

HNZ-NZ-P3

-1(2)

P3.6.

第七届全国焊接学术会议 论文集

PROCEEDINGS OF THE 7TH CHINESE NATIONAL
CONFERENCE ON WELDING

第 2 册

1993年6月3日—6日 中国青岛



中国机械工程学会焊接学会

第七届全国焊接学术会议 论文集

PROCEEDINGS OF THE 7TH CHINESE NATIONAL
CONFERENCE ON WELDING

第 2 册

1993年6月3日—6日 中国青岛

江苏工业学院图书馆
藏书章



中国机械工程学会焊接学会

中国机械工程学会焊接学会各专业委员会评审出的第七届全国焊接学术会议A类论文452篇, B类论文292篇。《第七届全国焊接学术会议论文集》收入专题报告5篇、A类论文429篇(不符合制版要求及放弃刊登的论文23篇)和全部B类论文题录, 共分七册出版。除大会专题报告安排在第1册外, 其它各册所包括的专业委员会如下:

第1册: Ia、Ib、Ic、XIX

第2册: II、XI、

第3册: IIIa、IIIb、IIIc、XVI、XVIII、XX

第4册: IXa、IXb

第5册: X、XV

第6册: XIIa、XIIb、XVII

第7册: IVa、IVb、IVc、IVd、V、VIII、XIII、XIV

目 录

II

钛合金激光Pr合金化表面改性(二) —— 提高热稳定性	张志明等	2—1
H08A焊芯Mn-Si-B系耐磨堆焊焊条的研究	王蓬芳等	2—6
TiC-NbC超硬质相耐磨堆焊焊条的研究	顾玉燕等	2—11
机器人专用气保焊丝的研制与性能分析	魏建强等	2—16
含孕育剂W高铬铸铁耐磨堆焊焊条及堆焊工艺研究	王京军等	2—21
1.5Ni低温钢用-80℃焊接材料	唐伯钢等	2—26
DZ-1耐磨堆焊焊条的研制	郑思贵等	2—31
低合金钢用高碱度高韧性超低氢烧结焊剂的研究	薛松柏等	2—36
焊接热循环对10Ni5CrMoV钢组织和性能的影响	尹士科等	2—41
铝对钛微合金化Mn-Ni-Mo系焊丝熔敷金属组织和韧性的影响	谭长琰等	2—46
焊条熔滴短路过渡形态分析	王 宝等	2—51
锰铜基高阻尼合金钎弧焊专利焊丝Mc7301的研制	刘克非等	2—56
焊缝内夹杂物的热力学分析——轻稀土在焊接中的冶金作用	张小诚等	2—61
镀铜焊丝用光亮剂的研究	张 巍等	2—66
熔渣的微观组织结构对焊条脱渣性的影响	孟庆森等	2—71
2Cr13钢与Stellite合金异质接头的性能研究	张忠文等	2—76
-40℃至-80℃低温钢埋弧焊焊缝低温韧性研究	曹进茂等	2—81
钠合金变质高钨堆焊合金组织与性能研究	杨建华等	2—86
钛合金激光Pr合金化表面改性(一)		
——提高抗氧化性及耐磨性	张志明等	2—91
Fe-Cr-Mn-B系耐磨堆焊焊条的研制	徐国建等	2—96
钛对Mn-Ni-Mo系焊丝熔敷金属韧化的影响	张显辉等	2—101
高锰钢端头焊接裂纹研究及焊条研制	郑宏志等	2—106
国产碱性焊条线能量控制程序化研究	杨世杰等	2—111
焊条药皮添加剂对焊条吸湿性影响机理初探	蒋立群等	2—116
80公斤级手弧焊焊缝金属组织及韧性研究	尹宏力等	
受应变SUS316L焊缝在高温液态钠中的腐蚀行为	陈学定等	2—121
50公斤级窄间隙高韧烧结焊剂脱渣性的研究	张尤红等	2—126
Ti-6Al-4V激光Pr合金化处理提高抗微动磨损性能	张志明等	
对SiO ₂ -MgO-TiO ₂ -Al ₂ O ₃ -CaO-CaF ₂ 焊剂渣系		
的研究和开发应用	王宗杰等	2—131
输油输气管线钢X60~X70用低氢型立向下焊条	张蕴之等	2—136

仿LB-62UL焊条多层焊焊缝组织性能与低温韧性	尹宏力等	2—141
HSLA建筑用钢焊接热影响区组织性能的研究	郭久柱等	2—146
二氧化碳气保护焊丝化学镀铜新工艺的试验研究	杜绍芬等	2—150
M-A组元对X70钢埋弧焊缝韧性的影响	李 昕等	
工业搪瓷钢用焊条的研究	尹 玲等	2—155
10Ni5CrMoV钢焊接接头性能研究	王移山等	2—158
手工电弧焊化学冶金中氧的吸入量的研究	康 龙等	2—163
国产结422焊条药皮开裂的研究	蒋成刚等	2—168
Fe-Ni-Si-B-V激光快速熔凝非晶化研究	张志明等	2—173
埋弧焊过程化学冶金因素对硫磷含量影响规律的研究	薛松柏等	2—178
A002和A022超低碳不锈钢焊条研制	张富宜等	2—183
硅对CrNiMoSi双相奥氏体焊缝金属高温裂纹倾向的影响	朱慧珍等	2—188
TEM及X-Ray衍射在高强度HAZ组织精细结构研究中的应用	郭久柱等	2—193
焊接材料信息系统的开发及应用	李连胜等	2—198
E7018-Al电焊条研究及应用	霍建刚	2—203
RS-2耐酸不锈钢焊接板式换热器研制	刘汉刚等	2—208
316L焊缝高温钠腐蚀1000小时的表面膜研究	夏天东等	2—212
低氢型底层专用焊条MK·J506D的研究	张蕴之等	2—216
新型J707Ni焊条的研制	阎 澄等	2—221
Fe-Cr-Ni-Mo系马氏体钢TIG焊接研究	孙敦武等	2—226

XI

加氢弯头自动堆焊技术研究	崔树森等	2—231
异种合金钢焊接接头蠕变断裂研究	叶上云等	2—236
铭铂钢焊接接头沿熔合线蠕变开裂的研究	杨德新等	2—241
各国焊接后热处理标准的剖析及改善现行工艺的探讨	朴东光等	2—246
高硅不锈钢的焊接	孙景荣	2—251
加氢反应器氢剥离问题的研究	李春旭等	2—255
焊接线能量对X52、X60过热区韧性和组织的影响	高惠临等	2—260
天然气输气工程带缺陷焊制螺旋管断裂评定	张宝昌等	2—265
奥氏体不锈钢中变形马氏体组织的消除及焊接探讨	周天锡	2—270
蒸发冷却60MW汽轮发电机冷凝器管板管子异种金属密封焊	徐仁梯	2—275
浅熔深熔化极单层堆焊的工艺研究与应用	李 晓	
钴铈窄间隙焊接生产工艺研究	艾 盛等	2—280
球形储罐焊接角变形和裂纹的控制	谭秀安	2—285
高压空冷器管箱双缝内角焊接设备与工艺研究	张善保等	2—290

B类论文题录:

- | | | | |
|----------------|--------------------------------|------|-------------|
| H-II-051-93(B) | 不锈钢焊条脱渣性影响因素 | 孙 威 | 太原工业大学焊材所 |
| H-II-052-93(B) | SJ403耐磨堆焊烧结焊剂研制 | 何少卿等 | 锦州市电焊条厂 |
| H-II-053-93(B) | CO ₂ 焊生产中真空退火工艺研究 | 王惜宝 | 河北工学院焊接教研室 |
| H-II-054-93(B) | 合金成分对低温钢焊缝组织性能影响 | 鄧承荣等 | 淄博电焊条厂 |
| H-II-055-93(B) | 硅灰石在低氢钾型焊条的应用 | 李志提等 | 天津市电焊条公司 |
| H-II-056-93(B) | 组织因素对钢中氢扩散地位的影响 | 于启湛等 | 大连铁道学院 |
| H-II-057-93(B) | SM58Q钢焊接工艺研究 | 蔡晓平等 | 宜昌猴王焊接公司 |
| H-II-058-93(B) | 高钛型立向下专用焊条MKJ42X | 王京军等 | 宜昌猴王焊接公司 |
| H-II-059-93(B) | 锅炉气包集中下降管焊缝返修工艺 | 王惜宝 | 河北工学院焊接教研室 |
| H-II-060-93(B) | 贮氧球罐焊接中裂纹、夹渣产生原因及防治 | 杨世杰等 | 太原工业大学焊材所 |
| H-II-061-93(B) | 焊接翻转机在机车制造中的应用 | 任德恩等 | 大同机车工厂 |
| H-II-062-93(B) | 堆227耐磨焊条研制 | 霍建钢 | 牡丹江焊条厂 |
| H-II-063-93(B) | JS0LFe15高效铁粉焊条的研制 | 吴德亮等 | 淄博电焊条厂 |
| H-II-064-93(B) | 钛对搪瓷钢焊缝涂搪性能的影响 | 尹 玲等 | 鞍山化工机械总厂 |
| H-II-065-93(B) | OH-J501218焊条研制 | 郭艳华 | 丹东焊条线材厂 |
| H-II-066-93(B) | 国产OK4804及SHJ507Ni在南浦大桥应用 | 毛信杭等 | 上海沪东造船厂 |
| H-II-067-93(B) | YJ-506-6CO ₂ 药芯焊丝研究 | 林祥生等 | 北京冶金建筑研究院 |
| H-II-068-93(B) | 高韧性Ce-La和Y基稀土合金焊条研究 | 熊家林等 | 华中理工大学焊接教研室 |
| H-II-069-93(B) | 高强度焊条的焊缝成分控制 | 杨雪重 | 内蒙集宁市电焊条厂 |
| H-II-070-93(B) | 合金成分对J107G焊缝成分控制 | 赵吉利等 | 内蒙集宁市电焊条厂 |
| H-II-071-93(B) | 低氢碱性焊条脱渣性研究 | 帅玉峰等 | 太原山西机床厂 |
| H-II-072-93(B) | 新奥302焊条研制 | 张富宜等 | 淄博电焊条厂 |
| H-II-073-93(B) | 甘油法测氢提高扩散氢收集量探讨 | 王念慈等 | 上海船舶工艺研究所 |
| H-II-074-93(B) | SM58Q钢焊缝金属韧性研究 | 蔡晓平等 | 宜昌猴王焊接公司 |
| H-II-075-93(B) | 回火处理对R340焊缝强度的影响 | 任树全等 | 内蒙集宁市电焊条厂 |
| H-II-076-93(B) | HSLA钢焊接材料选择 | 苏仲鸣等 | 宝鸡焊接钢管所 |
| H-II-077-93(B) | 抓斗刃口板新材料25MnCrMO钢的焊接 | 胡永琪 | 大连起重机厂 |
| H-II-078-93(B) | 国产CO ₂ 镀铜焊丝的生产现状及分析 | 王惜宝 | 河北工学院焊接教研室 |

H-II-079-93(B)	590MPa高强度高韧性焊条国内外水平(综述)	王京军等	宜昌猴王焊接公司
H-II-080-93(B)	高铬铸铁耐磨堆焊材料国内外状况及研制	王京军	宜昌猴王焊接公司
H-XI-015-93(B)	铬钼钢焊接接头HAZ细晶区蠕变开裂的研究	杨德新等	大连铁道学院
H-XI-016-93(B)	孕育式天然气压力环境下受载裂纹体保压试验研究	张宝昌等	哈尔滨焊接研究所
H-XI-017-93(B)	TSTE355钢制煤气分馏塔的现场焊接	林青等	哈尔滨焊接研究所
H-XI-018-93(B)	配管SUS321焊缝裂纹失效分析	唐志昂等	乌鲁木齐石化总厂化肥厂
H-XI-019-93(B)	奥氏体不锈钢焊接变形控制初探	周志晖等	南京中国建设八局工业设备安装公司
H-XI-020-93(B)	自动纠偏转胎的纠偏机构	卢大彪等	郑州机械研究所
H-XI-021-93(B)	大型不锈钢啤酒发酵罐的现场施焊	谈建华等	机电部第一安装工程公司
H-XI-022-93(B)	CO ₂ 气体保护自动焊在换热器壳体焊接上的应用	王常志等	大庆石化总厂机械厂
H-XI-023-93(B)	红浅稠油区块109计量站三口采油井井口管线焊缝断裂的原因分析	张广齐等	新疆克拉玛依油建公司测试中心
H-XI-024-93(B)	SUS405钢法兰失效分析及焊接处理	杜卫等	乌鲁木齐石化总厂设备研究所
H-XI-025-93(B)	Cr5Mo管焊接工艺	刘文雅	吉林市安装公司
H-XI-026-93(B)	15Mo3管子焊接	刘文雅	吉林市安装公司
H-XI-027-93(B)	压力容器制造手弧焊焊接操作过程中质量控制要点	刘仁玉等	大庆石化总厂机械厂
H-XI-028-93(B)	关于吊耳焊缝强度的计算	申连宝	上海宝钢十三冶七公司技术处

钛合金激光 Pr 合金化表面改性(二) ——提高热稳定性——

哈尔滨工业大学
北京科技大学

张志明
车成卫

摘 要

采用激光 Pr 合金化处理,研究了 Ti—6Al—4V 稀土合金化快速凝固组织对热稳定性的影响。结果表明,Ti—6Al—4V 激光表面 Pr 合金化可提高其在 800℃ 以下的热稳定性。这是由于快速凝固过程获得的组织在高温下具有良好的抗粗化能力。TEM 分析表明,经 Pr 合金化的钛合金表层内形成一种含 Pr 的有序固溶体相。该相具有六方结构, $a=3.914\text{Å}$, $c=6.592\text{Å}$, $c/a=1.684$,呈椭圆或圆形颗粒状,分布于初生 β 柱晶的亚胞胞壁,尺寸约 $0.1\sim 0.4\mu\text{m}$ 。在退火过程中还形成一种析出相,分布于位错线及小角晶界上,尺寸为 $10\sim 20\text{nm}$ 。

关键词:激光表面改性 钛合金 热稳定性

一、序言

由于钛合金在高温时的热稳定性和抗氧化性能差,因此其工作温度一般限制在 570℃ 以下^{(1),(2)}。为了改善常规钛合金的性能,以往曾添加类金属元素 B, C, Si 和 Ge 等形成 Ti 化物,但其热稳定性只稍有改善,使用温度仍在 600℃ 以下⁽³⁾。近年来人们发现通过添加稀土元素(Ce, La 等)采用快速凝固技术可产生弥散强化效应^{(4),(5)}。本文采用稀土元素 Pr 对钛合金进行激光合金化处理,研究合金化快速凝固组织对热稳定性的影响。

二、试验材料及方法

试验材料为 Ti—6Al—4V($\alpha+\beta$)型钛合金,其成分见表 1。平衡 β 相转变温度为 $1000\text{℃}\pm 20$ 。

• 国家自然科学基金资助项目

表 Ti—6Al—4V 钛合金的化学成分 wt%

Al	V	Fe	Si	C	O	N
6.01	3.84	0.30	0.15	0.10	0.15	0.15

将表面均匀涂有 Pr 粉的 Ti—6Al—4V 试样(40×10×5mm),在氮气保护下进行激光表面合金化处理,工艺参数为:功率 $P=4\text{kw}$,扫描速度 $V=40\text{mm/s}$,光斑尺寸 $\Phi=3\text{mm}$ 。然后制备退火试样(10×10×5mm)。退火在真空度为 $5\times 10^{-4}\text{torr}$ 的条件下进行。退火温度分别为 600℃,700℃及 800℃,退火保温时间分别为 2h,6h,10h 和 5h。

三、试验结果及讨论

(一)组织及显微硬度

Ti—6Al—4V 激光 Pr 表面合金化快速凝固区域的组织主要是:互成一定角度的 α' 马氏体细片和分布于初生 β 柱晶亚胞胞壁的析出相,如图 1 所示。图 2 为 Ti—6Al—4V 激光 Pr 合金化试样,分别经 600℃,700℃及 800℃退火时,经受不同等温退火时间的试样显微硬度变化曲线。由图 2 可见,当退火时间约 2h 时,快速凝固区的显微硬度达到峰值,这可能与时效硬化有关。退火温度在 700℃以下时,随退火温度及时间的增加,快速凝固区的 α' 马氏体在长度及厚度上的尺寸变化都很小,如图 3a),b)所示。然而当退火温度超过 800℃,马氏体组织即开始明显长大,并且互相连接,如图 3c)所示。同时由图 2 可见,800℃退火时的最高显微硬度也降低。由上述可以认为:Ti—6Al—4V 激光 Pr 合金化处理后,在 800℃以下具有组织热稳定性。

(二)弥散质点的析出及其对热稳定性的影响

由上述可知,在激光 Pr 合金化快速凝固区,存在热稳定性非常好的弥散析出相(图 1b))。在固态相变过程中,该弥散析出相可以成为 α' 马氏体快长大的形核处。此外,快速凝固导致的晶体缺陷出可成为 α' 马氏体胚芽。这种胚芽在快速冷却时被冻结下来,在一定的过冷度下,一定尺寸的胚芽达到临界晶核尺寸即可形核。由于冻结生核不是热激活过程,因此形核速率很大。换言之,在激光表面合金化快速凝固条件下,马氏体的转变机制是以形核为特征的。经计算分析,确定析出相为一种六方结构的物质,其晶格常数 $a=3.914\text{\AA}$, $c=6.592\text{\AA}$, $c/a=1.684$,并沿 c 轴呈有序排列。表 2 为析出相的 EDAX 成分分析,可以看出析出相主要由 Ti、Pr、V 和 Al 构成,而且 Pr 含量相当高,为 45.84at%。显然,这种有序新相的存在与激光表面合金化快速凝固过程有关。激光表面合金化过程具有三个特点,首先是液相的强制性对流,控制熔池内成分的分布,并作用于晶体生长^[6];其次是熔池在极高的温度下,液态金属原子处于高度热激活状态,使其扩散动力学产生极大的变化,金属原子具有非常强的渗透力;再次,快速界面运动导致溶质捕获现象^[7]。尽管液态金属是无序的,但原子间产生强烈的互相渗透便在局部区域形成短程有序的微元体。而界面的快速推进则将这种在高温下形成的微小有序结构“冻

续”到固相,结果形成非常细小的弥散质点,其尺寸约 $0.1\sim 0.4\mu\text{m}$ 。它们产生在激光表面合金化快速凝固过程,直接析出于液相。这种析出相具有良好的热稳定性。从 600°C 升温到 800°C ,观察不到任何粗化的痕迹(图 4)。同时这种尺寸的粒子又可以充当抑制晶界迁移的障碍。另一方面,它们还通过与位错间的互相作用造成位错滞留和拖,延缓位错结构向平衡态发展(图 5)。因而抑制了基体组织蜕化的速度,使硬度值的衰减过程显著变缓。

表 2 弥散析出相的合金含量 at%

Al	Ti	V	Pr
1.627	42.621	9.903	45.848

退火后,沿位错线及小角晶界上可发现许多细小的析出相,如图 6 所示,其尺寸为 $10\sim 20\text{nm}$,十分细小。其形成与晶粒内过饱和固溶产生的位错陈列有关。因为畸变能很大,在一定温度下,经过一定时间后,过饱和固溶体发生脱溶,析出相便优先在这些位错陈列处沉淀形核,从而导致时效强化。如图 2 所示,在 600°C , 700°C 退火 2h 后出现的硬度峰值,便与上述弥散析出相有关。

四、结论

(一)Ti—6Al—4V 激光 Pr 合金化的快速凝固组织主要是 α' 马氏体及含 Pr 析出相。按尺寸大小该析出相可分为两类: $0.1\sim 0.4\mu\text{m}$ 及 $10\sim 20\text{nm}$,第一类析出相分布在初生 β 柱晶亚胞胞壁,第二类析出相则分布在位错线及小角晶界;

(二)第一类析出相($0.1\sim 0.4\mu\text{m}$)具有六方点阵结构,晶格常数为 $a=3.914\text{\AA}$, $c=6.592\text{\AA}$, $c/a=1.684$ 。它直接产生于过冷熔体,是激光表面合金化快速凝固的产物;第二类析出相($10\sim 20\text{nm}$)是退火过程中过饱和固溶体的脱溶产物;

(三)两类析出相对 Ti—6Al—4V 的热稳定性有积极作用。 $0.1\sim 0.4\mu\text{m}$ 析出相可在一定程度上控制相界面的迁移; $10\sim 20\text{nm}$ 析出相提供析出硬化效应。

参 考 文 献

- [1]S. Das and L. Davis, Mater. Sci and Eng. 98(1988), 1.
- [2]S. Whang, J. of Mater. Sci., 21(1986), 2224
- [3]T. Anantharaman, Rapidly Solidified Metals, 1987, p 188
- [4]S. Court and J. Sears, Mater, Sci, and Eng., 98(1988), 243.
- [5]S. Whang, J. of Metals, (1984)4, 34.
- [6]T. Chande and J. Mazumder, Metall, Trans., 12A(1984), 2175.
- [7]R. Trivedi and W. Kurz, Acta Metall., 34(1986), 1663.

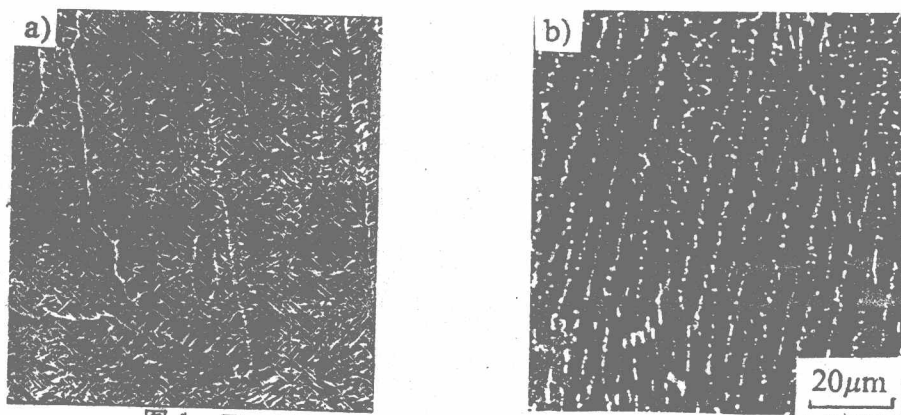


图1 Ti-6Al-4V 激光 Pr 合金化快速凝固区组织
a) α' 马氏体 (SEM) b) 析出相和亚胞结构 (EPMA)

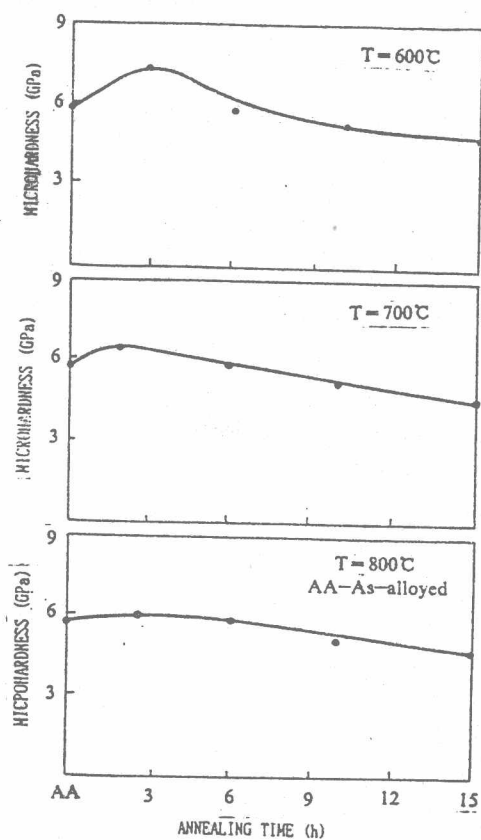


图2 显微硬度—退火时间曲线

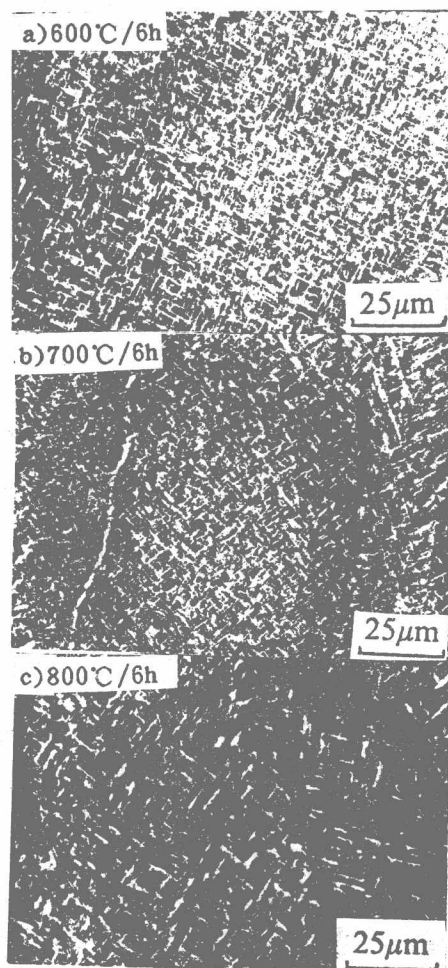


图3 不同退火制度的组织

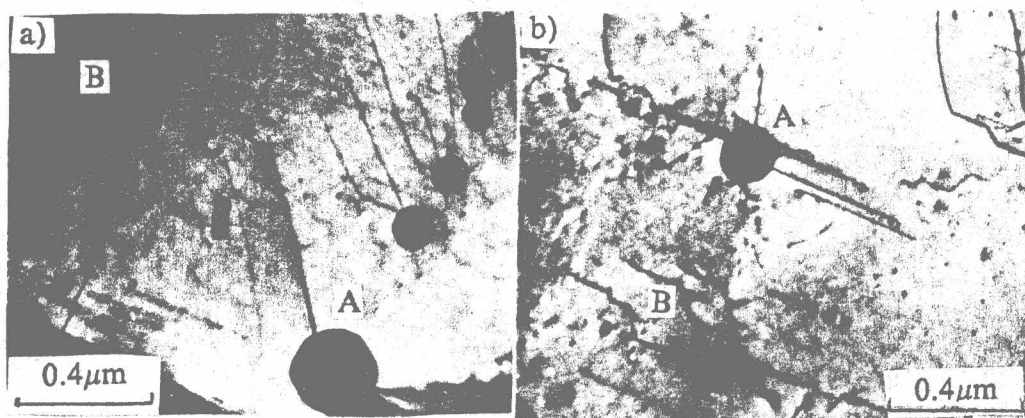


图4 不同退火制度处理后的二类析出相 a)600℃/2h,b)800℃/6h
A 快速凝固时形成 B 退火时形成

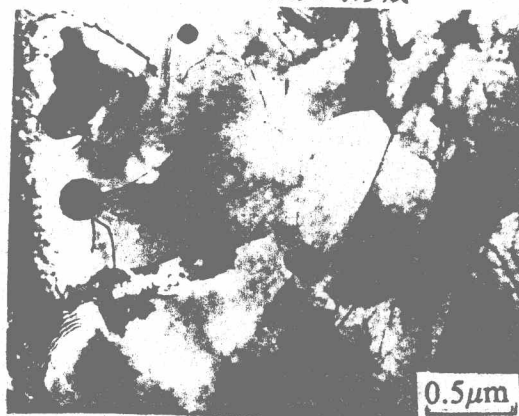


图5 析出相对晶界的锁定及与位错的相互作用(TEM)

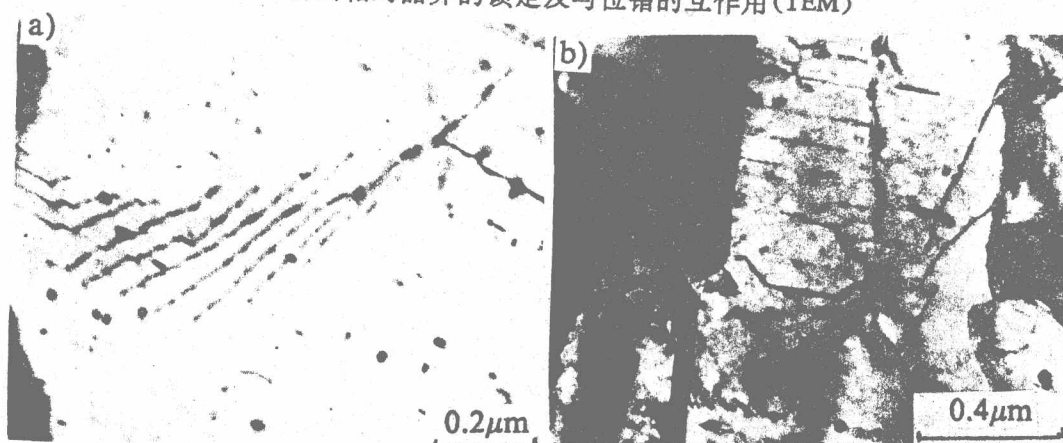


图6 不同退火制度条件下,沿位错线及小角晶界分布的析出相

H08A焊芯Mn-Si-B系耐磨堆焊焊条的研究*

清华大学 王莲芳 陈伯鑫 金希龙**

摘 要

本文用容易得到的H08A焊芯,通过焊条药皮过渡合金元素研究出了具有优良耐磨性的中碳Mn-Si-B系耐磨料磨损堆焊焊条。对所研究的堆焊金属试样进行了化学成分分析、宏观硬度测定、金相组织观察和磨损试验,并对硼在堆焊金属中的存在形态进行了定量分析和相结构分析。探讨了硼对堆焊金属硬度及耐磨性的影响规律和机理。推荐了堆焊金属成分的合理范围。

关键词:堆焊金属、耐磨性、磨料磨损。

一. 前言

磨损是金属零件失效的主要原因之一,据估计,约80%的零件失效是磨损引起的,其中磨料磨损造成的经济损失占磨损经济损失的50%以上^[1]。为了减少磨损造成的能源和材料的损失,耐磨合金堆焊是一种比较有效的技术措施,其中耐磨堆焊焊条的研究具有重要的意义。目前在耐磨堆焊焊条的研制生产中,通常把堆焊金属硬度作为衡量耐磨性优劣的标准,认为提高堆焊金属硬度才可改善其耐磨性,为了追求高硬度,常加入多量的贵金属,因而提高了焊条成本。文献[1,2]的研究表明,材料的耐磨性与工况条件和材料的成分、组织及力学性能紧密相关,而与硬度并不存在简单的对应关系。金属材料的基体组织对耐磨性起重要作用,在相同硬度条件下,贝氏体组织比马氏体组织具有更好的耐磨性,如图1所示。因此,单纯地用硬度作为衡量耐磨焊条优劣的判断并不合理,而宜用耐磨性(磨损平均失重)作为判断。

1989年清华大学研制出以贝氏体钢为焊芯的Mn-Si-B系耐磨堆焊焊条MHD-50A^[3],该焊条合金系统简单,其堆焊金属金相组织为贝氏体--马氏体复相组织,其耐磨性优于同等硬度的马氏体组织的堆焊金属,这与图1完全吻合。但目前贝氏体钢焊芯不易获得,因而难以推广。本文工作的目的是研制用容易得到的H08A焊芯,通过药皮过渡合金元素而获得合金系统简单、具有优良耐磨性的中碳Mn-Si-B系耐磨料磨损堆焊焊条以及探讨硼对堆焊金属硬度和耐磨性的影响规律。

二. 试验研究内容与方法

(一). 堆焊金属合金成分和焊条基础配方的确定

文献[2]对国内五个厂家生产的堆焊金属硬度HRC>50的六种耐磨堆焊焊条(均以H08A为焊芯)进行的试验研究表明,D187堆焊焊条其堆焊金属合金系统(Mn-Si系)最为简单,堆焊金属硬度HRC54,是六种焊条中硬度较低的一种,但磨损试验结果表明,其耐磨性并不比其它复杂合金系统(如Mn-Si-Cr系,Cr-Mo系,Cr-Mo-W-V系)堆焊金属的耐磨性差,这给我们一个启示:在简单的合金系统Mn-Si系基础上加入适量硼元素以形成耐磨性较好的Mn-Si-B系堆焊焊条是有可能的。

另外,我们参考了已研制成功的以贝氏体钢为焊芯的Mn-Si-B系MHD-50A焊条堆焊金属的合金成分^[3]C 0.35~0.5%,Mn 2.0~3.5%,Si<2.0%,B 0.0005~0.0035%,配制了以H08A为焊芯的一系列焊条,合金成分主要通过药皮过渡。焊条基础配方的确定主要是考虑有利于合金元素的过渡和应有良好的焊接工艺性能,因此焊条为碱度不高的、能交直流两用的碱性焊条。

*国家自然科学基金资助项目

**参加此项工作的还有黄云庆,刘旋,胡铁卿,吕保国,郭红等

(二).堆焊金属试样的制备

按照国家标准《堆焊焊条》(GB984-85)要求,用试验焊条在低碳钢试板(尺寸为100×50×20mm)上手工焊单道堆焊四层,焊接电流160安,电弧电压 24~26伏,层间温度100° C。

(三).堆焊金属宏观硬度的测定

把堆焊焊道表面磨成小平面,在 MT-02洛氏硬度计上测出堆焊层表面不同处七个洛氏硬度值,舍去最高值和最低值,取五个值的平均值作为堆焊层的硬度值。

(四).耐磨性试验

采用清华大学研制的 DM-II型动载磨料磨损试验机进行耐磨性试验。试验机的动作原理如图2所示。磨损试样为40×5.5×5.5mm的长条,待磨损面为堆焊层表层。磨损试验结果以试样的磨损平均失重Z来评定。

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{磨损前试样重量} - \text{磨损后试样重量})}{n}$$

n为磨损试验次数,磨损试验条件为:磨料100目棕刚玉砂布,转速 $\omega=70\text{r/min}$,载荷 $P=200\text{N}$,磨损时间1min,有一定冲击。Z值越小,表示耐磨性越好。

(五).现场磨损试验

对已筛选定的堆焊焊条在牡丹江第一制砖厂的矿料粉碎机上生产性现场磨损试验,堆焊对象为矿料粉碎机锤头,用试验焊条在锤头的磨损面上堆焊一层,锤头在高速(转速为1000r/min)旋转过程中实现矿料粉碎(矿料中常带有砂粒和砖块),磨损过程中锤头受冲击较大。

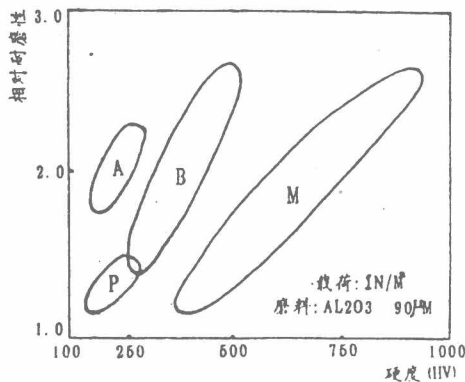


图1 耐磨性与组织的关系

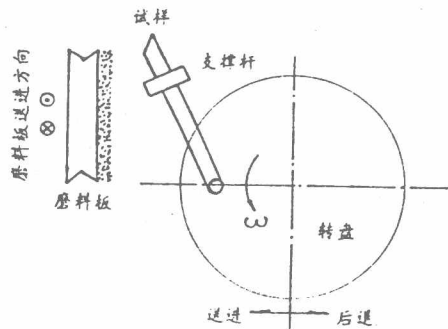


图2 磨损试验原理

三.试验结果及分析

(一).堆焊金属的化学成分、宏观硬度、磨损平均失重:如表1所示

表1 堆焊金属的化学成分、硬度、磨损平均失重

试样编号	化学成分%					宏观硬度	平均失重
No.	C	Mn	Si	B	B/C($\times 10^{-2}$)	(HRC)	(g)
31	0.45	2.41	1.41	0.0020	0.44	57.2	0.0115
32	0.43	2.51	1.47	0.0041	0.95	56.4	0.0116
33	0.41	2.35	1.36	0.0059	1.44	54.3	0.0114
34	0.42	2.46	1.48	0.0082	1.95	59.4	0.0123
35	0.37	2.38	1.41	0.0140	3.78	55.6	0.0135
38	0.39	2.62	1.24	0.0280	7.2	55.7	0.0169

(二) 硼对堆焊金属硬度及耐磨性的影响

硼对堆焊金属硬度和耐磨性的影响如图3所示, 从图3可以看出, 堆焊金属的硬度并未随含硼量的变化而发生明显的变化。堆焊金属的耐磨性与其含硼量有一定对应关系, 当含硼量在20~60ppm微量范围内时, 堆焊金属磨损平均失重最小, 即耐磨性最好, 当含硼量在60~280ppm范围内时, 随着含硼量的增加, 磨损平均失重以线性关系增加, 即耐磨性变差。

(三) B/C比值对堆焊金属耐磨性的影响

B/C比值对堆焊金属耐磨性的影响如图4所示。从图4可以看出, 当 $B/C=0.5\sim 1.5(\times 10^{-2})$ 时, 堆焊金属磨损平均失重最小, 耐磨性好。当 $B/C>1.5(\times 10^{-2})$ 时, 随着B/C比值的增加, 磨损平均失重逐渐增大, 即耐磨性变坏。

从图3和图4综合来看, 堆焊金属中含微量硼(20~60ppm)确实有利于改善耐磨性, 而且硼对

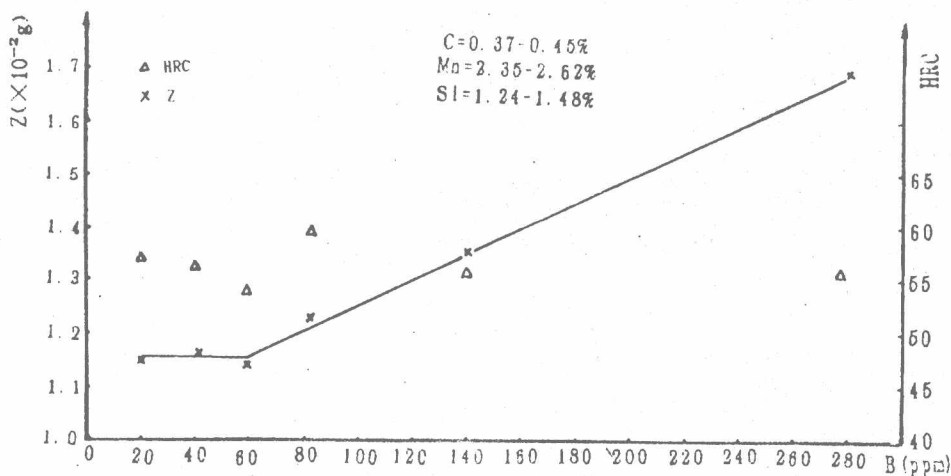


图3 硼对堆焊金属硬度和耐磨性的影响

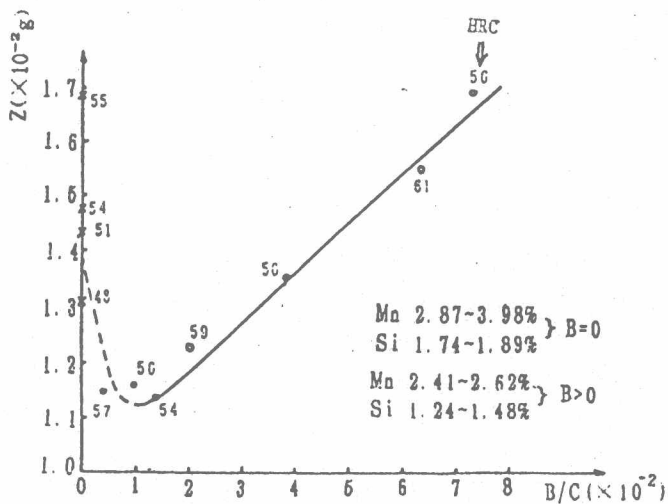


图4 B/C比值对堆焊金属耐磨性的影响

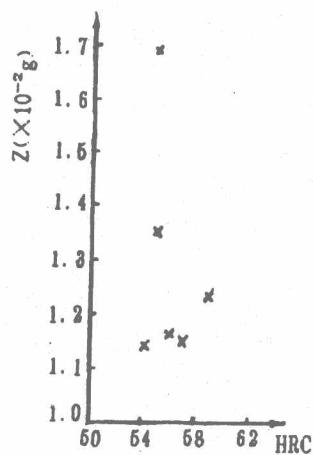


图5 堆焊金属耐磨性与硬度的关系

堆焊金属耐磨性的影响不仅与含硼量有关,也与含碳量有关,在我们试验的含碳量范围内, $B/C=0.5\sim 1.5(\times 10^{-2})$ 对提高耐磨性有利。

(四) 堆焊金属耐磨性与硬度的关系

如图5所示,从图5可以看出,堆焊金属耐磨性与硬度没有简单的对应关系,这与文献[2]的研究结果一致。

(五) 硼在堆焊金属中的存在形态

为了考察硼影响堆焊金属耐磨性的机理,我们对硼在堆焊金属中的存在形式进行了定量分析和相结构分析。

1. 碳和硼存在形态的定量分析:分析结果如表2所示。

表2 堆焊金属中C和B的存在形式

焊条编号 No.	总C量 %	化合C %	固溶C %	固溶C/总C %	总B量 %	化合B %	化合B/总B %
33	0.40	0.027	0.37	92.5	0.0059	0.004	67.8
38	0.40	0.053	0.35	87.5	0.0280	0.0195	69.6

从表2数据可知,硼不仅以固溶态存在,还有约70%的硼处于化合状态,形成了第二相。

2. 第二相的相结构分析:通过X射线衍射分析,确定了堆焊金属中第二相的结构,表3和图6表示了试件NO.38的相结构分析结果。

表3 物相标定结果

试样编号	第二相	晶体类型
No.38	$Fe_3(C,B)$	正交晶系
	$(Fe,Mn)_{23}(C,B)_6$	复杂立方晶系

从NO.38试样相结构分析结果可以看出,堆焊金属中的第二相主要是碳化物 $Fe_3(C,B)$ 和 $(Fe,Mn)_{23}(C,B)_6$,而且从表2可知,硼是碳化物中的主要构成元素。

(六) 显微组织对耐磨性的影响

图7(a)(b)分别为NO.31和NO.35试样的显微组织图。金相组织观察表明,试样NO.31和NO.33显微组织为贝氏体和马氏体的复相组织。硼不仅能形成第二相,而且还固溶于奥氏体,从而可以显著提高中温转变组织的淬透性,因而微量硼($>20ppm$)可促使获得中温转变组织,这种贝氏体与马氏体的复相组织有利于提高耐磨性。而含硼量大于 $60ppm(B/C>1.5\times 10^{-2})$ 的试样NO.35和NO.38的显微组织以马氏体为主,其耐磨性比NO.31和NO.33差。

(七) 现场磨损试验

我们选择了含微量硼的NO.33堆焊试件与MHD-50A堆焊试件作对比试验。

现场磨损试验结果是以锤头在一定时间运转后的磨损失重多少来衡量的。表4列出了现场磨损试验结果。

表4 现场磨损试验结果

试件号	磨损前重量(Kg)	磨损后重量(Kg)	磨损失重(g)
No.33	19.51	19.32	190
MHD-50A	18.70	18.48	220

从表4数据可以看出,NO.33焊条堆焊金属的耐磨性不低于MHD-50A焊条,即用H08A焊芯的Mn-Si-B系堆焊焊条其堆焊金属的耐磨性可以完全达到(甚至超过)贝氏体钢焊芯的Mn-Si-B系焊条的耐磨性水平。

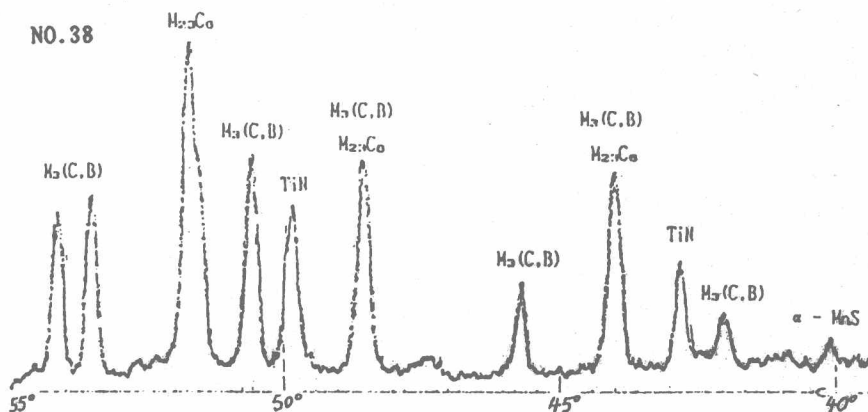
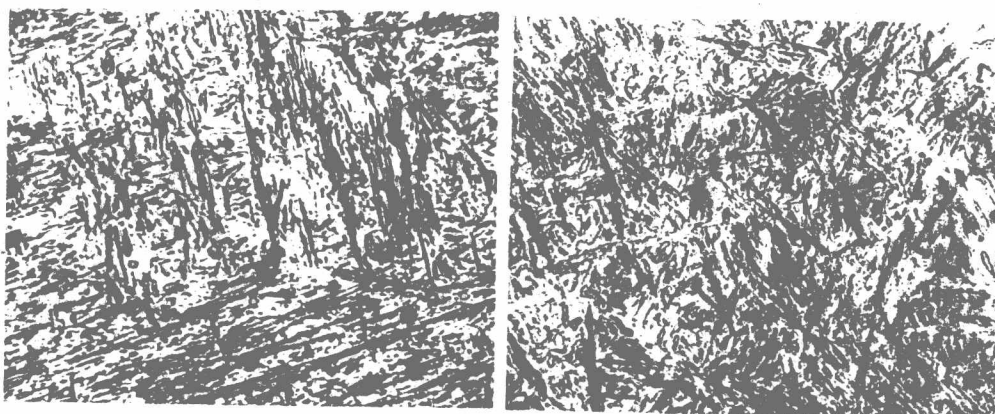


图6 NO. 38试样X射线衍射相结构图



(a) NO. 31

(b) NO. 35

图7 NO. 31和NO. 35试样的显微组织 × 600

四. 结论

1. 研制成功了以H08A为焊芯的中碳Mn-Si-B系耐磨堆焊焊条。堆焊金属成分推荐如下:
C 0.35~0.45%, Mn 2.0~3.0%, Si 1.2~1.5%, B 0.0020~0.0080%.
2. 中碳Mn-Si-B系堆焊金属的耐磨性与其表面宏观硬度无简单对应关系。控制适当 B/C比值, 可获得理想的贝氏体-马氏体复相组织, 而具有优良的耐磨性。
3. 在中碳Mn-Si-B系堆焊金属中, 硼主要是以 $Fe_3(C,B)$ 第二相形式存在。

参考文献

- [1] 邵荷生, 张清, 《金属的磨料磨损与耐磨材料》, 机械工业出版社, 1988年, P1, P139~157, P259~261
- [2] 王莲芳等, 堆焊金属耐磨性与硬度关系的研究, 《焊接》1991 No. 6 P6~9
- [3] 黄云庆等, MHD-50A(高硬度)耐磨堆焊焊条的研究, 《焊接技术》, 1990 No. 1 P15~18