

## 技術報告

UDC 669.15'24'26-194.56 : 669.15'24'26'28-194.56 : 669.14.018.8 :  
621.791.019 : 621.791.754 : 620.191.33オーステナイト系ステンレス鋼薄板の溶接亀裂試験  
方法について\*川島 節雄\*\*・青山 幸男\*\*・福井 太\*\*  
井上 章吾\*\*・原田 憲二\*\*\*A New Testing Method to Evaluate a Weld Cracking  
Susceptibility for Stainless Steel SheetsSetsuo KAWASHIMA, Yukio AOYAMA, Futoshi FUKUI,  
Syogo INOUE, and Kenzi HARADA

## Synopsis:

Many testing devices have been developed for the determination of the weld cracking properties of the steels. These are mainly applied to the plate, but a few of them to stainless steel sheets under 3.0 mm in thickness. Meanwhile, the troubles of the cracks transverse to welding direction have frequently occurred in producing welded tubes.

Therefore, authors have designed and used a new method to evaluate a weld cracking susceptibility of stainless steel sheet. Its features are as follows;

- 1) Welding bead-on-plate with TIG are under tensile load.
- 2) As susceptibility index, using a critical strain, which is the elongation of just beginning to crack, and is obtained from relationship between the elongation and number of cracks in unit length.

In this paper, firstly, the device has been described in details and secondly, the availability of this method has been shown from the testing results for stainless steels.

## 1. 緒 言

溶接金属の高温割れ性を把握するための溶接きれつ試験法は数多く考案され用いられている<sup>1)</sup>。オーステナイト系ステンレス鋼や高合金鋼のきれつ試験には、普通鋼や低合金鋼に用いられている方法が適用されているが<sup>2)3)</sup>主として厚板を対象とした試験法が多く、TIG溶接を用いる薄板での試験法はあまり数多くない。TIG溶接による試験法としては

- 1) Vareststraint 試験法<sup>4)5)</sup>
- 2) Trans-Vareststraint 試験法<sup>6)7)</sup>
- 3) Boudreau 薄板割れ試験<sup>8)</sup> などがある。

1) 2) の方法は一定曲率のブロックを用いて溶接直後に曲げ加工でひずみを与え、ひずみ量と割れ長さできれつ感受性を求める方法である。3) の方法は溶接線直角

方向に引張応力を与えながら溶接し割れが発生する荷重をきれつ感受性としてあらわす方法である。1) 2) の方法ではひずみ量を  $\epsilon = t/2R$  ( $R$ …曲げブロックの曲率半径,  $t$ …試験板の板厚) で求めているため与えられるひずみ量に制限があること、また3) の方法ではきれつ感受性の尺度として荷重を用いていること、きれつの発生形態からみると2) 3) は溶接線に平行方向のたて割れが主体であることなどそれぞれ特徴をもっている。しかし現実には薄板フープを用いてオーステナイトステンレス鋼の溶接管を製造するときや実際の溶接物に溶接線に直角方向に発生したきれつをしばしば経験しており、従来の方法では十分に網羅できない。そこで筆者らは、

- 1) 薄板の TIG 溶接できれつを発生させること
- 2) 溶接線にほぼ直角にきれつが入ること
- 3) きれつ感受性が定量的に把握できること

\* 昭和50年4月本会講演大会にて発表 昭和51年1月28日受付 (Received Jan. 28, 1976)

\*\* 日本金属工業(株)相模原製造所 (Sagamihara Works, Nippon Metal Industry Co., Ltd., 1-30 Oyama-cho Sagamihara 229)

\*\*\* 日本金属工業(株)相模原製造所 工博 (Sagamihara Works, Nippon Metal Industry Co., Ltd.)

4) 装置, 操作が簡便で精度のよいこと, などを目標に種々検討した結果, きれつ感受性を定量的に精度よく評価する試験方法を考案し好結果を得ている. 本試験方法は前述の BOUDREAU の方法を参考にしたもので, 溶接線方向に引張応力を与えながら TIG 溶接し溶接線直角方向にきれつを発生させる. なおこの方法は渡辺ら<sup>9)</sup>の方法にもかなり似ているがきれつ感受性の尺度のとり方に相異がある. 以下この試験方法の概要と, この方法を用いて試験した 2, 3 の応用例について報告する.

## 2. 試験法

### 2.1 原理

基本的原理は, 試験片に引張応力を与えた状態で不溶性電極によりなめつけ溶接し, ビード部, HAZ 部に横割れを発生させ, ビード部の伸びときれつ個数の関係からきれつ感受性を評価する方法である. Fig. 1 に試験機の概略図を, Photo. 1 にその主要部を示す. 試験片は平坦にして, 標点距離 (G. L) 60 mm のマークをつけ幅中央でかつ G L 部が内に入るようにして 100 mm 長さのビードをおく.

### 2.2 溶接条件

電極 3.2 mm φ トリタン, 先端角はほぼ 60° にしておく.

アルゴン流量 表側 8 l / min, 裏側 2 l / min

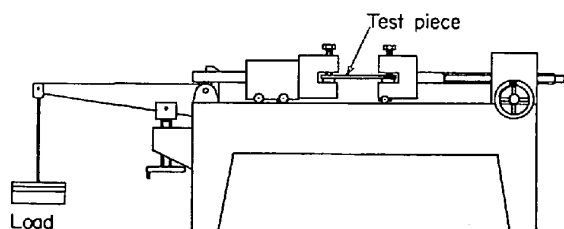


Fig. 1. Simplified sketch of the testing apparatus.



Photo. 1. Close-up view of the testing apparatus.

アーク長さ 板厚にほぼ等しくする.

溶接電流, 溶接速度については後述する.

### 2.3 評価方法

溶接終了約 1 min 後に荷重をはずし, 試料の温度が常温になってから標点間の伸びを 10 倍の投影機により測定し, 永久伸び率 (Elongation) を求める. つぎにビード部の表裏をカラーチェックし, 標点間内に発生したきれつの個数を数える. ビード部単位長さ当りのきれつ個数と永久伸び率の関係をプロットし, きれつ発生限界伸び値を求める. このきれつ発生限界伸び値 (Critical strain) をもって, きれつ感受性を示す尺度とする. 例を Fig. 2 に示す.

### 2.4 きれつの形態

本試験法において発生するきれつの形態を次の 3 とおりに分類し区別する. (Fig. 3)

- ビード割れ……………比較的大きな横割れ
- 母材割れ { 止端割れ…ボンド近傍に発生する小割れ
- HAZ 割れ…熱影響部に発生する小割れ

ビード割れ, 止端割れの顕微鏡写真を Photo. 2 に示す.

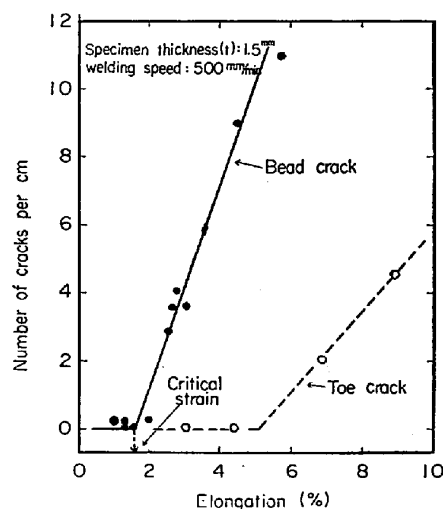


Fig. 2. Number of cracks per unit length vs elongation in weld metal for SUS 309 S.

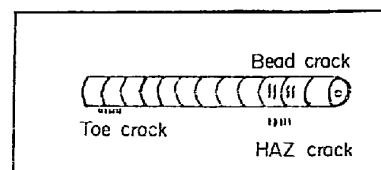


Fig. 3. Schematic representation for the appearance of cracks which occur in the specimen after testing.

3. 試験条件の検討

3.1 きれつ感受性の定量化

きれつ感受性をあらわす尺度として引張荷重を用いる

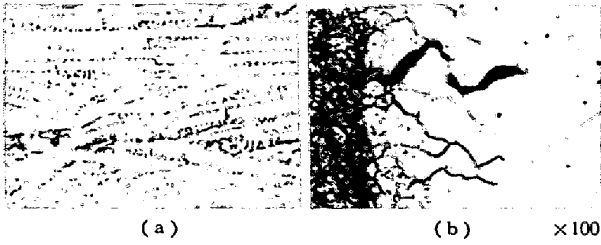


Photo. 2. Microstructure of the typical cracks. (a) bead crack (b) toe crack

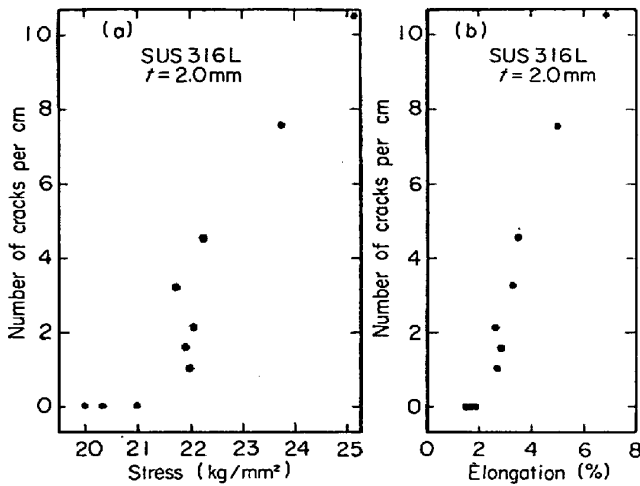


Fig. 4. Comparison of the elongation with the stress in case of using as a susceptibility index.

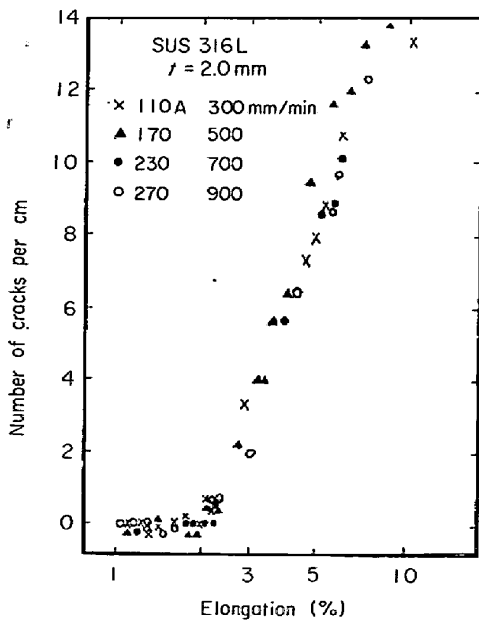


Fig. 5. Influence of welding variables on the critical strain for SUS 316L.

Boudreau の方法では、材料そのものが有する固有の強度が影響するものと考えられること、また引張応力-きれつ個数、および伸び(%) -きれつ個数の関係 (Fig. 4 a, b) から伸び(%) を用いた方がより適切と判断されるので、この伸び値を感度の尺度として採用した。

3.2 溶接条件(溶込み量)の影響

溶接速度、溶接電流を変化させ、溶込み量の伸び-きれつ個数の関係におよぼす影響について検討した。試料としてはビード割れ主体の SUS316L と止端割れ主体の SUS304 の両者をえらび比較した。316L の結果を Fig. 5 に示す。同一荷重では溶接条件によつて伸び率に変化はあると考えられるが、裏ビード幅が  $5 \pm 2$  mm 程度出る条件範囲内では影響を受けないようである。したがつ

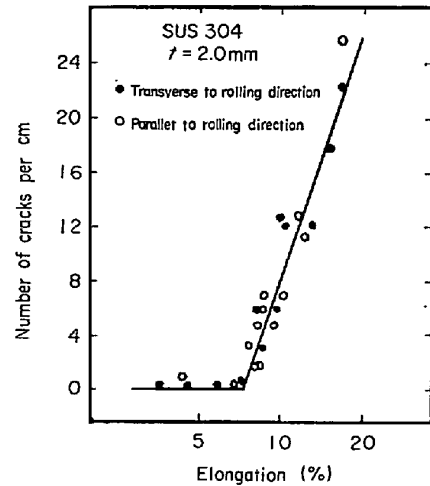


Fig. 6. Influence of rolling direction on the critical strain.

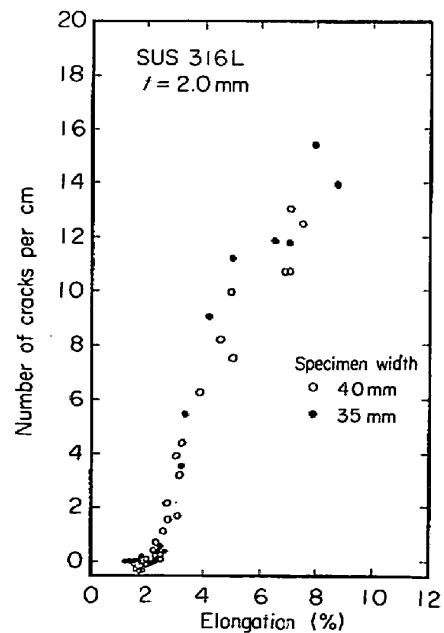


Fig. 7. Influence of the specimen width on the critical strain.

Table 1. Chemical composition of materials tested (%).

Type	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
304	0.05	0.64	1.00	0.025	0.015	8.80	18.41	0.12	—
316	0.06	0.71	1.02	0.025	0.014	10.49	16.83	2.27	—
317	0.074	0.67	1.28	0.026	0.008	13.01	18.47	3.46	—
317L	0.020	0.78	1.49	0.013	0.013	14.94	18.25	3.47	—
316JIL	0.020	0.64	1.47	0.012	0.018	15.58	17.91	2.54	1.21
310S	0.077	0.71	1.62	0.023	0.017	19.99	24.77	—	—

Table 2. Welding variables.

Thickness (mm)	Current (A)	Speed (mm/min)	Arc length (mm)	Current/speed
1.0	70-80	500	1.0	0.15
1.5	110-120	500	1.5	0.23
2.0	150-160	500	2.0	0.31

て裏ビードを約5mm目標として条件設定すれば十分と思われる。

3.3 試験片の方向性

一般に圧延加工された板の引張試験特性は圧延加工方向で差のあることが知られている。本試験法は引張応力を与えている方法であるのでこの方向性の影響を念のため検討した。試料として止端割れ主体の SUS 304 とビード割れが優先する SUS 316L 両鋼種の 2.0 mm 厚に

ついて比較した。両鋼種ともに伸び-きれつ個数の関係においては方向による差は認められない。304 の結果を Fig. 6 に示す。

3.4 試験片形状の影響

3.4.1 幅

試験片の板厚を2.0mm一定とし幅を35mm, 45mmの2水準で比較した。試料断面積が大きくなれば同一荷重での伸びはもちろん小さくなることは考えられるが、伸び-きれつ個数の関係では幅による影響は認められない (Fig. 7)。

3.4.2 板厚

板厚の影響を代表的な鋼種について検討した。供試材の化学成分を Table 1 に、溶接条件を Table 2 にそれぞれ示す。なお板厚は1.0mm, 1.5mm, 2.0mmの3水準とした。試験結果をきれつ発生限界伸び値で示す

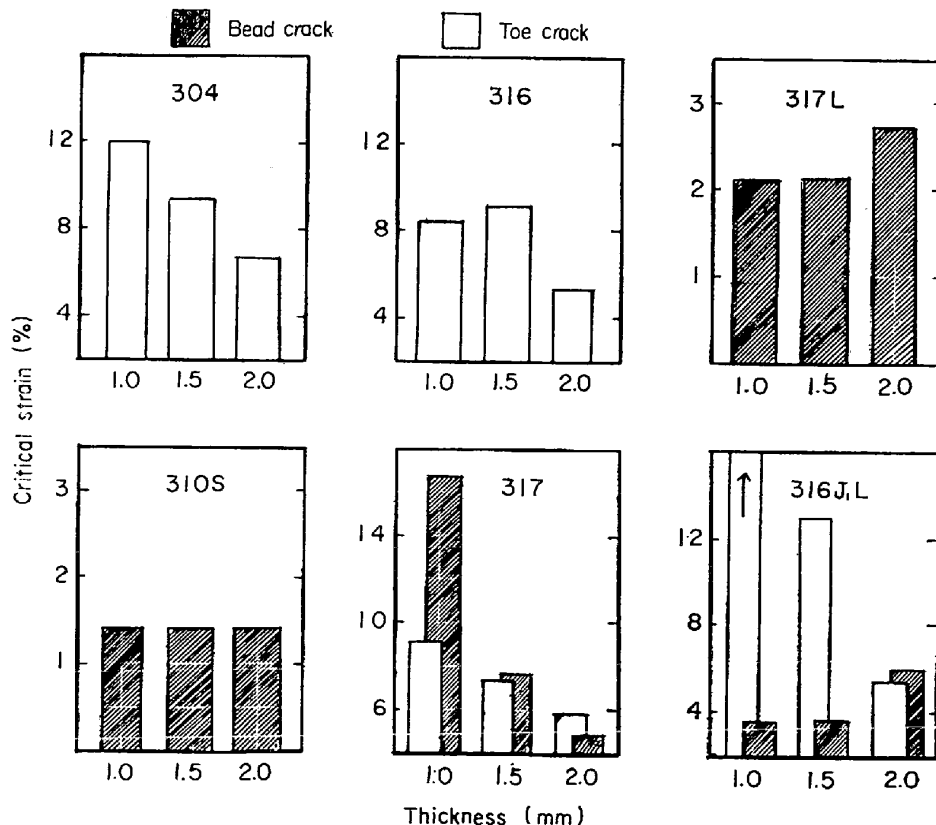


Fig. 8. Influence of the specimen thickness on the critical strain for some stainless steels.

Table 3. Chemical composition of materials tested (%).

Type	S	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Nb	FN*
304	0.05	0.64	1.00	0.025	0.015	8.80	18.41	0.12	—	4.8
304L	0.019	0.78	1.02	0.024	0.011	10.27	18.51	0.19	—	5.3
316	0.06	0.71	1.02	0.025	0.014	10.49	16.83	2.27	—	4.2
316L	0.021	0.64	1.54	0.023	0.008	13.42	16.86	2.39	—	0.3
347	0.068	0.59	1.36	0.013	0.016	11.20	17.84	—	0.80	0.0
310S	0.077	0.71	1.62	0.023	0.017	19.99	24.77	—	—	0.0

\* Ferrite number (%)

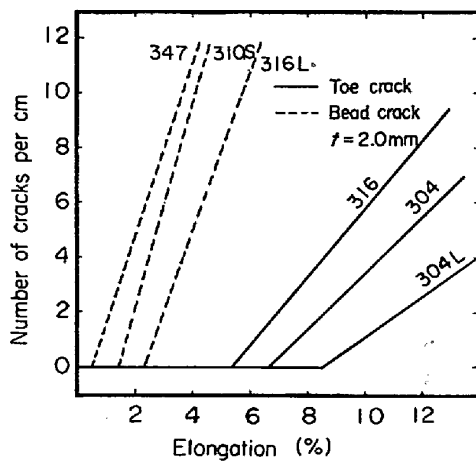


Fig. 9. Relation between number of cracks and elongation for some stainless steels.

と Fig. 8 のとおりである。図より明らかなように、鋼種によつて板厚の影響に差がありその傾向は一樣でないが、止端割れは板厚が薄くなるほど発生しにくくなるようである。したがつて板厚を統一して比較試験することが望ましい。

#### 4. 本試験法の適用例

本試験法を用いて検討した 2, 3 の試験結果を列挙する。

##### 4.1 各種ステンレス鋼薄板のきれつ感受性

溶接きれつの観点から抽出した代表的な 6 鋼種 (Table 3) について試験した結果を Fig. 9 に示す。きれつ発生限界伸び値から各鋼種のきれつ感受性の順位を推定するとつぎのようになる。

$$347 > 310S > 316L > 316 > 304 > 304L$$

大 ← きれつ感受性 → 小

Nb 入りの 347, 完全オーステナイトの 310S はきれつ感受性の高いことがわかる。この傾向は Vareststraint 試験や Trans-Vareststraint 試験の結果<sup>3)</sup>とほぼ一致し、また実際の溶接施工でも同じ傾向が経験されている。

##### 4.2 フェライト量の影響

溶接時の高温割れは  $\delta$ -フェライト量と密接な関係が

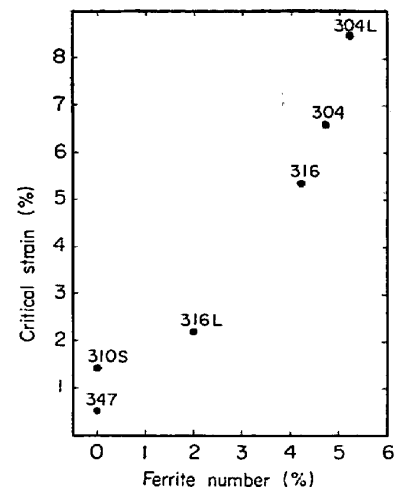


Fig. 10. Relation between critical strain and ferrite number in weld metal.

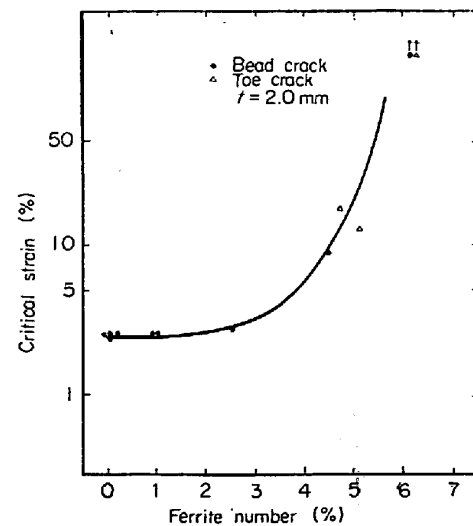


Fig. 11. Relation between critical strain and ferrite number for SUS 316L.

あることは既知の事実であるが、本試験法によつてもフェライト量の影響を明りように検出することができた。Fig. 10 は Table 3 の各鋼種のフェライト量と限界伸び値の関係を示したものであり、また Fig. 11 は 316L についてフェライト量の影響をあらわしたものである。なおフェライト量はビード部を Permascope で測定した

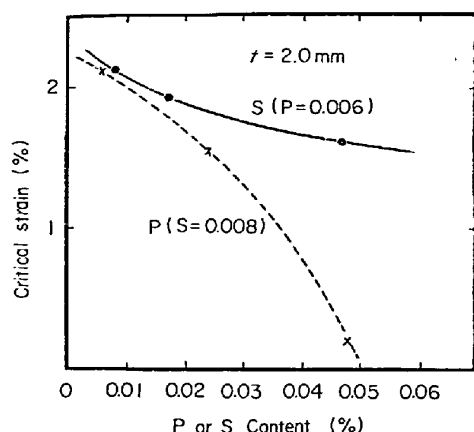


Fig. 12. Influence of P or S on weld cracking susceptibility to SUS 310S.

値である。

#### 4.3 P, S の影響

一般に P, S などの不純物は、凝固時に粒界に低融点の化合物を析出し高温割れの主要な要因とされている。特に SUS 310S のような完全オーステナイトの高合金鋼ではその影響が顕著である。本試験法によつてこれら P, S の影響を検出すると Fig. 12 に示すごとく両者ともにきれつ感受性を高めることがわかつた。なお S より P の方が影響の大きいことがわかる。

### 5. 結 言

引張応力を与えた状態で TIG 溶接によりなめつけ溶接し、きれつ発生限界伸び値からステンレス鋼薄板の

溶接きれつ感受性を評価する本試験法の特徴は、

- 1) 感受性を示す尺度として永久伸び率を採用することにより定量的な感受性の検出が可能である。
- 2) 試験条件の制約がすくなく簡便である。すなわち試験機的能力を考慮して試験片の形状をきめ、溶接条件としては、裏ビード幅が約 5 mm 程度得られる条件を設定すればよい。
- 3) 板厚影響がやや大きい。したがつて相対的な比較試験のためには板厚を統一することが望ましい。

なお本試験法を用いて試験した結果、きれつ感受性におよぼすフェライト量や P, S の影響、ビード割れが優先する鋼種、止端割れの発生しやすい鋼種など、いろいろ有益な情報が得られた。

### 文 献

- 1) 田村: 溶接学会誌, 31 (1962), p. 934
- 2) 安藤: 溶接技術, 5 (1957), p. 757
- 3) 荒田, 松田: 溶接学会全国大会講演概要集第13集 (1973), p. 116
- 4) 西, 本間: 溶接学会全国大会講演概要集第15集 (1974), p. 32
- 5) W. F. SAVAGE: Welding Research Supplement, 44 (1965), p. 433-S
- 6) 仙田, 松田: 溶接学会全国大会講演概要集第8集 (1971), p. 267
- 7) 仙田, 松田: 溶接学会誌, 41 (1972), p. 709
- 8) J. S. BOUDREAU: Welding Research Supplement, 35 (1956), p. 164-S
- 9) 渡辺, 木村: 溶接学会全国大会講演概要集第6集 (1970), p. 61