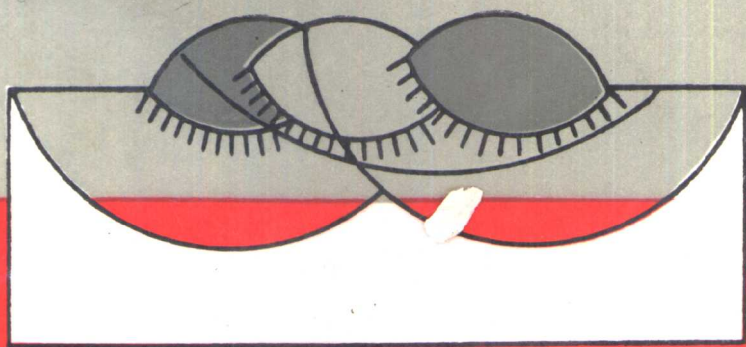


陈天佐 李泽高 编著

金属堆焊技术



机械工业出版社

金属堆焊技术

陈天佐 李泽高 编著



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书论述了金属堆焊的原理、特点和堆焊材料与设备及其选用;对堆焊的各种方法和工艺作了重点介绍,同时还介绍了一些较先进的堆焊方法;书中对不同堆焊方法所获堆焊层的组织与性能作了较深入的分析;对堆焊层和堆焊件的检验以及堆焊安全技术也作了介绍。

本书在阐述中,理论与实践相结合,一般原理与典型实例相结合,并附有较多的金属堆焊实例。是一本既有一定理论深度又有实用价值的参考书。

本书可供从事堆焊技术的焊工、技术人员阅读,也可供有关专业工人、技术人员及大、中专师生参考。

金属堆焊技术

陈天佐 李泽高 编著

*

责任编辑:俞逢英 版式设计:冉晓华

封面设计:刘代 责任校对:熊天荣

责任印制:王国光

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787\times 1092^{1/32}$ ·印张 $4^{3/4}$ ·字数104千字

1991年11月北京第一版·1991年11月北京第一次印刷

印数 0,001—3,620·定价:3.60元

*

ISBN 7-111-02830-9/TG·618

前 言

随着焊接技术的迅速发展，作为焊接分支的金属堆焊也得到了广泛的推广使用。目前，金属堆焊不仅已大量应用于机械制造，也普及到了冶金、电力、矿山、建筑、石油、化工等行业。在工、模具和金属零部件的制造与修理中，堆焊可以赋予金属零件表面具有复合层和特殊的性能，因此它受到了特别的重视。过去，系统地介绍堆焊技术的书籍不多。为了让更多的读者广泛了解这一大有发展前途的新技术，我们编写了这本《金属堆焊技术》，以期这一新技术在四化建设中发挥更大的作用。本书可作为普及教材，还可供有关专业大、中专师生参考。

本书由西南车辆制造厂高级工程师王英加同志审稿。在编写过程中，还得到许多同志的鼓励和帮助，在此一并向他们致谢。

当今，科技发展日新月异，金属堆焊也不断出现新方法、新工艺、新技术，我们深感跟不上这一发展形势。由于水平所限，书中的不足、错误之处，热忱欢迎读者指正。

编 者

1990年1月

目 录

前言

一、概述	1
(一) 堆焊的实质与特点	1
(二) 堆焊的应用和在国民经济中的意义	3
(三) 堆焊的分类	4
(四) 基体金属的堆焊性	4
(五) 金属磨损的概念	4
(六) 堆焊与一般焊接的比较	10
二 堆焊材料	11
(一) 堆焊材料的作用	11
(二) 堆焊材料的类型	11
(三) 堆焊材料的选择	39
三、堆焊设备	41
(一) 电焊机型号命名方法	41
(二) 堆焊用通用弧焊机	45
(三) 堆焊专用焊机	46
(四) 堆焊焊机的选用	49
四、堆焊方法及工艺	50
(一) 氧-乙炔焰堆焊	50
(二) 手工电弧堆焊	55
(三) 自动埋弧堆焊	64
(四) 振动电弧堆焊	80
(五) 等离子弧堆焊	86
(六) 气体保护电弧堆焊	100
(七) 电渣堆焊	114

IV

(八) 其它堆焊方法	118
(九) 各种堆焊方法比较	118
五、堆焊层的组织及其性能	120
(一) 堆焊层组织的一般规律	120
(二) 不同堆焊方法对组织性能的影响	123
六、堆焊检验及安全技术	129
(一) 堆焊检验	129
(二) 堆焊的安全技术	143
主要参考文献	147

一、概 述

(一) 堆焊的实质与特点

堆焊是焊接的一个分支，是金属晶内结合的一种熔化焊接方法。但它与一般焊接不同，不是为了连接零件，而是用焊接的方法，在零件的表面堆敷一层或数层具有一定性能材料的工艺过程。其目的在于修复零件或增加其耐磨、耐热、耐蚀等方面的性能。由此可见，堆焊具有一般焊接方法的特点，但又有其特殊性。它在焊接中的位置如图 1 所示。

堆焊就其物理本质、冶金过程和热过程的基本规律而言与一般焊接是相同的，但由于其目的在于发挥堆焊层的特殊效果，所以还有它自身的一些特点。

1) 影响堆焊层效果的主要因素是，堆焊层的合金成分及组织性能。因此，根据零件的使用条件，选择最优的焊接材料与工艺方法相配合进行堆焊至为重要。

2) 由于堆焊主要在于发挥堆焊层的特殊效果，所以除修补零件可用相同或相近于基体金属的焊接材料外，一般都使用具有特殊成分和性能的焊接材料。这就使堆焊在多数情况下，具有异种金属（特别是高合金）焊接的特点。

3) 为了保证堆焊层的特殊性能，堆焊时要尽量降低稀释率，即堆焊层要尽量减少被基体金属所稀释。因此，稀释率是堆焊中一项重要的指标。

4) 堆焊金属与基体金属的相变温度和膨胀系数要相近，以免在堆焊及其后热处理过程中产生较大的组织应力与热应力，而导致堆焊件的报废。

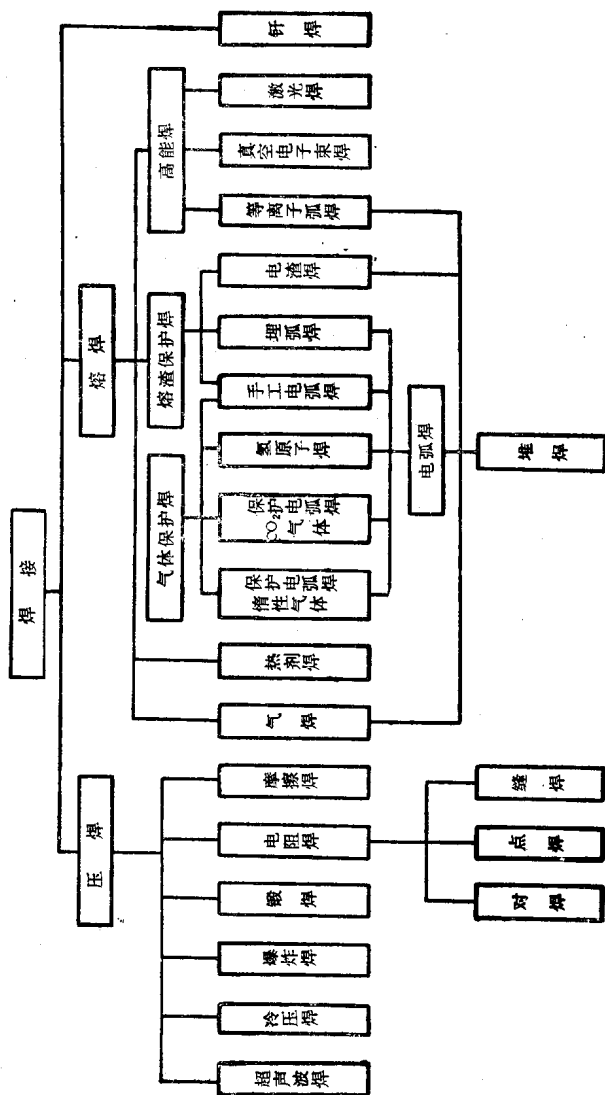


图 1 堆焊在焊接中的位置

（二）堆焊的应用和在国民经济中的意义

概括地讲，堆焊主要用于制造新零件和修复旧零件两个方面。用于前者，可以赋予零件表面具有耐磨或耐蚀、耐热等特殊性能的双（多）层金属零件。用于后者，可以修复已经失去精度或被破坏了的零件，也可修复生产过程中出现的缺陷及废次品（如铸、锻废次坯件等）。

就堆焊的应用范围而言，它遍及各种机械使用和制造部门。它广泛应用于汽车、拖拉机，冶金机械，矿山、煤矿机械，动力机械，石油、化工设备，建筑、运输设备以及工具和模具的制造与修理中。例如，拖拉机花键轴、载重汽车发动机曲轴、推土机刃板、压路机链轮、水轮机叶片、船舶螺旋桨、冷（热）轧辊、内燃机排气阀、矿山料车、铲斗齿、混凝土搅拌机叶片、石油牙轮钻头、钻杆接头、挖掘机斗齿、铁道道岔、履带板、锅炉压力容器、推焦机推杆、高炉料种、泥浆泵、热锻模、热拉伸模、热冲头、热剪刀及高速钢刀具等的制造和修复，都可使用堆焊技术。

用它制造某些零件时，不仅可发挥零件的综合技术性能和材料的工作潜力，还能节约大量的贵重合金。例如，一般热锻模用5CrMnMo或5CrNiMo等合金钢整体模制造，而我国有的工厂已成功地应用45Mn2铸钢基体电渣堆焊合金材料来制造，从而大量节约了贵重的Ni、Mo等合金元素。又如，我国成功地采用了高频堆焊农机犁铧，从而使农具的生产迈进了一大步。用堆焊来修复零件更是十分普遍。据统计，用于修复旧件的堆焊金属占堆焊金属总量的72%。用堆焊修复旧件费用低、省工、省时、省材料，还可以缩短制造周期。因此，合理地采用并推广堆焊技术具有重大的经济意义。

(三) 堆焊的分类

堆焊既然是熔焊，因此从原则上讲，凡是属于熔焊的方法都可用于堆焊。堆焊方法的发展也随生产发展的需要和科技进步而发展，当今已有很多种堆焊方法，现按实现堆焊的条件，将常用的堆焊方法综合分类如图 2 所示。这些类别的堆焊方法，本书随后将分别加以讨论。

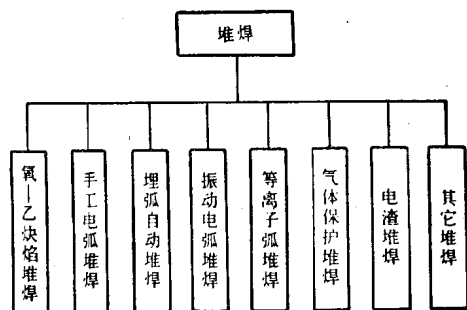


图 2 堆焊的分类

(四) 基体金属的堆焊性

和一般焊接一样，金属的堆焊性也分为：理论堆焊性和工艺堆焊性两种。我们这里仅就基体金属的工艺堆焊性作简略比较(表 1)。由于堆焊多属于用高合金材料进行异种金属焊接，因此总体说，基体金属的堆焊性比焊接性差。

(五) 金属磨损的概念

堆焊广泛地用于提高零件的耐磨性，因此有必要了解金属磨损的一些基本概念，这样才能针对不同类型的磨损条件选用合适的堆焊材料和堆焊方法。

磨损的条件和原因较复杂，且常常是多因素的综合，因此分析磨损原因时必须从具体使用条件出发，并抓住主要

表1 几种金属的工艺堆焊性

基体金属类型	工 艺 堆 焊 性
碳当量 C_{eq} ① $\leq 0.4\%$ 的低、中碳钢及低合金钢	易于堆焊,除厚大件外,一般不进行预热和焊后热处理
碳当量 $C_{eq} \geq 0.4\%$ 的中、高碳钢	可以堆焊,但要焊前退火,焊接时需预热、焊后缓冷、回火
纯镍	容易堆焊,但用氩弧堆焊较好
镍铬不锈钢	0Cr18Ni9、1Cr18Ni9、1Cr18Ni11Nb等镍铬不锈钢易于堆焊
含钛不锈钢	1Cr18Ni9Ti等不锈钢宜用氩弧堆焊,不宜用氧-乙炔焰堆焊
铁素体类不锈钢	堆焊性较差。堆焊时易引起裂纹和晶粒长大,需严格控制预热温度和层间温度
马氏体类不锈钢	堆焊性差。堆焊时有淬硬倾向。热处理过的零件堆焊前应退火,堆焊中要严格控制预热温度和层间温度,焊后要立即回火
高锰钢	可以堆焊。应注意堆焊层碳、锰含量以及冷却速度。宜断续堆焊,堆焊后需作水韧处理
镍基合金	易堆焊。但堆焊前要预热,堆焊后应消除应力退火
工具钢、模具钢	堆焊性较差。经热处理的工、模具堆焊前应退火,堆焊时预热,并要特别注意层间温度的控制。堆焊后应立即退火
铸铁	堆焊性差。对于小件可用氧-乙炔焰堆焊,焊后缓冷退火,大件堆焊时应预热,尽量避免多层堆焊

① 碳当量 C_{eq} ,一般按公式 $C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \%$ 计算。

矛盾和矛盾的主要方面。为便于分析,通常把磨损的原因分为机械的原因和化学的原因两个方面。前者包括:磨粒磨损、粘着磨损、冲击磨损、压力磨损、冲蚀磨损和气蚀磨损等;后者包括腐蚀磨损和热磨损等。

1. 磨粒磨损 磨粒磨损也称磨料磨损,它是指磨粒沿金属表面运动而导致的磨损。据估计农业机械中失效零件的40%是由于磨粒磨损所造成的。据国外统计资料,机器由于磨粒磨损造成的耗费,冶金、矿山为40%,煤矿为30%,农机为20%,工程机械为10%。磨粒磨损对于任何相对磨粒运动零件的使用寿命都是非常重要的。例如犁铧、中耕机、刮泥器刀片、压路机刀片、破碎机、球磨机等都会受到磨粒磨损。经验证明,在压力情况下,当磨粒的硬度高于工件硬度时工件将会受到磨损。磨粒磨损的过程先是磨粒压入材料划出沟槽,而后沟槽边缘金属产生塑性变形逐渐导致表面金属断裂与剥落,如此继续循环进行。磨粒磨损的过程,如示意图3所示。

根据磨粒磨损的受力情况和使用条件,在堆焊时应选择不同的堆焊材料。对于受到严重冲击的磨粒磨损零件,

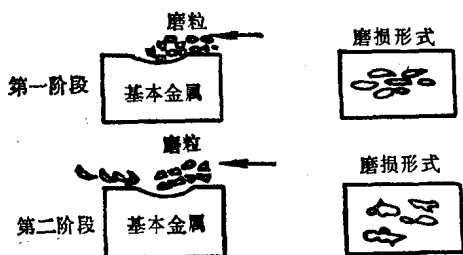


图3 磨粒磨损过程示意图

常采用具有高韧性的耐磨堆焊材料;对高应力磨粒磨损的零件,常采用碳化钨和高碳钢等耐磨堆焊材料;而对于低应力磨粒磨损的零件,常采用碳化钨和马氏体类耐磨堆焊材

料。

2. 粘着磨损 粘着磨损又称摩擦磨损。它是金属与金属相对移动时由于两接触面凹凸不平，在摩擦过程中引起表面金属变形，局部高温焊合而撕裂或转移到另一表面，从而产生的表面破坏。这种磨损形式多发生于润滑不良或不进行润滑的滑动摩擦零件中，如切削刀具、模具、准双曲面齿轮、蜗轮、飞机齿轮、凸轮、制动轮、顶杆等的磨损。粘着磨损是最基本的常见磨损。粘着磨损的示意图，如图 4 所示。

控制粘着磨损的原则方法有三种，即保护层原则、转换原则和更换原则，而堆焊符合前两种。修复这种磨损零件的堆焊材料，要求摩擦系数较小，硬度和耐磨性与相互摩擦的材料接近。

3. 冲击磨损

冲击磨损如图 5 所示。它是工件长时间承受局部冲击载荷的结果。冲击磨损的大小，取决于冲击能的大小。图 5 a 为矿物颗粒冲击塑性金属的磨损情况；图 5 b 为矿物颗粒冲击脆性金属磨损的情况；图 5 c 为较小的矿物颗粒冲击脆性金属材料磨损的

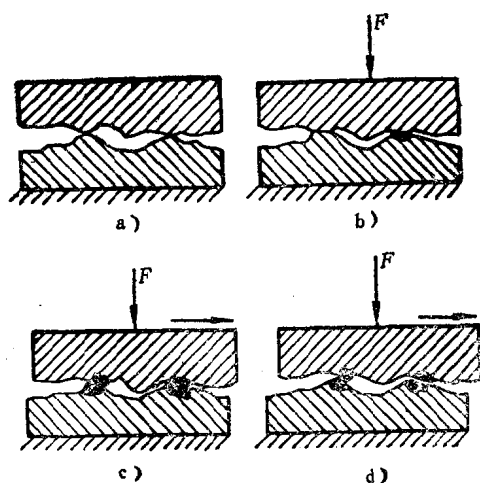


图 4 粘着磨损示意图

- a) 未受载的表面互相接触 b) 加载引起的塑性流动和冷焊合 c) 滑动和载荷产生的应变硬化 d) 微粒迁移

情况。

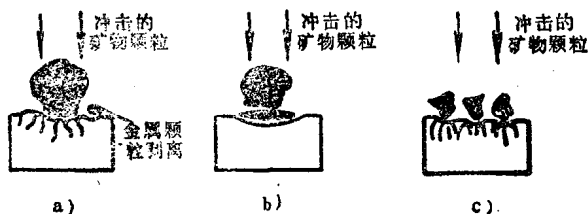


图5 冲击磨损示意图

- a) 冲击塑性材料的磨损 b) 冲击脆性材料的磨损 c) 较小矿物颗粒冲击脆性金属材料的磨损

4. 压力磨损 压力磨损是指工件受到静压或循环压力载荷时所产生的磨损。图6为压力磨损示意图。

5. 冲蚀磨损

一般是指在外部机械力的作用下材料表面被破坏或磨损的现象。所谓外部机械力可以由固体向固体或液体向固体表面，或气体向固体表面，或者固体、液体同时

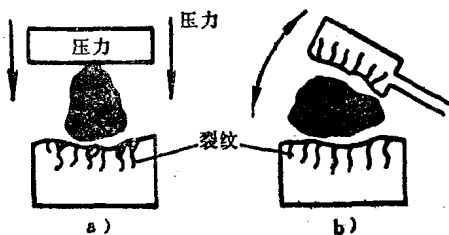


图6 压力磨损示意图

- a) 静载荷压力磨损 b) 疲劳载荷压力磨损

向固体表面，或固体、气体同时向固体表面以及气体、液体、固体同时向固体表面不断进行动态冲击而产生的，冲蚀磨损如图7所示。

冲蚀磨损的现象在工程中是大量发生的。如汽轮机叶片被凝结水滴冲击；水轮机叶轮被水和砂粒冲击；火箭发动机

尾部喷嘴被燃气冲刷；直升飞机螺旋桨被空气中灰尘冲蚀；锅炉管道被燃烧的灰尘冲蚀；美国宇宙飞船着陆后所看到的由空气中微粒与高速飞船冲击所造成的冲蚀等。

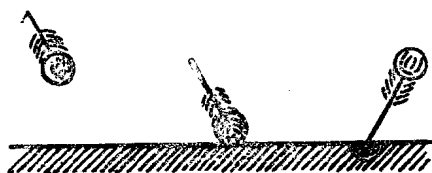


图 7 冲蚀磨损示意图

6. 气蚀磨损

气蚀磨损是指，液体的流动或者固体表面的振动使液体内部出现压强变化，引起气泡“内向爆炸”，使局部金属表面承受一种显微冲击波而导致的磨损。气蚀磨损如图 8 所示。

气蚀磨损也是一种常见的磨损方式。船用螺旋桨叶片、泵、阀门、浮筒、水轮机叶轮等都可以因为气蚀磨损而降低其效能，甚至失效。

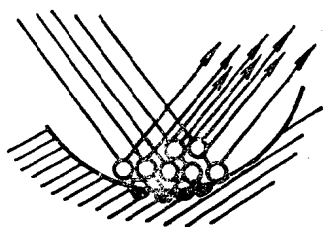


图 8 气蚀磨损示意图

7. 腐蚀磨损 在摩擦过程中，金属同时受各种气体、酸、碱和盐等腐蚀介质的化学

或电化学作用，而产生的磨损称为腐蚀磨损。它是腐蚀与机械磨损共同作用的结果。化工、冶金等部门的许多泵、阀、压力容器等都往往受到腐蚀磨损。在这类磨损零件堆焊时，堆焊材料必须兼有耐蚀和耐磨的性能。

8. 热磨损 由于热量造成的磨损称为热磨损。它可以是由于反复加热与冷却造成的热疲劳磨损（或失效），也可能是由于金属受热氧化后产生的磨损。热磨损如图 9 所示。

热锻模、压铸模、装料机等热加工设备和工具的磨损都属于热磨损。

金属零件磨损的原因是复杂的，堆焊仅是减少磨损的方法之一，若要得到理想的修复效果，还必须同时考虑其它方法或几种方法同时并用。

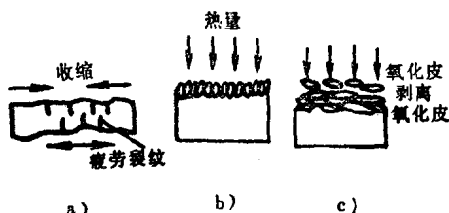


图9 热磨损示意图

a) 膨胀 b) 金属晶界氧化 c) 在氧化气氛中金属表面氧化

(六) 堆焊与一般焊接的比较

下面就它与一般焊接方法的异同作一比较，如表2所示。

表2 堆焊与一般焊接比较

比较项目 类别	应用目的	金属间结合 方式	所属范围	熔合比 (稀释率)
一般焊接	连接不可卸的零件	晶内结合	各种焊接	较大
堆焊	增加零件表面的特殊性能	晶内结合	熔焊的一个分支	较小

二、堆 焊 材 料

堆焊材料是指堆焊时所消耗的材料，包括焊条、焊丝、焊剂、气体等，而不是指被堆焊的金属。

（一）堆焊材料的作用

堆焊材料是堆焊层金属的来源，并依靠它来完成堆焊过程对液态金属的保护作用和冶金反应，以取得优良的具有特殊性能的金属堆焊层。实践证明，堆焊材料的质量对保证堆焊过程的稳定和获得一层特殊性能的合金面起着决定性作用。

归纳起来，堆焊材料应起到以下作用：

- 1) 对电弧堆焊，应保证电弧的稳定燃烧和熔滴过渡的顺利进行。对电渣堆焊应保证电渣过程稳定；
- 2) 保护液态熔池，防止空气侵入；
- 3) 进行冶金反应，过渡合金元素能按预期要求控制和调整堆焊层金属的化学成分与性能；
- 4) 防止气孔、夹渣和裂纹等堆焊缺陷的产生；
- 5) 改善堆焊工艺性能和劳动卫生条件；
- 6) 在保证堆焊质量的前提下，尽可能地提高堆焊效率。

（二）堆焊材料的类型

常用堆焊材料，主要有堆焊焊条、堆焊焊丝、堆焊合金粉（粒）末、焊剂和保护气体等五大类。堆焊材料的分类，如图10所示。

1. 堆焊焊条 GB984—85 标准对表面耐磨堆焊用的手工电弧焊焊条作了规定，它是生产、使用堆焊条的依据。