

# 热处理工艺对双金属带锯条背材用钢 RM80 组织和性能的影响<sup>①</sup>

陈刚<sup>1</sup>, 孙瑜蔓<sup>1</sup>, 苏斌<sup>1</sup>, 曾斌<sup>2</sup>, 齐江华<sup>2</sup>

(1. 湖南大学材料科学与工程学院, 湖南长沙 410012; 2. 湖南华菱涟源钢铁有限公司技术中心, 湖南娄底 417009)

**摘要:** 采用扫描电镜、洛氏硬度计和万能试验机研究了不同热处理工艺对 RM80 钢显微组织和力学性能的影响。结果表明, 随着淬火温度升高, RM80 钢中碳化物逐渐溶解, 原奥氏体晶粒不断长大; 在回火过程中, RM80 组织由回火屈氏体转变为回火索氏体, 且在较高温度淬火再回火后的 RM80 组织中仍能看到马氏体形态。经 1 150 °C 淬火和 550 °C 三次回火后, RM80 钢可以实现强度和塑性的良好匹配, 其屈服强度为 1 244 MPa, 抗拉强度为 1 590 MPa, 延伸率为 12.0%。

**关键词:** 双金属带锯条; RM80 钢; 热处理; 显微组织; 淬火; 回火; 碳化物

中图分类号: TG161

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2023.05.039

文章编号: 0253-6099(2023)05-0174-04

## Effect of Heat Treatment Process on Structure and Properties of RM80 Steel for Bimetal Band Saw Blade

CHEN Gang<sup>1</sup>, SUN Yuman<sup>1</sup>, SU Bin<sup>1</sup>, ZENG Bin<sup>2</sup>, QI Jianghua<sup>2</sup>

(1. School of Materials Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410012, Hunan, China; 2. Technical Center, Hunan Valin Lianyuan Iron and Steel Co Ltd, Loudi 417009, Hunan, China)

**Abstract:** The effects of different heat treatment processes on the microstructure and mechanical properties of RM80 steel were studied by means of scanning electron microscopy, Rockwell hardness tester and universal testing machine. As quenching temperature increases, carbides in RM80 steel gradually dissolve and the original austenite grains continue to grow. During tempering process, the structure of RM80 steel changes from tempered troostite to tempered sorbite, and martensite can still be observed in the structure of RM80 that is tempered after quenching at a higher temperature. After quenching at 1 150 °C and then three times of tempering at 550 °C, RM80 steel finally has a good match between strength and plasticity, with a yield strength of 1 244 MPa, a tensile strength of 1 590 MPa, and an elongation of 12.0%.

**Key words:** bimetal band saw blade; RM80 steel; heat treatment; microstructure; quenching; tempering; carbide

双金属带锯条是指齿尖和背材选用两种不同的金属材料, 利用焊接制成复合钢带, 再将其中一侧进行齿形加工制成的锯条产品<sup>[1]</sup>。双金属带锯条具有切割效率高、尺寸精确、使用寿命长等明显优势, 所以逐渐成为锯切行业的主流工具<sup>[2]</sup>。

全球有多个国家在争相开发双金属带锯条背部用钢, 目前市面上性能最好的双金属带锯条背部材料当属 RM80 钢。RM80 钢作为背部材料可以大大提高带锯条的使用寿命<sup>[3]</sup>。目前国内已有学者对 RM80 钢抗

疲劳性能和焊接性能进行了研究<sup>[4-5]</sup>, 但关于热处理条件对 RM80 钢组织和性能影响方面的研究较少。本文以双金属带锯条背部材料用钢 RM80 为研究对象, 在一定温度范围内开展淬火和回火实验, 探究不同热处理工艺下 RM80 钢微观组织和力学性能的演变规律, 为双金属带锯条热处理工艺的制定提供参考。

### 1 实验方法及材料

实验用材料为 RM80 钢带, 其化学成分见表 1。

① 收稿日期: 2023-04-27

作者简介: 陈刚(1965—), 男, 湖南长沙人, 博士, 教授, 主要研究方向为异种金属焊接、快速凝固与喷射沉积、粉末冶金及金属注射成形、高熵合金及其涂层等。

首先采用箱式电阻炉将 RM80 钢分别加热到 1 000 ℃、1100 ℃、1 150 ℃、1 200 ℃、1250 ℃、1 300 ℃, 保温时间 2 min, 随后采用油冷方式淬火; 再分别回火至 550 ℃、600 ℃、650 ℃, 保温时间 1 h, 空冷至室温。

表 1 RM80 钢化学成分(质量分数) %

C	Cr	Ni	Mo	Si	Mn	P	V
0.31	3.10	0.28	1.86	0.32	0.66	0.003	0.34

利用线切割将热处理试样加工成标准拉伸试样, 使用电子万能试验机(DNS100)进行拉伸实验。使用数显洛氏硬度计(200HRS-150)测定不同淬火和回火温度下热处理试样的硬度值(HRA)。采用 4% 硝酸酒精对热处理试样进行腐蚀, 利用扫描电子显微镜(SEM, FEI QUANTA 200)观察分析其组织形貌, 并使用能谱仪(EDS)分析不同热处理条件下碳化物的合金元素含量。利用 X 射线衍射仪(Miniflex 600)分析淬火试样物相。

## 2 实验结果分析

### 2.1 淬火温度对组织和性能的影响

图 1 为不同温度淬火后 RM80 钢的 XRD 图谱。由图 1 可知, 不同温度淬火后 RM80 钢组成相中只有  $\alpha$ -Fe 衍射峰, 没有观察到  $\gamma$ -Fe 的衍射峰, 可能是淬火后组织中残余奥氏体体积分数小于 XRD 的最低检测值<sup>[6]</sup>。

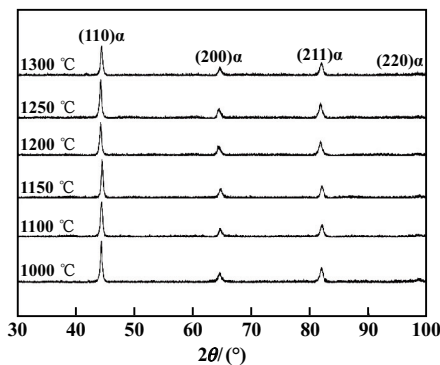
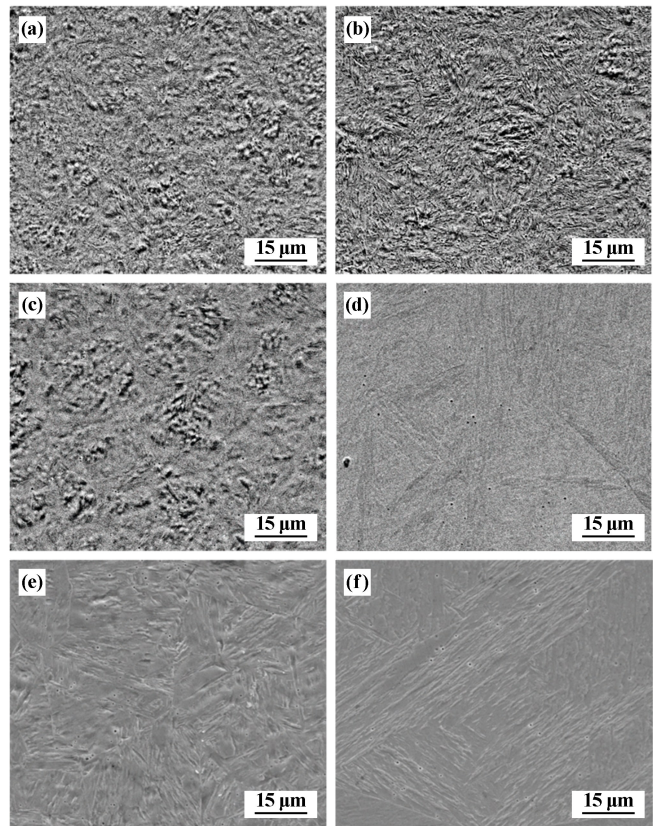


图 1 不同温度淬火后 RM80 钢 XRD 图谱

图 2 为不同淬火温度下 RM80 钢的显微组织。由图 2 可见, RM80 组织为板条马氏体, 随着淬火温度升高, 碳化物溶解量逐渐增加, 原奥氏体晶粒不断长大。其中, 淬火温度 1 000~1 150 ℃ 时, 大量碳化物并未完全溶解, 组织不均匀; 淬火温度升高至 1 200 ℃ 以上时, 没有发现明显的碳化物颗粒, 原奥氏体晶粒迅速长大, 晶粒尺寸由 16  $\mu\text{m}$  增至 50  $\mu\text{m}$ , 同时组织中未出现

过烧现象。板条马氏体组织是淬火后在原奥氏体晶粒内形成的, 所以随着原奥氏体晶粒长大, 板条束也发生明显粗化。



(a) 1 000 ℃; (b) 1 100 ℃; (c) 1 150 ℃; (d) 1 200 ℃; (e) 1 250 ℃; (f) 1 300 ℃

图 2 不同淬火温度下 RM80 钢显微组织

不同淬火温度下组织的差异会造成材料力学性能的不同。图 3 为不同淬火温度下 RM80 钢的硬度值。1 000~1 200 ℃ 范围内, 随着淬火温度升高, 硬度从 73.0HRA 增至 80.0HRA; 之后继续提高淬火温度, 硬度上升速度下降。合金硬度主要受合金元素溶解引起的固溶强化和晶粒长大两个因素的影响, 随着淬火温度升高, 合金元素在奥氏体中的溶解量不断增加, 因而

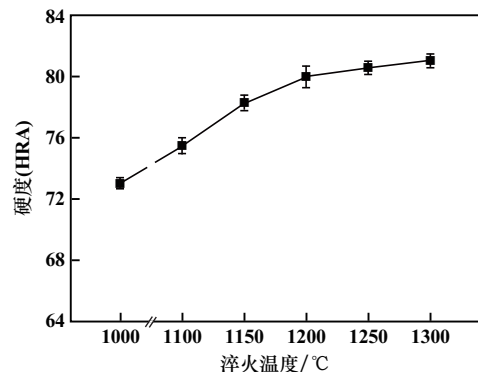
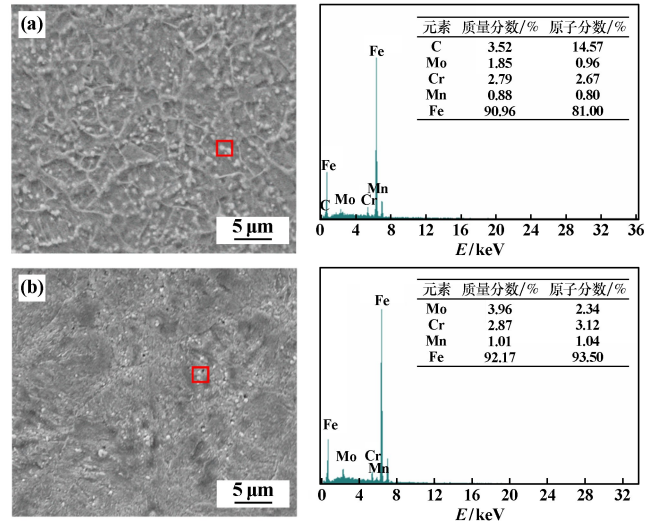


图 3 不同淬火温度下 RM80 钢硬度值

固溶强化作用在加强;之后随着淬火温度进一步升高,奥氏体晶粒迅速长大,抵消了部分固溶强化效果,导致硬度上升速度减慢。

## 2.2 回火温度对组织和性能的影响

图4为不同温度淬火、回火后RM80钢的显微组织。从图4可以看出,淬火温度低于1150℃时,回火组织中存在淬火后未充分溶解的碳化物以及回火过程中析出的细小碳化物,并且随着回火温度升高,碳化物颗粒不断聚集和球化,组织由回火屈氏体转变为回火索氏体;回火温度达到650℃时,由于回火温度较高,部分碳化物出现回溶,碳化物数量减少,剩余的碳化物已经基本完成粗化并且分布更加弥散。图5为不同热处理条件下RM80钢的EDS图谱。结合图5可知,未溶解碳化物和析出碳化物的合金元素主要为Cr和Mo。在1200℃及以上温度下淬火后在550~600℃



(a) 1100℃淬火+550℃回火; (b) 1150℃淬火+650℃回火

图5 不同热处理条件下RM80钢EDS能谱

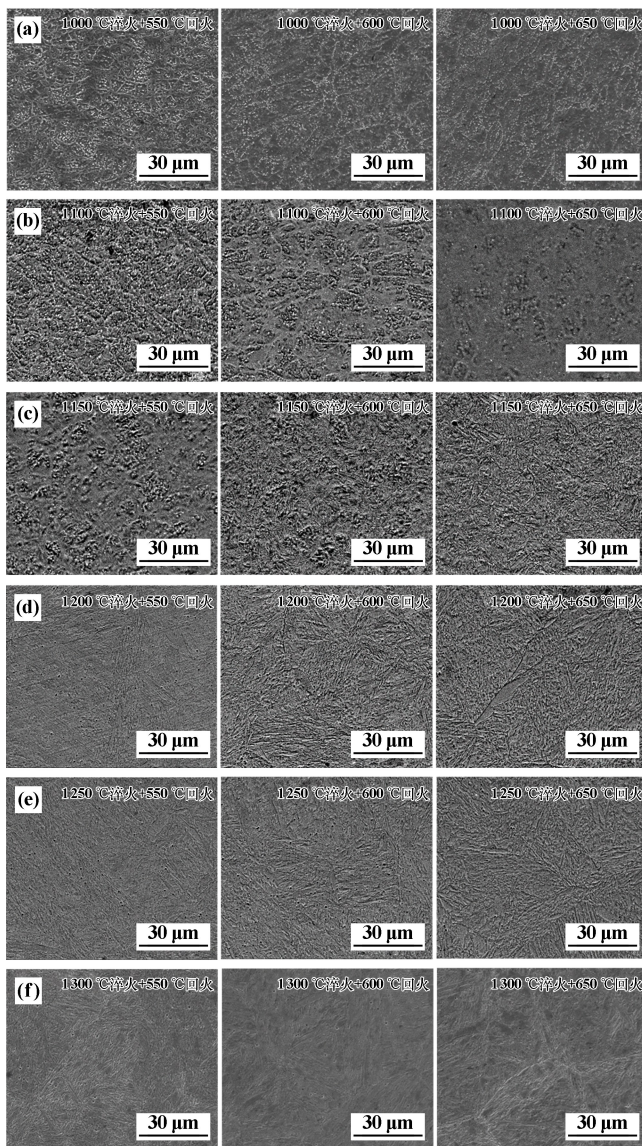
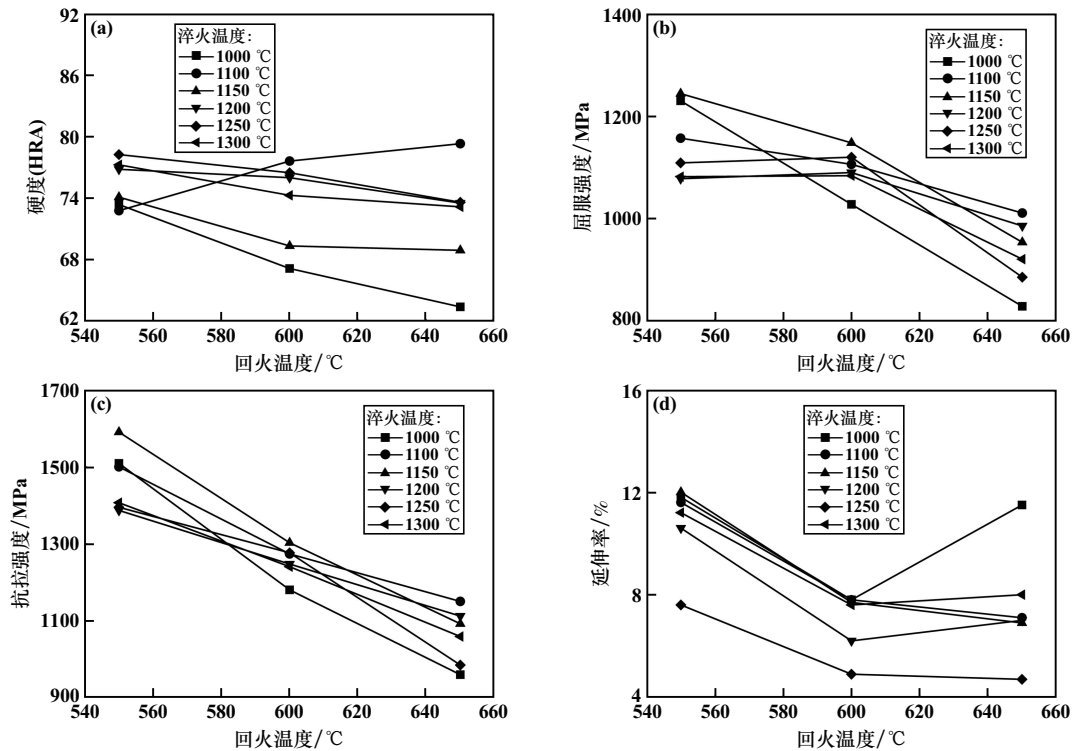


图4 不同温度淬火和回火后RM80钢显微组织

回火时,合金组织中仍能看到马氏体,这是因为较高的淬火温度使马氏体板条明显粗化,并且RM80钢中存在的Mo、Cr、V等碳化物形成元素能减缓和推迟马氏体的分解过程,使马氏体形态保持到更高的回火温度<sup>[7]</sup>;当回火温度继续升高到650℃时,板条状马氏体逐渐消失,铁素体发生回复和再结晶,形成等轴晶。

## 2.3 回火温度对RM80钢力学性能的影响

图6为不同热处理条件下RM80钢的力学性能。由图6可知, RM80钢的硬度值总体上随回火温度升高而逐渐降低,在550~600℃回火时硬度值下降速度比600~650℃时更快,这是因为RM80钢中存在Cr、Mo等碳化物形成元素,它们与碳的亲合力大,可以减缓碳的扩散,故高温回火过程中组织分解和转变速度减慢,组织稳定性提高。1000℃和1150℃淬火、550℃回火后RM80钢的抗拉强度可超过1500MPa,屈服强度和抗拉强度整体上随着回火温度升高呈现下降的趋势。这是由于随着回火温度上升,马氏体中过饱和的碳和合金元素以碳化物形式析出,α固溶体转变为铁素体,回复和再结晶导致位错密度不断降低,固溶强化作用也逐渐消失,析出的碳化物对RM80钢起着第二相强化作用<sup>[8-9]</sup>;但第二相强化的作用不足以弥补固溶强化和位错强化作用的减弱,最终致使RM80钢强度不断降低。延伸率总体上呈现先随着回火温度升高而下降、再平稳回升的趋势,其中1000℃淬火+550℃回火和1150℃淬火+550℃回火后RM80钢塑性较好,延伸率分别达11.8%和12.0%。



(a) 硬度; (b) 屈服强度; (c) 抗拉强度; (d) 延伸率

图6 不同热处理条件下 RM80 钢力学性能

综上所述,双金属带锯条背部材料用钢 RM80 在“高淬三回”的热处理工艺下,适宜的热处理工艺可取 1 150 °C 淬火后 550 °C 回火 3 次,保温时间 1 h,该工艺下屈服强度 1 244 MPa、抗拉强度 1 590 MPa、延伸率 12.0%。

### 3 结 论

1) 随淬火温度升高, RM80 钢中碳化物逐渐溶解,奥氏体晶粒不断长大,即使淬火温度达到 1 300 °C 也未出现过烧现象; RM80 钢硬度随淬火温度升高呈现先快速上升随后平稳变化的趋势。

2) 1 000~1 150 °C 淬火后的回火组织中仍然存在未溶解碳化物,并且随着回火温度升高,碳化物颗粒逐渐聚集球化,组织由回火屈氏体转变为回火索氏体; 1 200 °C 以上淬火后不同条件下回火, RM80 钢回火组织中仍能看到马氏体形态。

3) 随着回火温度升高, RM80 钢硬度、屈服强度和抗拉强度整体呈现下降的趋势,延伸率先下降再平稳回升。淬火温度 1 150 °C、回火温度 550 °C 时, RM80 综合力学性能较好,此时屈服强度和抗拉强度分别为 1 244 MPa 和 1 590 MPa,延伸率为 12.0%。

### 参考文献:

- [1] 贾寓真,吴懿萍,匡旭光,等. 双金属带锯条制造工艺研究进展[J]. 工具技术, 2017,51(10):3-10.
- [2] 姚远超. 30Cr4MoNiV 超高强度钢热变形行为及热处理工艺研究[D]. 长沙:湖南大学, 2021.
- [3] 郝睿奇. 双金属带锯条失效机理与组织性能调控技术研究[D]. 大连:大连理工大学, 2018.
- [4] 匡旭光,杨俊. 热处理工艺对硬质合金带锯条背材 RM80 钢组织和性能的影响[J]. 特殊钢, 2018,39(6):54-7.
- [5] 陈刚,唐啸天,刘国跃,等. 焊接电流对 M51/RM80 异种钢电阻点焊接头力学性能和断裂行为的影响[J]. 热加工工艺, 2022,51(5):18-22.
- [6] 段旭斌. 工程机械用 42CrMo 截齿的热变形及热处理工艺研究[D]. 镇江:江苏大学, 2022.
- [7] 车马俊,邓伟,崔强. 新型超高强度结构钢 Q960E 组织与性能控制研究[J]. 宽厚板, 2017,23(6):1-5.
- [8] 范新超,王春旭,厉勇,等. 回火温度对超高强度 35Cr3Ni2SiMnMoVA 钢组织与性能的影响[J]. 金属热处理, 2017,42(4):95-98.
- [9] 李杰,李春志,郭峰,等. 二次硬化超高强度钢中析出强化相 HRTEM 研究[J]. 航空材料学报, 2008,28(4):1-5.

引用本文: 陈刚,孙瑜蔓,苏斌,等. 热处理工艺对双金属带锯条背材用钢 RM80 组织和性能的影响[J]. 矿冶工程, 2023,43(5):174-177.