

电冶碳化钨钢结合金在螺纹钢丝轧辊上的应用

尤显卿¹, 朱晓勇¹, 陈九磅¹, 郑玉春¹, 马建国², 黄曼平²

(1. 合肥工业大学, 安徽 合肥 230009; 2. 安徽建筑工程学院, 安徽 合肥 230022)

摘要: 介绍了用废弃的粉末冶金碳化钨基钢结合金作原料, 采用电冶熔铸工艺制备出新型的电冶碳化钨基钢结合金, 并将其用在冷拔轧螺纹钢丝轧辊上。结果表明, 电冶钢结合金组织致密、强度高、韧性好, 尤其是具有高的抗磨损性能, 用其所制的钢丝轧辊成本低、使用寿命长。

关键词: 电冶熔铸; 碳化钨基钢结合金; 螺纹钢丝轧辊

中图分类号: TF125.3⁺2; TG333.17 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-196X (2003) 05-0042-04

The use of steel bonded tungsten carbide by electroslag melting and casting for roll of the screw thread steel

YOU Xian-qing¹, ZHU Xiao-yong¹, CHEN Jiu-bang¹,
ZHENG Yu-chun¹, MA Jian-guo², HUANG Man-ping²

(1. Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. Anhui Building Engineering College, Hefei 230022, China)

Abstract: A new kind of steel bonded tungsten carbide was made by means of electroslag melting and casting, taking waste powder metallurgy steel bonded carbides for raw material. This material has been used to make the roll for the screw steel wire. The results show that this material has many advantages, such as dense microstructure, high strength, toughness and wearing resistance. The roll from this material has a low cost and long life time.

Key words: electroslag melting and casting; steel bonded tungsten carbide; roll of screw thread steel

1 前言

小直径螺纹钢丝是目前市场正积极推广应用的一种新型建筑钢材。生产螺纹钢丝的冷轧机的关键部件是轧辊, 由于服役条件十分恶劣, 轧辊的寿命不高, 用普通合金钢制做的轧辊工作寿命在 30~50 t 左右, 主要是磨损超差失效。90 年代初期开始研制粉末冶金碳化钨基钢结合金轧辊^[1], 以满足轧辊对耐磨性高的要求。但是粉末冶金碳化钨基钢结合金轧辊的制作成本高 (约 200~300 元/kg), 材料利用率不高, 尤其是这类合金中的硬质相与钢基体相结合不坚固^[2], 轧辊易发生横向断裂, 使其高耐磨性不能充分发

挥。90 年代中期, 笔者与沈阳工模具研究所合作研制用废弃的碳化钨钢结合金作原料, 采用电冶熔铸工艺法生产新型的电冶碳化钨钢结合金, 在徐州市某轧辊厂的协助下, 将这种新材料用在 Y 型轧机的钢丝轧辊上, 取得了良好的效果。但是, 电冶碳化钨基钢结合金的制作工艺有待进一步优化, 而合金中的某些组织缺陷也需改善。

2 电冶碳化钨钢结合金的制备

选择废弃的粉末冶金碳化钨钢结合金和中碳含 Cr、Mo、Ni 合金元素的合金钢料作原料, 采用中频电炉和电渣炉等设备, 采用电冶熔铸工艺制备电冶碳化钨钢结合金 (以下简称电冶合金), 控制所制合金的成分 (%): WC 40, Cr 0.80, Mo 1.70, Ni 0.5, 其余为 Fe。

收稿日期: 2003-05-27

基金项目: 安徽省教育厅自然科学基金重点资助项目
(2003KJ016ZB)

作者简介: 尤显卿 (1950-), 男, 合肥工业大学, 副教授。

3 电冶金合金的原始组织和性能

电冶金合金的原始态硬度 HR56~52, 用无缺口、尺寸为 55 mm×10 mm×10 mm 的冲击试样测得的冲击韧度 a_K 为 4.42~4.80 J/cm²。用尺寸为 35 mm×5 mm×5 mm 的抗弯试样测得的抗弯强度 $\sigma_{bb} = 1\,438$ MPa。分析合金的宏观组织缺陷发现, 孔隙度小于 0.1%, 比粉末冶金钢结合金致密度高, 而且也未发现脏孔及游离态石墨。图 1 为合金的金相显微组织, 可见白色条块状的硬质相碳化钨较均匀地分布在暗色钢的基体中, 这些硬质相所占面积百分数超过 50%。另外, 合金的铸态组织明显, 出现细长条状和细鱼骨网络状等不良形态的碳化物。合金中的增强体 WC 颗粒的显微硬度保持在 2 400 HV 左右, 熔点 2 780℃, 密度 15.7 g/cm³, 几乎完全能被高温钢铁熔液所润湿, 所以 WC 颗粒能很好地与钢基体实现冶金结合。但是在电冶熔铸过程中, 由于 WC 颗粒与钢基体之间要发生相互溶解及析出过程, 故 WC 颗粒可以被溶解, 甚至被解体 (图 2), 使其周围液相中含 W 量增高, 在冷却过程中原位析出棒状结晶体, 而在远离 WC 颗粒的基体中析出网状复式碳化物^[3]。经 X 射线衍射分析可知, 合金中各相组成物为: α -Fe、WC、Fe₃WC₃ 及 Fe₃C。

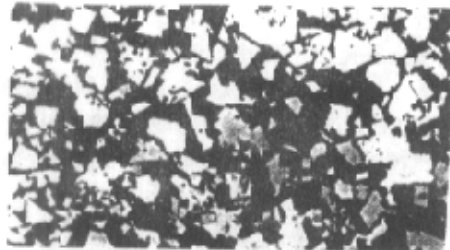


图 1 电冶金合金的原始态显微组织 (300×)

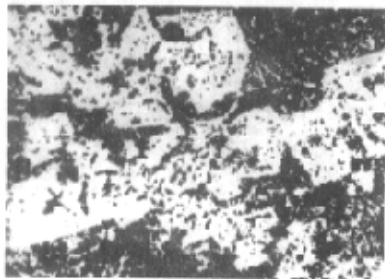


图 2 被解体的 WC 颗粒 (300×)

4 经退火处理的电冶金合金组织和性能

众所周知, 对原始态材料进行退火处理的主要目的是降低硬度, 提高材料的锻造性能和可切削加工性能, 获得比较稳定的组织结构。实验发现, 退火处理对改善所研制的电冶金合金的不良组织结构意义重大。图 3 为经 880℃ 加热 2 h, 再 740℃ 等温 8 h 后合金的显微组织照片。由图可见, 合金中的硬质相碳化物的形态及数量均发生了较大的变化。大块状组织物“碎化”; 长条状组织物首先“破断”, 然后几乎全部溶入到钢的基体中; 钢基体为细珠光体, 粒状与片状混合, 以片状为主。但是本试验所采用的退火工艺未能将网状碳化物消除, 说明该碳化物较前二种稳定。从图 4 原始态合金的冲击断口扫描照片可见, 大块状和长条状碳化物是合金的主要断裂源, 退火处理后合金组织的变化消除了主要的断裂源, 使合金的韧性增加, 冲击韧度 a_K 升至 7.46 J/cm²; 硬度降至 HRC40 左右, 而且硬度值的分散度也小, 性能趋向均匀化。

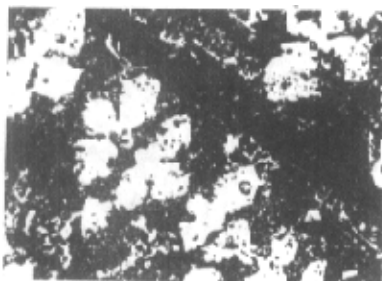


图 3 退火态电冶金合金的显微组织 (300×)

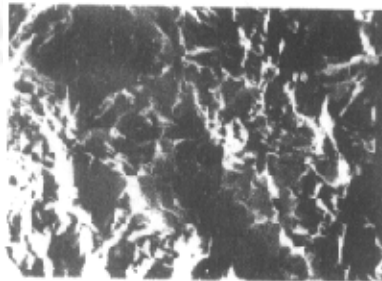


图 4 原始态电冶金合金的冲击断口形貌

5 锻造改形形成辊片

对退火态的电冶金合金用 0.3 t 锤进行锻造改形实验, 发现只要控制好锻造加热工艺规范, 掌

握锻打要领,就能得到所需形状。更重要的是经充分锻造后合金内部的硬质相碳化物形态和分布状况得到很大的改善,使其呈细小颗粒状且较均匀分布在钢的基体中(图5)。锻造过程中,在高温多次反复的受力条件下,大尺寸的碳化物颗粒得到进一步“碎化”,骨骼网状碳化物“断网”,且随钢基体相的塑性流变而倾向均匀分布,锻造后再经退火处理的合金硬度值分散度又得到进一步降低,在HRC36左右;冲击韧度 a_K 升至 11.50 J/cm^2 ,抗弯强度 $\sigma_{bb} = 1\,980 \text{ MPa}$;钢基体组织为球状光体。电冶钢结合金必竟是属于脆性材料,原始态合金的组织形态也不利于锻造,而且锻造温度窄(仅 20°C 左右),稍有不慎,就会出现开裂现象。所以锻造时要熟练工方能操作,坯料采取二级预热法:一级预热温度为 $500 \sim 550^\circ\text{C}$,保温 2 min/mm ;二级预热在 $800 \sim 850^\circ\text{C}$,保温 2 min/mm 。加热温度选择在 $1\,180 \sim 1\,210^\circ\text{C}$,始锻温度 $1\,150 \sim 1\,200^\circ\text{C}$,终锻温度 $950^\circ\text{C} \sim 1\,000^\circ\text{C}$ 。由于该合金的变形抗力大,应采取“轻-重-轻”锻造法^[4]。



图5 锻造退火态电冶合金的显微组织(300×)

6 辊片的机械切削加工

对电冶钢结合金锻造毛坯料再进行退火处理,可进行车、铣、钻、磨等各种机械切削加工。实验表明,该合金具有自己的切削加工特点:车削选用硬质合金车刀,例如YG6、YG8等,车外圆机床转速 $100 \sim 200 \text{ r/min}$;进给量 $0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$;在内孔,转速应慢,取 $50 \sim 100 \text{ r/min}$;车削应在干态下进行。铣削时,宜采用逆铣法,干态铣削。铣刀主偏角 $70^\circ \sim 80^\circ$,前角 $6^\circ \sim 8^\circ$,刃倾角 $3^\circ \sim 4^\circ$,后角 $4^\circ \sim 6^\circ$ ^[5]。磨削时,最好采用人造金刚石砂轮磨削,并用亚硝酸水溶液或其它乳化液冷却;进给量要小,可以磨到精确尺寸,或留微量余量;磨削后应把工件放在低

温回火炉中 150°C 左右保温 $2 \sim 3 \text{ h}$ 。钻孔也要求钻机转速慢,进刀量要小,多退刀,不能“硬钻”。图6为加工好的辊片。

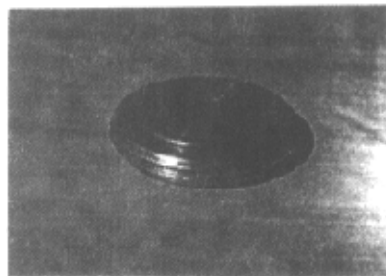


图6 机械切削后的辊片

7 辊片的热处理

对加工好的辊片淬火处理先用箱式电阻炉预热,再用高温盐浴炉淬火加热。预热温度 $500 \sim 550^\circ\text{C}$,保温时间 2 h ;淬火加热温度为 $1\,000^\circ\text{C}$,保温时间为 $1.2 \sim 1.5 \text{ min/mm}$,在10#机油中冷却,淬火后的轧辊硬度HRC67~68;显微组织为隐晶马氏体和较多的未溶二次碳化物,还有部分残余奥氏体,在淬火实验中发现,由于合金中存在大量的硬质相,阻碍了淬火加热时奥氏体的形成与长大,提高了奥氏体形成温度,使合金具有过热敏感性小的特点,所以淬火加热温度还可以适当提高。回火是在井式电阻炉中进行的,由于合金的硬度是随回火温度的升高而降低的,而轧辊是在室温下有冷却液的作用条件下工作的,为了使其具有高硬度和高强度,我们选择了 200°C 的回火温度,图7为回火后的金相组织,主要机械性能为:硬度HRC64~66,冲击韧度 $a_K = 9.72 \text{ J/cm}^2$,抗弯强度 $\sigma_{bb} = 1\,800 \text{ MPa}$ 。



图7 电冶合金的回火态显微组织(300×)

将经上述热处理后的轧辊进行微量磨削到最终尺寸后,在其端部的工作表面上刻制螺纹纹后再进行一次去除机械应力 180°C 保温 4 h 的终回

火处理。

8 轧辊的寿命试验

将制好的三片轧辊在 Y 型轧机上装机后, 轧制 $\phi 5$ mm 螺纹钢, 钢丝表面光洁度优于合金钢轧辊所轧制的钢丝, 工作寿命到 300 t 后轧辊表面磨损量甚微, 未发现像粉末冶金钢结合金轧辊出现崩齿现象。但是超过 350 t 后, 轧制出的钢丝表面有“拉毛”现象, 这一问题有待进一步研究。

9 结论

用废弃的粉末冶金钢结合金作原料, 采用电冶熔铸工艺生产出一种新型的硬质工模材料电冶钢结合金。该材料生产成本低, 周期短, 可制作大体积工件。用该材料所制成的冷拔轧螺纹钢轧辊的硬度达 HRC64~66, 冲击韧度 a_K 达 9.00~10.00 J/cm², 抗弯强度 σ_{bb} 达 1 900 MPa, 虽然与粉末冶金钢结合金轧辊的力学性能相当, 但由于电冶钢结合金中的硬质相与钢基体相实现了冶金结合, 没有明显的相界面, 故裂纹不易在两

相界面处生成。即使有微裂纹生成, 也不易扩展。另外, 电冶钢结合金宏观缺陷少, 组织致密; 从微观组织上看, 虽然钢基体上分布着鱼骨状碳化物, 但它们非常细小, 对材料的韧性破坏不大, 相反强化了钢基体, 使其抗磨损性能显著提高; 而破坏合金韧性的碳化物粒子“桥接”现象又未发现。这些显微组织上的特点使电冶钢结合金轧辊的使用寿命高于粉末冶金钢结合金, 产生了良好的效益。

参考文献:

- [1] 尤显卿. 钢结硬质合金轧辊产生破裂原因的研究 [J]. 金属制品, 1993, 19 (1): 23-28
- [2] 游兴河, 李晓明, 施绍明. WC 系钢结硬质合金断裂机制的研究 [J]. 粉末冶金技术, 1988, 6 (3): 141-146.
- [3] 宋延沛, 李秉哲, 王文火等. WC 颗粒增强铁基复合材料辊环的研究 [J]. 机械工程学报, 2001, 37 (11): 99-102.
- [4] 尤显卿, 王基才, 郑玉春等. 铸造 WC/钢复合材料的锻造研究 [J]. 热加工工艺, 2002, (6): 40-42.
- [5] 工荣滨, 平慈, 钢结硬质合金模具冷热加工工艺研究 [J]. 硬质合金, 1992, 9 (2): 102-105.

(上接第 37 页)

4.2 输送机的输送速度具有一定的稳定性

如图 6 所示, m_1 为振动框架的质量, m_2 为物料的质量, m_2 在 $0 \sim m_1/3$ 之间取一系列值。可以看到, 随着物料质量的增加, 输送速度有小幅减少, 其减小量大约为最大输送速度的 12%。在实际输送过程中 $m_2 \ll m_1$, 因此当物料的输送量有所变化时, 输送速度变化不大, 输送机的输送速度具有一定的稳定性。

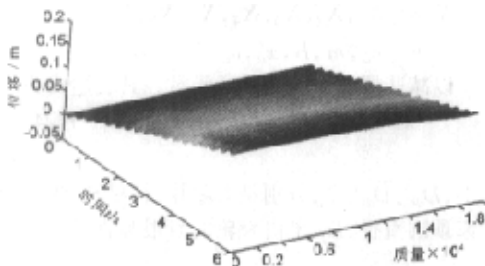


图 6 物料输送量对输送速度的影响

参考文献:

- [1] 倪振华, 振动力学 [M], 西安: 西安交通大学出版社, 1990.
- [2] 成大先, 机械设计手册 [S], 第 3 卷, 北京: 化学工业出版社, 1993.
- [3] 哈尔滨工业大学理论力学教研室, 理论力学 [M], 北京: 高等教育出版社, 1996.
- [4] Y. G. Long, K. Nagaya, and H. Niwa. Vibration conveyance in spatial-curved tubes [J]. Transactions of the ASME: Journal of Vibration and Acoustics, 1994, 116 (1).
- [5] J. G. Tseng and J. A. Wickert. Vibration of an eccentrically clamped annular plate [J]. Transactions of the ASME: Journal of vibration and acoustics, 1994, 116 (2).