



国家出版基金资助项目



湖北省学术著作
出版专项资金
Hubei Academic Publication
Special Fund

湖北省学术著作出版专项资金资助项目

数字制造科学与技术前沿研究丛书

电阻焊用点焊电极 延寿技术与方法

Technology and Methods of Prolong Life
for Resistance Spot Welding Electrode

董仕节 罗平 编著

 武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press



国家出版基金资助项目

国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

湖北省学术著作出版专项资金资助项目



湖北省学术著作
出版专项资金
Hubei Provincial Academic Monograph
Publishing Special Fund

数字制造科学与技术前沿研究丛书

电阻焊用点焊电极 延寿技术与方法

董仕节 罗 平 编著

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

内 容 提 要

本书重点介绍了几种延长点焊电极寿命的方法,目的在于使读者了解延长点焊电极寿命的常用方法和相关理论知识。本书共分7章,第1章主要介绍了电阻点焊工艺基础。第2章介绍了点焊电极材料及失效机理。第3章介绍了点焊电极材料及影响点焊电极寿命的原因。第4、5章分别介绍了点焊电极表面电火花熔敷单相TiC、TiB₂涂层延寿方法。第6、7章分别介绍了点焊电极表面电火花原位熔敷TiB₂-TiC、ZrB₂-TiB₂复相涂层延寿方法,第7章还重点介绍了电火花原位熔敷ZrB₂-TiB₂复相涂层缺陷控制和相关机理。

本书可作为高等院校材料加工等相关专业的教学参考用书,也可供相关领域技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电阻焊用点焊电极延寿技术与方法/董仕节,罗平编著. —武汉:武汉理工大学出版社,2019.1
ISBN 978-7-5629-5701-0

I. ①电… II. ①董… ②罗… III. ①电阻焊-点焊-电极 IV. ①TG453

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 078537 号

项目负责人:田 高 王兆国

责任编辑:雷红娟

责任校对:李正五

封面设计:兴和设计

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路122号 邮编:430070)

<http://www.wutp.com.cn>

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:武汉中远印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:11

字 数:282千字

版 次:2019年1月第1版

印 次:2019年1月第1次印刷

印 数:1—1200册

定 价:68.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有,盗版必究 ·

数字制造科学与技术前沿研究丛书

编审委员会

顾问：闻邦椿 徐滨士 熊有伦 赵淳生

高金吉 郭东明 雷源忠

主任委员：周祖德 丁 汉

副主任委员：黎 明 严新平 孔祥东 陈 新

王国彪 董仕节

执行副主任委员：田 高

委员(按姓氏笔画排列)：

David He	Y. Norman Zhou	丁华锋	马 辉	王德石
毛宽民	冯 定	华 林	关治洪	刘 泉
刘 强	李仁发	李学军	肖汉斌	陈德军
张 霖	范大鹏	胡业发	郝建平	陶 飞
郭顺生	蒋国璋	韩清凯	谭跃刚	蔡敢为

秘书：王汉熙

总责任编辑：王兆国

总 序

当前,“中国制造 2025”规划和德国工业 4.0 以信息技术与制造技术深度融合为核心,以数字化、网络化、智能化为主线,将“互联网+”与先进制造业结合,正在兴起全球新一轮数字化制造的浪潮。发达国家特别是美、德、英、日等制造技术领先的国家,面对近年来制造业竞争力的下降,大力倡导“再工业化、再制造化”战略,明确提出智能机器人、人工智能、3D 打印、数字孪生是实现数字化制造的关键技术,并希望通过这几大数字化制造技术的突破,占领数字化设计与制造的高地,巩固和提升制造业的主导权。近年来,随着我国制造业信息化的推广和深入,数字车间、数字企业和数字化服务等数字技术已成为企业技术进步的重要标志,同时也是提高企业核心竞争力的重要手段。由此可见,在知识经济时代的今天,随着第三次工业革命的深入开展,数字化制造作为新的制造技术和制造模式,同时作为第三次工业革命的一个重要标志性内容,已成为推动 21 世纪制造业向前发展的强大动力,数字化制造的相关技术已逐步融入到制造产品的全生命周期,成为制造业产品全生命周期中不可缺少的驱动因素。

数字制造科学与技术是以数字制造系统的基本理论和关键技术为主要研究内容,以信息科学和系统工程科学的方法论为主要研究方法,以制造系统的优化运行为主要研究目标的一门学科。它又是一门新兴的交叉学科,是在数字科学与技术、网络信息技术及其他(如自动化技术、新材料科学、管理科学和系统科学等)与制造科学与技术不断融合、发展和广泛交叉应用的基础上诞生的,也是制造企业、制造系统和制造过程不断实现数字化的必然结果。其研究内容涉及产品需求、产品设计与仿真、产品生产过程优化、产品生产装备的运行控制、产品质量管理、产品销售与维护、产品全生命周期的信息化与服务化等各个环节的数字化分析、设计与规划、运行与管理,以及产品全生命周期所依托的运行环境数字化实现。数字化制造的研究已经从一种技术性研究演变成为包含基础理论和系统技术的系统科学研究。

作为一门新兴学科,其科学问题与关键技术包括:制造产品的数字化描述与创新设计,加工对象的物体形位空间和旋量空间的数字表示,几何计算和几何推理、加工过程多物理场的交互作用规律及其数字表示,几何约束、物理约束和产品性能约束的相容性及混合约束问题求解,制造系统中的模糊信息、不确定信息、不完整信息以及经验与技能的形式化和数字化表示,异构制造环境下的信息融合、信息集成和信息共享,制造装备与过程

的数字化智能控制、制造能力与制造全生命周期的服务优化等。本系列丛书试图从数字制造的基本理论和关键技术、数字制造计算几何学、数字制造信息学、数字制造机械动力学、数字制造可靠性基础、数字制造智能控制理论、数字制造误差理论与数据处理、数字制造资源智能管控等多个视角构成数字制造科学的完整学科体系。在此基础上,根据数字化制造技术的特点,从不同的角度介绍数字化制造的广泛应用和学术成果,包括产品数字化协同设计、机械系统数字化建模与分析、机械装置数字监测与诊断、动力学建模与应用、基于数字样机的维修技术与方法、磁悬浮转子机电耦合动力学、汽车信息物理融合系统、动力学与振动的数值模拟、压电换能器设计原理、复杂多环耦合机构构型综合及应用、大数据时代的产品智能配置理论与方法等。

围绕上述内容,以丁汉院士为代表的一批我国制造领域的教授、专家为此系列丛书的初步形成,提供了他们宝贵的经验和知识,付出了他们辛勤的劳动成果,在此谨表示最衷心的感谢!对于该丛书,经与闻邦椿、徐滨士、熊有伦、赵淳生、高金吉、郭东明和雷源忠等我国制造领域资深专家及编委会成员讨论,拟将其分为基础篇、技术篇和应用篇3个部分。上述专家和编委会成员对该系列丛书提出了许多宝贵意见,在此一并表示由衷的感谢!

数字制造科学与技术是一个内涵十分丰富、内容非常广泛的领域,而且还在不断地深化和发展,因此本丛书对数字制造科学的阐述只是一个初步的探索。可以预见,随着数字制造理论和方法的不断充实和发展,尤其是随着数字制造科学与技术在制造企业的广泛推广和应用,本系列丛书的内容将会得到不断的充实和完善。

《数字制造科学与技术前沿研究丛书》编审委员会

前 言

随着汽车工业的飞速发展和人们对环保要求的提高,镀层(镀锌、镀铝)钢板和铝板在汽车上的应用越来越多。点焊是目前汽车制造工业中最重要的工艺方法,它具有生产效率高、焊接成本低、易于实现自动化等特点,因而被广泛应用于机械制造和汽车生产中。点焊电极是点焊过程中的易耗品。在点焊过程中,电极的主要功能是传输电流、加压和散热。由于电极与工件接触时的温度较高,而且点焊电极自身具有一定的电阻,在点焊电流作用下也会产生电阻热,因此点焊电极头部温升很快,达到了稍低于焊点熔核的高温,这使得电极在高温和高压共同作用下而失效。尤其是点焊汽车用镀层钢板时,低熔点镀层材料减小了接触电阻,与点焊普通钢板(非镀层钢板)相比,需增大焊接电流或延长焊接时间才能保证点焊质量。电极工作部位在点焊热和焊接力联合作用下,易与钢板表面低熔点镀层材料发生反应,形成低熔点的合金,这将加快电极失效。因此,减少电极的磨损,延长电极的寿命,是近些年来汽车制造领域亟须解决的前沿课题。本书重点介绍了几种延长点焊电极寿命的方法,目的在于使读者了解延长点焊电极寿命的常用方法和相关理论知识。

本书由董仕节、罗平编著,参与编写的人员还有官旭博士、熊灿硕士、刘康硕士。

本书在编写过程中,参考了国内外同行的大量文献资料,谨向有关人员表示衷心的感谢。本书的出版得到了武汉理工大学出版社的大力支持和帮助,在此向参与本书审阅、编校、排版等环节的工作人员表示衷心感谢。

本书部分内容获国家自然科学基金资助,在此也感谢基金号为 51375150、51075129、50575069 的国家自然科学基金的支持。

由于编者水平有限,错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2017 年 10 月

目 录

1 电阻点焊工艺基础	(1)
1.1 点焊方法	(1)
1.1.1 点焊方法的分类	(1)
1.1.2 点焊时向焊件馈电应遵循的原则	(2)
1.2 焊点质量要求	(2)
1.3 焊前工件表面清理	(3)
1.4 焊件的装配和定位焊	(5)
1.4.1 焊件的装配	(5)
1.4.2 定位焊	(5)
1.5 点焊焊接参数	(5)
1.6 焊接参数间的相互影响与选择	(7)
1.7 点焊焊接循环	(8)
2 点焊电极材料及失效机理	(10)
2.1 点焊电极材料	(10)
2.2 点焊电极失效机理	(12)
2.2.1 塑性变形	(12)
2.2.2 合金化	(12)
2.2.3 磨损	(13)
2.2.4 坑蚀与自愈合	(13)
2.2.5 再结晶	(13)
2.2.6 热冲击和热疲劳	(13)
3 点焊电极材料及影响点焊电极寿命的原因	(15)
3.1 Cu-B-Ti 粉末机械合金化过程中结构与性能变化	(15)
3.1.1 Cu-B-Ti 粉末机械合金化过程中的形貌变化	(15)
3.1.2 机械合金化粉末晶粒尺寸与应变	(16)
3.1.3 Cu-Ti-B 球磨过程中过饱和固溶体的形成	(17)
3.1.4 Cu-Ti-B 球磨过程中晶格常数变化	(20)
3.2 原位生成 TiB_2/Cu 复合材料	(20)
3.2.1 机械合金化时间对差热分析曲线的影响	(20)
3.2.2 机械合金化粉末加热烧结后的相分析	(21)
3.2.3 反应生成物的热力学分析	(22)
3.2.4 机械合金化时间对 TiCu_3 生成区间的影响	(25)
3.2.5 反应生成 TiB_2 的动力学研究	(26)

3.2.6	工艺参数对 TiB_2 增强铜基材料物理性能的影响	(31)
3.2.7	加压烧结工艺参数对铜基复合材料密度的影响	(35)
3.2.8	工艺参数对铜基复合材料电导率的影响	(37)
3.2.9	工艺参数对 TiB_2 增强铜基复合材料力学性能的影响	(38)
3.2.10	断口分析	(39)
3.3	$(\text{TiB}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)/\text{Cu}$ 复合材料的制备与合成机制	(40)
3.3.1	Cu-Al-B-TiO_2 粉末机械合金化过程中 XRD 分析	(40)
3.3.2	机械合金化过程中粉末的电镜观察	(42)
3.3.3	差热分析	(42)
3.3.4	$\text{Cu-Al-TiO}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ 粉末机械合金化中的反应概要	(44)
3.3.5	机械合金化中自维持反应发生的条件	(46)
3.3.6	热力学与动力学分析	(47)
3.4	铜基复合材料点焊电极的寿命及失效	(50)
3.4.1	电极寿命测试	(50)
3.4.2	复合材料电极点焊时的失效分析	(51)
3.4.3	电极的黏附现象	(51)
	参考文献	(52)
4	点焊电极表面电火花熔敷单相 TiC 涂层延寿方法	(54)
4.1	TiC 涂层制备	(54)
4.2	TiC 涂层性能影响因素	(55)
4.2.1	电容对 TiC 涂层硬度的影响	(55)
4.2.2	其他因素对 TiC 涂层硬度的影响	(56)
4.2.3	前处理或后处理对涂层硬度的影响	(57)
4.2.4	电容对 TiC 涂层厚度的影响	(58)
4.2.5	其他工艺对 TiC 涂层厚度的影响	(58)
4.2.6	前处理或后处理对涂层厚度的影响	(59)
4.3	TiC 涂层电极的显微形貌特征	(59)
4.3.1	首脉冲单点沉积涂层的显微形貌	(59)
4.3.2	TiC 涂层的微观结构及性能	(61)
4.4	电火花沉积过程中 TiC 涂层的质量过渡	(62)
4.5	TiC 涂层电极寿命测试与失效	(62)
4.5.1	TiC 涂层电极寿命测试	(62)
4.5.2	TiC 涂层电极失效分析	(63)
	参考文献	(67)
5	点焊电极表面电火花熔敷单相 TiB_2 涂层延寿方法	(69)
5.1	TiB_2 涂层的微观形貌与氧化	(69)
5.1.1	TiB_2 涂层的微观形貌	(69)
5.1.2	TiB_2 涂层的氧化现象	(71)

5.1.3	TiB ₂ 氧化的热力学分析	(72)
5.2	氩气保护对 TiB ₂ 涂层的影响	(74)
5.3	预沉积 Ni 中间层的 TiB ₂ 涂层结构和性能	(75)
5.3.1	TiB ₂ /Ni 涂层结构	(75)
5.3.2	TiB ₂ /Ni 涂层硬度	(76)
5.3.3	预涂敷 Ni 后 TiB ₂ 质量过渡	(77)
5.4	预沉积 TiC 中间层的 TiB ₂ 涂层的结构和性能	(78)
5.4.1	涂层的微观结构	(78)
5.4.2	细晶区的形成原因分析	(79)
5.4.3	柱状晶区的形成原因分析	(80)
5.5	TiB ₂ 涂层电极寿命及失效	(81)
5.5.1	点焊电极寿命测试	(81)
5.5.2	点焊电极的失效机制	(82)
	参考文献	(83)
6	点焊电极表面电火花原位熔敷 TiB ₂ -TiC 复相涂层延寿方法	(85)
6.1	Ti-B ₄ C-Ni-C 粉末机械合金化过程	(85)
6.2	原料球磨过程中的物相变化	(86)
6.2.1	B ₄ C 球磨及球磨粉末真空退火后的物相转变	(86)
6.2.2	Ti-B ₄ C-Ni-C 系统中二元系粉末球磨及球磨粉末真空退火后的物相转变	(86)
6.2.3	Ti-B ₄ C-Ni-C 系统中三元系粉末球磨及球磨粉末真空退火后的物相转变	(88)
6.2.4	Ti-B ₄ C-Ni-C 系统中四元系粉末球磨及球磨粉末真空退火后的物相转变	(89)
6.3	球磨后粉末的压制成型	(90)
6.3.1	成型剂选择	(90)
6.3.2	成型压力的选择	(90)
6.3.3	放电电极烧结工艺	(90)
6.3.4	放电电极性能	(91)
6.4	点焊电极表面电火花原位沉积 TiB ₂ -TiC 复相涂层及沉积参数对涂层结构性能的影响	(92)
6.4.1	电压及电容对沉积质量的影响	(92)
6.4.2	原位熔敷 TiB ₂ -TiC 复相涂层宏观形貌	(94)
6.4.3	沉积参数对 TiB ₂ -TiC 复相涂层电极表面硬度的影响	(94)
6.4.4	电压对 TiB ₂ -TiC 复相涂层厚度的影响	(97)
6.4.5	沉积时间对 TiB ₂ -TiC 鳞片状复相涂层厚度的影响	(97)
6.4.6	TiB ₂ -TiC 复相涂层电极的微观结构及性能	(98)
6.5	TiB ₂ -TiC 复相涂层电极寿命测试及失效分析	(99)

6.5.1	TiB ₂ -TiC 复相涂层电极寿命测试	(99)
6.5.2	塑性变形对 TiB ₂ -TiC 涂层电极寿命的影响	(100)
6.5.3	电极材料损失对 TiB ₂ -TiC 涂层电极寿命的影响	(102)
6.5.4	合金化对 TiB ₂ -TiC 涂层电极寿命的影响	(103)
6.5.5	TiB ₂ -TiC 复相涂层电极的失效过程	(104)
	参考文献	(106)
7	点焊电极表面电火花原位熔敷 ZrB ₂ -TiB ₂ 复相涂层延寿方法	(107)
7.1	球磨参数对放电电极制备原料结构与性能的影响	(107)
7.1.1	球磨转速对 Zr-Ti-B 体系物相转变及微观形貌的影响	(107)
7.1.2	球磨转速对 Zr-Ti-B 体系球磨后粉末形貌的影响	(111)
7.1.3	球料比对 Zr-Ti-B 体系物相变化的影响	(112)
7.1.4	球料比对 Zr-Ti-B 体系球磨后粉末形貌的影响	(117)
7.1.5	球磨时间对 Zr-Ti-B 体系球磨后物相转变的影响	(118)
7.1.6	球磨时间对 Zr-Ti-B 微观形貌的影响	(119)
7.2	电火花原位熔敷 ZrB ₂ -TiB ₂ 复相涂层用放电电极成型与性能	(120)
7.2.1	放电电极成型工艺	(120)
7.2.2	放电电极烧结工艺	(121)
7.2.3	放电电极微观结构	(124)
7.2.4	放电电极物理性能	(124)
7.3	电火花原位沉积 ZrB ₂ -TiB ₂ 复相涂层工艺、结构与性能	(125)
7.3.1	电容对 ZrB ₂ -TiB ₂ 复相涂层电极性能与结构的影响	(125)
7.3.2	电压对 ZrB ₂ -TiB ₂ 复相涂层性能的影响	(132)
7.3.3	沉积时间对 ZrB ₂ -TiB ₂ 复相涂层性能的影响	(136)
7.3.4	涂层形成过程	(139)
7.4	ZrB ₂ -TiB ₂ 复相涂层缺陷控制	(141)
7.4.1	气氛保护对 ZrB ₂ -TiB ₂ 复相涂层质量的影响	(141)
7.4.2	预涂 Ni 对 ZrB ₂ -TiB ₂ 复相涂层质量的影响	(142)
7.4.3	超声辅助电火花沉积对 ZrB ₂ -TiB ₂ 复相涂层质量的影响	(147)
7.4.4	搅拌摩擦后处理对 ZrB ₂ -TiB ₂ 复相涂层质量的影响	(149)
7.4.5	电极寿命测试	(154)
7.4.6	涂层电极失效过程	(154)
	参考文献	(160)

1

电阻点焊工艺基础

电阻点焊(Resistance Spot Welding, RSW)是电阻焊的一种,简称点焊。电阻点焊是将被焊工件装配成搭接接头并压紧在两电极之间,利用电阻热熔化母材金属形成焊点的电阻焊方法。点焊适用于焊接接头处无气密或液密的场合,是一种高效、经济且重要的连接方法,尤其适用于焊接厚度小于 3 mm 的冲压或轧制的薄板搭接构件,广泛应用于汽车制造、航空航天等领域。

1.1 点焊方法

1.1.1 点焊方法的分类

按点焊时电极向焊接区的馈电方式,点焊可分为单面点焊与双面点焊。单面点焊时,电流由被焊工件的同一侧向焊接区馈电;双面点焊时,电极由被焊工件的两侧向焊接区馈电。同时还可按在同一点焊焊接循环中所能焊成的焊点数进行细分,参见图 1-1。

(1) 单面单点焊 两个电极安排在零件的同一面,其中一个电极仅起导电块的作用。如图 1-1(a)所示,当零件一侧电极的可达性很差或零件较大、二次回路又过长时,可采用这一方式。从焊件单侧馈电,需考虑在另一侧加铜垫以减小分流并作为反作用力支点。

(2) 单面双点焊 如图 1-1(b)、图 1-1(c)所示,从一侧馈电时尽可能同时焊两点以提高生产率。单面馈电也会存在分流现象,见图 1-1(c),当点焊间距过小时将无法焊接。在某些场合,可在工件下面加设铜垫板,用以提供低电阻通路,减小分流。若设计允许,在焊件的上层板两焊点之间冲一窄长缺口,便可使分流电流大幅减小。

(3) 双面单点焊 如图 1-1(e)所示,这种焊接方法电极压力较大,焊接电流能集中通过焊接区,可减少焊件的受热区,提高焊接质量。所有的通用点焊机均采用这个方法。它从焊件上、下两侧馈电,适用于小型零件和大型零件周边各焊点的焊接。图 1-1(g)为小压痕双面单点焊。

(4) 双面双点焊 图 1-1(f)为双面双点焊的示意图。此方法虽可在通用焊机上使用,但两点间的电流难以均匀分配,故不易保证两焊点的质量一致。

(5) 多点焊 图 1-1(d)及图 1-1(h)分别为单面多点焊与双面多点焊。当零件上焊点数较多而又大规模生产时,常采用多点焊方法以提高生产率。多点焊机均为专用设备,无论是单面或双面多点焊,基本上均采用变压器单独供电,可同时通电,具有焊接质量高、生产率高、变形小,且三相负载平衡等优点。该方法的焊接质量明显优于由一组变压器同时进行多点焊接的焊接质量。单面多点焊在汽车组件生产过程中已被广泛使用。

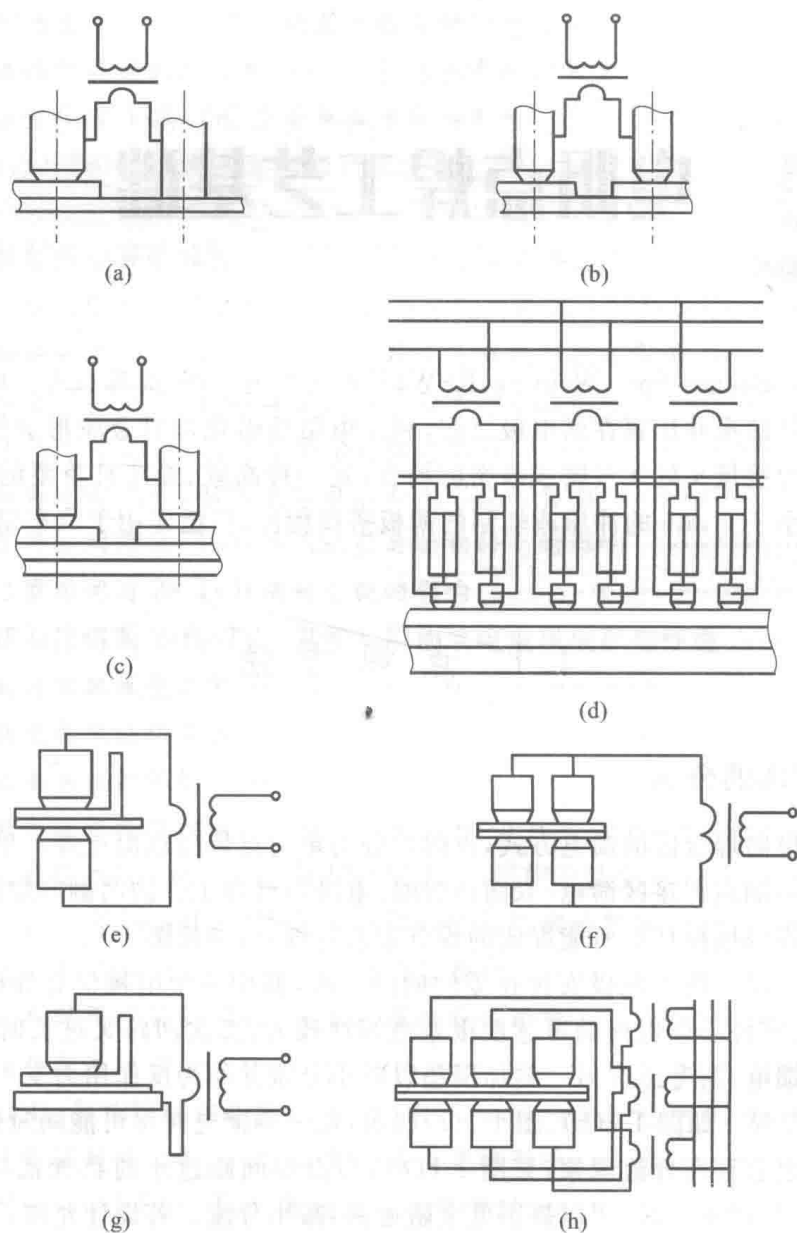


图 1-1 不同形式的点焊

1.1.2 点焊时向焊件馈电应遵循的原则

点焊是利用电极向焊接区馈电进行焊接的,故应遵循以下两个原则:

- (1) 尽量缩短二次回路的长度及减小回路所包含的空间面积,以节省能耗。
- (2) 尽量减小伸入二次回路的铁磁体的体积,尤其应避免在不同焊点焊接时工件伸入的体积发生较大变化,以避免焊接电流有较大的波动(尤其是在使用工频交流电源时)。

1.2 焊点质量要求

点焊结构靠单个或者多个焊点实现接头的连接。焊接接头的质量最终反映在接头的强度

上,而接头强度主要取决于焊点的尺寸、焊点表面和内部的质量。

表面质量是指焊件表面电极压痕深度大小,有无表面飞溅、烧伤、裂纹、粘连电极、翘曲变形及表面抗腐蚀性能的变化等。内部质量则指熔核的几何尺寸、形状,有无超标的裂纹、缩孔等内部缺陷,以及热影响区金属的组织与力学性能有无明显的变化。

点焊结构是由两件或两件以上的搭接或折边的焊件靠单点或多点焊接而成的,接头可由等厚度或不等厚度、相同材料或不同材料的零件组成。接头强度一般用塑性比[每点的正拉力(F_o)与剪切力(F_c)的比,即 F_o/F_c]来评定,其值越大,则焊点的塑性越好。实践表明,焊件含碳量增加则塑性比下降,故应按构件的受力条件及所用材料合理地选用塑性比。

当焊接接头上存在的内部缺陷或外部缺陷均在标准规定允许的范围内时,则接头强度主要取决于焊点的几何尺寸,即焊点的熔核直径 d_n 、焊透率 A 和电极的压痕深度 c 。

焊点熔核直径 d_n 是影响焊点强度的主要因素。试验证明, d_n 与焊点强度近似呈正比关系。 d_n 的大小根据焊件厚度和对接头强度的要求选取。根据美国电阻焊机制造协会焊接规范,低碳钢的熔核直径 d_n (单位: mm) 一般为: A 类接头, $d_n = 6\sqrt{\delta}$; B 类接头, $d_n = 5.5\sqrt{\delta}$; C 类接头, $d_n = 5\sqrt{\delta}$ (δ 为板厚)。

焊透率 A 是指焊点熔核在单板上的熔化高度 h_n 对该板厚度 δ 的百分比,即:

$$A = \frac{h_n}{\delta} \times 100\% \quad (1-1)$$

通常 A 规定在 20%~80% 范围内,但试验结果表明,焊点熔核直径符合要求时,取 $A \geq 20\%$ 便可保证焊点强度。 A 过大,熔核接近焊件表面,表层金属过热,晶粒粗大,易出现飞溅,使压痕增大或在熔核内部产生缩孔、裂纹等缺陷,接头承载能力下降。当 $A > 80\%$ 时,接头的疲劳强度显著下降,这是不允许的。

焊接过程中,电极在焊件表面留下的加压痕叫压痕。电极压力越大,电极直径 d 越小,焊接时间越长,焊接电流越大,则压痕越深。压痕过深,不仅影响焊件表面美观及光滑度,该处端面尺寸减小,还容易造成过大的应力集中,致使焊点强度下降。通常为减小压痕深度可采取较硬的规范及较大的电极端面尺寸。

1.3 焊前工件表面清理

工件的表面状态直接影响表面接触电阻大小和电流场分布,对析热和散热有重大影响。工件的焊前表面清理是至关重要的,为减小接触电阻及减少分流保证焊接质量的稳定,延长电极寿命,在点焊前均需对焊件进行表面清理,这亦适用于其他电阻焊焊接方法。除去表面脏物及氧化膜、获得小而均匀一致的接触电阻是避免电极黏结、飞溅、保证点焊质量和提高生产率的前提。对重要的钢结构和铝合金焊件等,需对每批焊前表面清理的焊件按一定比例进行抽检,测定施加一定电极压力下的总电阻 R ,以评定其清理效果。一般情况下,清理效果可由清理工艺保证。

焊件的焊前清理,首先应用有机溶剂和碱性溶液除去焊件表面的涂料与油脂,然后再除去金属表面的氧化膜。清理方法视不同的焊件金属及其表面状态而定。对无氧化膜的冷轧钢板,可用金刚砂布、钢丝直径不大于 0.2 mm 的金属刷或中等粒度的金刚砂毡轮清理,使接头两面约 20 mm 的宽度范围内呈现出金属光泽。

对存在氧化膜的热轧或热处理后的钢板,应用喷砂或化学方法清理。若用喷砂清理,喷后应用干燥的压缩空气或金属刷去除残留在焊件表面上的砂粒与灰尘;用化学方法清理的焊件,不应有搭缝或其他缝隙,以免化学溶液流入缝隙后因清除不尽而产生腐蚀。

在清理焊件表面时,为避免已经清理完毕的焊件表面产生交叉污染,操作者应按规定戴好橡胶手套。化学清理用的溶液参见表 1-1,或查阅相关资料。

焊前正确选用点焊电极及焊接过程中的维护修理,也是非常重要的。

表 1-1 化学清理用溶液参考表

金属	腐蚀用溶液	中和用溶液	电阻 R 允许值/ $\mu\Omega$
低碳钢	1. 每升水中 H_2SO_4 200 g、NaCl 10 g,缓冲剂,六次甲基四胺 1 g,温度 50~60℃; 2. 每升水中 HCl 200 g、六次甲基四胺 10 g,温度 30~40℃	每升水中 NaOH 或 KOH 50~70 g,温度 20~25℃	600
低合金结构钢	1. 每升水中 H_2SO_4 100 g、HCl 50 g、六次甲基四胺 10 g,温度 50~60℃; 2. 每 0.8 L 水中 H_3PO_4 65~98 g、 Na_3PO_4 35~50 g、乳化剂 OP 25 g、硫脲 5 g	每升水中 NaOH 或 KOH 50~70 g,温度 20~25℃ 每升水中 $NaNO_3$ 5 g,温度 50~60℃	800
奥氏体不锈钢、高温合金	每 0.75 L 水中 H_2SO_4 110 g、HCl 130 g、 HNO_3 10 g,温度 50~70℃	质量分数为 10% 的苏打溶液,温度 20~25℃	1000
钛合金	每 0.6 L 水中 HCl 16 g、 HNO_3 70 g、HF 50 g		1500
铜合金	1. 每升水中 HNO_3 280 g、HCl 1.5 g、炭黑 1~2 g,温度 15~25℃; 2. 每升水中 HNO_3 100 g、 H_2SO_4 180 g、HCl 1 g,温度 15~25℃		300
铝合金	每升水中 H_3PO_4 110~115 g、 $K_2Cr_2O_7$ 或 $Na_2Cr_2O_7$ 0.8~1.5 g,温度 30~50℃	每升水中 HNO_3 15~25 g,温度 20~25℃	80~120
镁合金	每 0.3~0.5 L 水中 NaOH 300~600 g、 $NaNO_3$ 40~70 g、 $NaNO_2$ 150~250 g,温度 70~100℃		120~180

注:成分中酸的密度(单位:g/cm³)为硫酸—1.84、硝酸—1.40、盐酸—1.19、正磷酸—1.6。

1.4 焊件的装配和定位焊

1.4.1 焊件的装配

焊件的装配质量对点焊质量影响很大。当装配不当而存在错边或间隙过大时,焊件将在焊后产生不同程度的变形。尤其当装配间隙过大时,有相当大的一部分电极压力消耗在变形上,导致作用于焊点内的压力减小且不稳定,焊接质量也不稳定。若焊件的间隙和刚度都很大,全部的电极压力都将用于变形上,还不能使两焊件很好地接触,此时全部焊接电流将被分流,使熔核无法形成。为此,在装配过程中应仔细修合整个搭接面,使其间隙在 0.3~0.8 mm 之间(视焊件材质及厚度而定)。

为保证装配质量,可采用专用工装夹具,并用弓形夹或平口钳紧固(装配有孔焊件时,也可用螺栓紧固),以防在定位焊过程中两电极压紧时,因电极发生偏移而使焊件产生相对位移或变形。

1.4.2 定位焊

定位焊时,采用与焊接时相同的参数,定位焊点的质量要求应与焊接点的相同。另外,定位焊点的排列和次序应保证焊件点焊后的变形量最小。为此,定位焊时应注意如下事项:

(1) 保证焊件具有一定的刚性。

(2) 焊件应按不同材质,确定定位焊点的最小间距,如铝合金直线焊缝定位焊的间距宜为 150~200mm。

(3) 对不规则弧形焊件进行定位焊时,应首先从曲率最大(半径最小)的部分开始。

(4) 对较大尺寸的平面结构或特殊弯曲结构进行定位焊时,应从中心分散到边缘进行。

1.5 点焊焊接参数

点焊的主要焊接参数是焊接电流、焊接(通电)时间、电极压力和电极尺寸等。工频交流电源在点焊中应用最广,且主要采用电极压力不变的单脉冲点焊。

(1) 焊接电流 I_w

焊接电流是指焊接时流经焊接回路的电流。有:

$$Q = I_w^2 R t_w \quad (1-2)$$

点焊时析出的热量与电流的平方成正比,所以焊接电流对焊点的力学性能影响最大。在其他参数不变时,若焊接电流小于某值,则熔核不能形成图 1-2 中 AB 段。若超过此值,进入图 1-2 中 BC 段,则随电流的增加熔核也逐渐增大,焊点拉剪力上升,而后因散热量的增大熔核增长速度减慢,焊点拉剪力也增加缓慢。临近 C 点区域,板间变形翘离,限制了熔核直径的增大,温度场进入准稳定状态,因而焊点的拉剪力变化不大。若进一步增大焊接电流,这将导致金属过热产生飞溅、压痕过深等缺陷,焊点性能反而下降,如图 1-2 中 CD 段。所以一般常选用对熔核直径变化不敏感的适中焊接电流(BC 段)来焊接。

在实际生产中,焊接电流的波动有时会较大,其主要原因是:

① 电网电压本身有波动或在同一电网范围内多台电阻焊设备同时使用。

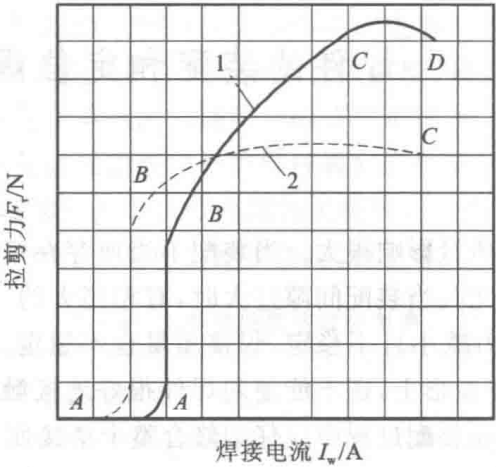


图 1-2 焊接电流 I_w 与拉剪力 F_t 的关系
1—板厚大于 1.6 mm; 2—板厚小于 1.6 mm

- ② 铁磁体焊件伸入焊接回路。
- ③ 前一焊点对后一焊点的分流等。

为此在选择焊接电流时,应避免上述波动因素的干扰,故可用网压补偿法来排除各种因素的干扰(常用稳压装置),以获取稳定的焊接电流。

(2) 焊接(通电)时间 t_w

焊接(通电)时间是指自焊接电流接通到停止的持续时间,简称焊接时间。通电时间的长短,直接影响输入热量的大小,在目前广为采用的同期控制点焊机上,通电时间是周的整数倍(我国一周为 0.02 s)。在其他参数固定的前提下,只有通电时间超过某一最小值时才开始出现熔核,而后随通电时间的延长,熔核先快速增大,拉剪力亦相应增大。当选用的电流适中时,进一步延长通电时间,熔核增长变慢,渐趋恒定。但因加热时间过长,组织变差,正拉力下降,使得塑性指标(塑性比 F_o / F_t)下降,如图 1-3 所示。当选用的焊接电流较大时,熔核长大到一定极限后也会产生喷溅。

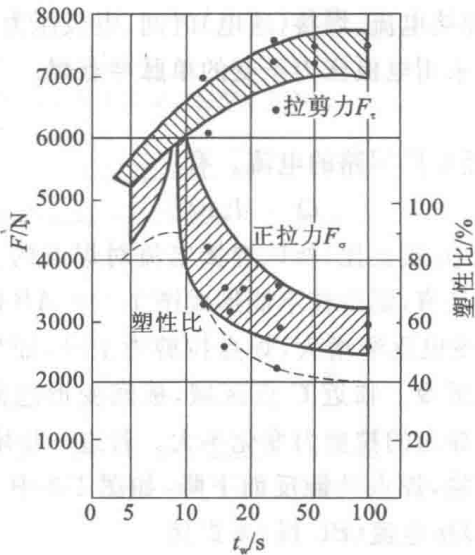


图 1-3 拉剪力 F_t 、正拉力 F_o 及塑性比与通电时间的关系
(低碳钢: $\delta=1\text{mm}$; $I_w=800\text{A}$; $F_w=2300\text{N}$)