ボンド・フラックスによるサブマージド・アーク 溶接の研究 (2 報)*

—軟鋼および高張力鋼 (60 kg/mm² まで) 用溶着鋼の性能調査—

— 海 俊 景** 渡 辺 文 則**

Study of Submerged-Arc Welding by Bonded Fluxes (2nd Report)*

—Properties of Weld Metal for Mild Steel and High Tensile Steels up to 60 kg/mm²—

By Toshikage Ikkai** and Fuminori Watanabe**

Abstract

This report describes properties of deposit metal for making submerged-arc welding with domestic bonded fluxes for mild steel and high tensile steels up to 60 kg/mm².

It is shown that impact test results at low temperature with bonded fluxes are far superior to ones with fused fluxes.

- (1) Filler wire contained one percent manganese is better than the others to weld mild steel. Impact values with deposit metal are 6 kg-m/cm² at -70°C with 650°C one hour stress relief. Then those values are 21 kg-m/cm² as weld and 30 kg-m/cm² stress relief at room temperature to use bonded fluxes for mild steel.
- (2) With high tensile steels, mechanical properties are good according to combination of filler wires and bonded fluxes to obtain chemical component of deposit metal Mn-Mo type to 55 kg/mm², and Mn-Ni-Mo type to 60 kg/mm². And the effect of manganese deoxidizing from bonded flux is remarkable.

1. 緒 言

1 報¹⁾においてステンレス鋼用ボンド・フラックスを使用した溶接部の諸性能についてのべた。今回は軟鋼用ボンド・フラックスを試作し、これを用いた場合の溶接部の機械的性質、特に衝撃値の向上をはかるとともに、溶接ビードに発生する気泡を防止してX線検査に対する不良率の低減を試みた。

また、昨今高張力鋼の使用が多くなってきたが、これらの鋼種に対してもボンド・フラックスの使用を試みた。引張強さ 55 kg/mm² 以上の高張力鋼板は普通、焼入れ、焼戻しの調質処理によって良好な強度と靱性が保たれているが、溶接部は溶接のままかあるいは 650°C 前後の応力除去の焼なましだけで母材と同等ないしはそれ以上の性能を確保しなければならない。そのためには母材よりさらにに特殊な合金成分の有効添加が必要である。そこで本研究ではすでに市販されている Mn-Mo 系、Mn-Mo-Ni 系ワイヤや 2.5%Ni, 3.5%Ni 鋼ワイヤなどと、

軟鋼用 H-550 フラックスに若干の合金成分を添加した試作高張力鋼用フラックスとを組合せた場合の、全溶着金属について主として引張強さと低温衝撃特性についてしらべた。またフィスコ試験機を用い溶着鋼の亀裂性についても検討を加えたので取まとめ報告する。

2. 軟鋼溶接部の性能試験

2.1 実験方法

軟鋼用ボンド・フラックスとしては珪灰石を主成分とし、それにジルコン砂の若干添加された H-500 フラックスと添加されていない H-550 フラックスの 2 種類を製作して実験に供した。ステンレス鋼用ボンド・フラックスではジルコン砂を 30% 前後添加してビード外観を良好にすることができたが、軟鋼用フラックスでは多量のジルコン砂を添加してもステンレス鋼用フラックスと同様な効果は示さなかった。また、試作した H-500, H-550 フラックスと従来から軟鋼溶接に使用されてきた G-80 についてその作業性を比較してみると、3 種のフラックスとも顕著な差異は認められない。ただ国産化された昨今の G-80 はアークの安定性と開先内のスラグの剝離性が悪く、一方、ボンド・フラックスは添加した合金成

* 原稿受付、昭和37年9月12日 (昭和37年度溶接学会秋季学術講演会において発表)

** 正員、日立製作所笠戸工場
Hitachi, Ltd.

Member, Kasado Works,

Table 1 Chemical composition of wires

Sign	(%)	C	Si	Mn	P	S	H ₂ (p.p.m.)	N ₂ (p.p.m.)	O ₂ (p.p.m.)	Total gas (cc/100 g)
Oxweld #43 (4.8 mm)	dia.	0.04	0.02	0.35	0.012	0.021	2.23	19.2	126.5	21.85
" #36 (4.8 mm)		0.17	0.02	1.98	0.012	0.013	1.48	12.4	11.3	4.15
B (4.8 mm)		0.09	0.09	0.98	0.012	0.024	2.64	18.9	144.0	22.2

分や脱酸剤がビード表面に溶着して若干外観を悪くする傾向がみられる。

Table 1 に軟鋼の溶接に用いたワイヤの化学成分とガス量を示す。一般にサブマージド・アーク溶接では、手溶接に比較して溶接ビードが大きく、ワイヤあるいはフラックスのみによる単独脱酸では溶着鋼の脱酸が不十分であるため、脱酸能力のあるフラックスおよびかなりの脱酸力をもつワイヤを使用する必要があると考えられる。その目的から表中に示すように1%前後のMnを含むBワイヤを用い、それに比較のため低Mn #43ワイヤと2%Mnを含む#36ワイヤを加えて試験を行った。

全溶着金属試験片の採取方法は Fig. 1 に示すとおりで、SS 41 材にU型開先を加工し、直径 5 mm のワイヤを用いて、溶接電流 650 A、電圧 32 V、溶接速度 450 mm/min の溶接条件で10~12パスの多層溶接を行った。

それより、引張および衝撃試験片とガス、介在物の分

析試料を採取して、ワイヤとフラックスの組合せの相違について比較検討した。

2.2 実験結果と検討

2.2.1 全溶着金属の化学成分とガス、非金属介在物

各組合せ別の全溶着金属の化学成分とガスならびに非金属介在物の分析結果を Table 2 に示す。1%Mn を含むB心線と試作フラックスとの組合せによるとフラックス中に Fe-Mn 6%を添加した H-500 を使用した溶着鋼の Mn 量は1.24%と増加しており、Fe-Mn 4.5% 添加した H-550 との組合せでは0.84%に減少している。また、試作フラックスを使用した溶着金属のガス量は#36+G-80の組合せに比較して少ない値を示し、かつ非金属介在物の量も低い傾向がみられる。

2.2.2 全溶着金属の機械的性質

(1) 引張試験結果

溶接のままと 650°C 1 h 応力除去焼鈍した全溶着金属の引張試験結果を Table 3 に示す。この結果によると1%前後のMnを含むBワイヤと試作フラックスを組合せた場合には、いずれも引張強さは 46 kg/mm² 以上の値を示し、ボイラー用圧延鋼板（以下 SB-46 材という）の溶接に使用しうることが明らかになった。また、伸びは40% 前後、絞り率は70% 以上の値を示し良好である。

#43 ワイヤとの組合せでは、B ワイヤとの組合せに比較

Fig. 1 Method of preparation, specimens in all deposit metal and sizes of test pieces

Table 2 Chemical composition, gas analysis and slag inclusion of deposit metals

Method of analysis		Chemical composition (%)			Gas analysis				Slag inclusion analysis				
Wire + flux	Component	C	Si	Mn	H ₂ (p.p.m.)	N ₂ (p.p.m.)	O ₂ (p.p.m.)	Total gas (cc/100 g)	SiO ₂	MnO	FeO	Al ₂ O ₃	Total (%)
	# 43+H-500	0.04	0.42	0.94	3.69	18.45	394.0	58.75	0.1075	0.0168	0.0091	0.0100	0.1551
	# 36+G- 80	0.07	0.40	1.34	5.04	35.70	473.5	73.25	0.0771	0.0060	0.0027	0.0203	0.1332
	B +H-500	0.08	0.34	1.24	4.85	16.60	355.0	51.20	0.067	0.0048	0.0019	0.0136	0.1130
	B +H-550	0.08	0.33	0.84	4.03	22.90	439.0	63.30	0.065	0.0092	0.0019	0.0137	0.1167

Table 3 Tensile test results of deposit metal

Wire + flux	Treatment	As weld				Stress relief (650°C/1 h. A.C.)			
	Mechanical properties	Y. P. (kg/mm ²)	T. S. (kg/mm ²)	E. (%)	R. A. (%)	Y. P. (kg/mm ²)	T. S. (kg/mm ²)	E. (%)	R. A. (%)
	# 43+H-500	36.3	47.1	36.1	65.6	32.2	44.6	35.7	72.5
	# 36+G- 80	37.4	51.4	29.0	60.0	36.8	50.0	30.0	65.0
	B + H-500	35.8	49.5	37.8	71.2	34.8	48.1	39.5	73.4
	B + H-550	33.5	47.3	42.2	73.2	32.8	46.8	42.2	75.0

Fig. 2 Impact test results of deposit metal

して全溶着金属の引張強さが若干低下しているがこれは Table 2 で示した化学成分からも明らかのように C 量が 0.04% と低いためであり、この組合せは SS-41 材の溶接に適用できる。

(2) 低温衝撃試験結果

Fig. 2 に軟鋼溶接に適した代表的な組合せについて行った全溶着金属の低温衝撃試験の結果を示す。これによると溶融型フラックス G-80 と #36 の組合せでは、常温における衝撃値が 6 kg-m/cm^2 前後で低い値を示している。試作ボンド・フラックスとの組合せによる溶着金属は良好な衝撃値がえられ、特に心線に 1% 前後の Mn を含んだ B ワイヤと H-550 フラックスとの組合せでは溶接のままにおける常温の衝撃値が 22 kg-m/cm^2 前後、 -70°C で 4 kg-m/cm^2 前後、 650°C 1h の応力除去焼なましをすれば常温で 31 kg-m/cm^2 前後、 -70°C で 6 kg-m/cm^2 前後の良好な結果が得られた。この B+H-550 フラックスの組合せでえられた衝撃値は低水素型被覆溶接棒で溶接した溶着金属の衝撃値に匹敵し、アルミキルド鋼のような低温材料の溶接にも本組合せによるサブマージド・アーク溶接法を採用すれば、手溶接と同様十分規格を満足する溶接部がえられるものと思われる。Fig. 2 には軟鋼 SS-41 材の衝撃値も併記したが、すべて溶着金属の方が良好である。

2.2.3 組織と硬度

Fig. 3 Microstructure of deposit metal with mild steel (B wire+H 550) $\times 100$

Fig. 3 に B+H-550 フラックスの組合せにおける全溶着金属の顕微鏡組織を示す。図からも明らかのように非常に微細なフェライト+パーライト組織となっており、C 量が 0.10% 以下のためパーライト部分が少ない。しかし、1パス溶接のマクロ組織では柱状晶の方向性が若干みられた。多層溶接ではその柱状晶による方向性がなくなり均一な組織となる。硬度測定の結果は、SS-41 材の母材が $120 \sim 150 \text{ Hv}$ を示したのに対し溶接部はわずかに高く B+H-550 の組合せで $155 \sim 160 \text{ Hv}$ であった。

2.2.4 溶接継手部に発生する気泡の原因と対策

SS-41 鋼板を使用した压力容器ならびに SB-46 S.R. 鋼板を使用した高压容器的溶接において従来使用されてきた #36+G-80 の組合せによる溶接では溶接ビードに気泡の発生をみることがある。現在、内圧容器的溶接部に適用される X 線規格では無欠陥が要求されており気泡の発生原因の究明と対策を考えなければならないが、ここではボンド・フラックスの使用の効果について検討した。まず気泡発生に影響をおよぼす条件として、(1) 開先ガス切断のまま、(2) 溶接線に仮付けをおいたまま、(3)(2)の仮付け部をワイヤーブラシで仕上げる、(4) 片側溶接後仮付け部を削除、(5) ルート間隔を設け最初に手溶接でシール溶接を行ないその上から自動溶接する場合、(6) ルート間隔を拡げた場合、(7) 開先面赤錆のまま溶接、(8)(7)の赤錆面を乾燥した場合、(9) 開先面に機械油が附着した場合、(10) 溶接線センタを心線径だけずらした場合などが上げられる。上述の気泡性試験について軟鋼板 SS-41 材板厚 9mm は I 型突合せ溶接を行ない、SB-46 SR 板厚 22mm は 90 度の開先角度をもつ X 型開先として片側 3 層の溶接を行なった。溶接条件として SS-41 材の場合は溶接電流 $500 \sim 650 \text{ A}$ 、電圧 32 V、溶接速度 500 mm/min を採用し両面 1 パスずつ溶接した。SB-46, SR 材は溶接電流 $650 \sim 750 \text{ A}$ 、電圧 32 V、溶接速度 $350 \sim 400 \text{ mm/min}$ を用いた。

この溶接結果によると従来から使用されてきた #36+G-80 に比較して B+H-550 の組合せは各試験条件とも気泡発生数は少ない。調査項目中 (2) 項の溶接線仮付け、ならびに (7) 項の開先面赤錆は気泡発生に最も顕著に影響し、#36+G-80 では溶接ビード全長 500mm につき 29 個の気泡が発生して X 線検査判定級別では 6 級であった。これが B+H-550 の組合せを使用すると同じ条件でも気泡発生数 5~7 個で JIS 3~4 級となる。また、溶接線のセンタずれや、ルート間隔の大きさも気泡発生の一因となっているため十分な注意が必要である。以上のべたように、G-80 フラックスを用いた組合せの場合より、H-550 を使用した組合せの場合溶接部に発生する気泡がかなり減少しているが、これはフラックスが

脱酸力を有しているとともにワイヤにも脱酸力をもたせ、共同で溶着金属の脱酸を行なった効果が現われたものと考えられる。

SB-46 SR 材の実験では、ボンド・フラックスによるフラックスバックングをして溶接したが X 線結果によると気泡は生じていない。SB-46 材は母材自体が脱酸力の強いキルド鋼板であるため、SS-41 材に比較して気泡に対する感受性は低いものと思われる。

つぎにボンド・フラックスの一つの欠点ともいわれる吸湿性について述べる。ボンド・フラックスは溶融型フラックスに比較して、かなり吸湿性が大であり低水素型被覆溶接棒と同様に十分な乾燥が使用の前提条件となる。Fig. 4²⁾, Fig. 5³⁾ にボンド・フラックスの吸湿性に

Fig. 4 Absorptive moisture of bonded flux

Fig. 5 Drying of bonded flux

関する調査結果を示す。Fig. 4 によるとボンドフラックスは、数日の水気中放置で 1% 近い吸湿度を示している。乾燥したフラックスの吸湿度は初期に急増するので乾燥後直ちに使用することが大切である。Fig. 5 は 1% 前後の水分を吸湿したボンド・フラックスを再乾燥した場合の水分の変化を示したものである。吸湿度 0.5~1.0% のフラックスを用いて溶接すると溶接長さ 500 mm につき 2~15 個の気泡が発生しており²⁾、これからもボンド・フラックスの乾燥温度は 250°C で少なくとも 1 h 以上の保持時間が必要であり乾燥後は直ちに使用することが肝要である。

3. 高張力鋼接溶部の性能試験

高張力鋼の手溶接棒は低水素型被覆の研究⁴⁾によって溶着金属の性能が非常に優れたものが市販されている

が、サブマージド・アーク溶接に関しては従来の酸性の溶融型フラックスを用いて高張力鋼を溶接すれば引張強さは規格を満足しても、低温衝撃特性が劣り問題とされてきた。したがって脱酸剤や合金成分の添加が可能で、しかも被覆棒同様、塩基度を上げるボンド・フラックスはその溶着金属の低温衝撃特性を改善せしめるものであり、以下それらの調査内容について説明する。

3.1 実験方法

引張強さ 55 kg/mm² 以上の高張力鋼は普通焼入れ、焼戻しの調質処理をうけており良好な強度と靱性を有している。したがってその溶接部も溶接のままか、あるいは 650°C 前後の応力除去焼なましを行なって母材と同等あるいはそれ以上の強度と靱性を有しなければならない。そのための脱酸剤や合金成分を溶着金属中に含有せしめる方法としてつぎの 3 方法が考えられる。

- i) 心線に軟鋼線材を用いフラックスからすべての合金成分を添加する方法
- ii) 必要な合金成分を含有するワイヤに軟鋼用ボンド・フラックスを用いる方法
- iii) 若干の合金成分を含有するワイヤとある程度の合金成分を添加したフラックスを用いる方法

i) はフラックス中に添加した合金成分が溶着金属に完全に移行しないままスラグ中に残存した状態で廃棄されることにより添加方法としては効果的でなく、ii) は多種類の心線を作らなければならず実用性に乏しい。そこで本研究では主として iii) の方法を採用することとし、軟鋼用 H-550 フラックスに若干の合金成分を添加した高張力鋼用フラックスを試作し、これと #40 A, #49, #56 ワイヤを組合せ使用した。また特に低温衝撃値が良好な溶着金属が要求される場合を考え、2.5% Ni, 3.5% Ni 鋼ワイヤを加えて実験を行なった。

Table 4 に供試ワイヤの化学成分およびこれらのワイヤと組合せ使用したフラックスの種類と合金系別とを示す。また母材は Si-Mn 系 55 kg/mm², 60 kg/mm² 高張の鋼板で板厚 14 mm のものを使用し、Fig. 2 で示したと同様な手法で試験片を作成した。溶接条件を Table 5 に示す。

Table 4 Chemical compositions of wires and the combination with wires and fluxes

No.	Chemical composition of wire (%)							Flux		Type of deposit metal	Tensile (kg/mm ²)
	Sign	C	Si	Mn	Ni	Mo	Type	No.	Type		
1	B	0.09	0.09	0.98	—	—	Mn	H-554	Si-Mn	Si-Mn	50
2	3.5% Ni	0.04	0.10	0.19	3.41	—	Ni	H-554	Mn	Mn-Ni	50
3	#49	0.10	0.03	1.25	—	0.50	Mn-Mo	H-552	Mn	Mn-Mo	55
4	2.5% Ni	0.04	0.05	0.11	2.26	—	Ni	H-600	Mn-Ni-Mo	Mn-2 Ni-Mo	55
5	3.5% Ni	0.04	0.10	0.19	3.41	—	Ni	H-600	Mn-Ni-Mo	Mn-3 Ni-Mo	55
6	#40A	0.08	0.03	0.70	—	0.50	Mn-Mo	H-556	Mn-Ni	Mn-1.5 Ni-Mo	60
7	#56	0.13	0.29	1.44	0.54	0.49	Mn-Ni-Mo	H-552	Mn	Mn-0.5 Ni-Mo	60
8	3.5% Ni	0.04	0.10	0.19	3.41	—	Ni	H-650	Mn-Ni-Cr-Mo	Mn-3 Ni-Cr-Mo	60

Table 5 Welding condition

Layer	Current (A)	Voltage (V)	Speed (mm/min)
1	550	32	500
2	550	32	450
3~9	650	32	400
10~	600	32	400

3.2 実験結果と検討

3.2.1 全溶着金属の化学成分

各組合せにおける全溶着鋼の化学成分を Table 6 に示す。表中 Si-Mn 系高張力鋼用としての B+H-554 の組合せでは溶着金属の Mn 量が 1.3% であるが、これは曲げ加工性の良好な上限の値であると考えられる。また溶着金属に Ni を添加する組合せについては Mn 量を少なくして低温衝撃特性の向上をはかった。これらの分析結果は後に機械的性質と対比させその特徴について説明する。

3.2.2 全溶着金属の機械的性質

(1) 引張試験結果

全溶着鋼の引張試験結果を Table 7 に示す。これによると 50 kg/mm² 級は Si-Mn 系の組合せで良好な強度と伸びを示した。55 kg/mm² 級では Mn-Mo 系 #49 ワイヤに同じく Mn-Mo 系 H-552 フラックスを組合せることにより十分な強度がえられる。また同じ 55 kg/mm² 級でも特に低温衝撃値が要求される場合には 2.5% Ni, 3.5% Ni 鋼ワイヤに H-600 フラックスを組合せて

使用するのがよい。60 kg/mm² 級では #40 A+H-556, #56+H-552, 3.5% Ni+H-650 の組合せが良好な強度と靱性を保持している。高張力鋼の機械的性質と合金成分の関係について現在までに行なわれた研究⁵⁻⁷⁾によると引張強さと合金成分との関係を求めるのに等価炭素量 (C_{eq}) で整理して次式の関係⁷⁾ が導かれている。

$$C_{eq}(Ct) = C + 1/5 Mn + 1/7 Si + 1/7 Cu + 1/20 Ni + 1/9 Cr + 1/2 Mo + 1/2 V \dots\dots\dots (1)$$

実験に用いた各組合せによる溶着鋼の等価炭素量 (C_{eq}) は Table 6 に示したとおりであり、Table 7 の引張強

Fig. 6 Relation between carbon equivalent and tensile strength

さとの関係は Fig. 6 のように、ほぼ直線を以て示される。この結果より近似的に一次式として

$$T.S. (kg/mm^2) = 55.0 \cdot C_{eq}(Ct) + 29.0 \dots\dots (2)$$

Table 6 Chemical composition of deposit metal

#	Wire + flux	Composition	C	Si	Mn	Ni	Mo	Cr	Ceq	Type
1	B + H-554	0.09	0.39	1.30	—	—	—	—	0.426	Si-Mn
2	3.5% Ni+H-554	0.07	0.42	0.65	3.09	—	—	—	0.360	Mn-Ni
3	#49 + H-552	0.09	0.38	0.90	—	0.47	—	—	0.592	Mn-Mo
4	2.5% Ni+H-600	0.06	0.40	0.54	1.98	0.27	—	—	0.432	Mn-Ni-Mo
5	3.5% Ni+H-600	0.06	0.45	0.59	3.24	0.28	—	—	0.520	Mn-Ni-Mo
6	#40A + H-556	0.09	0.40	0.68	1.80	0.61	—	—	0.641	Mn-Ni-Mo
7	#56 + H-552	0.08	0.69	1.11	0.46	0.46	—	—	0.682	Mn-Ni-Mo
8	3.5% Ni+H-650	0.06	0.45	0.59	3.47	0.30	0.27	—	0.560	Mn-Ni-Mo-Cr

Table 7 Tensile test results of deposit metal

#	Wire + flux	Treatment	As weld					Stress relief (600°C/1h. A.C.)					Class (kg/mm²)
			Y. P. (kg/mm²)	T. S. (kg/mm²)	E. (%)	R. A. (%)	Hardness (Hv)	Y. P. (kg/mm²)	T. S. (kg/mm²)	E. (%)	R. A. (%)	Hardness (Hv)	
1	B + H-554		40.6	52.8	32.2	67.0	185	39.0	50.4	36.3	71.2	163	50
2	3.5% Ni+H-554		42.4	53.2	28.3	45.0	187	40.5	51.8	33.7	57.4	170	
3	#49 + H-552		54.6	59.8	23.4	57.7	200	46.6	59.5	29.1	62.5	187	55
4	2.5% Ni+H-600		44.6	56.6	23.2	32.3	218	43.3	55.2	25.0	42.2	200	
5	3.5% Ni+H-600		46.2	57.2	23.8	34.0	208	44.0	56.3	29.0	52.8	190	
6	#40A + H-556		54.0	61.7	27.5	47.5	218	53.8	62.4	26.3	51.0	198	60
7	#56 + H-552		56.1	65.9	24.4	52.4	230	48.6	62.0	28.5	63.7	209	
8	3.5% Ni+H-650		55.2	65.6	18.9	34.0	210	51.2	63.0	25.3	47.5	200

Fig. 7 Impact test results at low temperature
(High tensile steels)

で求められ、溶着金属の化学分析結果から C_{eq} を計算することにより引張強さを求めることができる。

(2) 衝撃試験結果

衝撃試験は、すべて JIS 3 号 V-2mm ノッチ衝撃試験片を用いて、常温から -70°C の温度範囲について行った。Fig. 7 に、50 kg/mm² 級、55 kg/mm² 級、60 kg/mm² 級の引張強さがえられる代表的な組合せの低温衝撃試験結果を示す。Si-Mn 系 50 kg/mm² の B+H-554 の組合せは常温の衝撃値がかなり高い値を示しており、低温側 -25°C の前後から急激に低下している。それに対し、55 kg/mm² 級の Mn-Ni-Mo 系、3.5% Ni ワイヤ + H-600 の組合せは常温の衝撃値はやや低いが、 -70°C の低温側でもなお、良好な値を示している。これは溶着金属に含まれる Ni 成分の影響によるもので、従来 3.5% Ni 鋼板は -100°C までの低温用鋼板として使用されている。その自動溶接は溶着鋼の低温衝撃特性が不十分なことからはほとんど使用されず溶接はもっぱら手溶接に頼ってきたが、上述の結果からボンド・フラックスを活用すれば、3.5% Ni 鋼の自動溶接も可能なることが明らかになった。引張強さ 60 kg/mm² 以上の高張力鋼になると一般に合金成分の量が増加するため、引張強さは十分であっても低温衝撃特性で劣る傾向がある。したがって引張強さを損なうことなく切欠靱性を良好にするため、Mn, Ni, Ti などを適当に添加することが必要である。実験に使用した 60 kg/mm² 級の組合せのうち、#56+H-552 は Ni 含有量が 0.46% と少なく低温での衝撃値が若干劣るが、#40A+H-556 ならびに 3.5% Ni+H-650 の組合せは溶着金属に Ni 成分を 2~3.5% 含有しているため Fig. 7 でも示したように溶接のままにおける衝撃値が常温で約 10 kg-m/cm²、 -70°C で 2~3 kg-m/cm² 前後の良好な結果が得られた。

W.T. Lewis, G.E. Faulkner,⁸⁾⁹⁾ らは HY-80 鋼の自動溶接において、ワイヤ、フラックスの化学組成を変化さ

Fig. 8 Microstructure of deposit metal with high tensile steels up to 60 kg/mm²

せて溶着金属の低温衝撃特性の向上を計っているが、その報告で Mn, Ni は -40°C まで衝撃特性をよくし、Mo は低下させるとのべている。また溶融型フラックスでは、これら合金成分の特徴を十分発揮するにはフラックス中の SiO₂ 成分をさげ CaO, CaF₂ の含有量を高める必要があるとのべている。

3.2.3 組織と硬度

Fig. 8 に高張力溶着鋼の顕微鏡組織を示す。B ワイヤを用いた Si-Mn 系 50 kg/mm² 高張力鋼の組織は軟鋼材の組織と大差なくフェライトパーライト組織をしている。55 kg/mm²、60 kg/mm² 級の強度を示す溶着金属組織はともに 2~3% 前後の Ni 成分を含んでいるのが良好な均一組織である。つぎに Fig. 9 に引張強さ 55 kg/mm²、60 kg/mm² 高張力鋼を母材とし各級の強度を示す代表的な組合せによる溶接部の最高硬度試験結果を示す。これによると引張強さの増加にともない、わずかに熱影響部の硬化する傾向がみられるが、いずれの組合せにおいても硬度は 250 HV 以下であり、溶接による硬化はみられなかった。ただボンド・フラックスに多量の合

Fig. 9 Maximum Hardness test results of heat affected zone (as weld)

Table 8 FISCO cracking test results

Welding condition	Wire+flux	Crack sensitivity (%)	Order
Weld current 600~650A	# 40A + H-556	21.2	3
Weld voltage 32~33V	# 49 + H-552	27.6	7
Welding speed 400 mm/min	# 49 + H-600	23.6	4
Testing condition	# 56 + G-80	25.4	5
Specimen QT-60B 14 t	# 56 + H-600	31.9	8
Root gap 6.0 mm	2.5% Ni+H-600	20.3	2
Restrain pressure	3.5% Ni+H-554	19.4	1
Upper 30 ton	3.5% Ni+H-600	26.6	6
Side 6 ton	3.5% Ni+H-650	32.5	9

金成分を添加して多層盛溶接を行なうと層数を増すごとに溶着金属の硬度は増加することに注意する必要がある。この関係については次報で詳細に説明する。

3.2.4 亀裂性試験

Table 8 にフィスコ亀裂性試験結果を示す。この実験では表中の試験条件にも示したように各組合せの比較が適確に行なえるようにルート間隔を 6.0 mm として溶接した。これによると 50 kg/mm² 級の 3.5% Ni+H-554 の組合せが最も亀裂感度が低くビード長さ 180 mm おいて割れ率は 19.4% であった。Mn-Ni-Cr-Mo 系 60 kg/mm² 級の組合せは合金成分の含有量も多く、かつ Cr 成分を含んでいるため亀裂感度は高い。しかし、これらの亀裂はほとんどクレーター亀裂であり、ルート間隔 0 mm の場合や平板上の溶接では亀裂は認められない。

4. 結 言

軟鋼および 60 kg/mm² までの高張力鋼用ボンド・フラックスを試作し、これを使用してえた溶着金属の諸性能の調査結果を要約するとつぎのとおりである。

(A) 軟 鋼 関 係

(1) 軟鋼の溶接に 1% Mn を含む B ワイヤと H-550 フラックスを組合せて使用すれば、機械的性質、組織とも良好な溶着金属がえられる。また衝撃値は (V-2 mm ノッチシャルピー) #36+G-80 の組合せに比較して高い値を示し、応力除去焼鈍したものは常温で 30 kg-m/cm²、-70°C で 6 kg-m/cm² のすぐれた値がえられた。

(2) 溶接部の気泡防止には #36+G-80 に比較して B+H-550 の組合せがよく、X線検査による不良率を低下せしめうる。ただしボンド・フラックスは吸湿性が大きいであるため使用には 250~300°C で 1 hr 以上の乾燥が

必要である。

(B) 高張力鋼関係

(1) 50 kg/mm² 級高張力鋼の溶接には Si-Mn 系 B+H-554 の組合せがよく良好な強度と靱性がえられる。

(2) 55 kg/mm² 級高張力鋼の溶接には Mn-Mo 系 #49+H-552 の組合せのように市販ワイヤを使用するのがよい、また 2.5% Ni, 3.5% Ni 鋼ワイヤに H-600 フラックスを組合せて使用すれば低温衝撃値のすぐれた

溶着金属がえられる。

(3) 60 kg/mm² 級では Mn-Ni-Mo 系 #56+H-552, #40A+H-556 と Mn-Ni-Mo-Cr 系 3.5% Ni+H-650 の組合せがよく、良好な機械的性質と低温衝撃値がえられる。また硬度測定の結果では、溶着金属、熱影響部とも溶接のままが 250 HV 以下であり、溶接による硬化はみられなかった。

(4) フィスコ試験結果は各組合せともルート間隔 0 mm の条件では亀裂発生はなく、ルート間隔が大になるにしたがい主としてクレーターに亀裂の発生をみた。また、溶接入熱 I/V が大になるほど予熱温度が高くなるほど亀裂感度は小さくなる傾向がみられた。

参 考 文 献

- 1) 一海俊景, 渡辺文則, “ボンド・フラックスによるサブマージド・アーク溶接の研究 (1 報)” —ステンレス溶着鋼の諸性能調査— 溶接学会誌, Vol. 31 (1962), No. 10, 814~820. 1962 年溶接学会春期講演会にて発表
- 2) 川鉄資料 (溶参資—621) “焼成型潜弧自動溶接用溶剤について” 昭和37年
- 3) 川鉄資料 (溶技報 A—502) “川鉄高張力鋼用自動潜弧溶接溶剤について (第1報)” 昭和37年
- 4) 日本溶接協会, 溶接棒部会, “溶接棒の研究, No. 1~No. 5”, 昭和31~35年
- 5) C.E. Sims and H.M. Banta, “Development of Weldable High Strength Steels.” W.J., 28, (1949), 4, 178s~192s
- 6) J.A. Rinebolt and W.J. Harris, “Statistical Analysis of Test of Charpy V-Notch and Keyhole,” W.J., 30 (1951), 4, 202s~208s
- 7) 木原博, 鈴木春義, “高張力鋼の溶接”, 溶接ニュース出版局, 昭33—4, 12~13
- 8) W.J. Lewis, G.E. Faulkner, D.C. Martin, and P.J. Rieppel, “Submerged Arc Welding HY 80-Steel” W.J., 39 (1960), 6, 266s~272s
- 9) W.J. Lewis, G.E. Faulkner, P.J. Rieppel, “Flux and Filler Wire Developments for Submerged arc welding HY-80 steel” W.J., 40 (1961), 8, 337s~345s