

琉球大学学術リポジトリ

インプラント試験による高張力鋼の溶接性に関する研究

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学理工学部 公開日: 2013-07-16 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 屋良, 秀夫, 真喜志, 康二, 平敷, 兼貴, Yara, Hideo, Makishi, Yasuji, Heshiki, Kenki メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/26854

インプラント試験による高張力鋼の溶接性に関する研究

屋良秀夫* 真喜志康二** 平敷兼貴*

Study on Weldability of High Strength Steel by Implant Test Method

Hideo YARA, Yasuji MAKISHI, Kenki HESHIKI

Summary

Weld cracking is the most important problems in constructing steel structures.

In order to study weld cracking, each relation as follows has been investigated; the relation between the water content of the flux and the diffusible hydrogen in deposited metal based on JIS hydrogen test method, the relation between the applied stress and the occurrence of weld cracking varied dry conditions of the electrode by using Implant Test, and the relation between the diffusible hydrogen and the fracture by using scanning electron microscope. The results are summarized as follows;

- (1) In ilmenite type electrode (D4301) as the water content of the flux is increasing, the diffusible hydrogen in deposited metal is also increasing straightly. Using the dried electrode, a lot of the diffusible hydrogen are included in deposited metal.
- (2) In low hydrogen type electrode (D5016 and E11016) as the water content of the flux is increasing until 2%, the diffusible hydrogen in deposited metal is rapidly increasing.
- (3) The electrode that the moisture absorbability is high is E11016.
- (4) In high strength steel, the stress range that occurs in weld cracking becomes wide by using wetted electrode.
- (5) In the case of using dried electrode (D4301) and wetted electrode (E11016) the relation between the applied stress and the fracture time are almost the same results.
- (6) The fracture has intergranular pattern near the notch in each applied stress in the case of wetted electrode used, and it is considered that this place is the cracking initiation point. A lot of dimple pattern

受付：1977年4月30日

*琉球大学理工学部

**琉球大学短期大学部

fracture is observed near the notch in the center of the specimen.

(7) The fracture has a little intergranular pattern near the notch in the case of dried electrode used, more than 50% of the fracture has the dimple pattern. The more high applied stress, the more river pattern is observed.

(8) The objects at the bottom of the dimple pattern fracture is Mn-Si system spheroidal inclusion.

1. はしがき

最近の目ざましい技術革新による構造物の大型化、軽量化に伴って高強度の高張力鋼の使用、液化ガス貯蔵タンクの建造などに用いられる低温用鋼の使用、原子力関係に用いられるステンレス鋼などが出現し、それらの溶接の高能率化に伴う大入熱溶接法が使用される傾向にあり、それによるいろいろな溶接欠陥が発生している。

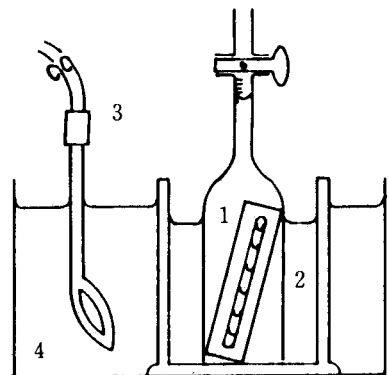
溶接構造物の建造において施工時に溶接欠陥を発生させないようにすることが第1の前提条件であり特に低温割れを防止するために施工条件、材料の選定などの決定を行なうのに種々の溶接割れ試験が行なわれている。溶接割れを再現する試験方法として、Y型開先溶接試験、リーハイ溶接割れ試験、CTS試験、十字すみ肉割れ試験などの自拘束型試験と、TRC試験、RRC試験、インプラント溶接割れ試験などの外拘束型試験がある。これらの試験方法のうちで試験機の操作が簡単で、試験片が母板と同じ熱サイクルを受け溶接によって生じる現象が再現でき、しかも試験片が小型で丸棒のため、使用材料は少量で新鋼種の試作などでも少量で多くのデータを得ることができ、又供試材からの試験片の採取位置や方向に自由があり、板厚に対する位置や圧延方向に対する位置などが選択でき、さらに予熱後熱が実際の継手に近い状態で行なうことができるインプラント試験法を取り入れた。

本報告ではJISによる水素試験法で、フラックス中の水分含有量と水素量との関係、溶接欠陥の一つである遅れ割れ破壊についてインプラント試験法で、溶接棒の乾燥状態を変化させて応力と割れ発生との関係、また走査型電子顕微鏡を用いて、破面観察を行ない、水素と破面との関係について検討したものを報告する。

2. 実験装置および実験方法

2.1 溶着金属の水素量測定

拡散性水素量測定装置をFig.1に示す。供試材はSS41で、その化学成分および機械的性質はTable 1のとおりで、試験片の寸法は、「12×25×130」である。実験方法はJISに定められた水素試験法により、あらかじめ湿気や油分等を取りのぞいた試験片に、長さ115mmの1本のビードをおき30秒以内に20℃の水に急冷しスラグ、スパッタ等を除去して、120秒以内に45℃に保った水素飽和グリセリン浴中に挿入する。そして試験片から放出されるガスを48時間捕集し、溶着金属100g当りに換算して拡散性水素量とした。使用した溶接棒は、イルミナイト系D4301、低水素系D5016、E11016の三種でその化学成分と機械的性質をTable



1. Specimen
2. Glycerin
3. Heater and regulator
4. Water

Fig.1 Apparatus for JIS diffusible hydrogen test.

2に示す。これらの三種の溶接棒を① 350℃で1時間以上乾燥したDry棒（D4301は150℃1時間以上乾燥）、②空气中に少なくとも24時間以上放置したAs Recei-

ved棒，③水中に60秒以上浸し，水分を充分吸収したwet棒，の乾燥条件下で，溶接電流170～180A，溶接電圧30V，溶接速度 150mm/min で溶接を行なった。

Table.1 Chemical compositions and mechanical properties of the steel plate used

	Chemical Compositions (%)						Mechanical Properties		
	C	N	Si	Mn	P	S	Yield Point (kg/mm ²)	Tensile Strength (kg/mm ²)	Elongation (%)
SS41	0.17	0.004	0.03	0.88	0.014	0.013	28	44	27

Table 2 Chemical compositions and mechanical properties of the electrode used

	Chemical Compositions (%)								Mechanical Properties		
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Mo	Cr	Yield Point (kg/mm ²)	Tensile Strength (kg/mm ²)	Elongation (%)
D4301	0.08	0.49	0.08	0.014	0.011	—	—	—	41	45	33
D5016	0.08	1.00	0.63	0.010	0.009	—	—	—	50	58	31
E11016	0.07	1.45	0.63	0.009	0.006	1.81	0.44	0.26	74	85	24

2.2 Implant 溶接試験

本実験で用いた Implant 溶接割れ試験装置を Fig. 2に示す。供試材は，SM50A，HT60，W80でその化学成分と機械的性質を Table 3に示す。試験片の形状は Fig. 3に示すようにスパイラルノッチを用いた。また試験片の採取は，圧延方向に取った。実験方法は試験片を母板に挿入して，試験片上端部と母板の上面をそろえ，ビードが試験片上端部を横切るように溶接し，試験片部の温度が 150℃（溶接後60秒）になった場合，自動的におもりが降下し破断時間が計測できるようにタイマーをセットする。作動方法はテコの原理によって各部が矢印の方向へ動き，試験片は下方へ引張られる。使用溶接棒は前項と同じく，イルミネイト系D4301，低水素系D5016，E11016の三種でその化学成分と機械的性質は Table 2のごとくである。溶接

条件は溶接電流 170～180 A，溶接電圧25V，溶接速度 150mm/min で速度を一定にするために自動走行機を用いた。溶接長さは 100mmである。溶接入力熱量は約 17,000 Joule/cmである。

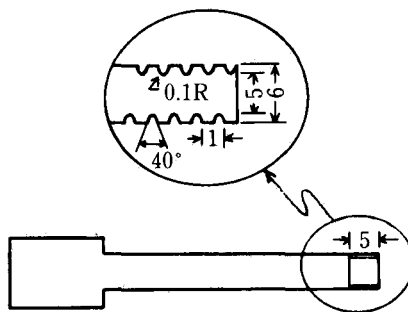


Fig.3 Shape of spiral notch specimen

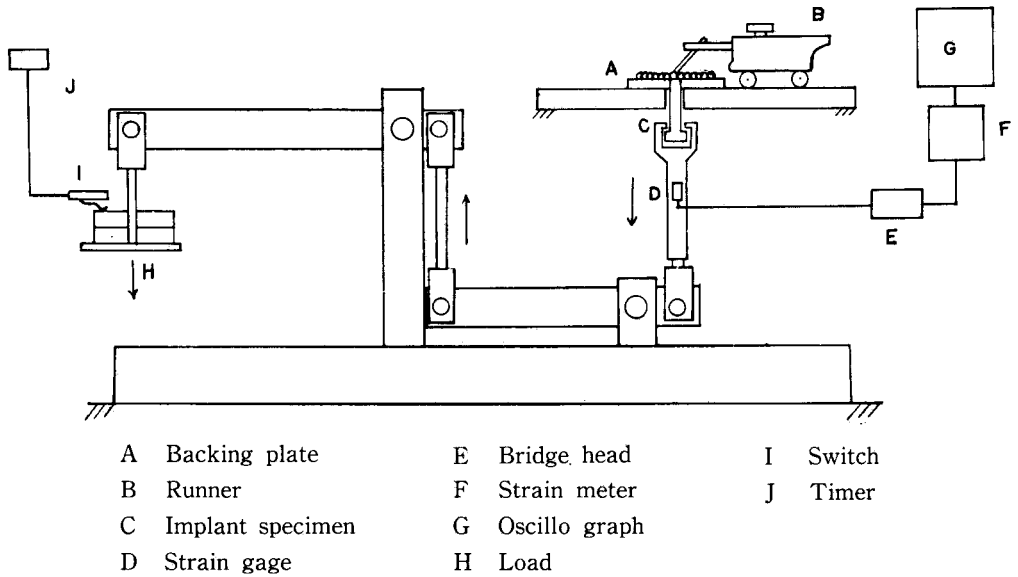


Fig. 2 Implant weld testing apparatus

Table 3 Chemical compositions and mechanical properties of the specimens

1) Chemical compositions

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Al	V	Ti	B	Ceq ¹⁾
SM50A	0.16	0.50	1.39	0.012	0.009	0.02	0.02	0.01	<0.01	0.019	<0.01	<0.005	<0.0004	0.42
HT60	0.14	0.31	1.28	0.015	0.015	—	—	—	—	—	—	—	—	0.37
W80	0.13	0.27	0.86	0.011	0.004	0.25	1.08	0.50	0.43	—	0.04	—	0.0013	0.52

$$1) \text{ Ceq} = \text{C} + \frac{\text{Si}}{24} + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Ni}}{40} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{Mo}}{4} + \frac{\text{V}}{14}$$

2) Mechanical properties

	Yield Point (kg/mm ²)	Tensile Strength (kg/mm ²)	Elongation (%)
SM50A	36	57	30
HT60	51	63	28
W 80	84	90	23

2.3 破面観察

Implant 溶接試験で破断した試験片の破面を走査型電子顕微鏡で観察した。

3. 実験結果および考察

3.1 溶着金属の水素量

Fig. 4 はフラックス中の水分含有量と溶着金属中の水素量(cc/100g Fe)との関係について示したものである。

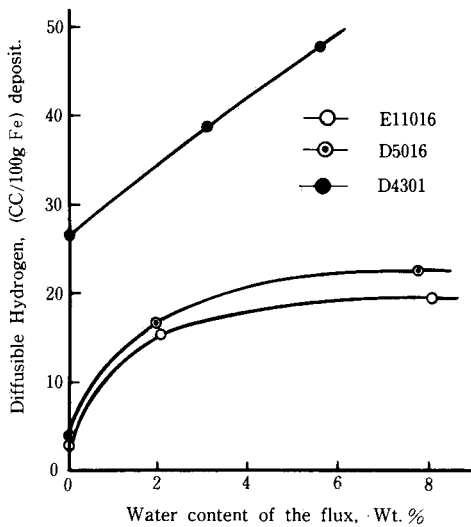


Fig. 4 Correlation between diffusible hydrogen and water content of flux

イルミナイト系溶接棒D4301において、150°C 1時間乾燥した場合、溶着金属中には26.5cc/100g Feの水素を含み、フラックス中の水分含有量の増加につれて水素量も直線的に増加し、溶接棒を水に浸し、フラックスが充分吸水した状態で水分含有量は5.5%となり、そのときの水素量は47.8cc/100g Feとなっている。一方低水素系溶接棒D5016, E11016においては、350°C 1時間乾燥した場合、溶着金属中の水素量は、それぞれ、3.8cc/100g Fe, 2.8cc/100g Feで低い値を示し、水分含有量が2%前後までは水素量が急に増加し、その後はゆるやかな増加を示している。フラックスが十分吸水した状態では水分含有量はそれぞれ7.8%, 8.1%で水素量は22.4cc/100g Fe, 19.5cc/100g Feとなっている。使用した三種の溶接棒で機械的性質にすぐれたE11016棒は

と吸水性があるため、溶接棒の管理が重要となる。高張力鋼のような高強度の鋼材の溶接においては、溶接時に、溶接金属や、熱影響部に侵入した水素が、溶接部にピット、ブローホール等の欠陥を作り、さらに遅れ割れや、機械的性質の劣化の原因となって、溶接継手の信頼性を低下せしめる要因となる。

被覆アーク溶接時における水素の主たる供給源として、次のものが考えられる。

- (1) フラックス中の水分
- (2) 空気中の水分
- (3) 開先表面，ルート部，母材表面の水分

3.2 Implant 溶接試験

供試材 SM50A, HT60, W80の圧延方向(X方方向)試験片について溶接棒の乾燥条件を変えて応力と破断時間との関係について得られた実験結果をそれぞれFig. 5, Fig. 6, Fig. 7に示す。

Fig. 5は供試材 SM50A, 使用溶接棒D5016で溶接棒の乾燥条件は、350°C 1時間乾燥したものと、水に浸したものの二種類で、上部限界応力はそれぞれ70kg/mm², 53kg/mm², 下部限界応力はそれぞれ35kg/mm², 30kg/mm²となり、上部下部限界応力とも乾燥棒を使用した場合が高く、溶接時における乾燥の必要性を示している。また遅れ割れが生じる応力範囲は乾燥棒の場合が広いことが知られる。

Fig. 6は供試材HT60, 使用溶接棒E11016で溶接棒の乾燥条件はFig. 5の場合と同じく350°C 1時間乾燥したものと、水に浸したものである。上部限界応力はそれぞれ80kg/mm², 72kg/mm²で、下部限界応力は50

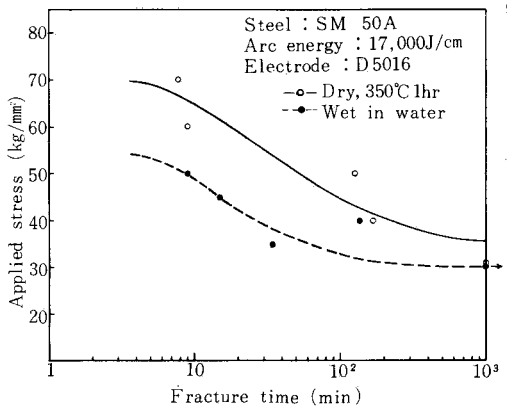


Fig. 5 Delayed fracture curves of SM50A steel in X direction

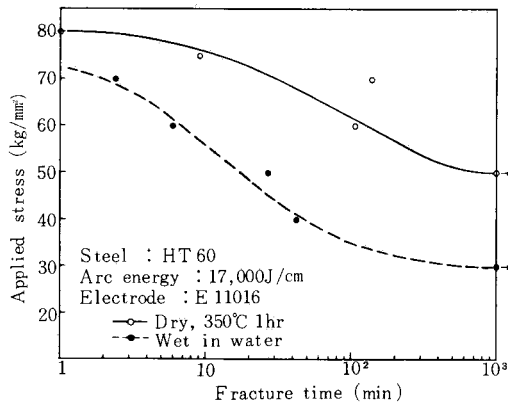


Fig. 6 Delayed fracture curves of HT60 steel in X direction

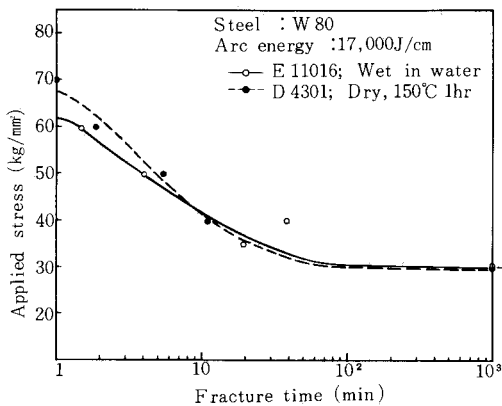


Fig. 7 Delayed fracture curves of W80 steel in X direction

kg/mm², 30kg/mm²となり、供試材が高強度になると下部限界応力の差が大きく、遅れ割れが生じる応力の範囲は吸水した棒の方が広くなり、溶接時における乾燥がより必要となることが知られる。

Fig. 7は供試材W80で、溶接棒E11016の場合は吸水した状態で、D4301の場合は150°C 1時間乾燥した状態で使用した。上部限界応力65kg/mm²、下部限界応力30kg/mm²とほとんど同じ値を示している。このことは溶接棒D4301を乾燥しても溶着金属中に拡散性水素が多く含まれているために、溶接部をぜい化させたものと思われる。

3.3 破面観察

Implant 溶接試験で得られた試験片の破面観察結果はPhoto.1～Photo.7に示すごとくである。

Photo.1は試験片SM50Aで、溶接棒の乾燥条件が吸水した状態の場合の破断面である。円周ノッチ部附近に粒界ぜい性破壊が見られ、水素の粒界への偏析によって弱化されたものと思われる(a)。(b)はDimple破面であるが、水素の影響でぜい化したものと思われる。

Photo.2は試験片SM50A、溶接棒の乾燥条件は350°C 1時間乾燥した場合のものである。(a)は高負荷応力(60kg/mm²)の場合でRiver patternが40%位占めている。低負荷応力になるとノッチ部附近に粒界ぜい性破面が観察される(b)。

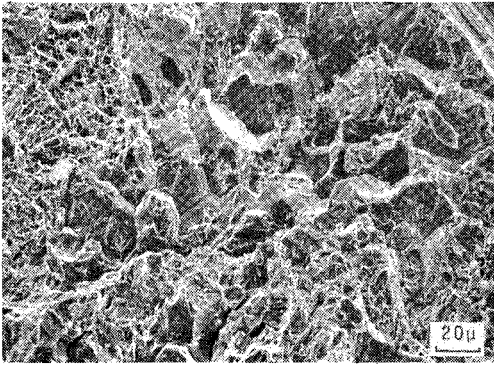
Photo.3は試験片HT60、水に浸した溶接棒を使用した場合で円周ノッチ部附近で粒界ぜい性破面を呈している。この場合の負荷応力は60kg/mm²である。

Photo.4は試験片HT60、乾燥棒の場合である。(a)は負荷応力70kg/mm²でDimple破面を呈し、その底部に介在物が認められ、点分析の結果よりMn-Si系介在物であることが知られる(Photo.7)。(b)も同じ負荷応力70kg/mm²で粒界延性破面が見られ、一つ一つのファセットの中にはDimple破面が観察された。

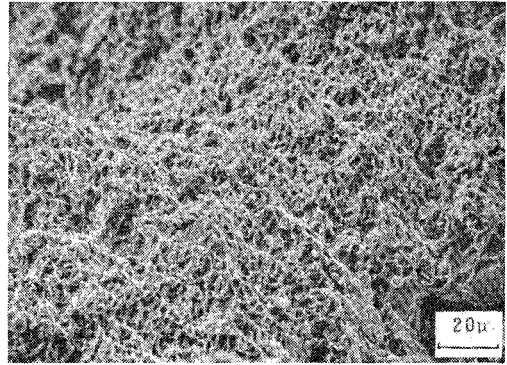
Photo.5は試験片W80、溶接棒はE11016で吸水した状態のものである。低負荷応力、高負荷応力の場合とも円周ノッチ近傍に粒界ぜい性破面が観察された。

Photo.6は試験片W80、溶接棒はD4301で150°C 1時間乾燥した場合である。いずれの負荷応力においても円周附近には粒界ぜい性破面が見られ、試験片の中心部に移動するにつれてRiver patternが増加し、又、Dimple破面も多く観察された(a)。(b)はDimple破面で底部にある球状のものは介在物で点分析の結果Mn-Si系介在物であることが知られた(Photo.7)。

Photo.7はPhoto.4(a)、Photo.6(b)のDimple破面の底部にある球状介在物を点分析した結果のものである。分析法はエネルギー分散型EPMAで加速電圧20kv、試料電流は10⁻¹¹Aである。横軸はX線エネルギー、縦軸は強度を示す。これによればSi、Mn、Feが分析され、Feはマトリックス中のFeの影響が大きいものと考えられる。

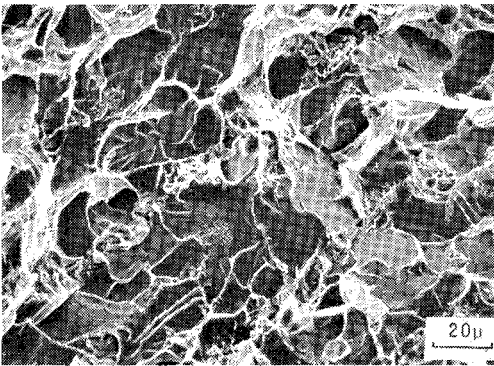


(a) Intergranular pattern near notch

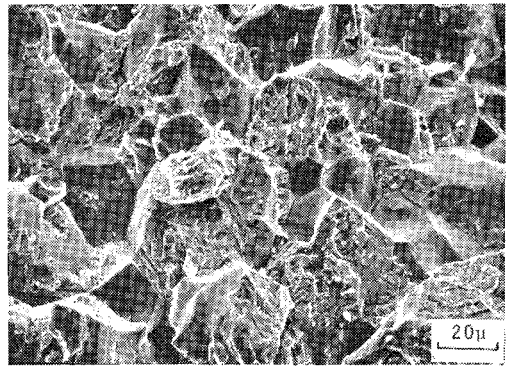


(b) Dimple pattern hydrogen embrittlement

Photo.1 Fractographs of SM50A specimen used
D5016 welding rod wetted



(a) River pattern



(b) Intergranular pattern

Photo.2 Fractographs of SM50A specimen used
D5016 welding rod dried

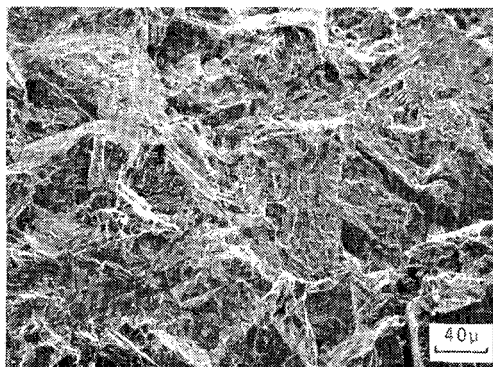
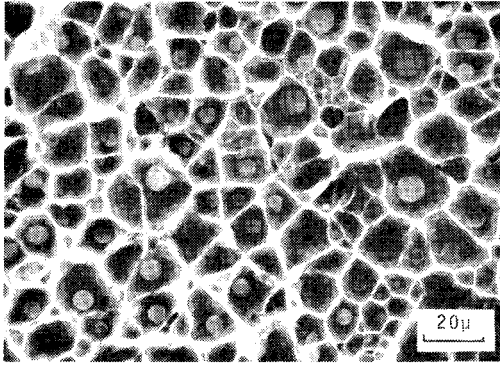
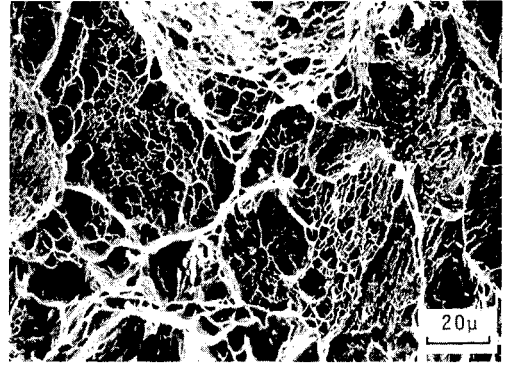


Photo.3 Fractographs of HT60 specimen used
E11016 welding rod wetted

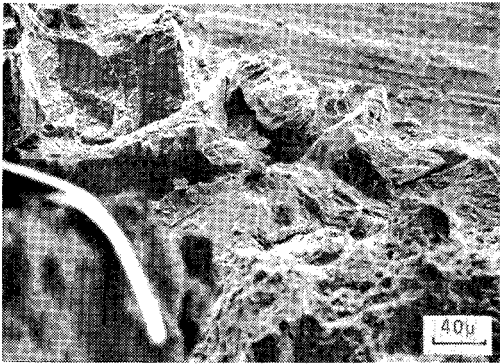


(a) Dimple pattern with inclusion

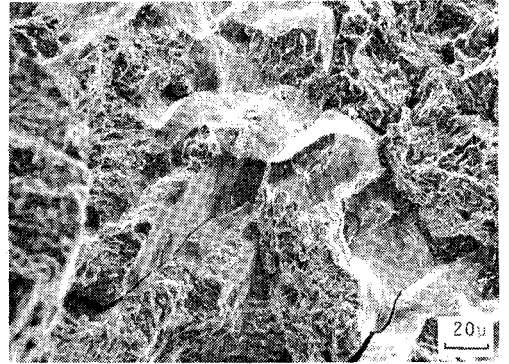


(b) Ductile fracture at grain boundary

Photo. 4 Fractographs of HT60 specimen used
E11016 welding rod dried

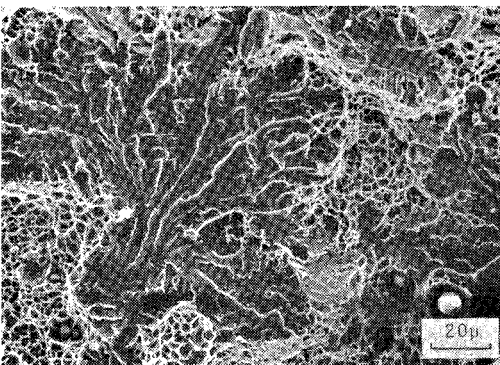


(a) Intergranular pattern near notch

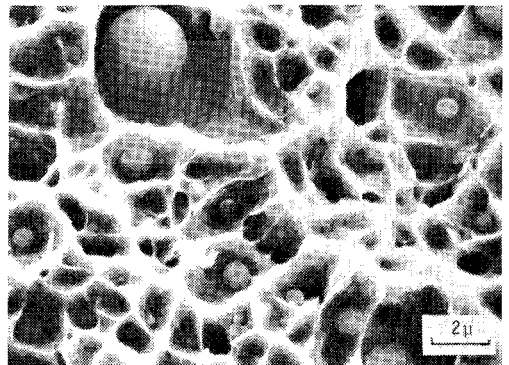


(b) Intergranular pattern

Photo. 5 Fractographs of W80 specimen used,
E11016 welding rod wetted



(a) River pattern in dimple



(b) Dimple pattern with inclusion

Photo. 6 Fractographs of W80 specimen used
D4301 welding rod dried

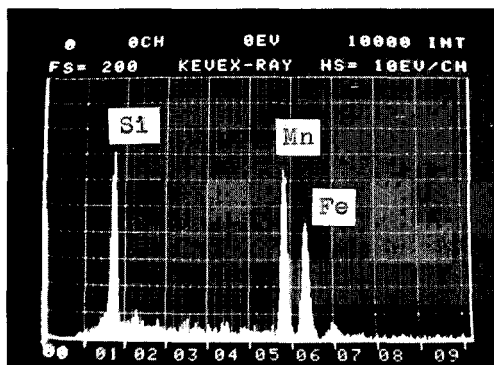


Photo. 7 X-ray spot analysis on inclusion

4. 結論

本報ではフラックス中の水分含有量を変化させて、溶着金属中の水素量を測定し、また Implant 溶接試験で、溶接棒の乾燥条件を変え、負荷応力と破断時間との関係を調べ、同時に走査型電子顕微鏡を用いて破面の状態を観察した。これらの結果より次のような結論を得た。

1) イルミナイト系溶接棒 D4301 におけるフラックス中の水分含有量と溶着金属中の水素量との関係は、ほぼ直線的に増加し、乾燥した場合でも多量の水素量がある。

2) 低水素系溶接棒 D5016, E11016 におけるフラックス中の水分含有量と溶着金属中の水素量との関係は水分含有量が約 2% 前後までは水素量の増加が大きいがその後は水分含有量を増してもほとんど変化がない。

3) 使用した三種の溶接棒 D4301, D5016, E11016 で吸湿性の異なるものは E11016 である。

4) 供試材が高強度になると遅れ割れが生じる応力範囲は吸水した溶接棒を使用した場合が広がる。

5) 供試材 W80 で、イルミナイト系溶接棒 D4301 を 150°C 1 時間乾燥した場合と、低水素系溶接棒 E11016 を充分吸水した場合との負荷応力と破断時間との関係はほとんど同じ状態である。

6) 吸水した溶接棒を使用した場合の破断面はいずれの負荷応力においても円周ノッチ近傍に粒界ぜい性破壊がありき裂の発生点と思われる。中央部に移動するにつれて Dimple 破面が多く見られる。

7) 乾燥した溶接棒を使用した場合の破断面は円周ノッチ近傍にわずかながら粒界ぜい性破壊が観察された。破面の約 50% 以上は Dimple で、高負荷応力の場合には River pattern も多く見られた。

8) Dimple の底部に見られる球状介在物は Mn-Si 系介在物である。

おわりに本実験は大阪大学溶接工学研究所にて共同研究員期間中に行なったものである。

実験の遂行にあたって種々御指導、御協力下された同研究所の松田福久教授、中川博二助手に感謝の意を表明する。また試料作成、写真作成などに御協力された同研究室の塔本健次技官をはじめ研究室の方がたに感謝の意を表する。

5. 参考文献

- 1) Henri Granjoni; The Implants Method for Studying the Weldability of High strength steels; METALLURGY, November 1959
- 2) 小寺沢; フラクトグラフィ(1), (2); 材料, 第23巻 第248号
- 3) 中川, 松田; 各種溶接部のマイクロフラクトグラフィについて; 溶接学会誌, 第45巻(1976年), 第12号
- 4) 鈴木; 最新溶接ハンドブック; 山海堂