

高等学校教学用书

焊接热过程计算

雷卡林著



机械工业出版社

77.7*
9

77.7
710
:2

高等学校教学用书



焊接热过程计算

徐碧宇、庄鸿寿译

苏联高等教育部批准为高等
机器制造工业学校教学参考书

江苏工业学院图书馆
藏书章



机械工业出版社

1958

0507

11-596

出版者的話

本書系統地闡述了焊接过程中热計算的方法。書中研討了电弧和气体火焰加热金屬时的热傳播过程，热傳播的特性对于电焊条和基本金屬熔化过程的影响，以及对于热循环和基本金屬發生組織变化的影响。

本書供高等机器制造工业学校焊接专业的学生和研究生使用，并可作为科学研究所和工厂實驗室的工作人員的参考書。

苏联 Н. Н. Рыкалин 著 'Расчеты тепловых процессов при сварке' МАШГИЗ 1951 年第一版

* * *

NO. 1915

1958 年11月第一版 1958 年11月第一版第一次印刷

850×1168 $1/32$ 字数 235 千字 印張 $9^{11}/16$ 0,001—3,100 册

机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版业營業許可証出字第 008 号 定价(10) 1,50 元

目 次

本書採用的符號	8
1 熱物理性能和電物理性能係數	8
2 溫度場	8
3 焊接電弧	9
4 氣體火焰	10
5 電焊條的加熱和熔化	10
6 基本金屬的熔化	12
7 近縫區的热循環和金屬的機械特性	12
緒論	15
第一章 導熱的計算基礎	21
1 金屬的導熱	21
基本定義(21)——傅立叶導熱定律(23)	
2 表面放熱	26
對流換熱(26)——輻射換熱(26)——全部放熱(28)	
3 導熱方程式	29
導熱微分方程式的推導(29)——導溫係數(32)——個別情況(33)	
4 區域條件和計算方法	34
區域條件(34)——第一種條件(35)——第二種條件(35)——第三種 條件(36)——計算方法(38)	
5 瞬時集中熱源	39
瞬時點熱源(39)——瞬時綫熱源(42)——瞬時平面熱源(43)	
6 分布的和連續作用的熱源	43
疊加原理(43)——初始溫度分布的拉平(44)——例1(45)——連續 作用的集中熱源(46)——例2(48)	
7 有限物體內的热傳播	49
等溫邊界(50)——絕熱邊界(51)——有換熱的邊界(53)——在板和 杆表面的換熱(53)——自由冷卻(54)——表面放熱的計算(55)	
8 計算導熱過程的數值法	56
綫性熱傳播過程(56)——例1(59)——平面熱傳播過程(61)—— 例2(62)	
第二章 焊接電弧加熱金屬的計算	64
9 作為熱源的焊接電弧	64
焊接電弧(64)——有效功率(65)——例(67)——電弧的比熱流量 分布(67)	
10 電弧加熱金屬的計算方式	71
加熱物體的方式(71)——熱源的方式(73)——熱源作用的延續時	

間(73)——热源的移动(74)	
11 瞬时集中热源的热傳播过程	75
瞬时点热源的热傳播(76)——瞬时綫热源的热傳播(78)——瞬时 平面热源的热傳播(80)——空間的, 平面的和綫性的过程比較(81)	
12 运动的不變功率的集中热源	81
方程式推导的方式(81)——半无限体表面上的运动点热源(82)——板 上的运动綫热源(85)——杆上的运动平面热源(86)	
13 点热源加热半无限体表面	86
極限状态(86)——固定热源(87)——热源移动速度的影响(88) ——运动热源的温度場(91)	
14 綫热源加热板	92
極限状态(92)——温度場(93)——焊接规范条件的影响(94)——金 屬热物理性能的影响(97)	
15 用强烈的快速运动热源加热	97
点热源(98)——近似表达式的評价(100)——綫热源(101)	
16 热循环和最高温度	102
热循环(102)——快速运动点热源的热傳播过程中的最高温度(104) ——快速运动綫热源的热傳播过程中的最高温度(106)——例(107)	
17 热飽和时期和温度拉平时期	108
热飽和时期(108)——过程参数对于热飽和时期的影响(111)——温 度拉平时期(112)——例(114)	
18 物体尺寸的局限性对于热傳播过程的影响	115
板表面上的焊道堆焊(116)——例(120)	
19 电弧焊时金屬温度計算的例題	121
焊接规范(121)——極限状态的温度場(122)——最高温度分布(124) ——A点的热循环(125)	
第三章 气体火焰加热金屬的計算	126
20 作为热源的单單焊炬火焰	126
氧炔焰(126)——火焰和加热表面之間的換热(127)——火焰加热时 物体热含量的变化(128)——氧炔焰的有效功率(130)——各种参数 对于火焰有效功率的影响(131)	
21 单單焊炬火焰比热流量的分布	134
火焰的比热流量(134)——作为正常-圓型热源火焰(136)——电弧 和气体火焰的热特性比較(139)	
22 复杂焊炬的火焰	140
直綫式多焰焊炬(142)——直綫式焊炬火焰的有效功率(142)——直 綫式焊炬火焰的比热流量分布(144)——多列式焊炬(148)	
23 气体火焰加热金屬过程的計算方式	150
加热的專門用途(150)——加热物体的方式(150)——热源的方式	

(150)——热源作用的延續時間(151)——热源的移动(152)——換热热源的計算方式(153)——火焰的換热系数(154)——計算方式(154)

- 24 瞬时正常-分布热源156
 A. 在板上的瞬时正常-圓型热源(156)——B. 在板上的瞬时正常-条状热源(159)
- 25 正常-分布热源加热板160
- 26 运动正常-圓型热源加热板163
 A. 以任意●速度运动的热源(163)——B. 快速运动的强烈正常-条状热源(166)
- 27 簡單焊炬火焰加热薄板的計算169
 例1(169)——例2(171)
- 28 固定正常-条状热源加热板172
- 29 直綫式焊炬火焰加热薄板的計算174
 例(176)
- 30 在半无限体表面上的瞬时正常-圓型热源178
- 31 运动正常-圓型热源加热半无限体181
 A. 連續作用的正常-圓型热源(181)——固定热源中心的温度(183)——極限状态温度場(185)——B. 快速运动的强烈正常-綫热源(189)
- 32 簡單焊炬火焰加热巨型物体的計算191
 例1 長时加热的計算(191)——例2 短时加热的計算(193)

第四章 电弧焊时基本金屬和填充金屬熔化的計算196

- 33 电流加热电焊条196
 过程的热平衡(197)——电焊絲的比电阻(199)——用数值法計算电焊条的加热(199)
- 34 电流加热电焊条过程的近似計算203
 例(205)
- 35 电焊条的熔化206
 过程的热平衡(206)——熔化率(207)——熔化系数(207)——熔化的不均匀性(209)——焊着过程生产率(210)
- 36 焊接电弧加热电焊条211
 例●(212)
- 37 电流和电弧加热电焊絲213
 电流加热的温度(214)——例(214)——电弧加热的温度(216)——例(217)

● 原文誤为「一定」，已予更正。——譯者

● 原文漏排。——譯者

38 电焊絲的熔化	217
熔化速度(218)——根据实验数据确定熔化率(219)——例(220)	
39 焊接电弧熔化基本金屬	223
焊接熔池(223)——熔透区(225)	
40 熔池和熔透区的尺寸	226
計算方式(226)——金屬熔池的長度(227)	
41 熔透过程的热效率	229
42 熔透过程的热有效系数	232
用强烈的快速运动电弧在巨型工件上堆焊焊道(232)——用强烈的快速运动电弧对接焊接板(234)——用任意速度运动的电弧焊接和堆焊(235)——加寬焊道和深入电弧(236)——例(239)	
43 焊着过程和熔透过程的生产率	240
主要的計量指标(240)——焊着区和熔透区面积(241)——提高电弧焊生产率途徑(243)——主要由焊着金屬形成的焊縫(245)——主要由基本金屬形成的焊縫(245)	
第五章 基本金屬热循环的計算	247
44 热影响区的組織变化及其控制	247
組織变化的控制問題(247)——碳鋼和低合金鋼热影响区的組織变化(249)——热循环的調节(251)	
45 在給定温度时的瞬时冷却速度的計算	252
在巨型物体上堆焊焊道和板的对接焊接(253)——例1(255)——在板上堆焊焊道(256)——例2(258)	
46 在簡單热循环情况高于給定温度的加热延續時間的計算	258
例(262)	
47 在堆焊和單程对接焊时簡單热循环的調节	263
堆焊焊道(264)——板的对接焊接(266)——焊剂对于冷却规范的影响(267)——莫斯科巴烏曼高等工业学校方法(焊道試驗)(268)——自动單層焊接规范的計算例題(272)——手工对接焊接规范檢查性計算例題(273)	
48 長段多層焊时的热循环	274
長段焊时的組織变化(275)——第一層冷却速度的計算(276)——规范参数的影响(279)——例1 20公厘厚的50号鋼板的手工对接焊(280)——例2 30公厘厚的HJI-2号鋼板的自动对接焊(281)	
49 短段多層焊时的热循环	282
50 第一層的冷却温度	285
計算方式(285)——焊接段長度的計算(286)——焊接条件的影响(287)——例(287)	
51 在短段多層焊时高于給定温度的加热延續時間	289

例(293)

附录.....	296
表 I 指数函数.....	296
表 II 或然率积分函数.....	298
表 III 积分指数函数.....	304
表 IV 第二类虚自变数零次貝塞耳函数.....	306

77.7*
9

高等学校教学用書



焊接热过程计算

徐碧宇、庄鴻寿译

苏联高等教育部批准为高等
机器制造工业学校教学参考書



机械工业出版社

1958

出版者的話

本書系統地闡述了焊接過程中熱計算的方法。書中研討了電弧和氣體火焰加熱金屬時的熱傳播過程，熱傳播的特性對於電焊條和基本金屬熔化過程的影響，以及對於熱循環和基本金屬發生組織變化的影響。

本書供高等機器製造工業學校焊接專業的和研究生使用，並可作為科學研究所和工廠實驗室的工作人員的參考書。

蘇聯 Н. Н. Рыкалин 著 'Расчеты тепловых процессов при сварке' МАШГИЗ 1951 年第一版

* * *

NO. 1915

1958 年 11 月 第一版 1958 年 11 月 第一版 第一次印刷

850×1168¹/₃₂ 字數 235 千字 印張 9¹¹/₁₆ 0,001—3,100 冊

機械工業出版社(北京阜成門外百萬莊)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可證出字第 008 號 定價(10) 1,50 元

目 次

本書採用的符号	8
1 热物理性能和电物理性能系数	8
2 温度場	8
3 焊接电弧	9
4 气体火焰	10
5 电焊条的加热和熔化	10
6 基本金屬的熔化	12
7 近縫区的热循环和金屬的机械特性	12
緒論	15
第一章 导热的計算基础	21
1 金屬的导热	21
基本定义(21)——傅立叶导热定律(23)	
2 表面放热	26
对流换热(26)——辐射换热(26)——全部放热(28)	
3 导热方程式	29
导热微分方程式的推导(29)——导温系数(32)——个别情况(33)	
4 区域条件和計算方法	34
区域条件(34)——第一种条件(35)——第二种条件(35)——第三种条件(36)——計算方法(38)	
5 瞬时集中热源	39
瞬时点热源(39)——瞬时綫热源(42)——瞬时平面热源(43)	
6 分布的和連續作用的热源	43
叠加原理(43)——初始温度分布的拉平(44)——例1(45)——連續作用的集中热源(46)——例2(48)	
7 有限物体內的热傳播	49
等温边界(50)——絕热边界(51)——有换热的边界(53)——在板和杆表面的换热(53)——自由冷却(54)——表面放热的計算(55)	
8 計算导热过程的数值法	56
綫性热傳播过程(56)——例1(59)——平面热傳播过程(61)——例2(62)	
第二章 焊接电弧加热金屬的計算	64
9 作为热源的电弧	64
焊接电弧(64)——有效功率(65)——例(67)——电弧的比热流量分布(67)	
10 电弧加热金屬的計算方式	71
加热物体的方式(71)——热源的方式(73)——热源作用的延續时	

間(73)——热源的移动(74)	
11 瞬时集中热源的热傳播过程	75
瞬时点热源的热傳播(76)——瞬时綫热源的热傳播(78)——瞬时 平面热源的热傳播(80)——空間的, 平面的和綫性的过程比較(81)	
12 运动的不变功率的集中热源	81
方程式推导的方式(81)——半无限体表面上的运动点热源(82)——板 上的运动綫热源(85)——杆上的运动平面热源(86)	
13 点热源加热半无限体表面	86
極限状态(86)——固定热源(87)——热源移动速度的影响(88) ——运动热源的温度場(91)	
14 綫热源加热板	92
極限状态(92)——温度場(93)——焊接规范条件的影响(94)——金 屬热物理性能的影响(97)	
15 用强烈的快速运动热源加热	97
点热源(98)——近似表达式的評价(100)——綫热源(101)	
16 热循环和最高温度	102
热循环(102)——快速运动点热源的热傳播过程中的最高温度(104) ——快速运动綫热源的热傳播过程中的最高温度(106)——例(107)	
17 热飽和时期和温度拉平时期	108
热飽和时期(108)——过程参数对于热飽和时期的影响(111)——温 度拉平时期(112)——例(114)	
18 物体尺寸的局限性对于热傳播过程的影响	115
板表面上的焊道堆焊(116)——例(120)	
19 电弧焊时金屬温度計算的例題	121
焊接规范(121)——極限状态的温度場(122)——最高温度分布(124) ——A点的热循环(125)	
第三章 气体火焰加热金屬的計算	126
20 作为热源的单單焊炬火焰	126
氧炔焰(126)——火焰和加热表面之間的換热(127)——火焰加热时 物体热含量的变化(128)——氧炔焰的有效功率(130)——各种参数 对于火焰有效功率的影响(131)	
21 单單焊炬火焰比热流量的分布	134
火焰的比热流量(134)——作为正常-圓型热源火焰(136)——电弧 和气体火焰的热特性比較(139)	
22 复杂焊炬的火焰	140
直綫式多焰焊炬(142)——直綫式焊炬火焰的有效功率(142)——直 綫式焊炬火焰的比热流量分布(144)——多列式焊炬(148)	
23 气体火焰加热金屬过程的計算方式	150
加热的專門用途(150)——加热物体的方式(150)——热源的方式	

(150)——热源作用的延續時間(151)——热源的移动(152)——換 热热源的計算方式(153)——火焰的換热系数(154)——計算方式 (154)	
24 瞬时正常-分布热源	156
A. 在板上的瞬时正常-圓型热源(156)——B. 在板上的瞬时正常- 条状热源(159)	
25 正常-分布热源加热板	160
26 运动正常-圓型热源加热板	163
A. 以任意●速度运动的热源(163)——B. 快速运动的强烈正常-条 状热源(166)	
27 簡單焊炬火焰加热薄板的計算	169
例1(169)——例2(171)	
28 固定正常-条状热源加热板	172
29 直綫式焊炬火焰加热薄板的計算	174
例(176)	
30 在半无限体表面上的瞬时正常-圓型热源	178
31 运动正常-圓型热源加热半无限体	181
A. 連續作用的正常-圓型热源(181)——固定热源中心的温度(183) ——極限状态温度場(185)——B. 快速运动的强烈正常-綫热源 (189)	
32 簡單焊炬火焰加热巨型物体的計算	191
例1 長时加热的計算(191)——例2 短时加热的計算(193)	
第四章 电弧焊时基本金屬和填充金屬熔化的計算	196
33 电流加热电焊条	196
过程的热平衡(197)——电焊絲的比电阻(199)——用数值法計算电 焊条的加热(199)	
34 电流加热电焊条过程的近似計算	203
例(205)	
35 电焊条的熔化	206
过程的热平衡(206)——熔化率(207)——熔化系数(207)——熔化 的不均匀性(209)——焊着过程生产率(210)	
36 焊接电弧加热电焊条	211
例●(212)	
37 电流和电弧加热电焊絲	213
电流加热的温度(214)——例(214)——电弧加热的温度(216)—— 例(217)	

● 原文誤为 [一定]，已予更正。——譯者

● 原文漏排。——譯者

38 电焊絲的熔化	217
熔化速度(218)——根据实验数据确定熔化率(219)——例(220)	
39 焊接电弧熔化基本金屬	223
焊接熔池(223)——熔透区(225)	
40 熔池和熔透区的尺寸	226
計算方式(226)——金屬熔池的長度(227)	
41 熔透过程的热效率	229
42 熔透过程的热有效系数	232
用强烈的快速运动电弧在巨型工件上堆焊焊道(232)——用强烈的快速运动电弧对接焊接板(234)——用任意速度运动的电弧焊接和堆焊(235)——加寬焊道和深入电弧(236)——例(239)	
43 焊着过程和熔透过程的生产率	240
主要的計量指标(240)——焊着区和熔透区面积(241)——提高电弧焊生产率途徑(243)——主要由焊着金屬形成的焊縫(245)——主要由基本金屬形成的焊縫(245)	
第五章 基本金屬热循环的計算	247
44 热影响区的組織变化及其控制	247
組織变化的控制問題(247)——碳鋼和低合金鋼热影响区的組織变化(249)——热循环的調节(251)	
45 在給定温度时的瞬時冷却速度的計算	252
在巨型物体上堆焊焊道和板的对接焊接(253)——例1(255)——在板上堆焊焊道(256)——例2(258)	
46 在簡單热循环情况高于給定温度的加热延續時間的計算	258
例(262)	
47 在堆焊和單程对接焊时簡單热循环的調节	263
堆焊焊道(264)——板的对接焊接(266)——焊剂对于冷却规范的影响(267)——莫斯科巴烏曼高等工业学校方法(焊道試驗)(268)——自动單層焊接规范的計算例題(272)——手工对接焊接规范檢查性計算例題(273)	
48 長段多層焊时的热循环	274
長段焊时的組織变化(275)——第一層冷却速度的計算(276)——规范参数的影响(279)——例1 20公厘厚的50号鋼板的手工对接焊(280)——例2 30公厘厚的HJI-2号鋼板的自动对接焊(281)	
49 短段多層焊时的热循环	282
50 第一層的冷却温度	285
計算方式(285)——焊接段長度的計算(286)——焊接条件的影响(287)——例(287)	
51 在短段多層焊时高于給定温度的加热延續時間	289

例(293)

附录.....	296
表 I 指数函数.....	296
表 II 或然率积分函数.....	298
表 III 积分指数函数.....	304
表 IV 第二类虚自变数零次貝塞耳函数.....	306

本書採用的符號

1 熱物理性能和電物理性能係數

λ — 導熱係數卡/公分·秒·°C

S — 熱含量卡/克

c — 比熱容量卡/克·°C

γ — 比重克/公分³

$c\gamma$ — 容積熱容量卡/公分³·°C

$a = \frac{\lambda}{c\gamma}$ — 導溫係數公分²/秒

α — 放熱係數卡/公分²·秒·°C

α_r 和 α_k — 輻射換熱和對流換熱係數卡/公分²·秒·°C

α_1 和 α_2 — 板的上表面和下表面的換熱係數卡/公分²·秒·°C

b — 板或杆的散溫係數^①1/秒

ϵ — 黑度係數

ρ — 比電阻歐姆·公分

σ — 導電係數歐姆⁻¹·公分⁻¹

2 溫度場

T — 固體的溫度°C

T_0 — 周圍介質的溫度；物體的初始溫度°C

t — 時間秒

T_m — 最高溫度°C

t_m — 到達最高溫度時間秒

Q — 熱量卡

q — 比熱流量卡/公分²·秒

q_s — 沿給定方向 ss 的比熱流量卡/公分²·秒

q_r 和 q_k — 輻射換熱和對流換熱的熱流量卡/公分²·秒

① 就厚度為 δ 的板而言： $b = \frac{2\alpha}{c\gamma\delta}$ 。就橫截面周長為 D 和橫截面積為 F 的

杆而言： $b = \frac{\alpha D}{c\gamma F}$ 。

v — 热源移动速度公分/秒

x, y, z — 动坐标制的直角坐标

x_0, y_0, z_0 — 固定坐标制的直角坐标

R, φ, ψ — 动坐标制的球面坐标

r_x, r_y, r_z — 对于 Ox, Oy, Oz 轴的动径

r, φ, z — 动坐标制的圆柱坐标

$\psi_1(\rho_1, \tau), \psi_2(\rho_2, \tau)$ — 杆、板和半无限体的热饱和系数

$\psi_3(\rho_3, \tau)$

δ — 板的厚度公分

D — 杆的横截面周长公分

F — 杆的横截面积公分²

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 &= |x| \sqrt{\frac{v^2}{4\alpha^2} + \frac{b}{\alpha}} \\ \tau &= t \left(\frac{v^2}{4\alpha} + b \right) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{— 沿杆移动的平面热源在綫性热传播过程中的距} \\ \text{离和时间的无因次准则} \end{array}$$

$$\left. \begin{aligned} \rho_2 &= r \sqrt{\frac{v^2}{4\alpha^2} + \frac{b}{\alpha}} \\ \tau &= t \left(\frac{v^2}{4\alpha} + b \right) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{— 沿板移动的綫热源在平面热传播过程中的距 离和} \\ \text{时间的无因次准则} \end{array}$$

$$\left. \begin{aligned} \rho_3 &= \frac{vR}{2\alpha} \\ \tau &= \frac{v^2 t}{4\alpha} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{— 沿半无限体表面移动的点热源在空間热传播过程} \\ \text{中的距离和时间的无因次准则} \end{array}$$

T_{np} — 極限状态温度 °C

t_k — 热源作用的延續时间秒

3 焊接电弧

U — 电弧电压伏特

I — 焊接电流安培

UI — 电弧的电功率瓦特

U_a — 阳極斑点的电压降伏特

U_k — 阴極斑点的电压降伏特

U_c — 弧柱中的电压降伏特

$q_u = \eta_u 0.24 UI$ — 电弧的有效热功率卡/秒

$\eta_u = \frac{q_u}{0.24 UI}$ — 电弧加热工件过程的实际有效系数