

低碳中合金钢破碎机锤头的研制

周鹏, 刘兰俊, 王辉, 刘建升, 张其飞

(合肥工业大学 材料科学与工程学院, 合肥 230009)

摘要: 研究了一种新型的破碎机锤头, 对其采用合金化处理并经过热处理, 实验表明: 该低碳中合金耐磨钢的硬度大于 51HRC, 冲击韧性大于 141 J/cm^2 。经热处理后的显微组织为回火马氏体+残余奥氏体+弥散的碳化物, 比高锰钢破碎机锤头性能有很大提升。

关键词: 破碎机锤头; 热处理; 马氏体; 力学性能

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2013.01.020

中图分类号: TG142.72

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2013)01-0078-03

Study on the Crusher Hammer with Low Carbon and Medium Alloy Steel

ZHOU Peng, LIU Lan-jun, WANG Hui, LIU Jian-sheng, ZHANG Qi-fei

(Material Science and Engineering College, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: A new crusher hammer was made. The composition was optimized by alloying and then it experienced heat treatment technology. The results were as follows, this low carbon and medium alloy steel has good properties. The hardness of the steel is HRC >51, impact toughness is $ak > 141 \text{ J/cm}^2$. After heat treatment the microstructure composed of the mixture of tempered martensite, a small amount of residual austenite and carbide dispersion. Compared with the crusher hammer produced by high manganese steel, the properties were greatly improved.

Key words: crusher hammer; heat treatment; martensite; mechanical property

在冶金、矿山、电力、建材和机械等行业中, 耐磨材料都是在极其恶劣的条件下服役的。作为破碎各种物料的破碎机锤头, 在破碎物料过程中会承受很大的冲击力以及物料对表面的挤压, 特别是矿石材料颗粒尖锐的部分, 会直接刺入破碎机表面并将材料推向两旁或者前缘, 从而造成很大的磨损。由此, 制备破碎机锤头的材料必须具有较大的抗冲击力, 防止断裂, 而且需要具有较高的硬度, 防止材料发生大的塑性变形而形成犁皱^[1]。

1 破碎机锤头

在 20 世纪 70—80 年代, 破碎机锤头普遍采用

奥氏体高锰钢材质, 它的特点是组织为经过水韧处理的奥氏体, 韧性值较高, 一般能达到 200 J/cm^2 以上, 但硬度值特别低。在面对较高冲击时, 能够发生加工硬化, 使得材料的硬度值得到较大程度的提升; 在中小冲击工况下, 由于加工硬化程度低, 硬度很低, 使得材料的耐磨性能非常差。近年来, 低中合金钢作为耐磨材料的应用越来越广泛, 人们也努力研究各种铸造工艺和热处理工艺以得到材料的最佳性能。文中以低碳中合金钢为对象, 研究热处理工艺对其结构和显微组织的影响, 充分发挥材料的力学性能, 为破碎机锤头的使用提供参考。一般破碎机锤头的尺寸如图 1 所示^[2]。

收稿日期: 2012-06-10

作者简介: 周鹏(1984—), 男, 湖北宜昌人, 硕士研究生, 主要研究方向为先进材料制备及其性能研究。

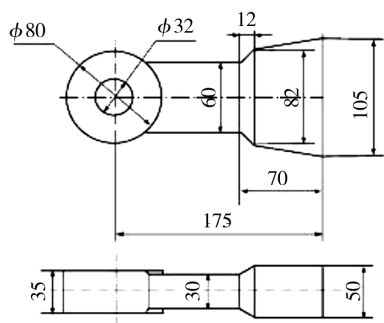


图1 破碎机锤头尺寸

Fig. 1 Size of crusher hammer

2 实验材料

为了得到较好性能的新材料,首先要对钢进行合金化,以提高其淬透性,降低奥氏体化温度,以得到更多的奥氏体,从而在奥氏体转变过程中得到更多的马氏体,极大地提高钢的硬度,细化晶粒,并对回火稳定性和回火脆性有很大影响^[3]。

1) 碳。碳含量直接影响到材料的硬度和韧性,当碳含量过低时,材料的淬透性差,韧性较高,硬度低不耐磨;反之则硬度高韧性差,材料易断裂。碳的质量分数的多少还影响到奥氏体的形成以及基体的硬度。综合考虑选择碳质量分数在 0.25% ~ 0.35% 较为合适。

2) 铬。铬是一种强的碳化物形成元素,特别是 Cr_7C_3 对提高耐磨性有很大帮助,它易与碳形成难溶于奥氏体的合金碳化物,从而减缓奥氏体的形成速度,而碳化物形成元素也能阻碍晶粒长大。另外能显著提高钢的淬透性和回火抗力。确定铬的质量分数在 6.5% ~ 7.0%。

3) 硅、锰。Si 能抑制碳化物析出,并使 C 曲线右移,可阻止转变过程中发生珠光体转变;同时 Si 能延缓回火时碳化物晶核的形成和长大,提高钢的抗回火软化能力,防止因使用温度升高引起碳化物析出,硬度降低;Si 还能使铁素体强化,在韧性不降低的情况下,提高金属材料的耐磨性。Mn 能减缓珠光体转变时合金渗碳的形核长大,同时它又扩大了 $\gamma \rightarrow \alpha$ 的转变程度,故高的锰含量可有效提高奥氏体的稳定性。它和 S 很容易发生反应生成 MnS ,从而降低了硫的有害作用。确定 Si 的质量分数为 0.8% ~ 1.0%, Mn 的质量分数为 0.8% ~ 1.0%。

4) 钼、镍、钒。Mo 能提高材料的热强性,防止回火脆性,在提高基体耐磨性的同时改善韧性。Ni 可改变钢种位错滑移特点,使位错易绕过某些障碍,避免产生大的应力集中,从而提高基体的韧性。V 是强碳化物形成元素,能有效地细化奥氏体晶粒。少量的钒在加热时可溶入奥氏体中,增加钢的淬透性和提高回火稳定性。确定 Mo 的质量分数为 0.4% ~ 0.5%, Ni 的质量分数为 0.6% ~ 0.8%, V 的质量分数为 0.4% ~ 0.5%。

5) 磷、硫。P, S 在耐磨钢中一般是有害元素,在钢中易形成晶界夹杂物,造成晶粒长大以及应力集中,增大钢的脆性,因此要将其值尽量降低。考虑到净化它们会大大提高材料的成本,故而确定 P 的质量分数 < 0.03%, S 的质量分数 < 0.03%。

3 试样制备

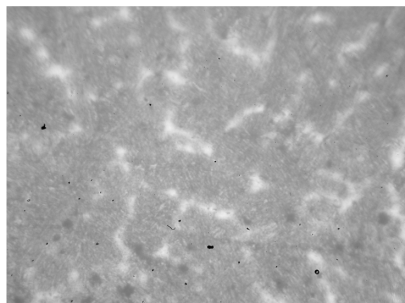
试验采用中频无芯感应电炉,将废钢、生铁、铬铁、镍、钒铁以及钼铁依次加入,在钢液熔化程度达到 90% 以上后加入钛铁和稀土对其进行复合变质处理,以达到净化钢液,增加非自发形核核心,细化铸态晶粒,使夹杂物分布更加均匀的目的。在钢液出炉前几分钟加入锰铁和硅铁对其进行脱氧处理,然后插铝终脱氧。钢液出炉温度为 1600 ~ 1650 °C,出炉后浇注成楔形试块。同时对浇注的材料取样打磨后用光谱分析仪分析其成分,经分析铸态试块成分和设计的试样成分基本符合。

4 热处理工艺及性能分析

4.1 淬火工艺与性能

材料的铸态组织为基体硬度不高的珠光体,且晶粒非常粗大,强韧性不足。材料经过硝酸(硝酸的质量分数为 4%)酒精溶液腐蚀后在 VHX-600K 型金相显微镜上观察到的铸态金相显微组织如图 2 所示。

由图 2 可以看到大量的魏氏体组织,晶粒内成分分布不均匀。由于浇注时温度梯度的影响造成了粗大树枝晶广泛分布,因而材料的性能很差,需要进行热处理。

图2 铸态组织($\times 400$)Fig. 2 As-cast microstructure($\times 400$)

钢的临界温度通过经验公式^[4]和材料的 DSC 实验切线法分析确定为 A_{c3} 在 $820\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,一般奥氏体化温度要高于 $A_{c3}90\sim 120\text{ }^{\circ}\text{C}$,取奥氏体化温度分别为 $920, 940, 960, 980, 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$,在 SSX-16-13 箱式电阻炉内进行热处理,保温 3 h 后在 10% PQL 淬火液中进行淬火处理,完成后对其表面进行打磨。然后在 HR-150A 型洛氏硬度计上完成硬度测试,硬度为 6 个点的平均值。不同奥氏体化温度热处理下的硬度平均值分别为 $43.8, 46.2, 53.5, 51.9, 49.7\text{ HRC}$ 。由此可以看出,奥氏体化温度在 $960\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下时,材料的硬度随温度的升高而升高;反之材料的硬度逐渐降低。原因是在较低的奥氏体化温度时,组织没有完全转变为奥氏体,导致淬火后组织中仍残留有部分铁素体,使得材料的硬度值不高。在 $960\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $980\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,材料的奥氏体化完全,试样的组织非常均匀,在淬火后完全转变为淬火马氏体,基体组织很硬。奥氏体化温度为 $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,过热度太大,使奥氏体形成速度加快,奥氏体形核后迅速长大,先长大的奥氏体晶粒与后长大的奥氏体晶粒尺寸不一致,且它们内部的合金成分也不相同,使得淬火后的马氏体组织性能很差。由于奥氏体组织比容小,温度过高时,其在淬火转变为马氏体时体积急剧膨胀,造成很大的残余应力,使得试样组织变形和开裂。综上所述,其奥氏体化温度范围应为 $960\sim 980\text{ }^{\circ}\text{C}$,最终,选取材料的奥氏体化温度为 $960\text{ }^{\circ}\text{C}$ 进行分析。

4.2 回火工艺与性能

材料经过淬火后,内部应力较大,韧性不足,需要对其进行相应的回火处理,使不稳定的组织转化为稳定的组织。选取 $220, 250, 280, 310\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等 4 个回火温度,回火保温 4 h 后空冷至室温。热处理结束

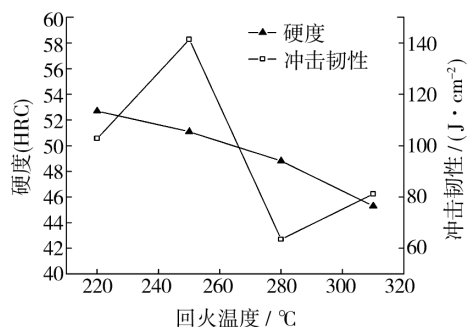
后将试样打磨成 $10\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 55\text{ mm}$ 的标准冲击试样,冲击韧性测试参照 GB 229-63《金属常温冲击韧性试验方法》在 JB-300 摆锤式冲击试验机上进行^[5]。经过硬度和韧性测试后,试样的力学性能见表 1,其中冲击韧性值为 3 个试样的平均值。

表1 耐磨钢性能数据

Tab. 1 Mechanical properties data of wear resistant steel

回火温度/ $^{\circ}\text{C}$	硬度 HRC	冲击韧性/ $(\text{J}\cdot\text{cm}^{-2})$
220	52.7	102.8
250	51.1	141.4
280	48.8	63.5
310	45.3	81.2

由表 1 中可以看出,回火后材料的硬度下降很少,表明钢的回火稳定性很高。硬度呈缓慢下降的趋势,而韧性先增加后减小再增加。这主要是由于回火温度较低时,马氏体分解析出弥散的 ε 碳化物,随温度的升高淬火马氏体逐渐转变使得韧性值增大。当温度继续升高时,由于合金含量较高造成 M_s 和 M_f 点下降,相当于部分马氏体在这个过程中由于温度较高而在冷却时部分转化为贝氏体,形成马/贝晶粒并逐渐长大,冲击韧性值降低,并且在回火温度进入第一类回火脆性区内时,材料的韧性值急剧下降。在材料温度进一步上升时,材料跳出脆性区后韧性值又有一定程度的上升。 $960\text{ }^{\circ}\text{C}$ 淬火时不同回火温度对材料力学性能的影响曲线如图 3 所示。

图3 $960\text{ }^{\circ}\text{C}$ 淬火时不同回火温度对材料力学性能的影响Fig. 3 Mechanical property of material with quenching at $960\text{ }^{\circ}\text{C}$ and different tempering temperatures

由此可见,耐磨钢材在 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时综合力学性能较好,硬度值为 51.1 HRC ,韧性值为 141.4 J/cm^2 。

(下转第 84 页)

点检查。

2) 维修中不要忽视一些最简单、最基本的环节,包括连接线的通断,接插头是否牢固可靠以及传递信号的基本元器件是否正常工作,通常一些故障是由最简单的问题所引发的。

3) 某些元器件冷态下测量是正常的,但其热性能已变坏,加电就不能正常工作。当维修陷入困境时,要分析某些元器件的热性能是否变坏。

参考文献:

- [1] 莫正康. 半导体变流技术[M]. 北京:上海机械高等专科学校,2002:48-56.
- [2] 雷丽文. 微机原理与接口技术[M]. 北京:电子工业出版社,1998:26-32.
- [3] 徐灏. 机械设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,2006:30-35.
- [4] 康华光. 电子技术[M]. 北京:高等教育出版社,2004:12-20.

(上接第36页)

- [6] HITOSHI A, SHOJI T, NAGASA S, et al. Solder Powder Flux Solder Paste Soldering Method Soldered Circuit Board and Soldered Joint Product [P]. United States 0046627 A1, 2002-04-25.
- [7] 王伟科, 赵麦群, 王娅辉, 等. 助焊剂活性物质的制备与研究[J]. 电子元件与材料, 2005, 25(3): 33-36.
- [8] HITOSHI A, SHOJI T, NAGASA S, et al. Flux for Solder Paste [P]. United States, 0200836 A1, 2003-10-30.
- [9] YOON J W, LEE Y H, KIM D G, et al. Intermetallic Compounds Layer Growth at the Interface Between Sn-Cu-Ni Solder and Cu Substrate [J]. Journal of Alloys and Com-

pounds, 2004, 381: 151-157.

- [10] 韩宗杰, 鞠金龙, 薛松柏. 半导体激光软钎焊 Sn-Ag-Cu 焊点微观组织[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2006, 37(2): 229-234.
- [11] 刘筠, 何秀坤. 免清洗液态助焊剂标准的技术要点[J]. 规范与标准化, 2002, (6): 51-54.
- [12] WU Y, AEES S J, Pouraghabagher C, et al. [J]. Electron. Mater, 1993, 22(7): 769.
- [13] 上官东恺. 无铅焊料互联及可靠性[M]. 刘建影, 孙鹏, 译. 北京:电子工业出版社, 2008: 40-41.

(上接第80页)

该热处理状态下的金相显微组织如图4所示,其组织为板条状马氏体+残余奥氏体+少量弥散的碳化物。可以看出,相对于铸态组织,粗大的树枝晶消失,夹杂物的尺寸较小而且分布均匀,薄膜状的残余奥氏体分布于马氏体板条间,能显著提高韧性。

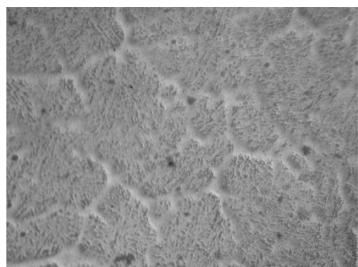


图4 960 °C 淬火、250 °C 回火温度下的金相组织

Fig.4 Metallographic structure of material with quenching at 950 °C and tempering at 250 °C

5 结语

1) 实验耐磨钢的淬透性很强,回火稳定性较

好,在 250 °C 到 310 °C 之间回火时,硬度值下降较少。材料的金相组织为回火马氏体+残余奥氏体+弥散的碳化物。

2) 材料在经过 960 °C 淬火 3 h, 250 °C 回火 4 h 的热处理工艺后综合力学性能最佳,硬度超过 51HRC,韧性值大于 141 J/cm²,完全满足现有物料磨损的工况要求,可以在绝大多数冲击状态下使用。

参考文献:

- [1] 符寒光, 邢建东. 耐磨铸件制造技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2009: 5.
- [2] 范春起, 王忠民. 低合金耐磨钢破碎机板锤的研究[J]. 铸造技术, 2006, 28(9): 931-934.
- [3] 崔占全, 王昆林, 吴润. 金属学与热处理[M]. 北京:北京大学出版社, 2010: 314-322.
- [4] 林惠国, 傅代直. 钢的奥氏体转变曲线-原理、测试与应用[M]. 北京:机械工业出版社, 1988: 15-18.
- [5] 张细菊, 吴润, 夏先平, 等. 低铬耐磨铸铁球组织及性能研究[J]. 武汉冶金科技大学学报(自然科学版), 1997, 20(1): 49-53.