

唐景富 编

堆焊技术 及实例

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



堆焊技术及实例

唐景富 编



机械工业出版社

本书用大量实例介绍了堆焊技术与工艺,共分6章,第1章介绍堆焊概念,第2章介绍堆焊方法及工艺,第3章介绍堆焊操作技术要点,第4章介绍电弧堆焊用的焊条及堆焊实例,第5章介绍埋弧堆焊技术及实例,第6章介绍等离子弧堆焊技术。书中特别对一些高难度典型堆焊技术进行了综合的分析和阐述,力求完整地体现堆焊工艺过程。

本书适合从事堆焊的技术人员和焊工阅读,也可供焊工培训学校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

堆焊技术及实例/唐景富编. —北京:机械工业出版社,2010.2
ISBN 978-7-111-29688-1

I. 堆… II. 唐… III. 堆焊 IV. TG455

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 019316 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑:吕德齐 责任编辑:吕德齐 封面设计:姚毅
责任校对:张晓蓉 责任印制:乔宇
北京瑞德印刷有限公司印刷 (三河市胜利装订厂装订)
2010 年 4 月第 1 版第 1 次印刷
184mm×260mm·14 印张·346 千字
0001—3000 册
标准书号:ISBN 978-7-111-29688-1
定价:32.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着经济建设的飞速发展，我国的焊接技术也正迅速地发展。近几年来，表面堆焊技术广泛应用于电站、核能、石化、冶金、煤炭、矿山、建筑、桥梁、船舶、汽车、机车、航天、海洋工程等行业的设备修复。现代堆焊技术在焊接技术中占有重要的地位。

堆焊是在工件表面用焊接方法堆一层或多层同材质或异材质金属的工艺方法。

堆焊不仅可以修复旧金属工件，而且可以在金属工件表面形成复合层，使其具有特殊的性能，从而达到提高耐磨性、延长使用寿命、节约能源、减少合金消耗、缩短加工周期、降低成本和改进设计等效果。

本书将堆焊基础理论和丰富实践经验结合在一起，力求简明、通俗易懂。书中列举了大量生产实例和数据，达到实用性、科学性、先进性、可靠性兼优。

本书编写过程中得到很多专家、高级技师及焊工师傅的关心、支持和帮助，在此向他们及参考文献的作者们表示衷心的感谢。

由于水平有限、经验不足，书中错误和缺点在所难免，希望读者批评指正。

目 录

前言

第1章 概述 1

- 1.1 堆焊的概念 1
- 1.2 堆焊焊缝及其冶金特点 1
 - 1.2.1 堆焊焊缝 1
 - 1.2.2 堆焊冶金特点 2
- 1.3 堆焊填充材料的选择 2
 - 1.3.1 铁基堆焊金属 3
 - 1.3.2 钴基堆焊金属 9
 - 1.3.3 镍基堆焊金属 10
 - 1.3.4 铜基堆焊金属 11
 - 1.3.5 碳化钨基堆焊金属 13

第2章 常用的堆焊方法及其工艺 15

- 2.1 焊条电弧堆焊 15
- 2.2 埋弧堆焊 15
- 2.3 熔化极气体保护电弧堆焊 17
- 2.4 振动堆焊 18
- 2.5 钨极氩弧堆焊 19
- 2.6 等离子弧堆焊 19
- 2.7 电渣堆焊 21

第3章 堆焊操作要点 23

- 3.1 清理母材金属 23
- 3.2 母材金属预热 23
- 3.3 确定堆焊参数 24
- 3.4 堆焊后的处理 26
- 3.5 保证堆焊质量采取的措施 26

第4章 焊条电弧堆焊概况及实例 28

- 4.1 堆焊用焊条 28
- 4.2 堆焊材料的性能 42
- 4.3 焊条电弧堆焊工艺 45
 - 4.3.1 堆焊工艺 45
 - 4.3.2 堆焊质量的控制 46
- 4.4 焊条电弧堆焊实例 46
 - 4.4.1 浇包吊轴的堆焊修复 46
 - 4.4.2 J506 (E5016) 焊条表面敷碳快速
补焊铸铁 47
 - 4.4.3 堆焊技术修复涡轮 47

- 4.4.4 汽车齿轮的补焊修复 48
- 4.4.5 热锻模的堆焊修复 49
- 4.4.6 在碳素钢刀具毛坯上堆焊
高速钢 50
- 4.4.7 铬钼钢滚刀的堆焊修复 52
- 4.4.8 发动机排气阀的堆焊修复 52
- 4.4.9 循环泵叶片腐蚀后的堆焊修复 53
- 4.4.10 低合金钢水轮机叶片的堆焊
修复 54
- 4.4.11 42GrMo 钢空心轴磨损的堆焊
修复 55
- 4.4.12 压辊轴的堆焊 56
- 4.4.13 42CrMo 钢轴的补焊 57
- 4.4.14 水轮机大轴缺陷的修复堆焊 57
- 4.4.15 牵引电动机转轴锥部的堆焊
修复 58
- 4.4.16 大型电动机转轴轴肩的堆焊
修复 58
- 4.4.17 发电厂转动轴磨损的堆焊 59
- 4.4.18 纤维碳成形机螺旋杆的堆焊 60
- 4.4.19 空气锤锤杆燕尾槽破断的堆焊 61
- 4.4.20 空气锤钻头燕尾槽磨损的堆焊 61
- 4.4.21 水压机砧头砧面的堆焊 62
- 4.4.22 40Cr 钢车轮的堆焊 62
- 4.4.23 行车车轮缺陷的补焊 63
- 4.4.24 挖掘机低合金钢部件的堆焊 63
- 4.4.25 拖拉机齿轮齿面磨损的修复
工艺 64
- 4.4.26 35CrMo 钢高速齿轮锻坏的
堆焊 64
- 4.4.27 中板轧机减速器重型齿轮的
堆焊 65
- 4.4.28 履带式起重机回转支承内齿圈的
堆焊 65
- 4.4.29 发电机转子心环磨损的堆焊 66
- 4.4.30 汽轮机主轴转子推力盘的堆焊 66
- 4.4.31 烧结鼓风机叶片的堆焊工艺 68

4.4.32	Cr28 铸钢铸造缺陷的补焊	68	4.4.65	活塞裂纹的焊接修复	98
4.4.33	20MnMo 钢封头的耐蚀堆焊	69	4.4.66	人字齿轮的焊接修复与“FGM-KM”应用	99
4.4.34	大型泥泵壳体的堆焊修复	69	4.4.67	液压轴的堆焊工艺	101
4.4.35	炼钢脱模用起重钳尖的堆焊	70	4.4.68	用短段热焊法修复机床导轨	102
4.4.36	铲斗齿的堆焊	71	4.4.69	高铬铸铁导卫的堆焊修复	103
4.4.37	高锰钢辙叉的堆焊	72	4.4.70	高铬铸铁泥浆泵衬板的堆焊	103
4.4.38	破碎机锤头的堆焊	72	4.4.71	锅炉铸铁挡板门磨损部位的堆焊修复	103
4.4.39	5CrNiMo 钢连杆热锻模的堆焊修复	73	4.4.72	铸铁炉底盘的堆焊	104
4.4.40	5CrMnMo 钢凸轮轴切边模的堆焊	74	4.4.73	煤气发生炉大齿圈的堆焊修复	104
4.4.41	5CrNiMo 钢刮板热锻模的堆焊	75	4.4.74	开槽堆齿法修复齿轮（一）	105
4.4.42	用堆焊方法制造热锻模	75	4.4.75	开槽堆齿法修复齿轮（二）	105
4.4.43	3Cr2W8V 钢套筒扳手热锻模的堆焊	76	4.4.76	公园电动转马铸铁齿轮的堆焊修复	106
4.4.44	3Cr2W8V 钢涡轮叶片热锻模的堆焊	77	4.4.77	剪床铸铁齿轮的堆焊修复	106
4.4.45	推土机轮毂轴颈磨损的堆焊修复	77	4.4.78	剪板机铸铁齿轮的堆焊修复	107
4.4.46	堆焊制造圆拉刀和花键拉刀	77	4.4.79	龙门刨床工作台齿条的焊补	107
4.4.47	160t 冲床体裂纹的焊接工艺	78	4.4.80	可锻铸铁汽车零部件的堆焊	107
4.4.48	碳化钨堆焊放散阀耐磨层工艺	78	4.4.81	压力机地脚螺孔的堆焊修复	108
4.4.49	粉煤粒度齿辊的堆焊修复	79	4.4.82	减速箱底座焊补两例	108
4.4.50	球团拌材机刮刀的堆焊	79	4.4.83	铸铁工件镗孔的堆焊修复	109
4.4.51	球团竖炉双齿辊的堆焊	80	4.4.84	水冷焊在农机铸铁件焊补中的应用	109
4.4.52	水泥破碎机锤头的堆焊	80	4.4.85	空气锤带轮轴孔的堆焊	110
4.4.53	除尘风机转子叶片的堆焊修复	81	4.4.86	空气锤铸铁砧座燕尾槽的堆焊修复	110
4.4.54	破碎单齿辊的堆焊修复	81	4.4.87	铸铁基体冷冲模刃口的堆焊（一）	111
4.4.55	四辊轧机圆盘剪的补焊工艺	82	4.4.88	铸铁基体冷冲模刃口的堆焊（二）	112
4.4.56	钻进硬质合金各种类型滚刀的堆焊	82	4.4.89	铸铁基体冷冲模刃口的堆焊（三）	112
4.4.57	炼铁布料溜槽的堆焊	83	4.4.90	阀门的焊条电弧焊接堆焊修复	113
4.4.58	轧钢导卫的堆焊硬质合金	83	4.4.91	低合金钢轴的焊条电弧焊堆焊修复	115
4.4.59	冲裁模堆焊合金的方法及可行性	84	4.4.92	合金工具钢模的焊条电弧焊堆焊修复	116
4.4.60	50t 电炉炉盖升降立柱的修复	87	第 5 章 埋弧堆焊技术		118
4.4.61	四辊轧机可逆转机扁头的焊接修复工艺	88	5.1	埋弧堆焊的分类及特点	118
4.4.62	烧结 D1600 离心鼓风机转子的焊接工艺	90	5.1.1	埋弧堆焊的分类	118
4.4.63	冶金高炉料钟料斗的堆焊硬质合金工艺	94			
4.4.64	加热炉滑块的堆焊工艺	97			

5.1.2 埋弧堆焊的特点	120	工艺	188
5.1.3 堆焊合金的类型及特点	121	5.3.22 1450mm 轧机轧辊的埋弧堆焊	189
5.1.4 堆焊合金的应用特点	126	5.3.23 天车轮的堆焊修复	189
5.1.5 堆焊合金的选用	128	5.3.24 轨道辊的堆焊工艺	190
5.2 埋弧堆焊的工艺参数及质量影响		第6章 等离子弧堆焊技术	192
因素	130	6.1 等离子弧堆焊的特点及工艺	192
5.2.1 埋弧堆焊的主要参数	130	6.1.1 等离子弧堆焊的工艺特点	192
5.2.2 影响埋弧堆焊质量的因素	134	6.1.2 等离子弧堆焊方法及材料	193
5.3 埋弧堆焊应用实例	136	6.1.3 等离子弧堆焊设备、附件及	
5.3.1 合金结构钢件的埋弧堆焊	136	参数	196
5.3.2 钢轧辊的埋弧堆焊	146	6.2 等离子弧堆焊的应用	201
5.3.3 阀门密封面的埋弧堆焊	156	6.2.1 钴基合金粉末等离子弧堆焊	202
5.3.4 药芯焊丝的埋弧堆焊	158	6.2.2 镍基合金粉末等离子弧堆焊	203
5.3.5 锻锤底座的埋弧堆焊	161	6.2.3 铁基合金粉末等离子弧堆焊	204
5.3.6 165CrNiMoVTi 轧辊轴颈的埋弧		6.2.4 排丝等离子弧堆焊工艺	205
堆焊修复	162	6.3 等离子弧堆焊应用的实例	208
5.3.7 热轧辊自动堆焊工艺	164	6.3.1 模具的等离子弧堆焊修复	208
5.3.8 钢球合金轧辊的堆焊	168	6.3.2 压缩机曲轴的等离子弧堆焊	
5.3.9 大型热轧支撑辊的堆焊修复		修复	209
技术	171	6.3.3 排气阀的等离子弧堆焊修复	211
5.3.10 复合支承辊的堆焊制造	175	6.3.4 农机零部件的粉末等离子弧堆焊	
5.3.11 BD 轧辊的优化堆焊	176	修复	213
5.3.12 冷轧支承辊的堆焊工艺	178	6.3.5 口腔钴铬合金的等离子弧堆焊	
5.3.13 平辊的堆焊工艺	179	修复	214
5.3.14 花辊的堆焊工艺	179	附录	216
5.3.15 四辊轧机矫直辊的堆焊工艺	180	附表1 堆焊连铸辊应用实例	216
5.3.16 液压机立柱的堆焊工艺	181	附表2 中厚板轧机堆焊辊应用实例	216
5.3.17 辊轧机磨损辊面的堆焊修复	182	附表3 热轧带钢、冷轧酸洗机组堆焊辊	
5.3.18 轧辊堆焊材料的优化	184	应用实例	216
5.3.19 高碳 (ZUB160CrNiMo) 半钢		附表4 堆焊技术在冶金常耗备件的应用	
轧辊的堆焊	185	实例	217
5.3.20 连铸辊的埋弧堆焊工艺	187	参考文献	218
5.3.21 $\phi 850\text{mm}$ 复合开坯轧辊的制造			

第 1 章 概述

1.1 堆焊的概念

为增大或恢复焊件尺寸，或使焊件表面获得具有特殊性能熔敷金属而进行的焊接称为堆焊。其含义有二：一是利用堆焊方法改变焊件的尺寸，焊后焊件的表面性能基本上不发生变化；二是利用堆焊方法使焊件表面获得耐磨、耐热或耐腐蚀等特殊性能的熔敷金属层，从而使得焊件的表面性能发生了本质上的变化（堆焊金属层与焊件多属异种材质）。堆焊的优点如下：

1) 可提高零件的使用寿命及耐磨、耐热、耐腐蚀等性能。

2) 由于堆焊制造了双金属层，从而节省了大量的合金材料，并获得优异的综合性能，使材料的利用更合理，进而降低了制造成本。

3) 缩短修理和更换零件时间，提高了生产率，降低了生产成本。

堆焊多属于熔焊范畴。堆焊时需考虑以下问题：

1) 必须分析零件服役条件及失效的原因，进而合理地选择堆焊金属层的材料，以便充分发挥堆焊层的功能。

2) 堆焊时必须减少母材在堆焊层中的熔入量，在焊材耗损较少的情况下就能达到所需的焊缝金属成分，即稀释率要低。

3) 为提高生产率，保证堆焊金属的质量，必须选择合适的焊接方法和正确的堆焊工艺。

目前堆焊已广泛应用于矿山、冶金、农机、建筑、电站、铁路、车辆、石油、化工等行业的设备制造与修复，以及工具、模具的制造和修理。

1.2 堆焊焊缝及其冶金特点

1.2.1 堆焊焊缝

各种堆焊焊缝的形状，可用焊缝成形系数和熔合比来衡量。堆焊焊缝的成形系数对堆焊影响很大。如图 1-1 所示，若成形系数 ϕ 值 ($\phi = B/H$) 过小，则堆焊孔和裂纹倾向增大；若成形系数 ϕ 值过大，则母材金属的加热面热影响区增加，通常取 $\phi = 1.2 \sim 2$ 为宜。

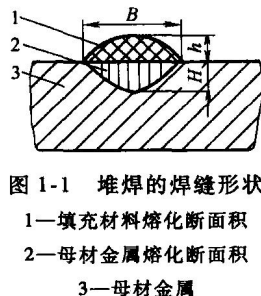


图 1-1 堆焊的焊缝形状
1—填充材料熔化断面积
2—母材金属熔化断面积
3—母材金属

熔合比也可以用于表示稀释率。堆焊时, 希望获得较小的熔深, 要求有较小的稀释率, 因此常取熔合比为 0.25 ~ 0.4。高的仅会降低堆焊层的性能, 而且会增加堆焊材料的消耗。

堆焊焊缝的稀释作用与选用的堆焊方法和堆焊工艺等有关, 各种堆焊方法与稀释率详见表 1-1。

表 1-1 堆焊方法与稀释率的关系

堆 焊 方 法		最小堆焊厚度/mm	稀释率(%)	熔敷效率(%)
氧乙炔焰堆焊	手工送丝	0.8	1 ~ 10	100
	机械化送丝	0.8	1 ~ 10	100
	粉末堆焊	0.8	1 ~ 10	85 ~ 95
焊条电弧堆焊		3.2	10 ~ 20	65
熔化极气体保护堆焊		3.2	10 ~ 40	90 ~ 95
熔化极自保护堆焊		3.2	15 ~ 40	80 ~ 85
埋弧堆焊	单丝	3.2	30 ~ 60	95
	多丝	4.8	15 ~ 25	95
	串联电弧	4.8	10 ~ 25	95
	单带极	3.0	10 ~ 20	95
	多带极	4.0	8 ~ 15	95
钨极氩弧堆焊		2.4	10 ~ 20	98 ~ 100
机械化送粉等离子弧堆焊		0.8	5 ~ 15	85 ~ 95
手工送丝等离子弧堆焊		2.4	5 ~ 15	98 ~ 100
机械化送丝等离子弧堆焊		2.4	5 ~ 15	98 ~ 100
双热丝等离子弧堆焊		2.4	5 ~ 15	98 ~ 100
电渣堆焊		15	10 ~ 14	95 ~ 100

注: 表中堆焊厚度为单层堆焊厚度。

稀释率高的堆焊方法只有在堆焊层较厚时才能使用。多层堆焊方法能降低稀释的影响, 一般堆焊三层后成分应趋于稳定, 但会使堆焊成本增加, 而且容易出现堆焊层裂纹、剥落等缺陷。

1.2.2 堆焊冶金特点

堆焊的熔合区和异种金属焊接一样, 有时会出现延展性下降的脆性交界层, 在冲击载荷作用下易出现堆焊层剥离。熔合区在高温条件下工作时, 有时有碳迁移现象, 使高温持久强度和耐腐蚀性能下降。如果堆焊层和母材的线胀系数差别大, 在堆焊后的冷却、热处理和运行中将产生很大的热应力, 甚至出现裂纹。有些对铁含量有严格限制的有色金属堆焊材料, 如果堆焊在钢的基材上, 将受到铁的严重污染。有时采用过渡层的方法可减少上述各种问题的影响。

由于多数情况下是多道堆焊或者多层堆焊, 后续焊道使先焊的焊道反复多次受热, 因此堆焊层会经受层间保温和焊后缓冷等过程。复杂的热循环使堆焊层的化学成分和金相组织变得很不均匀。

1.3 堆焊填充材料的选择

堆焊件的工作条件复杂多变, 对堆焊填充材料使用性能的要求, 除了耐磨性外, 对耐冲

击性、耐腐蚀性及在高温下的使用性等均有要求。耐磨损是堆焊熔敷金属最重要的应用，但也常常对其他几个性能同时有要求。

堆焊熔敷金属的种类很多，具体可分为铁基堆焊金属、钴基堆焊金属、镍基堆焊金属、铜基堆焊金属和碳化钨基堆焊金属五大类。

1.3.1 铁基堆焊金属

铁基堆焊金属按其金相组织的不同，可分为珠光体钢、奥氏体钢、马氏体钢和合金铸铁四类。

1. 珠光体钢堆焊金属

珠光体钢堆焊金属一般 $w(C) < 0.25\%$ ，其堆焊金属的金相组织以珠光体为主。这类堆焊金属焊接性好、抗冲击能力强，堆焊层硬度较低（一般小于 38HRC），虽有利于机械加工，但耐磨性较差。主要用于修复被磨损的轴类零件，如轴类和车轮的磨损面。有时也在堆焊高耐磨材料时作打底焊，起恢复尺寸和过渡层的作用。珠光体堆焊焊条、药芯焊丝的成分，以及珠光体钢堆焊金属硬度和用途详见表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 珠光体钢堆焊焊条的成分、堆焊金属硬度和用途

牌 号	堆焊金属化学成分(质量分数,%)								堆焊金属 硬度 HRC	用 途
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	其他		
D102(EDPMn2-03)	≤0.20	—	≤3.5	—	—	—	—	—	≥22	用于车轮、齿轮、轴类、 辊子、链轮牙、链轨板、履 带板堆焊,以及恢复尺寸 层、过渡层的堆焊
D107(EDPMn2-15)	≤0.15	≤1.50	≤3.5	—	—	—	—	—	≥22	
D112(EDPCrMo-A1-03)	≤0.25	—	—	≤2.0	≤1.5	—	—	≤2.0	≥22	
D127(EDPMn3-15)	≤0.20	—	≤4.2	—	—	—	—	—	≥28	

注：堆焊金属化学成分余量为 Fe。

表 1-3 珠光体钢堆焊药芯焊丝的成分、堆焊金属硬度和用途

焊丝种类	牌 号	堆焊金属化学成分(质量分数,%)						堆焊金属 硬度 HV	用 途
		C	Si	Mn	Cr	Mo	V		
MAG 药 芯焊丝	FLUXOFIL-50	0.17	0.45	1.4	0.70	—	—	225 ~ 275HBW	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、连接杆等
	FLUXOFIL-51	0.20	0.16	1.5	1.25	—	—	275 ~ 325HBW	
	A-250	0.17	0.42	1.21	1.63	0.50	—	290	
	A-350	0.23	0.42	1.48	2.70	0.20	—	378	
	AS-H-250	0.06	0.48	1.54	1.17	0.40	—	279	
	AS-H-350	0.10	0.65	1.56	1.66	0.49	—	384	
自保护 弧焊药芯 焊丝	GN-250	0.18	0.15	1.4	0.57	0.14	—	276	
	GN-300	0.23	0.26	1.42	1.10	0.21	—	331	
	GN-350	0.26	0.16	1.42	1.25	0.24	—	360	
埋弧堆 焊药芯焊丝	FLUXOCORD-50	0.14	0.70	1.6	0.16	—	—	220 ~ 270	
	FLUXOCORD-51	0.18	0.70	1.7	1.1	—	—	250 ~ 350	
	S-250/50	0.05	0.67	1.72	0.72	0.48	—	248	
	S-300/50	0.08	0.84	1.55	0.93	0.47	0.12	300	
	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。

2. 奥氏体钢堆焊金属

奥氏体钢堆焊金属包括三种：奥氏体高锰钢、铬锰奥氏体钢和铬镍奥氏体钢。

(1) 奥氏体高锰钢堆焊金属 $w(\text{C}) = 0.7\% \sim 1.1\%$ 、 $w(\text{Mn}) = 10\% \sim 14\%$ ，强度高、韧性好，但容易产生热裂纹，焊后硬度约 170HBW。经冷作硬化后硬度可达 450~500HBW。一般用于修复严重冲击荷载下金属间磨损和磨料磨损的零件，如矿山料车、铁道道岔等。

奥氏体高锰钢的耐低应力磨料磨损（擦伤或磨料磨损）性能不及低碳钢好。

(2) 铬锰奥氏体钢堆焊金属 分为高铬和低铬两类。低铬锰奥氏体钢通常 $w(\text{Cr}) \leq 4\%$ ， $w(\text{Mn}) = 12\% \sim 15\%$ ，还有少量的镍和钼，性能与奥氏体高锰钢相似，但焊接性好。适合严重冲击条件下磨料磨损的场合，例如用于堆焊冲击轧碎机、铲斗等机器的零件。

高铬锰奥氏体钢堆焊金属中 $w(\text{Cr}) = 12\% \sim 17\%$ ， $w(\text{Mn}) \approx 15\%$ 。它除具有奥氏体高锰钢的优点外，还有较好的耐腐蚀性、耐热性和抗热裂性，主要用来修复受到严重冲击的金属间磨损的锰钢和碳素钢零件，如堆焊热剪刀等，也可用于水轮机耐汽蚀堆焊。

(3) 18-8 钢、25-20 钢等铬镍奥氏体不锈钢堆焊金属 耐蚀性、耐高温氧化、热强性均好，但耐磨性较差，主要用于化工容器及阀门密封面的堆焊。

奥氏体高锰钢和铬锰奥氏体钢堆焊金属的成分、硬度和用途见表 1-4。

铬镍奥氏体不锈钢堆焊焊条牌号、堆焊金属的成分、硬度和用途见表 1-5。

表 1-4 奥氏体高锰钢和铬锰奥氏体钢堆焊金属的成分、硬度和用途

名 称	牌 号	堆焊金属化学成分(质量分数,%)							堆焊金属硬度 HBW		用 途
		C	Si	Mn	Ni	Mo	Cr	其他	堆焊后	加工硬化后	
高 锰 钢 堆焊焊条	D256 (EDMn-A-16)	≤ 1.1	—	11~16	—	—	—	≤ 5.0	≥ 170	—	破碎机、高锰钢轨、斗、推土机等的抗冲击耐磨件堆焊
	D266 (EDMn-B-16)	≤ 1.1	—	11~18	—	≤ 2.5	—	≤ 1.0	≥ 170	—	
	GRIDUR-42	0.8	—	15	—	—	3.0	—	210	450	斗齿、粉碎机的锥体和滑瓦、道岔、筑路及矿山机械耐磨件堆焊
自 保 护 药芯焊丝	GRIDURF-41	1.0	—	15	3.0	—	3.0	—	200	450	
	GRIDURF-48	0.5	—	15	—	0.8	15	—	250	450	
铬 锰 奥 氏 体 钢 堆 焊焊条	D276 (EDCrMn-B-16)	≤ 0.8	—	11~16	—	—	13~17	≤ 4.0	≥ 200	—	水轮机叶片导水叶、道岔、螺旋输送件、推土机刀片、抓斗、破碎刃堆焊
	D567	0.50~0.80	≤ 1.3	24~27	—	—	9.5~12.5	—	≥ 210	—	球墨铸铁阀门密封面堆焊
	D577 (EDCrMn-C-15)	≤ 1.1	≤ 2.0	12~18	≤ 6.0	≤ 4.0	12~18	$W = (1.7 \sim 2.3, V \leq 0.7)$	≥ 270	—	阀门密封面堆焊

注：堆焊金属化学成分余量为 Fe。

表 1-5 铬镍奥氏体不锈钢堆焊焊条牌号、堆焊金属的成分、硬度和用途

焊条名称	牌号	堆焊金属化学成分(质量分数,%)									硬度 HBW		用途
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	W	V	Nb	焊后	冷作 硬化	
超低碳 18-8 型	A002 (E308L-16)	≤0.04	≤0.9	0.5~ 2.5	18~ 21	9~ 11	—	—	—	—	—	—	耐 腐 蚀 层 堆焊
超低碳 23- 13Mo2 型	A042 (E309MoL-16)	≤0.04	≤0.9	0.5~ 2.5	22~ 25	12~ 14	2.0~ 3.0	—	—	—	—	—	耐 腐 蚀 层 或 过 渡 层 堆 焊
超低碳 23- 13 型	A062 (E309L-16)	≤0.04	≤0.9	0.5~ 2.5	22~ 25	12~ 14	≤0.5	—	—	—	—	—	
低碳 18- 8 型	A102 (E308-16)	≤0.08	≤0.9	0.5~ 2.5	18~ 21	9~ 11	—	—	—	—	—	—	耐 腐 蚀 层 堆焊
低碳 18- 12Mo2 型	A202 (E316-16)	≤0.08	≤0.9	0.5~ 2.5	17~ 20	11~ 14	2.0~ 2.5	—	—	—	—	—	
低碳 23- 13 型	A302 (E309-16)	≤0.15	≤0.9	0.5~ 2.5	22~ 25	12~ 14	—	—	—	—	—	—	耐 腐 蚀 层 的 过 渡 层 堆 焊
低碳 26- 21 型	A402 (E310-16)	≤0.20	≤0.75	1.0~ 2.5	25~ 28	20~ 22.5	—	—	—	—	—	—	
299Mo1 型	—	≤0.12	—	—	28	9.0	1.0	—	—	—	250	450	耐 腐 蚀 及 耐 气 蚀 堆 焊, 热 冲 压、挤 压 模 具 堆 焊, 异 种 钢 焊 接
188Mn6 型	GRINOX25	0.10	0.5	6.5	18	8.0	—	—	—	—	200	—	过 渡 层 堆 焊, 水 轮 机 叶 片、异 种 钢 焊 接
铬 镍 奥 氏 体 阀 门 堆 焊 焊 条	D547 (EDCrNi-A-15)	≤0.18	4.8~ 6.4	0.6~ 2.0	15~ 18	7.0~ 9.0	—	—	—	—	28~ 34 HRC	—	570℃ 以下 蒸 汽 阀 门 堆 焊
	D547Mo (EDCrNi-B-15)	0.1~ 0.18	3.5~ 4.3	0.6~ 2.0	18~ 21	10~ 12	3.8~ 5.0	0.8~ 1.2	0.5~ 1.2	0.7~ 1.2	≥37 HRC	—	600℃ 以下 蒸 汽 阀 门 堆 焊
	D557 (EDCrNi-C-15)	≤0.2	5.0~ 7.0	2.0~ 3.0	18~ 20	7~ 10	—	—	—	—	≥37 HRC	—	

注：堆焊金属化学成分余量为 Fe。

3. 马氏体钢堆焊金属

马氏体钢堆焊金属一般 $w(C) = 0.1\% \sim 1.7\%$ ，其他合金元素质量分数之和为 $5\% \sim 15\%$ ，在焊态时金相组织为马氏体，有时也有少量的珠光体、托氏体、贝氏体和残留奥氏体。根据其碳含量的多少，可分为低碳马氏体钢 [$w(C) < 0.3\%$]、中碳马氏体钢 [$w(C) = 0.3\% \sim 0.6\%$] 和高碳马氏体钢 [$w(C) = 0.60\% \sim 1.7\%$]。马氏体钢堆焊层的硬度主要取决于碳和铬的含量，硬度一般为 $30 \sim 60\text{HRC}$ ，耐磨性较高，屈服强度高，能经受

中等冲击，比珠光体钢和奥氏体钢堆焊层抗冲击能力差。

马氏体钢堆焊金属主要用于金属间摩擦磨损的零件，例如齿轮、牵引车底架等的堆焊。 $w(C) < 0.2\%$ 的马氏体钢堆焊层，硬度小于 45HRC，可机加工，主要用来修复零件的磨损区。高碳马氏体钢堆焊层可以用于中等磨料磨损和中度冲击的场合。如果碳和铬都较高，堆焊层会出现残留奥氏体，韧性可适当提高。高铬马氏体不锈钢、工具钢、模具钢等也属于马氏体钢堆焊金属类。马氏体钢堆焊金属的成分、硬度和用途见表 1-6 ~ 表 1-8。

表 1-6 低碳马氏体钢堆焊焊条牌号及堆焊金属的成分、硬度和用途

序号	牌号	堆焊金属化学成分(质量分数,%)						堆焊金属 硬度 HRC	用 途
		C	Si	Mn	Cr	Mo	V		
1	DM-742	0.09	0.70	2.0 ~ 2.2	6.0 ~ 6.5	0.80 ~ 1.00	0.45	42 ~ 45	吊卡、吊车轮、 各种辊子、轴等 堆焊
2	广堆 1 号	0.13	0.87	4.0	—	5.1	0.16	47	各种辊子、齿 轮、轴、销堆焊
3	广堆 2 号	0.20	0.23	0.30	5.5	2.3	0.19	49	
4	广堆 3 号	0.21	0.35	5.4	5.4	—	0.21	49.5	
5	广堆 4 号	0.24	0.68	1.4	4.0	—	0.13	51	轧辊、矿石破 碎机部件、电铲 斗齿、挖掘机斗 齿堆焊
6	D217A (EDPCrMo- A4-15)	≤0.30	0.8 ~ 1.2	1.2 ~ 1.8	1.8 ~ 2.2	≤1.5	Ni = 1.4	≥50	

注：序号 1 ~ 5 为非标产品，DM-742 为哈尔滨焊接研究所研制，其余为广州焊条厂研制。堆焊金属化学成分余量为 Fe。

表 1-7 中碳马氏体钢堆焊焊条牌号及堆焊金属的成分、硬度和用途

牌 号	堆焊金属化学成分(质量分数,%)						堆焊金属硬 度 HRC	用 途
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V		
D172 (EDPCrMo- A3-03)	≤0.50	—	—	≤2.5	≤2.5	—	≥40	齿轮、挖泥斗、拖拉机 刮板、犁铧、矿山机械磨 损件堆焊
D167 (EDPMn6-15)	≤0.45	≤1.0	≤6.5	—	—	—	≥50	大型推土机、动力铲 滚轮、汽车环链、农业、 建筑磨损件堆焊
D212 (EDPCrMo- A4-03)	0.30 ~ 0.60	—	—	≤5.0	≤4.0	—	≥50	齿轮、挖斗、矿山机械 磨损件堆焊
D237 (EDPCrMoV- A1-15)	0.30 ~ 0.60	—	—	8.0 ~ 10.0	≤3.0	0.5 ~ 1.0	≥50	水力机械、矿山机械 磨损件堆焊

注：堆焊金属化学成分余量为 Fe。

马氏体钢堆焊药芯焊丝的成分及堆焊金属的硬度和用途见表 1-9。

4. 合金铸铁堆焊金属

合金铸铁堆焊金属可分为马氏体合金铸铁、奥氏体合金铸铁和高铬合金铸铁三种。

表 1-8 高碳马氏体钢堆焊焊条牌号及堆焊金属的成分、硬度和用途

牌 号	堆焊金属化学成分(质量分数,%)						堆焊金属硬度 HRC	用 途
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V		
D207 (EDPCrMnSi-15)	0.50 ~ 1.00	≤1.0	≤2.5	≤3.5	其他 ≤1.00		≥50	推土机零件、螺旋浆堆焊
D227 (EDPCrMoV-A1-15)	0.45 ~ 0.65	—	—	4.0 ~ 5.0	2.0 ~ 3.0	0.40 ~ 0.50	≥55	掘进机滚刀、叶片堆焊

注：堆焊金属化学成分余量为 Fe。

表 1-9 马氏体钢堆焊药芯焊丝的成分及堆焊金属的硬度和用途

焊丝名称	牌号 焊丝/焊剂	堆焊金属化学成分(质量分数,%)						堆焊金属硬度 HV	用 途
		C	Si	Mn	Cr	Mo	V		
CO ₂ 焊 药 芯 焊 丝	A-450	0.19	0.66	1.52	1.83	0.60	—	445	履带辊、链轮、惰轮、轴、销、链带、搅叶堆焊
	A-600	0.38	0.32	2.76	6.16	3.25	—	628	挖泥船泵壳、输送螺旋推土机刀堆焊
自保护 弧焊药芯 焊丝	GN450	0.45	0.14	1.80	2.65	0.49	—	480	驱动链轮、轴、销、搅叶、链带、辊轮、齿轮堆焊
	GN700	0.65	0.89	1.27	5.92	1.61	—	675	推土机刀、搅叶、割刀、泵壳、搅拌机堆焊
埋 弧 焊 药 芯 焊 丝	S400/50	0.12	0.80	2.04	1.99	0.54	0.19	400	推土机和铲土机的引导轮、承重轮、惰轮、链轨节堆焊
	S450/50	0.20	0.60	1.50	2.80	0.80	0.30	450	
	S600/80	0.25	0.90	1.55	7.0	4.2	W = 0.45	580	各种碾压机碾子、高炉料钟堆焊

注：堆焊金属化学成分余量为 Fe。

(1) 马氏体合金铸铁堆焊金属 $w(C) = 2\% \sim 5\%$ ，并加入其他合金元素，有铬、钨、镍和硼等，其总的质量分数不超过 20%，属亚共晶合金铸铁，其金相组织为马氏体 + 残留奥氏体 + 莱氏体合金碳化物。马氏体合金铸铁堆焊层硬度为 50 ~ 66HRC，具有很高的抗磨料磨损能力，耐热、耐蚀和抗氧化性能也较好，还能耐轻度冲击。但在堆焊时易出现裂纹，主要用于农机、矿山设备等零件的堆焊。

马氏体合金铸铁堆焊金属的成分、硬度和用途见表 1-10。

(2) 奥氏体合金铸铁堆焊金属 $w(C) = 2\% \sim 4\%$ ， $w(Cr) = 12\% \sim 28\%$ ，同时含有锰、镍、钼、硅等合金元素，金相组织为奥氏体 + 网状莱氏体的共晶体。其堆焊层硬度为 45 ~ 55HRC，耐低应力磨料磨损性能高，但耐高应力磨料磨损性能比马氏体合金铸铁堆焊层

表 1-10 马氏体合金铸铁堆焊金属的成分、硬度和用途

焊条牌号	堆焊金属化学成分(质量分数,%)						堆焊金属硬度 HRC	用 途
	C	Cr	Mo	W	B	其他		
D608 (EDZ-A1-08)	2.5~4.5	3.0~5.0	3.0~5.0	—	—	—	≥55	矿山冶金机械、农业机械等承受泥沙及矿石的磨粒磨损及轻微冲击的零件堆焊
D687 (EDZCr-D-15)	1.5~2.2	—	—	8.0~10	0.015	≤1	≥50	矿山冶金机械、农业机械、泥浆泵等受磨粒磨损的零件堆焊
D698 (EDZ-B2-08)	2.0~3.0	4.0~6.0	—	8.5~14	—	—	≥60	矿山冶金设备、受泥沙磨损的零件堆焊

注：堆焊金属化学成分余量为 Fe。

低；耐腐蚀性和抗氧化性较好，有一定韧性，能承受中等冲击，对开裂或剥离的敏感性比马氏体合金铸铁和高铬合金铸铁堆焊层都小，主要用于有中度冲击和中等磨料磨损的场合，如粉碎机辊、挖掘机斗齿等零件的堆焊。

奥氏体合金铸铁堆焊金属的成分、硬度和用途见表 1-11。

表 1-11 奥氏体合金铸铁堆焊金属的成分、硬度和用途

名 称	牌 号	堆焊金属化学成分(质量分数,%)							堆焊金属硬度 HRC	用 途
		C	Cr	Si	Mn	Ni	Mo	V		
奥氏体合金 铸铁堆焊药芯 焊丝	GRIDURF-43	3.0	16	—	—	—	1.5	0.3	45~55	粉碎机辊、挖掘机齿、挖泥机耐磨件、螺旋输送器等堆焊
奥氏体合金 铸铁堆焊焊条 或药芯焊丝	—	3.2	16.0	—	—	6.0	8.0	—	—	
	—	3.0	12.0	1.5	2.5	—	1.5	—	—	
	—	4.0	16.0	—	—	2.0	8.0	—	—	

注：堆焊金属化学成分余量为 Fe。

(3) 高铬合金铸铁堆焊金属 $w(\text{C}) = 1.5\% \sim 6\%$ ， $w(\text{Cr}) = 15\% \sim 35\%$ ，为进一步提高耐磨性、耐热性、耐蚀性和抗氧化性，加入钨、钼、镍、硼、硅等合金元素。高铬合金铸铁堆焊金属可分为奥氏体型、可热处理硬化型（马氏体型）和多元合金型三种，其共同特点是含有大量初生的针状 Cr_7C_3 。这种极硬的碳化物分布在基体中，从而大大提高了堆焊层耐低应力磨料磨损的能力。但耐高应力磨料磨损的性能，还取决于基体对 Cr_7C_3 的支撑作用，其中奥氏体型的最差，多元合金型的最好。

可热处理硬化型高铬合金铸铁 $w(\text{C}) \approx 2.5\%$ 、 $w(\text{Cr}) = 25\%$ ，堆焊层基体组织是奥氏体，硬度 45~55HRC。经 800~850℃退火后可加工，再经 950~1090℃空淬后，基体组织成为马氏体，硬度可高达 60HRC，耐高应力磨料磨损性能大大提高。可热处理硬化型高铬合金铸铁是一种重要的铸造和堆焊用的耐磨金属。

高铬合金铸铁到 430℃ 时热硬度迅速下降。用钼、钨强化型的高铬合金铸铁在 430 ~ 650℃ 之间仍能有效地保持热硬度，因而具有良好的耐热磨损性能，可用于矿山机械、磨煤机锤头等零件的堆焊。

高铬合金铸铁堆焊焊条牌号及堆焊金属的成分、硬度和用途见表 1-12。高铬合金铸铁焊丝的牌号及堆焊金属的成分、硬度和用途见表 1-13。

表 1-12 高铬合金铸铁堆焊焊条牌号及堆焊金属的成分、硬度和用途

焊条牌号	堆焊金属化学成分(质量分数,%)										堆焊金属硬度 HRC	用 途
	C	Cr	Mn	Si	Ni	Mo	V	W	B	其他		
D618	3.0	15.6 ~ 20.0	—	—	—	1.0 ~ 2.0	≤1.0	10.0 ~ 20.0	—	—	≥58	承受轻微冲击载荷的磨料磨损的零件,如磨煤机锤头等的堆焊
D628	3.0 ~ 5.0	20.0 ~ 35.0	—	—	—	4.0 ~ 6.0	≤1.0	—	—	—	≥60	承受轻度冲击载荷的磨料磨损零件,如磨煤机、扇式碎煤机冲击板等零件的堆焊
D642 (EDZCr-B-03)	1.5 ~ 3.5	22.0 ~ 32.0	1.0	—	—	—	—	—	—	≤7	≥45	水轮机叶片、高压泵等耐磨零件、高炉料钟等的堆焊
D667 (EDZCr-C-15)	2.5 ~ 5.0	25.0 ~ 32.0	≤8	1.0 ~ 4.8	3.0 ~ 5.0	—	—	—	—	≤2	≥48	耐强烈磨损、耐蚀、耐汽蚀的零件,如石油工业离心裂化泵轴套、矿山破碎机、气门盖等零件的堆焊
D687 (EDZCr-D-15)	3.0 ~ 4.0	22.0 ~ 32.0	1.5 ~ 3.5	3.0	—	—	—	—	0.5 ~ 2.5	≤6.0	≥58	强磨料磨损条件下的零件,如牙轮钻小轴、煤孔挖掘机、碎矿机辊、泵缸筒、混合器叶片等零件堆焊

注：堆焊金属化学成分余量为 Fe。

表 1-13 高铬合金铸铁焊丝的牌号及堆焊金属的成分、硬度和用途

焊丝牌号	堆焊金属化学成分(质量分数,%)								堆焊金属硬度 HRC	用 途
	C	Cr	Mn	Si	B	Ni	Co	Fe		
HS101	2.5 ~ 3.3	25.0 ~ 31.0	0.50 ~ 1.5	2.8 ~ 4.2	—	3.0 ~ 5.0	—	余	48 ~ 54	耐磨料磨损、抗氧化、耐汽蚀的零件,如铲斗齿、气门、排气叶片等堆焊
HS103	3.0 ~ 4.0	25.0 ~ 32.0	≤3.0	≤3.0	0.50 ~ 1.0	—	4.0 ~ 6.0	余	58 ~ 64	耐强烈磨损,如牙轮钻轴、煤孔挖掘机、破碎机辊、混合叶片等零件的堆焊

1.3.2 钴基堆焊金属

钴基堆焊金属主要指钴铬钨合金，即通常所谓斯太利合金。该类堆焊金属中 $w(\text{Cr}) =$

25% ~ 33%， $w(W) = 3\% \sim 21\%$ ，铬主要提高抗氧化性，钨主要提高高温（540 ~ 650℃）蠕变极限。该堆焊金属在 650℃ 左右仍能保持较高的硬度，这是区别于铁基、镍基堆焊合金的重要特点。此外该合金具有一定的耐腐蚀性、优良的抗粘着磨损性能，随着碳含量的提高还具有高的硬度和优良的抗磨料磨损性能。因此虽然这类合金价格昂贵，在要求耐高温磨损、耐高温腐蚀的场合仍得到较多的应用。

$w(C) = 1\%$ 的钴基合金可用于内燃机排气阀的密封面的堆焊； $w(C) = 2.5\%$ 的钴基合金虽有很好的抗磨料磨损的能力，但抗冲击能力、焊接性和机加工性能下降，只能磨削加工，堆焊时易出现裂纹，主要适用于高温工作条件下高应力磨料磨损和工具刃部的堆焊。

钴基堆焊焊条牌号及堆焊金属的成分、硬度和用途见表 1-14。

表 1-14 钴基堆焊焊条牌号及堆焊金属的成分、硬度和用途

焊条牌号	相当于 AWS/ASTM	堆焊金属化学成分(质量分数,%)							堆焊金属硬度 HRC	用 途
		C	Cr	W	Mn	Si	Fe	Co		
D802 (EDCoCr-A-03)	ECoCr-A	0.7 ~ 1.4	25 ~ 32	3 ~ 6	≤2	≤2	≤5	余	≥40	高温高压阀门、热剪刀堆焊
D812 (EDCoCr-B-03)	ECoCr-B	1.0 ~ 1.7	25 ~ 32	7 ~ 10	2	2	5	余	≥44	高温高压阀门、高压泵的轴套筒、内衬套筒、化纤设备的斩刀刃口堆焊
D822 (EDCoCr-C-03)	ECoCr-C	1.75 ~ 3.0	25 ~ 33	11 ~ 19	2	2	5	余	≥53	牙轮钻头轴承、锅炉旋转叶轮、粉碎机刃口、螺旋送料机等磨损件堆焊
D842 (EDCoCr-D-03)	ECoCr-D	0.2 ~ 0.5	23 ~ 32	≤9.5	≤2	≤2	≤5	余	28 ~ 38	热锻模、阀门密封面堆焊

1.3.3 镍基堆焊金属

镍基堆焊金属按其强化相的不同可分为三大类，即含硼化物合金、含碳化物合金和含金属间化合物的合金。

含硼化物合金的应用最广。镍基堆焊金属中 $w(B) = 1.5\% \sim 4.5\%$ 、 $w(Cr) = 0 \sim 18\%$ 。堆焊层的金相组织是奥氏体 + 碳化物 + 硼化物。一般含铬高时含硼也高，形成极硬的硼化物。堆焊层常温硬度为 62HRC，有很高的耐低应力磨料磨损的能力，但抗冲击能力下降。由于在 540℃ 仍保持较高硬度（48HRC），且有很好的抗氧化、耐腐蚀性，可用于阀门密封面的堆焊。

含碳化物的镍基合金使用较少，但由于和钴基合金相比价格较低，可作为钴基堆焊金属的代用品。

金属间化合物的镍基合金高温硬度好，具有很好的耐金属间磨损的能力和中等的耐磨料磨损的能力，但抗冲击性不好，常用来堆焊在严重腐蚀介质中工作的阀门密封面。

堆焊用或兼作堆焊用镍基合金焊条的名称、牌号，以及堆焊金属的成分、硬度和用途见表 1-15。