

77.821
283.1

JINSHU BIAOMIAN TUCENG JISHU JI YINGYONG

金属表面涂层技术及应用

陈文威等 编著

图书在版编目(CIP)数据

金属表面涂层技术及应用/陈文威等编著. -北京:人民交通出版社,1996

ISBN 7-114-02348-0

I. 金… II. 陈… III. 金属复层-基本知识 IV. TG174

44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 03613 号

金属表面涂层技术及应用

陈文威等 编著

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经销

北京市管庄永胜印刷厂印刷

开本:787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张:9 25 字数:208 千

1996 年 5 月 第 1 版

1996 年 5 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001-2100 册 定价:13.50 元

ISBN 7-114-02348-0

TG·00000

目 录

第一篇 堆 焊 技 术

第一章 概述	1
第一节 堆焊的意义.....	1
第二节 堆焊方法的分类和特点.....	3
第二章 堆焊合金和堆焊材料的选择	5
第一节 金属的磨损.....	5
第二节 堆焊合金的类型和特点.....	7
第三节 堆焊合金的选择原则	33
第三章 常用堆焊方法及工艺	36
第一节 堆焊方法的选择	36
第二节 氧乙炔焰堆焊	38
第三节 手工电弧堆焊	40
第四节 埋弧自动堆焊	47
第五节 CO ₂ 气体保护自动堆焊	59
第六节 等离子弧堆焊	65
第七节 振动电弧堆焊	67
第八节 电渣堆焊	71

第二篇 热喷涂技术

第四章 概述	73
---------------------	----

第一节	热喷涂技术的特点和分类	73
第二节	热喷涂技术的发展史及我国现状	76
第五章	热喷涂原理	80
第一节	热喷涂工艺过程	80
第二节	涂层的形成及结构	86
第三节	喷涂层的结合机理	88
第六章	热喷涂材料	90
第一节	热喷涂材料的分类和要求	90
第二节	金属丝材	91
第三节	自熔性合金粉末	98
第四节	复合粉末	102
第五节	陶瓷材料	106
第六节	塑料	107
第七章	氧乙炔焰喷涂和喷焊	109
第一节	氧乙炔火焰	109
第二节	氧乙炔焰喷涂和喷焊用设备	111
第三节	氧乙炔焰粉末喷涂工艺	118
第四节	氧乙炔焰粉末喷焊工艺	123
第五节	氧乙炔焰丝材喷涂工艺	133
第八章	等离子粉末喷涂	136
第一节	等离子喷涂原理及特点	136
第二节	等离子喷涂设备	140
第三节	等离子喷涂工艺	146
第九章	电弧喷涂及其它喷涂技术	151
第一节	电弧喷涂技术	151
第二节	爆炸喷涂技术	155
第三节	线爆喷涂技术	157
第十章	交通机械零件热喷涂应用实例	159

第一节	氧乙炔火焰喷涂应用实例·····	159
第二节	氧乙炔火焰喷焊应用实例·····	161
第三节	等离子喷涂技术应用实例·····	162
第四节	等离子弧粉末喷焊应用实例·····	163

第三篇 电刷镀技术

第十一章	电刷镀原理·····	165
第一节	电刷镀技术发展概况·····	165
第二节	电刷镀技术原理·····	166
第三节	电刷镀技术特点·····	167
第四节	镀层的形成与强化·····	168
第十二章	电刷镀设备·····	173
第一节	电刷镀电源·····	173
第二节	电刷镀镀笔·····	175
第十三章	电刷镀溶液·····	178
第一节	预处理溶液·····	178
第二节	金属刷镀溶液·····	181
第三节	退镀溶液和钝化溶液·····	193
第四节	金属刷镀溶液的选择·····	193
第十四章	电刷镀工艺·····	197
第一节	常规的电刷镀工序·····	197
第二节	常用金属表面上的刷镀工艺·····	198
第三节	影响刷镀层质量的因素·····	204
第四节	电刷镀应用实例·····	212

第四篇 表面涂层的后加工及其试验方法

第十五章 表面涂层的切削加工	222
第一节 概述.....	222
第二节 热喷涂涂层的车削加工.....	224
第三节 热喷涂涂层的磨削加工.....	238
第十六章 热喷涂涂层的性能检测	244
第一节 涂层结合强度测定方法.....	246
第二节 涂层硬度试验.....	251
第三节 涂层金相检验.....	252
第四节 涂层耐磨性试验.....	253
附表 1 国内各主要厂家生产的镍基合金粉末	256
附表 2 国内各主要厂家生产的碳化钨弥散型喷焊粉末	261
附表 3 国内各主要厂家生产的钴基合金粉末	263
附表 4 国内各主要厂家生产的铁基合金粉末	266
附表 5 国内各主要厂家生产的铜基合金粉末	270
附表 6 国内各主要厂家生产的镍—铝包复粉末	272
附表 7 国内各主要厂家生产的自粘结功能型喷涂用 复合粉末	273
附表 8 美国美科(METCO)公司火焰喷涂粉末材料 ...	274
附表 9 瑞士卡斯特林—厄特蒂公司火焰喷涂粉末材料	280
附表 10 日本福田公司自熔性合金粉末	284
参考文献	285

第一篇 堆 焊 技 术

第一章 概 述

第一节 堆焊的意义

堆焊是用焊接方法在机械零件表面堆敷一层具有一定性能材料的工艺过程。它不是为了连接零件,其目的在于使零件表面获得具有耐磨、耐热、耐蚀等特殊性能的熔敷金属层,或是为了恢复或增加零件的尺寸。堆焊除可显著提高工件的使用寿命,节省制造及维修费用外,还可减少修理和更换零件的时间,减少停机、停产的损失,从而提高生产率,降低生产成本。由于应用堆焊能更合理地利用材料,从而可获得优异的综合性能,对改进产品设计也有重大意义。故堆焊技术已在各行各业的机械制造与维修中得到广泛的应用。

堆焊主要用于两个方面:

1. 制造新产品

堆焊工艺可使零件表面改质改性,以获得所需要的特殊性能,即所谓表面强化。由于零件基材和表面堆焊层采用不同性能的材料,分别满足了二者不同的技术要求,充分发挥了材料的潜力,从而大大减少了贵重金属的消耗。

2. 修复旧零件

汽车、拖拉机、工程机械、轧辊、轴类、工模具等易损零件，均大量采用堆焊工艺修复。修复旧件的费用较低，而使用寿命往往比新件还高，如堆焊旧轧辊的费用是新轧辊的30%~50%，而轧制金属量可比新轧辊提高3~5倍。因此，广泛采用堆焊工艺修复旧件，对节约钢材，节省资金，弥补配件短缺，提高经济效益等作用显著。

为了进一步发展堆焊技术，必须研究符合我国国情的堆焊合金系统、新的堆焊材料，研究和开发新的堆焊方法，以使堆焊零件具有更高的使用寿命，更高的生产率和更低的成本。

堆焊的物理本质、冶金过程和热过程的基本规律，与一般焊接技术基本上是相同的。但是由于堆焊的目的是保证堆焊层的合金成分与性能，而不是为了连接，因此，堆焊技术有其自身的特点。

1) 合理地选择堆焊层的合金系统

堆焊层合金成分是决定堆焊效果的主要因素，而且堆焊的零件种类繁多，工况又十分复杂，基材又各有所异。因此，必须根据具体情况，合理地选择堆焊层的合金系统，才能使堆焊零件具有高的使用寿命。

2) 尽量降低稀释率

稀释率是表示堆焊焊缝中含有基材金属的百分率，见图1-1。



图 1-1 稀释率示意图

$$\text{稀释率} = \frac{B}{A+B} \times 100\%$$

堆焊材料中含有较多合金元素，而被堆焊零件往往是碳钢和低合金钢。为了获得设计的表面堆焊层成分，节省合金元素，必须尽量减少母材向焊缝的熔入量，即降低稀释率。这要合理地选择堆焊材料和堆焊方法，从而保证堆焊层的成分和性能。

3) 提高效益, 合理选择堆焊方法

堆焊零件往往数量很多且成批量生产, 这时必须选用和研制生产率较高的堆焊工艺, 以达到降低成本、保证质量的目的。

4) 注意堆焊金属与母材金属的配合

为了降低成本, 可尽量选用廉价母材, 但又要考虑到产品质量及防止堆焊层的开裂或剥离, 必须合理选择母材, 最好是堆焊金属与母材金属具有相接近的热膨胀系数。

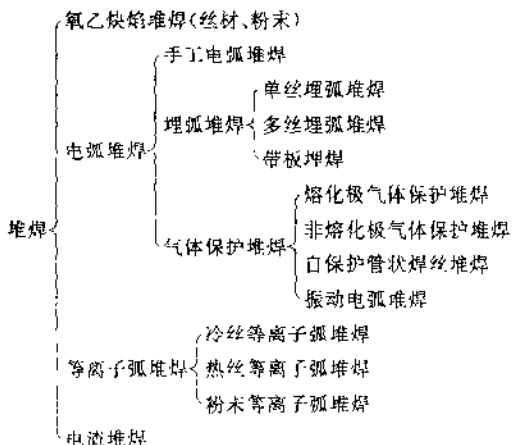
第二节 堆焊方法的分类和特点

一、堆焊方法分类

几乎所有的焊接方法均可用于堆焊, 按照热源的不同, 堆焊方法分类如表 1-1。

堆 焊 方 法 分 类

表 1-1



二、堆焊方法的主要特点

各种熔焊方法都可以用于堆焊。几种常用堆焊方法的稀释率、熔敷率和单层率最小厚度列于表 1-2。

几种堆焊方法特点比较

表 1-2

堆 焊 方 法		稀释率① %	熔敷速度 kg/h	最小堆焊 厚度(mm)	熔敷效率 %
氧乙炔焰堆焊	手工送丝	1~10	0.5~1.8	0.8	100
	自动送丝	1~10	0.5~6.8	0.8	100
	手工送粉	1~10	0.5~1.8	0.2 ^②	85~95
手工电弧堆焊		10~20	0.5~5.4	3.2	65
钨极氩弧堆焊		10~20	0.5~4.5	2.4	98~100
熔化极气体保护电弧堆焊		10~40	0.9~5.4	3.2	90~95
其中:自保护电弧堆焊		15~40	2.3~11.3	3.2	80~85
埋弧堆焊	单 丝	30~60	4.5~11.3	3.2	95
	多 丝	15~25	11.3~27.2	4.8	95
	串联电弧	10~25	11.3~15.9	4.8	95
	单 带 极	10~20	12~36	3.0	95
	多 带 极	8~15	22~68	4.0	95
等离子弧堆焊	自动送粉	5~15 ^③	0.5~6.8	0.25 ^③	85~95
	手工送丝	5~15	0.5~3.6	2.4	98~100
	自动送丝	5~15	0.5~3.6	2.4	98~100
	双 热 丝	5~15 ^③	13~27	2.4	98~100
电渣堆焊		10~14	15~75	15	95~100

注:①指单层堆焊结果。②钢母材上堆焊铜及铜合金可低到2%。③较早些的文献记载为0.8。

第二章 堆焊合金和堆焊材料的选择

第一节 金属的磨损

堆焊合金的使用性能,主要是指增加零件对磨损的抗力、耐腐蚀性、耐冲击性、耐气蚀性和在高温下的使用性等。

磨损是一个比较复杂的微观破坏过程,是金属材料本身与其相摩擦的材料以及工作环境综合作用的结果,反映了一个系统的性能。

堆焊工作中常遇到的磨损破坏形式如下:

一、粘着磨损

滑动接触表面在载荷作用下,个别接触点发生焊合,焊合点在滑动时被撕裂,进而发生分离的过程称为粘着磨损。根据作用力的大小,又可分为三种类型,外加载荷较小时,由于摩擦热的作用,表面产生一层氧化膜,可阻止滑动表面产生焊合,故磨损速度小,这种磨损称为氧化磨损或轻微磨损;当外加载荷较大时,滑动表面之间因焊合引起严重磨损,称为金属磨损或严重磨损;第三种情况为撕脱、咬死、擦伤,它是在金属磨损产生的磨屑尺寸大于滑动面之间的间隙以及运动部件产生咬合时发生的。

二、磨料磨损

它是由于外来的金属或非金属硬质颗粒对金属表面进行

显微切削作用造成的磨损。工业上有半数以上的磨损是由磨料磨损造成的。按应力状态不同磨料磨损有三种类型：

1. 低应力磨料磨损

它是在低于磨料本身压溃强度的应力作用下，由于磨料的显微切削作用造成的磨损，其一般的磨损形式为表面擦伤，典型例子如推土机铲刃、拌和机衬板、犁铧等。对堆焊材料的冲击韧性要求不高，因此，高硬度的马氏体合金铸铁和高铬铸铁是常用的抗低应力磨料磨损的堆焊材料。

2. 高应力磨料磨损

当外加应力大于磨料的压溃强度时，就发生高应力磨料磨损。工件表面受到很高的局部应力，它不仅使磨料粒子压进金属表面，而且会使金属中的脆性相（碳化物、硼化物等）破坏和使基体组织产生塑性变形。通过擦伤、疲劳、塑性变形等导致表面材料的损坏。耐高应力磨料磨损的堆焊材料要有高的屈服强度及高的硬度才能抵抗磨料磨损作用。高铬马氏体铸铁、碳化钨堆焊材料都有优异的耐高应力磨料磨损性能。高锰钢具有特有的加工硬化性能，是一种广泛使用的耐高应力磨料磨损的堆焊材料。

3. 凿削式磨料磨损

当磨料粗大，并以高的应力和冲击作用使磨料加入工件表面，切削下大颗粒金属，形成严重的沟槽，典型例子是挖掘机斗齿，破碎机鄂板等。高锰钢具有优异的韧性和加工硬化性能，是常用的耐凿削磨损的堆焊材料。

三、耐腐蚀磨损

在摩擦中，金属受周围介质影响发生化学或电化学反应而引起的损坏为腐蚀磨损，是磨损与腐蚀共同作用的结果。许多泵、阀等往往受到腐蚀磨损。常用的堆焊材料有镍基、钴基

合金和镍铬奥氏体不锈钢等。

四、耐气蚀性

金属零件与液体接触并在相对运动的条件下,零件表面会产生气泡及气泡溃灭,气泡在溃灭瞬间产生强烈的冲击力和高温,气泡的形成和溃灭的反复作用使零件表面的材料产生疲劳而逐渐脱落,再加上液体介质的腐蚀作用,造成金属表面的气蚀破坏,如水泵零件、发动机缸壁等,常常发生气蚀。堆焊材料要具有较好的抗腐蚀性和较高的强度及韧性(如奥氏体不锈钢等),才具有较好的抗气蚀性能。

五、高温下的耐磨、耐腐蚀性

在高温下使用的工件,对材料的热强度、热硬性、热疲劳性、抗蠕变性及抗氧化性、抗高温气体腐蚀等都有要求,根据不同的使用要求可采用高铬马氏体不锈钢、工具钢、模具钢、镍基堆焊金属、钴基斯太立合金等堆焊材料。

第二节 堆焊合金的类型和特点

堆焊合金的化学成分和组织对其性能都有很大的影响。常见的堆焊合金有铁基、镍基、钴基、铜基及碳化钨等几种类型。

一、铁基堆焊合金

铁基堆焊金属性能变化范围广,韧性和抗磨性配合好,能满足许多不同的要求,而且价格较低,品种也最多,所以使用最广泛。铁基堆焊金属由于含碳量、合金含量和冷却速度的不同,堆焊层的基体组织可以有马氏体、奥氏体、珠光体和莱氏

体碳化物等几种基本类型。

1. 珠光体钢堆焊金属

珠光体钢堆焊金属含碳量一般在 0.5% 以下含合金元素总量在 5% 以下,以 Mn、Cr、Mo、Si 为主要合金元素,焊后自然冷却。堆焊金属的组织以珠光体为主(包括索氏体和屈氏体)。其硬度为 HRC20~38。当合金元素含量偏高及冷却速度较快时,能产生部分马氏体组织,硬度也增高。珠光体钢堆焊材料的成分、硬度及用途见表 2-1、2-2、2-3。

珠光体钢堆焊金属多在焊态下直接使用,也可以通过热处理改善性能。其特点是焊接性能优良,具有中等的硬度和一定的耐磨性,冲击韧性好,易机械加工,价格便宜。

2. 马氏体钢堆焊金属

马氏体钢堆焊金属的含碳量一般为 0.1%~1.7%,合金元素含量 5%~15%。焊态下的组织为马氏体,有时也有少量珠光体、屈氏体、贝氏体和残余奥氏体。加入 Mn、Mo、Ni 能提高淬硬性,促使马氏体形成;加入 Mo、Cr、W、V,可形成抗磨的碳化物;加入 Mn、Si 可改善焊接性。堆焊层的硬度在 HRC25~65 范围内,主要取决于 C 和 Cr 的含量。根据含碳量的高低,可分为低碳、中碳和高碳马氏体钢堆焊金属。

低碳马氏体钢堆焊金属的含碳量小于 0.3%,堆焊层组织为低碳马氏体,硬度在 HRC25~55 间。其特点是:因抗裂性能好,堆焊前不用预热,硬度较高有一定的耐磨性,能用碳化钨刀具加工,延伸性较好,能承受中等冲击,线膨胀系数较小,变形和开裂倾向也较小。

中碳马氏体钢堆焊金属的含碳量在 0.30%~0.60% 范围内。堆焊层的组织为片状马氏体,有时也有少量低碳马氏体、珠光体和残余奥氏体。其硬度为 HRC38~53。具有较好的耐磨性和中等冲击能力,开裂倾向比低碳马氏体的大,堆焊前

珠光体堆焊焊料的成分、硬度及用途

表 2-1

序号	牌号	堆焊金属化学成分(%)							堆焊金属硬度(HRC)	用途
		C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W		
1	D102	≤0.20	—	≤3.5	—	—	—	—	≥22	车轮、齿轮、轴类等。拖拉机轱子、链轮牙、链轨板、履带板堆焊及恢复尺寸层、过渡层的堆焊
2	D107	~0.15	≤1.50	≤3.5	—	—	—	—	≥22	
3	D112	≤0.25	—	—	≤2.0	≤1.5	—	—	≥22	
4	D127	≤0.2	—	≤4.2	—	—	—	—	≥28	

珠光体钢埋弧堆焊焊层的成分、硬度及用途

表 2-2

序号	规格 mm	焊剂/带极 牌号	堆焊金属化学成分(%)						堆焊金属 硬度(HV)	用途
			C	S	Mn	Cr	Mo	堆焊 层数		
1	50×0.4	BH-200/SH-10	0.08	0.57	1.61	0.50	0.20	3	190~220	各种轱子及硬焊焊层打底焊
2	50×0.4	BH-260/SH-10	0.08	0.65	1.61	0.80	0.30	3	240~260	各种轱子及离心铸造模等的堆焊
3	50×0.4	BH-360/SH-10	0.12	0.35	0.65	2.22	^{1.2} (V0.12)	3	310~360	连铸机夹送辊、送料台轱子

表 2-3 珠光体钢堆焊药芯焊丝的成份、硬度及用途

序号	焊丝种类	牌 号	堆焊金属化学成分(%)						堆焊金属硬度 (HV)	用 途
			C	Si	Mn	Cr	Mo	V		
1	MAC 药 芯焊丝	FLU×OFIL50	0.17	0.45	1.4	0.70	—	—	(HB)225~275	用于零件恢复尺 寸层堆焊、过渡层 堆焊和受金属间 磨损的中等硬度 零件表面层堆焊, 如轴、惰轮、滑轮、 链轮、连杆等
2		FLU×OFIL51	0.20	0.16	1.5	1.25	—	—	(HB)275~325	
3		A-250	0.17	0.42	1.21	1.63	0.50	—	290	
4		A-350	0.23	0.42	1.48	2.70	0.20	—	378	
5		AS-H250	0.06	0.48	1.54	1.17	0.40	—	279	
6		AS-H350	0.10	0.65	1.56	1.66	0.49	—	384	
7	自保 护 弧焊 药 芯焊 丝	GN-250	0.18	0.15	1.4	0.57	0.14	—	376	
8		GN-300	0.23	0.26	1.42	1.10	0.21	—	331	
9		GN-350	0.26	0.16	1.42	1.25	0.24	—	360	
10		FLU×OCORD50	0.14	0.70	1.6	0.16	—	—	220~270	
11	埋 弧 堆 焊 药 芯 焊 丝	FLU×OCORD51	0.18	0.70	1.7	1.1	—	—	250~350	
12		S-250/50	0.05	0.67	1.72	0.72	0.48	—	248	
13		S-300/50	0.08	0.84	1.55	0.93	0.47	0.12	300	
14		S-350/50	0.10	0.66	2.04	1.96	0.54	0.17	364	

注:堆焊金属化学成分余量为Fe。

一般应预热到 250~350℃。

高碳马氏体钢堆焊金属的含碳量大于 0.60%，堆焊层组织是片状马氏体和残余奥氏体，硬度高达 HRC60 左右。具有好的抗磨料磨损性能，但耐冲击能力较差，堆焊时易出现热裂纹和冷裂纹。所以一般应在焊前预热 350~400℃，焊后缓冷，一般在焊态下直接使用。

马氏体钢堆焊材料的成分、硬度及用途见表 2-4、2-5、2-6、2-7 及 2-8。

3. 高速钢及工具钢堆焊金属

高速钢堆焊金属的含碳量在 0.70%~1.0% 之间，其淬火回火后组织为马氏体加碳化钨，还有残余奥氏体。该合金中的 W、Mo 含量较高。还加入少量钴，红硬性可达 600℃，硬度高于 HRC55。高速钢堆焊材料的成分、硬度及用途见表 2-9。

热加工工具钢堆焊金属含碳量比高速钢堆焊金属低些。主要用于热锻模及热轧辊的堆焊，除应具有较高的的高温硬度外，还要有较高的强度和冲击韧性，以抵抗锻造或轧制中的冲击载荷，此外还应具有较高的抗冷热疲劳性能，高温抗氧化性和耐磨性。用于热锻模钢堆焊材料的成分、硬度及用途见表 2-10。用于热轧辊钢堆焊材料的成分、硬度及用途见表 2-11。

冷加工工具钢要求具有较高的常温硬度和抗金属间磨损的性能。这类堆焊材料的成分、硬度和用途见表 2-12。

4. 奥氏体堆焊金属

这类堆焊金属包括奥氏体锰钢和铬锰奥氏体钢。

奥氏体锰钢堆焊金属的含碳量为 1%~1.4%，含锰量为 10%~14%，用于高锰钢铸件的堆焊。由于具有高的韧性和冷作硬化性能，是受强烈冲击工况下抗磨料磨损的良好堆焊材料。为了改善焊接性，可在堆焊金属成分中加入少量的 Cr、Ni、Mo 等合金元素，并严格控制 S、P 的含量。