

# 科學圖書大庫

機械工廠叢書

|     |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|
| 43  | 電 | 弧 | 熔 | 接 |
| 73  | 電 | 阻 | 熔 | 接 |
| 102 | 熔 | 接 | 計 | 算 |

譯者 吳家駒

徐氏基金會出版

# 科學圖書大庫

機械工廠叢書

|     |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|
| 43  | 電 | 弧 | 熔 | 接 |
| 73  | 電 | 阻 | 熔 | 接 |
| 102 | 熔 | 接 | 計 | 算 |

譯者 吳家駒

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

# 科學圖書大庫

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員  
編輯人 林碧銓 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有

不許翻印

中華民國六十六年三月五日再版

機械工廠叢書 43 — 電弧熔接  
73 — 電阻熔接  
102 — 熔接計算

基本定價 3.00

譯者 吳家駒 國立同濟大學工學士

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(63)局版臺業字第0116號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號  
發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 15795 號  
承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

## 我們的工作目標

文明的進度，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，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成爲事實。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，允爲社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啓發，始能爲蔚爲大器。而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，彌足欽佩！

本基金會係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，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尙有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏爲監修人，編譯委員林蒼經氏爲編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別、細大不捐；分爲叢書，合則大庫。爲欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，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，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尚在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

**自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；**

**旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；**

**大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者**

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尚祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

## 譯 序

本書收集各種電弧熔接及熔敷之方法，並比較其優劣點，再說明其適用範圍，及施工情形。對於施工中應注意之點，及可能之後果，更有詳盡之說明，可供從事電弧熔接之操作者，設計者及研究者之參考。

本書對於有關之金屬組織——金相學——分別在材料及熔接材料章中亦有簡要之說明。使讀者對電弧熔接及熔敷之組織變化及其影響有所認識。在各有關章節中反復說明基材與熔接條間適配條件。對於熔接條之類別、特性，適用條件亦有系統之介紹。

熔接縫中及其影響帶上之應力分佈對熔接之品質有較大之影響，本書第四章將此分析說明，雖然並無高深之理論及算式，但使讀者已能獲得一般之概念。使能明瞭熔接時材料可能之變形情形及應採用之預防措施。

電弧熔接有關電工學本書列有專章（第三章）。對各種熔接機具之特性說明，使能對熔接機之選用，提供資料。第八章更提供熔接之檢查，成本計算原則，災害防護等之資料。

本書除供上述人員作參考資料外，極適合作為工科學校之教本或課外讀物。

譯者雖然努力企求譯文之信達，但限於學識經驗，難能盡符理想，敬祈學者先進不吝教正。

吳家駒誌於台北

# 前 言

機械製造叢書第四十三冊已再版五次。自第四版刊行以來，一般而言，熔接技術範圍，特別電弧熔接，有顯著之進步。引入新穎方法，將老式方法改新，而主要者為使用新穎之熔接熔填材料，且作重要之改善。電弧熔接過程之新知，目前已允准應用於以往無法考慮之工作。

為使經由此項主要進步而不使出版之書籍內容過份龐雜起見，將前版中若干不與電弧熔接直接關聯之章節完全刪除，依照相同之理由且在本叢書其他冊中已有說明者，如有關熔接材料之說明，予以縮短。與熔接有關之DIN標準，最近有所增列，無法枚舉，請參閱DIN標準第8冊“熔接技術標準及其規定”。

希望本書之新版能獲得善意之批評，俾能遵循指示及建議，使內容經常改善充實。

# 目 錄

## 譯 序 前 言

|                                                                                                                 |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 第一章 一般意義 .....                                                                                                  | 43-1  |
| 1.1 熔接    1.2 可熔接性    1.3 可熔接性特徵                                                                                |       |
| 第二章 金屬熔融電熔接 .....                                                                                               | 43-3  |
| 2.1 電弧熔接    2.2 電子輻射熔接                                                                                          |       |
| 第三章 電工學 .....                                                                                                   | 43-12 |
| 3.1 電弧    3.2 電源                                                                                                |       |
| 第四章 熔接縫 .....                                                                                                   | 43-20 |
| 4.1 接合熔接    4.2 熔敷熔接    4.3 熔接縫應力分佈                                                                             |       |
| 第五章 材料 .....                                                                                                    | 43-30 |
| 5.1 鐵及鋼    5.2 非鐵重金屬及其合金    5.3 輕金屬及其合金                                                                         |       |
| 第六章 熔填材料 .....                                                                                                  | 43-38 |
| 6.1 概述    6.2 用於手工熔接之鋼熔接條    6.3 用於機器熔接之鋼<br>熔接條及熔填材料    6.4 熔敷熔接用鋼熔接條    6.5 熔接鑄鐵用之<br>熔填材料    6.6 使用於非鐵金屬之熔接條 |       |
| 第七章 熔接施工 .....                                                                                                  | 43-45 |
| 7.1 概述    7.2 鋼材之接合熔接    7.3 熔敷熔接工作    7.4 鑄鐵<br>熔接    7.5 非鐵重金屬及其合金    7.6 輕金屬及其合金    7.7 切<br>割               |       |



## 第八章 雜項 ..... 43 -72

- 8.1 熔接工作之檢驗    8.2 熔接縫成本計算    8.3 災害防止    8.4  
訓練

# 第一章 一般意義

1.1 熔接 依照DIN 1910之說明，金屬熔接為金屬經由加熱或加壓或二者，在熔融狀態或接近熔融狀態時互相接合，並不論是否使用相同特性之材料熔填（熔填材料）。

1.2 可熔接性 可熔接性為材料之適應性，能在規定之條件下，作合適之熔接，且符合使用要求。

可熔接性表示：

|            |            |               |
|------------|------------|---------------|
| 不鏽裂性（熔接鏽裂） | 接合適應性：對於鋼材 | 接合合適性為整個接合，   |
| 。鏽裂可能存在於熔接 | 影響較少，但對於鑄製 | 主要為熔接縫，熔合交接   |
| 縫之縱向或橫向或熔合 | 件（曾經過熱或有砂疵 | 帶及基材之強度及韌度能   |
| 交界處或在基材上，鏽 | 之鑄件，無熔接可能） | 符合規定，經受不規則之   |
| 裂可能極為微小或肉眼 | ，對於諸多輕金屬，如 | 加熱（第1.01及1.02 |
| 可見。可能存在於晶粒 | 所用之熔填材料不適當 | 圖）組織變化後對腐蝕強   |
| 界限中，或經過結晶伸 | ，熔接亦有困難。   | 度仍合於要求。       |

引。

可熔接性與材料之合金成份有關，視此種成份在熔合帶中是否需要而定，且隨其組織狀態——物理結合，例如氧或氮溶解於鐵中，或化學結合，例如成為氧化鐵或氮化鐵——而有大大不同之意義。材料狀態，熱處理，冷卻及組織等影響其所熔接性，亦如其發生不正常性，諸如熔析（析出），複合

注意：以前發行之四版在1931，1936，1942及1950年出版。

各種不同之熔接技術可分別刊載於下列機械製造叢書中：

第十三冊：Schimpke 著：依照特殊考慮之氣熔接技術之新熔接法，第七版，正編印中。  
第七十三冊（上下冊），（雙刊）：Brunst/Fahrenbach著：電阻熔接，第三版，1962年。

第七十四冊：Hesse著：電熔接者實用規則，第四版，1958年。

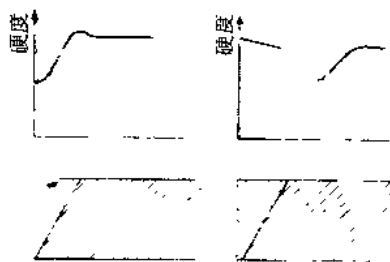
第八十五冊：Ricken 著：輕金屬之熔接，第二版，1949年。

第一〇二冊：Klosse：熔接計算，1951年。

，老化等。由此亦與材料製法有密切之關聯。在熔接結構中可熔接性影響熔接縫中之應力情況。多軸向應力情況顯著降低可熔接性。定向之力作用於熔接縫中或熔接縫上，亦有類似作用。一般情形，剪應力較拉應力為危險。材料之厚薄在此亦為一重要因素，不僅因工作時有熱量快速消失（冷卻）效果，亦且有下述事實，厚壁熔接結構較壁薄者容易產生三軸方向之應力情況。

熔填材料亦有重要之意義，猶如使用不同之熔接材料，亦如使用不同之熔接方法產生大不相同之影響。化學成份主要由熱量平衡，亦即加熱及散熱方式決定，最後即受作業熱度及工作速度所影響。綜合而言，“可熔接性”有極複雜之意義，受各種不同因素之影響。“可熔接性”一詞就鋼材而言，可能有諸多定義，但在此主要者為“脆化破斷敏感性”（材料學上亦稱為“熔接敏感性”，參閱4.3節）。

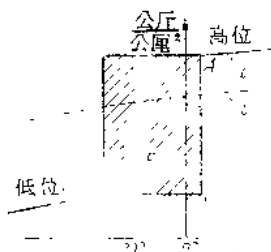
**1.3 可熔接性特徵** 依照上述，不能明顯規定可熔接性之特徵。以往將柯美蘭氏之熔接彎曲試驗（參閱DIN 17100）為主要之試驗，目前較多使用各種尺寸及各種變化之有荷衝擊試驗。熱度降低衝擊韌性減少，如可作為可熔接之特性，則“急降”可作為其標誌（參閱第1.03圖）。並不以“高位”之大小，以公斤/公分<sup>2</sup>計（或有時亦用公斤-公尺/公厘<sup>2</sup>計）之值，而以“急降”*AB*開始之溫度判斷之。值得希望者為鋼材，在低溫度時即開始“急降”。



第 1.01 圖 熔接縫  
硬度衰退。

第 1.02 圖 接合  
帶硬度衰退。

第 1.01 及 1.02 圖 不充份之熔接接合強度  
狀態示意圖。



第 1.03 圖 各種鋼材有荷衝擊韌性  
急降（a 非合金不穩定鋼；b 高合  
金線鋼；）與溫度之關係之示意  
圖。c 試驗結果之散佈範圍。

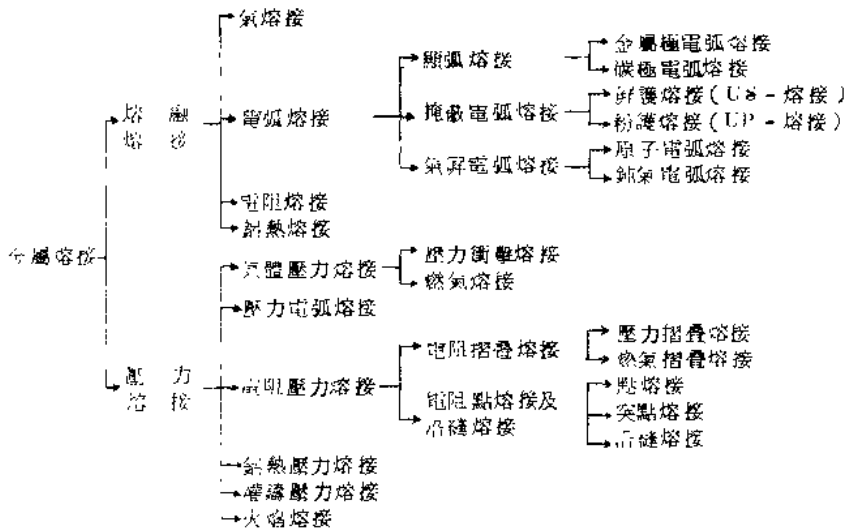
## 第二章 金屬熔融電熔接

第2.01圖及第2.02圖表示綜括之概要。

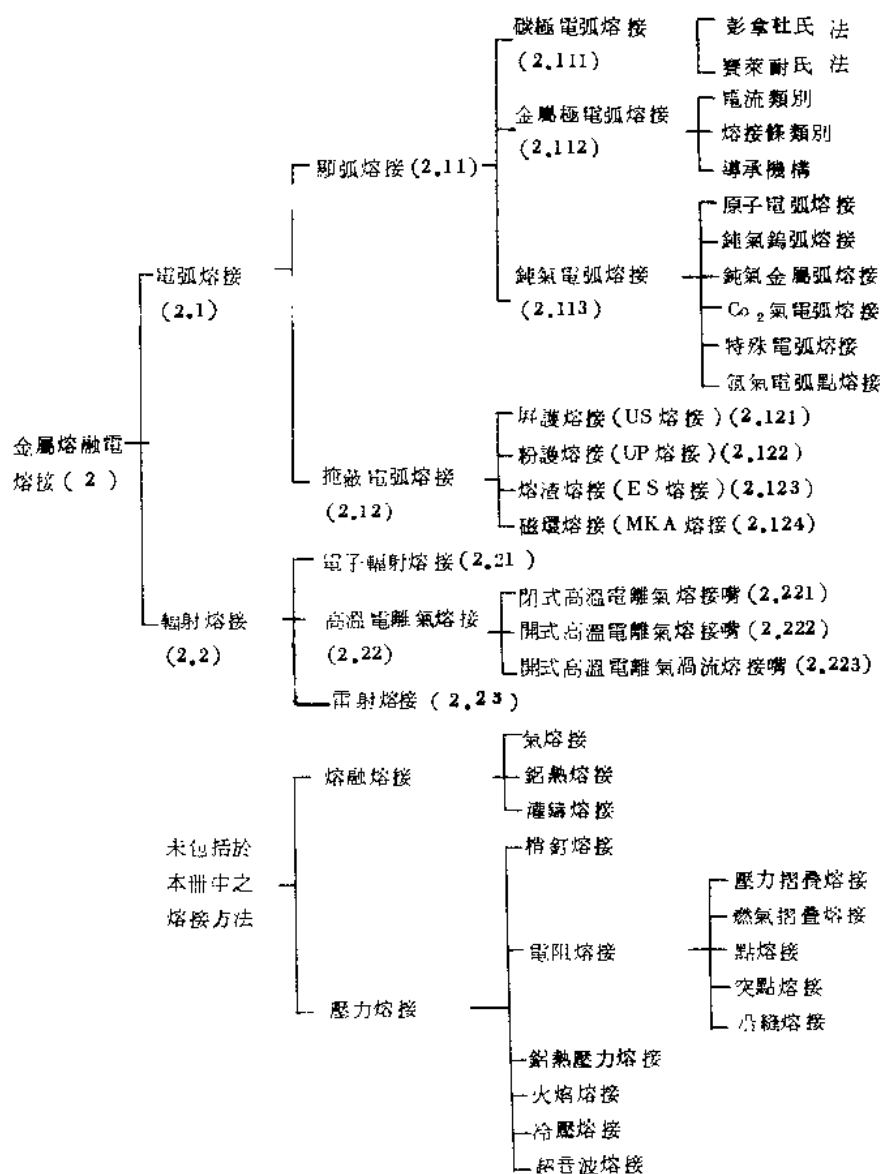
### 2.1 電弧熔接

2.11 顯弧熔接 電弧產生於空氣中，可於經由防護玻璃觀察。此種熔接方法為普通而最常用者。除需將器具作適當調整外，無需其他特殊準備。

2.111 碳極電弧熔接 1. 彭拿杜氏法（第2.03圖） 工件與電源正（+）極連接，負（-）極與碳極連接。連接合適之電源後，將碳極接觸工件，然後略行提起，產生電弧，加熱接觸處，亦且將熔接線熔融。使用合適之熔劑，例如稀釋之水玻璃，能完全保護熔接處不受空氣作用。經由“噴



第2.01圖 依照DIN 1910（1954年8月）規定之熔接方法。



第 2.02 圖 依照本冊編述次序之各種熔接方法。

射線圈”(在電弧前通過電流之繞組)可使電弧穩定。此法可使鋼材在一定施工條件下與非鐵金屬熔接。但此種方法僅在特殊情狀時應用。

2. 賽萊耐氏法(第2.04圖)。電弧產生於二條碳極間,經由噴射線圈使電弧火焰對正工件。此法僅使用於特殊情形。

2.112 金屬極電弧熔接(史拉維諾夫法)(第2.05圖)。電源一極連接於工件,另一極連接於金屬條,熔接條。將熔接條接觸工件,然後提起少許,由於電流通過產生電弧。所生之熱量將熔接條端及工件接觸處熔融。此法有下列三種不同情形。



第2.03圖 彭拿杜氏法。



第2.04圖 賽萊耐氏法。



第2.05圖 史拉維諾夫法。

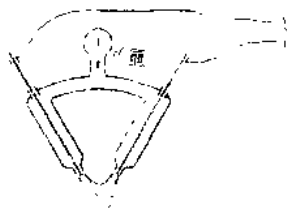
1. 所用電流。直流或交流電流,使用交流電流時更以頻率分列。通常使用網路頻率,在歐洲大部為50週期/秒。為特殊目的亦有使用較高頻率者,在特殊情況下使用外差式高週波裝置,將熔接電流調整為高週波弱電流,用以產生電弧。由於直流電弧之極性能獲得不同之效果。使適應使用不同之熔接條,在不同之基材上實施不同之工作。

2. 熔接條類別。赤裸熔接條或薄塗料熔接條(赤裸熔接線熔接),或厚塗料熔接條,此能適應各種不同工作(參閱第6章)。

3. 熔接條導承機構。常用者為人工操作(手工電弧熔接)。如熔接條由機械裝置控制,經由電力操縱機構保持需要之電弧長度,稱為自動熔接。半自動熔接僅將電弧長度由動力裝置操縱。全自動熔接時,電弧或/及工件之行程亦由機械器具操縱。半自動熔接能熔接各種不同形狀之熔接縫,而全自動者合於熔接長度較長,連續不斷,厚度均勻之熔接縫。自動熔接視所用之熔接條及所用之方法之不同而分類。其優點為能提高熔接速度,並可能使不熟練之熔接工亦能得良好之成果。

2.113 鈍氣電弧熔接。為防護高溫之金屬熔接條端與空氣作用,使用鈍氣於施工過程中,部份於冷卻時,將高溫金屬包圍。以使用氬氣為例,說明其作用。氬氣受電弧加熱,與周圍空氣中之氧燃燒成為水汽,屏蔽電弧。水汽自 $2200^{\circ}\text{C}$ 之電弧中吸收熱量,部份又復分解為氬及氧(分解),最後又因熱可逆反應,燃燒成為過熱水蒸汽。

1. 原子氫弧熔接(朗摩爾法)，工業名稱爲原子弧法(第2.06圖)。由於高溫作用，氫分解爲原子氫，經過電弧後，熱量放出，又復結合成爲分子，此項熱量以及電弧之輻射熱構成能源。氫之燃燒對於熱量變化僅有次要之意義，主要作用在於對空氣影響之防護作用。特殊交流電源供應產生電弧之電壓。在目前此法僅應用於特殊情況，例如銀之熔接。

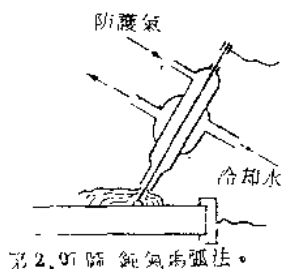


第2.06圖 朗摩爾法(原子氫弧熔接)。

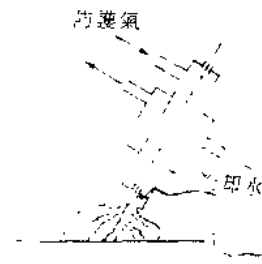
2. 鈍氣鎢弧熔接(MIG法，工業名稱“氬氣”及“氦氣”弧法)(第2.07圖)。在不燒耗之鎢電極周圍使用氬氣，極少數情形亦有使用氦氣者，作爲防護氣體。加工妥善之薄金屬板熔接縫(如罐之捲接縫)互相熔接，亦可另加熔填材料將其熔接。使用交流電流(使用外差式高週波器)施行鉛及鎂之熔接，有良好之效果。熔接銅及鋁及其合金等之熔接，則用直流電流，電熔接條連接負極。熔接高合金鋼時亦然。直流電流之正極，連接熔接條，甚少使用；此種方法熔接條之消耗最少。

3. 鈍氣金屬弧熔接(MIG法，工業名稱SIGMA法，第2.08圖)。電弧形成於以機器饋給之熔填線(熔接條)與工件間。防護氣體，大多爲氬氣，直接將饋給進行中之金屬包封。此種設施可以半自動(熔接頭以手操縱，熔接條以機器饋給)或全自動，亦即熔接頭亦用機器操縱。熔接線可負載較高之電流，使工作速度提高。電弧之輻射甚爲強烈。

4. 二氧化碳作爲防護氣體，操作情形亦如使用氬氣(水汽)，僅以不氧化之氣體代用。在節省費用之原則下代替氬氣使用於鈍氣金屬弧熔接法中



第2.07圖 鈍氣鎢弧法。



第2.08圖 鈍氣金屬弧法。

，熔接非合金表面精密或粗糙之鋼皮。熔接表面極為粗糙，並且大部份有殘點，但有極高之工作速度。由於所用之防護氣體價格低廉，此種方法特別經濟。

5. 特殊混合氣體作為防護氣體，將少量氧氣（1至5%）混合氬氣中，能使熔池表面過熱，使熔池有輕微之流動，並有較佳之脫氣作用。氧氣進入於熔池中，能減少熔填絲中之合金成份，諸如錳、矽、碳等進入基材。有時亦使用氬氣及10~60%之二氧化碳氣作為防護氣者。此種防護氣除價格低廉外，尚有其他優點，以此熔接非合金鋼特別容易。亦曾試用水汽，大多使用過熱蒸汽作防護氣，但實際作業中，此法尚未達到成功階段。

6. 氬氣電熔點熔接。經由用電操縱之特殊機器在一處產生電弧，熔穿第一層薄板，並與置於其下之第二層薄板熔合。不論使用或不用熔填線，俱能使其熔合。此種方法最近主要應用於熔接輕金屬及其合金。

## 2.12 掩蔽電弧熔接 電弧不能由外方觀察。

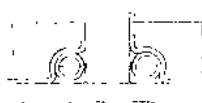
2.121 屏護熔接（US 熔接，第2.09圖及第2.10圖）。一條有時長達一公尺之厚塗料熔接條，置於熔接縫（大部為填角熔接縫）中，使用適合構造之銅屏掩蓋之。將電流導入於赤裸熔接條，熔接條端與連接於電源另一極之工件間起弧；電弧產生後，熔接條熔融，受銅屏之壓力，熔填於熔接縫上。熔接較長之工件，則可添接另一熔接條於其后，在首尾接合端處再行起弧繼續熔接。銅屏之長度可以一定，但需能適合熔接縫之軌跡。此種方法之優點，為熔接者可以同時作二件之熔接工作，並且熔接縫之品質與熔接者之技術較少關聯。此法之另一優點為能熔接無法通過之熔接縫（例如第2.11圖之框架）。並且有設備費用低廉之利。使用此法熔接速度較其他自動熔接為低，因為熔接速度與電流強度有關，電流通過較長之熔接條，不能隨意提高其強度；此外熔接縫不能保證通過X光之檢查，因此此法不能用於壓力容器之熔接。

2.122 粉護熔接（UP 熔接，工業名稱毛胡夫法，第2.12圖）。依



第2.09圖

屏護熔接（E.L.N. 麥片罐）



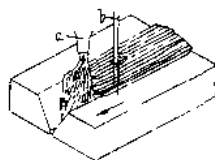
第2.10圖



第2.11圖 使屏護防接法熔接掩蔽接縫。



照合適之安全原則，使用與材料配合之特種粉料，散佈於熔接縫（對頭熔接或填角熔接），赤裸熔接線自動移動。電弧產生於粉下。粉有促進周圍空氣離子化，熔接時防護空氣侵入而影響熔池之金相組織（例如改變合金成份）。所用粉料必需與熔接線及基材配合。留存於熔接線後方之粉料應能收回重用。由於電流在熔接線中通路較短，可以使用較大之電流強度，因此能獲得較快之熔接速度。可使用直流電流或交流電流。如使用三相交流，則需以二線熔接，工件連接於另一相。視熔接縫之寬度，將二條熔接線並排或前後列，此可將熔接縫快速填滿。此種粉護熔接在目前為一重要而用途廣泛之方法，使用於鍋爐及鋼鐵構造，船舶等之大量製造。主要適用於各種厚薄之板件，長度較長，厚薄均勻之熔接縫。



第 2.12 圖 粉護熔接法。

a. 熔接粉添加。

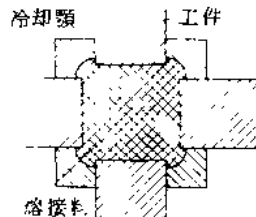
b. 熔接條。



第 2.13 圖 使用熔渣熔接  
注熔接長熔接縫。



第 2.14 圖 使用熔渣熔接  
注熔接圓周熔接縫。



第 2.15 圖 槽熔接（水平  
向切面）。

2.123 熔渣熔接（ES 熔接，“電-渣”熔接，第 2.13 圖）。依照前處理工作不同有不同之工作方式。

單線熔接法使用鍋爐單枚鉛垂向長熔接縫之熔接，經由水冷式導板，並在熔合面間保持流質之熔渣。經過短時間起弧後，導電之熔渣受電流流過電阻加熱，保持於液體狀態。並保持巨大熱量，使工件熔合邊緣熔融。自動前進通有電流之熔接線以及熔融之基材供應“熔填材料”。熔接首端及末端俱應超越規定之熔接長而成為“廢頭”，工作完畢後將其切除。

使用於圓周熔接縫（第 2.14 圖）之單線法，其熔接過程與上述相仿，但在容器之圓周上施上。在熔接過程中容器配合所用之熔接速度旋轉，並使已熔接處向下轉動。多線法使用諸多（最多為 3 線）通電之熔接線。