

49MnVS3 曲轴用非调质钢控轧控冷工艺技术研究及应用

刘献达 郝彦英 刘运娜

(石家庄钢铁有限责任公司技术中心, 石家庄 050031)

摘要 49MnVS3 非调质钢(/% : 0.47C, 0.39Si, 0.90Mn, 0.016P, 0.050S, 0.22Cr, 0.09V, 0.015Ti, 0.011Al, 0.02Ni) 的生产流程为铁水预处理-60 t 顶底复吹转炉-LF 处理-VD 真空脱气-220 mm × 300 mm 坯连铸-控轧控冷。研究了控轧控冷工艺对 49MnVS3 非调质钢组织和性能的影响。Φ110 mm 轧材试验工艺参数: 加热温度 1 150 ~ 1 250 °C、开轧温度 1 050 °C、终轧温度 850 °C、轧后冷却速度 70 °C/min、冷却开始温度 850 °C 和终止温度 500 °C。结果表明, 试验炉次晶粒度提高 0.5 ~ 1.0 级, 带状组织减轻 0.5 ~ 1.5 级, 硬度、强度及塑性均有所提升, 获得良好的强韧性匹配。

关键词 控轧控冷 非调质钢 工艺参数 强韧性

Research and Application of Control Rolling and Cooling Technology in 49MnVS3 Non-Quenched and Tempered Steel for Crankshaft

Liu Xianda, Hao Yanying and Liu Yunna

(Technology Center, Shijiazhuang Iron and Steel Co, HBIS Group, Shijiazhuang 050031)

Abstract The production flowsheet of non-quenched and tempered steel 49MnVS3 (/% : 0.47C, 0.39Si, 0.90Mn, 0.016P, 0.050S, 0.22Cr, 0.09V, 0.015Ti, 0.011Al, 0.02Ni) is pretreated hot-metal-60 t top and bottom combined brown converter-LF-VD-220 mm × 300 mm bloom casting-controlled rolling and cooling, study the effect of controlled rolling and cooling process on microstructure and properties of non-quenched and tempered steel 49MnVS3. Test parameters of Φ110 mm rolled products: heating temperature of 1 150 ~ 1 250 °C, start rolling temperature 1 050 °C and finishing temperature 850 °C, 70 °C/min cooling speed after rolling, cooling start temperature of 850 °C and the end temperature 500 °C. The results showed that the grain size of the test furnace was improved by 0.5 ~ 1.0 and the banded structure was reduced by 0.5 ~ 1.5, the hardness, strength and plasticity are improved, and a good match of strength and toughness is obtained.

Material Index Controlled Rolling and Cooling, Non-Quenched and Tempered Steel, Technological Parameter, Strength and Toughness

控制轧制和控制冷却工艺是一项提高钢材强韧性的先进技术, 采用合理的钢材成分设计和轧制条件, 使钢材热变形与相变有机结合, 得到所需要的组织状态和目标性能。控轧控冷技术主要控制参量包括: 加热温度、开轧温度、终轧温度、轧后冷却速度、冷却开始温度和终止温度。

合理的轧制加热温度, 可使 V、Ti 等碳氮化物逐渐溶入奥氏体中, 可促使固溶的第二相粒子在冷却过程中析出强化, 从而提高钢的强度和硬度; 但温度升高, 奥氏体晶粒长大, 组织粗化韧性下降^[1]。

控制较低的终轧温度, 可使晶粒细化, 有利于改善韧性。

轧后冷速对钢材性能影响很大, 合理的快冷工艺可通过扩散相变机理和细化晶粒改善钢材的性能^[2]。

1 控轧控冷工艺试验研究

1.1 试验材料成分

试验非调质钢 49MnVS3 成分见表 1。

表 1 49MnVS3 钢的化学成分 /%

Table 1 Chemical composition of steel 49MnVS3 /%

C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Ti	Al	Ni
0.47	0.39	0.90	0.016	0.050	0.22	0.09	0.015	0.011	0.02

1.2 生产工艺流程

根据非调质钢 49MnVS3 的技术标准要求, 设计工艺路线为: 铁水预处理→60 t 顶底复吹转炉→LF 处理→VD 真空脱气→CC(220 mm × 300 mm 矩形连铸坯)→控制轧制(Φ110 mm 规格)→控制冷却→缓冷。

1.3 加热工艺

加热温度的关键是保证能够有相当数量的微合金元素溶解在奥氏体中, 保证微合金元素及化合物冷却后析出的数量、大小和分布, 确保潜在强化效果, 还需考虑晶粒度无异常长大、无过热过烧以及铸坯内裂等缺陷, 确保材料性能及表面、内部质量, 设计加热工艺见表 2。

1.4 控制轧制

表 2 49MnVS3 钢连铸坯加热工艺

Table 2 Heating process of casting bloom of steel 49MnVS3

预热段/ ℃	加热 1 段/ ℃	加热 2 段/ ℃	均热段/ ℃	开轧温度/ ℃	加热时间/ h
≤850	1 040 ~ 1 160	1 150 ~ 1 250	1 150 ~ 1 250	1 050 ~ 1 120	≥3.0

根据工艺设备的布局和特点,制定相应的控制轧制的工艺,实现两阶段控制轧制,轧制规格 Φ110 mm。粗轧机组奥氏体再结晶区轧制阶段,钢材温度在 1 000 °C 以上;中、精轧机组未再结晶区轧制阶段,通过控速轧制确保终轧温度控制在 800 ~ 900 °C。

1.5 控制冷却

通过轧后控制冷却,实现 500 ~ 800 °C 快冷,细化晶粒,减小珠光体片层间距,在奥氏体和铁素体中析出第二相粒子产生析出强化,从而显著提高钢材的总体性能^[3]。

(1) 轧后采用可调式雾化冷却装置控制水量、喷雾速度,配合冷床控制速度运行实现棒材均匀、快速降温。

(2) 雾化结束温度 ≤ 600 °C。

1.6 缓冷

钢材锯切后快速收集,300 ~ 400 °C 缓冷 24 h 以上。

2 试验结果与讨论

2.1 硬度分析

从表 3 可以看出,试验炉次较非试验炉次硬度有所提高。

2.2 带状组织分析

从表 4 和图 1、图 2 可以看出,试验炉次比非试验炉次 1/2 R、边缘位置的带状组织得到改善。

表 3 试验与非试验炉次 HBW 硬度值

Table 3 HBW hardness value of test and non-test heats

项目	中心	1/2 R	边缘
试验炉次	249	263	258
非试验炉次	245	253	243

表 4 试验与非试验炉次带状组织评级/级

Table 4 Band structure rating of test and non-test heats / rating

项目	中心	1/2 R	边缘
试验炉次	2.0	1.5	0
非试验炉次	2.0	2.0	1.5

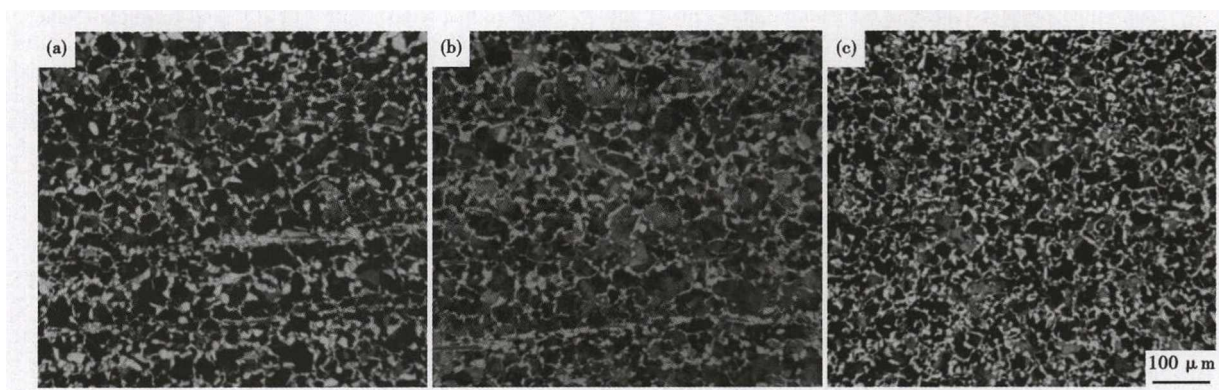


图 1 试验炉次 Φ110 mm 带状组织:(a) 中心,2.0 级;(b) 1/2 R,1.5 级;(c) 边缘,0 级

Fig. 1 Band structure of test heats Φ110 mm rolled products: (a) centre, rating 2.0; (b) 1/2 R, rating 1.5; (c) edge, rating 0

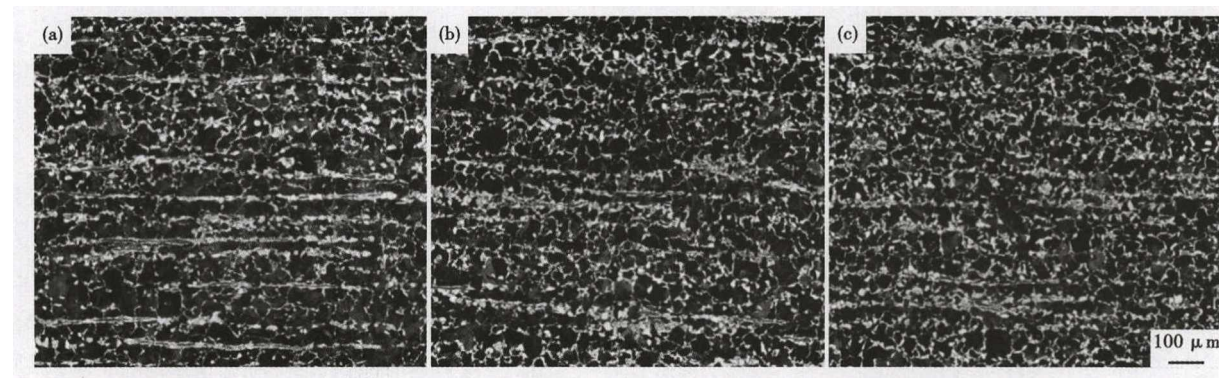


图 2 非试验炉次 Φ110 mm 带状组织:(a) 中心,2.0 级;(b) 1/2 R,2.0 级;(c) 边缘,1.5 级

Fig. 2 Band structure of non-test heats Φ110 mm rolled products: (a) centre, rating 2.0; (b) 1/2 R, rating 2.0; (c) edge, rating 1.5

合金元素的微观偏析是形成带状组织的根本原因,由于树枝状结晶引起的合金元素偏析,引起 A_3 温度的局部升高或降低,导致珠光体在局部优先形成,表现为带状组织,高硫钢偏析尤为明显。除合理的成分及减轻凝固过程连铸坯枝晶成分偏析的工艺设计外,通过优化连铸坯加热工艺,实现连铸坯奥氏体成分均匀化,以及采用较快的冷却速度均可以在一定程度上抑制带状组织的发生^[4]。

2.3 晶粒度分析

从表5可以看出,试验炉次比非试验炉次中心、1/2 R 及边缘位置晶粒度均细小。

高温再结晶区轧制对加热时粗化的 γ 晶粒反复轧制-再结晶细化,使相变后得到细小的 α 晶粒。

在奥氏体未再结晶区轧制时,晶粒沿轧制方向伸出,在 γ 晶粒内产生形变带,不仅由于晶界面积提高,提高 α 形核密度,而且在形变带出现大量 α 晶核,从而细化 α 晶粒。

加大冷却速度,通过相变温度区的过冷度增大,降低 $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变温度 A_{r3} , 提高铁素体的形核速率,降低铁素体的长大速率,使铁素体晶粒得到细化。

2.4 力学性能分析

从表6可以看出,试验炉次比非试验炉次的力学性能均得到改善。

表5 试验与非试验炉次晶粒度评级/级

Table 5 Grain size rating of test and non-test heats /rating

项目	中心	1/2 R	边缘
试验炉次	7.0	7.0	7.5
非试验炉次	6.5	6.0	6.5

表6 试验与非试验炉次力学性能

Table 6 Mechanical properties of test and non-test heats

项目	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	伸长率/ %	收缩率/ %	冲击功/ J
试验炉次	538	859	17.5	37	36
非试验炉次	513	820	15.5	29	32

控轧控冷抑制轧后变形奥氏体的再结晶,细化晶粒,控轧后奥氏体向铁素体相变的温度区进行快速冷却,使相变组织更微细化,从而控制、改善了钢材的组织形态,细化奥氏体组织,抑制碳氮化物过早的析出,使其在较低温度下铁素体相变中或铁素体区域弥散析出,实现析出强化效果,获得良好的强韧性匹配^[5]。

2.5 脱碳层分析

总脱碳层厚度测量得出,试验炉次(0.45 mm)

与非试验炉次(0.40 mm)无明显差别。

脱碳过程是表面的碳原子在高温下被氧化形成贫碳区,内部的碳原子逐渐向外扩散,导致一定厚度层内的碳含量降低形成贫碳区。钢温达到 800 °C 以上时,钢坯表面脱碳反应速度加快,温度越高,加热时间越长,表面脱碳层越厚^[6]。控制轧制与常规轧制加热温度、轧制时间差别极小,对脱碳层厚度的影响不明显。

2.6 硫化物分析

从表7中可以看出,试验与非试验炉次硫化物分布、形态、评级无明显区别。

表7 试验和非试验炉次硫化物评级/级

Table 7 Rating of sulfide in test and non-test heats /rating

项目	A 细		A 粗	
	中心	1/2 R	中心	1/2 R
试验炉次	3.0	2.5	3.0	2.5
非试验炉次	3.5	3.0	3.0	2.5

3 结论

(1) 易切非调质钢碳、硫微观偏析严重,通过合理的加热工艺可以促进铸态组织元素扩散、均匀组织,同时控制冷却速度可在一定程度上抑制合金元素的扩散,减轻或消除带状组织。

(2) 非调质钢利用控制轧制和雾化冷却手段,可以实现钢材热变形与相变有机结合,有效发挥细晶强化、析出强化作用,细化晶粒度、提高硬度及强韧性,充分发挥材料潜能,获得良好的强韧性匹配。

国家重点研发计划先进制造业基础件用特殊钢及应用资助(2016YFB0300103)

参考文献

- [1] 齐俊杰,黄运华,张跃.微合金化钢[M].北京:冶金工业出版社,2006:5.
- [2] 倪洪启,刘湘华,王国栋,等.板带材控制冷却技术[J].金属成型工艺,2004(3):53-55.
- [3] 陈思联,惠卫军,邵成伟,等.控制冷却对中碳高钒非调质钢组织性能的影响[J].钢铁,2015,50(8):77-82.
- [4] 纪元,闵云峰,李鹏善,等.钢中带状组织及其研究现状[J].中国冶金,2016,26(4):1-9.
- [5] 王国栋.新一代TMCP技术的发展[J].轧钢,2012,29(1):1-8.
- [6] 胡磊,王磊,麻哈.高碳钢盘条的表面氧化与脱碳行为[J].钢铁研究学报,2016,28(3):67-73.

刘献达(1984-),男,工程师,2008年黑龙江工程学院(本科)毕业,金属材料研究。E-mail:sggsld@163.com

收稿日期:2019-02-28