

電氣熔接用高張力鋼板の試作研究

(昭和 28 年 4 月本會講演大會にて講演)

堀 川 一 男*

STUDY ON EXPERIMENTAL MANUFACTURE OF HIGH TENSILE STEEL SHEETS FOR ELECTRIC WELDING

Kazuo Horikawa

Synopsis:

As a high-tensile steel sheet for ship-building a Mn bearing low alloy steel like DS was hitherto used, but since electric arc welding became widely applied for the purpose of saving weight and labor, high tensile steel of superior weldability has been in demand. This study was made by the Japanese Navy technical staffs during the World War II.

Eleven kinds of steel regarded as being suitable for welding were selected with reference to the Japanese and foreign technical literatures.

Thirteen kinds of steel in all including DS and HT selected for comparison with these steels were melted with a high frequency furnace and then rolled into sheets of 12mm width. The mechanical properties, weldability and strength of butt-welded joint of these experimentally manufactured steel sheets were tested. As a result of tests, it was confirmed that DS and HT hitherto used had quite inferior weldability, while Si-Mn steel showed the most excellent properties.

In view of the test results and from the standpoint of mass production and domestic natural resources, the standard of the components of steel experimentally manufactured by an O.H. furnace was determined as follows: C 0.15~0.20%, Si 0.3~0.7% and Mn 0.9~1.2%. Eight charges were melted, poured into 6~18t ingots and rolled into 12~22 mm wide sheets in the Kuré Naval Arsenal and Yawata Iron Works. Several types were performed on these experimentally manufactured sheets, and they showed generally satisfactory results.

Mechanical properties of these sheets were as follows: Yield point 32~43 kg/mm², tensile strength 52~60 kg/mm², elongation 23~32% (G.L.=200 mm)

Trial use of these sheets for construction of submarines with an application of welding showed excellent results without causing any defects.

I. 緒 言

現在迄に造船関係で使用された高張力鋼板は D.S. 或は H.T. 等 C 0.20~0.35%, Mn 0.7~1.5% の Mn 系低合金鋼である。然し最近造船界の発展に伴い船体構造に電氣熔接が盛に應用されるに至り、造船用の鋼板並に条鋼は熔接性の良好なことが必要条件となつた。熔製並に圧延が容易で熱処理を必要としない低合金高張力鋼に関しては我国に於ても既に二、三の研究発表が行われているが¹⁾²⁾、これらは主として機械的強度を対象としたものであつて、熔接性を主要な目標とした研究は見当らないようである。

旧日本海軍に於ては昭和 16 年暮から呉工廠に於て、造船実験部と製鋼実験部が協力して電氣熔接用の高張力鋼板の試作研究を開始し、第二次大戦の末期には一応実用の域に達することが出来た。本研究の経過に就ては造船側の担当者であつた寺尾氏が造船協会で一部を発表しているが、最近に至り鉄鋼関係でも問題になりつゝあるので茲に詳細な記録を紹介して関係各位の御参考に供する次第である。

II. 研究 方 法

* 日本鋼管川崎製鐵所技研

内外の文献に発表された低合金高張力鋼のうちから熔接性の点で有望と思われるもの 11 種と比較のため現用 D.S. 及び H.T. を加えた 13 種を小型炉によつて熔製し、12mm 厚の鋼板に圧延して各種の試験を行い、その結果最も成績の良い鋼種について大型炉による鋼板の試作を行つて確認することとした。

小型炉による鋼板試作の目標は一応次の如くに定めた。

- (1) 電気熔接を施しても材質的欠陥を生じないこと。
- (2) D.S. と同程度に鋳及び条材として多量生産の可能なこと。
- (3) 機械的強度は抗張力 $55\text{kg}/\text{mm}^2$ 以上、伸(標点距離 200mm) 20% 以上、衝撃値アイゾット $7\text{kg}\cdot\text{m}$ 以上のこと。

母材の試験としては先ず化学分析を行い、圧延方向から試験片を採取して抗張試験、屈曲試験、衝撃試験及び硬度試験を行つた。

熔接性の試験としては変態点 (A_{c1} と A_{r1} の差)、急熱急冷後の硬度 (10mmφ×20mm の円柱を 800°C 鉛浴中に 25 秒浸漬後水焼入) 及びビード置屈曲試験による亀裂発生角度等を測定した。

最後に V 型の衝合熔接々手を作製して抗張、衝撃、硬度、屈曲等の諸試験を行つた。

以上の諸試験に用いた試験片の形状寸法は第 1 図に示す通りである。(母材の抗張、屈曲及び衝撃試験片は JES 通りに付省略)

尙当時はまだ低温脆性が問題となつていなかつたのでこの種の試験は施行しなかつた。熔接に使用した熔接棒は MK 23 号と称した抗張力 $48\text{kg}/\text{mm}^2$ 、伸 28~34% のイルミナイト系被覆軟鋼棒であつて、被覆材の配合は第 1 表の通りである。

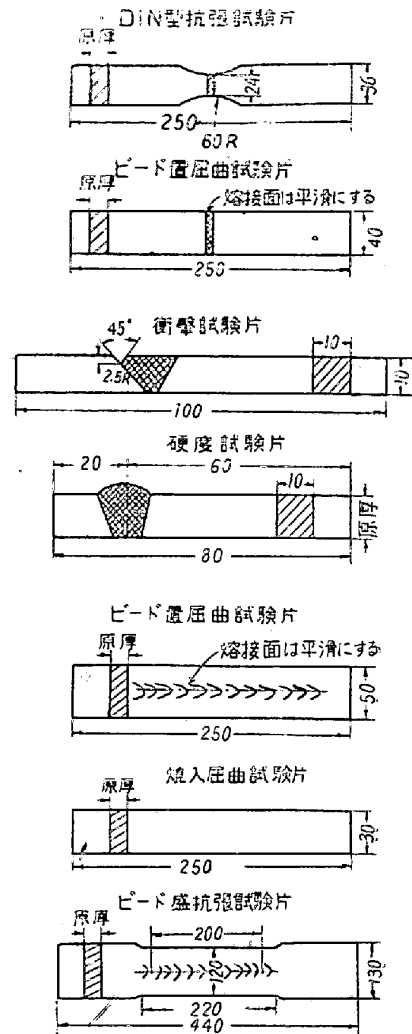
第 1 表 使用熔接棒の被覆剤配合割合 (%)

原 料	割 合	原 料	割 合
イルミナイト	30	石 綿	10
二酸化マンガン	5	珪 砂	15
フェロマンガ	15	デキストリン	5
タ ル ク	20		

III. 小型爐による試験

(1) 熔製及び圧延

内外の文献を参考として拵んだ試作成分目標は第 2 表



第 1 圖 各種試験片の形状寸法

に示す通りである。各鋼種について 50kg 高周波電気炉により小型鋼塊を熔製し小型ロールで厚さ 12mm (巾 500mm 長さ 1,000mm の鋼板にした。試製した鋼板の化学成分は第 3 表の通りであり、試料 No.4 の C、No.7 の Mn 及び No.9 の C が少々低目となつた外は大体目標通りの成分が得られた。

(2) 試製鋼板の機械的性質

試製した各鋼板から圧延方向に平行に試験片を採取して機械的試験を行つた結果は第 4 表の通りであつた。抗張試験成績は 2 回の試験の平均値であり、衝撃試験成績は 3 回の試験の平均値をとつてある。目標に対して抗張力及び伸びに合格したものは試料 No. 3, 8 及び 13 であり、抗張力及び衝撃値に合格したものは試料 No.1 3, 8, 10 及び 11 であつて、全部に合格した最も優秀なものは試料 No.3 の Si-Mn 鋼と No.8 の Mn-Cu 鋼であつた。この他の試料は化学成分を加減すれば目標に合格させることが出来たかも知れないが、今回の結果

第2表 試製鋼板の化學成分目標

試料 No.	鋼 種	成 分 目 標 (%)								備 考
		C	Si	Mn	Cu	Cr	Ni	Mo	V	
1	D.S.	0.25		1.5						現用, (英) D.S.
2	H.T.	0.25		1.0						現用, 吳廠鋌材の研究
3	Si-Mn 鋼	0.13	1.0	0.8						(獨) ST52, 吳廠鋌材の研究
4	Si-Cr 鋼	0.13	1.0			0.5				(米) U.S.S. Cor-Ten
5	Cr-Mo 鋼	0.15				0.5		0.15		熔接協會誌 Vol.3, No.4
6	Cr-Cu 鋼	0.15			0.6	0.5				(獨) ST52
7	Mn-Mo 鋼	0.15		0.8				0.15		(米) Mo-Steel, 吳廠鋌材の研究
8	Mn-Cu 鋼	0.18		1.3	0.5					(獨) ST52(米)U.S.S.Man-Ten
9	Si-Cr-Cu 鋼	0.18	0.4		0.3	0.75				(英) Chromandor, (米)U.S.S. Cor-Ten
10	Mn-Cu-Mo 鋼	0.18		1.1	0.4			0.2		(獨) ST52 (米) Mo-Steel
11	Si-Mn-Cr 鋼	0.20	0.7	1.2		0.5				(米) Chromansil
12	Mn-V 鋼	0.16		1.5					0.15	(米) Vanadium Steel
13	Si-Mn-Ni-Cu 鋼	0.10	0.9	1.9	0.4		0.4			(米) Ni-Steel Inland

第3表 試製鋼板の化學成分

試料 No.	鋼 種	C	Si	Mn	Cu	Cr	Ni	Mo	V
1	D.S.	0.26	0.07	1.46	0.22	0.10	0.21		
2	H.T.	0.26	0.09	0.93	0.21	0.10	0.27		
3	Si-Mn 鋼	0.12	0.99	0.73	0.20	0.11	0.16		
4	Si-Cr 鋼	0.09	0.99	0.17	0.25	0.52	0.36		
5	Cr-Mo 鋼	0.15	0.12	0.17	0.19	0.46	0.35	0.15	
6	Cr-Cu 鋼	0.15	0.07	0.13	0.61	0.45	0.16		
7	Mn-Mo 鋼	0.14	0.06	0.61	0.21	0.09	0.29	0.18	
8	Mn-Cu 鋼	0.18	0.07	1.13	0.51	0.13	0.30		
9	Si-Cr-Cu 鋼	0.15	0.35	0.14	0.31	0.73	0.27		
10	Mn-Cu-Mo 鋼	0.18	0.10	1.06	0.41	0.13	0.31	0.21	
11	Si-Mn-Cr 鋼	0.21	0.72	1.13	0.24	0.52	0.21		
12	Mn-V 鋼	0.18	0.10	1.42	0.27	0.19	0.18		0.13
13	Si-Mn-Ni-Cu 鋼	0.10	0.92	0.86	0.48	0.14	0.55		

第4表 試製鋼板の機械的試験成績

試料 No.	鋼 種	降 伏 點 (kg/mm ²)	抗 張 力 (kg/mm ²)	伸 (%)	衝 撃 値 (kg-m)	硬 度 (ビッカース)
目	標		>55	>20	>7	
1	D.S.	47.1	65.8	16.5	7.7	216
2	H.T.	52.9	66.1	14.7	6.3	215
3	Si-Mn 鋼	42.8	55.4	22.2	8.3	182
4	Si-Cr 鋼	36.6	49.1	18.8	14.1	170
5	Cr-Mo 鋼	30.7	45.0	24.3	11.6	157
6	Cr-Cu 鋼	37.7	48.8	15.8	7.1	164
7	Mn-Mo 鋼	40.2	50.8	17.5	8.3	161
8	Mn-Cu 鋼	41.8	56.2	22.7	9.0	183
9	Si-Cr-Cu 鋼	38.0	50.3	20.7	13.3	171
10	Mn-Cu-Mo 鋼	41.4	57.3	18.2	8.3	196
11	Si-Mn-Cr 鋼	47.9	67.3	18.0	9.3	201
12	Mn-V 鋼	55.3	70.8	15.8	4.5	214
13	Si-Mn-Ni-Cu 鋼	43.0	57.3	27.8	6.3	166

では強度或は韌性が少々欠けていた。

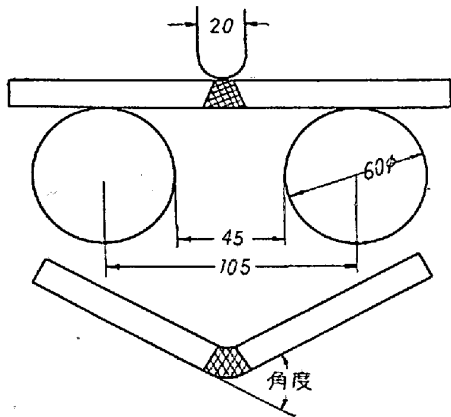
(3) 試製鋼板の熔接性

鋼材の熔接性については明確な定義が与えられていないが、熔接を行った場合に母材の受ける硬化性と亀裂発

生に対する感受性とを以て表わすことが出来ると思われる。従つて鋼材が加熱冷却を受ける場合の変態点の履歴範囲である Ac_1-Ar_1 の差が小さい程硬化性が少くて熔接性は優れていると考えられる。同様に、熔接した場合

の熱影響部と近似の熱処理を受けた場合に硬度上昇の軽微なもの程熔接性は好ましいと考えられるので、小試片を 800°C の鉛浴中に 25 秒間浸漬急熱し直ちに水中に焼入れてその硬度を比較した。又熔接々手の熱影響部の最高硬度を測定してその比較も行った。

最後に、熱影響部に於ける鋼材の変形能力の減少と硬化が亀裂の発生を促進するといわれているので、圧延方向から試験片を採取して縦方向にビードを置き、ビード面を平滑に削った上でその面を外側にして屈曲試験を行つてビードを置いた巾の全面に亀裂を生じた場合の最大屈曲角度を測定した。屈曲試験の要領を第 2 図に示した。



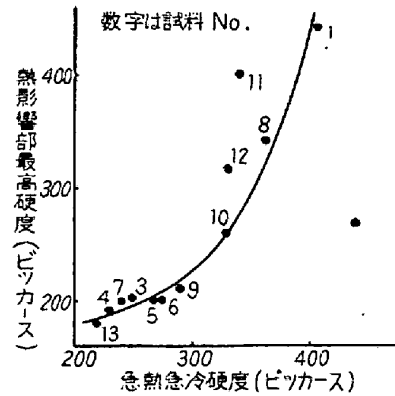
第 2 圖 屈曲試験要領

圖は熔接々手屈曲試験の場合。ビード置屈曲試験の場合も同様であるが、ビード置後平に削った面を下側(張力側)とする。

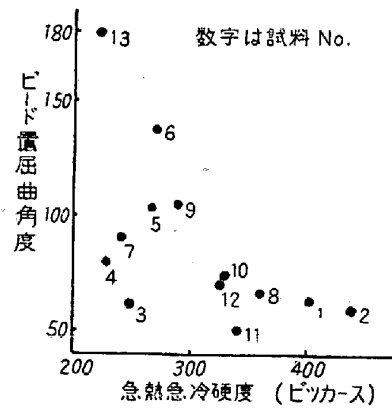
試験成績に第 5 表の通りであつた。変態履歴 Ac_1-Ar_1 の値が大きい程急冷試験の硬度及び熔接々手の熱影響部の硬度を大きくする傾向が認められ、ひいてはビード置屈曲試験に於ける屈曲角度を小さくしている。然しバラツキは相當に大きい。これは変態の測定を本多式熱膨脹試験機を使用して行つているために加熱冷却が熔接の場

合のように急速でないことに因るものであろう。従つて Ac_1-Ar_1 の値は参考の程度にしか役立たないと思われる。

急熱急冷後の硬度と熔接々手の熱影響部の最高硬度との間には第 3 図に示すように密接な関係が存在している。又急熱急冷後の硬度とビード置屈曲角度の関係を圖示すると第 4 図の通りであつて、硬度の高い鋼種程角度



第 3 圖 熔接々手熱影響部最高硬度と急熱急冷硬度との関係



第 4 圖 ビード置屈曲角度と急熱急冷硬度との関係

第 5 表 試製鋼板の熔接性試験成績

試料 No.	鋼 種	熱 膨 脹 試 験 (°C)			急熱急冷試 験 (V _{II})	熔接々手熱 影響部最高 硬度	ビード置屈 曲試験 (角度)
		Ac ₁	Ar ₁	Ac ₁ -Ar ₁			
1	D.S.	723	608	115	405	441	64
2	H.T.	728	647	81	438	272	60
3	Si-Mn 鋼	838	790	48	251	200	62
4	Si-Cr 鋼	853	820	33	230	192	79
5	Cr-Mo 鋼	757	745	2	267	202	104
6	Cr-Cu 鋼	743	745	-2	272	202	138
7	Mn-Mo 鋼	733	730	3	243	191	91
8	Mn-Cu 鋼	723	668	55	363	339	67
9	Si-Cr-Cu 鋼	760	728	32	292	212	106
10	Mn-Cu-Mo 鋼	730	678	52	331	257	74
11	Si-Mn-Cr 鋼	750	665	85	342	401	51
12	Mn-V 鋼	730	615	115	328	315	71
13	Si-Mn-Ni-Cu 鋼	830	778	52	223	180	180

が小さくて不良であるが、バラツキは可成り大きい。バラツキの大きい理由はビード置屈曲試験が板厚 20mm 程度以下の場合には表面の応力が小さいために比較的精度が落ちることによるものと思われる。

以上の検討により結局熔接性の目安としては急熱急冷試験の成績或は熔接々手の熱影響部の最高硬度を採るのが最も適当であり、この観点から判定すると、試料 No. 3, 4, 7 及び 13 が良好であるということになる。

(4) 試製鋼板の衝合熔接々手の機械的性質

各試製鋼板について衝合熔接々手の機械的性質を測定した結果は第 6 表に示す通りである。抗張及び屈曲試験

第 6 表 試製鋼板の衝合熔接々手の機械的試験成績

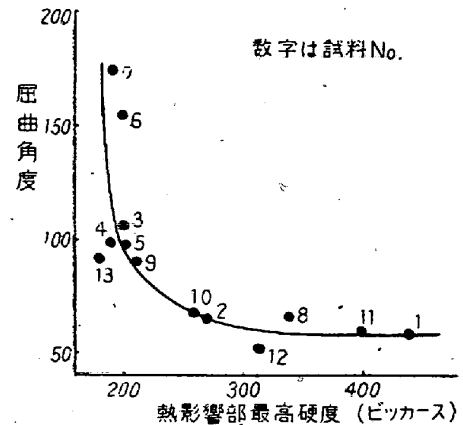
試料 No.	鋼種	抗張力 (kg/mm ²)	伸 (%)	衝撃値 (kg-m)	屈曲角度 (°)
目 標		>55	>15	>7	
1	D.S.	63.8	9.7	7.2	58
2	H.T.	56.5	11.1	6.6	65
3	Si-Mn 鋼	56.9	16.7	8.3	106
4	Si-Cr 鋼	56.4	24.3	13.5	99
5	Cr-Mo 鋼	53.8	20.8	12.1	98
6	Cr-Cu 鋼	53.1	17.4	9.2	155
7	Mn-Mo 鋼	54.6	14.6	8.9	175
8	Mn-Cu 鋼	60.3	13.9	6.6	66
9	Si-Cr-Cu 鋼	52.6	13.9	13.1	91
10	Mn-Cu-Mo 鋼	60.2	13.9	7.6	68
11	Si-Mn-Cr 鋼	61.8	12.3	8.4	60
12	Mn-V 鋼	62.6	11.1	6.3	52
13	Si-Mn-Ni-Cu 鋼	56.6	14.6	5.8	92

成績は 2 回の試験の平均値であり、衝撃試験は 5 回の試験の平均値である。衝合熔接々手の性質は元来使用した熔接棒の性能或は熔接操作の技能を表わすものであるが一部は鋼板の熔接性をも示すものである。特に今回の試験に於ては熔接棒と熔接者を常に一定にしたから第 6 表の数値は試製鋼板の熔接性を示すものと考えられる。

一応目標を抗張力 55kg/mm² 以上、伸 15% 以上、衝撃値 7kg-m 以上と定めるとこれに合格するものは試料 No. 3 及び 4 で、これに次ぐものとして No. 7 及び 13 を挙げる事が出来る。この結論は前項で述べた熔接性試験の結論とよく一致しており、鋼材の熔接性の目安として急熱急冷後の硬度又は接手熱影響部の最高硬度を採つたことの妥当性を裏書きするものである。念の為に衝合熔接々手の熱影響部の最高硬度と屈曲角度の関係を図示すると第 5 図に示すように密接な関係が存在している。

(5) 小型炉による試験の結論

以上の諸成績を総合すると次の通りである。



第 5 図 衝合熔接々手の屈曲角度と熱影響部最高硬度の関係

試料 No. 1 (DS) 及び No. 2 (HT) は現在までに造船用の高張力鋼として採用されてきた鋼種であるが C, Mn が高いために母材及び接手の靱性が不足し熔接性が甚しく不良であるから見込がないと考えられる。試料 No. 3 (Si-Mn 鋼) は母材の機械的性質、熔接性及び接手の性質の何れも優秀であり、資源的にも最も有望である。これに Ni 及び Cu を添加して C を稍低下させ試料 No. 13 (Si-Mn-Ni-Cu 鋼) は母材の機械的性質、熔接性、接手の性質等何れも優秀で、衝撃値だけが稍々低目であつた。然し Ni 及び Cu 使用の点で資源的に好ましくない。試料 No. 4 (Si-Cr 鋼) と No. 7 (Mn-Mo 鋼) は強度が稍々不足であるが靱性が高く熔接性が優秀であるから化学成分を加減すれば相当有望である。

試料 No. 9 (Si-Cr-Cu 鋼). No. 10 (Mn-Cr-Mo 鋼) No. 11 (Si-Mn-Cr 鋼) 及び No. 12 (Mn-V 鋼) は機械的性質並に熔接性が稍々劣る上に成分が複雑であるから多量生産上に難色がある。

試料 No. 8 (Mn-Cu 鋼) は母材の機械的性質は良好であるが熔接性の点で余り見込はない。試料 No. 5 (Cr-Mo 鋼) 及び No. 6 (Cr-Cu 鋼) は母材の強度が甚しく不足で靱性の高い割に熔接性が良好でないから不適當な鋼種であると思われる。

結局試料 No. 3 (Si-Mn 鋼) があらゆる点から電氣熔接用高張力鋼として最も適しているという結論になる。

IV. 大型爐による試験

(1) 熔製及び圧延

小型炉による試験結果と国内資源及び多量生産等の見地から、大型炉によつて試製する鋼種を C 0.18%, Si 0.5%, Mn 1.0% の Si-Mn 鋼とし、熔製時に於ける成分目標を C 0.15~0.20%, Si 0.3~0.7%, Mn 0.9

~1.2%, P, S 0.035% 以下, Ni 0.3% 以下, Cr 0.2% 以下とした。製鋼及び圧延方法の影響を確かめるために呉工廠製鋼部と八幡製鉄所に協力を求めて第7表に示す如く酸性平炉と塩基性平炉で數chを熔製し、これを12~22mm厚の鋼板に圧延した。熔製時にAlを相当多量に使用したものを加えたのは当時ドイツから指導のために來朝した H. Schmidt 博士の勸告に基き細粒鋼を得るためである。

第7表 大型爐による鋼板の試製要領

回次	製鋼	壓延	爐 別 Ch.No. 鋼塊單重	Al 使用量 (kg/t)	鋼厚 (mm)	鋼塊位置			
I	吳	八幡	AOH 59091 18t	0	22 12 22	T M B			
			BOH 18025 15t				0	22 12 22	T M B
			BOH 18041 15t						
II	吳 吳	八幡	AOH 59856 18t, 6t	1	22 12 22	T M B			
			BOH 18446 18t, 6t				1	22 12 22	T M B
			BOH 18454 18t, 6t						
III	八幡	八幡	BOH S 99228 15t	1	14 16 18 22				
			BOH S 99714 15t				0	14 16 18 22	

備考 AOH: 酸性平爐, T: 鋼塊頭部
BOH: 鹽基性平爐, M: " 中央部
B: " 底部

(2) 試製鋼板の試験方法

試製した各鋼板については小型炉による試製板の場合と同様の各種の試験を行つたが、特に H. Schmidt 博士の勸告もあり次の如く試験の追加或は変更を若干行つた。

母材の機械的試験としては1号型抗張試験の他に4号型抗張試験及び標点距離の短い板型の Dr. Schmidt 型

抗張試験を追加した。4号型試験片は鋼厚 18mm 及び 22mm に対しては標点距離を 35mm とし、鋼厚 12mm 14mm 及び 16mm に対しては標点距離を 25mm とした。又 Dr. Schmidt 型試験片は鋼厚 18mm 及び 22mm に対しては標点距離を 100mm とし、鋼厚 12mm 14mm 及び 16mm に対しては標点距離を 70mm とした。

衝撃試験はアイゾット型をシャルピー型に変更した。

熔接性の試験には巾 30mm 長さ 250mm の試験片を 900°C に加熱して 20°C の油中に焼入れ、試験片の温度が 400~500°C に冷却した時直ちに 20°C の水中に焼入れたものについて屈曲する所謂焼入屈曲試験と、巾 120mm 標点距離 200mm の試験片によるビード盛抗張試験を追加した。このビード盛抗張試験には 400t 試験機を使用した。尙参考として学振法による非金属介在物の清浄度とオーステナイト結晶粒度の試験も行つた。

熔接々手の試験方法は、小型炉の試製鋼板の場合と全く同様で、唯衝撃試験片の形状をアイゾット型からシャルピー型に変更した。

各試験は少く共 2 回以上行いその平均値を採つた。これらの試験に就ては予め目標値を定めたが、焼入屈曲試験以外はすべて圧延方向と平行に採取した試験片の成績に対するものであるが、以下に述べる試験成績表の最上欄にこれらの数値を示してある。

(3) 第1回試製鋼の成績

第1回目の試製は第7表の如く熔解を吳で行い圧延を八幡で行つたものである。酸性平炉 1ch. と塩基性平炉 1ch. は普通に出鋼したが、塩基性平炉 1ch. は出鋼時に Al を特に 1kg/t 使用した。試製鋼の各種試験成績中主要な数値を第8表に示した。化学成分は一応目標に合格しているが ch. 59091 は衝撃値、ビード置屈曲値及び接手の性質に稍劣るものがあつた。ch. 12025 は降伏点衝撃値及び接手屈曲値に合格しないものがあつた。又 ch. 18041 は機械的性質には難点はなかつたが熔接性と熔接々手の性質が悪かつた。結局化学成分としては Si が低目であると降伏点に合格せず、C が高目であると熔接々手の性質が劣り、又 Mn が高目となると熔接性に難色を生ずることが判つた。従つて理想とする成分の目標は C 0.16~0.17%, Si 0.4~0.5%, Mn 1.0~1.1% ということになる。

一方 22mm 厚の鋼と 12mm 厚の鋼を比較すると母材の機械的性質は 22mm 厚鋼の方が抗張力約 1kg/m² 低目である他は特に變つていないけれども、熔接性

第8表 大型爐による第1回試製鋼の各種試験成績

製鋼爐 Al 使 用量 Ch, No. 鋼塊單 重	鋼塊 方 位置	母 材 の 材 質 試 験										シヤルビ - 衝撃値 m-kg/cm ²	硬度 Hv
		1 號引張試験			4 號引張試験			Dr. S. 型引張試験					
		降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %			
目標			>55	>20				>34	>52	>18	>12		
AOH 0k/t	22 T 12	(33.2) (33.8) (34.5)	(53.5) (53.7) (54.8)	(31.2) (29.0) (31.5)	35.3 35.8 36.8	56.8 57.1 58.3	35.5 33.4 35.7	(35.3) (36) (37)	(56.8) (57) (58)	(24.0) (22.9) (24.2)	11.4 6.7 12.3	174 199	
59091 18t	M 22 B	(34.0) (31.9) (33.2)	(54.0) (51.0) (50.8)	(26.3) (33.8) (28.5)	36.2 33.8 35.2	57.6 54.0 53.9	31.1 37.8 32.9	(36) (33.8) (35)	(58) (54.0) (54)	(22.0) (26.0) (22.7)	5.3 19.2 7.6	165	
BOH 0k/t	22 T 12	(29.9) (29.8) (38.5)	(48.8) (48.9) (59.5)	(34.0) (29.0) (28.0)	31.5 31.4 40.9	51.8 52.1 63.4	38.0 34.3 32.3	(32) (31) (41)	(52) (52) (63)	(26.2) (23.5) (22.5)	12.8 7.4 8.7	169 196	
18025 15t	M 22 B	(38.0) (34.6) (29.6)	(60.3) (52.4) (46.0)	(37.2) (30.1) (29.5)	40.2 36.7 31.2	64.2 55.5 48.8	31.8 34.6 34.0	(40) (36.7) (31)	(64) (55.5) (49)	(22.3) (23.5) (23.2)	11.6 24.4 7.7	167	
BOH 1k/t	22 T 12	(40.0) (44.0) (32.5)	(59.4) (63.0) (49.8)	(28.0) (21.4) (33.1)	42.5 46.8 34.4	63.2 66.9 53.0	32.5 26.6 37.3	(43) (47) (34)	(63) (67) (53)	(22.6) (21.0) (25.5)	13.8 6.3 14.3	182 187	
18041 15t	M 22 B	(31.5) (40.0) (40.5)	(49.3) (56.6) (57.3)	(33.8) (28.0) (23.0)	33.3 42.4 43.0	52.5 60.0 61.0	37.9 32.2 27.9	(53) (42.4) (43)	(38) (60.0) (61)	(26.1) (22.5) (21.2)	13.7 18.8 6.8	197	

化 學 成 分										焊 接 性 試 験				熔 接 々 手 試 験			
C %	Si %	Mn %	T. Al %	疵發生 角	疵發生 角	ビード盛引張試験				DIN 型引張 試験		シヤルビ - 衝撃値 m-kg/cm ²	熱影響 部最高 硬度 Hr	屈曲 試験 角			
						素 材	ビード盛		抗張力 kg/mm ²	伸 %	抗張力 kg/mm ²				伸 %	抗張力 kg/mm ²	伸 %
0.15~ 0.20	0.30~ 0.70	0.90~ 1.20		>60	>90					>52	>15	>5	<300	>70			
0.19	0.64	0.95	0.023	63	180	55.4	29.6	53.2	9.1	56.3	14.8	7.7	241	62			
0.14	0.62	0.94	0.018	114	180	61.1	25.7	57.4	11.4	62.9	18.3	7.3	254	76			
0.19	0.64	0.95	0.022	54	180	53.5	30.0	52.1	9.9	56.7	12.4	6.0	263	73			
0.15	0.35	1.01	0.027	74	180	51.2	31.3	52.5	17.8	51.5	15.1	7.3	281	39			
0.15	0.36	1.00	0.020	101	180	62.1	21.6	62.1	9.5	62.0	17.6	9.3	319	53			
0.15	0.35	0.99	0.030	61	180	51.5	26.7	49.9	18.2	54.0	24.1	10.3	252	62			
0.19	0.58	1.12	0.065	35	65	62.8	26.5	58.3	8.9	56.4	14.8	8.8	275	56			
0.18	0.55	1.17	0.061	98	180	61.1	21.6	53.8	13.4	58.4	24.2	7.6	251	101			
0.19	0.58	1.10	0.062	38	180	54.2	25.0	61.6	12.9	58.9	10.8	9.1	300	36			

備 考 (以下同様): AOH, BOH は酸性平爐, 鹽基性平爐の略, T, M, B は鋼塊の頭, 中, 底部の略, ||, ⊥ は壓延方向に平行, 直角の略, () は換算値.

第9表 大型爐 による 第 2

歴 延 工 場	製鋼爐 Al 使用 量 Ch, No. 鋼 塊單重	試 驗 方 向	母 材 の 材 質 試 験										
			1 號 引 張 試 験			4 號 引 張 試 験			Dr. S. 型 引 張 試 験			シャルビ - 衝 撃 値	硬 度
			降 伏 點 kg/mm ²	抗 張 力 kg/mm ²	伸 %	降 伏 點 kg/mm ²	抗 張 力 kg/mm ²	伸 %	降 伏 點 kg/mm ²	抗 張 力 kg/mm ²	伸 %	m-k g/cm ²	Hv
	目 標			>55	>20				>34	>52	>18	>12	
吳	AOH 1k/t	22	31.8	53.4	28.0	33.1	55.3	33.0	31.2	53.9	22.8	19.1	169
		T	32.7	53.4	23.6	34.3	56.2	27.6	33.1	52.3	24.0	5.4	
	59856 18t	12		52.3	24.6	33.8	55.1	33.5	33.5	54.1	20.0	17.2	158
		M	35.0	53.8	20.0	35.2	55.7	28.7	32.2	50.4	12.9	5.4	
		22	32.4	50.9	26.4	31.9	51.7	36.6	30.4	50.1	23.8	19.9	166
		B	32.5	51.4	24.7	32.4	51.8	32.4	31.1	51.0	21.3	6.4	
歴 延 燒	BOH 1k/t	22	36.0	51.3	29.2	34.8	53.8	35.5	33.0	51.1	25.2	19.9	163
		T	35.1	50.9	27.6	34.9	54.4	33.1	33.7	52.0	23.8	10.1	
	18446 18t	12	30.5	49.2	24.5	31.5	52.2	35.6	29.6	50.8	23.9	18.1	141
		M	32.1	50.1	24.0	34.2	52.6	31.3	29.0	46.9	18.7	6.8	
		22	33.1	49.9	31.2	31.5	48.1	41.0	32.1	49.8	27.3	27.4	167
		B	32.5	48.7	29.1	31.9	49.1	37.6	31.0	48.0	25.4	13.4	
準	BOH 0.8k/t	22	35.7	55.8	25.0	38.5	58.5	31.0	37.0	56.6	21.4	11.5	165
		T	31.1	55.7	25.9	38.6	58.1	33.7	38.3	56.4	25.0	10.0	
	18454 18t	12	34.7	53.2	24.9	34.6	56.1	35.3	32.4	54.3	17.1	11.9	162
		M	35.9	53.9	24.8	34.9	56.4	31.8	33.1	54.7	14.8	8.2	
		22	35.7	52.9	28.3	34.2	53.3	37.0	32.1	51.6	25.7	17.8	174
		B	36.1	53.4	26.8	35.3	53.7	36.2	31.8	51.7	27.4	14.6	
八 幡	AOH, 1k/t 59856, 18t	22	37.8	54.2	26.5	36.5	57.8	35.2	37.2	56.4	25.1	26.5	167
		B	37.7	54.7	22.4	35.5	56.0	30.3	36.5	56.3	21.9	8.8	
橋	BOH, 1k/t 18446, 18t	22	36.3	52.5	31.6	35.3	52.2	36.9	35.7	52.5	28.3	25.0	169
		B	37.1	52.7	25.4	35.9	52.9	34.2	35.1	51.5	25.7	8.8	
歴 延	BOH, 0.8k/t 18454, 18t	22	35.3	55.3	27.5	38.9	56.0	35.9	36.7	57.2	21.0	22.4	171
		B	36.8	55.5	26.3	38.4	55.7	30.3	36.2	55.7	19.1	8.3	

と熔接々手の性質は 22mm 厚鉄の方が相当劣っており厚鉄になる程熔接性が問題になることが判る。

又 Al 使用量の影響はオーステナイト粒度が Al を特に多量に使用したものの方が粒度番号 5 よりも細粒であり Al を特に多量に使用しなかつたものが 3 以下の粗粒を示した他は熔接性及び接手の性質に対して別に明瞭な影響は認められなかつた。

急熱急冷試験の成績、変態点の履歴等は鋼種が一定であるため各試験鋼板の間に著しい差違は認められなかつた。非金属介在物の測定結果は Al を多量に使用した場合の方が A 型が減り B 型が増してはいたが、これも熔接性又は熔接々手の性質との間に明瞭な関係は認められなかつた。従つてこれらの測定結果は紙面の都合上すべて省略した。

(4) 第 2 回試験鉄の成績

第 2 回目の試験は第 7 表に示したように熔解を呉で行い圧延を呉と八幡で行つて圧延作業の比較を行つた。成分目標は第 1 回試験の成績に基き C 0.17%, Si 0.45%, Mn 1.0% を狙うことにし, Al は各 Ch 共 0.8~1.0 kg/t を使用した。尙鋼塊単重 18t のものと 6t のものに注ぎ分けて製品の均一性に及ぼす影響を調査した。

試験鉄の各種試験成績中主要な数値を第 9 表に示した。6t 鋼塊から圧延した鉄と、18t 鋼塊から圧延した鉄を比較したところ鋼塊頭底間の機械的性質の差が、いずれも平均して抗張力 2~3kg/mm², 伸 0~3% の範囲に入り殆んど差がなく、熔接性や熔接々手の性質に就ても両者間に優劣が認め難かつた。従つて 6t 鋼塊から圧延した鉄の成績は紙面の都合上第 9 表から省略してある。第 9 表から判るように化学成分は何れも規格を満足し目標に極めて近接していた。然し呉で圧延したものは

回試製鋼の各種試験成績

化 學 成 分				熔 接 性 試 験						熔 接 々 手 試 験				
				ビード焼入屈 置屈曲 試験		ビード盛引張試験				DIN 型引張 試験		シャルピ -衝撃値		熱影響 部最高 硬度
C %	Si %	Mn %	T. Al %	疵發生 角	疵發生 角	抗張力 kg/mm ²	伸 %	抗張力 kg/mm ²	伸 %	抗張力 kg/mm ²	伸 %	m-kg/cm ²	Hv	疵發生 角
0.15~ 0.20	0.30~ 0.70	0.90~ 1.20		>60	>90					>52	>15	>5	<300	>70
0.19	0.50	0.98	0.05	99	180	52.8	25.5	51.9	8.3	51.5	10.4	7.5	229	102
0.17	0.51	1.00	0.049	149	180	50.9	21.8	55.1	16.3	60.2	19.4	7.0	244	77
0.16	0.50	0.97	0.05	90	104	51.9	19.7	54.3	12.1	57.3	13.0	5.4	252	82
0.17	0.49	0.89	0.048	96	143	50.1	28.5	52.5	10.9	57.2	18.1	7.1	220	140
0.17	0.52	0.91	0.049	91	153	51.4	25.3	53.6	18.8	54.9	25.6	7.2	234	104
0.15	0.48	0.88	0.047	109	180	49.3	24.9	56.8	9.5	53.4	18.2	8.0	246	76
0.17	0.45	1.15	0.046	101	129	48.1	15.9	59.8	11.0	57.1	14.2	6.8	341	53
0.17	0.43	1.12	0.049	81	95	54.9	11.7	56.7	15.5	62.0	18.7	7.0	312	71
0.17	0.41	1.10	0.050	91	124	53.4	22.6	51.5	6.0	58.0	15.9	8.6	278	100
0.16	0.50	0.97	0.05	80	180	54.7	12.5	55.0	13.8	60.4	10.5	6.1	367	80
0.15	0.48	0.88	0.047	95	180	53.3	25.9	53.5	18.5	58.1	17.0	4.0	233	71
0.17	0.41	1.10	0.050	81	180	52.4	6.6	55.2	13.2	59.0	17.5	8.8	264	79
						54.8	27.2	56.2	15.2					
						55.4	24.5							
						52.2	27.8							
						52.8	22.8							
						55.6	19.9							

圧延機の性能上仕上圧延温度が低下して圧延の儘では強度が過大で靱性に乏しかったため焼準を行う必要が生じた。焼準後の機械的性質は焼準効果が効き過ぎたためか降伏点並に抗張力が低くなって目標に合格しなかった。

一方呉で熔製した鋼塊を入幡に送って圧延した鋼は何れも機械的性質が良好で、熔接性も難色がなかった。唯熔接々手の性質は酸性平炉製のものが伸が少々不足していたが塩基性平炉製のものは良好で、特に ch 18454 は全く満足すべき鋼であった。

(5) 第3回試製鋼の成績

第3回目の試製は第7表に示したように熔解も圧延も共に入幡で行ってみたものである。

試製鋼の各種試験成績は第10表に示す通りである。

目標成分の規格範囲には入っていたが ch. S 99228 は C, Si 共に下限に近かったために母材の降伏点が目標に

達しなかった。ch. S99714 の方は母材の機械的性質と熔接性が共に良好で、接手の性質も 22mm 厚の鋼以外は大體良好であった。ここに於ても亦 20mm 以上の厚味になると熔接上に問題の起ることが判る。

(6) 大型炉による試験の結論

以上に述べた3回に亘る大型炉による研究の結果、降伏点 34kg/mm² 以上、抗張力 52kg/mm² 以上、伸 13% 以上の機械的性質を有する鋼厚 12~22mm の電氣熔接用高張力鋼板を製造するためには次の事項に考慮を払えばよいことが明かになった。

1) 製鋼炉、酸性平炉でも可能であるが多量生産と接手の靱性から考えて塩基性平炉が適している。

2) 化学成分 試製の当初に決めた C 0.15~0.20% Si 0.3~0.7%, Mn 0.9~1.2% の規格を満足すれば大體差支えないが各成分共下限に近い時は母材の降伏点が

第10表 大型爐による第3

製鋼爐 Al 使 用量 Ch.No. 鋼塊單 重	試 驗 方 向	母 材 の 材 質 試 験										シヤルビ - 衝撃値 m-kg/cm ²	硬度 Hv
		1 號 引 張 試 験			4 號 引 張 試 験			Dr. S. 型 引 張 試 験					
		降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %			
目 標			>55	>20			>34	>52	>18	>12			
BOH Ok/t S99714 15t	22		42.7	59.6	23.3	40.9	61.9	30.7	42.4	63.3	22.8	15.6	174
		⊥	44.7	60.0	19.0	38.8	58.9	25.2	41.2	60.8	16.1	6.4	
	18		36.0	58.5	27.7	38.9	63.5	32.6	37.2	61.2	23.7	10.1	178
		⊥	36.6	58.2	24.6	37.1	61.3	28.3	36.8	59.9	18.5	5.3	
16		37.6	57.3	22.7	36.9	59.8	32.9	35.1	57.1	24.3	12.6	179	
	⊥	36.6	57.2	21.2	33.5	57.4	30.3	35.1	56.5	22.8	4.8		
14		39.3	60.3	24.6	34.9	60.0	32.0	40.1	62.8	20.0	10.7	184	
	⊥	40.5	59.3	24.2	36.9	60.3	29.8	39.1	61.2	17.5	7.3		
BOH 1k/t S99228 15t	22		34.9	54.0	27.8	32.5	57.3	34.7	33.1	56.0	24.1	12.0	155
		⊥	34.7	53.9	25.1	34.4	57.0	30.8	31.8	54.7	24.6	7.2	
	18		31.8	53.5	28.0	31.0	54.0	34.8	30.7	53.1	29.1	9.1	160
		⊥	30.4	52.3	27.3	33.4	55.5	33.0	33.1	55.2	22.6	9.3	
16		32.4	53.6	28.8	31.7	54.8	32.2	31.2	52.8	24.0	12.9	162	
	⊥	34.7	55.2	26.3	30.4	54.4	31.6	31.2	53.0	24.2	9.3		
14		35.8	58.2	26.6	30.6	52.6	34.2	33.0	54.6	24.9	13.5	160	
	⊥	37.1	53.3	26.8	34.0	54.4	34.8	33.8	55.3	18.9	9.9		

目標に達せず、又各成分共上限に近い時は熔接性と接手の性質が劣るから、出来る丈中央を狙う必要がある。

3) Alの使用: 今回の実験では Al を多量に使用してもオーステナイト粒を微細化する以外に特に効果は認められなかつたが、Schmidt 博士の言によれば細粒鋼の方が熔接性が良好であるから 0.8kg/t 程度を使用した方が良いと思われる。

4) 鋼塊単重: 6~18t の範囲では製品の品質に差が認められなかつたから約 20t 以下であれば特に指定する必要はない。

5) 圧延: 八幡のように普通鋼の鋼板を製造する圧延機を使用すれば圧延の儘で使用出来る。呉のように圧延速度の小さい場合は仕上温度が低下して硬化するので焼準する必要が起る。

6) 板厚: 12~22mm の範囲では 12mm 厚板の方が 22mm 厚板に比較して抗張力が 1kg/mm²程度高くなるに過ぎず、大体同じ機械的性質を具備しているものと考えて差支ない。然し熔接性と接手の性質は 12mm 厚板に比較して 22mm 厚板の方は著しく遜色がありパラッキも大きい。従つて厚板程成分の調節に技術を要する。

V. 結 言

電気熔接性を主要な目標とした高張力鋼の研究は従来

我國では行われていながつたので、内外の文献にある低合金高張力鋼のうち電気熔接用として適当と思われる鋼種 11 と、比較のため現用 DS 及び HT を加えた 13 種を 50kg 高周波炉で熔製し、小型ロールにて 12mm 厚鋼板として各種の試験を施行して比較検討した。その結果 DS や HT は靱性及び熔接の面から使用出来ないことが判り、多量生産、国内資源等の見地から Si-Mn 鋼が最も適当していることを知つた。そこで C 0.45~0.20%, Si 0.3~0.7%, Mn 0.9~1.2% の成分目標で大型炉により熔製を行い、12~22mm 厚の鋼板に圧延した。試作した各鋼板について詳細な試験を行い比較検討した結果第 2 回目の試製板 ch. 18454 (呉廠塩基性平炉熔解、八幡圧延 C 0.17% Si 0.43% Mn 1.12%) が最も満足すべき性質を示した。其他の試製板も試験の種類によつては若干目標に劣るものもあつたが、熔接々手の性質等は使用した熔接棒の品質や熔接施行者の技能にも影響されるので板の品質だけによるものではない。技術指導に当られた H. Schmidt 博士の言によれば試製した板はいずれも大体使用可能で、熔接棒の品質に研究を要すとのことであつた。

尙これらの試製板は実際に潜水艦を建造する場合に内殻に電気熔接を施して試用したが特に欠陥を生ずることなく概ね満足すべき成績が得られた。

回 試 製 鋼 の 各 種 試 験 成 績

化 學 成 分				熔 接 性 試 験						熔 接 々 手 試 験				
				ビード焼入屈 置屈曲 試験		ビード盛引張試験				DIN 型引張 試験		シャルピ ー衝撃値 m·kg/cm ²	熱影響 部最高 硬度 Hv	屈曲 試験 疵發 生角
				疵發生 角	疵發生 角	素 材		ビード盛		抗張力 kg/mm ²	伸 %			
C %	Si %	Mn %	T. Al %	疵發生 角	疵發生 角	抗張力 kg/mm ²	伸 %	抗張力 kg/mm ²	伸 %	抗張力 kg/mm ²	伸 %	m·kg/cm ²	Hv	疵發 生角
0.15~ 0.20	0.30~ 0.70	0.90~ 1.20		>60	>90					>52	>15	>5	<300	>70
0.15	0.60	1.14	0.055	62	180	59.2	19.2	56.4	6.5	60.1	18.1	8.3	348	44
0.15	0.56	1.15	0.049	134	180	58.6	24.8	56.4	7.8	56.4	13.7	5.6	290	63
0.15	0.59	1.15	0.052	77	180	71.9	14.2	55.8	7.8	65.4	13.3	6.4	299	73
0.15	0.56	1.14	0.050	88	180	57.3	26.0	60.0	10.3	69.1	15.7	6.4	238	100
						57.8	20.6	60.0	10.3					
0.16	0.37	1.01	0.014	97	180	59.1	21.1	60.6	13.5	59.5	18.4	8.9	312	48
0.16	0.40	0.99	0.015	122	180	60.0	22.1	60.6	13.5	52.9	13.0	7.7	251	95
0.16	0.37	1.01	0.014	97	180	52.6	19.1	58.2	10.8	52.9	13.0	7.7	251	95
0.16	0.40	0.99	0.015	122	180	52.5	24.0	54.6	15.7	63.2	18.8	6.5	238	100
0.15	0.36	0.99	0.017	100	180	53.9	28.4	56.1	16.2	67.1	19.4	7.3	212	110
0.16	0.33	1.00	0.015	114	180	54.6	24.5	54.3	11.9					
0.16	0.33	1.00	0.015	114	180	53.7	24.3							
0.16	0.33	1.00	0.015	114	180	53.6	22.5							

前述した如く本研究は第二次大戦中呉工廠に於て造船
実験部と製鋼実験部が協力して行つたものであつて、当
時は現在のように低温脆性等が問題になつていなかつた
のでこの種の試験は行つてはいないが成分的にみて Si
を低目に狙えば先ず問題はあるまいと思われる。

終りに本研究の遂行に当り造船関係の担当者として指
導され熔接関係の試験を行つて戴いた小岩、寺尾両氏に
深甚なる謝意を表すると共に、当時の上司畑田博士及び

協力者荒川氏に御礼申上げる。又直接間接御教示を戴い
た故小平博士、岡田博士に謹んで感謝する。

(昭和 28 年 5 月寄稿)

文 献

- 1) 小平, 森寺, 前田: 鐵と鋼, 26 (1940) 777
- 2) 藤原: 鐵と鋼, 30 (1944) 69
- 3) 寺尾: 造船協會々報, 79 (1948) 65