論文および報告

丸棒型(ドイツ式)による軟鋼用被覆アーク熔接棒の割れ試験*

安 藤 精 一** 寺 田 繁 通** 森 三 郎**

Crack Test of Mild Steel Electrode with Cylinder Type Specimens*

By S. Ando,** S. Terada** and S. Mori**

Abstract

In accordance with the crack test procedure with cylinder type specimens as advocated by K. Kautz, influences of chemical composition of specimen (particularly C content), electrodes (mainly ilmenite, some low-hydrogen type) and, welding conditions (welding speed and current) on crack sensitivity of test bead were studied. The relationship between the chemical composition mainly of bead (C, Mn/S, Mn/Si) and cracking degree was considered and some scruting of the test procedure carried out.

I 緒 言

熔接棒の簡易割れ試験法としての丸棒型割れ試験法については、わが国においてもすでに鶴田¹⁾、川勝²⁾両氏らの研究があり、また最近丸棒型割れ試験法が JIS 規³⁾格に制定されようとしている。筆者らは K. Kautz 氏⁴⁾によって提唱された丸棒型割れ試験法に準拠し、熔接棒(主としてイルメナイト型、一部低水素型)について、熔接棒、母材成分および熔接条件と熔着鋼の割れ傾向との関係を求め、主として試験ビードの化学成分と割れ率との関係について考察すると共に、試験法に対する若干の検討を行った。

II 実 験 方 法

II. 1. 試験方法の概要

本試験法は第1図に示すごとく、直径 50 mm、長さ 50 mm の棒鋼 2 本を 137° の角度を有する V 型治具上に並べ、棒間にまず棒径 4 mm の熔接棒をもって連続 3 層盛による拘束熔接(ビード、1, 2, 3)を行い、ついで直ちに顛倒して 1 パスで試験ビード、4 を丸棒の全長にわたり熔接し、割れ発生の程度を調べる方法である。

II. 2. 供試割れ試験片

試験片は直径 50 mm、長さ 15,000 mm の棒鋼を長さ 50 mm に機械切断したもので試験片には何らの熱処理も行わなかった。供試試験片としては第1表に示すときリムド鋼 1 種、セミキルド鋼 1 種およびキルド鋼 9 種計 11 種の C

量が、ほぼ 0.2~0.45% の範囲にある炭素鋼を使用した。ここに K31, K34, K35 は同一チャージのものである。なお鏡検の結果、キルド鋼においても周縁部と中心部の C 量に程度の差はあるが、かなりの相異が認められた。また K31, K34, K35 において周縁部の C 量は K35 が最も少なく、K34 が最も多かった。

II. 3. 供試熔接棒

棒径 4 mm のイルメナイト型(D4301) 9 種および低水素型(D4316) 1 種計 10 種を使用した。第2表に JIS 法⁵⁾による熔着鋼の機械的性質および破面状態を、また第3表にこれと対応する熔着鋼の化学成分を示した。機械的性質はいずれも JIS 規格に合格する。破面には D4316 および D4301 の No. 1 および 2 の 3 種を除き、いずれも若干の銀点が認められ、また D4301 の No. 1 は軽微な線状破面を呈していた。

II. 4. 熔接方法および熔接条件

AC 400A 熔接機を使用し、試験ビードの熔着に際しては、熔接電流および熔接速度をそれぞれ第4表のごとく変

Fig. 1 Setup for welding the cylinder specimen

Note: The numerical figures on the bead indicate the sequence of welding.

* 原稿受付 昭和33年8月1日(昭和33年度熔接学会秋季学術講演会において発表)

** 正員、鉄道技術研究所 Member, Railway Technical Research Institute.

Table 1 Chemical Composition of Test Specimens

Designation	Chemical composition (%)						Remarks
	C	Si	Mn	P	S	Cu	
R 32	0.32	0.03	0.30	0.026	0.036	0.27	Rimmed steel
S 22	0.22	0.10	0.53	0.026	0.034	0.24	Semi-killed steel
K 21	0.21	0.22	0.47	0.021	0.021	0.18	Killed steel
K 29	0.29	0.28	0.41	0.025	0.016	0.34	
K 30	0.30	0.27	0.32	0.012	0.012	0.34	
K 31	0.31	0.25	0.82	0.029	0.024	0.22	
K 34	0.34	0.26	0.82	0.032	0.024	0.22	
K 34*	0.34	0.25	0.57	0.021	0.023	0.27	
K 35	0.35	0.25	0.84	0.028	0.026	0.22	
K 40	0.40	0.41	0.64	0.044	0.040	0.28	
K 44	0.44	0.23	0.72	0.036	0.023	0.22	

え、それらの組合せの範囲で実験を行った。拘束溶接ビードの熔着にあたっては、3層溶接の熔着量を溶接棒長として約 200 mm, 所要時間は約 100 sec を目標とし、かつ溶接電流はそれぞれ試験ビードを溶接する際の電流を用いた。なお、P. Werthebach 氏はその溶接棒の最高電流で拘束溶接を行っている。拘束溶接終了より試験ビードの熔着開始までの時間は約 15 sec とした。試験片の溶接はすべて室温で行った。試験ビードは

Table 2 Mechanical Properties and Appearance of Fracture Surface of All-Weld-Metal (JIS G 3524)

Electrode		Mechanical properties				Appearance of fracture surface	
JIS Class No.	No.	σ_B (kg/mm ²)	σ_Y (kg/mm ²)	ϵ (%)	ϕ (%)	Area ice-flower like structure (mm ²)	Dia. of fisheye (mm)
D 4301	1	50.2	46.4	22.5	31.9	5.0	0
	2	45.4	42.1	28.9	54.7	0	0
	3	48.5	41.9	27.0	52.0	0	0.5
	4	52.4	44.3	23.0	43.5	0	0.8
	5	50.2	42.4	23.4	43.5	0	0.8
	6	44.7	41.1	29.2	52.5	0	1.2
	7	44.2	36.5	27.9	49.4	0	1.5
	8	47.2	40.8	26.2	42.6	0	1.9
	9	45.8	40.7	25.2	37.9	0	2.5
D 4316	10	51.4	44.7	30.1	58.4	0	0

溶接直前に別の鋼板上でアークを発生して後熔着した。試験ビードの溶接方向は拘束溶接の第1および第3のビードの方向と一致せしめた。またクレータは埋めることなく残した。

II. 5. 検査方法

II. 5.1. 肉眼および磁気検査

1) 割れの判定

試験片の完全冷却後(溶接後 4~18hr)スラグを除去し、初め肉眼で、ついで磁気検査により割れ発生状態を調べた。たゞしクレータ割れは考慮しなかった。割れ率(%)は割れ長さの和をクレータを除いたビード長で除して求めた。なお、P. Werthebach 氏は割れ発生状態を1) 割れなし、2) 割れ 25 mm 以下を割れ軽

微、3) 割れ 25~50 mm を割れ著しとしている。

2) ビード断面の状態および割れ発生状態

溶接した試験片断面について、第2図のごとく切断し、切断面を腐蝕して肉眼検査を行い、割れ発生状態を調べた。また予備的にビ

Fig. 2 Cutting position of test specimen (mm)

Table 3 Chemical Composition of All-Weld-Metal from Test Electrodes

Electrode		Chemical composition (%)						Mn/Si	Mn/S
JIS Class No.	No.	C	Si	Mn	P	S	Cu		
D 4301	1	0.06	0.09	0.20	0.032	0.043	0.30	2.2	4.7
	2	0.07	0.13	0.26	0.023	0.020	0.07	2.6	13.0
	3	0.09	0.13	0.43	0.035	0.022	0.21	3.3	19.5
	4	0.08	0.10	0.21	0.038	0.014	0.15	2.1	15.0
	5	0.07	0.09	0.29	0.034	0.022	0.18	3.2	13.2
	6	0.09	0.17	0.35	0.018	0.021	0.17	2.1	16.7
	7	0.10	0.12	0.46	0.027	0.010	0.10	3.8	46.0
	8	0.12	0.07	0.48	0.027	0.013	0.15	6.9	36.9
	9	0.09	0.11	0.40	0.020	0.017	0.15	3.6	23.5
D 4316	10	0.07	0.39	0.70	0.015	0.013	0.14	1.8	53.8

Table 4 Welding Conditions

Electrode	Mark	Welding speed (mm/sec)	Welding current (amp)
D4301	I	2. 3. 4. 5. 6	145. 160. 175. 190
	II	3.0~4.5	155 ~180
D4316	I	2. 3. 4. 5.	160. 175. 190. 205
	II	2.5~3.5	170~195

Note : Mark I indicates the range in which welding is operable.

Mark II indicates the range in which welding is easily operable.

ードののど厚, 断面積および母材溶解率を測定した。

Ⅱ.5.2. ビードの化学成分の分析

予め試験片側面を腐蝕し, 試験ビードの全断面, 全長よりシェーパーにより分析試料を採取して, C, Si, Mn, P, S, Cu の 6 元素について分析した。なお, P. Werthebach 氏は C, S のみの分析を行っている。

Ⅱ.5.3. 割れ部の顕微鏡試験

試験ビード横断面について, 主として割れ部の状態を鏡検した。

Ⅲ 実 験 結 果

Ⅲ.1. 母材, 熔接棒および熔接条件と割れ発生状態との関係

第 1 表の母材 11 種と割れ感受性のかなり異なると考えられる D4301, 4 種 (No. 2, 4, 6, 7) および D4316 1 種 (No. 10) (第 2 表, 第 3 表) を組合せ, 上記熔接方法および熔接範囲内 (第 4 表) における割れ発生状態を調べた。

Ⅲ.1.1. 母材および熔接条件と割れ発生状態との関係

すべての供試熔接棒および母材の組合せについて実験を行ったのではないが, 実験を行った範囲より推定すると次のようである。R 32, S 22 および K 21 の 3 種の場合は, いずれの熔接棒においても割れが認められない。また K 34* および K 40 の場合は, いずれも割れを発生する。また K 29, 30 および 31 の場合は D 4301 においてはいずれも割れを生じたりあるいは生じなかったりであるが, D 4316 では割れを発生しない。なお K 34 の場合は D 4301 の No. 6, 7 および D 4316 では割れを生じたりあるいは生じなかったりであるが, D 4301 の No. 2, 4 はかならず割れを生ずる。K 44 の場合は D 4301 ではいずれも割れを発生しているのに対し, D 4316 では割れを生じたり, しなかったりである。結局, 母材についての割れ発生状態はリムド鋼を除いてはその C 量に強く影響されることがわかる。なお, C 量は接近しているにもかかわらず割れ傾向の異なるのは, 前述のごとく周縁部の C 量に相異があること

Fig. 3 Relation between test specimen and cracking tendency

Note : 1) Electrode : No.7, Test specimen ; K31

2) o ; No cracking, x ; Cracking

3) Dotted line indicates the border line of cracking in test specimen K35.

Carbon content in the rim of test specimen K35 is less than that of test specimen K31.

によるものと考えられる。

次に, D 4301 を使用した場合, 割れが生じたりあるいは生じなかったりする母材について, 熔接棒を一定とし, 熔接条件 I (第 4 表) の範囲内の割れ発生状態を求めた。第 3 図に一例として, 母材 K31, 熔接棒 D 4301, No. 7 の場合を示す。これより熔接電流および熔接速度がある限界 (割れ限界線) を超えると割れが発生する傾向が明らかである。なお, 熔接棒は同一で, 母材を K 35 (周縁部の C 量は K 31

Fig. 4 Variation of border line of cracking with various electrodes

Note : 1) Numerical figures in the diagram indicate No. of electrodes

2) Test specimen ; K29,

より少い)とした場合の割れ限界線を点線で示した。これより母材あるいは周縁部のC量の若干の相異によって健全な試験ビードを得る熔接条件範囲がかなり相異することが明らかである。予備的試験の試果より、本割れ試験法に供し得る母材は D4301 においては、K29, 30, 31, 34, 35 また D4316 においては K34 程度と考えられる。

Ⅲ.1.2. 熔接棒および熔接条件と割れ発生状態との関係

母材を一定とし、D4301, 4 種 (No. 2, 4, 6, 7) および D4316 (No. 10) について熔接条件範囲 (第4表) における割れ発生状態を求めた。第4図に一例として母材 K29 を用いた場合の D4301, 4 種についての割れ限界線を示す。これより適当な母材を使用し、熔接条件を種々変えると、熔接棒の割れ感受性の程度の比較が可能であることがわかる。なお D4316 の場合はいずれの場合も割れを発生しなかった。

Ⅲ.1.3. ビード表面の割れ発生状態

ビード表面の割れには、1)弧状割れ、2)鋸歯状割れ、(大部分の弧状割れは連鎖して鋸歯状割れとなっている)、3)直

線状割れが認められた。弧状あるいは鋸歯状割れはビードの母材寄りないしクレータ近傍に発生する傾向があり、また直線状割れはビードの中心線上で、スタート部あるいは全長にわたって発生する傾向がある。写真 I (A) に割れを発生しない場合および割れの例を示した。これらの割れ発生傾向は母材、熔接棒ならびに熔接条件によってかなりの変動がある。

Ⅲ.1.4. ビードの横断面における割れ発生状態

写真1(B)に写真1(A)に対応するビード横断面の割れ発生状態を示す。弧状および鋸歯状割れは融合線には直角に発生し、凝固時における結晶の成長方向と一致している。また割れは熔着鋼内に始端を有し、そのほとんどが表面に達している。直線状割れは弧状あるいは鋸歯状割れとは全く同様な発生状態を示す場合と、ビード断面中央部において直線状となる場合とが認められた。なお熔接方向における破断面の状態は、割れがビード表面に達している場合は例外なく酸化色を呈し、一部内部割れとして存在している場合には局部的に銀白色を呈していたが、該部はいずれも線状破面 (組織) を呈していた。

Ⅲ.2. 割れ率とビードの化学成分との関係ならびに割れ部の顕微鏡組織

Ⅲ.2.1. 熔接条件とビードの化学成分および割れ率との関係

熔接棒 D4301 (No. 8), 母材 K31 を使用し、熔接速度および熔接電流をかえた場合、および熔接棒 D4316 (No. 10) 母材 K34 を使用して熔接速度のみをかえた場合の、熔接条件とビードの化学成分および割れ率との関係を第5表に示した。

これより熔接条件の相異による試験ビードの化学成分の変動は全般的に小であるが、熔接速度および熔接電流の増大によりC量が僅かながら増大する傾向が認められる。

またビードのC量の比較的僅かな増加に伴い、割れ率が増大している。なお、D4316 は D4301 に比し、一般にC量がやや高くても割れが発生し難い傾向があるが、C量が0.20%程度で割れが発生していることは注目される。なおこれらの割れ率はいずれも5ヶの平均の割れ率を用いたが、割れ率のバラツキはほぼ20~30%程度であった。

Ⅲ.2.2. 母材の化学成分とビードの化学成分および割れ率との関係

Classification		Surface appearance		Sectional appearance
Mark	Cracking	(A) (×1)	(B) (×4)	(B) (×4)
I	No cracking
II	Arced crack
III	Serrate crack
IV	Straight crack

Note : 1)

Mark	Electrode	Test specimen	Welding current (amp)	Welding speed (mm/sec)	Cracking (%)
I	D 4301 (No. 8)	K 34	160	2.4	0
II			180	2.9	35
III		K 44	160	2.9	100
IV			180	5.0	100

2) Reduced 1/2

Photo. 1 Some example of cracking in test beads

Table 5 Influence of Chemical Composition on Cracking Under Various Welding Conditions

Item	Test specimen	Electrode	Welding current (amp)	Welding speed (mm/sec)	Average cracking (%)	Chemical composition (%)						Mn/Si	Mn/S
						C	Si	Mn	P	S	Cu		
Welding speed	K 31	D 4301 No. 8	175	4.5	17.5	0.16	0.10	0.60	0.027	0.017	0.18	6.0	35.3
				3.3	8.6	0.17	0.10	0.60	0.030	0.017	0.20	6.0	35.3
				2.4	0	0.14	0.09	0.53	0.029	0.015	0.18	5.9	35.3
	K 34	D 4316 No. 10	190	3.9	55.3	0.20	0.27	0.67	0.023	0.017	0.19	2.5	39.4
				2.9	19.8	0.20	0.25	0.65	0.021	0.017	0.18	2.6	38.2
				2.2	0	0.17	0.27	0.66	0.026	0.014	0.18	2.4	47.1
Welding current	K 31	D 4301 No. 8	190	3.4	27.5	0.20	0.11	0.57	0.028	0.017	0.20	5.2	33.5
			175	3.3	8.6	0.17	0.10	0.60	0.030	0.017	0.20	6.0	35.3
			160	3.6	11.6	0.17	0.12	0.56	0.032	0.017	0.18	4.7	32.9
			145	3.4	0	0.16	0.10	0.56	0.028	0.017	0.20	5.6	32.9

Note : Average cracking is expressed by average length of cracking of 5 tests in percentage of the bead length except crater.

Table 6 Influence of Chemical Composition on Cracking in Test Beads on Various Test Specimens

Test specimen	Average cracking (%)	Chemical composition (%)						Mn/Si	Mn/S
		C	Si	Mn	P	S	Cu		
K 44	100	0.23	0.10	0.53	0.030	0.013	0.19	5.3	40.8
K 34*	100	0.20	0.11	0.50	0.034	0.028	0.21	4.5	17.9
K 31	8.6	0.17	0.10	0.60	0.030	0.017	0.20	6.0	35.3
K 21	0	0.12	0.10	0.46	0.024	0.016	0.13	4.6	28.8
S 22	0	0.12	0.06	0.52	0.028	0.024	0.19	8.7	21.7
R 32	0	0.08	0.05	0.45	0.022	0.013	0.19	9.0	34.6

Note : 1) Welding speed ; 3.4mm/sec, Welding current ; 175amp

2) Electrode ; D4301, No. 8

Table 7 Influence of Chemical Composition on Cracking in Test Beads with Various Electrodes

Electrode	Average cracking (%)	Chemical composition (%)						Mn/Si	Mn/S
		C	Si	Mn	P	S	Cu		
1	100	0.13	0.15	0.39	0.026	0.026	0.26	2.6	15.0
2	23.3	0.15	0.20	0.52	0.022	0.019	0.16	2.6	27.4
5	21.3	0.16	0.16	0.48	0.025	0.020	0.20	3.0	24.0
4	21.6	0.16	0.19	0.51	0.026	0.019	0.20	2.7	26.8
8	8.6	0.17	0.10	0.60	0.030	0.017	0.20	6.0	35.3
9	3.2	0.18	0.14	0.60	0.022	0.019	0.21	4.3	31.6

Note : 1) Welding speed ; 3.4mm/sec, Welding current ; 175amp

2) Test specimen ; K31

熔接棒 D 4301 (No. 8) および熔接条件 (3.4 mm/sec, 175Amp) と一定とし、各種母材を使用した場合の、母材とビードの化学成分および割れ率との関係を第 6 表に示した。これよりリムド鋼の場合を除き、母材 C 量の増加と共に、試験ビードの C 量の増加して行く傾向が明らかである。また上記条件では C 量が 0.30% 以上のキルド鋼に割れが発生している。試験ビードの C 量と割れとの関係はかなり密接であって、C 量が 0.17% において割れが僅か発生し、0.2

0% 以上では 100% の割れ率を示している。勿論、ビードの Mn/S, Mn/Si についても考慮を払う必要がある。

なお、K34* は Mn/S が最も低値を示している。

Ⅲ. 2.3. 熔接棒とビードの化学成分および割れ率との関係

母材 K31, および熔接条件 (3.4mm/sec, 175Amp) を一定とし、数種の D 4301 型熔接棒を使用した場合の、熔接棒とビードの化学成分および割れ率との関係を第 7 表に示した。本実験条件においてはいずれの熔接棒についても割れの発生が認められるが、引張試験片の破断面に若干の

線状破面 (組織) を生じていた熔接棒 No. 1 を除くと、割れ率は比較的大きくない。また割れ率とビードの化学成分との関係については、C 量の差が少いため、前項で認められた割れ率と C 量との関係は明らかでない。この場合も、Mn/S, Mn/Si についても考慮する必要がある。なお、割れの著しく大なる No. 1 は、ビードの C 量は比較的少ないが、Mn/S が低値を示していることに注意を要する。

Ⅲ. 2.4. 割れ部の顕微鏡組織

(A) Etched in 5% Nital ($\times 50$) (B) Etched in 5% Nital ($\times 400$) (C) As polished ($\times 1000$)

Photo. 2 Photomicrographs of cracking region

Note : 1) Test specimen ; K44 Electrode ; D4301 (No.8)

2) Reduced 3/5

第6表および第7表における割れ率の著しい場合 (D 4301) について顕微鏡検査を行った。写真2に第7表の母材 K44 溶接棒 No. 8 を使用した場合の例を示す。写真2(A) は太く開口せる割れとその先端の比較的細い数条の割れを示す。また写真では明瞭ではないが、それらの下方にも単独に存在する紐状の割れが認められる。(□でかこんだ部分)。その紐状の部を拡大して写真2(B)に示した。割れは巾広な三部分とそれらを連鎖する線状の部分よりなっており、その中央と下方の巾広の部分をつ結ぶ線状の中央部にやゝ巾を持った部分が存在する。(□でかこんだ部分)この部分を腐蝕せずに倍率1000で鏡検すると膜状の介在物の存在が認められ、かつこの介在物はその形態などより硫化物と考えられるものである。写真1(C)にこれを示す。以上の鏡検の結果および他の鏡検の結果より、これらの割れは一次晶粒界割れであることがわかる。

IV 実験結果に対する二三の考察

IV.1. 試験ビードのC量と割れ傾向

既述のごとく、試験片のC量の増加ならびに溶接速度お

Fig. 5 Influence of carbon content on cracking in test bead

Note : Figures in () indicate Mn/Si in test bead.

Fig. 6 Influence of welding speed on total hydrogen content of deposited metal (single bead)¹²⁾

Note : Electrode ; D4313 (Dia. 4mm)

よび溶接電流の増大により割れ傾向が大となり、かつ割れ率は試験ビードのC量と密接な関係の存在することを認めた。第5図は、第6表における溶接棒を一定とし、母材をかえた場合の試験ビードのC量と割れ率との関係を示したものである。溶着鋼がかなりの脱酸状態にある場合、C量の増加はSの活量を増大せしめ⁶⁾⁷⁾、Sが少い場合でも後述の Mn/S の低い場合と同様に、一次晶粒界への低熔融点の硫化物の析出を助長し、粒界を脆弱化するものと考えられる。さらにこれらの粒界における低熔融点の硫化物に対し、水素の拡散が行われ粒界の脆弱化を促進させるものとする。しかして溶接速度の増大は水素の逸出をおくらせて、ビードの全水素量を大とすることは、D 4313 型溶接棒についての著者ら⁸⁾の別の実験においても明らかであり、(第6図)また溶接電流の増大も水素の溶解量を増加して結局ビードの水素量を大とすることが考えられる。さらにビードのC量の増加も脱酸を助長し、水素量を大とすることが考えられる。従って、これらいずれの場合も、粒界における低熔融点の硫化物への水素の拡散を助長する

であろう。またビードのC量の増加はビードの硬度を高めるから、高温強度を増して収縮応力を大とすることが考えられる。(予備的に微小硬度計(荷重 1kg)を用い、試験ビードの熔接部について、ビード表面より 1 mm の線上を測定し結果ではC量により最高 210 Hv, 最低 160 Hv 程度の硬度が示されている)。また熔接速度、熔接電流の増大も収縮応力を大とすることが考えられ、かつ熔接速度の場合は、その増大と共にビードの断面積、のど厚は直線的に減少する(予備の実験で確かめている)から、これがさらに割れを助長せしめるものと考えられる。なおC量が粒界における硫化物の析出におよぼす影響についての一連の研究について、中根氏⁹⁾の潜弧熔着鋼についての貴重な報告があり、氏はC量が0.15%程度になると割れが発生し、以後急速に割れが増大するとしている。またソヴィエト¹⁰⁾においても潜弧熔着鋼について、C 0.20%以上になると粒界に硫化物が急激に出現することが報告されている。いずれにしても、僅かのビードのC量の増加が割れに対して大きな影響を有することは注目すべきである。

IV. 2. 熔接棒とビードの割れ傾向

IV.2.1. 全熔着鋼および試験ビードの Mn/S と割れ傾向

第 7 図に全熔着鋼および試験ビードと割れ率との関係を

Fig. 7 Influence of Mn/S on cracking

Note ; ○.....○ All weld metal
●.....● Test bead

示した。これより一般に Mn/S 小なる程、割れ率の大なる傾向が明らかである。この事実は、線状破面(組織)¹¹⁾あるいは一次晶粒界割れ⁹⁾、の場合と同様であって、低熔融点の硫化物の一次晶粒界への偏析の生ずることを示している。なお、第 7 表における No. 1 の場合は C 量が低くても Mn/S が低いために著しい割れを生ずるものと考えられる。一方第 6 表において、K 44 の場合は Mn/S は大であるが、C 量が大となるため著しい割れを生ずるものと考えられる。結局 C, S は割れに対して悪影響をあたえるが、Mn の増加は、S の活量を減少せしめて⁶⁾、硫化物の

Fig. 8 Relation between Mn-Si contents and cracking in test bead

Note : 1) ○ ; All-weld-metal

2) × ; Test bead (Cracking occurred more than 4 per 5 tests)

○ ; Test bead (Cracking occurred less than 3 per 5 tests)

3) Figures in () indicate average cracking of 5 tests.

一次晶粒界への偏析を小ならしめ、あるいは S を MnS の粒状介在物とするため、熔着鋼の割れ感受性を減少させる効果をあたえるものと考えられる。なお、全熔着鋼に比し、試験ビードの Mn/S は、かなり高くなっているのにもかかわらず、割れが生じ易くなっているのは、試験ビードの C 量が全熔着鋼に比し高くなっていることが、かなり影響しているものと考えられる。

IV.2.2. 全熔着鋼および試験ビードの Mn/Si と割れ傾向

第 8 図に全熔着鋼および試験ビードにおける Mn および Si 量と割れ率との関係を Körber および Oelsen 両氏¹⁴⁾による凝固直前における熔融鉄の Mn および Si 濃度と脱酸生成物の平衡状態図を利用して示した。これより全熔着鋼および試験ビードにおいて、Mn および Si が界域 II ないし界域 I と II の境界線近傍にあるものは、Mn および Si が界域 I にあるものに比し、一般に全熔着鋼あるいは試験ビードが健全であり、割れ感受性が小となることを示すものと考えられる。これらは著者の一人¹²⁾が鉄研式スリット型試験において報告した結果と同一の傾向を示している。なお界域 II にある No. 8, 9 は界域 I にあるものより、Mn 量が多く、Mn/S が大であることを同時に考慮する必要があるであろう。

IV. 3. 丸棒型試験法に対する検討

既述のごとく、本試験法は、母材成分、熔接条件を変化せしめることにより熔接棒の割れ傾向を知ることの出来る利点があるが、その反面僅かな母材の C 量あるいは熔接条件の変化によって試験結果がかなり影響されるという欠点がある。特に同一鋼材と考えられる母材においても、周縁部の C 量の若干の相異によって試験結果がかなり影響されるということは本試験実施上多大の注意を要する点である。このように母材の C 量の影響を受けることは、軟鋼用

熔接棒の試験法としては問題があり、C量の比較的低い材料を使用し、丸棒の棒径を変えとか、あるいは他の適当な方法によって拘束を大とするなどの方法をとることが、軟鋼用熔接棒の試験法としては妥当のようである。ドイツにおいても、本試験法は軟鋼用熔接棒の試験法としては厳にすぎるとの理由で規格には採用されなかったものであるが、これと類似の方法（拘束、2ビード）がステンレス鋼熔接棒の試験法として DIN に採用されている¹³⁾。しかし軟鋼用熔接棒の試験法としても試験片が少くてすみ、また簡単であるので、C0.30~0.35% 程度のキルド鋼（またはリム層を切削した同様の成分のリム鋼）を母材として使用し、（勿論 P, S, Cu の少ない）、かつ熔接条件に注意すれば、熔接棒の割れ傾向の簡易判定法として使用しようと考える。なお、P. Werthebach 氏⁴⁾は丸棒のC量の限界を0.35%としており、また川勝氏²⁾は0.30%が適当であるとしている。なお、低水素型の場合はイルメナイト型の場合より若干高いC量の母材を使用する必要がある。

V 結 論

以上丸棒型（ドイツ式）割れ試験法について、熔接棒、母材および熔接条件を種々変えて実験を行い、かつ二三の考察を行った。結果を要約すると次のとおりである。

- 1) 割れ傾向は母材（キルド鋼）の化学成分、特にC量に影響され、母材のC量が大となるとビードのC量が大となり割れ傾向は増大する。
- 2) 熔接速度および熔接電流の増加と共にビードのC量は増加し、割れ傾向は増大する。
- 3) 試験片の成分および熔接条件が一定の場合、割れ傾向は熔接棒によつて異なり、かつこの場合、ビードの Mn/S および Mn/Si、特に前者と割れ傾向との間にはかなり密接な関係がある。全熔着鋼に線状破面（組織）を生ずるような熔接棒は著しい割れを示す。
- 4) ビードにおけるC量の増加は、Sの活量を増大せしめて、一次晶粒界への低熔融点の硫化物の偏析を助長させ、Mn/Sの低い場合と同様の結果を示すものと考えられる。
- 5) ビード表面における割れには弧状割れ、鋸歯状割れおよび直線状割れが認められる。しかし割れはいずれも熔着鋼内部に始端を有し、かつそのほとんどがビード表面に達している。かつ割れ部の破断面はいずれも線状破面（組

織）を呈しており、高温割れであることを示している。

6) 丸棒型割れ試験法における割れの主なる原因として、一次晶粒界における低熔融点の硫化物の析出、該部への水素の拡散、収縮応力などがあげられる。

7) 本試験法は適当な母材および熔接条件を使用すれば軟鋼熔接棒の試験法としてかなり有効である。しかし丸棒の成分としてはC量0.30~0.35%程度のキルド鋼が適当である。なお試験片の平均成分のみでなく、周縁部におけるCの存在状態を確認する必要がある。

本報告には検討すべき点が多く残されている。本研究に当たり鉄研中根博士より御指導を賜り、また山岸研究員より御便宜を受けた。また鉄研鋳鍛研究室、試作工場の関係各位の御協力を受けた。なお本実験に使用した丸棒の大部分は八幡製鉄所の御好意によるものである。また熔接協会熔接棒部会技術委員会より御援助を受けた。こゝに御尽力賜った関係各位に対し、深甚な謝意を表する。

文 献

- 1) 鶴田：昭和22年5月、熔接学会春季講演会において発表
- 2) 川勝、竹田、旦：本誌、Vol. 18 (1949), No. 6,7,8, 103~105
- 3) 丸棒型溶接割れ試験方法 JIS Z 3152 (1958)
- 4) P. Werthebach : Stahl u. Eisen., 73 (1953), 2, 84-s~91-s
- 5) 軟鋼用被覆アーク溶接棒 JIS G 3524 (1953)
- 6) W. Scherman, J. Chipman : Journal of Metals, Vol. 4 (1952), No.6, 597~602
- 7) J.P. Morris, R.C. Ruehl : Journal of Metals, Vol. 188 (1950), No.2, 317~322
- 8) 安藤、森：未発表
- 9) 中根：鋼潜弧熔接部の一次晶粒界割れに関する研究 鉄道技研中間報告、7-16 (1956)
- 10) エル. アー. ポスニャーク：自動熔接 Vol. 10 (1957), No.1, 3~7
- 11) 中根、安藤：本誌、Vol.17 (1948), No.7, 248~261, No. 9, 320~327. Vol.19 (1950), No.4,5, 96~100
- 12) 安藤：Vol.22 (1953), No.8, 258~265
- 13) E. Kauhausen u. P. Kaesmacher : Schw. u. Schn., Jg. 7 (1955), H.99, 400~404
- 14) F. Körber u. W. Oelsen : Die Grundlagen der Desoxydation mit Mangan und Silizium, Mitteilungen aus der Kaiser Wilhelm-Institute für Eisenforschung, Bd. XV (1933), 27~309