軟鋼の溶接部について

——異種溶着金属による軟鋼溶接部の防食効果——

西 卷 一 雄*・内 山 宏 治*

On the Corrosion of Welded Parts of Mildsteel.

(Preventive effects of various other deposited metals of welded parts of mildsteel)

Kazuo NISHIMAKI*, Hiroharu UCHIYAMA*

80 specimens of different microstructure were prepared from arc-welded steel plates, which were welded with mildsteel, 1.5% Cr-Mo steel, 5% Cr steel, 13% Cr steel and 18Cr-8Ni steel deposited metals, under the adequate welding conditions. The mechanical properties of specimens and their defects were inspected by means of X-ray and supersonic waves.

Then, the loss by corrosion, volume of hydrogen produced, and their electrode potential in 10% H_2SO_4 , HCl, at the welded and annealed states, were measured. Welded strain was also studied.

The results are as follows ;

- 1) The corrosion loss, and fuming hydrogen volume are changed remarkably according to the microstructure.
- 2) It is not so efficient to use 1.5% Cr-Mo steel as the deposited metal for corrosion prevention.
- 3) It is natural that the corrosion resistance of bead part is much increased when 18-8 steel is used as the deposited metal.
- 4) The corrosion resistance of high sulphur mild steel plate is low as compared with low sulphur mild steel plate.

1. 緒 言

軟鋼溶接部の腐食のはなはだしいことは、すでに多くの文献の教える所であり、わが国でも佐々木氏^{1),2),3)}, 大西氏^{4),5)}らを初め遠藤, 大谷氏らがかなりの研究を行われている。

これら腐食の原因は実に複雑多岐であり、溶接の局部加熱による熱影響、その熱サイクルの各条件によりさまざまに変化する組織変化、複雑に分布する残留応力、ガス、不純物の与えるブローホール、さらにはそれら異種組織、材質により形成される接触電位差…などがその主な原因である。ことに溶接では溶接部に大きい残留応力を残すので応力腐食が起りやすい。従来、溶接部の腐食がボイラー用鋼材、ステンレスなどのカセリ脆化その他を中心に論議されてきたのもそのためである。この他黒鉛化⁷⁾粒間腐食の問題など、溶接部の腐食ははなはだ複雑であるが、これは溶接作業そのものが本来、あまりにも多要因な作業であるため、一概に規定することのできない状態にあるからである。

近年、溶接は構造物構成の他に摩耗性部品の表面の肉盛、溶接補修などにも広く用いられ、したがってその耐食性について関心を払うべき機会は益々多くなりつつあ

る。たまたま、筆者らはぬかるみ地、イオウ採取場、各種原料運搬などで使用される建設機械の溶接部の耐食性を検討する際、その調査の一環として本実験を計画し、溶着金属のもつ耐食性を種々検討した。本報ではことに軟鋼の溶着金属部およびその熱影響部の耐食性を中心として検討し、またそれらの腐食を防ぐ一方法として、異種金属接触であることを熟知の上で、軟鋼板に耐食性溶着金属を与えることにより溶接部の腐食を少なくしうるかどうかを検討した。

軟鋼板に特殊の目的をもって 25Cr-12Ni オーステナイトステンレス鋼溶接棒を用いる例はすでにかなり古くからアメリカなどで賞用されているが⁸⁾、本報では 1.5% Cr, Mo 鋼などを中心として、通常軟鋼には用いられない各種の溶接棒を準備して軟鋼にそれぞれ適応した電気溶接を行い、そのおのおのについてそれらの溶着金属および母材各部の組織、硬度、熱処理、腐食度、電極電位、ひずみなどを比較観察した。

2. 実 験

2-1 溶接試料および溶接条件

被溶接母材はすべて軟鋼である。溶接試料はまず塩基性チタニヤ型および中性型溶接棒により溶着金属を軟鋼とする各肉厚の試料を準備し、これと対応して塩基性溶接棒を用いて 1.5% Cr-Mo 鋼溶着金属試料を準備した。

* 小松製作所 (石川県小松市符津町)
Komatsu mfg. Co., Ltd.

第 1 表 試験片溶着金属および母材の化学成分

番号	名 称	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	O	N	H ₂
1	D4300	0.08	0.48	0.10	0.020	0.014	—	—	—	0.060	0.015	0.0008
2	E7016	0.09	0.40	0.28	0.017	0.012	0.42	0.46	—	—	—	—
3	E9016	0.07	0.40	0.20	0.015	0.012	1.50	0.50	—	—	—	—
4	E10013	0.08	0.34	0.16	0.013	0.012	2.50	1.00	—	—	—	—
5	E 502	0.06	0.33	0.17	0.020	0.010	5.40	0.55	—	—	—	—
6	E 316	0.05	1.56	0.48	0.014	0.012	18.13	2.10	12.73	—	—	—
7	E 410	0.08	0.35	0.40	0.020	0.015	13.00	—	—	—	—	—
8	D4310	0.08	0.45	0.06	0.025	0.013	—	—	—	0.095	0.518	0.0013
被溶接試験片 9mm 厚		0.12	0.34	0.08	0.048	0.040	—	—	—	—	—	—
12mm 厚		0.03	0.60	—	0.052	0.040	—	—	—	—	—	—
25mm 厚		0.16	0.45	—	0.042	0.060	—	—	—	—	—	—

溶 接 条 件 (12mm 厚試料)

名 称	銘 柄	棒 経	電 流 (A)
D 4300	T B 24	4	180 — 140
E 7016	CMA 76	〃	230 — 195
E 9016	CMA 96	〃	220 — 190
E 10013	CMA 106	〃	230 — 190
E 502	C M 5	〃	180 — 160
E 316	N C 36	〃	210 — 195
E 410	C R 40	〃	220 — 190
D 4310	B 17	5	180 — 140

また他に表示したような 5% Cr 鋼, 13 Cr 鋼, 18-8 鋼の各種溶接棒も使用してみた。試料および溶接棒の各化学成分は第 1 表の通りである。またその溶接条件は第 2 表に示した。

試料は薄板 (3.2mm) 中肉板 (9 mm および 12 mm), 厚肉板 (25 mm) の各リムド鋼を用い, 特に後者は厚肉によって冷却速度を最

大とした場合の耐食性変化に対する興味⁹⁾も兼ね, かつ超音波探傷を行うため厚肉試料とし, またそのため本試料に限り U 字開先とした。さらに本試料は含硫成分の高い物を採択した。

2—2 試料の検査

溶接試料の内部に溶接作業上の各種因子が不可避免的に作用することはすでに触れたが, これらの欠陥が多いことは実験結果にばらつきを招くため, 厳重な溶接条件の規定, 外観検査, X線検査, サルファープリントおよび超音波探傷を行った後, 試験試料を採択した。検査の一例は写真 1, 2 に示す。

2—3 組 織

各溶接試料をビード方向と直角な平面で切断し表面から肉厚の 1/3 下の並行線に沿って溶接部中心を起点として 1 mm 間隔に顕微鏡で組織写真を撮り, それを集積して溶接断面の

写真 1

写真 2

写真 5

連続的組織変化を収録した。写真3,4は溶接し放し、および 950°C 1hr 焼鈍後の各組織を示し左端は溶接部の中心点である。これにより各材質試料の溶着部、隣接母材部の各熱影響部、母材原質部などの各組織の連続的変化を知ることができる。

2-4 腐食試験

腐食試験は塩酸および硫酸の各 10% 溶液中で行い溶接試料の減量、およびオルザット装置による発生水素ガスの測定によって耐食性を定量的に測定した。この際の溶接試料は中肉試験片を用い、その各異種溶着金属試

写真3 各種溶接部組織

写真4 各種溶接部組織

10% H_2SO_4 溶着金属種類 10% HCl

(沸騰液中 7 hr 後)

写真6 連続材の腐食結果

料毎に溶着部、隣接熱影響部、母材原質部などの各部分を代表する切出し試料を取り各部分単独の場合の腐食程度を検討した。しかし実際に母材側熱影響部を切出す場合には最も溶着金属側に位する硬度最大の最過熱部から、粗大な粗粒組織を経て微細な焼準組織に至るまでの間隔はわずか数mmに過ぎず、その各部を適切な形で試料として切出すことは事実上技術的に困難であり、ことにいわゆるtoeを中心とする最も組織の急変した部分は試料の採取は不可能である。従ってそれらの各部が示す正確な腐食度を定量することははなはだ困難というべきであろう。

そこで筆者らは以上を考慮の上で板状切出試験片(1.5×12×30mm)および棒状試験片(1.5φ×30)の2種類を採り前者は組織的变化を同一試料内に包含する断面試験片とし、後者は硬度測定線上の各適当点を採り切出すことにした。また切出し損失を伴わず連続した試料として前記各試料から厚み5mmの板状連続材(5×25×50mm)を取り、各液中において写真5のような煮沸を行ってその各部分の侵食程度を確めた。写真6

はその結果の一例である。

2-5 硬 度

溶接時における熱サイクルの経過を溶接後

第1図 各溶接試料の硬度分布

第3図 高S厚肉試料(25mm)の減量

その硬度分布および組織変化から推定することができるが、一方また残留応力の分布を硬度から類推することができる。そこで、各材質の各部につきその硬度分布を測定した。第1図はその結果である。

2-6 電極電位

甘汞電極基準で各試料の腐食液中における電極電位を測定した。試料は中肉試料からの切出し試験片を用い、電位差計により測定した。(第2図参照)

溶接部の腐食を電気化学的な腐食として検討する場合にはそれらの電位については多くの異論があり(たとえば前記佐々木氏の論文³⁾)溶着部を母材に対し貴とするか卑とするかについて説がわかれている。筆者らの実験

では溶着部は明らかに陰極的であり、遠藤氏らも指摘されているように、卑というよりもむしろ貴である。

このことは異種金属間の接触電位差だけで溶接部の腐食を電気化学的に説明することの困難を示しており、遠藤氏の言われるように腐食は各組織内部の微小なブロックにおいて電気化学的腐食がおきると考えるのが、ほぼ妥当であると思われる。

第2図

3. 実験結果の考察

第4図 各溶着金属の減量—時間

第5図 軟鋼溶接棒と18-8鋼溶接棒使用の試料(12mm厚)の10% H_2SO_4 中における減量と水素発生量

3-1 腐食度と材質および組織

腐食量を減量のみで規定することはブローホールその他の溶接欠陥により局部腐食が起きる場合には不向きであり、いささか問題があるが本報では他報との比較の便を期する意味で減量測定法によった。まず軟鋼溶着金属について言えば溶着部および母材との組織急変部(toeを中心とした融合部)の減量は母材原質部に比し高い。溶着金属が減量するのは上部铸造組織および下層の細粒組織が組織的に不均一なためと考えられ、また電極電位が母材に比し必ずしも卑でないにもかかわらず母材原質部に比し腐食されるのは溶着部自体の不均一に基づく内部電池による減量がこれを上廻るためと考えられる。しかし実際には最も腐食を受ける部分は連続材における腐食度から推して、溶着金属と母材の境界部すなわち組織の急激に変化する部分と思われ(図では点線

第6図 低S試料の減量(9mm厚)

で示す)この部分から切出し試料を採取することは困難であるが、連続材にあっては溝をなして浸食される。しかしその境界に隣接する母材の側の、過熱されて極めて粗大化した部分は比較的腐食が少ない。そしてさらにビード中心部から離れるに従い再び腐食度は増し、原質部に至って腐食は定常的となる。

このことは板状、棒状および各肉厚の切出し試験片について言えることであり、特にイオウ含有量の高い厚肉試料にあっては母材部の減量は溶着部のそれを上廻る傾向がある。また、950°C 1hr 焼鈍したものについてもこれらの腐食の傾向は同一と考えられ、焼鈍により残留応力を開放した場合の、耐食性の顕著な増加は見られなかった。これは試験片の切出し時において応力を開放したことによるとも考えられる。組織急変部が極度に侵食を受

写真7 連続材の腐食結果

写真8

けるのはいずれかの側，たとえば溶着金属が陰極的に作用して比較的マクロな電池を形成することと不純物の存在によると思われる。

つぎに，溶着金属に 1.5 Cr, 0.5 Mo 鋼および 5% Cr 鋼をもちいた場合についていえば，まず溶着金属自体の耐食性が軟鋼のそれに比して向上するのは当然であるが，その度合は予期したほどではない。これは多層肉盛の際の後続層によって焼戻され，これら低 Cr 鋼溶着金属が脆化し，予期した耐食効果を挙げ得ぬためと考えられる。はなはだしい場合には 5% Cr 鋼溶着金属が軟鋼母材に比し過度に腐食された場合もあり，写真 7 でそれを示す。しかしこのような極端な場合を除いて，溶接棒に低 Cr 鋼を用いた場合，溶着金属の耐食性は向上するが，境界部の腐食は軟鋼の溶着金属に比し若干上廻るものと思われる。

他方，溶着金属自体の耐食性は当然ながら飛躍的に向上するが，隣接境界部の腐食ははなはだしくなり，母材側粗粒部の腐食はむしろ少なくなる。一般に 18-8 ステンレス鋼で普通鋼を溶接した場合，溶着金属は母材熱影響部に拡散した水素を低温で吸収する性質があるが¹⁰⁾，これらのことのみでは説明ができず，むしろ熱サイクルの相異によるものと解すべきであろう。

そこで 18-8 鋼板 (板厚 10 mm) につき同様方法で 18-8 オーステナイト溶接棒で溶接した所，98°C，10% H_2SO_4 に対しては溶着金属部が母材に比し腐食された。写真 8 はそれを示し，同一材種についていえば溶着金属の再結晶，粗粒化部分が腐食をうけやすいといえる。

3-2 腐食度とひずみ

溶接時における各部の残留応力分布ははなはだ複雑である。本来溶接によるひずみはその溶接入熱，ことにその熱サイクルの速さ，板厚などに関係し，脆性および腐食度に結びつくと思われる。

前記各溶接棒を使って軟鋼管外壁に V 型溝をあけた後突合せ溶接を行い，Mathar 法に準じてひずみ分布の測定を行ったがピッチメーターによる測定では明確な値を

測定することはできなかった。

腐食度については，ひずみの影響よりも組織差による度合の方が大きいと思われるが¹¹⁾，鋼材自体の前歴ひずみも腐食に大きく影響を与えると思われ，吉識氏ら¹²⁾の研究によれば，むしろ前歴ひずみの大小により，溶着部と母材熱影響部，母材原質部間の腐食量の順位は逆転するといわれている。

4. 総 括

軟鋼母材に各種溶着金属を与えた場合の耐食性について，その腐食度，電極電位，硬度，組織を測定した。

結論としては

- 1) 軟鋼溶接部の腐食は境界の組織急変部が最大であり溶着部および母材熱影響部がそれに次ぐ。
- 2) 防食的意図により，低 Cr 鋼を溶着金属に与えることにより溶着金属自体の耐食性をやゝ向上させることはできるが，組織急変部については，むしろマイナスであり，その意味では 18-8 オーステナイトステンレス鋼がよい。
- 3) 腐食形態は，不純物，組織差による微小電池によると思われるが，切出し試験片による測定は誤差を招きやすく断定し難い。(1958. 2. 6 受理)

文 献

- 1) 佐々木，溶接協会誌，9，179 (1939)
- 2) " " 475 (")
- 3) " " 567 (")
- 4) 大西，溶接協会誌，10，41 (1940)
- 5) " " 219 (")
- 6) 遠藤，大谷，金属学会誌，10，479
- 7) 岡田，鈴木，溶接冶金 (溶接叢書) 1955 ed.
- 8) 関口，安藤，溶接棒 (溶接叢書) "
- 9) W.F.Hess, W. J., 377~422 s. (1943)
- 10) 岡田，鈴木，前出 (7)
- 11) 遠藤，金属の研究，5，334 (1928)
- 12) 吉識，材料試験，5，649 (1956)

塗 膜 の ピ ン ホ ール 試 験 法

金 沢 睦 夫*

Pinhole Test of Resin Coating by Electrolysis of $ZnSO_4$ Solution

Mutsuo KANAZAWA*

It is sometimes observed that the rust of the base metal appears on the surface through probable pinholes of the rust-proof coating.

This report is intended to explain the method to detect pinholes by the use of electrolysis of

* 沖電気工業株式会社 (東京都港区芝高浜町 10), Oki Electric Industry Co. Ltd.