に較べて一般に硬度および焼入深さも大であった。

9. ジョミニ試験結果は同一加熱温度および同一冷却速度で比較した場合、熔接熱影響部の硬度よりもやや高い値を示した。

10. ジョミニ試験の加熱温度が 1200°C の場合の、水焼入端から約 5/16 in の位置における硬度によってテーパ一試験片と同様熔接熱影響部の最高硬度の推定がほぼ可能である。

XII 謝 辞

本研究はその一部を文部省科学試験研究の補助により実施した。東京大学木原博士ならびに運輸技術研究所熔接部市川部長には色々研究上の御援助を載いた。また大阪大学岡田博士ならびに八幡技研守田課長から有益な御助言を仰いだ。鋼材を提供下さった八幡製鉄、日本製鋼所および石川島重工の関係者各位に対するとともに深甚なる謝意をあらわす次第である。

参 考 文 献

- 1) . 鈴木, 田村, 川名, 橋口「熔接熱サイクル再現装置による鋼の熱影響部の冶金的研究, 第 1 報」熔接学会誌 第26巻, 第 2 号 (1957)
- 2) Hess, W. F., Merrill, L. L., Nippes, E. E., Bank, A. P.; "The Measurement of Cooling Rates Associated with Arc Welding and Their Application to the Selection of Optimum Welding Condition," "The Welding Journal, 22(9), 377s/422s 1943.
- 3) I.I.W 第 9 委員会資料 (訳), 熔接学会誌, 第24巻第 10号 P411/41
- 4) 岡田「低炭素鋼の電弧熔接における熱影響に関する基本的研究」第 2 報, 同上, 第 6 巻, 第 7 号, P26/40.
- 5) Apblett, W. R., Poole, L. K., and Pellini, W. S. "The continuous Cooling Transformation of Weld Heat-Affected Zone," The Welding Journal, 31 (9), 421s/430s, 1952.
- 6) Apblett, W. R., Dunphy, R. P., and Pellini, W. S.: "Transformation of Cr-Mo Steels During Welding", Ibid., 33(1), 57s/64s, 1954.
- 7) SAE Handbook, 1956, p. 143.

H. T. 60 の試作研究結果について (第 2 報)

守 田 貞 義** 石 崎 敬 三** 合 田 進**

On the Preliminary Research for the Development* of H. T. 60 (Report 2)

By S. Morita**, K. Ishizaki**, and S. Goda**

Abstract

As has been stated in the 1st report, for a high tensile structural steel with tensile strength over 60kg/mm², the Si+Mn+V+Ti type i.e. the so-called Vanity type shows better weldability. However, as it has not been examined through satisfactory weldability tests, the final type of steel could not be established. In this report, with the object of improving Vanity type, the Vanity+Ni+Cr, the Vanity+Ni+Mo and the Vanity+Ni+Cr+Mo types were studied for as rolled and normalized conditions by various kinds of mechanical and weldability tests. The results obtained are as follows:

1. For as rolled condition, all kinds of steels show too high tensile strength, but good elongation and weldability are not warranted.

2. As for normalizing materiale, elongation is improved, but tensile strength becomes generally below 60kg/mm². The Vanity+Ni+Cr+Mo type is comparatively better and also recommended in point of weldability.

3. Large content of Cr seems to have bad effect on crack sensitivity of the material.

4. From the view-point of hardenability of the material it is recommended that the Dearden and O'Neill's equivalent carbon should be about 0.45.

5. On Kommerel test of crack is guaranteed by the I.I.W. maximum hardness below 350Hv and no breaking at the bending angle of 120 degree is also guaranteed unless the I. I. W. maximum hardness plus the hardness of parent metal exceeds 490Hv.

6. On kinzel test of normarized materials, larger lateral contraction below the notch is guaranteed by the I.I.W. maximum hardness below 350Hv.

I 試 作 方 法

1. 熔解および鑄込み

八幡製鉄，技術研究所において 250 kg 電気炉を使用，屑鉄加炭法によって熔製した。熔鋼は上辺 255mmφ 底辺 200mmφ 高さ 500mm の上広押湯付鑄型に上注し，250kg 鋼塊を 1 本作った。

2. 圧 延

850°~1200°C において 1000×370×70mm の大きさに鍛造し，1500×750×20mm 板に圧延した。圧延抽出温度は約 1300°C で仕上り温度は 935~1075°C であった。

3. 熱 処 理

圧延板は圧延まゝおよび焼準 (880°C, 40分 保定後空冷) 状態で試験した。たゞし焼準は通常の空冷 (焼準 N₂) と実際現場において大きさ 10,300×2,520×22mm の板を圧延した際の冷却条件に近い空冷 (焼準 N₁) に別けた。すなわち焼準 N₁ では薄鋼板製函 (500×300×200mm) の中で冷却し，焼準 N₂ の場合と同一大きさ (約 350×150×20mm) の試料の上，下面にアスベストを置き，試料との間に 20 mm の空間を設けることとした。Fig. 1 に冷却要領および冷却曲線を示しておく。

Fig. 1 Cooling Curves of various normalizing

II 母材試験結果

1. 分析結果 (レードル)

Composition		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Al
Type & charge No.													
Vanity+Ni+Cr	R 554	0.14	0.266	1.05	0.019	0.012	0.225	0.549	0.320	0.007	0.094	0.013	0.024
	R 558	0.14	0.352	1.38	0.017	0.012	0.181	0.568	0.387	0.025	0.083	0.015	0.028
Vanity+Ni+Mo	R 555	0.13	0.366	1.37	0.016	0.008	0.220	0.588	0.031	0.182	0.130	0.019	0.035
	R 572	0.15	0.360	1.25	0.007	0.011	0.171	0.610	0.064	0.130	0.082	0.008	0.038
Vanity+Ni+Cr+Mo	R 557	0.14	0.388	1.21	0.019	0.010	0.189	0.533	0.215	0.205	0.076	0.010	0.029
	R 570	0.15	0.350	0.93	0.011	0.014	0.179	0.620	0.174	0.148	0.085	0.009	0.036
	R 571	0.12	0.380	1.10	0.011	0.013	0.170	0.620	0.320	0.152	0.085	0.008	0.031
	R 573	0.15	0.380	1.11	0.008	0.011	0.171	0.460	0.174	0.140	0.079	0.008	0.037

2. 抗張試験結果 (特 1 号試片, 2 本の平均値)

Treatment	Type	Charge No.	Yielding point (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)
As rolled	Vanity+Ni+Mo	R 555	52.6	71.5	16.0
		R 572	56.9	69.5	13.7
	Vanity+Ni+Cr	R 554	47.8	62.4	19.5
		R 558	53.8	70.0	18.8
	Vanity+Ni+Cr+Mo	R 557	54.9	71.5	17.0
		R 570	50.7	67.7	17.0
		R 571	56.6	72.7	13.8
		R 573	54.1	66.8	13.0
	Vanity+Ni+Cr	R554, N ₂	40.4	54.1	23.8
		R558, N ₂	35.5	60.5	22.0
Normalized	Vanity+Ni+Mo	R572, N ₁	39.8	58.5	22.7
		R572, N ₂	37.7	61.1	21.5
		R555, N ₂	46.3	68.0	18.5
	Vanity+Ni+Cr+Mo	R557, N ₂	46.9	66.5	19.8
		R570, N ₁	45.1	59.0	24.5
		R570, N ₂	40.8	58.4	21.3
		R571, N ₁	37.1	61.7	22.3
		R571, N ₂	39.2	64.5	21.8
		R573, N ₁	39.9	56.6	23.3
		R573, N ₂	36.5	57.8	23.0

3. 曲げ試験結果

J.I.S. 規格による曲げ試験を行ったが，圧延まゝ材では Vanity+Ni+Cr 系 R554 のみ合格し，焼準材では Vanity+Ni+Cr+Mo 系 R571, N₂ のみ不合格となった。

4. 標準 V, ノッチシャルビー試験結果

各種温度における標準ノッチシャルビー衝撃値を Fig. 2 に示す。たゞし各点は 2~3 ケの平均を示す。

* 原稿受付 昭和31年 8 月10日 (昭和31年熔接学会秋季學術講演会において発表)

** 正員 八幡製鉄所技術研究所 Member (Technical Research Institute of Yawata Steel Works)

Fig. 2 Results of standard V-Notch Charpy test.

III 熔接性試験結果

1. コマレル試験結果 (試験温度 20°C)

Treatment	Type	Charge No.	Angle at the Initiation of crack (Degree)	At the End of test	
				Angle (Degree)	Max. length of crack (mm)
As rolled	Vanity + Ni + Mo	R 555	30	30	150
		R 572	45	45	150
	Vanity + Ni + Cr	R 554	—	120	None
		R 558	40	40	150
	Vanity + Ni + Cr + Mo	R 557	54	54	150
		R 570	45	45	150
		R 571	38	38	150
		R 573	37	37	150
	Vanity + Ni + Cr	R 554, N ₂	—	120	None
		R 558, N ₂	38	98	150
		R 558, N ₂	53	110	150
Normalized	Vanity + Ni + Mo	R 572, N ₁	57	120	148
		R 572, N ₂	90	120	22
		R 555, N ₂	51	75	150
		R 555, N ₂	50	50	150
		R 555, N ₂	50	50	150
	Vanity + Ni + Cr + Mo	R 557, N ₂	—	120	None
		R 570, N ₁	51	110	150
		R 570, N ₂	58	120	98
		R 571, N ₁	101	120	18
		R 571, N ₂	61	66	150
		R 571, N ₂	65	120	150
		R 573, N ₁	83	120	21
		R 573, N ₂	85	120	34
		R 573, N ₂	85	120	34
		R 573, N ₂	85	120	34
		R 573, N ₂	85	120	34

熔接性試験としてはコマレル縦ビード曲げ, キンゼル切欠曲げ, I.I.W. 熔接最高硬度および鉄研式亀裂性試験を実施した。なお熔接棒は日本熔接棒 FL-60, 4 mm φ を使用し, 熔接前に 300 °C で 2 時間乾燥した。熔接は電流 155~185 Amp., 電弧電圧 25~30 Volt, 熔接速度 150~167 mm/min. で行った。また熔接温度は鉄研式亀裂性試験のみ 0 °C で行い, その他は 15~25 °C で行った。

2. キンゼル試験結果 (試験温度 0 °C)

Treatment	Type	Charge No.	Lateral contraction notch below (%)	Bending angle to maximum load (Degree)	Bending Angle to Breaking (Degree)
As rolled	Vanity + Ni + Mo	R 555	0.65	6	6
		R 572	0.45	5	5
	Vanity + Ni + Cr	R 554	0.52	5	5
		R 558	0.52	5	5
	Vanity + Ni + Cr + Mo	R 557	0.78	5	5
		R 570	0.88	5	5
		R 571	0.70	3	3
		R 573	0.65	3	3
		R 573	0.65	3	3
Normalized	Vanity + Ni + Cr	R 554, N ₂	2.88	18	No Breaking 42
		R 558, N ₂	2.13	12	
	Vanity + Ni + Mo	R 572, N ₁	2.85	11.5	18
		R 572, N ₂	2.05	15	15
		R 555, N ₂	0.91	6	6
	Vanity + Ni + Cr + Mo	R 557, N ₂	1.31	7	7
		R 570, N ₁	1.05	6	6
		R 570, N ₂	1.75	7	7
		R 571, N ₁	0.95	5	5
		R 571, N ₂	1.30	10	10
		R 573, N ₁	4.10	11.5	17.5
		R 573, N ₂	2.95	16	19.0
		R 573, N ₂	2.95	16	19.0
		R 573, N ₂	2.95	16	19.0
		R 573, N ₂	2.95	16	19.0

Note: All experimental values show the mean values of two specimens.

3. 焼準材 I.I.W. 熔接部最高硬度試験結果 (荷重 10 % ビーカー硬度)

4. 鉄研式亀裂性試験結果

肉眼および磁気探傷による亀裂は全試料とも 0 である。顕微鏡による断面亀裂度は R 571 N₁ のみビード中央に 6.4 % (1ヶ所), ビード終端近くに 17 % (1ヶ所) あった。本試料は Vanity + Ni + Cr + Mo 成分系統に属するが, 同系統の他のものに比し, C 量は少ないが Cr 量が多くなっている。

IV 考 察

1. 強度および延性

Type	Vanity+Ni+Cr		Vanity+Ni+Mo			Vanity+Ni+Cr+Mo						
Charge No.	R 554	R 558	R 555	R 572		R 557	R 570		R 571		R 573	
Annealing	N ₂	N ₂	N ₂	N ₁	N ₂	N ₂	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂
Max. Hardness	336	376	383	325	351	371	321	345	351	363	327	336

Fig. 3 Relation between yielding point and Ceq (Battelle),

Fig. 4 Relation between yielding point and Ceq (Rinebolt & Harris).

降伏点におよぼす合金元素の影響についてバツェル記念研究所の実験結果によれば基本成分 0.21% C, 1.35% Mn, 0.28% Si, 0.015% Ti なる場合の等価炭素量は次の通りである。

$$Ceq = C + Mo + 1/3 Mn + 1.4 V + 1/20 Si + Zero \times Cr$$

また米海軍技術研究所の Rinebolt および Harris によれば、基本成分 0.30% C, 1.00% Mn, 0.30% Si なる場合の等価炭素量は次式で表わされる。

$$Ceq = C + 1/5 Mn + 1/8 Si + 1/1.5 P + 1/6 Cu + 1/19 Ni + Zero \times Cr + 1/10 Mo + 1.1 V$$

いま実験結果に上式を適用し、Ceq と降伏点の関係を求めるに Fig. 3~4 のごとくなる。また仮りに Ceq と抗張力との関係をみるに Fig. 4~5 のごとくなる。いずれの場合にも Ceq が大となるにつれ強度は大となるが、点のばらつきはかなり大きい。次に附表の熔接性等級基準によって抗張試験結果を判定するに、圧延まゝ材料では Vanity+Ni+Cr 系 R554, R558 のみ合格し、焼準材では Vanity+Ni+Cr+Mo 系 R571N₂, R557N₂, Vanity+Ni+Mo 系 R555 が合格する。いずれにしても圧延まゝ材では強度が大となり過ぎ、焼準材は強度不足となる傾向がある。

2. Tr₁₅ と成分との関係

附表の標準 V ノッチシャルピー試験の等級基準によれば圧延まゝ材では Vanity+Ni+Cr+Mo 系 R557 のみ合格し、焼準材では全試料合格するが、特に Vanity+Ni+Cr 系 R554 N₂, Vanity+Ni+Mo 系 R572 N₁, N₂, Vanity+Ni+Cr+Mo 系 R573 N₁, N₂, の成績が良好である。なお標準 V ノッチシャルピー試験ではしばしば 15ft.lb (約 2.6 kgm/cm²) 遷移温度 Tr₁₅ が採用される。いま各材料の

Fig. 5 Relation between tensile strength and Ceq (Battelle),

Fig. 6 Relation between tensile strength and Ceq (Rinebolt & Harris).

Tr₁₅ を求めるに、この高低は 0°C の衝撃値の減、増と同一傾向を示す。Tr₁₅ におよぼす合金元素の影響については Rinebolt および Harris の実験による

$$Ceq = C - 1/2.6 Mn + 3.9 P - 1/3.7 Ni + 1/1.5 Mo + Zero \times (Si + S + Cu + Cr)$$

たゞし適用%は C<0.4, Mn=0.3~1.5, Si<0.6, P<0.2, S<0.05(Cu<0.7, Ni<3.0, Cr<0.5, Mo<0.3) なる等価炭素量が考えられているが、本実験においてこの Ceq と Tr₁₅ との関係を求めるに Fig. 7 のごとくなる。もちろん焼準材の方が Tr₁₅ は低い、点のちらばりはかなり甚しい。これについては材料の組織について考察する必

Fig. 7 Relation between Tr_{15} and Ceq

要がある。たとえば圧延まゝ R558、焼準 N_2 の R555 など Tr_{15} が高くなっているが、これらの材料では非常に小さな析出物がみられ、これが Tr_{15} に影響するのではないかと想像される。これらの点を考慮すれば大体の傾向は Ceq の小なるものほど Tr_{15} は低い。

3. I.I.W. 熔接熱影響部最高硬度

熔接熱影響部の硬化におよぼす化学成分の影響を考えるに、一般によく用いられる Dearden O'Neill の等価炭素量 $Ceq = C + 1/6Mn + 1/15Ni + 1/5Cr + 1/4Mo + (1/13Cu + 1/2P)$

ただし Cu, P は 0.05% 以上の場合のみ考慮

Fig. 8 Relation between maximum hardness in H.A.Z. of I.I.W. specimen and Ceq ,

を採用し、I.I.W. 熱影響部最高硬度と Ceq との関係を求めるに Fig. 9 のごとくなる。 $Ceq = 0.45 \sim 0.46$ の範囲は大抵硬度が 350 Hv 以上となる限界と考えられ、一般に焼準 N_1 は N_2 の場合より硬度は低く、Vanity+Ni+Mo および Vanity+Ni+Cr+Mo 系の焼準 N_1 では後者系統中の R571 が合格すれすれにある以外すべて合格する。なお

R571 は同系統中の他の材料に比し Cr 含有量 (0.32%) が大である。焼準 N_2 では Vanity+Ni+Cr+Mo 系中 R570、R573 が合格する。同系統の R557 は他のものに比し Mn (1.21%), Cr (0.215%), Mo (0.205%) 含有量が多いため不合格となる。なお本系統以外では Vanity+Ni+Cr 系 R554 が合格するが、R558 は Mn 含有量 (1.38%) 多く、 Ceq も大となって硬度は 350 Hv を超えることとなる。

4. コマレル試験結果

コマレル試片と I.I.W. 硬度試片とは溝 (半径 3mm) の

有無を除けば同一寸法である。

よっていま熔接熱影響部最高硬度部がビード曲げ試験における亀裂発生に関係あるものと考え、I.I.W. 最高硬度とコマレル試験における亀裂発生角度との関係を求めるに Fig. 9 のごとくなる。かなり散らばりは大抵は大きい最高硬度の小さいほど亀裂発生角度は大となる

傾向にある。なお焼準 N_1 と N_2 に分けて考えれば、それぞれ図の左下および右下に分れる。すなわち同一亀裂発生角度であっても硬度は N_2 の方が高い。また延性破壊と延性および脆性の混合破壊との限界を求めれば大体 N_1 で Hv 350, N_2 で 365 となり、これ以下の硬度ではたとえ完全破断しても材質改善の余地がある。また N_2 では最高硬度が N_1 より若干大きくとも、コマレル試験結果については N_1 ほど案ずることはない。また N_1 と N_2 の分布境界線と 350 硬度線との交点は大体亀裂発生角度 60° を示すから、焼準 N_1 におけるコマレル亀裂発生時における曲げ角度基準 (附表参照) による判定は I.I.W. 350 硬度基準からある程度推定できると考えられる。

次に成分系統から言えば Vanity+Ni+Cr および Vanity+Ni+Cr+Mo 系が良好であるが、前者の中 R558 は Mn 量が多い (1.38%) ため悪結果を示す。R554 N_2 は既述のごとく強度が不足している。Vanity+Ni+Cr+Mo 系では R570 は Ni 量 (0.62%) がやや多く、R571 では C 量 (0.12%) は少ないが、Ni 量 (0.62%) および Cr 量

Fig. 9 Relation between maximum hardness in H.A.Z. of I.I.W. specimen and bend angle at crack initiation of kommerell test

Additional Table
Criteria of Examination of Weldability and Mechanical Properties of H.T. 60

Symbol	Strength and Ductility	Standard V-Notch Charpy test	Kinzel test	Kommerel test		Max. Hardness in H.A.Z. of I.I.W. specimen	Crack sensitivity test (slit type)
				Max. Bending angle to complete breaking	Bending angle at Initial crack		
○	T.S. 60~70 kg/mm ² Y.P. $\geq$ 39 kg/mm ² E.L. $\geq$ 18%	$E_0 \geq 3.5$ kg-m/cm ²	$Tr\theta \leq 0$	$\theta \geq 120^\circ$	$\theta \geq 60^\circ$	$H_{max.} \leq 350$ Hv	0%
△	T.S. 60~70 kg/mm ² Y.P. 37~39 kg/mm ² 15 $\leq$ E.L. $<$ 18%	$3.5 > E_0 > 3.0$ kg-m/cm ²	$0 < Tr\theta \leq +20$	$120^\circ < \theta \leq 100^\circ$	$60^\circ > \theta > 55^\circ$	$350 < H_{max.} \leq 380$ Hv	$\leq 10\%$
×	T.S. $<$ 57 kg/mm ² $>$ 71 kg/mm ² Y.P. $<$ 37 kg/mm ² E.L. $<$ 15%	$E_0 < 3.10$ kg-m/cm ²	$Tr\theta > +20$	$\theta < 100^\circ$	$\theta < 55^\circ$	$H_{max.} > 380$ Hv	$> 10\%$

Note 1. ○: Good, △: Fair and ×: Bad

2. E_0 : Impact Value at 0°C

3. $Tr\theta$: Temperature at which the lateral contraction below the notch is 1%

(0.32%) が多いため成績はやゝ劣る。なお圧延まゝ材では Vanity+Ni+Cr 系 R554 が合格する。

以上亀裂発生 viewpoint から考察したが、完全破断までの最大曲げ角度については母材の亀裂伝播能力について考える必要がある。コマルレル試験においては 120° 曲げを行うから、亀裂発生後の曲げ角度あたりの母材の亀裂長さとして

$$L = (\text{試験終了時最大亀裂長さ}) / (120^\circ - \text{亀裂発生時曲げ角度})$$

なる量を採用し、母材硬度との関係を示すに Fig. 10 のごとく

Fig. 10 Relation between hardness of parent steel and (maximum length of the crack at the bending angle of 120°) / (120°-bend angle at the crack initiation)

の間が延性から脆性破壊に移る遷移域と考えられる。しかしこの遷移域の上限および下限はそれぞれ圧延まゝおよ

び焼準材の延性破壊に対する限界となっている。すなわち焼準 N_1 , N_2 はほぼ同一限界を示し、この限界は圧延まゝ材に比して低い。結局圧延まゝおよび焼準材ではそれぞれ母材硬度 200 および 175 Hv 以下であればよく、たとえ 120° 曲げで完全破断してもなお材質改善予地があると考えられる。

次に附表の熔接性等級基準より判定するに圧延まゝ材では Vanity+Ni+Cr 系 R554 が合格し、焼準材では Vanity+Ni+Cr 系 P554N₂, Vanity+Ni+Mo 系 R572 N₂ のみ合格し、Vanity+Ni+Cr+Mo 系では R571 N₁, N₂ を除いてほとんど合格する。R571 が不合格となるのは本材料が同系統中の他のものに比し Cr 量(0.324%)の高いためと想像される。

なお完全破断までの最大曲げ角度基準による可否判定結果は 120° 曲げた時の最大亀裂長さがコマルレル試片幅 150mm 以下であることから判定できるわけであるが、いまこの最大亀裂長さが I.I.W. 熔接熱影響部の最高硬度と母材硬度の和に影響されるものと考え両者の関係を見るに

Fig. 11 Relation between maximum length of crack at the bending angle of 120 degree of kommerel test and maximum hardness of H.A.Z.+hardness of parent steel.

Fig. 12 のごとくなる。すなわち焼準 N_1 および N_2 でそれぞれ 490 および 520 Hv 以下であれば目的に適う材質となり得るようである。

5. キンゼルおよび鉄研式亀裂性試験

キンゼル試験結果を附表の熔接性等級基準より判定するに、圧延まみ材はすべて合格せず、焼準材においても R 571 N₁, R555 N₂ は不合格となる。前者は Vanity + Ni + Cr + Mo 系であり、後者は Vanity + Ni + Mo 系である。本試験は熱影響部の切欠韌性に関する試験であるから、一応 I.I.W. 熱影響部最高硬度と 0°C におけるノッチ下横収縮量との関係を見るに Fig. 12 のごとくなる。すなわち最高硬度 350 Hv 以下（最高硬度試験に合格）であれば充分と考えられる。なお焼準 N₁ と N₂ の差は本資材から明確に求めることはできない。

次に鉄研式亀裂

性試験は全試料ともほぼ良好なる結果を示すが、既述のごとく R571 N₁ に断面亀裂が若干認められている。本試料が C 量が少ないにもかかわらず、かゝる結果を得たことについては、他試料の成分と比較して Cr 量 (0.32%) が多いことが考えられる。パッテル記念研究所における研究ではビード下割れに

Fig. 12 Relation between lateral contraction of kinzel test and maximum hardness of I.I.W. hardness test.

関して等価炭素量を $Ceq = C + 1/6Mn + 1/24Si + 1/29Mo + 1/14V + Zero \times Cr$ なる式で表わしており、本式では Cr の影響がないこととなるが、この点はしばしば論議されるごとくはなはだ疑問である。

V 総括および結言

熔接性良好なる抗張力 60~70 kg/mm₂ の高張力鋼試作のため、Vanity + Ni + Cr, Vanity + Ni + Mo および Vanity + Ni + Cr + Mo 系の 3 鋼種を熔製、圧延まみおよび 2 種空冷条件の焼準材について母材試験および熔接性試験を行った。結果を要約すると次の通りである。

1. 圧延まみ材料では全鋼種とも強度があまり大となり、母材および熔接性試験にほとんど不合格となるが、この中 Vanity + Ni + Cr 系 R554 が最も良い成績を示し、シャルピーおよびキンゼル試験に不合格になるにとどまる。R 558 も比較的良好だが、Mn 含有量が大き過ぎ、前 2 試験の外さらにコマレル試験にも不合格となる。

2. 焼準材では冷却速度の小なるもの (N₁) が抗張力は小となり、同時に伸び率を増す。また熱影響部最高硬度も

小となるが、コマレル試験における亀裂発生角度は逆に小となり、鉄研式亀裂性試験結果も不良となる傾向がある。Tr₁₅。コマレル試験における母材の亀裂伝播およびキンゼル試験では差は求められない。

3. 焼準材では一般に強度が小となり抗張試験に不合格となるが、Vanity + Ni + Cr + Mo 系 R557 N₂, R570, R571 が比較的良好である。この中 R570 はシャルピーおよび熔接性試験結果も良く、抗張力が不足するに過ぎない。なお本材料の Mn 含有量は全材料中最小で、Mn を増加させることによって強度を増しうると考えられる*。R573 は抗張力のみ不合格で他の結果はすべて非常に優れており、Ni を少量増加させて抗張力を増加させる余裕があると考えられる。R 557 は硬度試験において不合格になるに過ぎないから合金元素減少による改善の余地があるが、この方法は前記 R570 の改善と同様の結果となる。また Vanity + Ni + Cr + Mo 系 R572 も比較的高く、熔接性試験も焼準 N₁ がコマレル試験に不合格となるに過ぎない。本材料を化学成分から考えて強度をもたせるには Cr 量を増加せれば良いと考えられるが、これは結局 Vanity + Ni + Cr + Mo 系を採用することとなる。

4. Vanity + Ni + Cr + Mo 系 R 571 の強度はかなり満足させられるが、コマレル、キンゼルおよび亀裂性試験で不合格となる。これは同系統中の他のものに比し Cr 含有量の多いためと考えられる。

5. 硬化性の観点からいえば Dearden O'Neill の Ceq を 0.45 以下にするのが良いと考えられる。

6. 焼準材のコマレル試験における亀裂発生については焼準 N₁ および N₂ でそれぞれ I.I.W. 最高硬度 350 および 365 Hv 以下であり、また亀裂伝播の観点からは焼準材および圧延まみ材においてそれぞれ母材硬度 175 および 200 Hv 以下であれば良いようである。また 120° 曲げ時の最大亀裂長さからいえば I.I.W. 最高硬度と母材硬度の和が焼準 N₁ および N₂ でそれぞれ 490 および 520 Hv 以下であれば目的に適う材質となりうるようである。

7. 焼準材のキンゼル試験では I.I.W. 最高硬度が 350 Hv 以下であれば充分合格すると考えられる。

本研究は、日本造船研究会の主催する防衛庁向高張力鋼 (H.T. 60) の熔接性の研究に関する試料を本所において製造するに当り、予備実験を行ったもので、実験遂行にあたって種々援助を与えられた本所大竹正参事、加藤健技師に対し深く感謝の意を表する次第である。

文 献

- 1) R. D. Stout and W. D'arville Doty, Weldability of Steel (Welding Research Council, 1950)

* この方法は R573 の Ni 含有量を増加させることと同一である。

- 2) 木原, 熔接資料, 第2巻, 第13号
- 3) 大谷, 熔接学会誌, 第16巻, 第5号
- 4) C. E. Sims and H. M. Banta, *Welding Journal*, Vol. 28, No. 4

- 5) J. A. Rinebolt and W. J. Harris, *Ibid*, Vol. 30 No. 4.
- 6) J. Dearden and H. O'Neill, *Trans. Inst. Welding*, P. 203 (1940)

Van der Veen, Tipper および Charpy 試験結果の比較について*

守 田 貞 義** 合 田 進**

On the Comparison among Van der Veen, Tipper* and Charpy Test Results

By S. Morita**, and S. Goda**,

Abstract

The standard V-notch Charpy, Tipper and Van der Veen tests were performed, using the plates of various thickness of semikilled and killed steels in order to study the correlations among the various transition temperatures and the advantages and disadvantages of the tests. The results obtained are as follows:

1. As the criterion to derive a fracture transition temperature, the shear percentage of the fractured surface of a specimen is most reliable.
2. It is difficult to derive the ductility transition temperature from either Van der Veen or Tipper tests if they are carried out at temperatures higher than -60°C , so far as the materials have not much higher transition temperature.
3. The steepnesses of the transition curves are almost equal in both Tipper and Van der Veen tests and smaller in Charpy test than in the others.
4. The difference of the fracture transition temperatures of steels is most prominent by Van der Veen test and in the order of Tipper and Charpy tests.
5. Charpy specimen is not as plate thickness as Tipper and Van der Veen specimens, but Charpy results can be correlated with Tipper and Van der Veen results.
6. Generally speaking, the transition temperatures drop with decreasing equivalent carbon and with increasing Mn/C among the same grade of steels.

I 緒 言

鋼板の切欠靱性については過去10年以上にわたって非常に多くの研究がなされ、これに伴って種々雑多な試験法が考案されて来た。わが国においては標準Vノッチシャルピー一衝撃試験が最も普及されているが、欧米各国ではジュナットおよびキーホール衝撃試験、Kahnの引裂あるいはTipperの切欠静的引張試験やVan der Veenの切欠静的曲げ試験などが広く採用されている。もちろんこれらの試験法はそれぞれの得失があるわけであるが、試験法としてはできるだけ簡単に材料差を敏感に示し、同時に実際の破

壊事故を再現し得るようなものが望ましい。本報告はロイド船級協会の希望に基きセミキルド鋼およびキルド鋼につき種々板厚を変え標準Vノッチシャルピー、Tipper切欠引張およびVan der Veen切欠曲げ試験を実施したもので、特に各種遷移温度間の関係および3試験法の得失について考察したものである。

II 材 料

1. 熔 製

供試材としては18~31mm板厚のセミキルドおよびキルド鋼板を採用し平炉によって熔製した。すなわち6~10ton鑄型に鑄込み、これをスラブ圧延後所定板厚に圧延した。圧延温度は抽出温度を約 1350°C とし仕上り温度を大体 900°C 前後とするよう努めた。なお試料は鋼塊の頂部より採取した。

* 原稿受付 昭和31年8月10日 (昭和31年度熔接学会秋季学術講演会において発表)

** 正員 八幡製鉄所技術研究所 Member Technical Research Institute of Yawata Steel Works