

高等学校试用教材

金属熔焊原理及工艺

上册

天津大学 张文钺 主编

机械工业出版社

高等学校试用教材

金属熔焊原理及工艺

上册

天津大学 张文钺 主编



机械工业出版社

金属熔焊原理及工艺

(上册)

天津大学 张文钺 主编

*

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证出字第 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 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $20\frac{3}{4}$ · 字数 502 千字

1980 年 7 月北京第一版·1983 年 4 月北京第四次印刷

印数 18,701—26,000 · 定价 2.15 元

*

统一书号: 15033·4877

前 言

《金属熔焊原理及工艺》是高等学校焊接专业的一门主要专业课程，它在培养焊接技术人员的教学过程中起着重要的作用。同时也是从事焊接技术工作的同志不可缺少的重要基础知识。

本书——《金属熔焊原理及工艺》上册是根据一九七八年六月“高等学校一机部对口专业教材编写会议”所制定的教学大纲编写的。

本书的内容比较深入而系统地讨论了焊接过程的一些基本理论问题，如焊接热过程、焊接化学冶金过程（液相物化冶金）、焊接结晶过程、焊条焊剂、焊接热影响区的组织性能，以及焊接结晶裂纹和延迟裂纹等问题。

此外，还反映了近年来国内外关于熔化焊理论方面的最新研究成就和生产经验。如焊接传热理论及其数学模型、焊接冶金过程动力学、焊接结晶过程中浓度过冷对结晶形态的影响、焊接热影响区的组织转变（包括 SHCCT 图的应用），以及延迟裂纹的机理等。

本书由天津大学张文钺同志主编，其中第一章 § 1-1 至 § 1-3 三节由沈阳机电学院温瑾林同志和天津大学张文钺同志合写，§ 1-5 和 § 1-6 两节和第二章的全部由天津大学张炳范同志编写，第四章由沈阳机电学院祁维朴同志编写，其余各章节由天津大学张文钺同志编写，最后由哈尔滨工业大学陈定华同志主审。责任编辑一机部教材编辑室方淑卿同志。

在编写过程中得到冶金部钢铁研究院、上海交通大学、哈尔滨焊接研究所和哈尔滨锅炉厂等单位的大力协助，提供了若干数据、资料和照片，特此表示感谢。

在审稿讨论过程中，清华大学、西北工业大学、哈尔滨焊接研究所、沈阳金属研究所、吉林工业大学、太原工学院和山东工学院等单位的有关同志提出了许多宝贵意见，深为感谢。

一九七九年八月

名词符号对照表

A	奥氏体、晶粒的平均面积 (mm^2)
a	导温系数 (cm^2/s)
a_k	冲击韧性 ($\text{N}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$)
B	贝氏体、熔渣的碱度
b	散温系数 ($1/\text{s}$)
c	比热 ($\text{J}/\text{g}\cdot^\circ\text{C}$), 浓度 (%)
$c\rho$	容积比热 ($\text{J}/\text{cm}^3\cdot^\circ\text{C}$)
C_g	气泡中单位体积的气体量
C'_1	出现中间组织 (包括贝氏体、索氏体、托氏体) 的临界冷却时间 (s)
C'_f	出现铁素体的临界冷却时间 (s)
C'_t	仅得到铁素体和珠光体的临界冷却时间 (s)
C_b	元素在母材中的浓度 (%)
C_e	元素在焊条中的浓度 (%)
C_d	熔敷金属中元素的浓度 (%)
C_0	元素的原始浓度 (%)
C_w	焊缝中的元素浓度 (%)
C_q	平衡时的元素浓度 (%)
C_{eq}	碳当量 (%)
C_{co}	药皮中的元素浓度 (%)
C_{cw}	焊芯中的元素浓度 (%)
C_p	熔池中的元素浓度 (%)
C'_p	出现珠光体的临界冷却时间 (s)
C_{en}	过渡周期終了时过渡熔滴中的元素浓度 (%)
d	晶粒的平均直径 (mm)
D	扩散系数
E	焊接线能量 (J/cm)
F	铁素体、气泡的表面积 (cm^2)
f	熔滴过渡频率 ($1/\text{s}$)
F_a	活性表面积 (cm^2), 吸附力的作用面积 (cm^2)
F_g	熔滴的表面积 (cm^2)
F_p	熔池的表面积 (cm^2)
F_M	焊缝的熔透面积 (cm^2)
F_w	焊缝的断面积 (cm^2)
g	金属熔化速度 (g/s)
g_c	熔池金属的凝固速度 (g/s)
g_d	焊条的平均熔敷速度 (g/s)
g_M	焊条金属平均熔化速度 (g/s)
G	温度梯度 ($^\circ\text{C}/\text{cm}$)
HAZ	焊接热影响区

I —— 电流 (A)

IIW —— 国际焊接学会

J —— 电流密度 (A/mm^2)

K —— 热能集中系数 ($1/cm^2$), 平衡常数、比例系数、碳化物

K_b —— 药皮重量系数

K_c —— 应力强度因子 ($N/mm^{3/2}$)

K_f —— 焊剂熔化率

K_{Ic} —— 断裂韧性 ($N/mm^{3/2}$)

L —— 液态金属

M —— 马氏体

MIG —— 熔化极氩弧焊

m_e —— 过渡周期终了时的熔滴质量 (g)

m_0 —— 残留在焊条端部的熔滴质量 (g)

m_p —— 熔池的质量 (g)

m_{cp} —— 熔滴的平均质量 (g)

m_{tr} —— 过渡的熔滴质量 (g)

P —— 珠光体

P_a —— 大气压力 (N/cm^2)

P_c —— 附加压力 (N/cm^2)

P_M —— 金属的压力 (N/cm^2)

P_0 —— 阻碍气泡的外界压力 (N/cm^2)

P_s —— 熔渣的压力 (N/cm^2)

P_L —— 液体压力 (N/cm^2)

P_h —— 气泡内气体压力 (N/cm^2)

P_w —— 裂纹敏感指数

P_{II} —— 富氢时裂纹敏感指数

P_{CM} —— 合金元素的裂纹敏感系数

Q —— 热能 (J)

q —— 电弧有效功率 (J/s)

q_0 —— 电弧功率 (J/s)

q_e —— 电弧加热焊条的有效功率 (J/s)

q_m —— 最大比热流 ($J/cm^2 \cdot s$)

$q(r)$ —— 比热流 ($J/cm^2 \cdot s$)

R —— 厚大焊件上某点距热源座标距离 $R^2 = X^2 + Y^2 + Z^2$ 、拘束度 ($N/mm \cdot mm$) 或 ($kgf/mm \cdot mm$)

r —— 薄板上某点距热源的座标距离 $r^2 = x^2 + y^2$, 半径 (cm)

RRC —— 可变刚性拘束裂纹试验

R_{cr} —— 临界拘束度 ($N/mm \cdot mm$) 或 ($kgf/mm \cdot mm$)

s —— 热焓 (J/g), 索氏体, 比表面积 (cm^2/kg)

SHCCT 图 —— 模拟焊接热影响区连续冷却组织转变图

SWCCT 图 —— 模拟焊缝连续冷却组织转变图

T —— 温度 ($^{\circ}C$), 托氏体

- t —— 时间 (s)
 T_B —— 脆性温度 (°C)
 T_g —— 熔滴的平均温度 (°C)
 T_L —— 液相温度 (°C)
 T_M —— 熔化温度 (°C)
 T_m —— 最高温度 (°C)
 T_s —— 固相温度 (°C)、碳化物溶解温度 (°C)
 T_P —— 熔池的平均温度 (°C)
 T_0 —— 预热温度 (°C)
 T_{eq} —— 化学反应达到平衡时的温度 (°C)
 T_{st} —— 电弧柱的温度 (°C)
 T_c —— 晶粒长大的开始温度 (°C)
 T_{rs} —— 脆性转变温度 (却贝冲击试样具有 90~95% 结晶状断口)
 T_{rls} —— 脆性转变温度 (具有 15 ft-lb 冲击功的转变温度)
 TRC —— 拉伸拘束裂纹试验
 TIG —— 钨极氩弧焊
 T_h —— 开始形成奥氏体的温度 (°C)
 T_c —— 周围环境温度 (°C)
 T_e —— 奥氏体转变终了温度 (°C)
 t_H —— 焊接时 A_3 相变温度以上的停留时间 (s)
 t' —— 加热过程的高温停留时间 (s)
 t'' —— 冷却过程的高温停留时间 (s)
 T_h —— 奥氏体的均质化温度 (°C)
 t_{cp} —— 熔池的平均存在时间 (s)
 t_T —— 电弧通过后冷到任意温度冷却时间 (s)
 t_{cr} —— 电弧通过后冷到 100°C 时的临界冷却时间 (s)
 U —— 电压 (V)
 V —— 体积 (cm³)
 V_g —— 熔滴体积 (cm³)
 v —— 焊接速度 (cm/s)
 v_c —— 结晶速度 (cm/s)
 α —— 线胀系数 ($\times 10^{-6}$ 1/°C), 表面散热系数 ($J/cm^2 \cdot s \cdot ^\circ C \times 10^{-3}$), 弯曲角 (度)
 α_c —— 对流表面散热系数 ($J/cm^2 \cdot s \cdot ^\circ C \times 10^{-3}$)
 α_E —— 辐射表面散热系数 ($J/cm^2 \cdot s \cdot ^\circ C \times 10^{-3}$)
 α_H —— 焊条的熔敷系数 (g/A·h)
 α_p —— 焊条的熔化系数 (g/A·h)
 β —— 质量迁移系数 (cm/s)
 γ —— 比重
 δ —— 延伸率 (%), 板厚 (cm) 或 (mm)
 ΔC_L —— 液体金属被气体的过饱和程度
 ε —— 应变 (%)
 η —— 合金过渡系数 (%)

- η_e ——焊条加热有效系数 (%)
 η_p ——熔池阶段合金过渡系数 (%)
 η_u ——功率有效系数 (%)
 θ ——熔合比 (%)、浸润角
 λ ——导热系数 ($\text{J}/\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$)
 ρ ——密度 (g/cm^3)
 σ ——应力 (N/mm^2)或(kgf/mm^2)、表面张力 (N/m)
 σ_b ——抗拉强度 (N/mm^2) 或 (kgf/mm^2)
 σ_s ——屈服强度 (N/mm^2) 或 (kgf/mm^2)
 σ_{uc} ——上临界应力 (N/mm^2) 或 (kgf/mm^2)
 σ_{lc} ——下临界应力 (N/mm^2) 或 (kgf/mm^2)
 σ_{cr} ——产生裂纹的临界应力 (N/mm^2) 或 (kgf/mm^2)
 τ ——熔滴过渡的周期 ($1/\text{s}$)
 τ_{cp} ——熔滴阶段各相平均相互作用时间 (s)
 ψ ——断面收缩率 (%), 焊条损失系数 (%)
 ψ_1 ——蒸发、飞溅损失系数 (%)
 ω_H ——加热速度 ($^\circ\text{C}/\text{s}$)
 ω_c ——冷却速度 ($^\circ\text{C}/\text{s}$)

目 录

前言

名词符号对照表

绪论	1
一、焊接技术的发展现状	1
二、焊接过程的物理本质	1
三、焊接过程的分析	3
四、学习《金属熔焊原理及工艺》的目的、任务及要求	4
参考资料	4
第一章 焊接热过程	5
§ 1-1 焊接热源	6
一、焊接热源的种类及其特征	6
二、焊接过程的热效率和焊件上加热区的热能分布	7
§ 1-2 焊接传热的基本概念和定律	10
一、焊接温度场及其影响因素	11
二、焊接传热计算的基本公式	17
三、边值条件	19
四、瞬时集中热源作用下的温度场	20
五、积累原理(叠加原理)	22
§ 1-3 电弧焊时的温度场及其数学模型	23
一、连续移动热源的温度场	23
二、焊接传热计算的局限性及其发展	25
§ 1-4 焊接热循环	27
一、焊接热循环的主要参数	28
二、焊接热循环参数的数学模型	29
三、多层焊接热循环	35
§ 1-5 焊条的加热及熔化	38
一、焊条金属的加热温度	39
二、焊条金属的熔化特性	40
三、焊条金属的过渡特性	43
四、药皮的熔化和过渡	49
§ 1-6 母材的熔化和熔池	50
一、熔池的形状和尺寸	50
二、熔池的质量和存在时间	51
三、熔池的温度	53
四、熔池中的流体动力学状态	53
参考资料	55
第二章 焊接化学冶金过程	57
§ 2-1 焊接化学冶金过程的特点	57
一、焊接时金属的保护	57

IV

二、焊接化学冶金反应区及其反应条件	59
三、焊接规范与焊接化学冶金的关系	62
四、焊接化学冶金反应的平衡趋势	65
§ 2-2 气相与金属的作用	65
一、焊接区内的气体	65
二、氮对金属的作用	66
三、氢对金属的作用	72
四、氧对金属的作用	83
§ 2-3 熔渣与金属的作用	91
一、焊接熔渣	91
二、焊缝金属的氧化还原反应	97
三、焊缝金属的合金化	105
四、焊缝金属的脱硫脱磷	114
§ 2-4 焊接化学冶金过程的热力学和动力学	118
一、焊接时平衡的热力学计算	118
二、反应动力学的基本概念	121
三、焊接材料加热阶段的反应动力学	124
四、熔滴阶段的反应动力学	128
五、熔池阶段的反应动力学	131
参考资料	135
第三章 焊接结晶过程	136
§ 3-1 熔池结晶的特点及结晶速度	136
一、熔池结晶的特殊性	136
二、熔池金属的结晶过程	137
三、熔池结晶线速度	139
§ 3-2 熔池金属的浓度过冷和结晶形态	142
一、金属的微观结晶形态	143
二、浓度过冷结晶理论	145
三、浓度过冷对结晶形态的影响	146
四、焊接条件下焊缝凝固时的结晶形态	149
§ 3-3 焊缝中的化学不均匀性和夹杂	150
一、焊缝中的化学不均匀性	150
二、焊接接头熔合区的化学不均匀性	153
三、焊缝中的夹杂	156
§ 3-4 焊缝金属组织的调整及改善	157
一、改善一次结晶组织	157
二、改善二次结晶组织	158
§ 3-5 焊缝中的气孔	160
一、气孔的类型及其分布特征	160
二、焊缝中形成气孔的机理	163
三、影响生成气孔的因素及防止措施	167
§ 3-6 焊接时的结晶裂纹	173

一、概述	173
二、结晶裂纹及其产生的机理	180
三、影响结晶裂纹的因素	185
四、防止结晶裂纹的措施	192
五、关于多边化裂纹	194
参考资料	197
第四章 焊条和焊剂	199
§ 4-1 焊条	199
一、焊条的分类及其组成	199
二、焊条的工艺性能	204
三、焊条的冶金性能	213
四、焊条药皮配方设计及焊条制造	217
§ 4-2 焊剂	222
一、焊剂的组成及分类	222
二、焊剂的性能及用途	227
三、焊剂的制造	230
§ 4-3 焊条和焊剂的发展现状	232
一、焊条发展现状	232
二、焊剂发展现状	234
附录一 焊条牌号编制方法	235
附录二 焊剂牌号编制方法	238
附录三 焊接钢丝国家标准 (GB1300-77)	239
附录四 焊条药皮材料技术条件	241
附录五 国内外焊条对照表	244
第五章 焊接热影响区	248
§ 5-1 焊接时加热过程的组织转变	249
一、焊接加热时的组织转变特点	249
二、焊接条件下近缝区的晶粒长大	252
§ 5-2 焊接时冷却过程的组织转变	255
一、焊接条件下连续冷却组织转变的特点	255
二、连续冷却组织转变图的建立及应用	257
三、焊接热影响区的冷却速度和冷却时间	260
§ 5-3 焊接热影响区的组织和性能	268
一、焊接热影响区的组织分布	268
二、焊接热影响区的性能	273
§ 5-4 焊接热模拟的试验方法	281
一、模拟焊接热循环的基本要求	281
二、常用的焊接热模拟装置	282
参考资料	285
第六章 焊接接头的冷裂纹	286
§ 6-1 冷裂纹的危害性和一般特征	286
一、冷裂纹的危害性	286

VI

二、冷裂纹的一般特征	286
§ 6-2 延迟裂纹的机理	289
一、钢种的淬硬倾向	289
二、氢的作用	291
三、焊接接头的拘束应力	298
§ 6-3 延迟裂纹的影响因素及其防止措施	302
一、钢种化学成分的影响	302
二、结构型式对拘束应力的影响	304
三、工艺程序对延迟裂纹的影响	304
四、防止延迟裂纹的措施	308
§ 6-4 焊接冷裂纹的微观机理	311
一、冷裂纹起源的探讨	311
二、冷裂纹的扩展	313
§ 6-5 焊接接头冷裂纹与断裂韧性的关系	316
一、断裂韧性的基本概念	316
二、焊接冷裂纹与断裂韧性的关系	318
参考资料	319
常用单位换算	320

绪 论

焊接是一种重要的金属加工工艺。随着科学技术的不断发展,它已发展成为一门独立的科学,并广泛应用于航空、航天、原子能、化工、造船、海洋工程、电子技术、建筑、交通运输、电力、机械制造等工业部门,可以预料,在实现“四个”现代化的过程中,它将占有重要的地位。

一、焊接技术的发展现状

焊接技术是十九世纪末叶二十世纪初发展起来的。由于它具有一系列技术和经济上的优越性,所以发展很快,现在已有几十种焊接方法。六十年代以后,随着工业的发展,焊接新能源的开发和焊接新工艺的应用达到了一个新的水平。除生产率较高的埋弧自动焊以外,厚板结构的电渣焊,高效率的气电焊,真空电子束焊接,激光焊接,以及等离子切割和焊接等已日益广泛地应用到各个工业部门。此外,近年来正在研究离子束焊接和光束焊接,其中包括太阳能焊接。

在焊接机械化和自动化方面也有很大的发展。在世界各工业先进国家已有许多程序控制的自动焊接生产线,有些工业部门,如汽车制造业,水下工程和核电站修复等已采用电子计算机控制的焊接机器人或遥控全位置焊接机。

从应用方面看,采用焊接技术制造了各种现代化的大型高质量的设备,如各种大型、复杂桁架结构,48万吨的巨型油轮,10万立方米的大型储罐,异种金属、金属和非金属的电子元件,2.5~3.5马赫超音速歼击机,120万千瓦的原子能发电设备,3000大气压的高压设备,火箭、宇宙飞船等宇航设备。

由于许多设备日益向着高参数(如高温、高压)、高容量、高寿命、大型化的方向发展。因而不断提出具有特殊性能材料的联接问题,如高强度、超高强度、不锈钢、耐热钢、耐腐钢,铝合金、钛合金、耐热合金、各种活性金属、难熔金属、异种金属以及金属与非金属的联接。这对焊接技术提出了更高的要求,促使焊接工艺方法、焊接材料、焊接设备、焊接基础理论和研究方法以及焊接技术人员的培训等都有了很大的发展^[1, 2, 3]。

二、焊接过程的物理本质

认识焊接的物理本质对于提高焊接质量、发展焊接技术具有重要意义。

从微观上讲,可以给焊接下如下的定义:

两种或两种以上的材料(同种或异种)通过原子或分子之间的结合和扩散造成永久性联接的工艺过程叫作焊接。

由此可知,焊接与其他的联接方法不同。通过焊接被联接的材料不仅在宏观上建立了永久性的联系,而且在微观上建立了组织之间的内在联系。

大家知道,固体是依靠键合力结合在一起的。就金属而言是依靠金属键结合在一起的。图1是一个双原子模型,两个原子之间的结合力决定于二者之间引力和斥力共同作用的结果。由图1可以看出,当原子之间的距离为 r_0 时,结合力最大,对于大多数金属 $r_0 = (3 \sim 5) \times 10^{-8} \text{cm}$ (即 $3 \sim 5 \text{\AA}$)。当原子之间的距离大于或小于 r_0 时,结合力都显著减小。

怎样才能实现焊接过程呢?从理论上讲,将被联接的固体金属表面接近到 $3 \sim 5 \text{\AA}$,就

可以在接触表面上进行扩散、再结晶等物理化学过程，从而形成金属键，达到焊接的目的。但是，实际上即使经过精加工的金属表面，也是凹凸不平的，同时金属表面还常常具有氧化膜、水和油类的吸附层，这些都阻碍金属表面的紧密接触。

为了克服阻碍金属紧密接触的各种因素，在焊接工艺中可采用两种措施：

第一是对被焊金属施加压力，目的是破坏联接表面上的氧化膜，使联接处发生局部塑性变形，增加有效接触面积，从而达到紧密的接触。

第二是加热被焊金属的联接处，达到塑性状态或熔化状态，目的是加速接触面上氧化膜的破坏，降低金属变形的阻力，增加原子的热振动能，促进再结晶、扩散、化学反应、结晶过程的发展。

每一种金属实现焊接所必须的最低温度和压力之间都存在着一定的关系。对于纯铁来讲，这种关系可参见图2所示[4]。

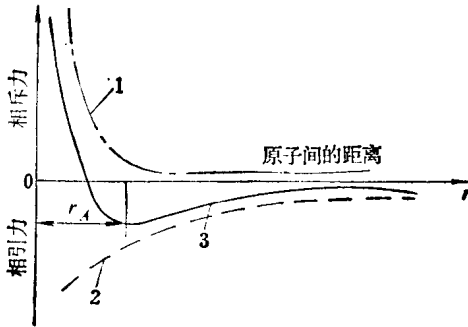


图1 双原子之间的相互作用力与距离的关系

1—斥力 2—引力 3—合力

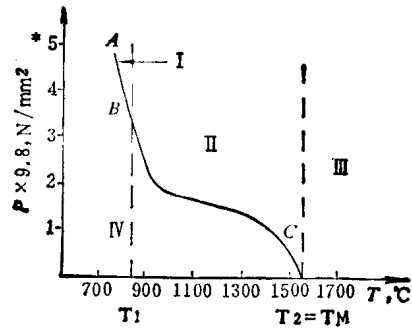


图2 焊接纯铁时所必须的温度和压力的关系

I区—有限加压焊接区 II区—实际应用的电阻焊区 III区—熔焊区 IV区—不能实现焊接的区域

由图2看出，金属加热的温度越低，实现焊接所需的压力就越大。当金属的温度 $T < T_1$ 时，压力必须在 AB 线以上（I 区）才能实现焊接；当 T 在 $T_1 \sim T_2$ 之间时，压力应在 BC 线以上（II 区）；而在 $T \geq T_m$ （金属的熔化温度）时，实现焊接所需的压力为零，这就是熔化焊的情况。

总之以上，尽管实现焊接途径很多，然而就其实质而言，都是在联接处母材和焊缝金属形成了共同晶粒（图3a）。只有填充焊料熔化，而母材不熔化的联接方法叫作钎焊。钎焊时虽然也能形成不可拆卸的接头，但在联接处不能形成共同晶粒，只是在焊料与母材之间形成粘合（图3b）。可见钎焊和焊接在微观上有原则的区别。

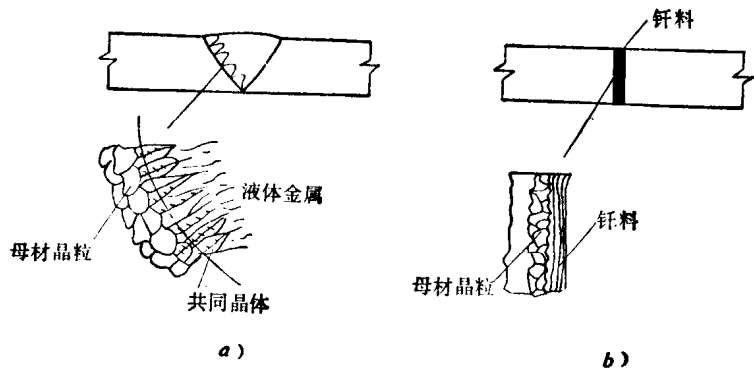


图3 焊接与钎焊的区别

a) 焊接 b) 钎焊

* 由于本书采用国际单位制，图中座标“名称×9.8”表示实际数值为座标标称数值的9.8倍。以下同。

三、焊接过程的分析

如上所述,实现焊接必须从外界提供足够的能量(热能或机械能等)。由于焊接时所采用的能源和方式不同,各种焊接方法所经历的过程也有很大的差别。对于钢铁材料的熔化焊来讲,一般都要经历下列几个过程:

加热—熔化—冶金反应—结晶—固态相变—形成接头

图4示出这些局部过程之间的相互联系和所处的条件,可见熔化焊时所经历的过程是很复杂的。为了便于分析,可归纳为三个互相交错进行而彼此联系着的局部过程。

1. 焊接热过程

熔化焊接时,被焊金属在热源的作用下将发生加热和局部熔化的过程。因此,在被焊金属中必然存在着热量的传播和分布问题,通常称之为焊接热过程。

焊接热过程贯穿整个焊接过程的始终,因此可以说,一切焊接物理化学过程都是在热过程中发生和发展的。例如,焊接温度场决定了焊接应力场和应变场,它还与冶金、结晶、相变过程有着不可分割的联系,使之成为影响焊接质量和生产率的主要因素之一。

2. 焊接化学冶金过程

熔化焊时,在熔化金属、熔渣、气相之间进行着一系列化学冶金反应,如金属的氧化、还原,脱硫、脱磷、焊缝金属氮化、掺合金、与氢的作用等等。这些冶金反应直接影响焊缝金属的成分、组织和性能。因此控制冶金过程是提高焊接质量的重要措施之一。

3. 焊接时金属的结晶和相变过程

随着热源的离开,熔化金属就开始结晶,金属原子由近程有序排列转变为远程有序排列,即由液态转变为固态。对于具有同素异构转变的金属,随着温度的下降,将发生固态相变。例如,钢将发生 $\delta \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ 转变。由于焊接条件下是快速连续冷却,使焊缝金属的结晶和相变都具有各自的特点,并且有可能在这些过程中产生诸如偏析、夹杂、气孔、热裂纹、淬硬、脆化、冷裂纹等缺陷。因此,控制和调整焊缝金属的结晶和相变过程是保证焊接质量的又一关键。

此外,接近焊缝两侧的母材也受到焊接的热作用,如图5上的2、3点。通常把这个区域称为热影响区,该区各点的最高温度都不超过母材的熔点。显然,在热影响区内各点所经受的温度不同,它们所发生的组织变化也不相同,并且在某些情况下有可能产生焊接缺陷或

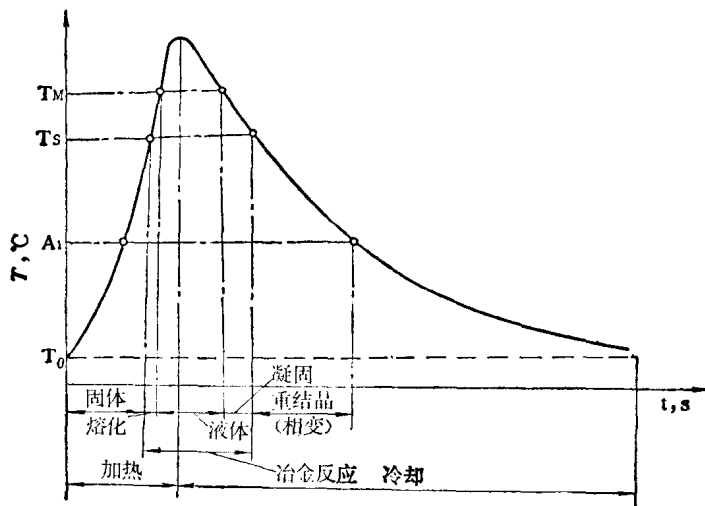


图4 焊接过程示意图

T_M —金属熔化温度(液相线) T_S —金属凝固温度(固相线)

A_1 —钢的 A_1 变态点 T_0 —初始温度

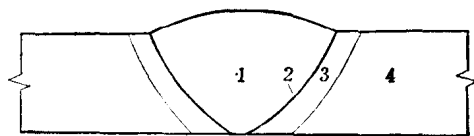


图5 焊接接头示意图

1—焊缝 2—熔合区 3—热影响区 4—母材

使性能变坏。因此,焊接时除了必须保证焊缝金属的性能以外,还必须保证热影响区的性能。然而,在焊接某些材料,如高强钢、铝合金、钛合金等时,热影响区出现的问题更加突出,解决起来也更困难一些。

总之,研究上述焊接各种过程的基本理论问题都是围绕一个目的,就是提高焊接质量和生产率。

四、学习《金属熔焊原理及工艺》的目的、任务及要求

《金属熔焊原理及工艺》是焊接专业的主要基础理论之一,同时又是一门工艺课。它的主要任务是:研究金属材料在熔焊的条件下普遍性的规律,并以此作为理论基础,来分析各种具体条件下金属的可焊性,制定合理的焊接工艺方案,探索提高焊接质量的新途径。因此,本课体现了理论和实践的统一。

本课的内容共分两大部分:

第一部分——《金属熔焊原理及工艺》上册 这一部分是金属熔化焊接的理论基础,主要讨论焊接条件下的传热问题,包括:焊接热源、焊接传热的数学模型以及母材和焊条的加热及熔化等;焊接化学冶金问题,包括:焊接化学冶金的特殊性、气相与金属的相互作用、熔渣与金属的相互作用以及焊接冶金过程的热力学和动力学等;焊接结晶问题,包括:结晶特点、浓度过冷与结晶形态的关系、偏析、夹杂、气孔和结晶裂纹等;焊条焊剂;焊接热影响区的组织性能;焊接接头的冷裂纹等。

第二部分——《金属熔焊原理及工艺》下册 这一部分主要是对典型金属材料的焊接性能进行分析及选择合理的焊接方案。讨论的内容包括:金属可焊性及其试验方法;合金结构钢的焊接;不锈钢及耐热钢的焊接;铸铁补焊;堆焊;铝及铝合金的焊接;铜及铜合金的焊接;钛及钛合金的焊接;高温合金的焊接;异种金属的焊接等。

学习本课的目的是,掌握金属材料熔化焊接的基本理论,培养分析金属可焊性的基本能力,学会试验研究的基本方法,并综合运用其他专业知识,为正确选择焊接材料、工艺方法和制定合理的焊接工艺方案打下基础。

本课是以“物理化学”、“金属学及热处理”以及“焊接概论”课为基础,结合焊接的特点来阐明各种金属焊接的基本规律的。因此,本课所涉及的理论问题和实际问题是十分广泛的,有时必须综合运用几个方面的知识和生产实践经验才能解决问题。为了学好本课,就要坚持理论和实践的统一,善于运用唯物辩证的思想方法来分析问题和解决问题,能够在多变的因素中抓住主要矛盾。

应当指出,《金属熔焊原理及工艺》就现代的科学水平来看,仍有一些未被认识的内在规律,这就需要在我们的三大革命实践中不断认识,不断提高,要“有所发现,有所发明,有所创造,有所前进”,使我国的焊接技术尽快赶上和超过世界水平,为早日实现四个现代化而努力奋斗。

绪论参考资料

- 〔1〕 孙鲁:加速我国机械工业焊接技术的几点意见,《全国第三届焊接年会报告》,1979年。
- 〔2〕 张文钺:金属材料焊接的发展现状,《国外焊接技术》,№3,1978。
- 〔3〕 李润民:机械工业焊接技术的概况及展望(下),《焊接》,№4,1978。
- 〔4〕 Г. Л. Петров, А. С. Тумарев: Теория сварочных процессов, «Вышая школа», 1977.

第一章 焊接热过程

一切熔化焊接都离不开热源加热、熔化和随后的连续冷却，它贯穿在整个焊接过程的始终，是决定焊接质量、提高焊接生产率的重要方面。

早在 30 年代就有人在焊接传热方面进行系统研究〔2〕，并在 40 年代和 50 年代得到很大的发展〔1, 12〕。然而，焊接过程中的传热问题，目前仍然是焊接领域中一个比较薄弱的方面，现正处在发展之中。这是因为焊接过程的传热问题十分复杂，它的特点主要表现在以下三个方面：

首先是焊接热过程的局部性，也就是说工件在焊接时的加热不是整体，只是热源直接作用下的附近地区，加热极不均匀，这一点要比热处理条件下工件整体均匀受热复杂的多，增加了研究工作的困难；

其次是焊接热过程的瞬时性，在高度集中热源的作用下，加热速度极快（在电弧焊条件，可达 $1500^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上），也就是说在很短的时间内把大量的热由热源传递给焊件；

第三是焊接传热过程中的热源是相对运动的，由于焊接时工件受热的区域不断变化，就使得这种传热过程是不稳定的。

由此看来，以上这三个方面的特点就使焊接过程中的传热问题十分复杂，给研究工作带来许多困难。

尽管如此，长期以来人们在焊接生产实践中，总是希望更多地认识或掌握传热过程的基本规律，这是因为焊接热过程对焊接质量（包括各种缺陷）具有重要的影响，这一点可由以下几方面来看：

1. 从焊接的各个过程来看：

（1）焊件被加热的特征，首先决定于热源的性质、热源的功率和热源的作用时间。

（2）金属熔池处在高温时，进行一系列的物理化学反应，这些反应进行的程度与加热的温度、熔池存在的时间有密切的关系，也就是说，除了成分对冶金反应有直接影响之外，还有热的作用。

（3）焊接热影响区的组织特征及其分布特征也都与热源的性质有关。

2. 从焊接的质量来看：

（1）焊缝和近缝区金属组织的变化，除金属本身的冶金因素之外，还决定于热的分布，加热时间的长短和冷却速度。

（2）由于焊接接头受不均匀的加热和冷却，也就会产生不均匀的应力状态，配合冶金因素的共同作用，甚至可以产生各种形态的裂纹，因此对焊接接头的质量有很大的影响。

3. 从提高焊接生产率来看：

提高焊接生产率必须设法提高基本金属和焊条金属的熔化速度，而熔化速度又决定于热的作用。

由以上的分析，可见研究焊接热过程对改进焊接质量和提高产量都具有重要的意义。

世界上许多国家对焊接热过程都进行了大量的研究工作〔1, 2, 6〕。然而正如前面所提出的，焊接过程的传热问题十分复杂，到目前为止，对它本质方面的认识还未彻底清楚，而对