軟鋼電弧熔接部に表れる線状組織の研究(第1報)*

——線状組織の性質と生成に及ぼす冷速却度の影響——

岡田 実** 岩崎 巖**

Ice Flower Like Structure in Metal by Arc Welding,
in Particular Mild Steel (Report 1)*

—The nature of ice flower like structure and the effect of cooling velocity—

By M. Okada**, I. Iwasaki**.

Abstract

Arc welding technique has reached a considerable stage of development and is now extensively utilized. However even at present certain defects are found in the process. In order to increase the reliability of the arc welding process, we must make an effort to eliminate these defects and reduce their effects as much as possible by thorough and careful study.

The occurrence of ice flower like structure is one of the serious defects which are apt to be found in welded parts. Particularly, it often appears in the welded part of thick plate.

Ice flower like structure may be defined as follows:

Ice flower like structure is formed by very fine columnar crystals, standing side by side, similar to ice flower in earth crevices, and it usually contains many micro-blow holes and fine particles of refractory material between the crystals. Ice flower like structure is often found in the fracture of deposited metal.

Ice flower like structure is generally formed by almost fine columnar crystals, having micro-blow holes and refractory oxide particles between their boundaries. An example is shown in Fig. 1. When the deposited metal is rapidly cooled, the fine columnar crystals are formed side by side, and the micro-blow holes are formed by the gas evolved from the deposited metal during solidification. The dispersed oxide particles in ice flower like structure are mostly refractory deoxidation products. From these facts, it is considered that the period of formation of ice flower like structure is during the solidification process of deposited metal.

On cooling from molten state, the separation of gas and formation of stress of ice flower like structure are similar to white spot formation in ingot. But there is remarkable difference between the periods of their formation and the characteristics of their shapes.

Ice flower like structure is different from fish eye in such points as the period of formation, location and shapes.

The cooling velocity is closely connected with the volume of the deposited metals, which in turn is closely related with the formation of the ice flower like structure. When plenty of metal is deposited, the cooling velocity becomes comparatively low, accordingly ice flower like structure is not formed. On the other hand, when less metal is deposited, the cooling velocity becomes comparatively high, therefore ice flower like structure is formed.

We examined the formation of ice flower like structure by the various experiments. As a result, we pointed out the fact that the cooling velocity is one of the factors of its formation.

* 原稿受付 昭和25年11月

** 正員 大阪大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Osaka University.

緒 言

電弧溶接法が発達してあらゆる方面に利用されるようになった。しかし溶接法は幾多の欠点を有している。従つて充分なる研究を実施しそれらの欠点を除去或は緩和しなければ溶接法の安全性を確保しその真價を発揮せしむることはできないのである。

こゝに報告する線状組織も溶接部に生成する一大欠点であつて特に厚板溶接に生成し易く、溶接部に関しては特殊鋼の白点にも匹敵する缺陷と考えられる。

本論文は、さきに「溶接部に表れる線状組織の研究¹⁾(第1報)」として溶接協会誌第8巻第4号に発表したものの一部である。其の後の研究により線状組織の生因を明確になし得たので、こゝに再び記す次第である。

§ 1. 線状組織とは如何なるものか

線状組織はその形態より定義するならば大体次の如くである。

「線状組織は電弧溶接部に往々見出される組織であつて極めて細微なる柱状結晶が併立し、その間に顕微鏡にて見得る程度の気孔を含む霜柱状の組織で

×5

×1

Fig. 1 Ice Flower Like Structure appeared in the Fracture of Deposited Metal. (Thick Plate)

あり、熔着金属の破面に於て肉眼にて見られるものである。」第1図はその代表的組織の一つである。

§ 2. 線状組織の性状

線状組織は熔融金属が比較的急冷された場合に微細な結晶が併立して発達し、それに従つて含有ガスを放出するが迅速なる凝固によりガスは柱状結晶間に顕微鏡にて見得る気孔を形成し第1図のごとくなるものと考えられる。従つて線状組織生成の時期は熔着金属の凝固中なることが当然思考されるのである。

線状組織は単層溶接部にも見られるが多層溶接をなし熔着金属を refined 組織にした時に一層明瞭に見られる。顕微鏡でも単層の時は比較的検出することは困難であるが、多層溶接をなし refined 組織になつた部分の顕微鏡組織には明らかに特異性を示している。

線状組織部と線状組織でない部分の境界部の顕微鏡組織は第2図の如くである。図の黒点部が大部分微細な気孔であると云う一つの拠点は線状組織部に黒点が断然多く他の部分に少いことである。また黒点部が pearlite でないことは腐蝕を若干深くした場合に黒色部が著しく増加することである。すなわち pearlite であれば大体において一定の面積を保つべきであるが腐蝕により不規則に黒点部が急増することは pearlite 組織と考え難いところである。これら顕微鏡組織と肉眼組織とを併せて考察し、黒色部が微細な気孔の集りであると見做し得る。第3

×300

Fig. 2 Microphotograph of Ice Flower Like Structure and Ordinary Structure.
Upper 2/3: Ice Flower Like Structure.
Lower 1/3: Ordinary Structure.

(A) Light etching $\times 300$ (B) Deep etching $\times 300$

Fig. 3 Microphotograph of Ice Flower Like Structure showing the Effect of different Etching Time.

図は腐蝕による組織の変化を示す。

熔着金属中に亀裂を生ずる場合には線状組織が生成していることが多い。しかし線状組織の多くは亀裂を生ずるに至らないで存在している。また亀裂部がすべて線状組織であるとは云い得ない。従つて検出法としては屈曲試験が最もよい。霜柱状結晶の相接している面では伸びが殆どなく離脱され易い。故に屈曲試験片において線状組織を有すると多くの場合離脱する部分を生じ、外観にも変化を生じて来るために検出し易い。第4図は屈曲試験片に表れた線状組織による変化を示している。引張試験、衝撃試験等の破壊試験は他の部分の影響あるいは破断箇所

Fig. 4 Bending Test Specimen with Ice Flower Like Structure.

が丁度線状組織部に合致しない場合見出され難い。また気孔が存在するとしても極めて小さいから透過X線でこれを検出することも困難である。

線状組織は上記のごとくその生成部を検出し難いにもかかわらず、熔接部に対し場合によつては致命的缺陷を惹起するものであり、殊に比較的高級な熔接棒に表れ易い傾向を有しているので注意を要する。

鑄造組織は refined structure に変えることができるが、熔接熱により線状組織を変化せしめることはできない。すなわち線状組織は結晶粒を対照とした組織でなく、結晶粒群が表す特殊の組織と考えるべきであろう。

また熔接部は高温で加工することが少いから、線状組織を熔接後融着せしめることは殆どできないし、かつ線状組織間には気孔が多数にあるから強い peening は却つて亀裂を助長すると考えられる。

なお線状組織部の亀裂は A_3 , A_1 の変態点における変態による応力および冷却中に生ずる収縮応力によつて表れるものであると考えられる。

次に線状組織と類似組織との差異を考察するに、特殊鋼に生じ易い白点とここに記した線状組織とは発生の要件に冷却速度、含有ガス、応力等を含んでいる点で同様に考えられるが、その生成の時機、形態その他において著しく異なるものである。白点は凝固後において放出する水素ガスの圧力と変態による応力によつて生ずるもので偏析等の影響も認められるが、生成の時機は 200°C 附近の低温度と考えられている。また鋼塊の大きさが大なる程生成し易いこと、および白点の形態には鋭角部が殆どなく不規則な型のもので円味を有している。しかるに線状組織は凝固期間中に生成し熔着層の薄いものに生成し

易い。またその形には鋭角を有している。この点より白点と異なるものである。熔接部に生ずる fish eye は白点と同様な原因によると考えられ、その発生位置の多くは第5図のごとく層間に存在し線状組織とは形成位置および生成条件が異なる。

Fig. 5 The location of Ice Flower Like Structure and Fish Eye.

§ 3 冷却速度の影響

熔接の場合の冷却速度は、水中に焼入する場合にくらべると緩慢な冷却であると考え得ることもあるが、普通の鑄造あるいは鍛造等の場合にくらべると非常に急激な冷却を受けることになる。普通の熔着金属の破面では結晶の成長方向は第6図(A)のごとくであるが、線状組織部においては(B)のごとく多くはほぼ直立して生成している。

Fig. 6 (A) Ordinary Crystals found in Deposited Metal.
(B) Ice Flower Like Structure.

また線状組織は crater の部分に最も発生し易くそれに次いで bead の初点附近である。今熔接速度を 2mm/sec とし 1sec に 500cal を熔接部に供給すると假定した場合熔接線より 1mm の距離において bead の初点 (X=0) および熔接が連続して行われた場合 bead の中間部 (X=50mm) の冷却状態、および 50mm のところで熔接を中止した場合すなわち crater の冷却状態を著者の研究結果²⁾より比較すると 1,500°C から 1,000°C までの冷却曲線は第7図のごとくになる。

Fig. 7 Cooling Curves and the Location of Bead.

- (A) X=50mm, Crater.
(B) X=0, Starting of Bead.
(C) X=50mm over, between Bead.

この結果から明かなごとく crater の部分は bead の他の部分に比し非常に急冷されていることがわかり、またそれに次いで bead の初点の冷却は他の部分より餘程早いのである。すなわち線状組織の発生位置に関し上記のごとき特性のあることは冷却速度に密接な

る関係があることを示すものである。

なお冷却速度に関係のある一つとして熔着金属量の多小が、また線状組織の生成に重要な影響をもつ。すなわち多量の熔着金属を與えたときは比較的緩冷されるから線状組織は生成しないが熔着金属が少量のときは急冷されるから線状組織の生成を促す。

今一例として通常の使用条件においては線状組織を生成し難い熔接棒を用い熔接を行つた。第8図に示す熔接片から番号に相当する部分より試片をとり線状組織の有無を調べたがこの中1および4には線状組織を認めかつ顕微鏡にて検査の結果熔着金属の中央部において小氣孔が連結して小亀裂を生じているのを発見した。

Fig. 8 Specimen.

今この試料において熔融した金属部の面積を測定し、著者が前に発表した結果³⁾を用い、熔接速度を 2mm/sec に一定し、熔融した金属部面積の変化を単位時間に與える熱量の変化に起因すると考え、熔着金属と母材との境界を 1,500°C に達せしめるに要する供給熱量を計算しその結果境界部が 1,500°C より 1,000°C まで冷却するに要する時間を算出したがその結果は第1表のごとくになる。

Table 1 Results of Calculated Cooling Time

No. of Specimen	1	2	3	4	5
Area of Deposited Metal by Observation in mm. ²	18.4	24.1	23.7	17.7	27.1
Given Heat Capacity by Calculation in cal./sec.	454	516	508	446	546
Time between 1500°C and 1000°C at Boundary in sec.	1.93	2.19	2.16	1.90	2.32

この結果には可成り假定を含んでいるので大略の数値であるが熔接金属の断面の小さいところ、すなわち冷却速度の大なるところは線状組織が発達し比較的熔接金属断面の大きいところすなわち冷却速度の小なるところに生成し難いことがわかる。

線状組織の生成は気温にも影響され夏季にはその生成が減じ冬季に増加することが知られている。故に熔接部を適當温度 (80—300°C) に加熱して行うことは防止上有効である。上記のごとく冷却速度は

極めて重大な影響を有する。要するに冷却速度は細い霜柱状結晶を生ずる条件を満足するものでかつその中では速い方が生成をより助長するものと考えられる。

結 言

以上の実験により線状組織の性状を記し冷却速度が生成の一因であることを指摘した。その結果を總括すると次のようである。

1. 線状組織は併行に発達した細い柱状晶間に顕微鏡にて見得る程度の微細なる氣孔を有するもので熔着金属の破面において見られる。
2. 線状組織の生成には冷却速度が一要因と考えられ、その冷却速度は細い柱状晶を生成する条件の下になければならない。

3. 生成の時機は凝固期間中であつて凝固後の変態点等は組織そのものの生成には関係ない。たゞし凝固後の変態應力および収縮による應力が線状組織部に亀裂を発生あるいは促進せしめることはあり得る。

4. 肉眼および顕微鏡試験の結果以上の事柄を確めた。

5. 線状組織の検査は甚だ困難である。破壊試験法では屈曲試験が最も適當と思う。

—文 献—

- (1) 岡田、岩崎、熔接部に表れる線状組織の研究(第1報) 熔接協会誌第8巻第4号(昭和13) p160~165
- (2) 岡田、低炭素鋼の電弧溶接における熱影響に関する基本的研究、熔接協会誌第6巻第4, 5, 6及び7巻(昭11)
- (3) 同上 同上

軟鋼電弧溶接部に表れる線状組織の研究(第2報)*

—線状組織の生成に及ぼす化学組成の影響—

岡田 実** 若林良一** 近藤義康*** 林 養三****

Ice Flower Like Structure in Metal by Arc Welding, in Particular Mild steel (Report 2)*

—Effects of chemical composition on the formation of ice flower like structure—

By M. Okada **, Y. Wakabayashi **, Y. Kondo ***, Y. Hayashi ****.

Abstract

Referring to ice flower like structure, many studies and contributions have been widely announced and published. Cooling velocity, existence of impurities, stresses, deoxidizing condition, embrittlement and shapes of bead are said to be the main factors of its formation. Some of these are acceptable as the factors, but they are not sufficient to explain the formation of ice flower like structure.

This report refers to the effect of the chemical composition of the deposited metal and the cooling velocity.

The first experiment was to investigate the influence of chemical compositions of core wire upon the formation of ice flower like structure. Considering the experimental results, Si-rich core wire, with the same coating materials used for any content of Si, can be said to have more tendency

* 原稿受付 昭和25年11月

** 正員 大阪大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Osaka University.

*** 正員 中日本重工業KK Member, Naka-Nihon Heavy Industry.

**** 正員 林工務店 Member, Hayashi Printery.