

中铬奥氏体合金抗冲击磨损堆焊材料*

孟庆森 刘满才 阴生毅
(太原理工大学)

姚全富
(平朔煤炭工业公司)

摘要 针对高应力磨粒磨损工况条件研制的中铬 C-Cr-Mo 系奥氏体合金堆焊材料 FAW 焊条, 具有焊接工艺性好、堆焊金属抗裂性好和加工硬化率高的特点, 是替代奥氏体锰钢的理想焊接材料。通过对该材料的硬化和磨损性能及其机理的试验研究, 探讨了合金的冷作硬化及冲击磨损的一般规律。硬化机制以形变强化与碳化物析出强化为主, 磨损形式以塑性齿削式去除为主。

关键词: 冲击 磨粒磨损 堆焊 奥氏体合金

0 序 言

为提高耐磨合金材料的系统耐磨性能, 即在一定工况条件下的最佳适应性, 要求材料不仅具备表面硬度, 且要具备较高的强度和韧性, 以提高抵抗高应力脆性断裂的能力^[1, 2]。目前广泛使用的高锰钢材料具有较强的加工硬化性能, 但由于其铸态组织为单相奥氏体, 堆焊金属的柱状晶界易产生网状碳化物, 抗裂性较差。高锰钢材料焊接时的锰烟尘大, 而高铬合金铸铁堆焊材料抗冷裂性能较差, 加工工艺复杂, 均不利于工程机械磨损失件焊接修复的大面积应用^[3]。

本文针对一种适应强烈冲击的工况条件、具有高抗磨性和抗裂性的堆焊材料 C-Cr-Mo 中铬合金的加工硬化和抗磨机理进行对比试验和研究, 在此基础上探讨了提高该类堆焊材料的综合性能的合金化条件。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

试验焊条采用自行研制的 FAW 焊条、D607 堆焊条及美国林肯公司 Abrasion Weld (ABW) 焊条、D256 焊条, 规格均为 4.0mm。

试制焊条 FAW 采用 H08A 焊丝, 大理石—萤石—石墨型药皮。药皮中主要合金剂为高碳铬铁、中碳锰铁、钛铁、硅铁、钼铁等; 稳弧造渣剂除石墨、大理石、萤石外还加入铝粉、碳酸钡、碳酸钾、碱面等。各堆焊金属的主要化学成分及焊后表面平均硬度列于表 1。

堆焊试板为 A3 钢及经水韧处理的 ZGMn13 钢板 (200mm×150mm×20mm)。

表 1 堆焊金属化学成分(%)及表面硬度

Table 1 Composition and hardness of hardface metals

Electrodes	C	Cr	Mo	V	Ti	W	Si	Mn	P	Fe	H _a (HRC)
FAW	1.5	5.1	1.3	0.5	0.5	—	0.5	2.2	0.03	balance	33
ABW	2.1	6.5	0.4	—	—	—	0.75	1.1	0.01	balance	28
D256	0.6	—	—	—	—	—	0.25	14.1	0.03	balance	18.5
D607	1.8	2.3	—	0.6	—	3.0	0.5	1.2	0.01	balance	56

* 本文是平朔煤炭工业公司 1997 年攻关项目, 参加本研究工作的还有华北工学院的刘斌。

1.2 试验方法

各堆焊材料分别进行焊条工艺性能及抗裂性对比试验、堆焊金属的抗冲击磨损试验及硬化层组织的微观分析。

(1) 焊条工艺性及抗裂性试验采用平板单道多层堆焊, 直流电源(HGX-400 焊机)反极性。焊后对堆焊金属层做低倍放大镜表面观察及磁粉探伤, 检验焊道的裂纹情况。

(2) 堆敷金属抗磨性试验采用 MD-10 型动态磨损试验机, 冲击载荷 $1.0 \sim 2.0\text{J}$, 对几种材料的抗冲击磨损性能进行对比试验。试件尺寸见图 1 所示。试验用磨料采用粒度为 25 目的石英砂。

(3) 对磨损试验后的试样进行失重测量、表面硬度测量, 采用光镜和电镜对硬化组织进行显微分析。对比分析各材料的加工硬化率受磨损时间、冲击功及合金元素对硬化作用的影响。优选试验焊条用于矿山挖掘机铲斗的修复堆焊, 在实际工况条件下对比材料的抗磨性及适用性。

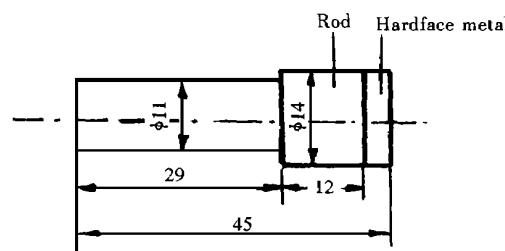


图 1 冲击磨损试样

Fig. 1 Sample of wear test

2 试验结果及分析

2.1 焊条工艺性及抗裂性

焊条工艺性试验表明, 研制的 FAW 焊条焊接电弧稳定, 引弧性好, 飞溅少, 焊缝熔深小, 焊道成形平整光亮, 熔渣薄且易清理, 堆焊层无裂纹。D607 焊条焊后数分钟内即产生开裂声, 主要产生焊道横向裂纹; D256 焊条在高锰钢板堆焊后焊接热影响区及焊道下均产生纵向裂纹(图 2)。FAW 焊条的综合工艺性均优于其它焊条。药皮中加入多量石墨, 高温下升华为气体, 对高温金属形成稳定的 CO 和 CO_2 气体保护层; 石墨良好的导电性有利于引弧和燃弧稳定, 加之药皮中大量的钾、钠、钡元素等低电离物质也保证了焊接过程的稳定性; 另外, 石墨、铝粉在高温下的脱氧和放热也提高了焊条的熔化效率。

FAW 焊条堆焊金属的组织为奥氏体和晶界断续碳化物(图 2), 具有较高的韧性和抗裂性。高锰钢板堆焊试件可发现 HAZ 产生的高温液化裂纹沿奥氏体晶界扩展, D607 及 D256 焊敷层均有不同程度的延伸裂纹, 而 FAW 试件 HAZ 裂纹在熔合区细晶区即终止。焊道及热影响区产生的裂纹主要与焊接拘束应力有关, 焊缝金属塑性越小, 硬度越高则拘束应力越大。FAW 焊敷金属焊后硬度低、塑性较高, 其抗裂性也较好。

2.2 堆焊金属的加工硬化及其抗磨性

堆焊金属的冲击磨损试验结果如图 3 所示。试验表明, 随着冲击次数的增加, FAW 试件表层产生明显硬化, 且在 6000 次之前硬化速率较大。表层硬度由 HRC33 提高到 HRC53 以上; D607 焊层硬度基本不变, 且冲击后表层产生龟裂; D256 与 ABW 焊层变化速率相近, 均低于 FAW 焊层。

磨损试验结果如图 4 所示, 随着加工硬化率的提高, 试件的失重量减小, 抗磨性增高。冲击功大于 2.0J 时, 硬化速率提高。此时, FAW 合金的耐磨性与 D607 相当。

经冲击磨损的焊敷金属表层产生轻微变形, 除 D607 外其它三种奥氏体型堆焊层均可见挤压痕, 表面均有不同程度的犁沟、凿削坑, 而 D607 表面可见密度较大的挤压裂纹(图 5)。

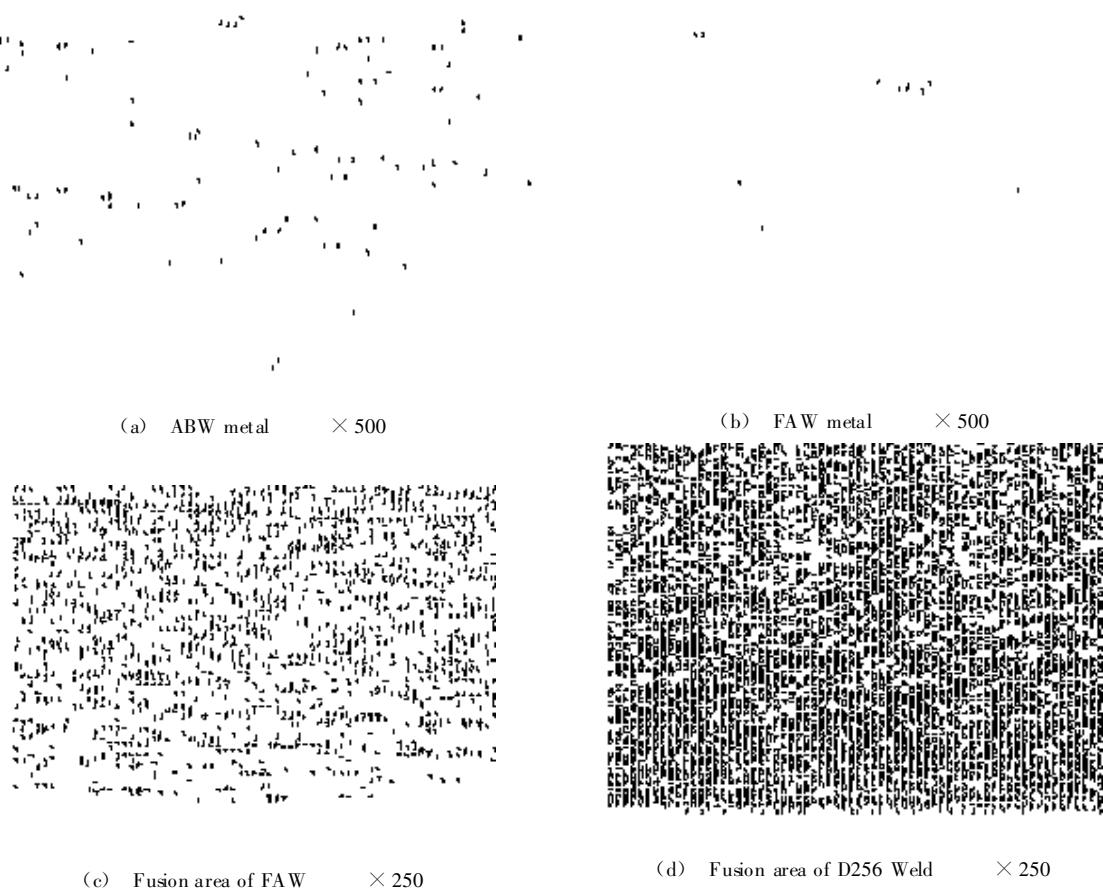


图2 堆焊金属显微组织及熔合区裂纹

Fig. 2 Microstructure of hardface metals and fusion area

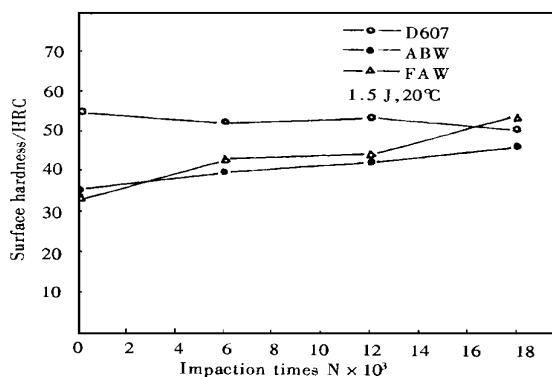


图3 焊敷金属的冲击硬化曲线

Fig. 3 Curve of work-hardening of hardface metals

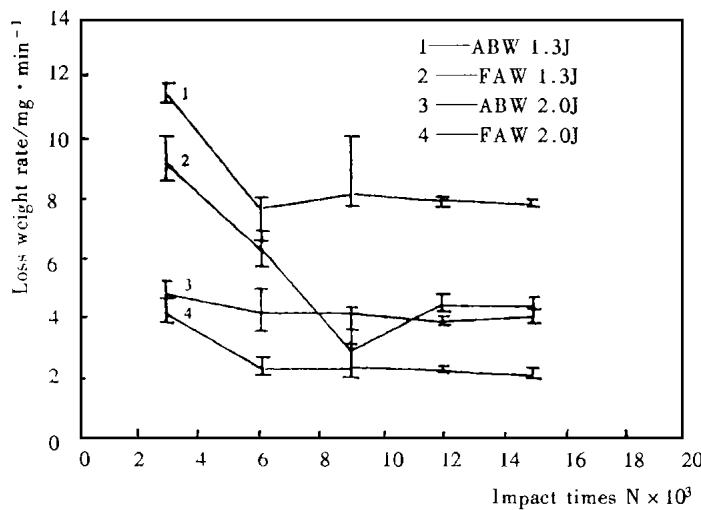


图4 堆敷金属的抗磨性试验结果

Fig. 4 Curve wear resistant test of hardface metals

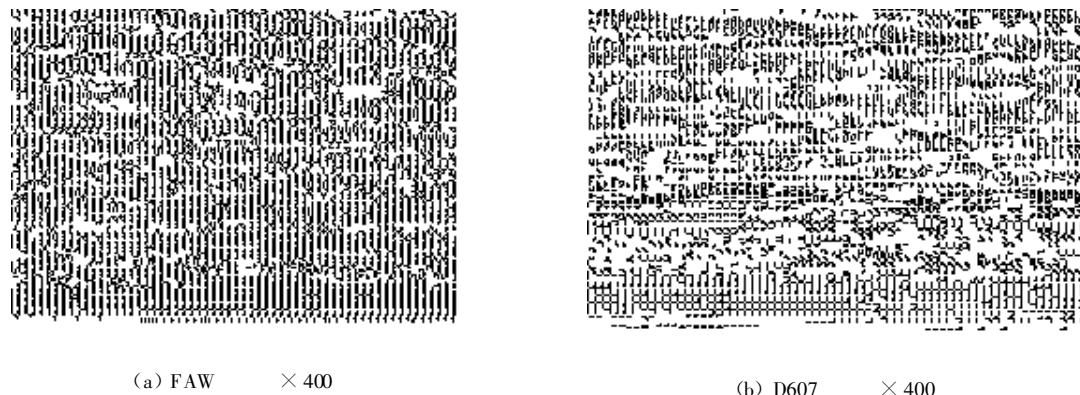


图5 冲击试样的表面形貌 (SEM)

Fig. 5 Surface feature of impact wear sample

由堆敷金属截面的金相组织可见, 近表层组织在冲击力的作用下产生晶界塑性变形, 原方向性很强的柱状晶变为均匀分布的“胞晶”, 局部区域可见变形滑移线。冲击后的奥氏体晶界面积增大且粒状碳化物增多(图6)。冲击后的奥氏体晶内硬度由原 HV313 变为 HV468~HV490, 晶界硬度由 HV618 变为 HV738。

磨损试验的后期(> 2500 次), 在近表面硬化层与非硬化层基体组织之间产生一白色形变硬化层, “白层”宽度约 $5 \sim 10 \mu\text{m}$ 。透射电镜观察该白层是高密度位错区, 并非新生组织(图7)。据文献[4]报导, 高密度位错区的位错密度与材料韧性有关, 当材料韧性较高时, 白层不影响其抗磨性。

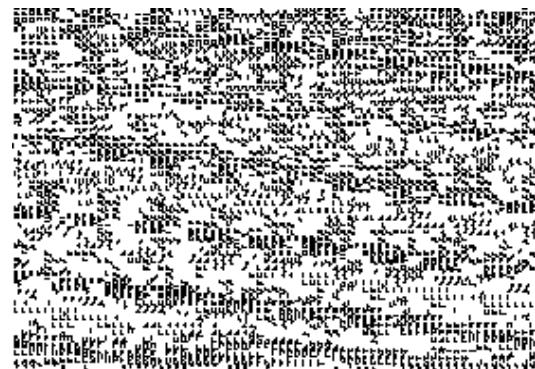
(a) Microstructure $\times 320$ (b) Intergraph details $\times 15000$

图6 冲击硬化组织及晶界细节

Fig. 6 Microstructure of hardened layer and its intergraph details

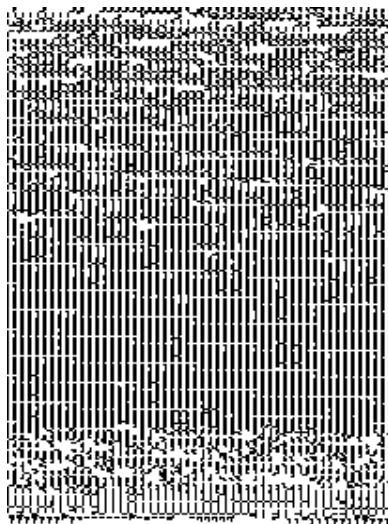
(a) Hardening micrograph $\times 50000$ (b) Dislocations of hardening micrograph $\times 30000$

图7 硬化区组织及其位错群(TEM)

Fig. 7 Microstructure of hardened area and its dislocations

当奥氏体合金材料受到冲击形变后,表层组织产生大量位错缠结、形变孪晶及碳化物沉淀强化^[2,5],形变孪晶界及碳化物对位错运动的阻碍均是材料形变后宏观硬度增大的原因^[2]。而碳化物数量、形态及其分布的变化又对材料抗磨性有着重要贡献。由试验结果可知,FAW合金焊层冲击后的位错密度和碳化物分布均优于其它对比材料。奥氏体强烈的塑性变形导致位错密度大量增加,其晶界及与碳化物和渗碳体界面处的位错塞积一定会产生局部区域内的高应力和强化效应。若组织韧性不足时易产生表层剪切应力作用下的裂纹和剥落,影响材料抗磨性能。

FAW合金处于Fe-Cr-C合金相图的狭窄区域,组织在700℃时为奥氏体加碳化物,急冷到室温时保留为不平衡的奥氏体及共晶碳化物(Fe, Cr, Mo)₃C分布于晶界, M_aC_b 分布于晶内。足够的

铬、钼、钒、钛及碳元素保证合金在动态应变时效的作用下碳化物的进一步析出并在晶界聚集,从而增强硬质相的骨架作用使抗磨性提高。各相区HV值的变化证实了这一点。

试验还表明,合金中加入适量Mo、Ti元素有利于细化晶粒、提高组织韧性和抗裂性。但这些合金元素配比的微小变化可能导致堆焊金属 α 相和 Fe_3C 相的增加,使组织韧性变差和加工硬化率降低。

在试验基础上优化的FAW堆焊合金用于平型安太堡露天煤矿的美制P&H电铲 $24m^3$ 铲斗前齿的修复堆焊并进行实际工况条件下的磨损考核。运行结果表明,FAW堆焊合金的抗冲击磨损性能高于D256焊条和美国ABW焊条堆焊金属的性能,铲斗同期使用寿命提高10%以上。

3 结 论

(1) 中铬奥氏体FAW合金在焊态下为奥氏体加碳化物双相组织,具有较高的韧性、抗裂性及加工硬化性能。研制的FAW焊条操作工艺性好。该材料可用于高应力磨粒磨损的工况条件的高锰钢及中高强度合金钢构件的堆焊,系统抗磨性能优于高锰钢及高硬度堆焊材料。

(2) FAW堆焊金属经强烈冲击磨损后,表层奥氏体组织产生晶界塑性变形,柱状晶方向性减小。高密度位错及碳化物析出和聚集是材料硬化的主要原因,碳、铬、钼、钒等合金元素的合理配比是奥氏体稳定性、材料的韧性及抗磨性的基础。

(3) FAW堆焊金属的磨损去除机理以表面塑性凿削为主,凿削损伤在磨损后期产生,犁切损伤在磨损前期发生。少量形变挤压裂纹及次表层的形变白层不影响材料的抗磨性。

(1997—09—10 收到初稿, 1998—08—17 收到修改稿)

参 考 文 献

- 1 Rigney D A. Wear Resistance Metals Handbook, Edition Vol. 1. ASM, 1985. 597~638
- 2 刘家浚. 材料磨损原理及其耐磨性. 北京: 清华大学出版社, 1993.
- 3 邵荷生. 金属的磨粒磨损与耐磨材料. 北京: 机械工业出版社, 1981.
- 4 杨业元等. 碳钢的高应力冲击磨损行为研究. 摩擦学学报, 1996. 6(2)
- 5 王兆昌. 奥氏体高锰钢综合加工硬化机理. 钢铁研究学报, 1994. 6(1)
- 6 侯增寿. 实用三元合金相图. 北京: 科学出版社, 1982.

Middle Chromium Austenitic Alloy for Hardface Welding of Impact Wear—resistant

Meng Qingsen, Liu Mancai, Yin Sheng yi

(*Taiyuan University of Technology*)

Yao Quanfu

(*Pingshuo Coal Industry Co.*)

Abstract A middle chromium austenitic alloy FAW electrode used for hardface welding of impact wear—resistant has been studied in this paper. It has been shown that the technological property of FAW electrode and crack—resistance are fine and the work hardening rate of its hardface weld is higher than that of manganese steel materials. Base on the work hardening test, impact wearing test and analysis results of their mechanisms, it is shown that the deformation twinning hardening and the dynamic carbide ageing are main forms of the strengthening of FAW alloy, and the chisel cutting is main form of wearing off of the hardaface metal.

Key words impact, abrasive wear, hardface welding, austenitic alloy

作者简介 孟庆森 1950年3月出生,硕士,副教授。现任太原理工大学焊接材料研究所副所长。主要研究方向为焊接材料及金属焊接性,近年来在国内、外发表论文二十多篇,获省、部级科技进步奖二项,获国家发明专利四项。