溶接部ならびに鋳物の透過X線写真にあらわれる影 (第5報)*

— 影 と 延 性 —

渡 辺 統 市** 安 藤 真 一 郎***

The Mottling Appeared on Radiograph of Weldments and Castings (5th Report)

—The mottling and ductility—

by Toichi Watanabe**, Shinichiro Ando***

Influence of the mottled appearance on the tensile and bend ductility was investigated. The mottling frequently observed on radiographs of austenitic stainless steel weldments and castings. Longitudinal weldmetal specimens with different levels of contrast of the mottling were prepared. The results may be summarized as follows.

1. Progressive increase in the contrast produced a marked decrease in both tensile and bend ductility.
2. Cracks appeared on bend specimens were intergranular. The intergranular cracking strongly suggests that microfissures were present, while such specimens show pronounced mottling.

The results seem to suggest that low density grain boundaries containing such a defect as microfissures may be important concerning the mechanism of the mottled appearance.

1. 緒 言

ステンレス溶接金属ならびに鋳物の透過X線写真にあらわれる影について、前報^{1),2),3)}ではその原因として低密度粒界説を提唱した。すなわちボイド、マイクロクラックあるいは低融点化合物が粒界にあれば凝固組織特有の低密度粒界となり、そこでX線が回折して影とあらわれるというものである。一方あきらかな溶接割れからも影の発生することが確認されている⁴⁾。この影の発生機構の精細についてはまだ明らかでないが、割れの形態と関連してX線の入射角あるいは波長などの条件が満足したときあらわれるものと考えられる。

低密度粒界あるいは溶接割れといったいわゆる溶接欠陥が影の原因であれば、影の機械的性質におよぼす影響を明らかにしなくてはならない。この研究はその一環としてまず引張ならびに曲げ性質について影との関係を追求したものである。

2. 試料ならびに試験方法

影のコントラストは溶接金属中のフェライト量と密接な関係にあり、したがって溶接金属の成分ならびに溶接速度によって著しく異ってあらわれる²⁾。この研究では

こういった溶接条件と影の関係を利用して、影のコントラストの異なる溶接試片を造った。溶接方法は前報²⁾で述べた通りである。すなわち、片側45°の開先をつけた板厚6mmの18:8ステンレス鋼板を突合せて、出来るV溝に溶接棒心線をねかせて前進一層TIG溶接を行なうというものである。開先深さは引張試片については4mmとし一方曲げ試片については3mmとした。溶接棒としては19:9心線に純ニッケル線を併用するもの、19:9心線単独のものならびに25:20心線単独のものがあつた。Table 1は用いた溶接棒ならびに母材の化学成分を示したものである。

溶接は希釈率を約70%とし、同じ溶接棒を用いた場合は溶接金属の成分がほぼ一定となるようにした。影は成分上オーステナイトの安定度がまずにつれて明瞭にあらわれる。溶接速度は2~18cm/minと変化した。溶接速度が小さい場合フェライト量は少なく、影は明瞭にあらわれる傾向にある。

引張試片については同一溶接条件による溶接接手を四つ用意し、そのうちの二つは溶接のまま、残りの二つは溶体化処理を行なつてのち試片の製作に供した。引張試片は溶接線長手方向に採取した全溶接金属よりなるものでその寸法をFig. 1に示す。一方曲げ試片はこれを溶接線長手方向に採取し、表曲げ試験を行なった。Fig. 2はその寸法ならびに曲げ加工の要領を示したものである。

*原稿受付 昭和49年7月23日(48・49年春季、秋季全国大会に発表)

**正 員 名古屋工業大学 Member, Nagoya Institute of Technology

***研究当時 名古屋工業大学大学院 Post Graduate, Nagoya Institute of Technology 現在日立造船

Table 1 Chemical analysis of base metals and filler metals used.

	JIS	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Fe
Base metal	SUS 304 (18:8)	≤0.88	≤1.00	≤2.00	≤0.040	≤0.030	8.00-10.50	18.00-20.00	—	bal.
Filler metal	D 308 (19:9)	≤0.08	≤0.90	≤2.50	≤0.040	≤0.030	9.00-11.00	18.00-21.00	—	bal.
	D 310 (25:20)	≤0.20	≤0.75	≤2.50	≤0.030	≤0.030	20.00-22.00	25.00-28.00	—	bal.
	VNIWL	0.026	0.06	0.15	—	—	99.69	—	0.06	0.011

Fig. 1 All-weld-metal tensile-test specimen. **Fig. 2** Bend-test specimen and testing procedure. In the early stage of the test, specimen was bent as centrally loaded simple beam with the weld in longitudinal tension.

曲げ加工中に発生した割れは染色探傷法によって検出した。引張、曲げ試験ともに小型万能試験機を用いて行ない、引張速度はすべて 2 mm/min とし、曲げ試験は少し曲げては表面状況をしらべるという方法を繰り返して加工を進めた。

3. 実験結果ならびに考察

a. 引張試験

全溶接金属からなる引張試験片の透過X線写真とマイクロ組織の一例を Photo. 1 に示す。X線写真は試片に整形後、引張試験前に撮影したものであり、組織写真は試験後の試片断面について得られたものである。ここに例示した試片は母材18:8、溶接棒は19:9心線に純ニッケル線を併用したグループに属するものであるが、写真でみられるようにフェライト量が増加するにつれて影はコントラストを失う傾向にある。ここで影のコントラスト

Photo. 1 Some examples of radiograph and micro-structure of all-weld-metal tensile-test specimens in as-welded condition.

welding conditions and others of these specimens are shown in Table 2. Spec. No. A1-1, A2-1 and A3-1 are graded as "High", "Medium" and "Low" respectively, according to contrast of the mottling. Delta ferrite in the structure decreases as the contrast increases.

トについてこの研究ではこれを“High”, “Medium”ならびに“Low”の三段階に区分して示した。試片 No. A1-1 についていえばその影のコントラストは“High”, No. A2-1 では試片左側の一部にみられる明瞭なかげを除きその他の部分については“Medium”, No. A3-1 では“Low”とした。

Tables 2~4 は用いた溶接棒の異なる各グループの試片について、それぞれの溶接条件と引張試験結果を示したものである。Table 2 に示すグループについてみれば溶接速度が 3 cm/min から 18 cm/min と早くなるにつれてフェライト量は増大し、同時に影も先述した三段

階の区分による“High”から“Low”まで変化する。一方伸びについては各試片による多少の変動は認められながらも大勢としては影がコントラストを失うにつれて増大する傾向にある。引張強さは影のコントラストの高いものがやや低い傾向にあるがその差は少ない。

Tables 3, 4 に示す各グループについては、前者では影の不明瞭な試片が多く、後者では影の明瞭な試片にかたよっている。各グループ内での影のコントラストの差が少なく、また伸びの差も少ない。このためか影と伸びの関係はいずれのグループにおいてもあまり明瞭でない。しかしながら影のより明瞭なものが伸びもやや低い

Table 2 Effect of variations in contrast of the mottling on the tensile properties of stainless steel weld metals.

Longitudinal all-weld-metal specimens in as-welded condition with different levels of the contrast were tested. progressive increase in the contrast produced a marked decrease in tensile ductility and a minor decrease in tensile strength.

base metal, 18:8 stainless steel plate, 6 mm in thickness. filler metals, 19:9 stainless steel wire, 5 mm in diameter, plus nickel wire, 0.75 mm in diameter. TIG.

Spec. No.	Voltage volts	Current amperes	Travel cm/min	Delta ferrite, %	Contrast of the mottling	Elongation, %, in 50 mm	Ultimate tensile strength Kg/mm ²
A1-1	15	165	3	0-1	High	44.8	56.5
-2	15	165	3	0-1	High	34.0	56.4
A2-1*	15	240	8	0-4	Medium	32.4	52.2
-2	15	240	8	3-4	Medium	52.0	62.0
A3-1	15	320	13	6	Low	53.9	58.9
-2	15	320	13	5	Low	56.1	59.9
A4-1	15	405	18	6	Low	49.9	59.5
-2	15	405	18	6	Low	59.9	60.4

* indicates an irregular distribution of ferrite in weld metal

Table 3 Effect of variations in contrast of the mottling on the tensile properties of stainless steel weld-metals.

Longitudinal all-weld-metal specimens in as-welded condition with different levels of the contrast were tested. progressive increase in the contrast produced a minor decrease in tensile ductility and a slight increase in tensile strength.

base metal, 18:8 stainless steel plate, 6 mm in thickness. filler metal, 19:9 stainless steel wire, 5 mm in diameter. TIG.

Spec. No.	Voltage volts	Current amperes	Travel cm/min	Delta ferrite, %	Contrast of the mottling	Elongation, %, in 50 mm	Ultimate tensile strength Kg/mm ²
B1-1	15	145	3	3-4	Medium	50.6	65.4
-2	15	145	3	3-4	Medium	53.4	66.8
B2-1	15	220	8	5	Low	53.8	63.3
-2	15	220	8	5	Low	48.0	63.2
B3-1	15	290	13	6	Low	56.2	63.3
-2	15	290	13	6	Low	54.2	64.4
B4-1	15	400	18	6	Low	55.8	62.1
-2	15	400	18	6	Low	56.4	61.9

Table 4 Effect of variations in contrast of the mottling on the tensile properties of stainless steel weld-metals.

Longitudinal all-weld-metal specimens in as-welded condition with different levels of the contrast were tested. progressive increase in the contrast affects a little on both ductility and strength.

base metal, 18:8 stainless steel plate, 6 mm in thickness. filler metal, 25;20 stainless steel wire, 5 mm in diameter. TIG.

Spec. No.	Voltage volts	Current amperes	Travel cm/min	Delta ferrite, %	Contrast of the mottling	Elongation, %, in 50 mm	Ultimate tensile strength Kg/mm ²
C1-1	15	175	3	None	High	43.4	52.7
-2	15	175	3	None	High	36.0	54.1
C2-1	15	235	8	None	High	33.6	54.1
-2	15	235	8	0-1	High	48.2	58.9
C3-1	15	310	13	1-2	High	42.2	54.8
-2	15	310	13	0-3	High	35.2	55.4
C4-1	15	405	18	3-4	Medium	38.6	52.4
-2	15	405	18	3-5	Medium ^m	44.4	53.6

傾向にある。一方引張強さについては Table 3 に示す結果では影の明瞭なものにおいてやや強い傾向がみられ、Table 4 に示す結果では各試片の間での差がほとんど認められたい。

Fig. 3 は得られた結果を影と伸びの関係について、用いた溶接棒に関係なく、一括して示したものである。この種の溶接金属では一般に影の明瞭な場合、不明瞭なものにくらべて伸びの低いことがわかる。一方引張強さについては影との関連において系統的な関係はみられない。すなわちそれぞれのグループにおいて時としては相反する傾向がみられ、また影の明瞭なものとは不明瞭なものとの間での強度差も少ない。

Fig. 3 Relation between tensile ductility and contrast of the mottling for austenitic stainless steel weld-metals in as-welded condition.

The ductility data shown in tables 2,3 and 4 are plotted. Tensile ductility of weld-metal tend to decrease as the contrast increases.

Fig. 3 に示す結果は一応影と伸びの関係を肯定するものとみられる。しかしながら精細な点についてはまだ十分あきらかではない。すでに述べたようにこの研究では影のコントラストの異なる試片を製作するにあたって溶接金属の化学成分ならびに溶接速度をかせてある。このためコントラストの異なる各試片ではフェライト含有量が異なり、また結晶粒度も変化していることが考えられる。一方溶接速度のおそい場合、溶接金属の冷却速度が小さくしたがって炭化物の析出が考えられ、さらに各グループ間での比較を行うについてはそれらの間での成分の相違という問題がある。ここで各グループ内では溶接にあたって希釈率を一定にたもってあるので、マクロ的な成分の相違はないものと期待される。

さてここに列挙した溶接金属中のフェライト量、結晶粒度、析出の有無あるいわ成分の相違などはそのいずれもが引張性質に影響をおよぼす要因となり得るものである。すなわち第2相としてのオーステナイト中のフェライト相の存在は強度の増大をまねき、結晶粒度は降伏応力あるいわ伸びと密接な関係にあることが知られている。また炭化物の析出は溶接金属の脆化をまねき、一方成分の変化については成分元素による固溶体強化を考えなくてはならない。影と張強性質の関係を究明するうえでのこういった問題点を考慮して、溶接試片に溶体化処理を加えてフェライト相を消去した試片についてふたたび引張試験を行なった。

Photo. 2 は溶体化処理を行なったのちの試片についてその透過X線写真とマイクロ組織の一例を示したものである。マイクロ組織は引張破断後の試片断面について得られたものであり、欠り線があらわれている。写真でみられるようにこの熱処理によってフェライトはほとんど

Photo. 2 Some examples of radiograph and micro-structure of all-weld-metal tensile-test specimens in post-weld heat treated condition.

Welding conditions and others of these specimens are shown in table 5. Spec. No. A1-3, A2-3, and A3-3 are graded as "High", "Medium" and "Low", respectively, according to contrast of the mottling. Delta ferrite in the structure is almost disappeared by the heat treatment, whereas the contrast of the mottling remains unchanged.

消滅している。一方影についてはすでに示した Photo. 1 とくらべてわかるように、この程度の熱処理によってそのコントラストはほとんど変化していない。ここで Photo. 1 ならびに Photo. 2 に示した試片はいずれも母材18:8, 溶接棒としては19:9心線にニッケル線を併用するという同じグループに属するものである。

溶体化処理を加えてフェライト相を消去した試片についての引張試験結果を各グループ別にそれぞれ Tables 5~7 に示した。表中のフェライト量は試片の両端において熱処理前の組織写真より求めたものである。Tables

5~7 に示した各グループの試片においても、影のコントラストの強いものは伸びが低い傾向にある。Fig. 4 は溶体化処理を加えた試片について、影と伸びの関係を、用いた溶接棒に関係なく、一括して示したものである。Fig. 4 に示した溶接したままの場合と同様に溶体化処理を加えたものにあっても、影の明瞭な溶接金属の伸びは不明瞭なものにくらべて低い。

長時間の溶体化処理によってフェライト相を消去したかもしれない析出物があったとしてもそれらはオーステナイト中に再固溶すると期待される試片において、なお影の明

Table 5 Effect of variations in contrast of the mottling on the tensile properties of stainless steel weld-metals.

Longitudinal all-weld-metal specimens in post-weld heat treated condition with different levels of the contrast were tested. progressive increase in the contrast produced a marked decrease in tensile ductility, whereas tensile strength remained nearly constant.

base metal, 18:8 stainless steel plate, 6 mm in thickness. filler metals, 19:9 stainless steel wire, 5 mm in diameter, plus nickel wire, 0.75 mm in diameter. TIG.

Spec. No.	Voltage volts	Current amperes	Travel cm/min	Delta ferrite %, as weld	Post weld heat treatment °C hrs	Contrast of the mottling	Elongation % in 50 mm	Ultimate tensile strength kg/mm ²
A1-3	15	165	3	0-1	1050 5	High	52.9	60.4
-4	15	165	3	0-1	1050 5	High	56.2	58.1
A2-3	15	240	8	3-4	1050 5	Medium	57.3	58.0
-4	15	240	8	4-5	1050 5	Low	60.0	55.5
A3-3	15	320	13	5-6	1050 5	Low	60.3	56.0
-4	15	320	13	5-6	1050 5	Low	67.7	57.2
A4-3	15	405	18	6	1050 5	Low	65.3	56.0
-4	15	405	18	6	1050 5	Low	65.7	56.0

Table 6 Effect of variations in contrast of the mottling on the tensile properties of stainless steel weld-metals.

Longitudinal all-weld-metal specimen in post-weld heat treated condition with different levels of the contrast were tested. progressive increase in the contrast produced a marked decrease in tensile ductility, whereas tensile strength remained nearly constant.

base metal, 18:8 stainless steel plate 6 mm in thickness. filler metal, 19:9 stainless steel wire, 5 mm in diameter. TIG.

Spec. No.	Voltage volts	Current amperes	Travel cm/min	Delta ferrite, %, as weld	Post weld heat treatment °C hrs	Contrast of the mottling	Elongation, %, in 50 mm	Ultimate tensile strength Kg/mm ²
B1-3	15	145	3	2-4	1050 5	High	39.3	62.4
-4	15	145	3	4	1050 5	Medium	45.2	62.2
B2-3	15	225	8	5	1050 5	Low	56.2	63.4
-4	15	225	8	5	1050 5	Low	51.0	62.4
B3-3	15	285	13	6	1050 5	Low	52.2	58.8
-4	15	285	13	6	1050 5	Low	51.6	57.6
B4-3	15	405	18	6	1050 5	Low	67.8	60.6
-4	15	405	18	6	1050 5	Low	67.6	60.0

Table 7 Effect of variations in contrast of the mottling on the tensile properties of stainless steel weld-metals.

Longitudinal all-weld-metal specimens in post-weld heat treated condition with different levels of the contrast were tested. progressive increase in the contrast produced a marked decrease in tensile ductility, whereas tensile strength remained nearly constant.

base metal, 18:8 stainless steel plate, 6 mm in thickness. filler metal, 25:20 stainless steel wire, 5 mm in diameter. TIG.

Spec. No.	Voltage volts	Current amperes	Travel cm/min	Delta ferrite, %, as weld	Post weld heat treatment °C hrs	Contrast of the mottling	Elongation, %, in 50 mm	Ultimate tensile strength Kg/mm ²
C1-3	15	175	3	None	1050 3	High	43.4	54.3
-4	15	175	3	None	1050 3	High	38.8	53.3
C2-3	15	235	8	None	1050 3	High	45.4	53.9
-4	15	235	8	None	1050 3	High	38.2	53.3
C3-3	15	310	13	1-2	1050 3	High	42.0	50.1
-4	15	310	13	2-3	1050 3	Medium	56.4	53.8
C4-3	15	405	18	4	1050 3	Medium	62.4	53.3
-4	15	405	18	3-4	1050 3	Medium	48.8	50.8

瞭な場合伸びが低い。このことは Fig. 3 に示した現象すなわち溶接部の透過X線写真にあらわれる影が明瞭な場合伸びが低下していることについて、フェライト相ないしは考えられる析出物の存在は影響していないことを示すものと思われる。一方 Fig. 3 に示した現象に対する成分の影響について考えてみよう。Fig. 5 は各グループ別に影と伸びの関係を図示したものである。図でみられるように各グループいずれにおいても影の明瞭な場合伸びも低い。このことから Fig. 3 に示した結果は成分の相違によって生じたものでもないことがわかる。ここで各グループ間で比較した場合、影が同じ程度の試片にあってもそれらの伸びはかなり異なっている。たとえば影が同じ“Medium”とされる試片 No. B1-4 の伸び

は約45%であるのに対し試片 No. C4-3 の伸びは62%もある。この理由はまだ明らかでないが、まず材質による差が考えられ、さらに同じ“Medium”とされるものにあってもその間にかなりの巾があることなどがあげられる。また Fig. 3 と Fig. 4 を比較してみると、影のコントラストが同程度とみられる試片でも、溶体化処理したものの伸びは溶接のままのものにくらべてやや高い傾向にある。一方引張強さは溶体化処理によってわずかに低下する傾向に在る。これらの現象については焼鈍効果がその一因であると思われるが、影との関連におけるその精細はまだあきらかでない。なお影と引張強さの間には溶体化処理したものにおいてもあきらかな関係は認められない。

Fig. 4 Relation between tensile ductility and contrast of the mottling for austenitic stainless steel weld-metals in post-weld heat treated condition.

The ductility data shown in tables 5,6 and 7 are plotted. Tensile ductility of weld-metal tend to decrease as the contrast increases.

Fig. 6 は Nos. B1-3, B2-3, C1-3, C2-3 の各試片についてそれぞれの結晶粒度をスケッチして示したものである。試片はいずれも溶体化処理してあり、引張試験後の試片断面について得られたものである。No. B1-3 と No. C1-3 はともに溶接速度 3 cm/min と小さく、したがって結晶粒はいずれもかなり大きい。これらの試片は Tables 6, 7 に示したように溶接したままの状態でのフェライト量が少くしたがって影は明瞭である。一方 No. B2-3 と No. C2-3 はともに溶接速度が 13 cm/

Fig. 5 Influence of composition variations of weldments on the relation between the ductility and the contrast.

Tensile ductility of weldments tend to decrease, in either case, as the contrast increases.

The ductility data shown in tables 5,6 and 7 are plotted, respectively. All-weld-metal specimens in post-weld heat treated condition. Average of several test values except * indicates single result.

min と大きくしたがって結晶粒はいずれもかなり小さい。影は No. C2-3 が明瞭であり、No. B2-3 は不明瞭である。ここで No. B1-3 と No. C1-3 あるいわ No. B2-3 と No. C2-3 の粒度をくらべてみるとそれぞれの溶接速度が同じであるためかいずれもほぼ同程度である。

Fig. 6 に示した四つの試片について粒度と影と伸び

Fig. 6 Influence of grain size of all-weld-metal specimens on the ductility.

There is a considerable difference in both grain size and ductility between two specimens of Spec. No. B1-3 and Spec. No. B2-3, while a considerable difference in grain size and a minor difference in ductility are noticeable between the specimens of Spec. No. C1-3 and Spec. No. C2-3. The result indicates that the grain size does not affects on the tensile ductility. Sketches, $\times 9$.

の関係をしらべてみよう。まず No. B1-3 と No. B2-3 についてみればこれらの間で影は“High”から“Low”に、伸びは39%から56%に増大した結晶粒もかなり小さくなっている。一方 No. C1-3 と No. C2-3 の間では影のコントラスト、伸びのいずれもがほとんど変わらず結晶粒のみが変化している。No. B2-3 が No. C2-3 にくらべて伸びが大きいのは結晶粒が小さくなったためではなく、むしろ影が“High”から“Low”に変ったためであるとみるのが妥当であると思われる。すなわち本実験の範囲では溶接速度のちがいによる結晶粒度の相違は伸びに直接影響しないものと考えられる。

Fig. 3 に示した結果すなわち影のコントラストの強い場合伸びが低下しているという現象は、フェライト相あるいは析出物の存在、成分、結晶粒度の相違などに起因するものではなく、影のコントラストに直接関係するものであるといえよう。このことはそれ自体興味ある現象であるとともに、影の発生機構としての低密度粒界説を支持するものであると考えられる。

b. 曲げ試験

Table 8 は19:9ならびに25:20溶接棒心線(4φ)を用いた溶接試片についての表曲げ試験結果を示したものである。試片 Nos. D-1, 2 は19:9心線を、Nos. E-1, 2, 3 は25:20心線を用いたものであり、母材はいずれ

も18:8ステンレス鋼板($t=6\text{mm}$)である。

試片 No. D-1 は完全オーステナイト組織であり、影は明瞭である。この試片は曲げ角度 60° ですでに割れを発生し、さらに曲げ加工が進むにつれて割れはその大きさと数を増大した。一方同一成分からなる試片 No. D-2 は溶接速度が 8cm/min と早いため4~5%のフェライト相を含み、影は不明瞭である。この試片は密着曲げにいたるもなお割れを発生しなかった。Photo. 3 は試片 No. D-1 に発生した割れを示したものである。写真でみられるように割れは粒界割れであり、表面に達するものもまた内部に停留するものもある。

溶接棒として25:20を用いた試片 Nos. E-1, 2, 3 についても試片 Nos. D-1, 2 の場合と同様の傾向がみられる。すなわち影の明瞭な試片においてその延性は低下している。ただこの場合はオーステナイトがより安定であるため、溶接速度 11cm/min の試片 No. E-2 であってもフェライト量は1~2%と少なく、影も明瞭である。一方この試片の割れ発生の時期は、影のコントラストにおいて同程度とみられる試片 No. E-1 にくらべて著しくおそい。曲げ角度 180° にいたってはじめて割れの発生が認められた。なお同一成分からなる試片 No. E-3 はフェライトを約5%含み、影は不明瞭であり、密着曲げにいたっても割れを発生しなかった。

Table 8 Effect of variations in contrast of the mottling on the bend ductility of stainless steel weld metals. An increase in the contrast produced a marked decrease in bend ductility.

Spec. No.	Base metal	Filler metal	Voltage volts	Current amperes	Travel cm/min	Delta ferrite content, %	Contrast of the mottling	Bend angle at which cracks were detected, degrees
D-1	18:8	19:9	15	140	2	None	High	60
D-2	18:8	19:9	15	210	8	4-5	Low	No cracks
E-1	18:8	25:20	15	210	3.6	None	High	63
E-2	18:8	25:20	15	260	11	1-2	High	180
E-3	18:8	25:20	15	400	18	5	Low	No cracks

Photo. 3 Intergranular cracks appeared in a bend test specimen of Spec. No. D-1.

曲げ試験結果について興味深いのは影の明瞭な場合曲げ延性が低いこと、発生した割れはいずれも粒界割れであり場合によってはかなり早い時期から発生することあるいわ影のコントラストがほぼ同じ程度である試片 No. E-1 と No. E-2 において割れ発生の時期にかなりのずれが認められることなどである。影の明瞭な試片において延性の低いことは引張試験結果についてもみられたところであり、この点については引張、曲げ両試験結果は一致した傾向を示している。一方常温における曲げ試験において粒界割れをしかもかなり早い時期に発生したことは、粒界にたとえばマイクロクラックのような溶接欠陥が潜在することを示唆するものと思われる。ここで組織が完全オーステナイトであるステンレス溶接金属についてマイクロクラックを確認しあるいはその存在を示唆した報告もある⁵⁾。なおこういった割れを発生しやすい試片において影は明瞭にあらわれるのであるから、得られた曲げ試験結果は影の発生機構としての低密度粒界説を支持するものといえよう。また影のコントラストが同じ程度である試片間において割れ発生時期にかなりのずれが認められたことは、引張試験の項でも述べたように、影のコントラストと延性を結びつけて考える場合その間にある程度の中を見込む必要のあることを示すものと思われる。

4. 結 論

オーステナイト系ステンレス溶接金属の透過X線写真にあらわれる影と引張ならびに曲げ性質の関係をしらべた。得られた結果は次の通りである。

1. 影の明瞭な試片では影の不明瞭なものにくらべて

引張、曲げ延性ともに著しく低下している。この延性の低下はフェライト相の存在あるいわ化学成分、結晶粒度の相違などによるものではなく、影のコントラストに直接関連したものと思われる。

2. 影の明瞭な試片において曲げ試験中に発生した割れはいずれも粒界割れであった。割れは場合によっては試験中かなり早い時期に発生する。このことは影の明瞭な試片についてその粒界にはたとえばマイクロクラックのような溶接欠陥が潜在することを示唆するものと思われる。

3. 研究結果は影の発生機構としての低密度粒界説すなわちボイド、マイクロクラックあるいは低密度の不純物が粒界にあればこれが影の発生源になるという考え方を支持するものであると考えられる。

4. 影のコントラストが同じ程度であるとみられる試片間において延性にかなりの差がみられた。影のコントラストと延性を結びつけて考える場合、そこにある程度の余裕を見込む必要のあることを示すものと思われる。

5. 影のコントラストと引張強さの間には明瞭な関係は認められなかった。

文 献

- 1) 渡辺: 溶接部ならびに鋳物の透過X線写真にあらわれる影 (第1報), 本誌, 41—7, (1972) 792—800
- 2) 渡辺, 田中: 同上 (第2報), 本誌, 43—1 (1974), 12—22
- 3) 渡辺, 馬淵: 同上 (第3報), 本誌, 43—10 (1974), 997—1003
- 4) 渡辺, 白沢: 同上 (第4報), 本誌, 43—11 (1974), 1081—1085
- 5) G.E. Linnert: Welding type 347 Stainless Steel piping and tubing. Welding research council bulletin series, No. 43, 54 (U.S.A.)