



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

焊接技术与 工程实验教程

姚宗湘 王刚 尹立孟 主编



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



普

“5” 规划教材

焊接技术与工程实验教程

姚宗湘 王刚 尹立孟 主编

常州大学图书馆
藏书章

北京 冶金工业出版社

2017

内 容 提 要

本书是根据焊接技术与工程专业人才培养目标的要求编写的,内容涉及焊接冶金学、焊接电源、焊接设备与工艺、焊接结构、焊接检验等专业主干课程的相关实验。实验主要是培养学生综合运用知识和解决工程实际问题的能力。本书侧重实用性和全面性,兼顾综合性和特色性实验,便于培养学生的实验技能、动手能力、工程实践能力和创新能力。

本书可作为高等院校焊接技术与工程专业本科生的实验教材,也可供焊接专业高职生、专科生、研究生和焊接相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

焊接技术与工程实验教程/姚宗湘,王刚,尹立孟主编. —北京:冶金工业出版社, 2017. 7

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7547-5

I. ①焊… II. ①姚… ②王… ③尹… III. ①焊接—高等学校—教材 IV. ①TG4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 169865 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjchs@cnmp.com.cn

责任编辑 赵亚敏 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 郑 娟 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7547-5

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2017 年 7 月第 1 版, 2017 年 7 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 9.75 印张; 231 千字; 146 页

26.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前言

焊接技术与工程专业是一门工程性和实践性很强的专业。该专业本科人才培养的目标是培养具有一定工程实践能力并能服务于生产一线的应用型技术人才,培养过程中也由传授知识为主转变为提高实践能力、加强素质培养为主。培养目标和培养方法的转变对教材的编写提出了相应的要求,即所编写的教材要突出内容的实践性、可操作性及前沿性。然而,大多数高等院校的焊接专业均是近五年来陆续从材料成型及控制工程专业独立出来的,在实验教材选用上面临着两个主要问题,其一是焊接实验教材还比较缺乏,其二是现有焊接实验教材不能满足应用型技术人才培养的需要,因此重庆科技学院特组织相关人员编写了本书。

本实验教材在编写时充分考虑了课程和实验配合的需要,以注重实践性为原则。本书所列的实验内容有两类,共37个实验项目:一类是验证性实验,主要是用实验来验证课堂所讲授的理论知识,以加深学生对所学知识的理解,此类实验按照课程设置进行介绍,分别讲述了焊接冶金学、焊接电源、焊接设备与工艺、焊接结构、焊接检验等专业主干课程在内的30个实验;另一类是综合性和创新性的实验,此类有7个实验。通过这些实验,一是希望学生加深对课本理论知识的理解,熟悉相关的设备操作;二是培养学生分析问题和解决问题的能力;三是培养学生实践和动手能力。该部分实验内容较多,各院校可根据自己课程设置特点、课时安排和所具备的实验条件等情况,有所侧重地选择具体实验内容开设。

本书的主要编写人员为重庆科技学院焊接技术与工程专业教师姚宗湘、尹立孟、王刚、张丽萍、陈志刚、王纯祥、柴森森。由姚宗湘、王刚、尹立孟任主编,姚宗湘负责本书的策划和统稿。具体编写分工为:陈志刚、王刚共同编写第1章,张丽萍编写第2章,姚宗湘、尹立孟、王刚共同编写第3章,姚宗湘编写第4章,王纯祥编写第5章,姚宗湘、柴森森、蒋德平共同编写第6章,同时参加本书编写工作的还有刘海琼(成都工业学院)、刘拥军(西南交通大学)、李勇和唐明(重庆赛宝工业研究院)、王小明(湖南邵阳学院)等多位老师。

本书获得重庆市高等学校“三特行动计划”冶金材料特色学科专业群建设经费的支持，编写过程中得到重庆科技学院冶金与材料工程学院朱光俊院长、符春林副院长、尹建国院长助理的大力支持，也得到了很多老师和研究生的帮助，在此向他们表示衷心的感谢。本书中引用的部分图片、数据均来自公开的资料，由于难以查找其原出处，故未做标注，本书作者向所引用文献的原作者（包括标注和未标注的）一并表示诚挚的谢意，也衷心地感谢相关资料的提供者。

由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请同行及广大师生批评指正，与我们一起共同努力，提高焊接实验教学水平。

编者

2017年4月

目 录

1 焊接冶金学实验	1
实验 1 焊接接头扩散氢测定实验	1
实验 2 焊条药皮配方设计及制备工艺实验	7
实验 3 焊条工艺性能实验	11
实验 4 焊接接头热循环采集测试实验	15
实验 5 焊接接头金相组织分析实验	19
实验 6 斜 Y 坡口焊接冷裂纹试验	22
实验 7 焊接热裂纹实验	26
实验 8 不锈钢焊接接头的晶间腐蚀实验	29
2 焊接电源实验	35
实验 1 焊接电弧静特性测定	35
实验 2 弧焊电源的构造及外特性测定实验	39
实验 3 晶闸管弧焊整流电源结构与工作原理	42
实验 4 弧焊变压器的拆装与工作原理分析	45
实验 5 IGBT 逆变弧焊电源的拆装与工作原理分析	48
3 焊接设备与工艺实验	51
实验 1 埋弧焊工艺实验	51
实验 2 钨极氩弧焊工艺实验	56
实验 3 CO ₂ 气体保护焊工艺实验	60
实验 4 低碳钢电阻点焊工艺实验	64
实验 5 激光焊工艺实验	67
实验 6 钎料的润湿性实验	70
实验 7 空气炉中钎焊工艺实验	73
实验 8 不锈钢真空钎焊工艺实验	75
4 焊接结构实验	79
实验 1 板边堆焊弯曲变形测量实验	79
实验 2 焊接残余应力应变测量实验	83
实验 3 平板堆焊焊接残余变形的测量实验	88
实验 4 T 形焊接结构变形测量实验	92

实验5 落锤冲击实验	95
5 焊接检验实验	100
实验1 焊接缺陷 X 射线探伤实验	100
实验2 超声波探伤实验	103
实验3 磁粉探伤实验	107
实验4 着色法渗透探伤实验	109
6 焊接综合实验	111
实验1 软钎料熔炼及熔化特性测试综合实验	111
实验2 微焊点制备及力学性能测试综合实验	115
实验3 焊接工艺评定综合实验	119
实验4 点焊规范参数对接头质量影响综合实验	124
实验5 热处理规范对不锈钢接头腐蚀性影响综合实验	129
实验6 焊接线能量对焊接残余应力、变形和热影响区的影响综合实验	134
实验7 焊接接头力学性能测试方法综合实验	139
参考文献	146

实验1 焊接接头扩散氢测定实验

一、实验目的

- (1) 熟悉 45℃ 甘油法测氢仪的原理及使用方法。
- (2) 掌握焊缝金属中扩散氢的测定方法、步骤。
- (3) 了解焊条电弧焊时影响焊缝金属中扩散氢含量的因素。
- (4) 熟悉标准《熔敷金属中扩散氢测定方法》(GB/T 3965—1995)。

二、实验原理

1. 氢在焊缝中的存在形式

在焊接过程中，液态金属吸收大量的氢，一部分在熔池凝固过程中逸出，另一部分因熔池冷却过快来不及逸出而被残留在固态焊缝金属中。在钢焊缝中，氢大部分是以 H 、 H^+ 或 H^- 形式存在，并与焊缝金属形成间隙固溶体。由于氢原子和离子的半径很小，一部分氢在焊缝金属晶格中自由扩散，称为扩散氢；另一部分氢扩散聚集到金属晶格缺陷、显微裂纹和非金属夹杂物边缘的空隙中，结合为氢分子，因其半径较大，不能自由扩散，称为残余氢。

2. 氢的主要危害

对许多金属焊接而言，氢的存在会使接头的塑性下降，从而引起氢脆。此外氢还会在焊缝中形成氢气孔和白点，使接头的承载面积和塑性下降，从而影响其使用可靠性。扩散氢的含量高低会直接影响焊接接头冷裂纹产生的可能性，所以，了解各种焊接材料、焊接方法的焊接接头扩散氢含量水平对制定合理的焊接工艺、分析缺陷产生的原因和采取合理的处理措施非常重要。

3. 氢的产生及主要来源

焊接时，氢主要来源于焊接材料中的水分、含氢物质、电弧周围空气中的水蒸气以及母材坡口表面的铁锈油污等。对于电弧焊而言，氢主要通过以下两个途径进入焊缝金属中：一是通过气相与液相金属的界面以原子或质子的形式被吸附后溶入金属中；二是通过熔渣层以扩散形式溶入金属中。

4. 焊接金属中含氢量的影响因素

影响焊缝金属中含氢量的主要因素有：(1) 环境温度与湿度；(2) 保护气体的含水量；(3) 焊丝及工件的清理质量；(4) 焊材的型号、烘焙温度、保湿时间和存放条件；

(5) 焊接方法、工艺参数、焊接电流的种类和极性；(6) 焊件的焊后热处理等。

5. 扩散氢的测定方法

熔敷金属中扩散氢是评定焊接接头工艺性能的重要组成部分。目前,测定焊缝金属中扩散氢含量的方法常用的主要有甘油置换法、气相色谱法及水银置换法等三种。甘油置换法是将焊接完的样品迅速置于已充满甘油的收集器中,收集样品中的扩散氢,收集过程中甘油温度须保持在 $(45\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 。经过72h后结束收集,准确读取收集器中的气体量。一般用于分析熔敷金属中扩散氢含量大于 $2\text{mL}/100\text{g}$ 。当熔敷金属中扩散氢含量小于 $2\text{mL}/100\text{g}$ 时,必须使用色谱法测定。标准《熔敷金属中扩散氢测定方法》(GB/T 3965—1995)规定甘油置换法、气相色谱法适用于焊条电弧焊、埋弧焊、实芯焊丝气保焊及药芯焊丝气保焊。水银置换法只适用于焊条电弧焊。

本实验主要介绍甘油置换测氢法,所用实验装置如图1-1所示,该法具有操作简单、无污染等特点,因此得到广泛应用。通常熔敷金属中的扩散氢含量较少,因此可用气体排液法把扩散氢收集到一个密闭的集气管内进行测量(见图1-2)。实验时先将测定器中注入测定介质——甘油,放入恒温箱内,加热到 45°C 保温待用。焊接试样,并将焊接后的试件立即冷却、除水放入测定收集器中,盖好有橡皮密封圈的內盖,再旋紧外盖以保证测定器的密封性。此后立即将收集器置于恒温箱内,记录收集器读数管中甘油液面的初始读数。随着试件焊缝中的扩散氢不断的逸出,将同体积的甘油排入收集器中,因此读数液面将不断上升。经过72h,扩散氢基本不再逸出,此时记录收集器中甘油液面终了读数,再进行简单的换算,就可得出标准状态下焊缝金属中扩散氢含量的数值。

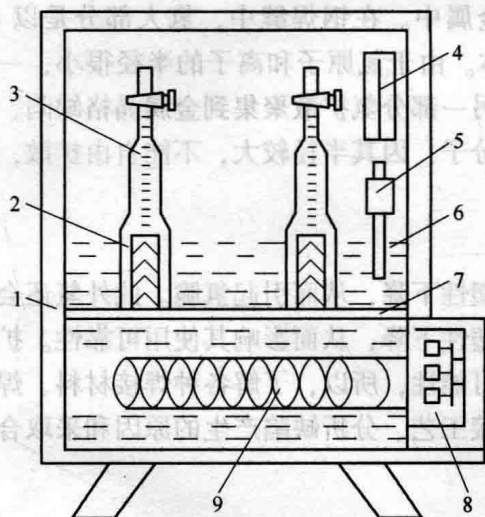


图 1-1 甘油测氢设备示意图

- 1—恒温收集箱；2—试样；3—收集器；4—温度计；
5—水银接触温度计；6—恒温甘油浴；7—收集器
支撑板；8—恒温控制器；9—加热电阻丝

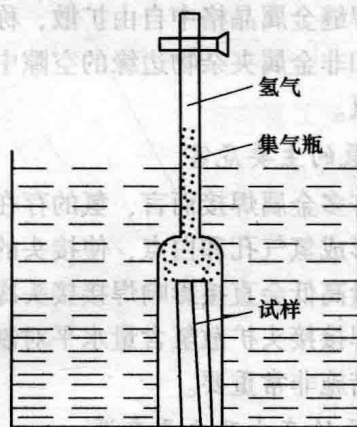


图 1-2 扩散氢收集示意图

6. 扩散氢含量的计算方法

甘油测试方法将待测的扩散氢体积 $V(\text{mL})$ 首先换算成标准状态下(101kPa)的氢气体积 $V_0(\text{mL})$,再算出 100g 熔敷金属中析出的扩散氢含量。

计算公式见式 (1-1) 和式 (1-2):

$$V_0 = \frac{pVT_0}{p_0TW} \times 100 \quad (\text{mL}/100\text{g}) \tag{1-1}$$

$$W = W_1 - W_0 \tag{1-2}$$

式中 V_0 ——标准状况下每 100g 熔敷金属中扩散氢含量;
 V ——集气管中收集的扩散氢气体含量, mL;
 p_0 ——标准大气压, 101kPa;
 p ——实验室大气压, kPa;
 T_0 ——273K;
 T ——273+t, K;
 t ——恒温收集箱中的温度, °C;
 W_0 ——试件原质量, g;
 W_1 ——试件焊后质量, g。

甘油法扩散氢测定的评定标准如表 1-1。

表 1-1 甘油法扩散氢评定的标准

评定标准	熔敷金属中含氢量 (mL/100g)	评定标准	熔敷金属中含氢量 (mL/100g)
高	>15	低	≤10, 但>5
中	≤15, 但>10	很低	≤5

三、实验装置及实验材料

- (1) XU61KQ-35 甘油法数控式金属扩散氢测定仪 (或其他型号) 1 台。
- (2) 集气管若干根。
- (3) 直流焊机 1 台。
- (4) 交流焊机 1 台。
- (5) 焊条烘干箱 1 台。
- (6) Q235A 钢板若干块。
- (7) 电子天平 (精确到 1g) 1 台。
- (8) 直径 φ4.0 的 E4303 (J422) 和 E5015 (J507) 焊条若干根。
- (9) 其他工具: 吹风机、钳子、榔头、镊子、丙酮、无水乙醇、秒表等。

四、实验方法及步骤

1. 实验内容

(1) 在直流反接下, 比较平板表面堆焊时酸性焊条 (E4303) 烘干与不烘干接头扩散氢的含量; (2) 比较酸性焊条 (E4303, 150°C×2h 烘干处理) 和碱性焊条 (E5015, 350°C×2h 烘干处理) 在直接反接下, 平板表面堆焊时接头扩散氢的含量; (3) 比较碱性焊条 E5015 分别在 250°C×2h 和 350°C×2h 烘干处理下, 采用直接反接, 在平板表面堆焊时接头扩散氢的含量; (4) 比较碱性焊条 (E5015, 350°C×2h 烘干处理) 在直接反接下

平板表面分别采用短弧和长弧堆焊时接头扩散氢的含量。

2. 试件准备

(1) 试样制备及清理。表 1-2 是标准《熔敷金属中扩散氢测定方法》(GB/T 3965—1995) 给出的焊条电弧焊、埋弧焊和气体保护焊等焊接方法测扩散氢实验所用的试样尺寸。本实验采用焊条电弧焊进行焊接, 试件尺寸为 $100\text{mm}\times 25\text{mm}\times 12\text{mm}$, 引弧板和引出板尺寸均为 $45\text{mm}\times 25\text{mm}\times 12\text{mm}$ 。将试板、引弧板、引出板表面用砂纸除锈, 用丙酮清洗吹干后称量试板原始质量 W_0 (精确到 0.1g); 然后进行 $(650\pm 10)^\circ\text{C}$ 、 1h , 或 $(250\pm 10)^\circ\text{C}$ 、 6h 后随炉冷却的去氢处理。

表 1-2 试板及引弧板、引出板尺寸 (mm)

试板 种类	焊接 方法	试板尺寸			引弧板、引出板尺寸			测定 方法	排列顺序						
		厚 T	宽 W	长 L	厚 T	宽 W	长 L								
1 号	手工电弧焊	10	15	30	10	15	45	气相 色谱法	甘油法、色谱法： 引弧板 试板 引出板 <table><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table> 水银法： 引弧板 试板 引出板 <table><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>						
埋弧焊	30	15	30	150											
气体保护焊				45											
2 号	手工电弧焊	12	25	40	12	25	45								
	埋弧焊						150								
	气体保护焊						45								
3 号	手工电弧焊	12	25	80	12	25	45								
	埋弧焊						150								
	气体保护焊						45								
4 号	手工电弧焊	12	25	100	12	25	45	甘油 置换法							
	埋弧焊						150								
	气体保护焊						45								
5 号	手工电弧焊	10	15	7.5/15	10	15	44	水银置换法							

(2) 焊接材料准备。焊条烘干温度如表 1-3。烘干后的焊条在 $100\sim 120^\circ\text{C}$ 保温, 随用随取。

表 1-3 焊条烘干温度

组 别		1	2	3
E4303	烘干温度/ $^\circ\text{C}$		150	
	保温时间/h		2	
E5015	烘干温度/ $^\circ\text{C}$	不烘干	250	350
	保温时间/h	—	2	2

3. 焊接

将试板、引弧板、引出板各一块, 按表 1-2 中的排列顺序置于水冷夹具上进行堆焊, 焊接时采用短弧焊, 不允许中间断弧, 焊缝长度要保证有 35mm , 若发生灭弧, 则该试件报废。焊接规范见表 1-4。

表 1-4 扩散氢测试实验焊接工艺参数

组别	序号	焊条类型	焊条烘干温度	电弧长度	焊接电流 /A	焊接电压 /V	焊接速度 /mm·min ⁻¹
I	1	E4303	不烘干	短弧焊	160~170	21~23	80
	2	E4303	150℃	短弧焊	160~170	21~23	80
II	3	E4303	150℃	短弧焊	160~170	21~23	80
	4	E5015	350℃	短弧焊	160~170	21~23	80
III	5	E5015	250℃	短弧焊	160~170	21~23	80
	6	E5015	350℃	短弧焊	160~170	21~23	80
IV	7	E5015	350℃	短弧焊	160~170	21~23	80
	8	E5015	350℃	长弧焊	160~170	21~23	80

4. 水冷

停焊后在 5s 内松开夹具，将试件投入体积为 5000mL、温度为 0~20℃ 的冷水中急冷，并摆动试件，以避免试件局部温度过高。10s 后取出试件，用机械方法去掉引弧板和引出板。

5. 清洗

清理掉钢板表面飞溅，用钢丝刷清理渣皮，然后放入乙醇中去水 3~5s，再放入乙醇中去油 3~5s，用冷风吹干后迅速放入集气管内，以免熔敷金属中的氢逸出。试件焊完到放入集气管内的时间（简称“停焊至试件入仪时间”）不能超过 90s。

6. 收集扩散氢

试件在 45℃ 恒温甘油中放置 72h 后，便可认为扩散氢已全部逸出，将吸附在收集器管壁和试样上的气泡收集上去，准确读取集气管内甘油柱液面的刻度（要求精确到 0.02mL），就是扩散氢体积 V ，此时还要记录恒温箱内温度及实验室气压 P 。将数据填入表 1-5 中。

7. 称重

测量结束后，取出试样，洗净、吹干后称量 W_1 （精确到 0.1g）。将数据填入表 1-5 中。
按同样的条件及规范，将上述步骤重复一次，取两个试件测得的扩散氢体积的平均值作为测定结果，实验数据填入实验报告中。

8. 计算

按照式 1-1 进行计算，将计算数据填入表 1-5 中。

表 1-5 焊缝中扩散氢含量测定数据表

实验条件	试件编号	1	2	3	4	5	6	7	8
	实验数据								
焊条牌号									
烘干温度 $T/℃$									
电流种类及极性									

续表 1-5

实验条件	实验数据	试件编号							
		1	2	3	4	5	6	7	8
	焊接电流 I/A								
	焊前试板质量 W_0/g								
	焊后试件质量 W_1/g								
	液面初始读数 V_1/mL								
	液面最终读数 V_2/mL								
	测定扩散氢体积 V/mL								
	焊接时间/s								
	停焊至入水时间/s								
	停焊至试件入仪时间/s								
	环境温度/ $^{\circ}C$								
	扩散氢含量平均值/ $mL \cdot (100g)^{-1}$								

五、实验结果整理和分析

- (1) 记录并计算各数据。
- (2) 根据实验结果, 分析焊条种类、烘干温度及其他参数下熔敷金属扩散氢含量, 绘图表示焊条种类、烘干温度、长短弧等对含氢量的影响, 并对实验结果进行分析。

六、思考及讨论

- (1) 用甘油法测得的熔敷金属中扩散氢含量的精度如何确定? 影响精度的因素有哪些?
- (2) 分析长、短弧焊接时测出的扩散氢含量不同的原因。
- (3) 分析比较酸、碱性焊条的抗锈能力。
- (4) 为什么焊后要立即将试样放入水中?

七、注意事项

- (1) 实验时, 要确保实验场所通风。
- (2) 试样焊接后装入收集器的时间要尽量短。
- (3) 注意用电安全, 实验结束后关好水、电、门窗。

实验2 焊条药皮配方设计及制备工艺实验

一、实验目的

- (1) 了解碳钢焊条药皮配方设计的原则和设计依据。
- (2) 熟悉各种药皮成分的作用和对工艺性能的影响。
- (3) 熟悉焊条生产流程,掌握焊条手工搓制或小型压涂机制作技术。
- (4) 了解设计焊条的技术标准《碳钢焊条》(GB5117—1995)等。

二、实验原理

1. 焊条制造标准

《碳钢焊条》(GB5117—1995)标准中规定了常用碳钢焊条的熔敷金属化学成分和力学性能要求。因此,实验中设计的配方所制造的焊条的熔敷金属化学成分和力学性能应符合标准的规定。

2. 制备焊条的基本原理

焊条是由药皮和焊芯组成的。焊条药皮组成是根据焊条的力学性能和工艺性能要求将各种矿石粉和铁合金按一定比例配制而成。焊条在压制前,应在药粉中加入适量的水玻璃并将其搅拌均匀,水玻璃与药粉的质量比通常控制在0.2左右。上述准备工作完成以后,再用涂敷机将其涂敷在焊芯表面。焊条涂敷完后,就可进行磨头、磨尾、印字和烘干。

3. 药皮各组成的成分和作用

药皮组成物主要有金属及铁合金类、矿石类、化工产品类和有机物类,主要起稳弧、造渣、造气、脱氧、合金化、黏结和成形等作用。

4. 合金过渡系数

合金过渡系数与渣的化学性质有关。配方设计时应根据各种合金的过渡系数、焊芯中该元素的含量、熔敷金属应达到的含量进行计算,得出药皮中该元素的含量值。

5. 检测

按《碳钢焊条》(GB5117—1995)的要求配制化学成分和制备力学性能试样,用于检测该焊条熔敷金属的化学成分和力学性能;按《电焊条焊接工艺性能评定方法》(JB/T8423—1996)的要求对焊接工艺性能中电弧的稳定性、焊接飞溅、焊接烟尘、焊缝成形、焊接位置的适应性等方面进行检测。

6. 对比和改进

记录所设计配方的焊条熔敷金属化学成分和力学性能与标准的差别,对配方中合金含量进行调整;根据各个配方所表现出的工艺性能,掌握各种成分对工艺性能的影响,再调整配方,改进工艺性能。通过以上的调整,所设计配方的焊条熔敷金属化学成分与力学性能符合标准要求,且工艺性能优良。

三、实验装置及实验材料

- (1) 搅拌机、压涂机、送丝机、磨头磨尾机和烘干炉各1台。

(2) 电子天平 (精确到 1g) 1 台。

(3) 大理石、萤石、中碳锰铁、白泥、云母、钛白粉、钛铁矿、还原钛铁矿、长石、45 号硅铁、石英、白云石若干。

(4) 水玻璃 (模数为 M3.1) 若干。

(5) 厚度为 12mm 的 A3 钢铁若干。

(6) 直径为 $\phi 3.2$ 和 $\phi 4.0$ 的 H08A 棒芯若干。

(7) 玻璃板两张。

(8) 木板一张。

(9) 木架两个。

四、实验内容及步骤

1. 焊条配方设计

根据焊条设计的配方及焊芯化学成分、各种成分的过渡系数、各组成物的组成等设计一个配方。E4303 和 E5015 焊条的参考配方见表 1-6。

表 1-6 E4303 和 E5015 焊条参考配方

焊条类别 药皮成分	E4303(J422)/g				E5015(J507)/g	
	配方 1	配方 2	配方 3	配方 4	配方 1	配方 2
大理石	12.4	5.6	9.6	14.2	54	44
萤石	—	—	—	—	15	24
中碳锰铁	12	10.2	9.1	15.1	—	—
白泥	14	13.2	9.6	13.2	—	—
云母	7	5.6	7.7	6.6	—	2
钛白粉	8	7.5	5.8	20.8	—	5
钛铁矿	—	—	22.2	22.6	—	—
还原钛铁矿	—	42.3	—	—	—	—
钛铁	—	—	6.9	—	12	12.5
长石	8.6	1.1	8	7.6	—	—
石英	—	1.4	—	—	9	5
白云石	—	13.2	—	—	—	—
菱苦土	7	—	5.8	—	—	—
木粉	—	—	1	—	—	—
金红石	30	—	14.4	—	—	—
低度硅铁	—	—	—	—	5	2.5
锰铁	—	—	—	—	5	4
纯碱	—	—	—	—	—	—
合计	100	100.1	100.1	100.1	100	100

用药皮质量系数 $K_b = 0.4$, 计算每种焊条所需药皮的质量, 参考表 1-6 配方设计

E4303、E5015，用电子天平按配方称取各种药皮辅料，并配粉、过筛、拌粉、加水玻璃搅拌和匀。

2. 称量焊芯
用砂纸将焊芯打磨去锈、校直，用天平称出 5 根焊芯的质量，然后计算每根平均质量。

3. 搓制
将和好的药粉铺在玻璃板上，将棒芯放在上面，用套了塑料薄膜的木板滚动，将药粉涂敷在棒芯上。反复滚动，直至药粉均匀涂敷到棒芯为止，并保证药粉的均匀度、棒芯的同心度和药皮的厚度达到要求。注意焊芯的一端留出 20mm 左右的无药皮夹持端，非夹持端要漏出焊芯，不要形成包头。

4. 烘干焊条
将搓制好的焊条放到木架晾干，然后放入焊条烘干箱进行烘干，烘干温度按标准要求，升降温速度应控制在合理范围内，防止药皮开裂。不同组别的焊条同炉烘干时要做好标记，以防混乱。表 1-7 是几种典型碳钢焊条的推荐烘干温度，供参考。

表 1-7 焊条推荐的烘干温度

焊条牌号	烘干温度/℃	保温时间/h
J421, J422, J502	100~150	1~1.5
J426, J427, J506, J507	350~400	1~1.5

5. 检测
烘干后的焊条进行外观检测，如药皮有裂缝、剥落等即为不合格。按标准或工艺推荐的焊接电流进行试焊，对焊条工艺性能进行考查，记录各配方工艺性能的表现，并比较不同配方间工艺性能的区别，对实验结果进行分析，总结出各种不同组成物对焊条工艺性能的影响，找到焊条配方设计的规律。

五、实验结果整理和分析

- (1) 记录焊条制备过程。
- (2) 观察并记录制作的焊条外观质量。

六、思考题

- (1) E4043 药皮类型属于哪一种，指出其配方中主要的造渣剂、造气剂、脱氧剂各是什么？
- (2) E5015 药皮类型属于哪一种，指出其配方中主要的造渣剂、造气剂、脱氧剂各是什么？
- (3) E4043 和 E5015 选择脱氧剂有何不同？

七、注意事项

- (1) 进行本实验必须有经验丰富的实验教师在场指导帮助，需有良好的防护措施。
- (2) 实验完成后，关闭各设备电源；将所余棒芯和药皮放入专用保管箱中防止受潮、生锈；将电子天平回归原位，并打扫实验场地。
- (3) 实验完成后应根据实验过程和结果写出实验总结，内容应涵盖以上内容。
- (4) 该实验课时不得少于2学时。

图 1-1 实验流程图

表 1-1 实验记录表

实验记录表

表 1-2 实验数据记录表

实验项目	实验内容	实验数据	实验结果
1. 实验目的	1.1 了解实验目的	1.1.1 了解实验目的	1.1.1.1 了解实验目的
2. 实验原理	2.1 了解实验原理	2.1.1 了解实验原理	2.1.1.1 了解实验原理
3. 实验步骤	3.1 了解实验步骤	3.1.1 了解实验步骤	3.1.1.1 了解实验步骤
4. 实验结果	4.1 了解实验结果	4.1.1 了解实验结果	4.1.1.1 了解实验结果

表 1-3 实验结果记录表

实验结果记录表

表 1-4 实验结果记录表

实验结果记录表