

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

匡旭光¹ 杨俊²

(1 湖南泰嘉新材料科技股份有限公司,长沙 410200;2 中南大学材料科学与工程学院,长沙 410083)

摘要 以硬质合金带锯条背材 RM80 为研究对象,采用金相显微镜、扫描电镜(SEM)对金相检测,采用硬度检测仪来检测硬度,通过空转疲劳试验和高速切铜来验证背部的疲劳寿命。结果表明:在高速切削时,硬质合金双金属带锯条背材 RM80 采用高温短时间淬火最佳,淬火温度范围为 1 150 ~ 1 160 °C,碳化物溶解充分,并且马氏体组织均匀较细;回火最佳温度为 640 °C 左右,组织为回火索氏体。通过高速切削实验,RM80 背材的疲劳性能提升约 30%。

关键词 硬质合金带锯条 RM80 背材 淬火 回火 疲劳寿命

Effect of Heat Treatment Process on Microstructure and Properties of Base Steel RM80 for Cemented Carbide Bandsaw Blade

Kuang Xuguang¹ and Yang Jun²

(1 Bichamp Cutting Technology Hunan Co., Ltd., Changsha 410200;
2 School of Materials Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083)

Abstract RM80 steel is the research object of this paper, used for the base metal of carbide band saw blade. The metallographic phase was observed by the metallographic microscope and scanning electron microscope were used to observe; The hardness testing was observed by the hardness tester; The fatigue life was verified by the idling fatigue test and high-speed cutting of copper. The results show that the quenching at high temperature for shorting time is the best process for RM80 steel during high-speed cutting; the best quenching temperature range is from 1 150 °C to 1 160 °C, the material with the carbide fully dissolved and even small martensite; the best tempering temperature is 640 °C, the metallographic phase of the material is tempering sorbite. Through high-speed cutting experiments, the fatigue performance of the back material of steel RM80 increased by about 30%.

Material Index Cemented Carbide Band Saw Blade, Base Steel RM80, Quenching, Tempering, Fatigue Life

硬质合金带锯是 20 世纪 80 年代由瑞典百固 (Bahco) 公司研制出的一种新型的技术含量很高的高速双金属带锯条产品,类似高速钢带锯条,是将圆状或柱状 GY8 硬质合金和 RM80 两种不同特性材料焊接而成。我国硬质合金带锯条的生产厂家主要集中在江苏、湖南、辽宁和浙江^[1-2]。截止 2000 年,能够生产硬质合金带锯条的厂家更是寥寥无几,主要由于硬质合金复合钢带的制作工艺还未被完全掌握。

硬质合金带锯条主要用于要求双金属带锯条效率非常高或高硬度的难切金属,尤其是贵金属的加工,如耐热钢、模具钢、高速钢、合金工具钢、钛合金、镍基合金等材料,高速切削铝合金、铜合金、石墨等材料。带锯条在带锯床上锯切时,做 45-90° 的扭转环形运动,受到周期性的拉伸、冲击、弯曲以及扭转等复杂应力,服役条件恶劣^[3],硬质合金锯条原本齿部硬度高,红硬性好,耐磨性优,那么对于在高速

切削铝合金、铜合金、石墨等材料的情况下,背部疲劳性能就显得尤其重要了。过去几十年间国内外对硬质合金做过大量的研究工作,许多学者研究了硬质合金和钢的焊接技术^[4-12],郭喜如^[13]等研究了硬质合金带锯条切钛合金失效模式分析,句志锋^[14]等研究了镍基高温合金的切削,付秀丽^[15]等研究了高速切削航空铝合金理论,大部分的研究都围绕焊接和切削原理进行研究,关于背材的疲劳性能研究较少。目前高速切削铝合金、铜合金、石墨双金属带锯条市场基本被德国品牌 Wikus 占领,其他厂家主要的失效形式为背部断裂。为此,本文结合工厂最节能有效的热处理方式,通过对背材热处理工艺进行研究,进行组织和性能的对比分析,充分提升该合金在高速切削情况下的疲劳性能。

1 实验材料及方法

1.1 实验材料

实验采用本公司硬质合金带锯条成品,带锯条

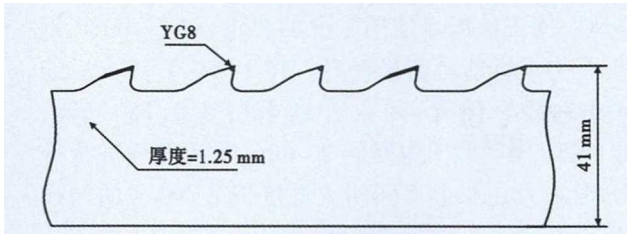


图 1 锯条示意图
Fig. 1 Schematic diagram of saw

表 1 双金属带锯条实验参数

Table1 Parameters of bi-metal bandsaw blade for experiment

项目	参数
基本截面(宽×厚)/(mm×mm)	41×1.25
变齿距(每英寸齿数)	1/2 TPI
YG8 锯条齿部材料 HRA 硬度值	91.9
RM80 锯条齿部材料 HV 硬度值	530

表 2 RM80 钢化学成分/%

Table2 Chemical composition of steel RM80/%

C	Mo	Cr	V	Ni
0.32	2.20	3.00	0.30	0.50

齿部材料为 YG8 硬质合金,为 SANDVIK 公司进口;锯条背部材料为 RM80 高强钢,为 Bohler 公司进口。首先背材 RM80 经过铣齿、淬火、回火,再通过焊接齿部硬质合金球、焊接区域退火、磨齿、分齿等工艺制成。样品的截面为 41 mm×1.25 mm,示意图见图 1,双金属锯条的参数见表 1, RM80 高强钢的成分见表 2。

1.2 实验过程

温度工艺实验采用本公司进口材料 RM80 铣齿后,在连续式淬回火炉进行实验,淬火炉长度 5 m,回火炉长度 30 m,淬火分别采用 1 050、1 100、1 150、1 200 °C 四个淬火温度,采用光亮快速淬火油

进行冷却;回火分别采用 450、500、550、640 °C 四个温度,采用氮气进行冷却;空转疲劳和切削实验采用经过铣齿、淬火、回火、焊接齿部硬质合金球、焊接区域退火、磨齿、分齿等工艺制成的成品锯条。

1.3 实验检测

采用华银硬度检测仪检测维氏硬度;采用 Sirion 200 型场发射扫描电子显微镜对淬火、回火组织进行观察;采用 OLYMPUS-GX71 倒置型金相显微镜对金相组织进行观察;采用特斯克机型 VM 300,锯条速度:800 ~ 1 000 m/min 切削率:1 200 ~ 1 500 cm²/min,长度为 11 770 mm,高速锯切直径为 550 mm 铜合金;采用 Everising FT260 型空转疲劳试验机上进行背部疲劳试验,张紧力 300 MPa,空转速度为 80 m/min,直至带体断裂时测试终止,样品数量为 4 种工艺各 10 根锯条。

2 结果讨论

2.1 淬火、回火温度对组织和硬度的影响

淬火加热的目的完成淬火所要求的组织结构变化,淬火温度系淬火处理的工件进行加热所达到的最高温度。一般随着淬火温度的提高,合金固溶充分,淬火马氏体硬度提高,但是同时也会使 Ms 点降低,残余奥氏体增加,以及晶粒变大。本实验选取 1 050 °C、1 100 °C、1 150 °C、1 200 °C 四个温度进行淬火处理,保温 70 s,采用光亮快速油进行冷却。为更加方便的观察碳化物的溶解程度,对 4 个样品暂时进行回火处理,图 2 为在不同淬火温度下,2 000 x 的扫描照片。

从图 2 可以看到,1 050 °C 还有大量的碳化物未溶解,1 100 °C 下碳化物溶解程度更好,1 150 °C 碳化物基本溶解,但是马氏体组织没有明显粗化的现象。

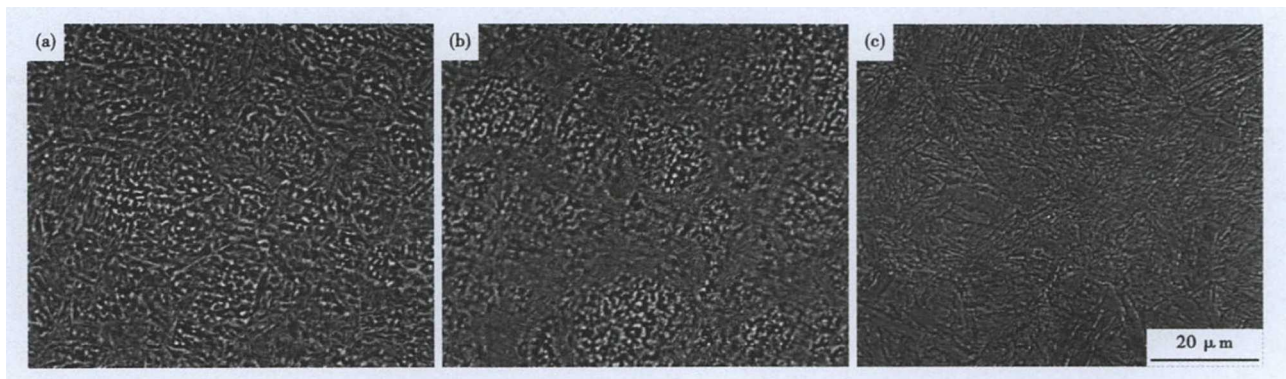


图 2 RM80 钢 1 050 °C (a), 1 100 °C (b) 和 1 150 °C (c) 碳化物的溶解, SEM

Fig. 2 Dissolution of carbides in steel RM80 at 1 050 °C (a), 1 100 °C (b) and 1 150 °C (C), SEM

表 3 RM80 钢退火和 1 050 °C, 1100 °C, 1150 °C 淬火的 HV 硬度值

Table 3 HV hardness value of steel RM80 annealed and quenched at 1 050 °C, 1 100 °C and 1 150 °C

项目	退火态	淬火温度/°C		
		1 050	1 100	1 150
HV 硬度值	280	700	740	760

根据表 3, 随着淬火温度的增加, 基体合金化的程度增加, 硬度也随着增加。因此, 在保温时间不变的前提下, 将选择 1 150 °C 左右的温度作为最终的淬火温度。

在 1 150 °C 温度下淬火, 碳化物基本溶解, 但是马氏体组织没有明显粗化的现象, 如果继续提升淬火温度马氏体组织开始出现粗大的现象; 图 3 为淬火温度从 1 150 °C 提升到 1 200 °C 淬火的 500 x 金相照片, 从图 3 中可以看出, 如果继续提升淬火温度到 1 200 °C, 可以从图 3 中明显看到, 组织开始变得粗大。

回火有利于减少或消除淬火后的内应力, 以减少工件的变形, 防止在使用过程中开裂; 稳定组织, 使工件在使用过程中不发生组织转从而稳定工件的形状与尺寸; 合理的调整其硬度和强度, 提高延展性

或韧性, 使工件满足使用工况的要求; 对于 RM80 钢的综合力学性能有明显提升。将 1 150 °C 淬火后的 RM80 钢背材回火, 回火分别采用 450、550、600、640 °C 四个温度, 保温时间 20 min, 采用氮气进行冷却。图 4 为在 4 个不同回火温度下 2 000 x 的扫描照片。

从图 4 中可以看出, 回火温度 450 °C 时, 马氏体分解后形成的 α 相和弥散的 ϵ -碳化物组成的复相组织称为回火马氏体, 回火马氏体中的 α 相仍保持针状形态, 由于它是两相组成的; 随着回火温度的升高, 回火温度析出的渗碳体开始聚集球化与粗化, 这一过程是小颗粒碳化物溶解, 大颗粒沉积长大的机制进行的。也是铁素体中的位错密度降低, 剩下的位错通过重排、多边化形成位错网络、将铁素体晶粒分割成许多亚晶粒, 但仍保持马氏体的外形。但是当回火温度达到 640 °C 时, α 相开始再结晶, 通过界面移动逐渐长大成等轴状晶粒, 这时粒状渗碳体均匀分布在铁素体内, 同时马氏体的针状形态消失。这种等轴状铁素体和细颗粒状渗碳体的机械混合物称为回火索氏体。由于回火的各阶段受扩散因素所控制, 因此其转变取决于回火温度和时间, 其中温度是最主要的因素。合金元素对回火转变有很大影响, 一般都起阻碍作用, RM80 钢因合金含量稍高, 使回火转变成的各阶段温度向高温推移。

采用 1 150 °C 淬火温度淬火, 再分别用 450、550、600、640 °C 四个温度回火, 制作成成品硬质合金带锯条。采用 Everising FT260 型空转疲劳试验机上进行背部疲劳试验, 张紧力 300 MPa, 空转速度为 80 m/min, 长度 5 550 mm, 空转数据见表 4。采用特斯克机型

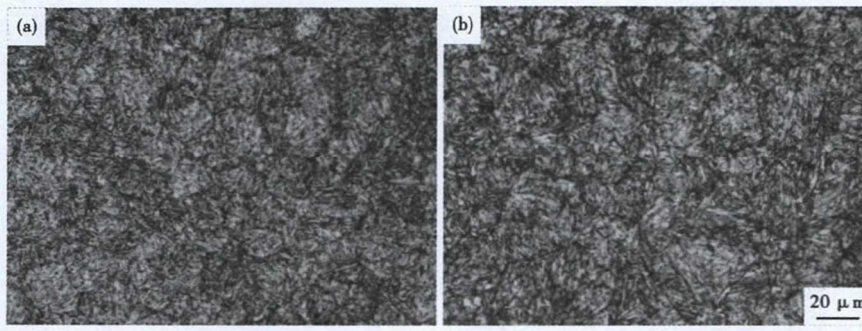


图 3 RM80 钢 1150 °C 淬火 (a) 和 1 200 °C 淬火 (b) 的组织形貌

Fig. 3 Morphology of structure of steel RM80 quenched at 1150°C (a) and 1 200 °C (b)

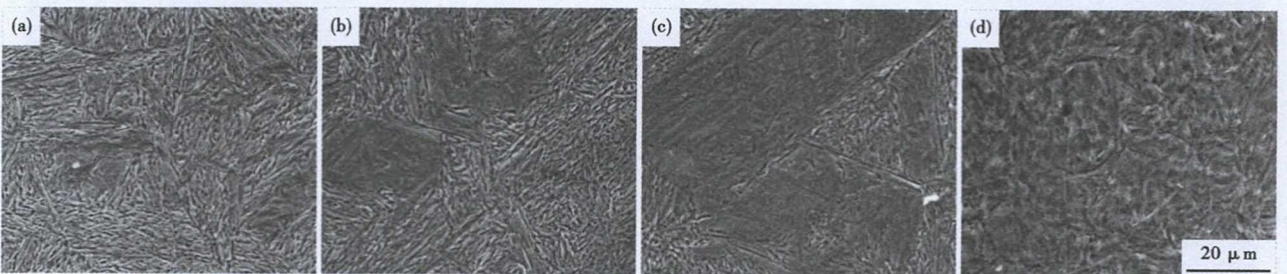


图 4 RM80 钢 1 150 °C 淬火 450 °C (a), 550 °C (b), 600 °C (c) 和 640 °C (d) 回火的组织形貌, SEM

Fig. 4 Morphology of structure of steel RM80 quenched at 1 150 °C and tempered at 450 °C (a), 550 °C (b), 600 °C (c) and 640 °C (d), SEM

表4 回火温度对 RM80 钢低速空转疲劳寿命的影响
Table 4 Effect of tempering temperature on low speed idle running fatigue life of steel RM80

项目	回火温度/℃			
	450	550	600	650
时间/h	83~91	83~88	83~90	85~90
失效形式	全部断带	全部断带	全部断带	全部断带

表5 回火温度对 RM80 钢高速切削铜的疲劳寿命的影响
Table 5 Effect of tempering temperature on high speed copper cutting fatigue life of steel RM80

项目	回火温度/℃			
	450	550	600	650
切削数量/刀	259	290	285	372
失效形式	断带	断带	断带	断带

VM300, 锯条速度: 800 ~ 1 000 m/min 切削率: 1 200 ~ 1 500 cm²/min, 长度为 11 770 mm, 高速锯切直径为 550 mm 铜合金, 切削数据见表 5。

从表 4 和表 5 中可以看出: 在低速空转的情况下, 四个回火温度没有明显的区别; 但是在高速切铜的过程中, 650 ℃ 的背部疲劳寿命高出其他三个工

艺约 30%, 这说明在 650 ℃ 温度下回火, RM80 材料具有良好的综合力学性能, 即较高的强度与良好的塑性、韧性相配合, 并且疲劳寿命在高速锯切情况下达到最大值。

3 结论

(1) 硬质合金带锯条背材用的高强钢 RM80 在 1 150 ~ 1 160 ℃ 温度下淬火, 保温 70 s, 即能保证碳化物的充分溶解, 阻止马氏体组织粗化。

(2) 硬质合金带锯条背材用的高强钢 RM80 在 640 ℃ 温度回火, 得到的组织为回火索氏体, 具有良好的综合力学性能, 即较高的强度与良好的塑性、韧性相配合。

(3) 切削速度不同时, 对于硬质合金带锯条背材用的高强钢 RM80 的组织要求不同: 在低速下, 回火温度对于疲劳性能影响较小; 在高速切削时, 回火温度对背部疲劳的影响较大, 并且提升幅度约 30%。

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] 王赛赛, 贾非, 张兴国, 等. 双金属带锯条失效原因分析[J]. 热加工工艺, 2014, 43(22): 227-230.
- [3] 刘年红. 中国双金属带锯条行业研究[J]. 企业技术开发, 2010, 29(23): 125-127.
- [4] 陈刚, 黄宇, 周明哲, 等. 硬质合金 YG8 与 D6A 异种金属 CO₂ 激光焊接接头组织和性能的研究[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2017, 44(12): 34-39.
- [5] 陈飞雄, 强劲熙, 贾佐诚. 热等静压法制取复合硬质合金冷轧辊[J]. 稀有金属材料与工程, 1998, 27(3): 177-181.
- [6] 陈飞雄, 李世魁. 硬质合金与钢的热等静压扩散连接[J]. 稀有金属材料与工程, 1994, 23(4): 46-51.
- [7] 陈飞雄, 强劲熙, 贾佐诚. 硬质合金与铁基复合材料热等静压扩散连接[J]. 粉末冶金技术, 1995, 13(1): 8-13.
- [8] Lee W B, Kwon B D and Jung S B. Effect of Bonding Time on Joint Properties of Vacuum Brazed WC-Co hard Metal/Carbon Steel using Stacked Cu and Ni alloy as Insert Metal[J]. Materials Science Technology, 2004, 20(2): 1474-1478.
- [9] Won Bae Lee, Byoung Dae Kwon and Seung Boo Jung, et al. Effects of Cr₃C₂ on the Microstructure and Mechanical Properties of the Brazed Joints Between WC-Co and Carbon Steel [J]. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 2006, 24(3): 215-221.
- [10] Yi S W and Lee W J. Effects of the Concentration of other Carbides on the Properties of Submicron WC-10Co Cemented Carbides[J]. Journal of Korean Powder Metallurgy Institute. 1996, 22(3): 86-90.
- [11] Zhang J X, Chandel R S and Seow H P. Effects of Chromium on the Interface and Bond Strength of Metal-Ceramic Joints [J]. Materials Chemistry and Physics, 2002, 75(6): 256-259.
- [12] Nowacki J and Kawiak M. Deform ability of WC-Co Sinters and 17-4 PH Steel Brazed Joints [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 157(7): 584-589.
- [13] 郭喜如, 易丹青. 粉末高速钢与分齿型硬质合金带锯条锯切钛合金失效模式分析[J]. 企业技术开发, 2015, 34(22): 25-27.
- [14] 荀志锋. K24 镍基高温合金切削性能试验研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2003.
- [15] 付秀丽. 高速切削航空铝合金变形理论及加工表面形成特征研究[D]. 济南: 山东大学, 2007.

匡旭光(1987-), 男, 硕士(2011年中南大学), 工程师, 2008年吉首大学(本科)毕业, 硬质合金材料的, 热处理、表面处理研究。

收稿日期: 2018-05-20