論文および報告

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)*

— ステンレス鋼の溶接部の諸性能調査 —

— 海 俊 景** 渡 辺 文 則**

Study of Submerged Arc Welding by Bonded Fluxes (Ist Report)*

— Properties of Weldment for Stainless Steels —

By Toshikage Ikkai and Fuminori Watanabe**

Abstract

Bonded fluxes have been recently brought into the Japanese market by Arcos Corporation. These fluxes are prepared with same manufacture as coated electrodes, and weld metal can be deposited with exact chemical control. Then, at the results of study, we have also manufactured domestic products of bonded fluxes.

Particularly in this report are described properties of weld metal for stainless steels concerning the domestic product fluxes. The purpose of paper will be briefly written as follows.

(1) This self-removing slag produces clean weld beads. (2) All deposit metals are excellent against corrosion resistance, impact test in the low temperature and thermal fatigue test. (3) Hot cracking are prevented according to prepared ferrite value in the structure.

1. 緒 言

最近の化学機械工業の発達とともにステンレス鋼の溶接の能率化が強調されているが、高能率なサブマージド・アーク溶接はいまだその能力を十分に発揮していない。それは従来の溶融型フラックスが剥離性の不良なこと、Cr の減少にともなう溶着鋼の耐食性が低下すること、および溶接中の高温亀裂の発生などステンレス鋼用として問題を有し、これらを従来、心線の化学成分の調整によって補ってきた。

近年、アーコス社から市販されたボンドフラックス¹⁾²⁾は上述の欠点を改良するため脱酸剤と合金成分が添加され、製作方法も溶融型と異なり簡単で、しかも被覆棒の低水素型の特徴を加味した良好な性能³⁾⁴⁾をもっている。しかるにこれらの市販品では使用鋼種の変化に対して微細な成分調整が困難なことから、価格が高いので、これらのボンド・フラックスの化学組成、原料および製造法について検討を加えて、国産の試作フラックスの研究を行ない、輸入ボンドフラックスと同程度で化学成分の調整

が自由にできる試作フラックスを確立した。このフラックスの原料配合は軟鋼用とステンレス鋼用とは異なり、ステンレス鋼用スラグは剥離性が良好で平板上では自然剥離し、光沢ある黄金色のビード外観を呈する。

本報告には主として (316 L) 心線を用いた溶接について調査した結果を報告する。

2. 実 験 方 法

種々調査の結果ステンレス鋼用として配合成分を確立したボンド・フラックスについて、性能調査を行なった。その全溶着金属試験、熱疲労試験、および亀裂性試験の実験方法について記述する。

2.1 供試心線および母材

供試心線の化学組成を Table 1 に示す。

316 L (C) 心線は作業性とビード曲げ試験および化学組成の変動を調べるのに用いた。316 L (A) 直径 5 mm の心線は全溶着金属試験、熱疲労試験に使用し、亀裂性試験には 316 L (A) 心線のほかに 5 % 以下のフェライト量を調整する目的で、特に Cr 量の低い 316 L (B) 直径 4 mm の心線を加え、さらに 309 S 直径 4 mm、心線 310 直径 5 mm 心線についてもフラックスの相違に対する影響について調査した。

* 原稿受付、昭和 37 年 3 月 1 日 (昭和 37 年度溶接学会春季学術講演会において発表)

** 正員、日立製作所笠戸工場 Member, Kasado Works, Hitachi, Ltd.

Table 1 Chemical composition of wire. (%)

Sign	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Creq	Nieq
316 L(A) 4, 5 φ	0.04	0.78	1.29	0.010	0.024	18.82	11.65	2.60	22.59	13.50
316 L(B) 4 φ	0.03	0.62	1.34	0.047	0.022	15.48	14.14	2.66	19.07	15.71
316 L(C) 5 φ	0.04	0.38	1.51	0.021	0.018	20.96	12.38	2.43	23.74	14.33
309 S 4 φ	0.07	0.45	1.39	0.016	0.016	23.42	12.57	—	24.10	15.37
310 5 φ	0.09	0.23	1.77	0.017	0.006	27.08	21.22	—	27.39	24.84

$$\text{Creq} = \% \text{Cr} + \% \text{Mo} + 1.5 \times \% \text{Si} + 0.5 \times \% \text{Cb} \quad \text{Nieq} = \% \text{Ni} + 30 \% \text{C} + 0.5 \times \% \text{Mn}$$

Table 2 Chemical composition of mother plates(%)

Sign	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
SUS 27	0.06	0.45	1.32	0.023	0.015	19.20	10.25
AISI 310	0.11	0.32	1.98	0.021	0.018	24.73	20.51
AISI 314	0.21	2.42	1.68	0.026	0.013	24.54	19.26

つぎに母材については全溶着金属試験と熱疲労試験では SUS 27 を用い、亀裂性試験は SUS 27 の外に 310, 314 を加えて調査した。供試母材の化学組成は Table 2 に示すとおりである。

2.2 全溶着金属試験

全溶着金属試験では 40 t × 80 mm × 400 mm の SUS 27 材に深さ 25 mm, 巾 25 mm の U 型開先を加工した試験片に 316 L (A) 直径 5 mm の心線を用いて溶接電流 600 A, 電圧 31 V, 溶接速度 450 mm/min で多層溶接を行なった試験片を作成した。なお心線に対するフラックスの組合せについては Cr を若干添加した標準フラックス H-300 と輸入品 S-4 を比較し、またジルコン砂の添加の有無の差を調べるために H-227 を加え、その外に H-300 に対して Cr 成分の添加していない H-301 をえらび試験した。試験項目は引張試験、衝撃試験、熱疲労試験、ガスおよび介在物と化学分析とである。

試験片の形状は引張試験は径 8 mm, 平行部 32 mm, であり、衝撃試験は U-2 mm, U-5 mm のシャルピー試験を低温と高温で行なった。ガス分析は真空溶融法を用いて 1600°C 25 分間の抽出により測定した。試験片は直径 4 mm × 長さ 5 mm である。介在物はクリンガー・

Fig. 1 Electrolysis outfit according to klinger-koch for the isolation of inclusion

コッホ電解分析装置により、クエン酸ソーダ 15%, ブロムカリ 1.7%, 沃度カリ 0.6%, ロダン酸カリ 1.0%, 砒素 1 mg/10 l の電解液を用い 20 mA/cm² で、27 時間の電解を行ない、約 10 g の金属を溶解して分析を行った。

Fig. 1 にクリンガー・コッホの電解分析装置を示す。

つぎに熱疲労試験では 35 t × 150 mm × 200 mm の大きい SUS 27 材に Fig. 2. に示すような開先加工を行なって、G.L. が完全に溶着金属の範囲内に入るようにして小野式の回転曲げ疲労試験片を採取した。

2.3 亀裂性試験方法

溶接ビードの高温亀裂は重要な問題点の一つで、特にオーステナイト系ステンレス鋼は高温での割れ感受性が高い。従来、この溶接時の高温割れについては多くの試験結果が発表^{8)~14)}されているが、いずれも手溶接、Tig, Mig 溶接などであり、サブマージドアーク溶接法を用いた場合の試験結果はほとんどない。そこでフィスコ割れ試験法⁵⁾⁶⁾と引張亀裂性試験機を用いて試作フラックスの配合成分の変化による高温亀裂性について調査した。

フィスコ割れ試験に用いた試験片の肉厚は 18 t, 20 t, 25 t で、130 mm × 200 mm の寸法の試料に 2 本のビードを引いた。

拘束は片側垂直方向から 7 本のボルトで 30 ton 加えた。

高温割れ試験にはすでに述べた供試心線と母材および標準フラックスを用いた外に後述の Fig. 7 に示されるように H-302~H-304 までのフラックス中に Cr を順次添加したもの、また H-305~H-308 までのフラックス中に金属 Mn を添加して脱硫の効果をかったもの、さらに H-319~H-324 までのそれに Ni 成分の添加を行なったものなど、これらの添加金属の影響について調査し、フィスコ試験によって高温亀裂感度とフェライト

Fig. 2 The adoption method and sizes of test specimen for thermal fatigue

Fig. 3 Tension cracking test machine

量, 溶接条件, フラックスの吸湿度, ルート間隙および予熱温度の影響について調査を進めた。

また引張亀裂性試験機は 20 ton のアムスラー型引張

Fig. 4 The specimen for tension cracking test

試験機を改造して溶接中の拘束力と亀裂感度との関係求めた。これらの試験機と試験片の取付状況は Fig. 3 に、また試験片の形状は Fig. 4 に示すように板厚 16 t に均等な引張応力を与え、長さ 80 mm のビード溶接を行なった際の亀裂度を調査した。

3. 実験結果と検討

3.1 全溶着金属の化学組成, ガスおよび介在物

316 L (A) 直径 5 mm の心線を用いて溶接した全溶

着金属の化学組成を Table 3 に示す。フラックス中に Cr が添加されている H-227 H-300, S-4 との組合せでは溶着金属の Cr 量はわずかに減少するにすぎない。これに比して Cr を添加していない H-301 との組合せではさらに 1 %ほどの減少を示している。

溶着金属中の Si はフラックスに Fe-Si を添加しない場合でも心線のそのほぼ 2 倍近く増加しているが、これはフラックス原料中の SiO_2 から還元されて Si が増加したためである。このような Si の増加は高温亀裂を起しやすくするので好ましくない。

心線とはほぼ同一の Cr 量を有する溶着鋼をうるためにはフラックス中への Cr の添加量はほぼ 3.5 %程度でよい。しかし添加量については溶接条件が異なると当然変化するのでこの点につき現在詳細に調査中である。

つぎに Table 4 に SUS 27 材と 316 L 心線および溶着鋼のガス量および母材と溶着鋼の介在物の分析値を記載した。まずガス量について比較してみると鋼板および心線に対して溶着金属はガス量が非常に多い。また、ガス量のうち鋼板および心線では N_2 ガスが最も多く、つぎに O_2 , H_2 ガスの順となっているのに対して、溶着金属では O_2 ガス量が最も多くつぎに N_2 , H_2 ガスの順となっている。

今回の電解法によるステンレス鋼の非金属介在物の分析に際して試料がピittingを生じて浸食されるため、金属 Cr や Ni 成分も同時に微粒となって沈澱し、介在物として秤量される危険性があり、Table 4 に示す分析値からもわかるように Cr_2O_3 , FeO , NiO_2 の多いのもこのためと思われる。つぎに組織をみると標準フラックスによるものはフェライト組織が分散して網目状に析出しており良好な組織を示している。

3.2 全溶着金属の諸性質

3.2.1 機械的性質

Table 3 Chemical composition of all deposit metals

Sign.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Creq	Nieq	Ferrite Value (%)
316 L(A)+H-227	0.04	0.98	1.21	0.011	0.032	18.36	11.30	2.18	22.01	13.01	7.5~10
316 L(A)+H-300	0.03	1.02	1.36	0.014	0.034	18.62	11.59	2.33	22.48	13.17	7.5~10
316 L(A)+H-301	0.03	1.02	1.31	0.015	0.024	17.64	11.59	2.18	21.35	13.14	5~7.5
316 L(A)+S-4	0.03	0.77	1.31	0.011	0.037	19.00	11.69	2.39	22.54	13.24	7.5~10

Table 4 Analysis results of gases and inclusions

Sign	Gas value (p.p.m)				Inclusion (%)						
	Total value (cc/100 g)	O_2	N_2	H_2	Total value	SiO_2	MnO	Cr_2O_3	FeO	Al_2O_3	NiO_2
SUS 27	18.5	65.1	143.2	5.2	0.663	0.075	0.010	0.164	0.230	0.072	0.079
Wire	316 L	31.7	97.5	222	1.6	—	—	—	—	—	—
deposit metal	316 L(A)+H-227	149.0	869	283.2	13.2	3.10	0.221	0.073	1.09	1.50	0.025
	316 L(A)+H-300	142.0	763	257.0	9.9	2.75	0.162	0.067	0.898	1.41	0.028
	316 L(A)+S-4	81.8	489	161.0	5.7	2.62	0.142	0.131	0.913	1.22	tr

Table 5 Tensile test results of all deposit metals

Treatment	Sign.	T.S. (kg/mm ²)	ϵ (%)	R.A. (%)	Hardness (HV)
as weld	316L(A)+H-227	57.8	43.8	45.4	225
	316L(A)+H-300	58.6	34.4	48.8	198
	316L(A)+H-301	55.0	34.7	46.8	209
	316L(A)+S-4	59.0	33.3	52.3	208
750°C 2 h air cool	316L(A)+H-227	60.4	33.8	41.2	245
	316L(A)+H-300	60.0	33.8	36.0	250

Fig. 5 Impact test results

Table 5 は全溶着鋼の溶接のまゝとフェライトが σ 脆化しやすい 750°C 2h 空冷の熱処理を行なったものとの引張試験結果を示す。750°C の熱処理を行なったものは硬度が増加し、絞りが若干低下している。溶接のままでは良好な機械的性質を示している。

また Fig. 5 に全溶着金属の低温シャルピー衝撃試験結果を示す。ステンレス鋼は低温材料として -100°C 以下に使用されることが多く、このため溶着金属も低温規格を満足しなければならないが、H-300, H-227 のいずれも -180°C で 3 kg-m 以上の値を有し十分満足する結果を示した。

3.2.2 腐食試験

Table 6 に 5% 硫酸沸騰 6 時間浸漬による全溶着金属の腐食試験結果を示す。JIS に定められた規格限界値をこえるものはリンデの G 80 を用いた場合で、これは Cr 量の減少による耐食性の低下と考えられる。

H-300 を用いた溶着鋼が最もよく、それに反し、ジルコン砂の添加されていない H-227 の溶着鋼は規格限界に近い値を示している。これは溶着鋼中に介在物その他が包含されて耐食性に悪影響を及ぼしたものと考えられる。

Table 6 Corrosion test results

Sign	5% H ₂ SO ₄ (g/m ² h)
316 L(A)+H-227	4.32
316 L(A)+H-300	2.46
316 L(m)+H-301	2.78
316 L(A)+S-4	2.56
316 L(A)+G-80	4.80
316 L(A)+G-88	2.80

4.2.3 高温定ひずみ熱疲労試験

厚板の炭素鋼材の内面にステンレス鋼の内盛溶接をする際、溶接部が完全オーステナイト組織であると高温亀裂が発生し、それが高温で使用され熱による繰返しひずみを受けると亀裂が進展し破壊をおこすことがある。この現象に対処するため小野式回転曲げ疲労試験機を改造した高温定ひずみ疲労試験機⁷⁾を用いて回転数 500 r.p.m. で 400°C における歪振巾 (弾性歪+塑性歪) と破断までの繰返し数との関係を求めて溶接部の性能を調べた。Fig. 6 に素材、手溶接部および試作フラックス H-300, H-227 と S-4 並びに G 80 を用いた溶着鋼の熱疲労試験結果を示した。

Fig. 6 Thermal fatigue test results

これによると試作フラックスと S-4 ではほぼ同じ試験結果を示し、鋼板 SUS 27 に比してやや劣るも 316 L 手溶接部とはほぼ同様な値を示した。

これに反し、リンデ G80 を用いた溶着鋼では SUS 27 材やボンド・フラックスの溶着鋼に比して著しく劣っている。

これは溶接中に Cr の減少をきたし、組織の完全オーステナイト化にともなう高温亀裂の発生による疲労強度の低下と考えられる。

定ひずみ疲労試験結果によると溶接部に欠陥が存在しなければ、材質、溶接法に関係なく母材とあまり大きな差異を示さず、また常温から 400°C における疲労試験結果も大きな差異がない。ところが構造物の拘束条件や材質、溶接法の相違により溶接中に高温亀裂をいったん発生すれば疲労強度が著しく低下する。したがって、試作フラックスではフラックスから Cr を添加し、溶着鋼中にフェライトを 6~10% 生ぜしめることによって高温亀裂をさせ、それにより素材の定ひずみ熱疲労強度に近づけることができる。

3.3 亀裂性試験

ステンレス鋼の溶接は厚板や拘束の強い条件のもとでは高温亀裂が発生しやすい。この原因として比較的広い

凝固範囲をもつオーステナイト・ステンレス鋼では溶接時に結晶粉界に沿って、ある種の低融点化合物が液状のまま集まり、これが冷却中の収縮応力で亀裂が発生し伝播するといわれている。これらは試験片の拘束条件、心線、母材の化学成分、被覆剤、溶接条件および継手形状などに左右されるのでその影響を調査した。

3.3.1 フェライト量と亀裂性

Fig. 7 にフィスコ試験による溶着鋼に含まれるフェライト量と高温亀裂の関係を示す。図中 (A)~(M) までの試料は心線 316 L (B) 4 ϕ を使用した場合で、溶接条件は 386 A, 386 mm/min, 31 V にて行ない、ギャップは 4 mm である。試料 (N) では心線 316 L (C) 直径 5 mm 心線を用い 600 A, 600 mm/min, 31 V の溶接条件で施行した。

Fig. 7 Relation between ferrite value and crack sensitivity

この図から総括していることは高温亀裂の発生が手溶接の場合と同様、溶着鋼に含まれるフェライト量に大きく影響され、フェライト・インディケータによる測定結果で、ほぼ 5% 以下では亀裂が発生し、6% 以上では亀裂が認められなかった。

まず最初に心線によるフェライト量の影響をみると Fig. 7 中の (N) 試料の実験値のように 316 L (C) 心線の Cr 量が多いものは 6% 以上のフェライトが現われ亀裂発生は認められない。それに反し (F) 試料では 316 L (B) 心線の Cr 量が低く、同一フラックスを用いても溶着鋼のフェライト量は 5% 以下を示し、著しく高温亀裂の発生を示している。

つぎにフラックスの影響についてみるに、同一心線を用いても H-300 と S-4 では若干の差異が認められるが、これはフェライト量の差によるものであり、つぎに (F), (J), (K), (L) の各試料ではフラックス中の Cr 量

を増加せしめることによりフェライト量を増し、高温亀裂を防止できることが明らかである。また図中 (D), (E) 試料の実験で用いたフラックスは金属 Mn を 10, 20% 添加して脱酸、脱硫をはかったものであるが、H-300, S-4 に比較して亀裂度の低い値を示した。そのほかリンデ G 80 と同型のクローム鋼用の G 88 はともに 100% の亀裂度を示した。また図中の棒グラフで白線で示したものは溶接ビード部を破断後その底面に発生している亀裂度を表し、斜線で示した部分は溶接後ビード表面からカラー・チェックによって亀裂度を見た値を示す。これよりビード表面の亀裂が少なく、ビード底部の亀裂長さが大きいという差異を示したが他のリーハイ式亀裂性試験でも同様な結果になるか否かは今後の調査が必要である。

サブマージド・アーク溶接は別として、手溶接についてはすでに多くの研究者^{9)~14)}が高温亀裂の発生状況を調べ、ビード破面が着色する点から 1000°C 以上の高温で部分的に亀裂が発生し、その後の冷却によって亀裂が他に伝播すると述べている。ボンド・フラックスを用いる場合、Fig. 8 に示すごとく、高温亀裂がスラグ裏面に反転されていることや、亀裂破面が茶褐色を呈していることからスラグの溶融点 (1250~1350°C) 以上で大部分の亀裂が発生しているものと考えられる。

Fig. 8 The back side of slag

3.3.2 溶接条件ならびにルート間隔と亀裂性

高温割れ感受性に及ぼす因子として拘束度と冷却速度とがあるが、そのうち冷却速度は電流 (I) と速度 (V) の溶接条件に左右され、パラメーター (I/V) によって表現されており、これらと亀裂度との関係について調査した結果を Fig. 9, Fig. 10 に示す。

Fig. 9 からわかるように溶接電流を一として、ある溶接速度以下では亀裂度は高くなる傾向を示し、また逆にある速度以上になると亀裂度は高くなる傾向を示した。これは前節でも述べたようにステンレス鋼の高温亀裂がフェライト量に影響されるため、低速度では広範囲

Fig. 9 Relation between welding condition and crack sensitivity

Fig. 10 Relation between I/v and crack sensitivity

Fig. 11 Relation between root gap and crack sensitivity

の溶融による母材の希釈に影響され、高速度では冷却効果による収縮応力が影響するものと考えられる。しかし、これらも Fig. 10 で示すようにフェライト量が5%以下のときにみられる現象で、6~10%のフェライトを含む溶着鋼では割れの発生はみられなかった。

つぎに高温亀裂の発生しやすい 310 心線を用いて、ルート間隔の影響について調査した結果を Fig. 11 に示す。

これによるとルート間隔 0 mm で 20% の亀裂度を示し、ルート間隔を 5.0 mm にすればほぼ 100% の割れを示し、材料の割れやすいこととルート間隔を大にすることにより拘束力の影響が大きくなることを示している。しかし、同一条件でも 316 L(C) 直径 5 mm の心線を用いれば、フェライトが 10% 前後生ずるため高温亀裂はみられなかった。

3.3.3 フラックスの吸湿度と母材の予熱温度が亀裂感度に及ぼす影響

Fig. 12 はフラックスの吸湿度が亀裂感度に及ぼす影響を示し、Fig. 13 は予熱温度が亀裂感度に及ぼす影響を示す。

この試験ではフラックスが亀裂度に及ぼす傾向を明確に求めるためにフラックスが完全乾燥の状態でも 10% 前後の亀裂度を示す条件として、316 L(A) 心線 + H-321 (フラックス中に Ni 1.5% 添加) の組合せで実験を進めた。

Fig. 12 Relation between water percentage in flux and crack sensitivity

Fig. 13 Relation between preheating temperature and crack sensitivity

Fig. 12 よりわかるようにフラックス中の水分増加に伴い高温割れは著しく増加しており、ビードを破断して亀裂破面を調査した結果、溶着金属内に多数のやや光沢ある柱状晶ぞいのへきかい面割れが発生している。

また予熱温度の影響をみると 100°C~200°C の予熱温度で亀裂度は急激な低下を示している。これは母材を予熱することにより溶接部の冷却速度を緩和して温度差から生じる熱応力の発生を少なくするためと考えられる。

3.3.4 母材成分が亀裂に及ぼす影響

Fig. 14 は各心線に対する母材がそれぞれ SUS 27, 310, 314 と変化した際の亀裂度に及ぼす影響を調査したもので、この実験に用いた心線は 316 L(A), 310, 309, である。

Fig. 14 Relation between mother plates, wires and crack sensitivity

図より各心線とも SUS 27, 310, 314 の母材の順に従って亀裂度が大きくなる傾向を示す。また 310 心線に対して母材が SUS 27 の場合と心線、母材ともに 310 を用いた場合の亀裂度はほぼ同等の 50% 程度の値を示している。これはいずれの場合もフェライトを生ぜず完全オーステナイトであることによるもので、これに対して高温亀裂に特に敏感な Si を多く含んだ 314 鋼を用いた場合には、各心線とも 100% に近い高い亀裂度を示した。しかも割れの形状はビードに対して横割れが多く、典型的な高温割れを生じている。

これは 314 鋼が耐熱性の目的から Si が 1.5~3% 含有されており、これが高温割れに最も影響を及ぼす珪酸被膜を形成し亀裂発生を著しく助長しているものと考えられる。

3.3.5 引張亀裂性試験機による拘束力と亀裂感度

上述までの亀裂試験はフィスコ試験機を用いたが、その方法では拘束力について定量的に把握できないので、Fig. 3 に示した引張亀裂性試験機を用いて実験を行なった。

試験片は SUS 27 材を用い、心線は 310, フラックスは H-300, 溶接条件は 600 A, 32 V, 500 mm/min で一本のビードを試験片上に引いて亀裂度を調査した。拘束応力を変化させた場合の亀裂度への影響は Fig. 15 のごとくである。図に示したフェライト量が 1.5% 以下で透磁率が 1.02~1.05 なる溶着鋼では拘束応力が 10 kg/mm² 以上で急激に亀裂度が上昇することがわかる。

Fig. 15 Relation between restraining stress and crack sensitivity

つぎに 316 L 心線を用い、フラックスに Ni を順次添加して溶着鋼のフェライト量を調整し、拘束応力を 12.5 kg/mm² (全荷重 20 ton で最大) とし、フェライト量と亀裂度との関係を求めた。それによると 1.5~2.5% フェライト量では 20% の亀裂度を示し、2.5~5% フェライト量では数% に減少し、6% 以上では亀裂の発生がみられずフィスコ試験と同じ結果がえられた。

4. 結 言

以上、試作ボンド・フラックスによる全溶着金属の性質と高温亀裂について、アーコス社の S-4 フラックスならびにリンデ・フラックスを対比させ実験を進めてきたが、おわりに試作フラックスの性能を要約するとつぎのとおりである。

(1) 低温衝撃値は U-5 mm ノッチで -180°C において 3.1 kg-m あり、ステンレス鋼の低温規格を十分満足しており、引張試験結果も良好な値を示した。

(2) 耐食性も 5% H₂SO₄ 沸騰液 6 h 浸漬による腐食試験結果は H-300 を用いた場合 2.5 g/m²h で規格値

を十分満足する値を示した。

(3) 熱疲労試験 (高温定歪疲労試験) では高温亀裂を生じないよう Cr を添加した試作フラックスで溶接された溶着鋼は素材と大差ない結果を示した。リンデ G 80 では高温亀裂が発生し、この欠陥のため試験値は著しく低下している。

(4) ステンレス鋼の溶接時に発生する高温亀裂は組織中に 6~10% のフェライトが残存するようにフラックスによって溶着金属の組成を調整すれば亀裂は十分防止することができる。これに反し、5% 以下のフェライト量ではビード先端と終端に亀裂がはいり、さらに亀裂を発生させる恐れがあり注意を要する。

(5) 溶接条件やフラックスの吸湿度、予熱温度なども高温亀裂に大きく影響する。拘束力による亀裂の影響については引張亀裂性試験機によって調査した。

参 考 文 献

- 1) Campbell & Johnson: "Bonded Fluxes for Submerged Arc Welding of Alloy Steels" W.J., Vol. 36 (1957), No. 11, 1078~1084
- 2) " : "Welding Alloy Steels under Bonded Fluxes" W.J., Vol. 37 (1958), No. 11, 1081~1084
- 3) 一海: 昭和36年度春季学術講演会発表会予稿36.
- 4) 正木良樹: "ステンレス鋼ニニオンメルト溶接の基礎的研究" 日立船技報, 21 (1960), 3.11~20
- 5) H.M. Schnadt: Publication of a new hot cracking (Fisco test) 1956. I.I.W.
- 6) 前川, 松尾, 鈴木: 新しい高温亀裂測定実験, 溶接学会誌 26巻, (昭.25年), 18号, 511~515.
- 7) 渡辺寛: 未発表
- 8) J.C. Borland, R.N. Younger: "Some Aspects of cracking in welded Cr-Ni Austenitic steels" B.W.J., Vol. 7 (1960), No. 1, 22~59
- 9) A. Hoer, T.J. Moore: "The welding of type 347 steels" W.J., Vol. 36 (1957), No. 10, 442 s~448 s
- 10) P.P. Puzak, H. Rischall: "Further Studies on stainless-steel hotcracking" W.J. Vol. 36 (1957), No. 2, 56 s~61 s
- 11) Fabrykowski, etc.: "Army first pass groove weld crack susceptibility test", W.J. Vol. 33 (1954), No. 4, 168 s~172 s
- 12) L.K. Poole: "The Incidence of cracking in welding type 347 steels", W.J. Vol. 32 (1953) No. 8, 403 s~412 s
- 13) 鈴木, 中村, 清水: "オーソテナイト系ステンレス鋼の溶接割れに関する研究 (第2報)", 溶接学会誌, 29巻 (昭.35年), 第11号, 881~886.
- 14) 前川, 松尾, 鈴木: Fisco Tester によるオーソテナイト系ステンレス溶着鋼の溶接高温亀裂について, 溶接学会誌, 27巻 (昭.35年), 第9号, 531~537