链只能依赖进口, 为进口锯链耗费了大量外汇. 为满足国内市场需要, 我们对德国和美国锯链实物进行分析, 结合我国国情, 研究开发了抗低温用钢 6CrNiMoVA, 其性能达到了德国和美国同类钢种的水平, 见表 1.

表 1 6CrNiMoVA 钢化学成分
Table 1 Chemical composition of 6CrNiMoVA

C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	V	%
0.60~0.68	≤0.40	≤0.025	≤0.025	≤0.35	0.25~0.50	0.90~1.20	0.15~0.35	0.15~0.35	

1 钢号的设计与研制

1.1 成分设计

成分设计是以性能要求、国内条件及经济效益三者的结合作为指导思想, 确定以国内富有元素为主体, 适量增加 Cr, Mo, V 等元素. 国外此类钢材基本为含 Nb 的合金工具钢, Nb 元素是我国稀缺的元素之一, 只有依赖进口, 且价格昂贵. 考虑以 V 代 Nb, V 与 Nb 是同一族元素, 它们在钢中作用大致相同^[1], 且符合我国国情, 经反复验证, 取得了理想的效果. 新钢种的成分见表 1. 德国(STIHL)和美国(OREGON)锯链实物化学成分分析见表 2.

表 2 德国和美国锯链片用钢化学成分
Table 2 Chemical composition of steel saw chains made in germany and U.S.A

成分/%	C	Mo	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Al	Ti	Nb
德国	0.64	0.40	0.008		0.29	1.00	0.12	0.12	≤0.02	0.02	≤0.02	0.19
美国	0.63	0.45			0.01	0.63	0.57	0.11				0.01

1.2 6CrNiMoVA 钢的制造工艺

根据设计要求^[2], 由厂方提供满足要求的两种厚度(1.5 mm, 1.6 mm)的 6CrNiMoVA 冷轧带钢. 制造工艺流程如下:

冶炼 → 开坯 → 轧制 → 扁坯 → 热轧 → 冷轧 → 退火精整 → 检验、出厂

冶炼采用中频炉,冷轧坯料(140 mm × 140 mm)经酸洗轧机开坯 3.0 mm 经图 1 球化退火后轧到 2.0 mm,采用罩式炉退火工艺后,轧制到成品,成品规格为(a) 1.50 ± 0.025 mm × 54(- 0.03)mm (b) 1.60 ± 0.025 mm × 54(- 0.03)mm.

1.3 6CrNiMoVA 钢的 TTT 和 CCT 曲线

为制定合理的热处理工艺,必须绘制 6CrNiMoVA 钢的 TTT 和 CCT 曲线,以提供理论依据.6CrNiMoVA 钢的 TTT(见图 2)和 CCT 曲线(见图 3)委托上海钢铁研究所测绘.

图 1 球化退火工艺

Fig.1 Spheroidizing technology

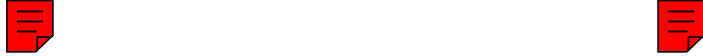


图 2 6CrNiMoVA 钢的 TTT 曲线
Fig.2 TTT curve for 6CrNiMoVA

图 3 6CrNiMoVA 钢的 CCT 曲线
Fig.3 CCT curve for 6CrNiMoVA

2 钢的力学性能

2.1 钢的抗拉强度测试

锯链要求达到一定的抗拉强度^[3],否则锯链在伐木时容易断链.表 3 反映 6CrNiMoVA 钢回火温度为 280℃、保温 30 min,不同淬火温度对常温、低温(- 40℃)抗拉强度的影响.从表 3 可知,6CrNiMoVA 钢低温抗拉强度一般比常温高,反映了有冷处理的效果,6CrNiMoVA 钢的抗拉强度已接近国外同类钢材的抗拉强度(德国‘STIHL’的 σ_b 为 2050 MPa,美国‘OREGON’的 σ_b 为 2030 MPa).

表 3 不同淬火温度对常温、低温(- 40℃)抗拉强度的影响

Table 3 Effect of hardening temperature on tensile strength

淬火温度 /℃	σ_b /MPa	
	恒温	- 40℃
860	1977	2039
880	1994	2129
930	1905	1812
960	1681	2069

2.2 钢的冲击韧度测试

锯链在伐木时,气温一般为 - 40℃,这就要求锯链材料具有良好的低温韧度.图 4 是 6CrNiMoVA 钢经 880℃ 淬火 280℃ 回火处理的方形试件低温冲击试验结果.由图 4 知,6CrNiMoVA 钢在 - 40℃ 的冲击韧度值与其在常温下的冲击韧度值相比仅下降 25% 左右,满足设计要求^[2](国外同类钢种为 28%),说明 6CrNiMoVA 钢具有抗冷脆性能.

3 6CrNiMoVA 钢在锯链制造中的应用



3.1 锯链的技术要求

锯链由切齿链片、传动链片、连接片和链轴装配而成。其中切齿链片、传动链片、连接片要求高强度、硬度及良好的韧性，现用 6CrNiMoVA 钢制成。这三种链片的示意图见文献 [2]。

3.2 链片零件的热处理工艺

根据 6CrNiMoVA 钢的 TTT、CCT 曲线： $A_{c1} = 733^{\circ}\text{C}$ ； $A_{c3} = 775^{\circ}\text{C}$ ； $M_s = 315^{\circ}\text{C}$ 。

为确定淬火加热温度，做了不同加热温度和回火温度对硬度影响的试验。试验数据见表 4。同时做了不同加热温度，同一回火温度对抗拉强度 σ_b 影响的试验数据见表 5。

图 4 温度对 α_k 的影响

Fig.4 Effect of low temperature on α_k

表 4 不同淬火、回火温度与硬度的关系

Table 4 Relationship between hardness, hardening temperature and tempering temperature

回火温度 / $^{\circ}\text{C}$	淬火温度/ $^{\circ}\text{C}$						
	790	820	850	880	910	940	970
220	55.2	56.7	56.8	56.2	55.6	5.2	53.5
250	53.5	54.6	54.6	54.5	53.3	53.3	52.6
280	54.3	54.2	55.0	54.5	53.8	53.5	52.0
310	41.0	41.3	42.0	43.0	41.6	42.0	42.0
340	41.0	42.2	42.2	42.8	2.3	42.3	42.8

表 5 回火温度为 280°C 、保温 30 min，不同淬火温度对常温、 -40°C 低温力学性能的影响

Table 5 Effect of hardening temperature on mechanical property

试验条件	性能				
	P/kN	σ_b/MPa	$\alpha_k(\text{J}\cdot\text{cm}^{-2})$	硬度/HRC	
860 $^{\circ}\text{C}$ 保温 10 min 油淬	20°C	99.4	1040.4	30.7	57.0
	-40°C	100.8	1998.2	31.9	57.3
880 $^{\circ}\text{C}$ 保温 10 min 油淬	20°C	100.3	1955.1	32.3	57.0
	-40°C	106.6	2071.7	27.4	56.7
930 $^{\circ}\text{C}$ 保温 10 min 油淬	20°C	95.8	1867.9	21.3	56.7
	-40°C	91.1	1775.8	19.2	56.7
960 $^{\circ}\text{C}$ 保温 10 min 油淬	20°C	85.3	1648.4	29.4	56.8
	-40°C	104.0	2027.6	17.9	57.0

综合表 4、5 数据和金相分析，可知 6CrNiMoVA 钢在 880°C 时，综合力学性能及金相组织均比较理想，抗拉强度及硬度已达到美国 and 德国同类钢种水平 [4]。

据热处理工艺试验结果，考虑到零件的综合性能及稳定性，现采用 880°C 加热， 270°C 分级淬火， 190°C 回火的热处理工艺。通过图 5 淬火硬度与保温时间的关系，6CrNiMoVA 钢经 880°C 保温 9 min 油淬后， 270°C 硝盐等温 50 min， 190°C 回火 50 min，其硬度达到 56 HRC， σ_b 为 2058 MPa，伸长率为 0.57%。其金相组织为回火马氏体、残余奥氏体和碳化物，见图 6。



图 5 淬火硬度与保温时间关系
Fig.5 Relationship between hardness and temperature holding time

图 6 880°C 加热， 270°C 分级淬火， 190°C 回火后的金相组织 (500X)
Fig.6 Microstructure of 6CrNiMoVA (880°C)

2000年初采用6CrNiMoVA钢制造的锯链在东北林区-40℃的气温下做了生产性试验,结果见表6。由表6可知,一条锯链伐木均超过锯口面积200m²的标准。

本锯链,经国家便携式林业机械质量监督检验中心(国质监认字146号;编号:鉴200001)检测鉴定,认为其主要性能指标符合LY/T1187—1996链锯锯链的规定,林区低温条件下进行寿命试验达到标准所规定的锯切面积。

4 结 论

(a) 6CrNiMoVA钢完全能替代国外同类钢种,用于抗低温脆性要求高的切削及传动等部件。(b)用钒替代铌是可行的,不仅符合国情,而且降低了钢的成本。(c)锯链中用6CrNiMoVA钢制造的切齿片、传动链片、连接片合适的热处理工艺为880℃加热,270℃分级淬火,190℃回火。(d) 6CrNiMoVA钢可用于抗低温要求高的其它零部件和刀具,例如锯链导板,高强度、高韧性传动链、低温切削刀具等。

参考文献:

- [1] (日) 荻田彻,西野利次. 高速工具钢的最近展望[M]. 东京: 东京出版社, 1984. 20~70.
 [2] LY/T1187—1996 链锯 锯链[S].
 [3] 东北林学院. 林业机械(木材生产机械) [M]. 北京: 中国林业出版社, 1981. 80~110.
 [4] Charles O Smith. The science of engineering material[M]. New Jersey: Englewood Cliffs, 1997. 40~90.

表6 锯链林区生产试验结果

Table 6 Test result of saw chains used in forest cutting

锯链编号	伐木材积 /m ³	锯口面积/m ²			检验
		伐木	造材	合计	
1	1040.5	213.2	1.97	215.17	合格
2	49.09	228.3	12.3	240.6	合格
3	1159.09	310.3	19.2	330.5	合格

Study on low temperature-resistance 6CrNiMoVA steel and its application

JIANG Zuo¹, WEI Jia-mei²

(1. Suzhou Vocational University, Suzhou 215011, China;

2. College of Mech. & El. Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: A kind of low temperature-resistance 6CrNiMoVA steel is developed to meet the requirement of the market. An experimental study is performed on the mechanical properties of the new 6CrNiMoVA steel and its heat treatment technology, and a new technique for the heat treatment is developed which satisfies the requirement for the mechanical properties of the steel, and has the characteristic of low temperature and fragility-resistance. Application shows that the new 6CrNiMoVA steel can replace the imported congeneric products, while the cost of the steel is only 40% of that of the imported products.

Key words: 6CrNiMoVA steel; low temperature-resistance; heat treatment technology