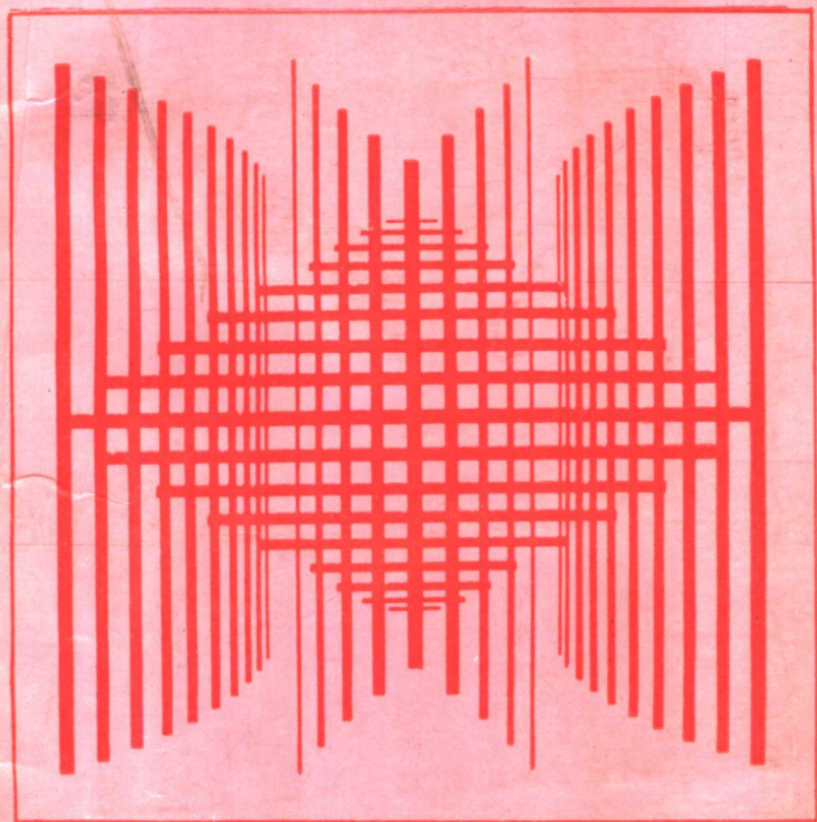


电 焊 条

张子荣 李昇鹤 编著



机械工业出版社

ISBN 7-111-05049-5/TG·1048

ISBN 7-111-05049-5



9 787111 050490 >

定 价： 19.50 元

电 焊 条

(设计、制造、选用)

张子荣 李昇鹤 编著

机 械 工 业 出 版 社
· 224551

本书是一部系统介绍电焊条的专业技术书。书中扼要论述了焊条设计和使用中的焊接冶金基础理论；介绍了焊条的分类和性能；较为详细地讲述了焊条设计原则、依据、方法、步骤，并列举了常用焊条的配方设计、改进及发展方向；对焊条制造工艺、设备、检验技术及焊条的保管与选用亦作了详尽的论述和分析。为焊条新产品开发、设计、制造和正确选用提供了理论与实践知识。

本书主要从事焊条设计、制造与使用部门的工程技术人员和广大生产人员阅读，也可作为大、中专院校焊接专业的辅助教材和焊接或焊条制造人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电焊条/张子荣, 李昇鹤编著. —北京: 机械工业出版社, 1996.6

ISBN 7-111-05049-5

I. 电… I. ①张…②李… II. 电焊-焊条
IV. TG422.1

中国版本图书馆CIP数据核字 (95) 第23462号

出版人 马九荣 (北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)
责任编辑: 俞逢英 版式设计: 王颖 责任校对: 姚培新
封面设计: 郭景云 责任印制: 王国光
机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1996年6月第1版第1次印刷

787mm×1092mm¹/₃₂·16.5印张·362千字

0 001—4 000册

定价: 19.50元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

前 言

焊接已成为现代工业生产中主要的加工工艺方法之一。在众多的焊接方法中，手弧焊发展最早，使用范围极广，是我国目前应用最广的一种焊接方法。作为手弧焊用焊接材料——电焊条，无疑对手弧焊的焊接质量、生产效率、经济效益以及手弧焊的发展等，均有着重要的作用。

我国的焊条制造业始于1950年，40余年来在焊条的设计、制造技术，产品质量和品种等方面均有较大的发展和提高，已成为一个独立的不可缺少的行业。为适应这种发展的需要，本书结合国内近年来焊条行业的新发展、新成就和作者从事焊条研究和生产的体会，从焊接冶金基础理论知识入手，较为系统地阐述了焊条的设计、制造和使用等方面的问题，基本上反应出焊条的概况，希望能对提高焊条设计，制造技术和产品质量有所帮助。

本书共分六章，第一、二章是从焊条配方设计、焊条的使用出发扼要地论述了有关焊接冶金问题和焊条的分类及性能；第三章论述了焊条设计的原则、方法、步骤和实例；第四、五章论述了焊条制造、检验中的设备、工艺和有关技术；第六章概述了各类焊条的选用原则、要点和焊接施工中应注意的问题。附录从实际需要出发简介了几个主要国家（或公司）的焊条标准、型号编制方法和国内外焊条标准和焊条对照等。

本书由张子荣主编。第四章由李昇鹤、张子荣合写，其

余各章均由张子荣执笔，全书由太原工业大学孙咸教授审核。

在编写过程中承王宝教授、时炜、周文浩和张士雄等同志为本书编写提出了有益的建议并提供有关资料；承山东安丘市特种焊条厂全力相助并提供了大量生产技术资料，还得到天津大学、天津焊条公司、桂林焊条厂、大同焊接器材厂、长治焊条厂和猴王焊条公司等单位的帮助，谨向他们表示衷心的感谢，并向本书所引文献的作者深表谢意。

焊条是一种综合性很强的技术产品，涉及面甚广，国内外有关焊条的新产品、新材料、新技术不断出现，由于作者水平有限，错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编著者。1995年11月

目 录

前言

第一章 焊条的冶金基础理论 1

第一节 焊接冶金的主要特点 1

一、温度高 1

二、时间短、体积小 2

三、比表面积大 3

四、冶金反应的阶段性和连续性 3

五、熔池金属的不断更新 6

第二节 焊条的加热及熔化 7

一、焊条金属的加热 7

二、焊条金属的熔化和过渡 9

三、焊条药皮的熔化和过渡 13

第三节 母材的熔化及熔池 14

一、母材的熔化及熔池的形成 14

二、熔池与熔合比 14

第四节 焊接熔渣 15

一、熔渣在焊接过程中的作用 15

二、熔渣的成分及分类 16

三、熔渣的构成（结构模型） 17

四、熔渣的碱度 24

五、熔渣的形成过程 27

六、熔渣的化学性质 29

七、熔渣的物理性质 39

八、熔渣性能对焊条设计的意义 53

第五节 焊接冶金过程中的基本反应	57
一、氧化还原反应	57
二、脱氮反应	59
三、脱硫反应	60
四、脱磷反应	62
第六节 焊缝中的气体及其对焊缝金属性能的影响	63
一、氧对焊缝金属性能的影响	64
二、氮对焊缝金属性能的影响	64
三、氢对焊缝金属性能的影响	66
第七节 焊缝金属的合金化	71
一、合金化的方式	71
二、合金化的机理	72
三、合金过渡系数	73
四、合金成分对焊缝性能的影响	80
第八节 常见的焊接缺陷——气孔和裂纹	84
一、气孔	84
二、裂纹	86
三、影响因素及防止措施	87
第二章 焊条的分类及性能	89
第一节 焊条的发展概况	89
一、国外焊条发展的概况	89
二、国内焊条发展的概况	91
第二节 焊条的组成、分类及性能	93
一、焊条的组成及作用	93
二、焊条的分类	103
三、焊条的型号、牌号及性能	106
第三章 焊条的设计	147
第一节 焊条设计	147
一、设计原则	147

二、设计依据	148
三、设计方法	148
四、设计步骤	149
第二节 E4303焊条的设计	185
一、性能特点	185
二、药皮配方调整的一般规律	185
三、改进方向及途径	190
第三节 E5015、E5016焊条的设计	192
一、E 5015焊条的设计	192
二、E 5016焊条的设计	196
三、低氢型焊条的改进方向及其主要途径	196
第四节 不锈钢焊条的设计	203
一、不锈钢焊条熔敷金属化学成分要求、作用及 过渡方式	203
二、不锈钢焊条药皮配方的设计	205
第五节 耐热钢焊条的设计	208
一、耐热钢的分类	209
二、耐热钢焊条药皮配方的设计	209
第六节 堆焊焊条的设计	211
一、堆焊焊条的分类及其特性分析	211
二、堆焊焊条药皮配方的设计	215
第七节 低温钢焊条的设计	215
一、低温钢焊条化学成分及性能	216
二、低温钢焊条药皮配方的设计	216
第八节 铁粉焊条和重力焊条的设计	218
一、简述	218
二、铁粉焊条药皮配方的设计	219
第九节 高纤维素型焊条的设计	223
一、简述	223

二、高纤维素型焊条药皮配方的设计	223
第十节 低氢型管接头全位置立向下焊条的设计	225
一、简述	225
二、低氢型管接头立向下焊条药皮配方的设计	225
第十一节 盐基型药皮的应用简介	227
一、简述	227
二、盐基型药皮配方的设计	227
第十二节 水下焊条的设计简介	227
一、简述	227
二、水下焊条药皮配方的设计	228
第十三节 铸铁焊条配方的设计	229
一、简述	229
二、铸铁焊条药皮的基本类型	230
三、铸铁焊条药皮配方的设计	231
第十四节 超低氢和耐吸潮焊条	237
一、简述	237
二、耐吸潮焊条	239
三、超低氢型焊条	240
第四章 焊条制造工艺及设备	241
第一节 焊条的制造工艺流程	241
一、焊条制造工艺特点	241
二、焊条制造工序及工艺流程	241
第二节 盘条的除锈及设备	242
一、氧化皮的生成及影响因素	243
二、氧化皮的结构及性质	244
三、机械除锈及设备	245
四、化学除锈及设备	246
五、水洗、挂灰及烘干	259
第三节 钢丝的拉拔及设备	262

一、拉拔基本知识	262
二、钢丝的润滑	269
三、拉丝设备	275
四、拉丝工艺	281
五、焊条用钢丝质量要求	286
六、无酸拉丝工艺	288
七、实现高速拉丝的探讨	290
第四节 钢丝的校直及切断	291
一、钢丝校直及其切断	291
二、切丝机	294
三、切丝的质量要求及影响因素	296
四、钢丝表面的处理	301
第五节 制粉	301
一、选矿及烘干	302
二、破碎	303
三、烘焙	303
四、筛分	304
第六节 水玻璃的制备	305
一、焊条用水玻璃的种类	306
二、水玻璃的性质	306
三、水玻璃的制造	311
第七节 焊条涂料的配制	312
一、铁合金的钝化处理	313
二、水玻璃的调配	316
三、配粉	317
四、拌粉及制团	317
第八节 焊条药皮的压涂工艺及设备	322
一、涂粉机对涂料性能的要求	323
二、焊条压涂设备	326
三、焊条压涂的常见缺陷及影响因素	344

第九节 焊条烘干工艺、设备及其包装	350
一、焊条的烘干过程及其意义	350
二、焊条的烘干特点及主要工艺要求	352
三、焊条的烘干设备	356
四、焊条烘干质量缺陷及其消除	360
五、焊条包装	362
第五章 焊条检验及检验技术	363
第一节 焊条原材料的检验	363
一、化学成分的检验	363
二、物理性能的检验	363
第二节 焊条生产过程中的技术检验	364
一、焊芯制造过程中的检验	364
二、配粉和涂料制备过程中的检验	365
三、焊条压涂过程中的检验	366
四、焊条烘干中的检验	367
五、焊条的包装检验	367
第三节 焊条成品的检验	368
一、焊条外观质量的检验	369
二、焊条的焊接工艺性能的检验	373
三、焊条效率的测定	376
四、T形接头角焊缝的检测	379
五、焊接烟尘发尘量的测定	379
六、熔敷金属化学成分试验	381
七、熔敷金属的力学性能试验	383
八、熔敷金属的硬度试验	394
九、焊缝的射线检测	394
十、不锈钢焊条熔敷金属铁素体含量的测定	397
十一、熔敷金属耐腐蚀性能的试验	400
十二、焊缝金属中扩散氢含量的测定	401

十三、焊条药皮含水量的测定	405
第四节 焊条抗裂性能的试验	407
一、T形接头焊接裂纹试验法	407
二、斜Y形坡口焊接裂纹试验法	408
三、压板对接(FISCO)焊接裂纹试验法	411
第五节 熔滴颗粒度的测定	413
一、干粉收集法	414
二、最小电流法	414
三、影象法	415
第六节 焊条金属熔滴过渡形态及测试	415
一、焊条金属熔滴过渡形态	415
二、焊条熔滴过渡形态的测试及分析	416
第六章 焊条的保管及选用	419
第一节 焊条的保管	419
一、焊条的贮存与保管	419
二、焊条使用前的烘干与保管	420
三、焊条的使用注意事项	422
第二节 碳钢和低合金结构钢焊条的选用	424
一、选用原则	424
二、焊接工艺要点及焊条的选用	429
三、焊接施工注意事项	429
第三节 耐热钢焊条的选用	431
一、选用原则	431
二、焊接工艺要点及焊条的选用	432
三、焊接异种耐热钢焊条的选用	437
第四节 低温钢焊条的选用	437
一、简述	437
二、焊接工艺要点及焊条的选用	437
第五节 不锈钢焊条的选用	438

一、选用原则	439
二、焊接工艺要点及焊条的选用	440
三、焊条施焊注意事项	446
第六节 堆焊焊条的选用	447
一、常用堆焊金属的类型	447
二、堆焊焊条的选用原则	450
第七节 铸铁焊条的选用	450
一、选用原则	451
二、焊补工艺要点及焊条的选用	451
第八节 有色金属及特殊用途焊条的选用	455
一、铜及铜合金焊条的选用	455
二、铝及铝合金焊条的选用	457
三、镍及镍合金焊条的选用	458
四、特殊用途焊条的选用	460
附录	462
附录A 国内外焊条标准对照表	462
附录B 各船级社对低碳钢及低合金钢船用焊条的 性能要求	464
附录C 国外低碳钢与低合金钢焊条型号分类方法简介	467
附录D 国内外焊条对照表	490
附录E 焊条主要生产设备(照片)	506
参考文献	514

第一章 焊条的冶金基础理论

通过加热或加压，或两者并用，并且用或不用填充材料，使工件达到原子结合的一种加工方法，称为焊接。

手工电弧焊（简称手弧焊）是熔焊工艺方法中主要的方法之一。手弧焊离不开电焊条（简称为焊条）的使用。

焊条贯穿于整个焊接过程的始末，是决定焊接质量，提高焊接生产率的重要方面。焊接冶金问题是熔焊的主要基础理论，它与焊条的试验研究、配方设计、生产应用等都有着极为密切的关系。但对焊接冶金的系统论述，不是本书的任务。而本章仅对焊条设计和使用中所涉及问题中的一部分作一概述。

第一节 焊接冶金的主要特点

焊接冶金与一般炼钢过程有着相似之处，例如，都存在熔化、冶炼、氧化还原、去除杂质等冶金过程。但焊接冶金有着它明显的特殊性。对焊接热过程来说，则具有热作用的集中性（集中作用于焊件接缝部位）和瞬时性（焊接热源始终处于运动状态）。就焊接冶金过程来讲，既是分区、分阶段，又是连续进行的。为进一步了解焊接冶金的特殊性，从以下几个方面进行论述。

一、温度高

焊接区是一个超高温空间，焊条金属可以被加热到很高的温度，相对于其熔点来说过热的程度很大，熔滴脱离焊条

先端，经弧柱区而移向母材的熔池。对电弧焊来说，弧柱温度可达 $5000\sim 6000^{\circ}\text{C}$ ，焊条主要是受电弧热的作用而熔化。熔滴金属的温度平均高达 $1800\sim 2400^{\circ}\text{C}$ ，而熔池的平均温度与焊件金属本身有着密切的关系。对低碳钢来说，一般约为 1800°C 左右。在普通冶金（如炼钢）中不可能达到这样高的温度。因此，焊接时气体的分解度高，溶入金属中的气体增多，这样就增大了焊缝金属凝固后产生气孔的可能性。

由于熔滴和熔池的温度很高，提高了元素的化学活性，可使 SiO_2 、 MnO 等氧化物还原，而这在普通冶金炼钢中则不易发生。

在焊接热过程中，由于焊接热源集中于焊件接缝部位，熔池被较冷的金属所包围，必然使焊件存在着较大的温度梯度，产生热传导，形成不均匀的温度场，引起不均匀的应力场或应变场，不均匀的组织 and 性能以及焊接变形等问题。

二、时间短、体积小

由于焊接热源始终以一定速度向前运动。因而对焊件上任一点，瞬时所得到的热量是有限的，当热源接近某一点时，传来的热量将使该点温度迅速升高，而随着热源的逐渐离去，则又迅速地从该点导出热量，使其冷却降温。可见加热和冷却速度很大。由局部金属开始熔化，形成熔池，到结晶完了的全过程，对手弧焊来说一般只有几秒至十几秒钟。熔池体积也很小（手弧焊约 $2\sim 10\text{cm}^3$ ）。同时温度又在不断地变化，实际上，焊件上的传热过程，是一种准稳态的过程。可想而知，在这种条件下所发生的各种冶金变化，是不易达到平衡状态的。化学成分在很小的体积内会有较大的偏析。这种不完全的反应给焊接材料（如焊条等）和焊接过程的研究

究带来了一定的困难。

三、比表面积大

焊接区是一个超高温空间，焊条端部金属可以被加热到很高的温度，熔化后多半成为不规则的碎散颗粒—熔滴。脱离焊条先端，经弧柱区而移向熔池。由于熔滴的比表面积可达 $10^3 \sim 10^4 \text{cm}^2/\text{kg}$ ，而熔池的比表面积可达 $(3 \sim 13) \times 10^2 \text{cm}^2/\text{kg}$ ，所以熔滴金属和熔池金属与气体及熔渣的接触面积大大超过一般炼钢的情况（约为1000倍左右）。接触面积的增大，一方面可以加快反应速度，有利于化学冶金反应的进行，但另一方面气体渗入液体金属中的机会也将增大，从而给金属发生氧化、氮化和产生气孔，造成有利的条件。

四、冶金反应的阶段性和连续性

焊接冶金过程并不是只发生在熔池部位，焊接冶金反应开始于焊条（对手弧焊）的起弧熔化，经熔滴过渡，最后达到熔池之中，具有阶段性又有相互依赖的连续过程。对手弧焊来说有三个冶金反应区：药皮反应区（Ⅰ），熔滴反应区（Ⅱ）和熔池反应区（Ⅲ），如图1-1所示。

（一）药皮反应区（Ⅰ）

药皮反应区包括从药皮反应开始至药皮熔化前（约 1200°C ）的区间。该区的主要反应有：药皮中水分的蒸发，热分解，如有机物分解析出 CO 与 H_2 ，碳酸盐分解析出 CO_2 等，药皮高价氧化物分解成低价氧化物并析出 O_2 等，反应结果形成保护性电弧气氛，焊接区气氛的组成示例见表1-1，使熔滴和熔池在此保护气氛下进行高温冶金反应，先期脱氧，药皮中的脱氧剂如钛铁、硅铁和锰铁等与 CO_2 、 H_2O 和 O_2 的反应相同，从而降低了药皮的氧化势。