

科學圖書大庫

電 阻 熔 接

徐氏基金會出版

譯 序

本書適合作爲作業人員，設計人員及研究人員之參考。分爲一章及二章。一章內容爲電阻熔接有關理論之資料，對於電阻熔接之操縱有新穎之資料及詳盡之說明，此爲在其他同類書刊中不多見者。二章包括各種電阻熔接之實際作業情形，並簡介使用之機器。第 58 節說明之饋入及進給亦能應用於衝壓機上。

各科目之專門名詞，如屬可能，必以國立編譯館公佈者爲標準，縱有可討論之餘地者，亦絕不妄加修正，蓋專門名詞之是否精當，本非一言所能決，若能上下一致服從已定之標準亦可期名詞之統一，蓋“統一”之重要性，就求中國科學獨立之立場言之，實遠勝於“精當”。但公司及商品名稱仍註原文，未予譯出，因此類名稱大部並無意義可言，如用音譯反易失真。

參考文獻仍以原文刊印，以便讀者作進一步研究，需閱讀原文時，對資料之收集較易着手。

譯者學淺文疏，本書如有誤漏之處，尙祈先進學者，不吝指正爲禱。

吳家駒謹序 民國六十二年三月

前 言

本書爲一雙冊，第一版由工學博士法侖巴哈著作，刊行於 1939 年至 1949 年間。其間電子操縱技術進入電阻熔接機之領域中，並成爲目前特別合適之機具。由於有關資料增多，本書以雙冊發行。新穎資料由國家工程師勃魯士脫補撰，同時將補充之新穎資料與法侖巴哈博士原著，與改新之最後版本內容融合貫通。

本書現今以雙倍及全新之內容出版，對於實際從事電阻熔接，以及有關之操作人員，設計人員及研究人員有所助益。

藉此機會再度向提供大量合用參考資料及圖表之各公司，特別對羅貝特，波許股份有限公司，使本書得以目前之方式出版。包威工程師對本書校閱，特別對操縱部份核閱及修正，更深致謝忱。

目 錄

譯 序 前 言

第一章 電阻熔接之原理	73-1
A. 概述	73-1
1. 熔接方法 2. 主要材料之特性 3. 時間因素 4. 加熱及熱損失 5. 電阻熱 6. 電阻熔接 7. 四種電阻熔接方法	
B. 熔接電流	73-8
8. 電源 9. 單相電阻熔接機 10. 瞬間點熔接機 11. 三相交流熔接機	
C. 熔接壓力及電極作用力	73-18
12. 加壓過程 13. 需要之電極作用力 14. 電極作用力之產生及調整 15. 電極作用力產生之技術方法	
D. 通電時間	73-25
16. 通電時間之意義 17. 綜合說明	
E. 電阻熔接機之操縱	73-27
18. 時間之意義 19. 熔接電流之操縱 20. 功率開關 21. 操縱線路 22. 通電時間限制器 23. 電子操縱 24. 電子操縱之定時電路 25. 電子功率操縱 26. 使用電晶體組件之操縱	
F. 工作量之計量	73-56
27. 概述 28. 電流計量 29. 量具 30. 時間計量 31. 作用力計量 32. 同時計量電流，時間及作用力	
第二章 電阻熔接之施工	73-67
A. 點熔接	73-67
33. 點熔接之構造 34. 電流連接 35. 機器調整 36. 熔接點及電極 37. 疵病原因 38. 材料 39. 工作構成 40. 固定式點熔接機 41. 搬行式點熔接機	
B. 沿縫熔接	73-90

42. 沿縫熔接法	43. 材料	44. 工件及接縫形式	45. 電極	
46. 沿縫熔接機				
C. 凸點熔接				73-100
47. 凸點熔接法	48. 凸點熔接點	49. 凸點熔接機		
D. 對頭熔接				73-105
50. 對頭熔接及閃衝熔接	51. 壓力、電流及時間	52. 工件及材料	53. 夾頭及電流導入	54. 對頭熔接機
E. 電阻熔接領域內之特殊機器				73-117
55. 特殊機器之定義	56. 圓形工作枱熔接機	57. 直線輸送線	58. 饋入及進給	59. 熔接工具
	60. 操縱	61. 成本		
參考文獻				73-133

第一章 電阻熔接之原理

A. 概 述

1. 熔接方法 “熔接”一詞之意義，為將二件高熱金屬工件在規定之接合地點互相連接結合。施行熔化熔接或澆鑄熔接時，將互相抵壓之工件加熱至熔化或接近熔化狀態，大部並熔入同類之熔填材料。壓力熔接時接合面僅加熱至塑性狀態，不加熔填材料，用強大之熔合壓力，使其互相接合。熔接與軟焊相反，儘可能保持工件熔接點之金屬組織成份僅有少許改變。

施行熔化熔接之熱量經由氣體燃燒，經由電弧或二種熱源同時作用。經由氣體之燃燒熱，或電弧之輻射熱，熔接處發熱，並將熔接條作為熔填材料填充於熔接縫中，電弧熔接條即為電極條。處於熔化熔接及壓力熔接之中間熔接法有常用於鐵路鋼軌接合之鋁熱法。此法在路軌接頭處用氧化鐵燃燒鋁粉，路軌受熱膨脹產生壓力而接合。最老之壓力熔接為鍛接，鐵件在鍛工用煨爐中加熱，成為塑性狀態，在鐵砧上鍛擊熔接。嗣後熔接壓力不再使用錘擊之衝力，而利用液壓機或用軋軋。電阻熔接法為最新穎之壓力熔接，在工件熔接處通過強烈電流加熱，並在塑性狀態互相壓合。

2. 主要材料之特性（第1表） 第1表之數值係根據經驗，僅為金屬特性不充分之概念。但當不供對材料特性之認證及電熱作用之基本原則，

第1表 用於電阻熔接主要材料之特性

	符號	單位	水	鎂	鋁	鐵	鋅	黃銅	紫銅
比重	γ	g/cm ³	1,00	1,74	2,70	7,8	7,1	8,6	8,9
熔點	t_s	°C	0	650	658	1500	418	950	1083
比熱	c	cal/g°C	1,00	0,25	0,21	0,123	0,102	0,093	0,092
熱價導率	λ	cal/cm h°C	0,50	135	181	46,8	91	80	320
比電阻	ρ	$\Omega \text{ mm}^2 \text{ m}$	—	0,0455	0,028	0,13	0,067	0,075	0,0178
比電導	$1/\rho$	$\text{m}/\Omega \text{ mm}^2$	—	22,0	35,7	7,7	15	13,4	56,2

73-2 機械製造叢書之一 電阻熔接

此為進一步施工時不可或缺之資料，以下列之例說明其關係：設將熱量 Q 加於重量 G 之材料上，材料之熱儲存性，亦即比熱 C ，愈小，溫度增加愈高。

$$\Delta t = \frac{Q}{G \cdot C} \quad (1)$$

$$\text{溫度增加} = \frac{\text{熱量}}{\text{重量} \times \text{比熱}}$$

熱量與電功可以互相變換：

$$Q = U \cdot I \cdot T \quad (2)$$

$$\text{熱量} = \text{電壓} \times \text{電流} \times \text{時間}$$

電功之基本單位為瓦秒 (Ws)：

$$1 \text{ Ws} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ sek} \quad (3)$$

$$1 \text{ 瓦秒} = 1 \text{ 伏} \times 1 \text{ 安} \times 1 \text{ 秒}$$

因此單位太小，工業上電功大部以瓩時計量

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot \text{h} = 1000 \cdot 60 \cdot 60 \text{ Ws} \quad (4)$$

$$1 \text{ 瓩時} = 1000 \text{ 瓦時} = 3600000 \text{ 瓦秒}$$

與電功 1 瓦秒相應之熱由實驗方法得 0.239 克卡 (cal)。加 1 卡熱量於 1 克或 1 公撮之水中，溫度能增加 1°C 。依此，使 1 公克或 1 公撮之水加熱 1°C ，需要 $1 / 0.239 = 4.184$ 瓦秒之電功；或 1 卡 = 4.184 瓦秒在工業上以千卡 (kcal) 計算：

$$1 \text{ 千卡} = 1000 \text{ 卡} = \frac{1000 \cdot 4.184}{3600000} = 1 / 860 \text{ kWh} \quad (5)$$

$$\text{熱量} = \text{電功}$$

由於金屬之比熱較小，以相同之電功加熱，金屬溫度之增高較水為高（第 2 表）各金屬之比熱有較大之差距，例如，同樣使用 0.093 瓩時之電功，能將一公升（重一公斤）水加熱 80°C ，而對一公斤之鐵，則將加熱 650°C 。當然，上述情況之前提為，饋入之熱量，全由物質吸收，並無導入四周，發生熱量損失。

第 2 表 導入 1 卡 = 4,184 瓦秒之電功於不同材料，無熱量損失時溫度增加

單位： $^\circ\text{C}$

材料量	水	鎂	鋁	鐵	鋅	黃銅	紫銅
1 克	1,00	4,00	4,76	8,12	10,85	10,75	10,85
1 公撮	1,00	2,30	1,77	1,05	1,52	1,26	1,19

3. 時間因素 將物體加熱，亦即將一定量之熱量在一定時間內饋入於物體，此需用電功率，熱量移轉之時間愈短，溫度增加愈高。

$$Q/T = U \cdot I$$

熱功率 = 電功率

電功率單位為瓦（1 瓦 = 1 伏安）。因此量甚小，故僅使用於電器具（燈、家用電器）。在電機上之功率單位以瓩計算。

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 1000 \text{ V} \cdot \text{A} \quad (7)$$

$$\text{瓩} = 1000 \text{ 瓦} = 1000 \text{ 伏安}$$

在 1 秒內將 1 公克水加熱 1°C ，需要之電功率（無損失）為 4,184 瓦〔公式(4)及公式(5)〕：

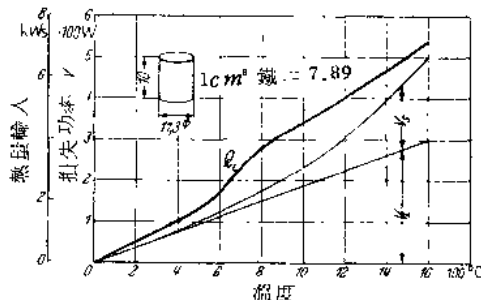
$$1 \text{ 卡/秒} = 4,184 \text{ 瓦} \quad 1 \text{ 百卡/時} = 1 / 860 \text{ 瓩} \quad (8)$$

熱功率 = 電功率

熱功率 = 電功率

如同樣之熱量，需在 $1 / 10$ 秒中產生，則相應之電功率需要 10 倍。

4. 加熱及熱損失 上述各項俱假定饋入之電能全部轉換為熱，毫無損失，用以加熱物體。但實際情形，此項假定不能成立，所有熱體俱將熱四散導出。緣由熱量之傳出，使熱體本身之溫度與四周其他物質之溫度平衡。在較低溫度時，熱量傳導與物體與周圍間之溫度及物體傳熱面之表面情況有關。在高熱時，熱量傳導經由輻射，此與絕對溫度（ $273 + t$ ）之四次方成正比。在一物體上上饋入電能，使轉換為熱，物體增高其溫度，同時損失部份熱量於較冷之周圍物質上。

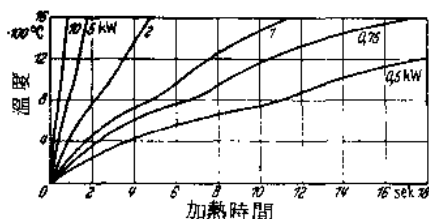


第 1 圖 饋入熱量於 1 公撮之鐵 不同溫度時
熱量散失，溫度曲線不連續變化之原因
為組織轉變之結果（參閱 [1]）

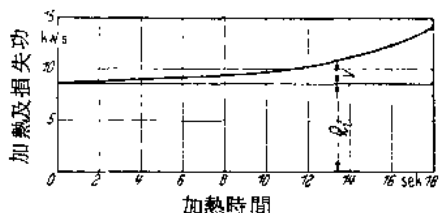
Q_i 輸入於物體之熱量； Q_r 輻射損失
； V_L 傳導損失

1) 方括弧中之數字為參考文獻之編號，參閱第三章

將1公撮鐵由20°加熱至1500°C，所需之電熱，考慮損耗在內，圖示於第1圖至第四圖中。第1圖所示之曲線表示輸入電功率物體溫度升高，及在各種溫度時熱傳導及熱輻射損失。在1590°C時將有280瓦之傳導損失及170瓦之輻射損失。此二項損失功率之和為450瓦，如在鐵塊上不斷輸入此功率，則鐵塊能永久保持1500°C所希望之溫度。第2圖中之曲線表示在較短之加熱時間內，輸入較高之電功率溫度上升過程。轉換熱量之電功率愈高



第2圖 在物體上輸入不同電功率溫度增高情形

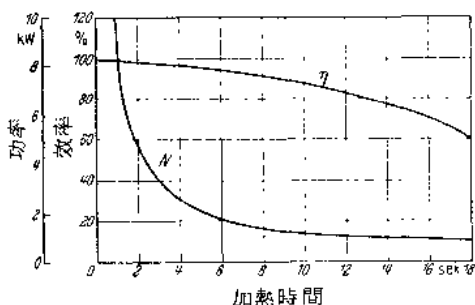


第3圖 在不同加熱時間物體上輸入熱量及損失熱量

Q ：物體上輸入熱量； V ：損失功

，物體加熱愈快，熱量損失之時間愈短。第3圖示以相同之功加熱物體，在不同加熱時間之功損失。如需將所有損失消除，則需用無窮高之功加熱於物體始可（加熱時間接近於零，損失為零）。如以太小之功加熱，則加熱時間

內損失不斷產生，物體無法達到希望之溫度。電熱之效率（亦即物體吸收之熱量與轉變為有用之功之比）之決定，全然受有效功之影響（第四圖）。電功愈大，加熱時間愈短，電熱之效率愈佳。仍以1公撮之鐵塊為例，在1秒內由20°C加熱至1500°C，則必需在整個加熱時間中饋入一定之功率8.9千瓦。在鐵筒中其熱轉換效率可達97%，但在實際情形



第4圖 各種加熱時間之加熱功率 N 在物體上轉變之功率（千瓦）； η 效率

中可以使用價格較廉有1.5至2瓩之加熱器具，雖然效率退為95至93%，

但加熱時間亦僅需 5 至 7 秒。此應使用個案發展之實例，使有一般適應性，比後再行遭遇相同關係時，經常可作進一步研討資料。

5. 電阻熱 在永遠為電之導體之金屬中流過電流，緣由電阻經常發熱。依照焦耳定律所產生之熱量 Q 與電流強度 I 之平方成正比，與導體之電阻 R 及通電時間 T 成正比。

$$Q = I^2 \cdot R \cdot T \quad (9)$$

熱量 = 電流² × 電阻 × 時間

如熱量於一定時間中發生，與此熱功率相應之電功率

$$Q / T = I^2 \cdot R \quad (10)$$

熱功率 = 電流² × 電阻

以上所列之功及功率公式由歐姆定律發展而成：

$$I = U / R$$

電流 = 電壓 / 電阻

導線之電阻 R 隨材料特性有關之比電阻 ρ 及電路長 l 加大而增加，隨饋入電線斷面積 F 加粗而減少：

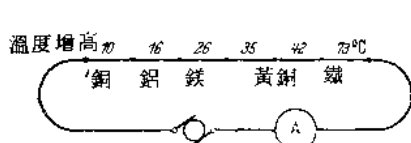
$$R = \rho \cdot l / F$$

電阻 = 比電阻 × 長 / 導線斷面積

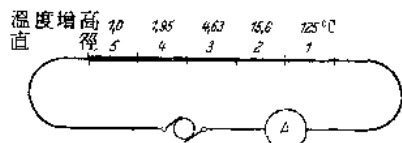
導線之電流負荷 I / F 亦稱為電流密度（安 / 公厘²）。

在任何通過電流之導線上必定發熱，當導線溫度增高，電流長期通過高熱導線，必將熱量傳導於周圍之冷物上。有足夠斷面積之良導體使電流流過之電阻減小，僅產生少量之熱，在溫度增高尚在無足輕重前即可放出（此時之電功率稱為導線負載電功率）。在較高比電阻或斷面積不夠之不良導線上，通過電流，電流產生多量之熱。通電物體之質量及比熱愈小，電阻愈大者，發熱愈快。當物體溫度增高，傳出之熱量與轉換之電功率平衡時，溫度不再增高（電熱器）。如熱量繼續發生，超過導線傳出之熱量，則導線溫度繼續升高，直至金屬熔化或汽化，將電流切斷（熔融保險）。在二條電線接頭鬆脫之處，電阻特高，因僅有較少部份之面積互相接觸（搖動或鬆弛接觸）。在電路中此等地點發熱特別強烈。

在電路中前後互相連接有不同電阻之導線，單一導線受電功率轉換之熱量與其電阻成正比。電路內各導線段之表面積相同時，單一導線之溫度升高與其電阻成正比（第 5 圖）。各導線之電導相同，但有不同之直徑時，斷面面積較大者，有較佳之熱量傳出。溫度增加並不與斷面積之減少成一定之比例，並且在相同之溫度下，細導線能輸導較高之電流密度（第 6 圖）。



第5圖 不同材料製成相同斷面之電線之溫度增高



第6圖 材料相同斷面積不同之導線之溫度增高

爲使保持電壓與電流之關係，使能獲得電阻熱，仍以前例以1公撮之鐵塊爲例說明。斷面積爲100平方公厘，電流通路長0.01公尺，依照公式(1)得

$$R = \frac{0.13 \times 0.01}{100} = 0.000013 \Omega$$

電阻

歐姆

爲使需要之功率 $U \cdot I = 8900 \text{ W}$ 能在物體中轉換爲熱，則在端間之電壓可由下列關係求得之。

$$R = U / I = 0.000013 \Omega \text{ 及 } U \cdot I = 8900 \text{ W}$$

當電壓爲0.34伏時，在物體內通過之電流爲26200安。在此例中獲悉電阻熱雖然甚小，電壓亦對人體不生危險，但通過之電流甚大，此在整個電機工程中甚難再遇者。

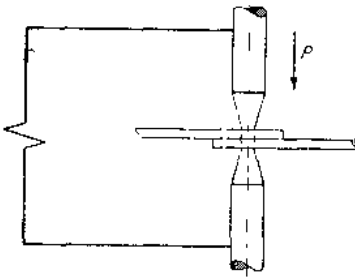
大部份電導體之比電阻隨溫度增加而增加。如將一定不變之電壓加於導體上，導體發熱而流過之電流減少，電流一部在導線中轉變爲熱。導體加熱時，同時提高饋電電壓，始能達到保持不變之功率。

6. 電阻熔接 此爲利用上述之關係在熔接處加熱。需要熔接之工件置於導電良好，能通過強大電流亦不致過熱之電路中。使用良好導電之電極將電流饋給於工件熔接處，強制電流流過二件工件之接觸處。此處在電路中有最高之電阻，因之溫度迅速升高，並由電極之壓抵作用，工件可以互相熔接。如將輸電線路及電極等之電阻略去不計，熔接電流隨電極尖端間之電壓及電阻而變。電極間之電壓由熔接件構造式樣而定。熔接電壓視工件材料及表面情況而定，並特別與電極對工件互相壓抵情況有關。工件受電極互相壓抵愈密接，則電阻愈小，相同電流時，發熱亦愈低。

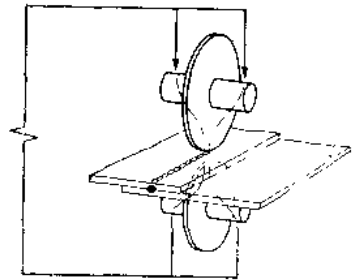
依照直到現今發展之原則爲，使用儘可能高之功率，熔接點之溫度因此能迅速達到。然後在較短時間內將加於熔接處之電能切斷，高熱部份受電極

作用力互相接合。在實際作業中熔接電流通至關斷之時間，稱作為通電時間（參閱第 22 段）。工件加熱及熔接過程由電極作用力，熔接電流及通電時間決定，因此所有電阻熔接機及電阻熔接方法俱有產生及調整上述各量之裝置。

7. 四種電阻熔接方法 分為點熔接，沿縫熔接，凸點熔接及對頭熔接。點熔接（第 7 圖）之熔接電流經由電極尖端流過兩件互相疊合之工件面，電流在橫方面甚小之斷面積“點”上通過，快速加熱並熔接。沿縫熔接（第 8 圖）熔接電流經由一對滾輪，以較小之接觸面積流過工件，產生連續之單一熔接點由工件在滾輪間之進給，快速將單一之熔接點互相連成開口或閉合之縫。點熔接及沿縫熔接主要使用薄板工件之接合熔接或密合熔接。



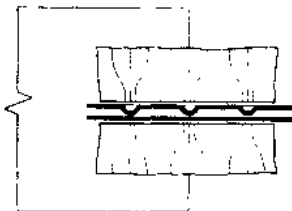
第 7 圖 點熔接



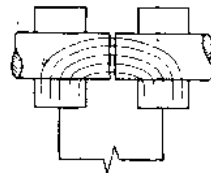
第 8 圖 沿縫熔接

第 7 圖及第 8 圖 經由限定之電極與工件接觸面積，在熔接處產生較高之電流密度

點熔接及沿縫熔接之熔接電流，其流通行程由外在之二枚電極接觸面積所決定。當熔接時工件互相固定。在凸點熔接及對頭熔接（第 9 圖及第 10 圖）與此相反，熔接電流行程及電流密度，由工件本身間之接觸面積所限，因此由工件本身決定。電極與工件間之接觸面積不再影響熔接位置及電流強



第 9 圖 凸點熔接



第 10 圖 對頭熔接

第 9 圖及第 10 圖 經由限定之工件接觸面積，在熔接處產生較高之電流密度

度。

凸點熔接（第 9 圖）在熔接工件上準備小凸點或類似之凸起，僅由此與另一工件接觸。熔接電流經由大面積之電極輸入，但限制於凸點之小接觸面積上通過，在接觸點處迅速及均勻發熱，因此能作多凸點熔接或作凸縫熔接，在一次施工過程中一次完成。在熔接時凸點被壓縮回，工件移動凸點之高度後互相緊接。凸點熔接特別合適於大量生產之零件之接合，因此類零件無需特殊工作過程——無切削加工或切削加工——即能完成凸點。

對頭熔接（第 10 圖）將二件工件之整個接觸面接合，在抵壓面間通過電流並加熱。對頭熔接之電極形成一對夾頭，將工件夾緊，饋入熔接電流。一對夾頭能在推壓方向運動，並傳遞需要之推壓力於熔接件上。利用此項對頭熔接能將極細之絲線與較大較粗之架框鐵件完善熔接，以及長薄板緣或薄管等之熔接。

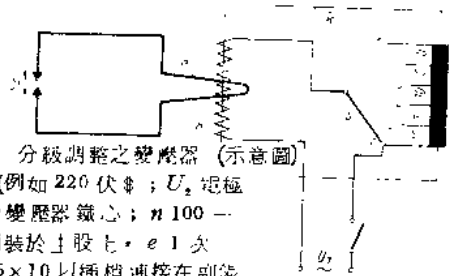
任一電阻熔接必需在一定之時間中，有一較強電流通過熔接處。熔接壓力對工件接合處之接觸情況及到達需要溫度後之熔接情形有較大之影響。在電阻熔接中，電流，壓力及時間間有不能分割之綜合作用。下列各章節雖將其分別說明，但不能忽略其綜合性。

B. 熔接電流

8. 電源 熔接電流將熔接處加熱至需要溫度。電流強度由熔接處之電阻及電極電壓決定。必需有足夠之通電時間，使能饋入加熱所需之電功。為使損失減少（參閱第 4 段），熔接處加熱時間應儘可能縮短。需要充份高之熱功率，在熔接處經由強電流及高電流密度（安／平方公厘）始能產生。

實施電阻熔接之電源最初為一容電器。歐利荷·湯姆生在 1877 年使用來頓瓶實驗，放電時二條偶然接觸之線端互相熔接。於是湯姆生發明電阻熔接。此項發明經過長期仍無實用價值。直至交流電流輸入於城市網路，始有實用可能。經由變壓器產生強熔接電流，電阻熔接開始有廣大之發展礎基。變壓器適合作在短時間內由網路輸入全部功率之電流，於是電阻熔接機有較高之實用價值。電阻熔接機雖有較高之額定功率，但電功之需用較少。特別在較小量網路或負荷已高之網路中電阻熔接機為不適當之用電器具。一項淺易之意見，在最近二十年間開始，在較長熔接休止間之能量儲存，雖然使用能量儲存之熔接已開始發展，但僅為特別目的之意義而使用（參閱第 10 段）。在大多數之電阻熔接機俱用變壓器作為電源。

9. 單相電阻熔接機 a) 變壓器由一組高壓繞組及一組低壓繞組構成，由一鐵心作電磁連接（第 11 圖）。在熔接機變壓器中之高壓側（一次繞組）由網路通電。低壓側（二次繞組）由甚大斷面積及良好電導之線圈構成，二端與熔接機上之上下二電極連接。通過網路電流之線圈在鐵心中產生磁流，在二次繞組中感應產生電壓。一組或多組二次線圈之圈數與一次線圈之有效圈數之比，稱為變壓器之變壓比。網路電壓一定，由此決定熔接電極間之電壓。例如：一熔接變壓器之一次線圈有 150 圈，連接於 200 伏之網路，二次線圈為 1 圈，則熔接電極間之電壓為 $220 : 150 = 1.47$ 伏。電極電壓之高低及熔接電流之大小，可經由連接於網路之一次線圈圈數之增減調整之。用以調整電阻熔接機功率，在其變壓器線圈中裝置插座及梢。經由此種插



第 11 圖 分級調整之變壓器 (示意圖)
 U_1 網路電壓 (例如 220 伏) ; U_2 電極
 電壓 ; k 變壓器鐵心 ; n 100 —
 一次主線圈裝於上股上 ; e 1 次
 線圈 ; $n \times 5 \times 10$ 以插梢連接在副鐵
 鐵心股上之線圈 ; S 分級開關 (示
 意圖)

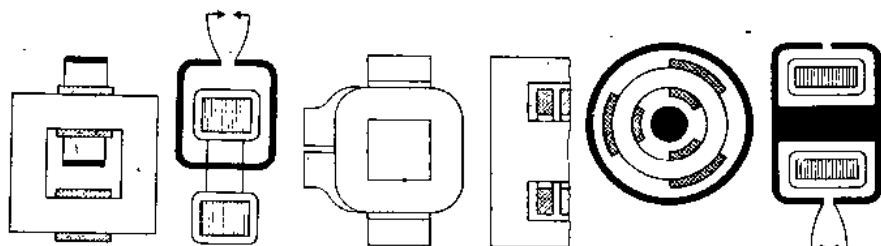
開關手柄 s	1	2	3	4	5	6
變壓比	1 : 150	1 : 140	1 : 130	1 : 120	1 : 110	1 : 100
$U_1 = 220$ 伏時 電壓 U_2 之值	1.47	1.57	1.69	1.84	2.0	2.2

梢裝置可將電流流過之圈數變更。機器位於最高功率級有最少之圈數與網路連接，最低功率級時電流通過機器上所裝之全部圈數。熔接電流之強度亦可以變壓比作近似計算。例如第 11 圖所示之變壓裝置，在第 1 級（150 圈）有 30 安之一次電流，在二次線圈中產生 $30 \cdot 150 = 4500$ 安之電流。

變壓器之一次繞組由銅線或銅帶繞成。每一圈使用紙帶中間層絕緣。整件線圈浸漬吸收絕緣物質，然後在爐中烘乾。強力機器使用比較大斷面積之銅料，每一繞組與線圈分離，互相以稍許間隙固定於鐵心上。在各線圈之空間流通冷却空氣。各線圈間及與鐵心間必需確實固定，不生側向移動，否則當開通熔接電流時，可能引起移動。為使減少渦電流，鐵心由諸多各自絕緣之

薄片疊合而成。鐵心依其形狀分爲內心式變壓器，外心式變壓器及捲心式變壓器（第12圖至第14圖）。內心式變壓器之二次繞組部份稱爲“主股”，此股亦裝置一次繞組之“主線圈”，插梢線圈繞捲於副股上。

變壓器之電氣情況及特性曲線隨其構造而不同。一次側與二次側間隙



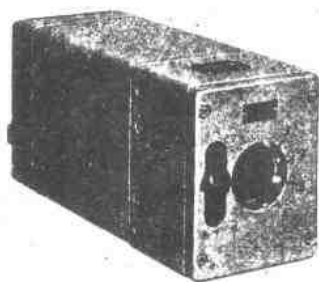
第12圖 內心式變壓器

第13圖 外心式變壓器

第14圖 捲心式變壓器

第12圖至第14圖 熔接機用變壓器構造型式

愈小，機器之運轉愈“硬”。外心式及捲心式變壓器在一次側線圈間裝有盤形二次線圈者爲最硬。內心式變壓器有間隙之二次側之變壓器運轉較“軟”。有高效率及高功率係數之外心式變壓器取代運轉情況較軟之內心式變壓器。

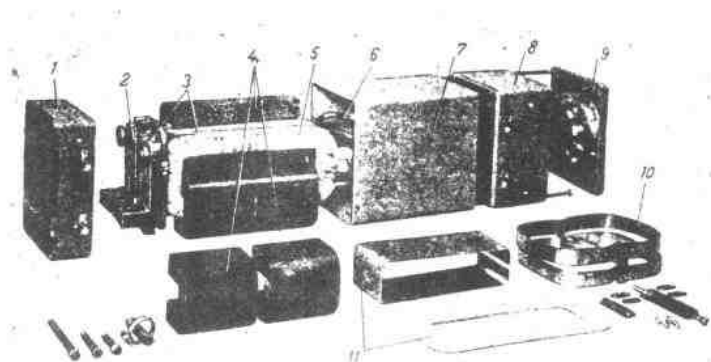
第15圖 外心式變壓器外觀
(西門子)

外心式變壓器之線圈及二次側裝置於鐵心中股。外方兩股將鐵線圈包圍，使磁力線之通路限制。

第15圖示此種變壓器之外觀，圖示有分級調整開關之一側。其構造零件圖示於第16圖中。指標4爲分割鐵心，因此此種變壓器亦經常稱爲分割鐵心式變壓器。鐵心由有良好磁

化方向之冷軋鐵皮製造，經由特低之磁化功率使其磁化飽和。此種鐵皮之磁化轉換損失較普通鐵皮約能減少二分之一，經由合適之表面處理，飽和係數可由93%提高至97%。爲使磁化特性不致消失起見，鐵心應由帶狀鐵皮捲成〔2〕。

小型機器之二次側由銅帶或銅線製造，與機器電極連接；大型機器則由銅板或由鑄銅製造，使用由銅板製成之可以彎曲之件或用粗大銅線與機器之活動電極連接。如由於機械故障或受潮而發生一次側超擊二次側之情況，爲使操作人員在此種情形時不致與網路電壓接觸，二次側應有安全接地。但在



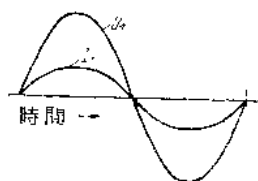
第16圖 第15圖所示外心式變壓器（西門子）之零件
 1 二次側壳蓋；2 及 3 二次線圈及接頭；4 分割鐵心；5 一次線圈；6 一次線圈接頭；
 7 壳；8 一次側壳（裝調整機構）；9 盤形轉動開關；10 分割鐵心緊箍；11 線圈絕緣件

多點作業之器具上，則此種安全接地並非經常可能，因在不同之二次電路中饋入平衡電流，將對熔接安全產生危險。此種情形可用下列方法補救之。在變壓器一次側以二極經由機械防護開關與網路電壓或／及調整機構連接，在電極提起前復與網路開斷，使電極無電。

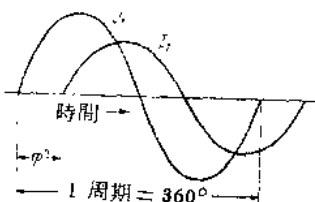
b) 損耗 熔接電路中所有導線必需有足夠之斷面積，在接合處亦應有充份之接觸面積及較大之接觸壓力，用以輸送強大之熔接電流。熔接導線雖有良好之電導，但亦將發熱，熔接電流愈大，相對之關連時程（ED）愈長，發熱愈多。相對之關連時程為熔接時間與施工總時間之比。小型點熔接機之損耗熱量可消散於四周之空氣中，而大型者，特別沿縫熔接機或對頭熔接機有較長之相對關連時程，熔接電路中所有導電件必需使用冷却水，作有效冷却。氣冷之二次電路，雖有較大之斷面積及較小之損耗熱，但發熱仍較高於水冷者。因空氣之傳熱較水為劣。電極及其承件除受損耗熱外，尚需任受高熱工件所發生之熱量，因之必需使用水冷。最後，在變壓器鐵心及高壓繞組中亦有損耗發生，但此種損耗對熔接電路無關重要。熔接電路中各單件所發生之熱量損耗與各線段之歐姆電阻相當（參閱第5圖及第6圖）。為使抵充所有之損耗，熔接由網路上輸入定額功率，此項功率較高於加熱工件實際需要。

熱量發生過程中除發生焦耳損失外，在電阻熔接中尚有進一步之損耗，此因使用交流電流作業所產生者。有交流電流通過之導體周圍存有交變磁場，由此形成及消除電流之滯延，使落於電壓之後。此項相移減少熱功率之有

效值（電壓與電流之有效乘積）。機器定額之視在功率 N 僅有部份供作熔接及損耗熱量之能源，其值為 $N_w = N \cdot \cos \phi$ ；另一部份 $N_s = N \cdot \sin \phi$ 不生有感之損耗熱，僅使用於磁場之形成及消除（第 17 圖及第 18 圖）。此種感應損耗與鐵心之磁飽和及二次側之連接方式有關。此種損失隨熔接電流之電路長及其包繞面積而增減。由此可知，熔接機有較長之臂及較大之空位者，相同之熔接功率需要輸入較高之視在功率。感應損耗隨頻率加高而增大。熔接機使用中頻率交流電流（300 至 1000 赫）者應儘量設法使用較少之鐵心材及銅料，因此僅能合適使用於臂長較短及空位較窄之二次電路電路。低頻率交流電流或直流電流為臂長較大巨型熔接機之理想電流。



第 17 圖 僅有歐姆電阻：
 U_1 及 I_1 同相
有效功率 $N = U_1 \cdot I_1$



第 18 圖 有效姆電阻及感應阻
抗：

I_1 較 U_1 滯延 ϕ 視在功
率 $N = U_1 \cdot I_1$ ；有效功
率 $N_w = N \cdot \cos \phi$ ； $\cos \phi$
= 功率係數

第 17 圖及第 18 圖 相移及功率係數

c) 功率三角形及特性曲線（第 19 圖及第 20 圖）示熔接機中功率轉變過程之概念。由熔接功率作出發點，亦即通電時間用以加熱至熔接需要之熔融溫度之電功率 N_s 。此熔接電功率與熔接機輸入之有效功率（ $U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \phi$ ）之比為熔接機之總效率：

$$\eta_{\text{總}} = 4,184 \cdot \frac{\pi d^2 \cdot 2s \cdot \gamma \cdot t_m \cdot \theta}{4 \cdot T \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \phi} \approx 2 \cdots 10\% \quad (13)$$

此為對各種熔接作業觀察所得之總效率，改進之道為縮短通電時間。包含損耗於冷工件及周圍之熱量（ N_4 ）及冷却電極之熱量（ N_5 ），在電極尖端間已有較大之功率（ $N_3 + N_4 + N_5$ ）=（ $U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi$ ）轉變為熱量。此項功率（ $U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi$ ）與熔接機輸入之有效功率（ $U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \phi$ ）之比為機器效率（約為 50 % 至 90 %）。電極承器及臂上以及其二次電路中其他部份（變壓器中二次側之銅線及鐵心）亦有損耗（銅線及鐵心之損耗較小），需要功率 N_1 及 N_2 以補充之。此項損耗隨流過熔接電流之導體斷面上負