電氣熔接の歪防止法に就て

正 員 工 學 士 福 田 烈

Abstract.

How to Minimize the Deformation
Caused by Arc Welding. By T. Fukuda, *Member*.

In the first section of this paper, the author describes several practical methods of minimizing the deformation caused by the application of arc welding on the hull construction, such as symmetrizing method, constraining method, water-cooling method, multiple beads method, heat-absorbing method, and pre-straining method. And then, he explains the general matters on the carbon contents and the diameter of electrodes, the form of welding, the amount of electric current, and the speed of welding, to be taken care to minimize the deformation.

目 次

序 言

歪防止法

對 稱 法

抑 制 法

水 冷 却 法

多 層 法

導 熱 法

逆 歪 法

歪防止上注意すべき事項

熔接棒の炭素含有量

熔接棒の太さ

熔接部の形状

電流の強さ

熔 接 速 度

序 言

船體に電氣熔接を應用して一番困る問題は、夫れに依つて歪の起ることです。出來た歪の修正に多額の金を懸けては、折角鉸接法に比較し、工費が少なくて出來ると云ふ電氣熔接の一特徴を失

つて仕舞ふので、歪防止の問題は大きな研究項目となる譯であります。

歪は電氣熔接の際に、原金屬に與ふる電弧熱と、「デポジット、メタル」の凝固に起因するものでありますが、實際問題としては、熔接する物の形狀、大いさ、構造が多様なるだけ、歪の起り工合は複雑であつて、却々簡単に其の防止が（と云ふよりは局限の方が適當と思ふ）出來ると云ふ譯ではなく、此處で述べる様な種々の防止法、其の他適當なる方法を、場合々々に應じ適宜に組合はして行ふ必要があるのであります。

歪防止（局限）法としましては、今迄實際やりました事實からして、大凡次の6つの方法を擧げて可いかと思ひます。

對 稱 法
抑 制 法
水 冷 却 法
多 層 法
導 熱 法
逆 歪 法

是等の方法は、目下吳で建造して居ります軍艦八重山に應用して居りますものですが（此の點に關しては、後日發表する機會があるかとも存じます）、何分にも研究中に屬する事が多々ありますので、必ずしも結論に到達して居りません。

夫れで此處では取り敢へず是等の方法の概要を申し述べ、續いて一般に歪防止上、注意すべき事柄を聊か陳べて責を塞ぎ度いと存じます。

對 稱 法

對稱法と名づけましたのは、熔接の順序を熔接物上に設くる或る適當な假定線に對し對稱の順序、形になる様に定めて熔接を行ふものでありまして、熔接によつて生ずる歪が互に干涉して、歪を打ち消す様に仕向けるものであります。

簡單なる例を申しますと、衝合熔接の場合は、第一圖に示すが如く、熔接すべき線の中央より反對の方向へ（矢の方向へ）番號順の如く順次に熔接して行くと、歪が僅少になります。而して其の1回の熔接の長さは、實際に依りますと、6吋位迄を適當とする様であります。

實例を申せば、長さ1呎、幅6吋、厚さ3耗の鋼板を衝合熔接して起る熔接線に平行な鋼板の歪を、曲線 $y = Ax^2 + Bx + C$ で示し得るものとし、其の曲率を求めた處、中央より對稱に熔接したものゝ平均曲率 $1/R$ は（ R は radius of curvature を耗で表はしたるもの）0.3

$\times 10^{-4}$ であつて、一方から他方へ連続熔接したものは、 1.78×10^{-4} となり、如何に對稱熔接法が、歪防止に効果があるかを示しました。

又此の實例で、熔接線に直角の方向の歪を、熔接された兩鋼片が互になす角度で示しますと、中央から對稱に熔接したものゝ平均角度は 0.0167「ラジアン」で、一方から他方へ連続熔接したものは 0.0311「ラジアン」でありました。

此の對稱熔接は、1 人で兩方を順次に行ふよりは、2 人同時に行ふ方が良い様に思はれます。

抑 制 法

之は普通に何處にでも行はれて居ります方法で、「スチフナー」を熔接物に假付けするとか、特に抑へ金を使用するとか、特別な抑制機構を造るとかして、歪の爲に鋼板が持ち上らうとするのを、持ち上らない様に抑へつける方法であります。

小鋼板衝合熔接の實例を見ますに、板の熔接線に平行なる曲りと、熔接線に直角な曲りとの間には、一定の関係があります。熔接線に直角な板の曲りが、 の場
の場合は、平行の方の曲りは
となり、前者の曲りが
の場
合は、後者の方は
となります。

私のやりました同種類實驗枚數 32 枚の中 の曲りは 14 枚、 の曲りは 17 枚でありまして、曲り方の probability は殆んど $\frac{1}{2}$ となり、今の處、何ういふ場合にどちらに向くかと云ふことは、豫想が出来ないのであります。

之の曲り方は多分、鋼板の状態、電流の強弱、熔接速度、電氣熔接棒の大小、「デボヂット」量の多少、大氣溫度等が關係して、2 種類になるものと思はれますが、今少し實驗を進めて見ねば、理由が判然と解らないのであります。然し此の様な性質が種々の場合に判然しますと、抑制の方法は合理的に行ふことが出来るのであります。

如何なる抑制法が効果が多いか等に関しては、只今研究中であります。

第 二 圖

水 冷 却 法

此の方法は歪の原因である熱を奪つて、歪を起さしめない方法であります。

例へば、第二圖に示す様な A, B 2 つの「ストリップ」を熔接するとして、B の熱容量が A に比し小で、而も兩者の間に熱膨張の差による相互間の slip がある

場合は、B「ストリップ」自身は收縮に際し

の形に歪を起し、且つ「デボヂット、メタル」も同方向に歪を起そうと

する故、此の歪の傾向は益々大となるものですが、此の場合第三圖に示す様に、B「ストリップ」の裏から、jet で冷水をかけ冷却しますと、B「ストリップ」の熱容量が増したと同じ結果になり、其の冷却のやり方如何に依りて

第三圖

は、反對に歪を起す様に働いて歪を無くするものであります。

此の方法で一瞬になることは、原金屬が急冷の影響を受けはしないかと云ふ事ですが、顯微鏡的には空冷のものと大差が無い様でありますし、原金屬の抗張力試験を行つて見ましても、次に示す様に先づ變化は無いものと認められます。

T型熔接中裏面より水冷却せる場合の急冷が原鋼板の強力上に及ぼす影響を空冷の場合と比較したる成績

	弾性限	抗張力	延伸度	切斷位置
	kg/mm ²	kg/mm ²	%	熔接位置外
熔接中裏面より水冷却されたるもの	33.8	48.2	25.8	熔接位置外
	33.6	48.4	24.7	"
	32.6	46.9	24.7	"
大氣中自然冷却のもの	34.0	48.6	22.1	"
	34.3	46.3	24.3	"
	35.4	49.0	23.1	"

此の試験片はB「ストリップ」より採り、熔接完了後A「ストリップ」と「デボデット、メタル」とを全部削り取り、熔接面が試験片の中央に来る様にし、日本標準規格に據つたものであります。猶此の平均値を對比して見ますと

	弾 性 限	抗 張 力	延 伸 度
	kg/mm ²	kg/mm ²	%
水冷却のもの	33.33	47.83	25.07
大氣冷却のもの	34.57	48.30	23.17

でありまして、水冷却によるものゝ方が、抗張力に於ては大氣冷却のものより稍劣つて居るが、延伸度は増して居ると云ふ様な案外な結果になつて居ります。申す迄もなく「デボデット、メタル」に水を懸ける様な事をしては不可なのは、無論の事であります。

多 層 法

熔接によつて起る歪の大小は、又原金屬が赤熱される際、熔接平面内に於ける延伸の難易に可なり依るものであります。即ち此の熔接平面内に於ける延伸の自由を失つて居る場合は歪が大きくなります。

對稱法の項で實例を挙げたと同じ大いさの鋼板を、第四圖に示すが如く延伸が困難なる様に、逆に兩端から中央に向けて熔接しましたらば、

第四圖

第五 畵

主 橫 壁
(後 面)

船体中心切断

L. W. L. 平面

$$\left. \begin{array}{l} 94 \times 6 \\ 65 \times 7 \end{array} \right\} \text{! 开}$$

100% 丁形

150% 下开

其の平均曲率は 5.2×10^{-4} で示される様な大きな歪となりましたのは其の一例であります。而かも此の様に歪の大きくなる時は、第四圖に示す熔接順序①を熔接する時でなくて、二度目に②の方を熔接する場合であるのは、よく此處で申す意味を表はして居るのであります。

多層法と名づけて見ましたのは、斯る延伸の困難な様な場所に應用すると良い方法で、普通原鋼板に使用する熔接棒よりも、づつと細い熔接棒を使用して、何遍にも徐々に層を重ねて行く遣り方であります。即ち一遍に歪の原因となる多量の熱を與へないと云ふ方針なのであります。

實例を申しますと、第五圖に示す様な横隔壁熔接の際最後に自由の利き難い A B 線が残りました處巧く行かなくて歪を起しましたが、之に多層法を應用し、2.5 耗の熔接棒で 2 層に熔接を行ひましたら、歪が僅少になりました。之を若し 1.5 耗か 2 耗の熔接棒で 3 層に熔接したら、もつと良い結果になつたらうと思はれるのであります。

導 熱 法

之は水冷却法と同じ様な理窟のもので、熔接により發生する熱を他に導き、原金屬に與ふる熱量を減少せしめんとする方法であります。

例へば、相當大なる熱容量を有する銅板の上で熔接を行ひますと、熱の良導體である銅板が、大量の熱を吸収して呉れ原板の歪は少なくなります。又直接、水を懸けて冷却出来ない様な場合には、小型な銅板の容器を造つて、之を熔接場所の傍に載せ、此の容器内に水を流しますと、よく熱を吸収して歪局限に有效なのであります。

逆 歪 法

之れは實驗上又は理論上より起り得る歪を豫想し置き、始めから其の歪が起れば、丁度よい所要の形状になる様に仕組んで置いて、即ち逆に歪を與へて置いて、熔接すると云ふ様な熔接法で、實際問題としては可なり必要と思ふのでありますが、之を逆歪法と名づけて見ました。

實驗的に求められた歪量を知る式の一例を申しますと、第六圖の如き「ストリップ」の熔接の場合で、A、B「ストリップ」兩者間に、熱膨脹の差による相互間の slip がない様に熔接する場合の如きは、その deflection の量は次の様な實驗式（大蘭造船大尉の求めたるもの）で求められます。

$$\left(\frac{d}{L^2}\right) \cdot \left(\frac{I}{\alpha y}\right)^{.93} = \begin{cases} \frac{2.38}{1334} \cdots \cdots \text{連續熔接の場合} \\ \frac{1}{1334} \cdots \cdots \text{「チェーンタック」熔接(50—100耗)の場合} \end{cases}$$

第 六 圖

此處に L = 「ビーム」の全長(耗)

y = 「デボデット、メタル」の中心より

中性軸 N A 迄の距離(耗)

a = 「デボデット、メタル」の断面積 (耗²)

I = 全断面の慣性力率 (耗⁴)

d = 「ビーム」の中央に於ける deflection (耗)

實例を述べますと、第七圖に示す様な「フローア、プレート」を外板に取付けますと、外板が内側に歪むものでありますが、始めに「フローア、プレート」を外側に（歪と反対の方へ）6 耗丈け歪ませて置いて熔接しました處、實際には殆んど歪が判らない様になりました。もつと精細に之を調べますと、實際には6 耗では少し大き過ぎた様で、5 耗位が適當であります。

第七圖

×× 切断

形が割合簡単なもので、數多く熔接を行ふものなれば、實驗的に此の様な方法は何程でも求め得るゝもので、且つ一番良い方法であると思ひます。

歪防止上注意すべき事項

以上に申述べた様な方法は、何れもが一つで完全に歪を防止すると云ふ譯ではありませんので、前にも申した通り、場合々々に應じ適當に組み合はせて、作業を実施する必要があるのであります。處で何れの方法によるも一時に大なる熱量を原金屬に與へないと云ふ事は、極めて必要なことであります。次の様な事柄を考慮する事は歪防止上必要なのであります。

- (1) 熔接棒の炭素含有量は適當なること。
- (2) 熔接棒の大きさが過大ならざること。
- (3) 熔接部の形狀は「デボデット、メタル」をして所要以上多量ならしめざるが如きものを選ぶこと。
- (4) 電流の強さは過大ならざること。
- (5) 熔接速度は遅きに過ぎざること。

熔接棒の炭素含有量

熔接の最も理想とする處は、原金屬と熔接棒とが同時に熔融することであります。熔接棒は熱容量が小なるため、其の炭素含有量を原金屬のものよりは少なくすると云ふことが必要であります。餘りに少ないと熔接棒の熔融前に原金屬の熔融する分量が多くなる、即ち餘分の熱を原金屬に與ふると云ふ事になり、歪を大きくする因となります。従つて坊間によくある極めて低炭素の熔接棒の如きは、軟鋼板の熔接には之を採らないのを至當と考へます。

熔接棒の太さ

熔接棒の太さは、多層法の如き場合は別として大體鋼板の厚さに依つて普通には定められてあります。然し歪の見地から申しますと、事情の許す限り細い方を適當とします。實例に依りますに、長さ1呎、幅6吋、厚さ3耗の鋼板衝合熔接を、2耗と3耗と4耗との熔接棒で、一方から他方へ連續に行つた場合、2耗の平均曲率は（對稱法の項参照） 0.504×10^{-4} であるのに、3耗のは 1.78×10^{-4} 、4耗のは 3.70×10^{-4} と云ふ數字になり、熔接された兩鋼板のなす平均角度は、2耗のは 0.0250「ラヂアン」、3耗のは 0.0311「ラヂアン」、4耗のは 0.0555「ラヂアン」となつたのでも、此の事柄は判るものと思ひます。要するに熔接棒の太さは熔接法と歪關係を考慮して、場合々々に應じて定むべきものであつて、必ずしも鋼板の厚さに依らないものであります。

熔接部の形狀

熔接部の形狀は完全な penetration を行ふに必要な丈けの餘裕があれば、出来る丈け「デボデット、メタル」量を少なくする様にする方が、原金屬の一箇所に熱を多量に與へないと云ふ點から得策であります。此の點がV型の開度等を定める一條件となるのであります。

電流の強さ

論ずる迄もなく、與へられたる熔接棒に對しては、完全なる熔接をなすに必要な電流以上に多量

の電流を通ずる事は、歪防止上有害であるのみならず、強度上にも損失を招くのであります。

序に強度上の損失に就て實驗した所を述べますと、電流の強さを變へて、厚さ8½耗の試験片を4耗熔接棒で熔接した場合の各3例の平均強度は次表の如く、過大電流で熔接すると、如何に著しく強度を損ずるかと云ふ事を示しました。

電 流 の 強 さ	抗 張 力	延 伸 度
アンペア	kg/mm ²	%
125	40.9	12
135	42.5	14.3
145	43.7	19.7
160	37.9	5.3

之を曲線で示しますと次の様になります。

之で見ますと、電流の少な過ぎる方の害は多過ぎる方に較べると輕いのであります。

そこで歪の方から云へば、電流は少ないが良いのですから、電流の強さは内輪の方に持つて行く方が良いと思ひます。

猶ほ歪防止上の見地から、直流と交流の何ちらが良いかと云ふ事を見ますと、同じ性質の熔接棒を使用し、同じ強さの電流を使ふのならば、交流の方が歪は少くなる様に思はれます。夫れは直流だと

その性質上、原金属を熱する量が多いからであります。一例を申しますと、厚さ 3 耗鋼板の衝合熔接で、交流の場合の平均曲率は 0.285×10^{-4} 、兩鋼板の平均角度は 0.0197 「ラジアン」でありましたが直流の方のは之が 0.504×10^{-4} 、 0.0250 「ラジアン」となりました。電流の強さは、交流は 25「ヴォルト」80「アンペア」、直流は 30「ヴォルト」58「アンペア」でありました。勿論直流でも、其の原金属を熱すると云ふことを考慮して、夫れを償ふだけの炭素含有量を加減した熔接棒を使用すれば、此の缺點は除かれるのでありますが、夫れ丈けの注意は一般には拂はれて居ない様であります。

熔 接 速 度

之れも無論、歪に大影響のあるもので、熔接速度が遅ければ原金属に多量の熱量を與へ歪を増大します。然し早過ぎると、良く penetration を起しませんから、強度上に缺陷を生じます。従つて各熔接棒、各熔接形状に對し、適當な熔接速度を見出し置くことは必要な事であります。

最後に一寸附加しますが、計畫上に於ても歪防止の見地から申せば、出来る丈け熔接箇所が對稱的になる様にする考へ方が必要であり、又出来るだけ熔接方法、熔接面に急激變化を與へないと云ふことが必要な様であります。妙な形状——熔接線が 1 ヶ所に集つたり、熔接線で細い三角形形状が出来る様になつたりする等は、歪の方から申しますと禁物であります。

猶ほ本講演の最後に、此處に引用しました實驗其の他に關しては、大藺工學士、根木工學士兩君の多大な協力があつた事を申述べて、兩君に感謝の意を表したいと存じます。(終)

討 論

○會長(末廣恭二君) 一寸西村君に御尋ね致しますが、御質問に御答へ下されますか。

○西村彌平君 私に判ります事ならば御答へ致しますが、詳しい事は書面で問合せまして著者から誌上で御答へする様に致します。

○會長 末廣恭二君) 福田君の論文に就きまして或る點迄西村君が御答へ下さるさうですが、御含みの上御質問を願ひます。

○孕石元照君 是等の事は非常に大切でありまして、riveting には無かつた事で、此の御研究に對しまして感謝致します。其の中私の理解出来ない所が御座いますので一寸御伺ひ致します。第 152 頁の對稱法の所で deposit の仕方が矢の方向に書いてありますが、米國の Wanamaker のやりましたのは歪が少なくなつてゐます。之は Wanamaker のとは異ひますが、歪の起る方向ではないかと思ひます。御比較になりましたが御尋ね致します。次に第二の抑制法でありますが、weld した方へ鋸が曲つてゐる場合で、私の經驗では續けてやると曲りますが途中で一時止めて冷すと眞直に行きます。續けて御やりになつたから曲つたかと思ひます。次に第三の處で水で鋸を冷しても抗張力も伸びも變らないと云ふ事ではありますが、材料の含炭量が少ければ斯かる事は起らないと思ひます。普通は夫程炭

素を含まないものを用ひますが海軍では特別なものを御用ひになりますか。試験片の含炭量を御伺ひしたいと思ひます。次は 156 頁の初めの處で 1.5 mm 或は 2 mm と云ふ様な小さい electrode を用ひて三回にやつたらと云ふ御話ですが、其の様な小さいのは直ぐに融けて實際問題として時間が餘計掛るだらうと思ひます。歪だけの問題ならば別でありまして、電流は少くて済むでせうが、仕事が永く掛りはしないでせうか、實際問題として御伺ひしたいと思ひます。其次は 158 頁の處で熔接棒の carbon の percentage は bar だけのですか、夫れとも flux を入れて融ける全部の carbon の percentage ですか、夫を御伺ひ致したいと思ひます。もう一つは熔接棒の大きさで 2 mm、3 mm、4 mm で比較して居られますが、之は無論小さい方が電流も熱も少いでせうが、diameter を同じとしても熔接棒の向け方や運び方に依つて變化が起るだらうと思ひます。どうして御やりになりましたか御伺ひし度いと思ひます。夫れから電流の強さを變へると云ふ處で、bar は或程度迄大きくても其の扱い方に依つて熱を加減する事が出來ます。電流を少し多くして起る熱を加減すれば仕事も早く penetration も良くなります。熔接棒の徑を小さくしなくてはならないと云ふ理由を御伺ひし度いと思ひます。今申しました方法でやれば材料を弱くする事も防げる様に思ひます。

○西村彌平君 書面を出して誌上で御答する様に取計ひます。

○會長(末廣恭二君) 外に御話は御座いませんか、御座いせんければ此の有益なる論文を御發表下さいました福田君竝に御代讀の勞を執られました西村君に對して諸君と共に拍手して感謝の意を表し度いと思ひます。(一同拍手)

孕石元照君の御質問に對する回答

福 田 烈

種々の事情が起りまして、講演會に出席する事が出來なくなり、御教示を仰ぎ得なかつた事を遺憾に存じて居ります。此處に誌上で御答へするに當り、御質問の要領を掴み得ないで、的外れの事を述べはしないかと憂へます。

第 1 項に對する御答——對稱法の項に挙げました小鋼板衝合せの例と同じ大いさの鋼板に、下圖に示す様な順序で、熔接した實驗結果を申し上げますと、熔接線に平行な歪の平均曲率は 3.0×10^{-4} 、熔接線に直角な方向の歪は平均 0.0730 radian となり、一方から他方へ連續熔接した場合の時よりも良くないのであります。

此の step back と云ふ方法では、熔接平面内に於ける延伸の自由を失つて居るので、結果は對稱法に比し、不良であるのは免れない事であると思ひます。此處に例を挙げました實例で、①丈けを熔接した時の歪は、接熔線

に平行の方の平均曲率 0.9×10^{-4} 、直角の方の平均角度 0.0156 radian と云ふ少いものであつたのが、

③を熔接し終つたらば前に述べた様な大きなものに變つた事でも、此の step back と云ふ方法は歪の方から云へば感心出来ないものであります。對稱法でありますと、①で出来た歪が次の熔接で少くなるのでありまして、boundary condition にも依りませうが、step back とは甚だしい相違となる様であります。

猶ほ外にも種々に熔接順序を變へて、質驗致しましたのがありますが、對稱法が一番結果が良い様であります。

第2項に對する御答——御質問の要點が判つきりと、呑み込めないものでありますが、今迄やりました種々の場合を綜合しますのに必ずしも一度に熔接部を熔接せず、一部分宛冷えてから熔接しても、熔接線に平行な曲りと直角な曲りととの關係には、依然として變化は無く、本講演に舉げた 32 例中にも種々なのが含まれて居るのでありまして、續けて熔接したしないの問題ではなく、全く熱に基く歪の性質に依るものと思はれます。

第3項に對する御答——水冷却法を實際に應用して居りますのは、軟鋼板に對してであります。従つて其の炭素含有量は凡 0.22% 附近であります。高張力鋼板に對する水冷却法も、顯微鏡下丈けで見ますと空冷と大差がありません。夫れで機械的試験は未だやつて居りませんが、先づ 0.28% や 0.29% 附近迄は差支へなからうと考へて居ります。

第4項に對する御答——1.5 mm、2 mm 熔接棒の使用と云ふ事に少しも困難を感じた事はありません。唯注意を要するのは、小徑の熔接棒は餘り長くするといけない様でありまして、9 吋以下を適當とする様であります。

經濟的から申しまして、歪を起して歪直しに多大の工數を費すよりは、熔接工の工數に於て多少損をしても初めから歪を起さない方が餘程得策でありますから、多層法を用ひた方が良い様な場所には矢張り之を用ひた方が良いと思ひます。甲板とか外板とか云ふ大きな部分に歪直しを行ふのは随分不經濟なものであります。

熔接の速さと歪との關係には、互に相容れない點があるのでありまして、實際問題として船體建造に當り、歪防止法を應用しますのに、其處に種々の考慮を拂はなければならないものと考へます。

第5項に對する御答——熔接棒の炭素含有量と云ふのは、wire 自身のを申して居るのでありまして、被覆劑中のものは含まれて居りません。

第6項に對する御答——小鋼板熔接は、何れも 60°V 型、兩片の距離は 1.5 mm でやつたのでありまして、熔接棒の徑に關らず、棒先の向け方は熔融面に arc が直角になる様にして居るのであります。運び方は衝合せの開度距離が一定して居る關係上、細いものは左右に大きく動かし、太いものは小さく動かす結果になり、熔接速度に相違がありますが、歪は講演で申上げた様になつたのであります。實際の場合でも、事情の許す限り小徑の方が歪の出工合は少いのであります。

第7項に對する御答——實驗の多くは交流でやり、又長い arc を好みませんので、arc は殆んど一

定に、出来る丈短かくしてやりました。又 flux も同じものを使用して居るので、arc の加減其の他に依る熱量の加減と云ふ事はやつて見て居りません。實驗室的には、arc を加減して熱量を調整する等の事が出来ますが、實際的には、出来る丈 arc を短かくすると云ふ方針を熔接工に與へ置く事が、多くの人間を使ふ上に極めて簡単であつて、而かも立派な熔接の出来るのは事實の様であります。従つて生ずる歪が許容出来得ないものに對しては、一段と細い熔接棒を使用せしむる事が、必要になつて參ります。