

內容提要 本書講解怎樣防止焊件的變形。對於形成焊件變形的原因和內應力產生的情況、焊接變形的種類等都比較詳細地作了說明和分析。另外，作者還根據自己的工作經驗，介紹了各種焊件的堆置焊接的順序。

本書可供五、六級焊工同志作為學習材料。

編著者：王懷五、杜恩源

No. 0015

1955年10月第一版 1955年4月第一版第五次印刷

787×1092 1/32 字數15千字 印數 3/4 21,751—48,050冊

機械工業出版社(北京阜成門外百萬莊)出版

北京五三六工廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業
許可証出字第003號

統一書號T15033·170
定 价(9) 0.08元

怎样防止焊件的变形

王积五、杜思源編著



机 械 工 业 出 版 社

情況並不是固定不變的，它是根據鋁件的厚薄、導熱係數和電弧溫度來確定的。導熱係數愈大的鋁件，熱影響區範圍愈大。電弧運行速度極快的時候，它的等溫線分佈情況大多如圖 2 甲所示，成一條狹窄的橢圓線；運行速度緩慢的時后，它的溫度分佈情況大多如圖 2 乙所示，成一個個同心圓。

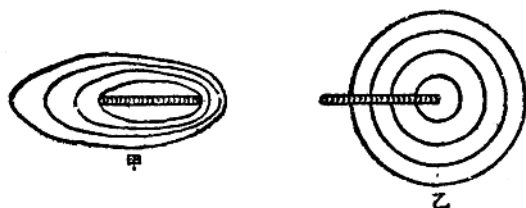


圖 2 等溫線分佈情況。

由於鋁件受熱後，溫度分佈得很不均勻，便產生了下面三種現象。這三種現象就是引起鋁件變形的主要原因。

1 金屬受熱不均勻 在鋁接中，因為熱量集中，容易產生局部熱脹冷縮現象。如果鋁件可以自由活動，則鋁後容易產生歪曲；鋁件若固定不能活動，則會產生內應力，也就是在鋁件的自由伸長或收縮受到熱的不均勻，溫度減低，伸長較小的金屬結合部分使鋁件發生內應力。

我們試取一金屬板如圖 3 所示。在 A 點部分集中加熱，於是 A 點周圍產生了各種不同溫度的加熱區，離 A 點越近的金屬受熱程度越大，距 A 點漸遠的地方，由於熱的傳導和輻射的損失，散熱程度隨着加大，因而受熱程度減低。因此，在金屬板上總有一部分未受熱力影響而依然保持冷卻。

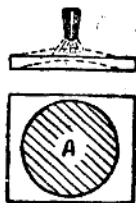


圖 3 金屬板集中加熱情況。

金屬加熱愈高，它的可塑性越大。A 點由於受熱而膨脹，顯然，這種膨脹立即會受到周圍高強度的堅固冷金屬所阻止。因而在受

熱區中發生壓應力，使A點範圍內的金屬一部分收縮，一部分凸出，平衡了其中的壓應力，所以由此也消滅了壓應力。

當金屬冷卻時，由於A點周圍附近收縮而產生了拉應力，這種拉應力使金屬板變形而彎曲如圖4所示。如果預先沿金屬板邊緣把金屬板壓緊，則金屬板的外部產生內應力，這種內應力同鋼板不固定時所發生的變形情形相同。圖4表示鋼板不壓緊時冷卻後所發生彎曲的現象。



圖4 不壓緊時冷卻變形。

在鉚接的時候金屬受熱不均勻是產生鉚接應力和變形的主要原因。

圖5表示一張鐵板，從A點開始向B端進行鉚接，由於金屬受熱膨脹，冷卻收縮，鉚接部分就要向四周膨脹。假使這膨脹不受任何的限制，在冷卻中是可以恢復原狀的。如果鉚件某方面受到阻礙而不能伸張時，就要向不受阻礙的方向伸張。如果在冷卻中鉚件某

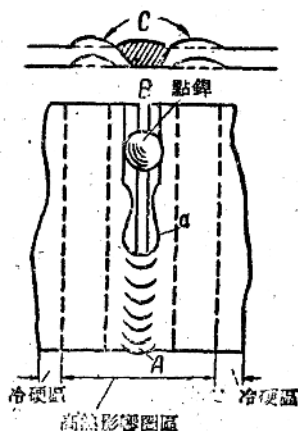


圖5 鐵板在鉚接時的變形情況。

方面受到阻礙不能收縮時，那在不受限制方向的部分就被縮小了。實際上，在鉚件的熱影響區外部，因為溫度低，膨脹得也少，甚至不膨脹，這樣也就阻礙了鉚接部的膨脹，使鉚件引起了壓縮應力，迫使鉚接部分只能向不受阻礙的空間而膨脹。結果，鉚接部分兩板邊緣(未鉚部分)凸起碰在一塊(如圖5d處)。在熱影響區和低溫區過渡部分也往往凸成圓弧形(如圖5c處)。在冷卻的時候，鉚接部很快地收縮，熱影響區外部

因膨脹得少，收縮也就少，甚至不收縮，阻礙着已凸出部分不讓它縮回，結果使鐸件引起了拉應力。當完全冷卻以後，膨脹凸起部分雖有所縮回，但由於內應力的存在，不能再恢復原狀，最後這個鐸件還是變了形狀。這種現象，我們叫做「鐸件的變形」。內應力在鐸接過程中，如果不能設法消除而保留下來，就叫做「殘餘應力」。

2 鐸縫的收縮 當金屬由液體狀態變成固體狀態後，因金屬在凝結時變成比較稠密的組織。因此它的體積縮小，由於收縮便產生了熔化金屬周圍的拉應力，以致在金屬結構中引起了內應力及變形，使整個結構發生彎曲或扭曲。影響金屬收縮量大小的因素主要是：

一、材料種類和收縮量的關係 各種不同金屬有不同的收縮量。收縮量通常用原有直線長度的百分數計算。一般結構鋼約為1%。它的計算方法如下：

$$\varepsilon = \frac{l_0 - l_1}{l_0}$$

式中 ε = 收縮量；

l_0 = 金屬原來長度；

l_1 = 金屬收縮後的長度。

例：有一根長 100 公分的鉛棒，經過加熱冷縮後的長度是 98.2 公分，求該鉛棒收縮量是多少？

解：已知 $l_0 = 100$ 公分， $l_1 = 98.2$ 公分
把 l_0 和 l_1 值代入上式得出鉛的收縮量：

$$\varepsilon = \frac{l_0 - l_1}{l_0} = \frac{100 - 98.2}{100} = \frac{1.8}{100} = 1.8\%$$

某些常用金屬的收縮量列表如下：

常用金屬收縮量

金 屬	收 縮 量 %	金 屬	收 縮 量 %
鉛	1.8	鑄 鋼	1
銅	2.1	鑄 鐵	0.7~0.8
青 銅	1.45~1.6	建 築 鋼	1
黃 銅	2.06~2.14		

二、鉚縫體積和收縮量的關係 鉚件愈厚，鉚接體積就愈大，它上下方向的收縮量也增大，收縮量也愈多。圖 6 所示的是對鉚件上面收縮量大，下面收縮量小，因而發生彎曲的情況。在角鉚中（圖 7）也會產生因收縮量不同產生彎曲及歪曲的現象。

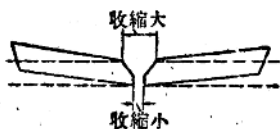


圖 6 對鉚。



圖 7 角鉚。

三、鉚接方法和收縮量的關係 變形的大小以及因變形而生的應力，完全隨鉚接時受熱範圍的大小而定。在施鉚過程中，鉚件受熱越多，金屬受熱體積就越大；金屬的變形和扭曲程度也越厲害。因此，不同的施鉚方法可以產生不同的變形。使用乙炔焰鉚接的時候，它受熱面積大，所以變形也大。使用電弧鉚的時候，它受熱面積較小，所以鉚接金屬的變形也較小。

通常對接鉚接收縮量如下：

對接鉚接收縮長度表(公厘)

開角	鉚件厚度				
	9.0	13.0	16	18	24
60°	1.07	1.52	1.77	1.87	2.42
70°	1.17	1.67	2.07	2.17	2.57
90°	1.27	1.77	2.07	2.17	2.62

四、鉚條種類和收縮量的關係 塗藥鉚條的熱量散失較未塗藥鉚條少，所以未塗藥鉚條所鉚成品的收縮量多，因此，為了使鉚件減少變形，在鉚接時取用薄藥鉚條，特別是在鉚接三公厘以下鐵

板時要加注意。

五、銲接種類和收縮的關係 銲接的形狀、大小和有關銲肉的大小，同樣地能影響銲接時的變形。長的或是不對稱的銲肉所引起的變形大，銲件的形狀愈複雜或不同的銲肉愈多，所產生各種不同的變形和應力也愈大。

銲接的時候，金屬的傳熱性能越低，變形也就越大。銲接時銲件進行人工冷卻，能够減輕變形的程度。

六、銲接時間和收縮量的關係 銲接時間愈長，銲件上所獲熱量就愈多，冷卻時收縮量也增加。

七、銲接層數和收縮量的關係 銲接層數增加，角度變化愈大，如圖 8 所示。當銲層增加的時候，這 α 角（因銲件受收縮力後自由移動而無阻力）也逐漸增大。今以實驗中得出的銲接層數同角度 α 變化的關係列表如下：



圖 8 銲接層數和角度 α 的變化。

銲接層數與角度 α 變化的關係

銲 接 層 數		角 度 α	
9	15	4.2	6.5
10	16	4.8	6.6
11	17	5.1	6.7
12	18	5.5	7.2
13	19	5.7	7.5
14	20	5.9	7.7

銲接的時候，可能分別發生縱向收縮和橫向收縮。縱向收縮能够使銲件的兩半在相反方向互相聚集（圖 9）；橫向收縮却能引起

鐸件的曲扭(圖10)。由於
 溶化金屬愈多收縮也愈
 大,因此鐸件在橫向收縮
 時一定向上曲扭,也就是
 鐸波增強量的方向曲扭。
 如果鐸件固定不可能因收
 縮而變形,那末在隣接部
 分就會產生應力。



圖9 縱向收縮。



圖10 橫向收縮。

3 溶化金屬組織發生變化 當金屬組織發生變化的時候,金屬
 屬位置與顆粒大小也隨之改變,促使金屬的體積發生變化,因而產
 生了內應力。

在合金鋼和高碳鋼中,因金屬的組織變化而產生內應力較為
 顯著。這種內應力常在淬火時增加到很大值,因此,在鐸波中或接
 近鐸波的熱力影響範圍內時常發生裂紋。當鐸接普通的低碳鋼的
 時候,因為這種鋼通常不淬火,金屬組織變化不顯著,由於金屬組
 織變化而引起的內應力極小,以致於它所產生的變化也很小。

熱應力中最重要的是鐸件冷卻時所發生的應力。如果我們取



甲、對鐸



乙、角鐸

圖11 冷卻時應力作用的方向。

一段鐸波,當它冷卻的時候,在
 鐸波中會產生一種拉應力,它
 的作用如圖 11 箭頭所示,其中
 一部分沿鐸波橫向發生作用,
 一部分沿鐸波縱向發生作用。

鐸波中應力的分佈對於鐸接接頭的強度有着重要意義,如果
 應力只在一個平面上發生作用,叫做平面應力。在這種情形時,如
 果應力所作用的只是一個方向的(縱向或橫向),那末,這種應力對
 於鐸件強度不發生特別重要的影響,像這樣的應力,常常產生於薄

鐵板的銲接中。因為銲縫斷面積不大的緣故，在具有大小的斷面積的銲縫中，例如厚鐵板的多層銲接，它所產生的內應力是分佈在幾個不同平面內的，這種應力叫做立體應力。這種應力向各個不同方向上發生作用，它的危險性比起平面應力來要大，特別是在銲件受衝擊載荷或振動載荷時，會減低銲接接頭的衝擊值和疲勞載荷。如果這種應力過大，銲波便能破裂，即使應力很小，也能使銲波發生破裂，因此，在銲接厚金屬時（25 公厘以上），銲後銲波應當進行熱處理，以消除立體內應力。

二 銲件的變形

最常見的銲件的變形，大體上可分做三類。

1 平板類銲件的變形 平板類銲件的變形主要有如下幾種：

一、局部銲接 電弧或火焰在 A 處施銲（圖 12），這部分受熱便向四周膨脹，可是圍繞在 A 點附近的低溫區或冷硬區，像把鉗子一樣緊緊地把它鉗住。 A 點的溫度昇到相當的溫度時，板材強度減低了，於是 A 點處膨脹力推不動冷硬區，就只好向不受壓力的方向凸起來了。

二、銲件是兩塊鐵板，事前未曾施行定位點銲。今由 A 點開始向 B 端進行銲接（圖 13），如圖 12 一樣，受熱部分向四周膨脹，但受到低溫部和冷硬區的壓力，不得不向銲縫空隙部分伸張，因此，在銲件的 B 端便開始擠攏起來。當冷卻的時候，銲件的溫度逐漸減低，受熱的部分逐漸收縮，同時又受着銲縫縱向收縮的限制， B 端因不能收縮而變成圖 13 虛線所示的形狀。

三、 V 形銲縫的銲件圖 14。在冷卻的時候， V 形槽底部先行冷卻，並且收縮得少； V 形槽上部由於銲縫中熔化金屬多，溫度也高些，於是收縮也大。結果，由於銲縫的橫向收縮，就把銲件拉成如圖



圖12 局部銲接。



圖13 兩塊鐵板銲接時變形的情况。



圖14 V形銲接。



圖15 雖薄又大的銲件變形情况。

14 虛線所表示的形狀了。如果這個銲件又薄又大，銲接以後，往往變成圖 15 的形狀。

2 圓筒形銲件的變形 這種形狀的銲件的變形程度，是同圓筒壁的厚度(E)和直徑(D)的比值有關係的。 $\frac{D}{E}$ 比值相當大，就是筒壁薄的銲件。它的銲接部分最容易發生像圖 16 那樣的變形。因為筒壁的銲件在施銲的時候，熱能會很快傳導到全體，由於銲縫起了激烈的橫向收縮，很薄的筒壁抵抗不過這個收縮力，所以在銲接部就變形而凸起來了。如果 $\frac{D}{E}$ 比值很小，就是直徑小筒壁厚的銲件，就不容易發生上面所說的那樣變形。厚板筒壁施行V形縫銲接，那V形銲縫上部的熔化金屬比下部多，所以溫度也高，膨脹的程度也大；因而銲接部在膨脹的時候，要受到V形銲縫下部的熔化金屬和附近冷硬區的阻礙，不能向兩側伸張，同時也不能再向上凸起，只好向下方凹伸。冷卻的時候，同時受到低溫區和冷硬區的牽引，不能恢復原狀，因此就變成下陷的形狀了(如圖17)。

在圓筒上施行部分補銲的時候，由於銲縫橫向收縮的結果，它的半徑便變大了(由 r 變到 R)如圖 18。如果在銲件的彎曲部分施行銲接，同樣也會把彎曲部分半徑變大(由 r 變到 R)如圖 19。圓筒的縱向變形，一般像圖 20 那樣成弓形。銲接丁字形圓筒，或施行

兩圓筒對縫銲接的時候，由於銲縫的縱橫向收縮，使得銲接部周圍被縮成掐腰現象(如圖 21 甲)，且丁字形橫筒多被拉成弓形(如圖 21 乙)。



圖16 薄筒壁銲接。

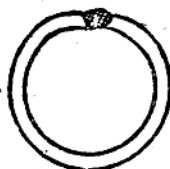


圖17 厚筒壁銲接。

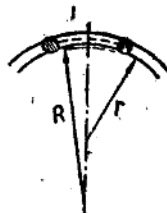


圖18 圓筒橫向收縮變形。

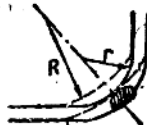


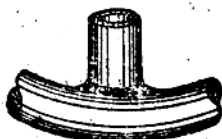
圖19 彎曲工件收縮變形。



圖20 圓筒的縱向變形。



甲



乙

圖21 圓筒銲接變形。

3 角柱類銲件的變形 角柱類銲件的銲縫，有的在外角有的在內角。圖 22 表示兩板角銲的情形。如按圖上的箭頭方向進行銲接，那變形的方向同銲接進行方向恰恰相反。這同圖 13 所示的那種變形的道理一樣。

銲接方形鐵盒的底板時(圖23)，因銲縫在冷卻過程中要產生縱向和橫向收縮，結果往往把盒底銲縫附近被擠迫凸起，而盒的側



圖22 角銲。

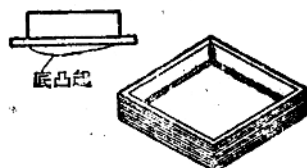


圖23 方形鐵盒銲接。

面往往被縮成凹形。

銲接丁字形平板的變形原因和施行平板V形縫銲接的變形原因相同。在施行角銲的時候，直立板最容易發生歪斜或平板撓起的情形（見圖24虛線）。在一平板上銲接圓筒的時候，薄板的四邊多變成如圖25那樣情形；如果平板是厚的時候，那末，在圓筒根部被縮成指腹形狀（如圖26）。

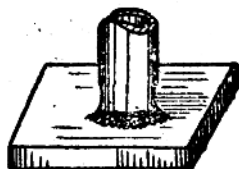
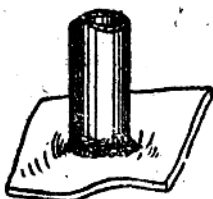
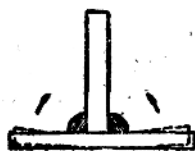


圖24 丁字銲接。 圖25 薄平板銲接圓筒情形。 圖26 厚板銲接圓筒情形。

三 怎樣防止銲件的變形

我們知道了銲件銲接後各種變形和它的原因後。那麼，我們應該怎樣來防止這些變形呢？下面就是談談防止銲件變形的幾個方法。

1 抑制法 這種方法是把銲件的各部分抑制在固定夾具上（如圖27）。這種方法應用很廣，特別是在大量生產和連續生產中。銲接過程中，銲件內所產生的大部分的膨脹力，收縮力，同夾具的抵抗力相抵消，使銲件不發生彎曲、扭曲等變形，以及由於內應力而發生的永久變形。雖然當夾具拆去後，仍然可能發生微小的變形（因為銲件在銲接過程中，是受着牽制而脹膨、收縮的，所以有殘餘應力存在，使銲件不可能過於自由活動）。但我們可以用手錘輕輕地敲打銲縫或用退火方法，消除這些殘餘應力以矯正微小的變形。有一點請讀者注意，就是脆性金屬不能使用這種方法。

2 定位法 對較大而又複雜的銲件在施銲前，先用許多銲點（長 10~15 公厘）分段的把銲接部加以固定，以穩固銲件的銲縫和牽制銲件的應力。這種方法叫做定位銲接。定位用銲點間的距離是根據銲件的厚度決定的。銲件愈厚，距離其範圍多採取 20~60 公厘。距銲件邊緣第一個銲縫多為 5~10 公厘。厚度在 3 公厘以下的鋼板，銲點的厚度是板厚的 $\frac{1}{2}$ ，寬度是板厚的 $\frac{3}{4}$ 。圖 28 是銲接長板材施行定位銲接的進行順序。開始兩個銲點在距邊緣兩端的 5 公厘處，第三點在銲件的正中央，第四、第五點在邊緣點和中央點之中間，其餘類推。以丁字形銲接長板材施行定位銲，最好按照圖 29 所示順序進行。第一個銲點在中間，然後從中間點為準先向一方銲接適應點，再向另一方銲接其他點。最後以中間為準，將銲縫分作幾段，依次在每段中間進行銲接。

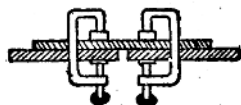


圖27 利用夾具銲接。

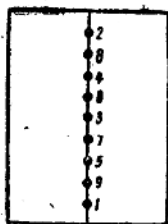


圖28 定位長板銲接法。

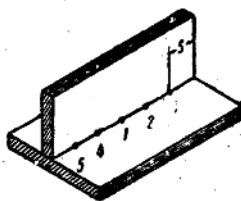


圖29 定位點銲法。

3 間隙調整法 這是銲接較長板材銲件很重要的方法，不適用於薄板和非板狀的銲件。在銲前預先根據金屬性質估計它因銲接後冷縮而發生的變形方向和收縮量，使它預先變形。變形的大小相等，方向相反。待銲接後變形，使銲件由於本身的收縮變形，恰好到達所需要的正確位置。

當銲接長板材銲件的時候，就會產生如圖 30 所示的應力變化。兩塊板材間間隙應該根據板材的膨脹係數而定。一般採用

1:200 的斜度，也就是說，板材每長 200 公厘時放寬 1 公厘。舉例來說，當銲接 500 公厘長的銲縫的時候（不用點銲來制止內力的話），那麼，就要把這接縫放在同一平面上。使銲縫的一端張開 3 公厘，銲縫的另一端就要張開：

$$500 \times \frac{1}{200} + 3 = 5.5 \text{ 公厘。}$$

這種方法若是沒有足夠經驗的人是不能隨便應用的。

爲了更好調整銲縫間隙，有時在銲件中間插入楔片。如銲接筒狀銲件時，把楔片插在彎成圓筒對縫的間隙中間，隨着銲接的進行把楔片向前移動（圖31）。

4 銲前預熱、銲後退火法 銲件可以用預熱緩冷的方法來減低內應力，防止它的變形和破裂。經過預熱以後，可以減少銲件加熱部分和沒有加熱部分之間的溫度差別，同時也可以減低銲時的冷卻速度，使銲接部分的溫度和沒有銲接部分的溫度作同時等量的降低或增高，這樣就減少了內應力。較小的銲件可以在施銲中施行局部的加熱。

預熱溫度的高低，應按金屬含碳量多少來決定。碳鋼的預熱溫度可以達到 260~320 °C，鑄鐵可以預熱到 370~430 °C，鋁可以預熱到 260~320 °C，青銅可以預熱到 150~260 °C。特別須要指出：在銲接鋼件時，加熱溫度最好是 100~200 °C 之間。因爲這種輕微預熱能使銲件內應力大大減小，並且也很均勻，特別是在周圍溫度很低的時候，它的效果更加顯著。

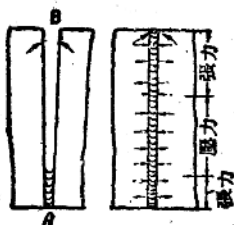


圖30 間隙調整法應力分佈情形。

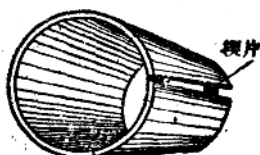


圖31 嵌楔片銲接。

爲了澈底消除鐸件中因鐸接而產生的內應力，在鐸後可立即施行回火處理。

鐸件經過加熱鐸接後，放在退火爐內或用保溫材料(石棉)封閉遮蓋住，讓鐸件慢慢的冷下來，這樣就可以減低鐸件的內應力。一般鐸件退火時間在10~12小時左右，最好是24小時。較大、較複雜的鐸件，需要24小時以上的時間緩冷。

大的鐸件緩冷，須用退火爐。普遍都用耐火磚砌成的退火爐。燃料可用木炭、焦炭、煤氣或油焰。把鐸件放在爐內加熱到適當溫度(565~680℃)，然後停火，關閉爐門，使它逐漸冷卻，也可以用木炭、焦炭燒剩下來的灰燼，燃料屑等撒在鐸件上當作覆蓋材料，或者埋入清淨的細砂，燒石灰裏，也可以用石棉布包起來。一般是把鐸件埋在石灰或爐灰裏。大的鐸件可以施行局部加熱後，在鐸件上蓋以石棉被。

5 多層鐸接法 如果鐸件比較厚，可以用細鐸條來進行多層鐸接；如圖32。多層鐸接法就是先在接縫底部鐸接一層後，再在它的上面蓋鐸一層或幾層，一直到鐸滿接縫爲止。在多層鐸縫中，爲了減少內應力，最好施行山形鐸縫(第33圖)。這種鐸法，第一層鐸縫長度大約爲200~700公厘；第二層鐸縫蓋住第一層，長度爲第一層的兩倍；第三層又要比第二層長200~300公厘。然後進行補鐸短鐸縫。這樣可以保持加熱狀態，以消滅內應力。

6 逆向分段法 在鐸接過程中，鐸縫愈短，它所發生的熱量愈

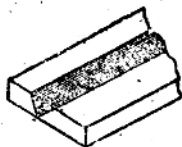


圖32 多層鐸接法。

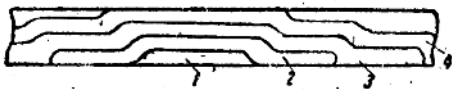


圖33 山形鐸縫。