

高等学校教学用书

金屬焊接、切割与钎焊

K·K·赫列諾夫著

駱鼎昌等譯



中国工业出版社

高等学校教学用书

金屬焊接、切割与钎焊

K·K·赫列諾夫著

駱鼎昌等譯



中国工业出版社

本书阐述金属的焊接、火焰切割及钎焊等近代技术的原理。对几种重要的电焊、气焊、金属火焰切割和钎焊的主要工艺过程以及必要的材料及设备作了叙述。简要地介绍了次要的焊接方法，对特种钢、铸铁、有色金属等焊接的特点以及硬质合金的堆焊，焊接质量检查等问题也作了研讨。

本书是为工程技术人员及培训熟练工人而写的，同样也可作为高等专科学校的教学参考书。

本书绪论、第一、六、七、九章由骆鼎昌译出，第二章由陈定华译出，第三章由周振丰译出，第四、五章由潘际璠译出，第八章由田锡唐译出，并由骆鼎昌担任全书的校阅工作。

К. К. Хренов

Сварка, 'Резка и пайка металлов'

Машгиз 1952

* * *

金属焊接、切割与钎焊

骆鼎昌、陈定华、周振丰

潘际璠、田锡唐 译

(根据机械工业出版社纸型重印)

*

第一机械工业部教材编审委员会编辑 (北京复兴门外三里河第一机械工业部)

中国工业出版社出版 (北京修门路10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

机工印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行，各地新华书店经售

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $11 \frac{11}{16}$ · 插页 1 · 字数 321,000

1958年2月北京第一版

1961年6月北京新一版 · 1962年4月北京第三次印刷

印数 2,091—5,140 · 定价(10-5)1.70元

*

统一书号: K15165 · 196(一机-19)

目 次

緒 論	7
焊接的物理原理	8
焊接方法的分类	9
本書的效用、內容和層次	15
第一章 电弧焊	17
1. 电弧焊的种类	17
2. 焊接电弧	20
3. 焊接电弧的电源	24
4. 焊接变压器	26
5. 振蕩器	33
6. 等压直流电焊机	36
7. 單站机組或变压直流电焊机	39
8. 电焊工的工作地点、工具和工作服	50
9. 薄塗藥金屬焊条	53
10. 優質焊条	61
11. 焊条的制造	67
12. 电弧的引燃	72
13. 金屬的熔化及轉移	73
14. 焊着金屬和焊柱的形成	76
15. 堆焊和缺陷的补焊	82
16. 对接焊縫的焊接	84
17. 角焊縫的焊接	90
18. 用炭極的焊接	92
19. 在保护气体中的电弧焊 氩原子焊和氩弧焊	95
20. 电弧焊时的安全技術	99
21. 水下焊接	100
第二章 自动及半自动电弧焊	103
22. 自动电弧焊	103

23. АМГ型自动焊机	107
24. 杜切夫斯基(Дульчевский) 系統自动焊机	111
25. АДС型自动焊机	112
26. 焊絲傳送速度不变的自动焊机	114
27. 熔剂器械	120
28. 自动电弧焊的裝置	122
29. 明弧自动焊	124
30. 熔剂層下的自动焊	125
31. 熔煉的熔剂	129
32. 不熔煉的陶瓷熔剂	133
33. 熔剂層下自动焊的技術	135
34. 半自动电弧焊	144
35. 軟管半自动焊	148
36. 焊絲不熔化的自动电弧焊	151

第三章 气 焊 154

37. 氧气对气焊的意义	154
38. 从空气中提氧	157
39. 氧的运输与保管	160
40. 焊接及切割用的可燃气体	163
41. 碳化鈣	167
42. 乙炔發生器	168
43. 乙炔清洗器	171
44. 回火防止器	172
45. PA型“記錄”牌發生器	176
46. СТБК乙炔發生器	177
47. 高压發生器	180
48. 溶解的乙炔	182
49. 減压器	184
50. 焊炬	188
51. 气焊火焰	194
52. 气焊的操作	198

53. 自动气焊	205
54. 加压气焊	206
第四章 接触焊	214
55. 接触焊过程	214
56. 接触焊机电的部分	211
57. 接触对接焊	224
58. 点焊机	231
59. 点焊操作	237
60. 离子管电流断续器	241
61. 点焊的特种形式	245
62. 利用储蓄能的焊接法或脉冲焊接法	249
63. 缝焊或滚焊	251
第五章 次要的焊接方法	257
64. 铸焊	257
65. 镁热剂铸焊法	263
66. 爐焊或鍛焊	265
67. 冷焊	267
68. 其他焊接法	270
第六章 特种金属焊接的特点	272
69. 鋼的分类	272
70. 鋼的可焊性	273
71. 硬質合金的堆焊	277
72. 鑄鉄的焊接	283
73. 銅及銅合金的焊接	291
74. 鋁及鋁合金的焊接	294
75. 鎂、鎳、鉛的焊接	298
第七章 焊接質量檢查	300
76. 工厂的初步檢查	300
77. 焊接接头試样在實驗室中的研究	304
78. X及 γ 射綫檢查焊接接头	309
79. 用磁、声或其他方法檢查焊接接头的質量	313

第八章 金屬的釐焊	318
80. 釐焊过程的意义	318
81. 用硬焊料的釐焊	319
82. 硬釐焊的方法	323
83. 还原性气体爐中的釐焊	326
84. 用軟焊料的釐焊	328
85. 鋁的釐焊	331
第九章 金屬的火焰切割	333
86. 热能的切割方法	333
87. 氧气切割	338
88. 氧气切割炬	341
89. 氧气切割的过程	347
90. 自动氧气切割	351
91. 厚金屬的切割	355
92. 特种形式的氧气切割	360
93. 金屬的水下切割	366
94. 水下的氧气切割	369
95. 水下的氧气电弧切割	373
参考文献	378

緒 論

金屬焊接的廣泛應用是近代技術和工業生產方法上的特征。焊接在工業生產上的應用在二十世紀的第二個四分之一年代開始得到特別迅速的發展，直到現在還是在繼續發展着。

幾種最簡單的焊接方法在生產中應用得很早。在銅器時代就已有金屬的釐焊技藝，原始的鐵的生產方法就是應用焊接的原理，將海綿狀多孔的鐵礦還原產物變成塊狀的鋼。在古代焊接方法的發展非常緩慢，常常經過一世紀也很難覺察到焊接方法，焊接技術及所用的附件、設備等有新的改變。經過數百年的沉寂，直到十九世紀末二十世紀初在這個技術部門內才開始了大的轉變。由於工業和各技術部門的迅速發展，引起新的強大的適于金屬焊接的設備出現，例如強大的電流、電弧、氧炔焰、鋁熱混合劑等。從這時開始差不多每年在焊接技術上都有重要的發現及發明，二三十年來所有的發現及發明比以前數千年的改進要大得多。因此，儘管焊接技術的原理在幾千年以前就已經有了，然而其應用于工業生產還只是近數十年間的事，所以焊接技術在工業中可以算是一種新的年輕的技術部門。

在各種形式焊接方法的發展中，俄國和蘇聯學者與技術人員都曾起過顯著的作用。十月革命以前在我國工業中應用新的焊接方法還是很少的，雖然許多方法還是在俄國誕生的。

我國焊接技術光輝的發展是在偉大的十月社會主義革命以後隨着斯大林五年計劃年代中工業化巨大的成就一起到來的。蘇聯新的焊接技術的飛躍進展約在1929~1930年開始，直至現在仍是以飛快的速度不斷地前進。

毫無疑問地，現在無論就焊接的應用範圍及技術的完善程度上說，蘇聯都占首要地位。在建立近代最新的焊接技術工作上，蘇聯的科學工作者、工程師、斯大哈諾夫-焊工都會有並將繼續保有極卓越的貢獻，而且在很多焊接方法上蘇聯現在占世界第一位。

焊接的物理原理

將兩塊分離的固体材料加热或不予加热，使原子間產生相互結合之力而得到一个不可分离的接头，这种过程称为焊接。

在工業中焊接是被廣泛地用來連接金屬的，但也可連接許多別的材料：玻璃，塑料，樹脂，某些礦物等等。本書僅敘述金屬的焊接。

結合力用來連接組成固体或液体的基本質点以構成一个整体，这个力量的發生可以用物体原子外圈电子層的相互作用來解釋。为了使焊接得以順利進行，也就是說將兩塊金屬連成一个整体，必須使結合力作用起來。因此，首先必須將需要連接的金屬放置在一处，使其原子間的距离約相等于其原子半徑，随后使結合力發生作用，也就是使需要連接的金屬的电子層相互起作用。

依照热力学一般的定律，分子是如此相互作用的，即是在作用終了以后使系統的自由能減少。具有一定强度的空間結晶格子，其原子依照一定的次序分布，这种过程就屬於系統自由能減少的一例。为了使結晶格子变形必須耗費一定的功，即必需給予固結晶体以足够的能量。經過变形的結晶格子在適當情况下回复到正常情形，其自由能減少，同时將耗費于其变形上的能量付还。当經過变形的結晶格子重新排列时分子就开始相互作用，使被連接的金屬部件重新長成为一个整体。

系統自由能的減少是一自發性的过程，例如在焊接中常起重要作用的溶解及擴散現象就是。被焊金屬的加热是使系統內的自由能增加的一个重要的因素。随着温度的增加，开始时是固体物質的强度減少，彈性性能也減弱，塑性变形的能力增加，随后金屬就熔化了。温度繼續增高，金屬就進入气体狀態。物質生成为一个整体的能力是随温度而变化的，即随温度的增高而加大。任何气体，將其混合于一处任其自相接触，無論其間关系为何，均自發地成为一种混合物，均匀地存在于空間，整个空間气体分子的分布是相当均匀的。在液体狀態时，分子的擴散能力已經大大地受到限制：例如有互不相溶的液体及有限互溶的

液体，这种例子是很多的。所有熔化了的金屬可以說是相当均匀的液体，它們虽然仅具有很有限的溶解度，但对焊接而言其互溶溶解度是足够的。

金屬的加热使焊接的進行更为容易，故在各种形式的焊接技術中加热的方法被廣泛地应用，因此焊接总是被認為是与金屬被加热到高温直至熔化或加热至塑性状态分不开的。然而加热并不是進行焊接所一定必需的步驟，僅在实际工作中为方便起見而应用。按理說，在低温下進行焊接是可能的，因此某些情况下在工業範圍內也有所应用。金屬的分子在低温时生長成为一个塊狀的固体，这种情况也是常見的，例如在常温时金屬自水溶液中电解沉淀而得到緊密而堅实的金屬塊就是。

利用电鍍的办法使金屬沉淀到被焊部分而連成一个整体，这种办法也認為是焊接法的一种。有时可以改用別法來得到緊密堅实的金屬沉淀物，例如在低温下金屬自其化合物中还原的化学反应就是。在常温下可以用很大的压力使粉末狀金屬成为塊狀。許多金屬的冷焊法就是利用在常温下的塑性变形而形成的，这种方法也在工業中应用。

焊接方法的分类

金屬的焊接在現代工業中可以分为几十种，为了便利研究，評定其应用价值，决定其合理的应用范围起見，宜將其分为基本的兩大类：1) 压力焊接(塑性的)；2) 熔化焊接。

第一类是在焊接处施用压力，压力在焊接中起了非常重要的决定性的作用。压力造成了塑性变形，引起結合力的產生。金屬的加热此时虽也起重要的作用，但其作用却是从屬性的；在某些情况下焊接的進行可以完全不需加热。

第二类中焊接过程基于利用局部加热的办法將金屬加热至熔化。在焊接处不需施加压力，如果施加压力，也僅起次要的作用。

压力焊接类型本身又可依焊接处加热的程度而分作三小类。第一小类——压力冷焊，此时焊接区的金屬在整个焊接过程中都是冷的，

例如在常温中的焊接法就是。第二小类——不熔化压力焊接，此时金屬不达到熔化状态，僅僅加热至所謂焊接热度，此时金屬的机械强度稍有降低，彈性性能也降低，但塑性增加。在这个温度时压力焊接順利進行并可以得到良好的結果。焊接热度的概念是由实际工作中得出來的，而且也沒有有一定的数字。一般說來，任何金屬或任何一对不同类的金屬在適當的条件下（有足够的單位压力及其他等等），可在常温中不需加热焊接在一起。

从焊接原理上來看宜于工業上应用而且方便的压力焊接的可能性問題，應該指出：加热能使压力焊接过程進行得更加容易，同时在实际工作中多半是不可缺少的条件。加热温度愈高，焊接工作進行得愈好，但温度的增高要受到各种附加条件的限制。

通常金屬加热只加到所謂焊接温度，即稍低于金屬熔化的温度。繼續增高温度是不允許的，因为金屬的开始熔化可能破坏正常的焊接过程，使金屬組織变坏等等。有时加热温度由于各种爐子及鍛造爐的温度不能繼續增高而受到限制。

很多情况下，在焊接区增强金屬的加热直到熔化可認為是適宜的。此时熔化的金屬在压合过程中可以全部自焊接区挤出，僅加热到塑性状态的金屬層开始接触并進行焊接。此时在焊接接头的金相結構圖中鑄造結構不能被顯出。有时熔化金屬用压合的办法不能全部自焊接区除去，或者完全不能除去，例如接触焊的点焊就是如此。这时在焊接接头的金相圖中可以看到鑄造結構。

如果金屬加热到熔化，則这种焊接过程被称为压力熔化焊接。

熔化焊法类本身可以分为兩小类：1) 熔化焊法，乃指將基本金屬燒熔的焊接而言；2) 钎焊，其主要特征为基本金屬不被燒熔。其焊接接头是用低熔的填充金屬，即其熔点較基本金屬熔点为低的金屬熔化后而得到。这种易熔的金屬被称为钎焊料，而这种过程的本身則称为钎焊，钎焊可以看作是熔化焊法的变态。然而要將真正的熔化焊法及钎焊二者間划一条明顯的界限，尤其是对有色金屬而言，不是一定可能的。

在上述定义的基礎上可以得出压力焊接及熔化焊接簡要特性，并指出它們的一些特点。

需要加热的压力焊接由两个工序組成：

1) 在焊接区以相应的热源將被連接部件加热至必需的温度，以使接头的表面温度达到焊接热度。

2) 压合，即是在被連接部件上施加压力，使被加热的金屬產生很大的塑性变形。由于被加热金屬沿焊槽表面流动的結果，發生結合力，并將接头处金屬結合成一个整体。被挤压出來的加热了的金屬此时在焊接区形成凸出的厚層。

施行不熔化的压力焊接时不需要特別的高温，故焊件可以用各种不同的热源加热。焊接区的金屬不熔化，故其化学成分及結構实际上不变化或者是很少改变，因此在接头处多少保有些基本金屬原有的机械性能。在最有利的情况下压力焊接可以使焊接接头处成为完全均勻的金屬，在金相圖中也看不出有焊接的地方；焊接区域的金屬与基本金屬在化学成分上，結構上及机械性能上都是沒有差別的。

被焊接的表面应在焊接前仔細地加以清理。因为金屬沒有熔化，自焊接区除去髒物甚为困难，結果在压合过程中部分髒物仍留在接头里而降低了它的机械性能。有时适当地加焊剂使存在于被焊金屬表面的难熔氧化物变为易熔的熔渣，在压合过程中熔渣以液体状态很容易自焊区被除去。

熔化焊接的过程如下。把被連接部件裝配成所需要的形式，在接头处通以强大的热源，温度很高，使兩被連接部件的金屬熔化。接头处熔化了的金屬自动地、不需外界的机械作用匯集成共有的熔潭。热源除去以后，熔潭冷却，并很快地凝結起來，而熔注金屬就牢固地將两个零件連接成一个整体。由于金屬的導热性很高，熔潭里的熔化金屬很快地把热傳給整个焊件，为了使所形成的熔潭有足够大的体積，其所需热源不僅要有足够的容量，而且也要有很高的温度。实验証明，如果是下列金屬，例如鋼、銅、中等厚度的鑄鉄，用熔化焊法焊接时，热源应有的温度應該不低于 3000° ；如果低温焊接仍有可能

时，其結果一定不好，而且由于生產效率低，經濟上也是不利的。

这种高温在工業規模上的取得还是不久以前才實現的(約70年前)，因此各种熔化焊接法都是比較新穎的。

在熔潭中，金屬表面各种各样的髒物(氧化物，骯髒物等)，可能浮出熔潭的表面而成为熔渣，故对金屬表面的清潔度要求，熔化焊接比压力焊接的低些。

金屬的熔化过程及高温热源对熔潭的作用，可以引起焊縫金屬与基本金屬相比較在化学成分、結構及机械性能等方面剧烈的变化。在压力焊接的情况下焊接接头金屬所能保有的金屬原有的性能在这种情况下，不复能保留。金屬的組成部分被燒成气化状态或被燒毀，熔潭吸收周圍大气中的气体，因此熔潭中凝結的金屬完全成为另一种成分及結構。同时金屬的塑性顯著降低，顯示机械性能已經改变。

为了清除金屬熔化后种种不良的后果以及高温对金屬的坏作用，常在熔潭中加入各种附加物來改善焊縫金屬的質量。

在上世紀末熔化焊法發明以后，熔化焊法只需一个工序——加热就能完成；而施加压力即压合这个工序可以不要，这事引起了当时技術人員的注意。習見的老式的压力焊接法要兩個單独的工序去完成——加热，随后在压合过程中施加压力。这时压合过程具有極重大的意义。

为了着重地指出熔化焊法主要的特征，把它叫做自生熔接(автогенная сварка)。“автогенная”一字是由“авто”及“ген”两个希臘字的字根所組成，可以理解为自生的意思。后来这字开始在会話中廣泛应用，但僅表示熔化焊法中之一，即指气焊而言，由此漸漸在会話中形成了一种自成的技術上不通的但日常通用的術語，例如“他在施行自生熔焊”，“自生切割”等。因此現在在工業技術書籍中“自生熔接”的術語不宜采用。

圖1上的焊接方法的分类在焊接事業進一步的發展及編目上來講是不够方便的。为了从实际出發，另一种系統的分类方法就要方便得多，这种分类法主要是根据焊接时加热方法的不同而定的。如果除

了加热方法的不同外尚注意到一些其他的特征，則依照加热方法的不同可以把它分得很詳細，可將所有工業上有实用意义的焊接方法都包括進去。

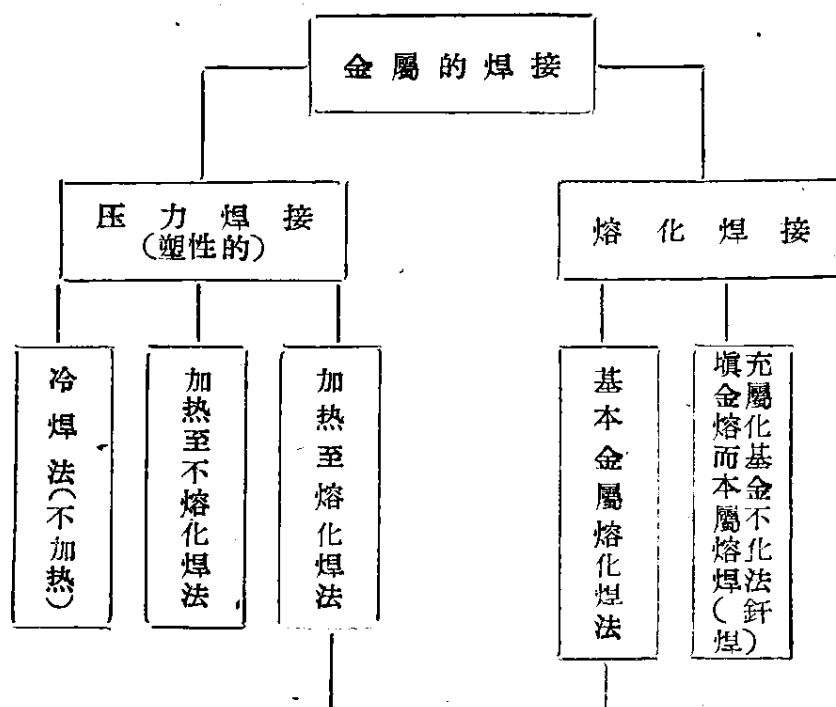
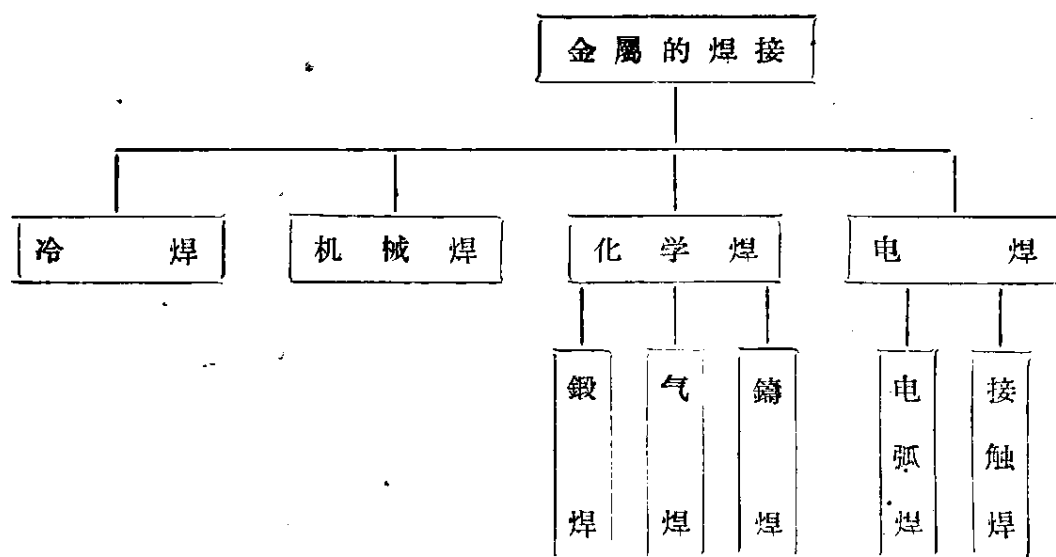


圖2 为按加热方法的不同將焊接加以分类的圖表。其分类主要是根据在焊接过程中为了把金屬加热所采用的能量的形式不同而分的。



因此各种焊接法依此而可分成四类：

- 1) 化学焊——利用化学反应的進行來加热；
- 2) 电焊——利用电能來加热；
- 3) 机械焊——利用机械功來加热，例如摩擦力的功；
- 4) 冷焊——完全不需加热。

如果將來找到了其他形式的可利用的能量，例如輻射能或光能，則可依此而相应地將新焊接法分出來。

在化学焊法的分类中，固体、液体或气体燃料在空气中或工業用純氧中燃燒所發生的反应是最重要的。鍛焊也可以將其归入化学焊法一类，其焊接处的加热是在不同的加热爐中進行的。各种不同形式的气焊也屬于化学焊法一类，其加热是利用可燃气体在特制的焊炬中燃燒而進行的。鑄焊也归于化学焊法一类，热源是粉狀的金屬混合物所組成的鋁热剂——例如鋁粉及鎂粉，它們燃燒时所發生之热極大，金屬的氧化物亦是組成成分之一，但其燃燒热較小，例如氧化鉄。

利用电能來加热的各种电焊法或簡称为电焊的，这种方法是近代工業所有金屬焊法中最重要的一种。

电焊可以分为兩大类：1) 电弧焊，其加热所用的热源是用电弧的放电而得到，及 2) 接触焊，利用电流通过金屬所發生的焦耳热來加热。

各种焊接方法应用的範圍及在工業中的意义是不相同的。在化学焊法中气焊最具有实际意义，而气焊之中的氧-炔焊，几乎在所有的工業部門中都应用。爐焊或鍛焊是古老的方法，無歷史記載时即为人們所知道，現在在各工業部門中它已被生產效率較高的及較完善的焊接方法所代替。鑄焊的应用範圍較受限制。在实际工作中，直到最近这种方法还僅用于鋼軌对接焊，多半用于電車軌道的对接。自从出現了新的鎂热剂以后，鑄焊才有新的、相当大的应用範圍——用于電話及电报所用的鋼導綫的焊接。

电弧焊在大部分工業部門中是最重要的一种焊法。这种方法的原理是利用电弧放电將金屬熔化，在我國現代工業中按現有設備数量、

工作人数以及產品价值和数量來說均占第一位。这种方法在最近已在一定程度上机械化及自动化了，电弧自动焊更具有重要的意义。电弧焊法的適用性很大可用于各种形狀及尺寸的工件焊接上，对于尺寸大的焊件，电弧焊尤为適宜。焊件体積愈大，金屬的厚度愈厚，电弧焊与其他各种可以焊接的方法比較其优点則更多。

在气焊及电弧焊以后，接触焊按其在工業上的作用在現在被排为第三种最主要的焊法，这种方法的發展及進步甚为迅速。接触焊的發展需要較大的电能，而强大的电能是与工業电气化的加强和过渡到大量生產所分不开的，因为这种焊法在本質上說來，是同一类型產品大量生產时最適宜的一种方法。接触焊过程已經大大地机械化了，并且很容易將其全部自动化。接触焊的特征在于需要用較复雜的、完成一定工序的專門机器。

机械焊法及冷焊法在工業中的作用至今仍是微不足道的。釐焊有很大的实际意义。在本書后面相应的各章中还要談到焊接方法的詳細分类。

本書的效用、內容和層次

苏联的焊接專業文献是丰富而多采的。無論按其高度的科学水平、理論的深入及細致各方面來說，都占世界第一位。在苏联有很多关于焊接技術各种問題的巨大著作及論文，附在本書末尾的参考文献中即有較为重要的著作。

据作者的意見，我們目前尚缺乏將所有焊接理論方面的重要問題均包括在內的内容被压縮了的書。提出需要这样一本書的要求已經很久了。作者承担起編寫這本書籍的任务，目的是供給工程师、技術人員、大学或專科學校学生和工長参考用的，他們虽然不是焊接方面的專業者，但希望知道一些焊接技術的現狀，而又沒有可能去讀完或研究一些焊接方面个别問題的著作。

本書开始就敘述各种焊法、每种焊法的基本过程、所用加热热源的特点、需用材料、机器、器械及輔助設備等。随后講工藝过程，該

种焊法在工業中应用的实例，并举出其技術-經濟指标。关于焊接方法的叙述首先从电弧焊开始，因为电弧焊的实际意义最大。关于电弧焊自动化过程本書也加以特別叙述。随后詳尽地闡述气焊过程，举出所用的材料；需用的器械，并述及新式的压力气焊方法。接触焊自成一章，其中將很詳細地論述接触焊。其他的焊接方法（鑄焊、鍛焊、高頻率电焊、机械焊、电解及冷焊）因其应用范围受到一定限制，均列于第五章“次要的焊接方法”中。

本書的叙述是以常用的低碳鋼的焊接为主，因近代的焊接技術是在用低碳鋼的基礎上發展和建立起來的。現在別种金屬：如特种鋼、有色金屬等的焊接法也开始逐漸發展起來。所以本書專有一章“特种金屬焊接的特点”，該章要講到中碳、高碳、合金鋼、硬質合金堆焊、鑄鐵焊接及主要的有色金屬焊接等特点。

在焊接產品的生產中焊件的質量檢查起着很重要的作用，本書專有一章論到產品的質量檢查。关于金屬的釐焊法也有單獨一章來叙述。釐焊法早已为大家所熟知，但关于其工藝过程尙少研究，需要出一本專書來論述。由于專論金屬釐焊法書籍的缺乏，本書中以單獨一章來討論這個問題。

在本書最后一章專論金屬的电弧和氧气切割。这些方法在工藝上講起來与普通焊接毫無相同之处，但通常仍將其包括在焊接書籍之內，因其所用的設備、原材料及生產方法等等基本上与焊接技術中所用的甚为相近。因作者也具有此一般的看法，故將金屬的火焰切割过程寫在本書最后。

尙有一些过程，例如表面热处理、金屬噴鍍等，依其生產的方法、所用的原材料及器械等与焊接甚为相近。因本書篇幅有限这些过程都沒有包括進去。