

桥梁焊接

С. А. 奥斯特罗夫斯卡娅

合著

С. Л. 曼德里别尔格

人民铁道出版社

桥 梁 鉚 接

* C·A·奥斯特罗夫斯卡娅 合著
C·П·曼德里别尔格
李 利 庆 许 乃 武 合译

人 民 铁 道 出 版 社

一九五七年·北京

本書介紹蘇聯製造橋梁時採用銲接的方法，其主要內容闡明對銲縫質量和銲接材料質量的要求，研究在工廠和工地條件下橋梁的拼裝與銲接工藝，敘述銲接設備的裝置與使用原則，並列舉若干整體銲接橋梁裝配銲接的實例。

本書可供鐵路及公路橋梁、鋼結構製造及電銲方面工作的科學工作者及工程技術人員作參考之用。

橋 梁 銲 接

СВАРКА ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ

С·А·ОСТРОВСКАЯ
С·Л·МАНДЕЛЬБЕРГ 合著

烏克蘭蘇維埃社會主義共和國科學院出版社（1955年基輔俄文版）
ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
КИЕВ—1955

李利庆 許乃武 合譯

責任編輯 王育泉

人民鐵道出版社出版

（北京市霞公府17號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第010號

新華書店發行

人民鐵道出版社印刷廠印刷

（北京市建國門外七聖廟）

書號：803 開本 $850 \times 1168 \frac{1}{2}$ 印張 $6 \frac{7}{8}$ 字數175千

1957年8月第1版

1957年8月第1版第1次印刷

印數0001—980冊 定價(10)1.20元

目 录

序言

第一篇 桥梁的工厂焊接

第一章 熔剂下焊接的概論	2
§1. 桥梁制造中采用的电弧焊接方法	2
§2. 焊缝形成过程的实质及形成的条件	4
§3. 施焊状况对焊缝的形状及组成的影响	9
§4. 熔剂下焊接时电、热及冶金的过程	19
第二章 对焊缝及焊接质量的要求	25
§1. 焊缝的机械性能	27
§2. 焊接时的缺陷及其消除方法	35
第三章 制造焊接桥梁用的材料	64
§1. 焊接桥梁钢	64
§2. 自动及半自动焊接用的熔剂	74
§3. 电焊芯线及焊条	78
第四章 拼装和焊接桥梁的设备	80
§1. 拼装和焊接桥梁构件的设备	81
§2. 焊接机具	93
§3. 电弧的供电电源	105
§4. 附属设备及机具	109
第五章 桥梁构件的拼装和焊接工艺	113
§1. 对接连接焊前的拼装和焊接	114
§2. 角连接连接焊前的拼装和焊接	126
§3. 结束工作	159

第二篇 桥梁的装配焊接

概論	141
第六章 强制形成的豎鉚縫的鉚接特点	143
§1. 豎鉚縫自动鉚接过程的示意圖及特点	143
§2. 豎鉚縫的晶化与性質上的特点	146
§3. 整体鉚接桥梁豎鉚縫鉚接所用的机具与設備	149
第七章 整体鉚接桥梁装配連接的拼裝与鉚接工艺	152
§1. 工形鉸梁翼緣拼接的熔剂下自动鉚接	154
§2. 整体鉚接桥梁对接豎鉚縫的自动鉚接	159
§3. 装配桥梁时的熔剂下半自动鉚接	166
§4. 装配整体鉚接桥梁时的露弧手鉚	168
§5. 鉚接对装配的工作組織与方法所提出的要求	168
第八章 整体鉚接桥梁装配鉚接的实例	172
§1. 兩孔整体鉚接铁路桥梁的装配与鉚接	172
§2. 公路桥的装配与鉚接	177
§3. 大跨度城市桥梁的装配与鉚接	178

第三篇 質量檢查及驗收

第九章 質量的檢查与結構的驗收	185
§1. 原材料及鉚接机具的檢查	185
§2. 鉚縫質量的專門試驗	192
§3. 按工序的檢查及驗收	202
§4. 編制桥梁方面的文件	210
参考文献	212
譯名对照表	215

本書為紀念親愛的導師

Е. О. 巴頓而作

作者

序 言

制造鋼橋時採用銲接的方法可以節省很多鋼料和減少勞動力。我國生產部門擁有制造和裝配銲接橋梁的經驗，然而這些經驗還沒有被充分地系統化和總結出來。

本書總結了在銲接橋梁的工廠制造及裝配事業中由研究機構和生產部門所積累起來的經驗。書中廣泛利用巴頓電銲研究所、莫洛托夫橋梁及鋼結構工廠、交通部橋梁工廠、交通部橋梁研究所、奧爾斯基鋼結構工廠和交通部架橋機構的經驗。

本書供橋梁廠和架橋機構的工程技術人員及橋梁設計人員之用。作者認為，書中闡明的資料對制造和裝配其它重要鋼結構的工廠和機構的工作人員也很有益。

作者以真誠感激的心情紀念自己的導師——葉甫蓋尼·奧斯卡洛維奇·巴頓，由於他的倡議和在他的指導下寫作了本書。只有在葉·奧·巴頓所完成的綜合而且科學地研究自動銲接與銲接橋梁問題的基礎上，銲接橋梁在我國的發展才成為可能。

在準備手稿付印時，考慮了Б.И. 別辽也夫、Д.П. 列別捷等工程師，Г.В. 拉也夫斯基、И.А. 塔拉什曼諾夫、В.В. 謝維爾尼茨基、В.Ю. 石世金等技術科學付博士和С.А. 齊姆巴黎斯特工程師所提出的寶貴意見，對此，作者向他們深致謝意。

第一、二、三、四、五章是С.А. 奧斯特羅夫斯卡婭寫的，第六、七、八章是С.Л. 曼德里別爾格寫的，第九章是兩人合寫的。

作 者

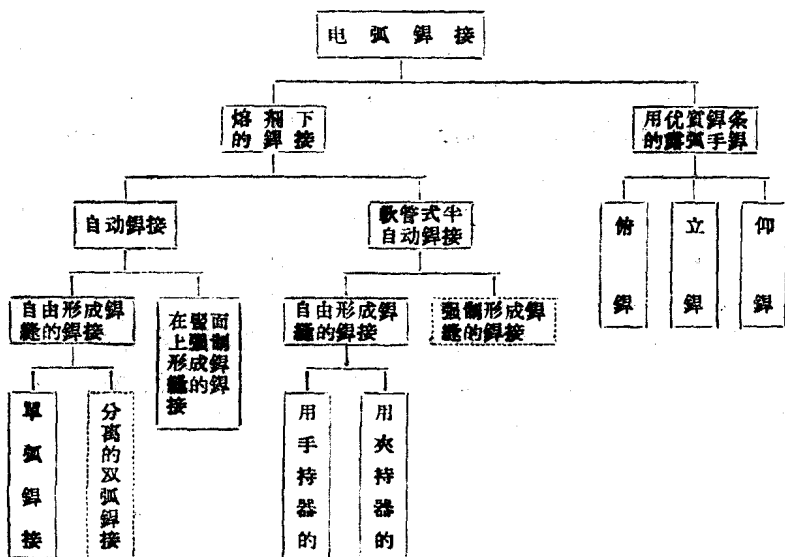
第一篇 桥梁的工厂焊接

第一章 熔剂下焊接的概論

§1. 桥梁制造中采用的电弧焊接方法

現今在大部分机械制造部門、運輸及建築工業部門採用电弧焊接是將鋼料連成整体的主要方法。电弧焊接是俄国偉大的發現，这是由俄国的学者和發明家一院士 B.B. 彼得罗夫及工程师 H.H. 別那尔道斯和 H.Г. 司拉汉諾夫的劳动所創造成的。从所有各式各样的电弧焊接方法里，在桥梁制造中，实际採用的有如下圖所列数种。

桥梁制造中采用的电弧焊接方法分类圖



圖中用虛線標誌的銲接方法目前尚在試驗研究和試用中。

在銲接橋梁的生產中，熔劑下的銲接佔着主要的地位。1940年烏克蘭蘇維埃社會主義共和國科學院電銲研究所院士 E. O. 巴頓的領導下改進了 H. H. 別那爾道斯和 H. Г. 司拉漢諾夫所提出的方法，研究出了熔劑下銲接方法的目前形式。最初創造的而在工業上獲得採用的是在熔劑下自由形成銲縫的單弧銲接法。這種方法保證能夠銲接各種俯位銲縫及對水平面有 7° 以下的角銲縫。在橋梁製造廠內這種方法常用來銲接翼緣和復板的全部對接縫、主桁架的構件、飯梁的翼緣銲縫、翼緣飯束的搭接縫以及加銲橫加勁肋的銲縫。在工地拼裝中，熔劑下銲接的自動電銲機常用來銲接俯位對接縫。

自動銲接的應用範圍常受到結點構造、銲縫長度和銲縫在空間位置的限制。例如，對短的角接縫或在自動電銲機不能自由行動情況下的角接縫（如銲接豎加勁肋時），採用自動銲接是不合理的。當銲縫位於豎面上時也不可能採用自動電銲機在熔劑下自由形成銲縫的銲接。這樣就必須要研究新的熔劑下銲接方法了。

烏克蘭電銲研究所 Г. 3. 沃洛什凱維奇，在 E. O. 巴頓的領導下，創造了自動銲接豎銲縫的方法，銲縫是強制形成的。工地拼裝橋梁時，這種方法在銲接腹板的對接縫上，得到了廣泛的應用。在最近幾年內烏克蘭電銲學院和『電工』工廠的工作人員創造了另一種新的銲接方法，它已被推行在生產中。這種方法，叫做軟管式半自動銲接法，它也是在熔劑下銲接的。在工廠內製造及在工地拼裝橋梁時，用這種方法銲接加勁肋、結點飯、聯結系及其它不能用自動銲接法銲接的短銲縫。

在工廠內只有很少的一部分工作採用露弧手銲，例如：不在俯位的銲縫，不可能或不宜採用軟管式銲接法銲接的俯位銲縫。在工地拼裝時，露弧手銲用來銲接仰位銲縫及豎面上的角銲縫。

熔剂下自由形成銲縫的單弧自动銲接法可以提高生产率和銲縫質量；現在已有簡單而可靠的設備，可以用来达到这一目的。因此，在設計和制造桥梁时，設計和施工人員应尽量設法使这种銲接方法得到最大的利用。

經驗証明，当工艺过程組織的正确和桥梁的結構合理时，在工厂內採用熔剂下銲接的工作量可以达到全部銲接量的90%。

§2. 銲縫形成过程的实質及形成的条件

熔剂下的銲接与露弧銲接比較有本質上的不同，这个不同在于銲接处（熔化范围）为散体的熔剂所复盖，电弧在熔化了的熔剂（熔渣）所形成的彈性壳下燃燒。熔剂起到很好的复盖作用，它保証电弧与周圍大气之間有一極完全的隔离層，因此几乎完全消灭濺鋼現象。使用沒有药皮的电銲芯綫可以使导电处更接近銲条端部，銲条的伸出長度（从供电处到銲条端部的距离）約等于15~60公厘（視銲条的直徑大小而定）。

因为沒有濺鋼的現象和銲条通电部分長度的显著減少，这样就有可能將銲条上的电流密度和电流的絕對值提高数倍。各种銲接方法所用的电流絕對值及密度可以从表1中所列举的資料得一比較。

表 1

銲条直徑 (公厘)	露 弧 手 銲		熔 剂 下 的 銲 接	
	电 流 (安培)	电流密度 (安培/平方公厘)	电 流 (安培)	电流密度 (安培/平方公厘)
5	195~350	10~17	703~1000	35~ 50
4	125~200	10~16	500~ 800	40~ 63
3	80~130	11~18	350~ 600	50~ 85
2	50~ 65	16~20	200~ 400	63~125

採用散体熔剂代替銲条药皮的結果引起了电弧銲接工艺上很大的变化。新銲接法与露弧銲接法比較，前者具有下列优点：

1. 鋁縫鋼和鋁連接的質量增高。
2. 生產率提高 3 ~ 10 倍。這首先是由于鋁條上應用強大的電流和電流密度增加的結果。
3. 電鋁芯綫和電能消耗量減少。這是由于在澱鋼和灰渣上的損失減少以及在鋁縫鋼中鋁條鋼的成分減少的結果。
4. 勞動條件的改善。因為再沒有必要來保護鋁工的眼睛和臉，同時析出的氣體數量也顯著減少。

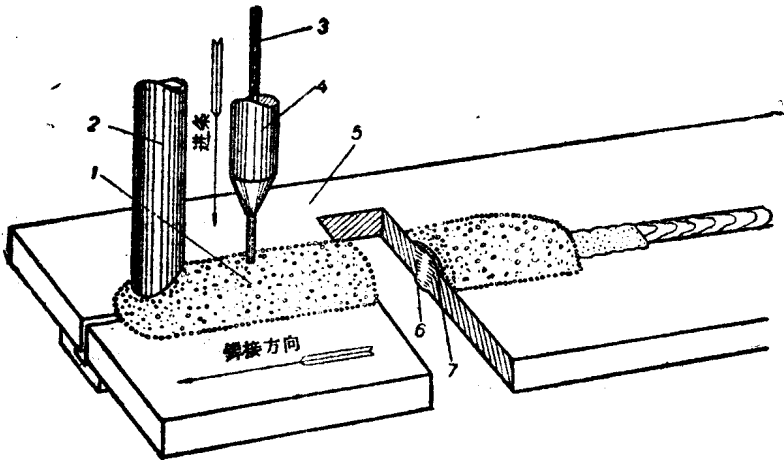


圖1. 熔劑下鋁接的示意圖：

1——熔劑； 2——傳送熔劑； 3——電鋁芯綫； 4——導鋁接
電流處； 5——基本鋼； 6——鋁縫； 7——熔渣壳。

圖 1 為在熔劑下鋁接的示意圖。電弧在鋁接工作物與電鋁芯綫之間燃燒；工作物接通電源的一極，另一極接電鋁芯綫。熔劑從漏斗中散落在工作物上。

電弧熔化基本鋼、電鋁芯綫及接近熔化範圍的熔劑而形成熔池。隨着鋁縫的形成，電鋁芯綫由芯綫盤送至鋁接區間（利用專門的機械設備），而電弧沿着工作物移動。

自動鋁接時，利用自動電鋁機的轉動機械使電弧沿工作的移動；半自動鋁接時，電弧的移動用手進行。電弧漸漸移去後，熔

池內的鋼液开始硬化，鋁縫連接了工作物的邊緣。部分熔劑形成熔渣壳，在鋁縫冷卻后極易除去。

根据實驗資料，在熔劑下鋁接時，鋁縫形成的過程可以用圖2表示。

电弧在鋁條端部和在基本鋼表面上形成不大的熔池之間燃燒。熔化了了的熔劑形成氣泡及彈性壳，彈性壳使熔化範圍和空氣隔離。

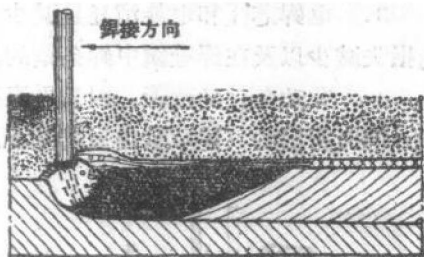


圖2. 鋁接區域的縱剖面示意圖。

在熔化範圍內的蒸汽及氣體產生足夠的壓力阻止彈性壳的下沉。當鋁條沿鋁縫移動時，弧柱向后傾斜，偏向于在基本鋼上白熾點的一方。被熔劑層壓縮而集中的电弧深深地熔化着基本鋼，鋼液被壓向后方，因而电弧就壓進鋼的深处。

随着电鋁機的轉動壓進深处的电弧熔化着前部未熔化的鋼。熔化了了的鋁條鋼以細顆粒的形式落在熔池中，而與基本鋼相混合。

鋁縫形成過程假定可以分為兩個階段：

1. 熔化基本鋼及形成熔池。熔池的形成是部分熔化了的基本鋼向后方擠出的結果。

2. 基本鋼和鋁條鋼的混合鋼液充滿熔池。熔池由形成到充滿相間隔的時間根據施鋁狀況而定。

随着电弧移去，鋁縫鋼便开始結晶的過程。熔池分層進行硬化。最后硬化的是复蓋熔池表面的熔渣，这样就推迟了熔池表面的硬化。

前面已經指出，熔劑下燃燒着的强大电弧壓進鋼的深处，因此而達到連接的熔透。有一系列的假設，用以說明电弧壓進鋼的深处以及火口形成的現象。形成火口最可能的原因應該認為是存

在电弧压力的緣故，这种压力是由于帶电荷的微粒对鋼液表面彈性打击的結果。

因为帶电荷的微粒获得的动能与电弧电流大小成正比，因此，电弧压力及熔透深度也与电流成正比。电弧压力决定基本鋼料的熔透深度。熔透宽度依弧柱基部对熔池表面的移动而定，这种移动叫电弧的『徘徊』。在同样电流的情况下，弧柱愈長及鐸条端部析出的能量愈少，电弧的徘徊將愈大。电弧徘徊的幅度愈大，熔透的宽度也愈大；否則相反。

鐸条鋼以細顆粒的形式落入熔池。細顆粒脱离鐸条是由于地心引力、电动力、鐸条端部鋼的沸騰和由于沸騰而析出的氧化炭的作用、以及电弧压力和电磁力的影响。

結晶了的鐸縫有如鑄鋼的組織。树枝狀的組織是鐸縫的一个特征。熔池高速硬化的結果促使結晶質內枝狀液析增加而帶狀液析削弱。熔剂下鐸接的鐸縫中結晶厚度变化在几百分之一到十分之一公厘之間，在普通施鐸狀況下这种結晶体的厚度大大超过手鐸鐸縫的結晶厚度。变更鐸縫的形狀可以改变柱狀結晶体的方向及有害雜質可能偏集区的分佈。

在極大的程度內鐸連接的宏觀和微觀組織可以确定鐸縫鋼及鐸連接的机械性質。宏觀組織即用酸腐蝕后在鐸縫断面上显现出来的組織。用肉眼研究宏觀組織可以决定熔透形狀、初次結晶的特征（方向及結晶体的大小）及在鐸縫內存在着的宏觀缺陷（不熔透、邊緣不熔和、裂紋、气泡及夾渣）。微觀組織即在显微鏡下显现出来的組織。研究微觀組織可以更詳細地确定初次結晶的組織、相的轉化特征、各种組織成分的存在和分佈以及裂紋的分佈。

鐸連接的結晶組織。鐸連接的宏觀組織的特征之一是鐸縫的存在，它有柱狀構造，这在用酸腐蝕后可以用肉眼看出；另一特征是鄰接鐸縫区域的存在，在磨制断面上呈帶狀，它橫亘在鐸縫与基本鋼之間，宽度大小不定。

圖3及圖4表示具有單層鉚縫的鉚連接的結晶組織；圖5表示具有多層鉚縫的鉚連接的結晶組織。

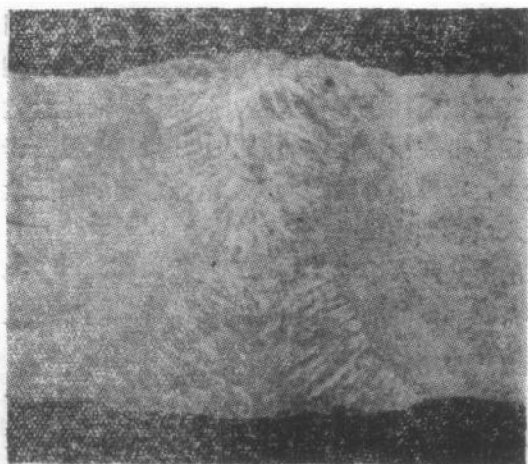


圖3. 双面單層对接鉚縫的宏觀組織

鉚在低炭鋼上的鉚縫有珠狀純鐵体的微觀組織。珠光体状态的構造如何由鉚縫冷却的速度决定，這將在第二章內詳細說明。鄰接鉚縫区域一般有下列几个結晶組織区：粗晶粒区；細晶粒区；鄰接基本鋼区（圖6）。

粗晶粒区（或过热区）直接鄰接鉚縫鋼，在鉚接过程中这个区的温度在 $1200 \sim 1520$ 的範圍內。冷却时在这个区内形成具有費氏珠狀純鐵体組織的粗晶粒。同鉚縫一样，晶粒的大小及珠狀鐵的構造由冷却的速度决定。

細晶粒区包括所有加热高于 A_{c3} 点的鋼。这个区所受的温度周期接近正常化。冷却时奥氏体晶粒內形成珠狀純鐵体的細晶

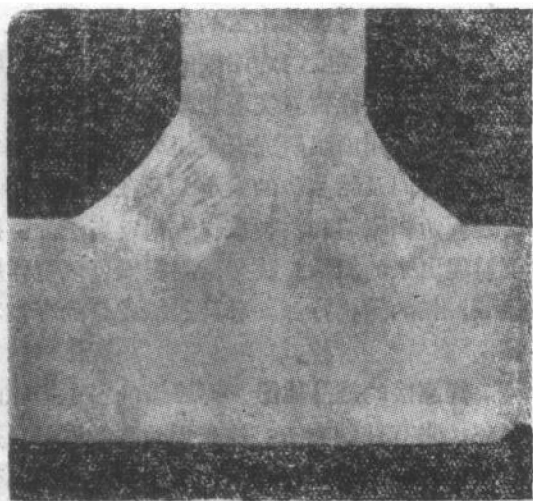


圖4. 單層角鉚縫的宏觀組織

粒，即發生了晶粒的分裂。施焊狀況对細晶粒区宽度大小有影响。单位长度的焊接能量愈大（即电流愈大而施焊速度愈小），那末細晶粒区的边界距离焊缝愈远。

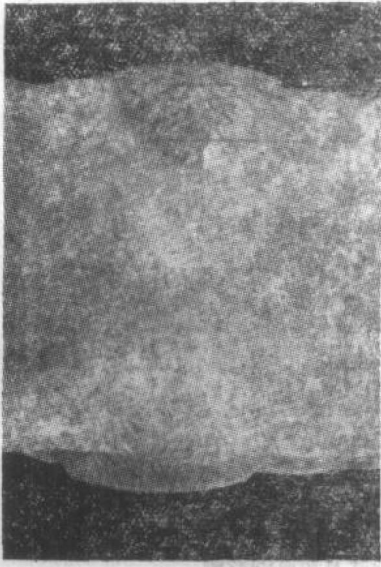


圖5. 多層焊縫及其热影响区的宏观組織

不完全重結晶区。离开焊缝的距离渐增，細晶粒区渐渐地轉到所謂不完全重結晶区。

这个区包括受热在 $720 \sim 830^\circ$ 范围内的基本鋼。它的特征是松散的珠状鉄的組織。通常这个区的宽度不大，並轉到正常構造的基本鋼上。同可見的鄰接焊缝区域相鄰的是藍热脆性区或时效区，这个区的温度不超过 $400 \sim 500^\circ$ 。

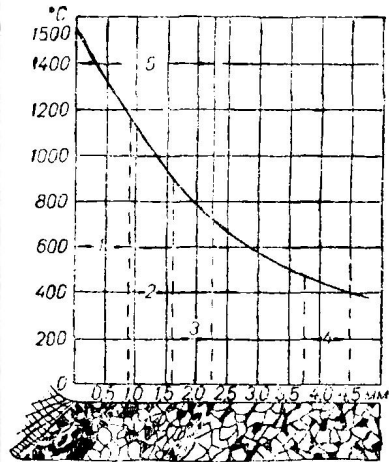


圖6. 熔剂下焊接的角焊缝的热影响区（鋼板厚度50公分；电流750安培；电弧电压32伏特；焊接速度24公尺/小时）；1.粗晶粒区；2.細晶粒区；3.不完全重結晶区；4.时效区；5.有可見的組織变化的鄰接焊缝区。

§3. 施焊狀況对焊缝的形狀及組成的影响

熔剂下焊接时焊缝的几何尺寸及形狀的特征为熔透深度 h_n （圖7）、加强高度 h_y 、焊缝厚度 H （等于熔透深度与加强高度的和）、宽度 b 以及相互关系 $\frac{b}{h_n}$ 和 $\frac{b}{h_y}$ 。 $\frac{b}{h_n}$ 叫形状系数，而

$\frac{b}{h_y}$ 决定加强的形状。

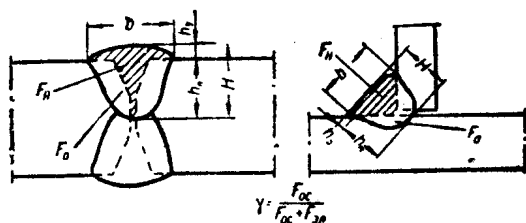


圖7. 熔剂下焊接时焊缝的主要尺寸

焊缝由基本钢和焊条钢组成。熔化焊条钢的截面积用 F_n 表示；基本钢熔化的面积用 F_o 表示。基本钢在焊缝内的百分率用 Y 表示。在普通的施焊状况下焊缝内基本钢的百分率约为 55~70%。在极大程度内焊缝及焊连接的质量是由焊缝的形状和组成决定。变更施焊状况、削边形状、工作物在空间的位置及其它因素，可以在很广的范围内改变焊缝的形状及组成。

表2

施焊状况对焊缝的形状及组成的影响

对接焊缝 的特征	下列因素增大时焊缝特征的变化						
	焊接电流在 1200安培以 下	焊条 直径	电 压		焊接速度 从10到40 公尺/小时	间隙和 削边角	熔 剂 颗 粒
			从24到 36伏特	从36到 46伏特			
熔透深度	激烈地增加	减少	增加 不很大	减少 不很多	实际上 不起变化	有一点 增加	减少 不很多
熔透宽度	增加不很大	增加	增加	激烈地 增加	减少	实际上 不起变化	增加 不很大
加强高度	激烈地增加	减少	减少	减少	稍微 增加	减少	减少 不很多
形状系数	激烈地减少	增加	激烈地 增加	激烈地 增加	减少	实际上 不起变化	增加
基本钢 的成分	激烈地增加	减少	增加 不很大		激烈地 增加	减少	减少 不很多

表 2 表示鉚縫主要尺寸与施鉚狀況及施鉚条件的关系，此表根据实验资料編成。表內所列資料可以大大減輕選擇施鉚狀況及寻求消灭缺陷方法的困难。例如在鉚縫內發現不熔透，那末，很显然地應該增加熔透深度。为了这目的，按表內資料就必須增加电流、減少鉚条直徑或加大間隙。有燒穿現象时应減少电流。如加强过大，則应提高电弧电压、增加間隙或削边角等。

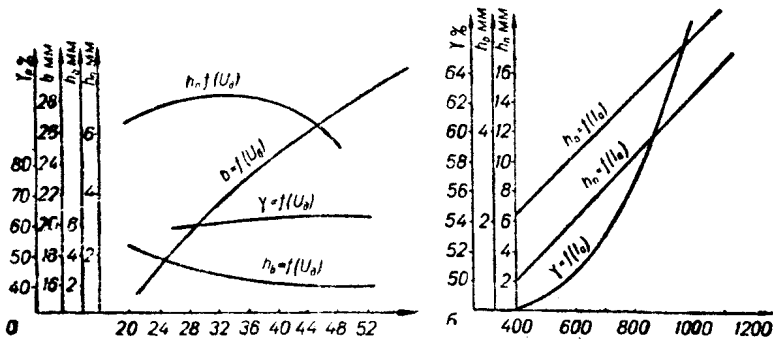


圖 3. 鉚縫形狀与 U_a —电弧电压和 I —电流的关系圖

(h_m ——熔透深度； h_b ——加强高度； b ——熔透寬度； γ ——在鉚縫鋼中基本鋼的百分率)。

圖 8 表示鉚縫尺寸、鉚縫組成及施鉚狀況之間相互的关系。

下面將較詳細地分析各种因素对鉚縫形狀的影响。

熔透深度。鉚縫的基本尺寸是熔透深度，它决定对接鉚縫的計算截面（大家知道，計算时是不計加强高度的）。計算角鉚縫的强度时是用鉚縫的厚度。熔透深度由一系列的因素决定，主要的因素如下：

电流。电流增加时，电弧压力增加而电弧压进鋼的深处。基本鋼的熔化深度加大，因此熔透深度与电流大小的关系成正比。

电流密度。用減少鉚条直徑的方法增加在鉚条上的电流密度，可以使自熾点在熔池面上的徘徊減少，因此熔透深度增加。电流密度小时減少鉚条的直徑起显著的影响，而增加电流的絕對值时影响就較緩和。表 3 內所列資料可以說明这种現象。

表 3

焊条 直径	电 流 特 征	熔 透 深 度 (公厘)						
		3	4	5	6	8	10	12
5	电流 (安培)	450	500	550	600	725	825	930
	电流密度 (安培/平方公厘)	23	26	28	31	37	42	47
4	电流 (安培)	375	425	500	550	675	800	925
	电流密度 (安培/平方公厘)	29	35	40	44	53	64	73
2	电流 (安培)	200	300	350	400	500	600	700
	电流密度 (安培/平方公厘)	64	104	127	143	157	200	224

电弧电压。在实际使用范围内变更电弧电压对熔透深度不起显著的作用。

在焊接削边的接缝时，变更电弧电压对基本钢的熔透深度可以起显著的影响，这将在以后叙述。

焊接速度。在20公尺/小时的速度以下降低速度时，熔透深度会略有减少，这是由于钢液向熔池后方挤出强度的减少造成的。增加速度由20到40公尺/小时，即在桥梁制造上应用的施焊状况范围内，实际上不影响熔透深度。多层焊接削边的接缝时，变更焊接速度可以显著地影响熔透深度，这将在以后叙述。

焊条伸出长度。从焊管嘴的接触点到焊条端部的一段叫做伸出长度。用直径4~5公厘的芯线焊接时，在实际可能范围以内变更伸出长度时熔透深度影响很少。用直径2公厘的芯线焊接时，即使变更伸出长度只±5公厘，而对熔透深度就能起显著的影响；随伸出长度增加，熔透深度即激烈减少，而随伸出长度减少，熔透深度即增加。这是因为通过的电流使焊条端部的预热加强，所以使焊接电路内的电阻增加而电流减少。

电流种类和极性。假使采用牌号是 AH-348 和 OCU-45 的熔剂，那末电流种类和极性对熔透深度有极重要的影响。如电流相同，反接极（负极在工作物上）焊接时的熔透深度将大大超过正接极（正极在工作物上）焊接的。这是由于在阴极和阳极上发出