

熔接構造用鋼板について

KK日本製鋼所* 宮野 樺 太 男

1. ま え が き

最近における生産技術としての熔接工学の発展はすばらしいものがある。特にその応用分野は広く造船工業のみならず建築、橋梁、高压容器、鉄塔、圧力鉄管、その他のあらゆる構造物の分野にわたり鋳構造に代つて用いられてきている。また熔接作業方法においても潜弧自動熔接のみならず、各種の高エネルギー熔接作業方法が実際の構造物の製作においても広く採用され生産能率の向上が図られてきた。

これらの熔接構造物においては設計、製作方法はもちろんであるが使用する鋼板に関しても特に熔接作業に適しかつ長年の使用に対して安全である熔接性の優れた材料を選ばなくてはならないことはもちろんである。以下主として熔接構造用鋼の製作の立場より熔接構造用の鋼板について概要を述べる。

2. 熔接性について

材料の熔接性という言葉は比較的広く使用されているが、しかしその意味は比較的あいまいな意味に用いられることが多い。

AWSによれば熔接性とはある条件の下で熔接してしかも所期の十分な強度を有するか否かといった意味に用いられている。¹⁾

Stout 及び Doty は²⁾ 熔接性を2つの意味に分けて工作上の熔接性である Joinability と使用上の熔接性である Welding performance に分類している。

木原博士によれば³⁾ 熔接性とは“母材と熔接棒を組合せて考えるべき材料の尺度であつて欠陥のない満足すべき機械的性質を有する熔接手が得られる能力をあらわす尺度である”としている。

岡田博士は⁴⁾ 熔接性を次の5種類に分類している。すなわち第1種の熔接性は母材自身の性質の健全さ、第2種として熔接熱サイクルを受けた場合の硬化及び脆化に対する母材の性質、第3種として熔接条件の影響を除いた母材および熔接影響部の性質、第4種として熔接条件の影響を受ける熔接ビード熱影響部母材の性質、第5種としてすべてを含む熔接性能、の5種類である。しか

も第1種および第2種が材料製作者にとつて最も重要であるとしている。

従来多くの鋼材について単に定性的な意味での熔接性の良好な鋼材という言葉が用いられている。この場合は岡田博士のいわれるごとき第1種の母材の健全さおよび第2種の熔接熱サイクルを受ける場合においてその熱影響部の機械的性質の悪化しないことが最も重要であつて材料製作上の立場よりすれば常にこの点に注意しているものである。

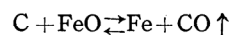
しかしながら熔接法や熔接棒の影響を受けることも大きく例えば極端なまでに硬化性のはなはだしい防錆鋼板の場合においてもオーステナイ系の熔接棒を用いるとか、または鋼の Ms 点以上に予熱後熔接を行い除冷することにより熔接は可能である。これは母材の性質上からこのような熔接方法が採用されてきているものである。従つて比較的あいまいな意味に使用せられる熔接性といった言葉は材料の使用者および供給者との間に時に混乱を起すことがあり得る。如何なる熔接作業が行われるか比較的明確を欠く場合もあり特に最近の熔接作業においては特殊な高エネルギーの熔接作業が行われる場合も多い。

個々の材料に対してその熔接性の意味あるもの及びその試験方法等に関しては出来るだけ明確にする必要が痛感せられ、この点で特に材料供給者とその使用者との相互理解が必要であらう。

3. 熔接の点より見た鋼質について

実際の熔接構造物に使用せられる鋼材は鋼質によつてキルド鋼、セミキルド鋼、およびリムド鋼に分類せられる。

リムド鋼は酸素または鉄鉱石により炉内で脱炭反応を進行させ酸素または FeO を含む Boiling Molten Steel をそのまま鋳型に注入して製作される。この場合は下記の反応を進行しつつある状態で鋼は凝固する。

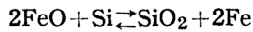
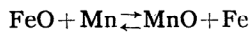


この CO は気泡となりその一部は鋼塊の凝固中に残留して鋼塊の表面直下に Blow hole を作る。従つてこの部分は不純物が比較的少なく中心部に C, P, S, 等が偏折している。鋼塊圧延後はこの Blow hole は圧着せられているもこの Core 部の偏折は中心部に濃厚な Sulphur

* 室蘭市茶津町4 株式会社日本製鋼所室蘭製作所

Band として残留している。

キルド鋼は Mn および Si により excess の酸素を次の脱酸反応により除去する。



この脱酸反応により生じた MnO または SiO₂ は鋼中を浮上して行く。鋼塊の凝固の場合は完全に脱酸されて CO の発生はなく鑄型内で極めて静かに凝固し偏折も Blow hole もない鋼塊ができる。しかし熔鋼の凝固の場合の収縮は鋼塊の上部に Shrinkage Pipe を造りかつこの部分は比較的 P, S の含有量も大きくこの部分は押湯として除去する。従つて歩留りは悪い。

セミキルド鋼はちょうどリムド鋼とキルド鋼の中間に相当するものであり中間状態の脱酸程度で鑄型に鑄込み凝固させたものである。従つて圧延後の Sulphur Band も比較的少ない。

これら 3 種の鋼質の一般的な比較を示せば第 1 表の如

きものである。

すなわちキルド鋼は鋼材の歩留りの悪い点を除き鋼材としての Soundness が極めて優れており偏折はなくしかも含有酸素量の極めて少ない点よりして熔接用鋼材として最も重要な性質の一つである遷移温度は他の 2 種類の鋼質のものに比べて極めて低い温度を示し、脆性破壊の危険が少ない。岡田博士の分類による第 1 種の熔接性においてはキルド鋼は他の 2 種類の鋼質のものに比べて極めて良好な鋼である。従つて欧米等ではリムド鋼の使用は比較的少なく大部分はキルド鋼が用いられてきている。最近においては船用鋼板は船体の重要部分としてはキルド鋼と指定される傾向にあり、各船級協会の鋼材もそのような傾向になりつつある。⁵⁾ その他ロイド船級協会等では P 5 の材質として 0°C における V-Notch Charpy の衝撃試験も追加されており造船用鋼材を中心として熔接構造用鋼としては従来的一般構造用鋼等に比して優良な鋼材が多く使用されるようになった。

第 1 表 鋼 質 に よ る 比 較

鋼 質	ブローオール	偏折 (サルファーバンド)	Si 含有量	酸素含有量	収 縮 孔	歩 留 り	遷 移 温 度
リムド鋼	多 し	甚 し い	<0.03	甚だ多し	な し	良 好	高 温
セミキルド鋼	中	中	0.03/0.10	多 し	な し	中	中
キルド鋼	な し	な し	>0.10	極 少	大	悪 し	極めて低温

第 2 表 2, 3 の 高 張 力 鋼

規 格	降 伏 点 (kg/mm ²)	抗 張 力 (kg/mm ²)	伸 率 (%)	備 考
SM41W	≥ 23	41/50	≥ 21	Mn/C ≥ 2.5 (熔接構造用圧延鋼材) (日)
S B 46	≥ TX0.5	46/55	≥ $\frac{1125}{T}$	(炭素含有量は板厚により異なる規定) C ≤ .28, Si.15/.35' Mn ≤ .90 (ボイラー用圧延鋼材) (日)
SM52W	≥ 32	50/58	≥ 20	C ≤ .16, Si ≤ .55, Mn ≤ 1.35 (Si-Mn 高張力鋼) (日)
N S 40	≥ 40	58/66	≥ 18	C ≤ .16, Si ≤ .55, Mn ≤ 1.35, Ni ≤ 1.0 Cr ≤ .5, Mo ≤ .3, V ≤ .2, Ti ≤ .03 (改良ヴァニテー) (日)
S T 52	≥ 35	52/62	≥ 19	C ≤ .20, Si ≤ .60, Mn ≤ 1.20 (Si-Mi 高張力鋼) (独)
H B S 55	≥ 43	55/68	≥ 18 (I=5d)	(降伏点は板厚の薄い場合は46以上) C ≤ .20, Si ≤ .45, Mn ≤ .90, Cu ≤ 1.1 Ni ≤ 1.0, Mo ≤ .20 (低温圧延 Al処理) (独)
Vanity (Navy)	≥ 33	≤ 62	≥ 20	C ≤ .18, Si.15/35' Mn ≤ 1.30 V ≥ .02, Ti ≥ .005 (米)
Cor-Ten	≥ 35	≥ 49	≥ 22	C ≤ .12, Si.25/.75' Mn.20/50' P.07/.15 Cu.25/.55, Ni ≤ .65, Cr ≤ .50/1.25 (耐蝕用鋼) (米)
T-1	≥ 63	≥ 74	≥ 18 (2 ^o G.L)	C ≤ .18, Si.15/.35, Mn.70/1.00' Ni.70/1.00 Cr.40/.80, Cu.20/.40' Mo.4/.6' V.03/.10' B.006/.008 (調質鋼) (米)
"2 H"	≥ 46	≥ 58	≥ 16 (G.L.200) ≥ 25(参考) (G.L.50)	C ≤ .18, Si ≤ .55, Mn ≤ 1.35 特殊元素を多量に含有せず (調質鋼) (日)

生産と技術

なお特に板厚の厚い場合はキルド鋼のみでは不十分でありこの場合は圧延後の鋼板を Ac_3 変態点以上に加熱後空放することによる焼準を行い鋼材の内部組織を改善し特にノッチタフネスの向上を図っている。実験の結果では鋼の焼準操作は板厚の大きい場合共にますます材質の改善が明瞭となり特にコマレル試験等の比較的大型の試験片による試験の結果が向上している。従つて構造物が大型となり多軸応力を受ける重要な熔接構造物では特に焼準を行つた鋼材が使用されるべきであろう。⁶⁾

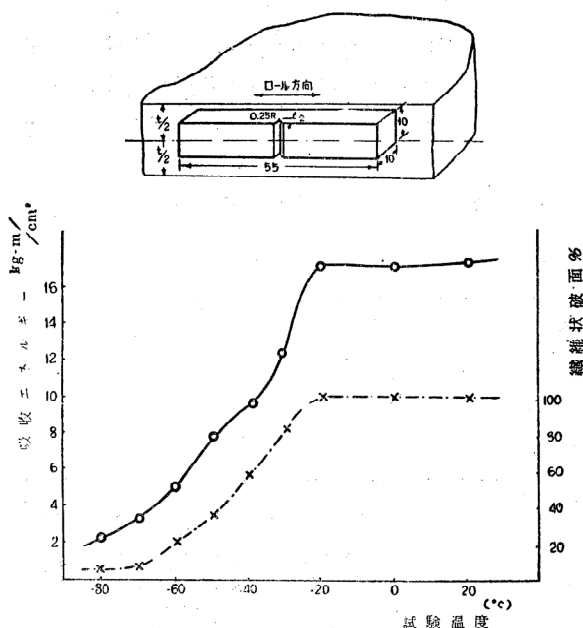
4. 高張力鋼について

熔接構造物の重量を軽くし、併せて熔接加工等の工数を節約する等の目的と同時に船舶等における運航の効率を高めまた重量物の基礎工事費の節約等の経済的な要望よりして広範囲にわたり熔接構造用高張力鋼が実用されてきている。第2表は通常の軟鋼板を含めた高張力鋼について示した。

例えばドイツの ST52 またはわが国の防衛庁熔接艦船用高張力鋼 SM52W 等は炭素量を比較的低目とし Mn および Si を多量に添加して圧延のまゝ又は焼準の状態で使用せられている。ドイツの H S B 鋼 (Hochfeste Schweißunempfindlich Baustähle) は比較的低温度の圧延処理を行つた鋼であり、この処理によつて比較的高い降伏点を得ようとした鋼である。この鋼はわが国でも 2, 3 の試作圧延が行われ H S B 鋼として充分なものが得られたが実際の問題として低温圧延時間の延長として圧延機にやや荷重がかかり過ぎる点が反省せられている。⁷⁾ NS40 はわが国で $60\text{kg}/\text{mm}^2$ の高張力鋼として研究されたものであり、これらの詳細は文献に報告されているので省略するが、今後もお厚板についての十分な試験が望まれている。⁸⁾ USS Cor-ten high Strength low alloy steel は P 及び Cu を比較的多く含有する鋼であつて大気中における耐蝕性の特に良好な鋼である。⁹⁾ 鉱山の小型の Mine cars, その他 Automotive Equipment 等の一部に用いられているものの如くである。T-1 鋼は Si, Mn の他に Ni, Cr, Cu, Mo, V, B 等多くの合金元素を含み焼入焼戻の状態に供給されわが国にも輸入せられて石川島重工業の手により東京ガスの世田ヶ谷調圧所の都市ガス貯蔵の球形タンクとして完成を見ている。この鋼の詳細は多く報告されており文献を参考とされたい。¹⁰⁾

単に高い抗張力のものだけを目的とする場合は鋼の化学成分を調整することにより目的を達することができる。しかしこの場合は熔接による硬化がはなはだしく、従つて前述の岡田博士の分類による第2種の熔接性が非常に悪くなる。“2H”鋼はこの点に注目して研究され

た鋼あつて¹¹⁾ 極く最近日本製鋼所より市販されたものであるが成分的にはドイツの St52 またはわが国の SM52W と大略同程度のものであるにもかかわらず特殊な焼入と焼戻によつて得られている材力はこれらの鋼に比べて特に高く、特に降伏点はこれらの鋼より約十数 kg/mm^2 の高い値を示している。また熔接構造用鋼として特に重要な notch toughness の試験としての V ノッチシャルピーの遷移温度曲線の一例は第1図の如くであり、従来の高張力鋼に比べて格段に優秀なものである。また等価炭素量を比較的低目としており、各種の熔接性は従来の同一強度の HT60 に比して格段に優れており、



第1図 “2H”鋼遷移曲線の一例

世界的にも極めて優秀な熔接構造用熱処理高張力鋼である。従つてこの“2H”鋼は艦船、ペインストック、圧力容器等に広く実際の熔接構造物に採用されつつある。

これらの高張力鋼以外にも各種の高張力鋼があるわけであるが¹²⁾ これらの鋼の性質にはそれぞれ特徴があるわけであり、その鋼の特徴を最も高度に発揮せしめる如き設計と製作が必要なることはもちろんであり、従来の軟鋼板以上に高張力鋼への使用者の理解を切望しているものである。

5. ボイラ用鋼板について

最近の火力発電用の発電機の容量は $150,000\text{kW}$ または $200,000\text{kW}$ といった大容量のものまで製作されてきている。従つてこれに使用するボイラーはその高効率を充分に発揮させる為に蒸発量 $500\text{T}/\text{H}$, 圧力 $177\text{kg}/\text{cm}^2$, 蒸気温度 570°C のものまで製作されるようになった。¹³⁾ 以前は鍛造ドラムが使用される機会が多くこれらは鍛鋼

品から機削して製作されたものであるが熔接作業の研究はこれらの大容量の蒸気ドラムまで曲げ熔接による製作を可能とした。またこのような大型のボイラーでは従来のSB46に代り特に力の強い材料が望まれ火力発電技術協会、通産省火力課、その他の関係者の努力により新たに“火SB49B”の規格が制定せられ、特に大型のボイラー鋼板はこの規格により製作される場合が多い。第3表にこれらの規格を示す。この“火SB49B”規格のボイラー製造は次の如き基準により行っているものである。

熔解作業は特に酸性平炉を使用し原料としては特に低燐低硫黄のものを使用し充分な酸化沸騰精煉と充分な脱酸を行い、特に健全な鋼塊が得られる如く最も注意している。鋼塊鑄型としては平型の30Ton程度のもが使用され、下注ぎ鑄込み方法により鑄込が行われる。鋼塊は赤材処理により圧延工場の加熱炉に装入され1240~1250°Cに充分均熱後400~500mm程度の厚さに荒地圧延される。次いで鋼塊のTop側の不良部分を切断し表

面スカーフイングにより充分手入れを行つた後に再び加熱圧延される。圧延後は鋼板の全面にわたりスーパーソニックテストを行い、次いで規定の寸法に切断後に焼準が行われる。材料試験としては規定の引張り試験はもちろんであるが他にサイドバンドの試験も鋼板の頂部板巾の中央部の試験片について実施せられる。なお他に鋼板の頂部よりサルファープリントを採取し、かつ硝酸エッチングにより無疵なことを確認し併せてチェック分析をも追加して実際のボイラー用鋼板が完成される。鑄込みの鋼塊重量に対して鋼板の発送重量の歩留りは約40%程度のものであつてこれは特に超厚ボイラー用鋼板が慎重な技術的検討と厳重な検査の下に製作されているからである。製作上の問題は如何にして大型鋼塊内部の偏折を含む諸欠陥をなくし健全な鋼板を製作するかといった点に要約せられる。第4表は最近の製作にかかる特に大型ボイラー用鋼板の実例を示した。

第3表 火SB49B等規格表

規 格	C %	Si %	Mn %	P %	S %	引張り強さ (T) kg/mm ²	降伏点 kg/mm ²	伸び %
(JIS) SB49B	t ≤ 25 ≤ .28 25 < t ≤ 50 ≤ .31 50 < t ≤ 100 ≤ .33	.15/.30	≤ .90	≤ .035	≤ .040	46/55	≥ TX0.5	≥ 1125/T (持1号) ≥ 1230/T (持3号)
(火力発電 技術協会) 火SB49B	≤ .30	.15/.30	≤ 1.00	≤ .040 (酸性炉) ≤ .035 (塩基 性炉)	≤ .035 (酸性炉) ≤ .040 (塩基 性炉)	49/58	≥ TX0.5	≥ 1125/T (持1号) ≥ 1230/T (持3号)
(ASTM) A212 Grade B	t ≤ 1" ≤ .31 1" < t ≤ 2" ≤ .33 2" < t < 8" ≤ .35	.15/.30 (レー ドル) .13/.33 (チエ ック)	≤ .90	≤ .040 (フラ ンヂ) ≤ .035 (ファイア ボックス)	≤ .050 (フラ ンヂ) ≤ .040 (ファイア ボックス)	49/59	≥ 26.7	≥ 18(2" フランヂ) > 19(2" ファイア ボックス) ≥ 21(8" フランヂ) ≥ 22(8" ファイア ボックス)

第4表 火力発電用大型確用鋼板の一例

鋼板寸法 (mm)	鋼塊重量 (本体)	化学成分(%)						機械的性質				曲げ 試験	スーパー ソニック テスト	端面サル ファー プリント
		C	Si	Mn	P	S	備考	引張り強さ kg/mm ²	降伏点 kg/mm ²	伸び %	備考			
169 × 3,060 × 5,070	33T	.29	.23	.66	.026	.030	レードル	57.7	35.0	30.3	T(持3号)	良	良	良
		.29	.25	.67	.025	.029	チェック	56.2	34.6	30.6	B(")	良	好	好
169 × 3,060 × 5,070	33T	.28	.26	.68	.031	.034	レードル	54.0	32.5	30.0	T(")	良	良	良
		.28	.28	.69	.027	.033	チェック	54.2	33.0	30.0	B(")	良	好	好
169 × 3,060 × 5,010	33T	.25	.28	.56	.023	.029	レードル	51.4	31.8	32.4	T(")	良	良	良
		.25	.28	.56	.023	.034	チェック	51.2	33.1	34.4	B(")	良	好	好

6. むすび

熔接構造用鋼板としての使用材料は熔接工学の発展と共に、質、量共にますます増大する傾向にある。従つてあらゆる種類の鋼板に関しては述べることはできない。耐蝕鋼としてのステンレス鋼、耐熱鋼等は別の筆者が予定されていることであり、特に重要な構造用鋼の厚板を中心として述べた。

申すまでもなく熔接構造物の製作においては、設計、工作法と同様にその使用材料が最も重要であり目的に合致した優良な鋼材の製作に努力しているものである。ただ材料製作上はあまり無理な規格及び仕様の場合は現在の製造技術水準の場合において製作困難の場合もあろう。この点特に材料使用者の理解をお願いするものである。

熔接構造用鋼の場合は特にその進歩は材料使用者よりの御指導と御鞭撻による場合が多く、最後にこの点を特にお願するものである。

【文 献】

- 1) Welding Handbook p.22 (1950)
- 2) Stout, Doty: Weldability of Steel p.6 (1953)
- 3) 木原: 鉄と鋼 40巻第1号 p.44
- 4) 岡田: Technical Report of Osaka University V. ol.4 No.127 p.361

- 5) 日本海事協会守屋技師長の帰朝報告による (1957)
- 6) 鍵和田, 宮野: 鉄と鋼 12 3 (1956) p.332
- 7) F. Nehl: Der Stahlbau 24 6 (1955) s.141
吉田他: 川崎技報 No.10 p.12
宮野: H S B鋼に関する試作研究
1956年10月1日 日本鉄鋼協会, 日本金属協会北海道支部講演大会
- 8) 木原: 熔接学会誌 26 11 (1957) p.674
- 9) 米国USS Cor-Ten high-strength low alloy steel の資料による
- 10) Doty: The Wel. J. 34 9 (1955) 425s
前田: 熔接技術 4 11 (1956) 693
中村: 球形タンクの熔接について 第2回熔接シンポジウム前刷 p.22
中村, 栗山: 熔接技術 4 6 (1956) 435
- 11) 宮野: 熔接学会誌 26 8 (1957) 493
宮野: “2 H”鋼の製造について (第1報)(第2報)(第3報)(第4報)(第5報)(第6報) 室蘭製作所研究報告
- 12) F Ebel: The Wel, J. 35 5 (1954) 215s~256s
木原, 鈴木, 田村: 運輸技術研究所報 6 7 (1956) 241
- 13) 高木: 火力発電 8 3 (1957)
高木: 熔接学会誌 26 4 (1957) 258

(15頁より続く)

同様。

ただし計算条件は次のとおりである。

I. 脚長, 9.5%。II. 使用電流, 鉄粉型, 6φ, 320 A, 高酸化鉄型, 6.4φ, 300 A。III. 層数, 鉄粉型一層高酸化鉄型, 二層。IV. その他の条件は第3表の場合と同じ。

ただし計算条件は次のとおりである。

I. 脚長, 7%。II. 使用電流, 鉄粉型5φ, 270 A, 高酸化鉄型6.4φ, 290 A。III. 層数, 一層。IV. その他の条件は, 第3表の場合と同じ。

以上の結果からいえることは、能率については鉄粉型の方がすぐれているが経済性の点では、

(1) 高酸化鉄型で一層で得られる脚長の範囲(8%以下)では、作業係数すなわちアークタイム%により大きく影響され、計算条件(アークタイム75%程度となる)では、鉄粉型の方が稍々有利となつているが、この程度の差ではむしろ各事業所における実際のアークタイム%(40~50%程度といわれているが、各事業所により相当の差が見込まれている)の条件下では高酸化鉄型の方が若干有利と判定するのが至当と思われる。

(2) 高酸化鉄型で二層で行なう場合と、鉄粉型で一層

で行なう場合とでは、作業係数が計算条件よりも相当低下してもなおかつ鉄粉型の方が有利と考えられる。

4. 結 論

鉄粉型は明かに下向熔接においては能率がよく、また経済的にも有利で、従来のイルミナイト型やチタニヤ型に代り、厚板の下向衝合や大型構造物の下向隅肉熔接への適用を期待することができるが、一方水平隅肉熔接の分野では、能率的にはもちろん鉄粉型の方がまさっているが、経済性の点では比較の対称が高酸化鉄型であるだけに、軽々しく結論することは許されない。すなわち各事業所における作業係数によつて大巾に変動するもので、例えばアークタイム%の高いほど、能率のよい鉄粉型の方が優れていることになるが、実際のアークタイム%というものは各事業所によつて異なるものなので、その場合に応じた値を適用しなくてはならない。かかる点を考慮して経済的にも鉄粉型がすぐれた結果を示すような施工例はまだ少ないものと思われる。しかしながら鉄粉の国産化、生産管理機構の確立による企業の合理化等によるコストの低減を考えれば、将来への希望は大きい。