

科學圖書大庫

金屬熔鋸學

(合訂本)

張永耀 編著

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

金屬熔鋸學

(合訂本)

張永耀 編著

徐氏基金會出版

10.40

徐氏基金會

科學圖書大庫

引介世界科技新知
協助國家科學發展

發行編號 0536

我們的工作目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力，在整個社會長期發展上，乃人類對未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同把人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之成就，已超越既往之累積，昔之認為絕難與幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人有無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，允為社會、國家的基本任務。培養人才，起自中學階段，學生對普通科學，如物理、數學、生物、化學，漸作接觸，及至大專院校，便開始專科教育，均仰賴師資與圖書的啟發指導，不斷進行訓練。從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學。旨趣崇高，至足欽佩！

科學圖書是學人們研究、實驗、教學的精華，明確提供科學知識與技術經驗，本具互相啓發作用，富有國際合作性質，歷經長久的交互影響與演變，遂產生可喜的收穫。我國民中學一年級，便以英語作主科之一，然欲其直接閱讀外文圖書，而能深切瞭解，並非數年所可苛求者。因此，本部編譯出版科學圖書，引進世界科技新知，加速國家建設，實具積極意義。

本基金會由徐銘信氏捐資創辦，旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利。民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，返國服務者十不得一。另贈國內大學儀器設備，輔助教學頗收成效；然審度衡量，仍嫌未能普及，乃再遴選國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員林君鐸氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱。「科學圖書大庫」首期擬定二千冊，凡四億言，叢書百種，門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。從事翻譯之學者五百位，於英、德、法、日文中精選最新基本或實

II

用科技名著，譯成中文，編譯校訂，不憚三復。嚴求深入淺出，務期文圖並茂，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，有教無類，效果宏大。賢明學人同鑑及此，毅然自公私兩忙中，撥冗贊助，譯校圖書，心誠言善，悉付履行，感人至深。其旅居國外者，亦有感於為國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬菲薄，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，報國熱忱，思源固本，僑居特切，至足欽慰！

今科學圖書大庫已出版七百餘冊，都一億八千餘萬言；排印中者，二百餘冊，四千餘萬字。依循編譯、校訂、印刷、發行一貫作業方式進行。就全部複雜過程，精密分析，設計進階，各有工時標準。排版印製之衛星工廠十餘家，直接督導，逐月考評。以專業負責，切求進步。校對人員既重素質，審慎從事，復經譯者最後反覆精校，力求正確無訛。封面設計，納入規範，裝訂注意技術改善。藉技術與分工合作，建立高效率系統，縮短印製期限。節節緊扣，擴大譯校複核機會，不斷改進，日新又新。在翻譯中，亦三百餘冊，七千餘萬字。譯校方式分為：(1)個別者：譯者具有豐富專門知識，外文能力強，國文造詣深厚，所譯圖書，以較具專門性而可從容出書者屬之。(2)集體分工者：再分為譯、校二階次，或譯、編、校三階次，譯者各具該科豐富專門之知識，編者除有外文及專門知識外，尚需編輯學驗與我國文字高度修養，校訂者當為該學門權威學者，因人、時、地諸因素而定。所譯圖書，較大部頭、叢書、或較有時間性者，人事譯務，適切配合，各得其宜。除重質量外，並爭取速度，凡美、德科學名著初版發行半年內，本會譯印之中文本，磨即出書，欲實現此目標，端賴譯校者之大力贊助也。

謹特掬誠呼籲：

自由中國大專院校教授，研究機構專家、學者，與從事科學建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究學人、留學生；

大專院校及研究機構退休教授、專家、學者。

主動地精選最新、最佳外文學科名著，或個別參與譯校，或聯袂而來譯校叢書，或就多年研究成果，撰著成書，公之於世。本基金會樂於運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。祈學人們，共襄盛舉是禱！

序

熔銲技術之改進，是今日科學工業範疇中亟待發展的問題。銲接品質優良與否，涉及的因素甚多，而其基本的要素，乃在了解金屬材料之熔銲性（Weldability）及採用適當之施銲方法。關於一般基本銲接方法與規範，本人曾編有「實用熔銲技術」一書，其重點在介紹一般銲接方法及操作。至於各種金屬材料的熔銲性，是銲接技術成敗之重要關鍵，故不可不加重視。例如，美國曾有一化學工廠設計以 304 L 不銹鋼管銲成管路，在施工中誤用了部份 304 的不銹鋼管，結果正式開工不到兩個月，便在 304 不銹鋼熔銲接樁近處發生了嚴重損壞，致使生產停頓。其問題之癥結，是在於 304 不銹鋼之含碳量較 304 L 高出 0.05%，而在施銲時未採取適當處理，以致造成熔銲接樁近處發生晶粒間腐蝕（Intergranular Corrosion）的後果。由此可見，銲接方法與金屬材料兩者間相應關係之重要。故本人不揣陋昧，繼續編纂是書，以期對熔銲技術工作人員有所助益，藉以提高產品拓展高級工業。

本書分上下兩冊，共三篇，計二十章；上冊包括一般熔銲冶金基本原理，影響因素及鐵金屬之銲接，下冊包括非鐵金屬並附塑膠之銲接，所參考之書籍及雜誌如下：

1. Metals Handbook by Taylor Pyman 1961
2. Welding Handbook by Arthur L. Phillips 1966
3. Welding Processes by P.T. Hovencroft 1967
4. The Welding Encyclopedia by Ted B. Jefferson 1968
5. Welding Journal
6. Welding Design & Fabrication
7. Welding Engineer

編者參與熔銲工作多年，承王大庚先生鼓勵，遍求海內外最新資料，參以實際工作經驗，歷時二年，完成此書，其間蒙羅祚循先生審校，安堃齊、廖瑞湖、陳永慶諸位協助，謹此致謝。并希諸先進不吝教正！

湖南寧鄉、張永耀、於岡山健鷹村

目 錄

第一篇 概論

第一章 一般銲接方法簡介.....	3
壹、概述.....	3
貳、軟銲 (Soldering)	3
叁、硬銲 (Brazing)	4
肆、堆硬銲 (Braze Welding)	4
伍、鍛接銲 (Forge Welding)	5
陸、熟料銲 (Thermit Welding)	5
柒、氣銲 (Gas Welding)	5
捌、電阻銲 (Electric Resistance Welding)	8
一點銲 (Spot Welding)	9
二縫銲 (Seam Welding)	10
三浮凸銲 (Projecting Welding)	11
四端壓銲 (Upset Welding)	12
五閃光銲 (Flash Welding)	13
六衝擊銲 (Percussion Welding)	14
玖、碳極電弧銲 (Carbon-Electrod Arc Welding)	14
拾、塗料金屬電弧銲 (Flux-Shielded Metal-Arc Welding)	16
拾壹、氫原子銲 (Atomic-Hydrogen Welding)	17
拾貳、潛弧銲 (Submerged-Arc Welding)	18
拾叁、摩擦銲 (Friction Welding)	20
拾肆、冷壓銲 (Cold-Pressure Welding)	20
拾伍、爆炸銲 (Explosive Welding)	20

拾陸、惰氣屏蔽弧銲 (Inert-Gas Shielded-Arc Welding)	21
一 惰氣鎢極弧銲 (TIG Welding)	21
二 惰氣金屬弧銲 (MIG Welding)	22
拾柒、電離氣電弧銲 (Plasma-Arc Welding)	23
拾捌、超音波銲 (Ultrasonic Welding)	25
拾玖、電子束銲 (Electron Beam Welding)	26
貳拾、雷射銲 (Laser Welding)	28

第二章 銲接冶金的基本原理 31

壹、概述	31
貳、一般金屬的結構	31
叁、金相平衡圖	39
肆、金屬固體	45
伍、金屬內的氣體	53

第三章 影響銲接性的一般基本因素 55

壹、概述	55
貳、銲接方法的影響	55
叁、施銲時基金屬的影響	56
肆、關於施銲金相方面之影響	57
伍、不同金屬互銲時對銲接性之影響	58
陸、合金元素對銲接性的影響	58
柒、銲接加熱、預熱稀釋形勢及冷卻率的影響	61
捌、銲接技術及程序的影響	62

第二篇 鐵金屬之銲接

第四章 熟鐵及錠鐵 (Wrought Iron & Ingot Iron) 之熔銲

壹、概述	67
貳、熟鐵材料之一般特性	67
叁、熟鐵之熔銲	69
肆、錠鐵材料之一般性質	73

伍、錠鐵之熔鋸	74
第五章 碳鋼 (Carbon Steel)	77
壹、概述	77
貳、碳鋼的一般特性	77
參、碳鋼的氣鋸法	79
肆、碳鋼的塗料屏蔽金屬弧鋸法	82
伍、碳鋼的惰氣屏蔽弧鋸法	84
陸、碳鋼的潛弧鋸法	86
柒、碳鋼的電阻鋸法	87
捌、碳鋼的其他一般鋸法	87
第六章 鑄鐵及鑄鋼 (Cast Irons and Cast Steel) 的熔鋸	
壹、概述	88
貳、鑄鐵的種類及一般特性	88
參、灰鑄鐵的鋸接	94
肆、展性鑄鐵的鋸接	101
伍、延性鑄鐵之鋸接	103
陸、鑄鋼之鋸接	104
第七章 低合金鋼料 (Low-Alloy Steel)	117
壹、概述	117
貳、軋軋及正常化狀態鋼料之鋸接	118
參、熱處理低合金鋼之鋸接	129
肆、鋸後熱處理低合金鋼之鋸接	139
伍、鉻鉬鋼之鋸接	148
第八章 鉻鋼 (Chromium Steel)	155
壹、概述	155
貳、鉻鋼的特性	155
參、施鋸技術	166
肆、一般銑鋸方法	176

第九章 沃斯田鐵不銹鋼(Austenitic Stainless Steel) 180

壹、概述.....	180
貳、沃斯田鐵不銹鋼的一般特性.....	180
參、金屬特性.....	188
肆、特種沃斯田鐵不銹鋼.....	194
伍、一般銲接法.....	196
陸、銲後處理.....	209

第十章 沃斯田鐵錳鋼(Austenitic Manganese Steel) --211

壹、概述.....	211
貳、沃斯田鐵錳鋼的主要組織成分.....	211
參、熱處理.....	215
肆、重加熱.....	217
伍、高錳鋼的金相及其結構.....	218
陸、沃斯田鐵錳鋼的性質.....	220
柒、沃斯田鐵錳鋼之施銲技術.....	230

第十一章 層鋼(Clad Steel).....233

壹、概述.....	233
貳、層鋼之一般製造方法.....	233
參、層鋼的適用性.....	236
肆、層鋼料成形時與成形前之熱處理.....	236
伍、層鋼料切割方法.....	242
陸、層鋼料之熔銲.....	245
柒、層鋼銲後熱處理.....	253

名詞對照257

下冊 要目

第三篇 非鐵金屬之鐸接

- 第十二章 鎳及鎳合金 (Nickel And Nickel Steel)
- 第十三章 銅及銅合金 (Copper And Copper Alloys)
- 第十四章 鋁及鋁合金 (Aluminum And Aluminum Alloys)
- 第十五章 鎂及鎂合金 (Magnesium And Magnesium Alloys)
- 第十六章 鈦及鈦合金 (Titanium And Titanium Alloys)
- 第十七章 鉛及鉛合金 (Lead And Lead Alloys)
- 第十八章 鋅及鋅合金 (Zinc And Zinc Alloys)
- 第十九章 其他金屬 (Other Metals)
- 第二十章 一般鐸接名詞術語及其定義
- 附錄：塑膠材料鐸接 (Welding of Plastics)

第一篇 概 論

第一章 一般銲接方法簡介

壹、概述

銲接 (Welding) 的定義：係將兩件或兩件以上的工作物，在其接榫局部位置加致適當溫度使之熔化，或在半熔化狀態加施壓力，或僅僅使填充之銲料熔化，而工作物母材仍在熔點以下；像這樣使之相互接合成為一整體者，謂之銲接。切割的目的恰與銲接相反，係利用各種熱能，將一塊金屬切分為二，謂之切割。

銲接最早的起源，歷史記載很少，從古代獵具、兵器，以及我國商周鼎彝之器看來很早就有了銲接方法。羅馬的史學家浦萊尼 (Pliny) 先生，曾經記載過以 60 % 鉛與 40 % 錫或 40 % 鉛與 60 % 錫的合金，以銲接鉛質水管是鉛錫合金銲接最早者，也可能便是軟銲 (Soldering) 的最初起源。

銲接起源雖早，但發展很緩慢。例如氣銲 (Gas Welding)、電阻銲 (Resistance Welding) 及電弧銲 (Arc Welding)，均遲遲到十九世紀末葉才開始萌芽，到二十世紀才正式發展。也可以說，其發展係受第一次世界期間 (1914-1918) 造船工業及各種軍需品的需要影響所促使。到了第二次世界大戰時，同樣由於各種工業及各種武器的影響 (如航空工業鎂合金的銲接需要)，促使惰氣鎢極弧銲 (Inert-Gas Tungsten-Arc Welding) 於 1944 年研究成功。

自第二次世界大戰之後，由於配合航空，太空及核子等工業的需要，歐美各先進國家對銲接方法研究，更是不遺餘力。因此銲接技術與銲接方法源源推出，例如電離氣電弧銲 (Plasma-Arc Welding)，電子束銲 (Electron Beam Welding)、雷射銲 (Laser Welding) 等新穎銲接方法的發明。其進步之神速，真可謂一日千里。茲就一般重要之銲接方法，按發展史略先後，分別簡介如下：

貳、軟銲

軟銲 (Soldering) 就是普通一般所稱之「錫銲」，雖然是最古老的銲接方法，但在今日不獨是電子及電器工業上之主要銲接方法，也普遍的用於其他的工業上，即如核子工業與太空工業的某些連接或密封，不能採用硬銲 (Brazing) 時，使應用軟銲方法施銲。

根據美國銲接學會 (American Welding Society) 所下之軟銲定義：「軟銲是金屬的一種接合方法，工作時，以 800°F 以下之適當溫度 (溫度高於 800°F 者屬於硬銲)，使軟銲料 (Solder) 充份熔化，而基體金屬不到達熔點，熔融的軟銲料，由於毛細管作用而充塞於接合面間，使工作物相互黏合為一起」。可以說是一種異料銲，其銲料 (非鐵金屬) 與工作物基金屬完全相異。

軟銲料之所以黏附於工作物金屬接合面上，是由於軟銲料擴散滲入基金屬的結果。軟銲料擴散的多寡，視軟銲料與基金屬兩者間之相互熔融性而定。

參、硬銲

硬銲法 (Brazing) 亦為一種異料銲，是古老的銲接方法之一，係由軟銲法之軟銲料 (Solder) 所演進的結果，例如銅鋅合金銲料 (Spelter Solder) 遠較錫鉛合金銲料為硬，有硬銲料 (Hard Solder) 之稱。近年來由於應用廣泛纔區分為硬銲與軟銲。

根據美國銲接學會對硬銲所下之定義：「硬銲是一種接合方法，施銲時用 800°F 以上的適當溫度 (低於 800°F 者，屬於軟銲)，使銲料充分熔化，而工作物母材不到達熔化溫度，熔融銲料由於毛細管作用填充於接合面間，使工作物相互黏合為一起」。由此可見，硬銲與軟銲同為一宗，工作物均不熔化，且都是用與工作物母材相異之合金為銲料，其結合均是由銲料與工作物基金屬相互擴散滲入結合為一起。所不同者，僅有施銲溫度高下之分，也就是硬銲料的溫度均在 800°F 以上。其機械強度方面也較軟銲高得多。

肆、堆硬銲

堆硬銲 (Braze Welding) 銲方法，其接棒則以適當各式槽溝 (如V型或U型等)，將銲料 (非鐵金屬) 填堆在槽溝內的一種銲接方法。施銲時用 800°F 以上之適當溫度使銲料充分熔化，而工作物基金屬不到達熔化溫度。該銲法亦屬一種異料銲接方法，與硬銲很相類似，但不可混為一談，因為

其接合之鋸料不是由毛細管作用而是由堆積而成，故稱之為堆硬鋸。普通一般鑄鐵常採用該鋸法，就鑄鐵接合強度而言，是一很理想的銲接方法，但銲接金屬顏色不相同卻是一項缺點。

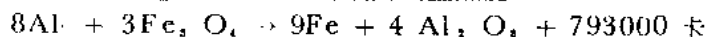
伍、鍛接鋸

鍛接鋸 (Forge Welding) 亦是行之已久的銲接方法；從古代的獵具和兵器上來看，人類在銅器與鐵器時代已開始以鍛擊方法來接合金屬。

鍛接鋸是先將工作物置於鍛鐵爐，或其他加熱爐中，加溫至赤熱，工作物呈半流動之可塑狀後，取出置於鐵砧上，迅速加以壓力或捶擊，使相互接合為一體，自從氣鋸 (Gas Welding) 與電弧鋸 (Arc Welding) 發明之後，該鍛接鋸便日趨淘汰，漸由各種熔接方法取而代之。

陸、熱料鋸

熱料鋸 (Thermit Welding) 起源於 1894 年，係以精細之鋁粉與金屬氧化物 (Metal Oxides) 粉粒相混合，用銲切或含過氧化銀之發火粉點燃之，即進行下列之化學反應，而放出大量熱能。



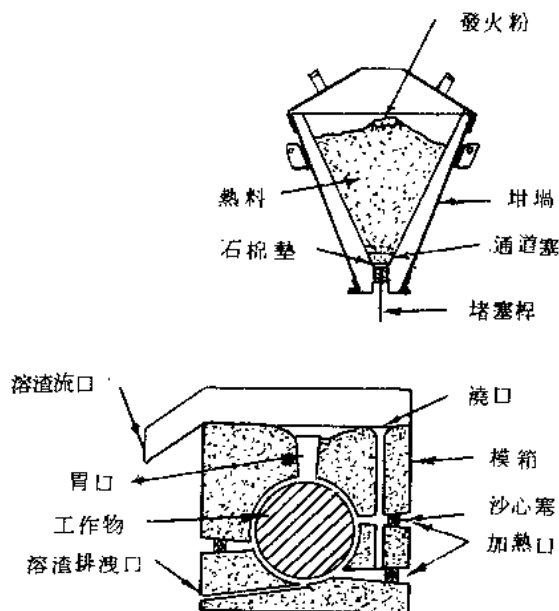
由 8 個分子量的鋁，與 3 個分子量的四氧化三鐵化合後，產生 9 個分子量的純鐵熔液及四個分子量的氧化鋁溶渣，利用該高溫度之純鐵 (或其他金屬) 熔液作為銲接之填充料澆注於鑄模中，足以將嵌在模型中的銲接件之接界面熔化，而相凝固接合為一體 (如第 1 - 1 圖所示)。

其化學反應後之溫度，在理論上計算起來可達到 6500°F (3595°C) 的高溫。然而在化學反應進行當中，由於部份熱量被坩鍋所吸收及部份損失於輻射而降至約 4600°F 。再由於部份熱量被用來調整金屬化學性及增進溶渣流動性所增添之附加物吸收，所以實際上所用於銲接金屬溶液溫度只有 3800°F 左右。

該熱料鋸基本的好處，為較單純的收縮且橫切面大的銲接件冷卻緩慢使發生的殘餘應力甚小。熱料鋸特別適合使用於野外場地，故鐵道工業上的鐵軌銲接至今仍繼續採用。其次巨大的機架、機軸，以及大鑄件之修理等採用熱料鋸均非常經濟有效。

柒、氣鋸

氣鋸 (Gas Welding) 的最初萌芽，是在 1838 年，一位德巴森、森、



第 1-1 圖 熱料焊裝置圖

瑞查門特 (Debassyns De Richemont) 先生發明煤氣 (當時稱為 “St - reet or City Gas”) 供城市照明時，由一位柯樂德 (Cland) 先生利用該煤氣來設計煤氣氣鋸。但由於氧與煤氣相混合燃燒的火燄溫度太低而不適於鋸接。到 1892 年有了大量的碳化鈣 (俗名電石) 生產應市之後，約在 1900 年法國一位愛德蒙·福德 (Edmund Fouche) 先生發明氣鋸，利用碳化鈣所產生之乙炔氣與氧氣混合燃燒鋸接金屬，此為最初之氧乙炔氣鋸。

氣鋸係利用可燃氣體與助燃氣體，導至鋸鎢混合室經混合後由鋸嘴噴出而燃燒，所產生之高溫火燄，供工作物及填料鋸絲熔化鋸接。一般使用之可燃氣體，有乙炔 (C_2H_2 ，俗名稱電石氣)，丙烷 (C_3H_8)，丙炔 ($CH_3C \equiv CH$)，丙乙烯 ($CH_3 : C : CH_2$) 及氫氣 (H_2) 等；助燃氣體則多為氧氣 (O_2)。所有可用氣體中，以氧乙炔燃燒之火燄溫度最高，火力 (燃燒強度) 最大。根據測量的結果，氧乙炔之燃燒火燄溫度為 $5900^{\circ}F$ (