405 ステンレスクラッド鋼の溶接割れの研究 (第1報)*

—溶接割れの再現とその防止法—

西尾安弘** 稲岡 勝*** 三浦 譲** 大前 堯**

Study on Welding Crack of 405 Stainless Clad Steel*

—Reappearance test and Prevention of Welding Crack—

by Yasuhiro Nishio**, Masaru Inaoka**, Yuzuru Miura**
and Takashi Ōmae**

Abstract

AISI 405 stainless steel and its clad steel are widely used in chemical apparatus, such as oil refiners, heat exchangers and so on.

Several cracks are often found in the weldment with the same chemical composition electrode (D410Nb) after welding or annealing. Investigations on phenomena of these cracking and their prevention were carried out.

Conclusions are as follows.

- 1) Delayed cracking with very long incubation period occurs in 405 stainless steel weldment; this was never experienced in the structural steel weldment.
- 2) These cracks are prevented by preheating and adoption of MIG welding. Reducing the hydrogen content of deposited metal is most necessary to prevent these cracks.
- 3) Cracking occurs in high Cr content weldment such as 13Cr, 17Cr, and even in almost ferrite structure. These phenomena are very different from those in structural steel.

1. 緒 言

405 ステンレス鋼は応力腐食割れがなく、線膨張係数が構造用鋼材にほぼ等しく、かつ 475°C ぜい化がないので、高温硫化水素にさらされる石油精製装置に多量に使用されている。以前はその溶接棒として D 309 などオーステナイト系ステンレス溶接棒が用いられていたが、被溶接材がフェライト系ステンレス鋼であり、溶着金属がオーステナイト系ステンレス鋼であるため腐食、熱応力疲労割れなどに種々の問題があった。それらを解決するため新しく 13 Cr 鋼に Nb を添加した D 410 Nb 溶接棒が開発され、市販されている¹⁾²⁾。

しかしながらこれらの溶接棒による 405 ステンレス鋼やそのクラッド鋼の溶接継手は溶接後の検査において、なんら異常がなかったにもかかわらず、焼鈍後や、数日後の X 線検査において溶接割れが発見されたり、溶接後の加工においてぜい弱な破壊を示すことがあり、信頼性

に乏しいと一般に考えられている。

すなわち杉浦氏³⁾は昭和42年12月の生産技術協会の討論会において板厚 10 mm の 405 ステンレス鋼をもちいて製作したサイクロンが D 410 Nb 溶接棒で溶接され、溶接直後のダイチェック検査では割れがまったくなかったにもかかわらず、数日後焼きなました後の検査においてすみ肉溶接部に割れが発見されたと報告している。また筆者らは実際工事においても 405 ステンレス鋼の溶接部に割れが入ったことを経験している。すなわち板厚 100 mm の $\frac{1}{2}$ Mo 鋼を母材とし、3.5 mm の 405 ステンレス鋼をクラッド材としたステンレスクラッド鋼を使用した直径約 3 m、長さ約 10 m の反応容器において Fig. 1 のごとく溶接開先により、母材側はサブマージアーク溶接で行ない、クラッド側を D 410 Nb 溶接棒で溶接したが、溶接後のマクロ検査において割れが発見されなかったにもかかわらず、数日後の X 線検査の結果、溶接部に約 9 個の横割れが発見された。さらに 1 day 後ダイチェック試験を行なったところ、新しく 3 個の横割れが発見された。これらの割れについて筆者らは 405 ステンレスクラッド鋼の割れ発生状況を試験片に再現し、その現象の解明を行なうとともに、その防止法を研究した。

*原稿受付 昭和44年12月17日 (43年度春季全国大会にて発表)

**正 員 三菱重工広島研究所 Member, Hiroshima Technical Institute of M.H.I.

***正 員 三菱重工神戸研究所 Member, Kobe Technical Institute of M.H.I.

Fig. 1 Edge preparation of 405 Stainless Clad Steel.

2. 溶接割れ再現試験

405ステンレスクラッド鋼の溶接割れを再現するため、Fig. 2, Fig. 3 のごとく軟鋼の円形リングの内側、および超厚板の片縁に肉盛溶接を行ない、割れ発生状況の観察を行なった。これらの試験を円形リング割れ試験および厚板肉盛試験と呼ぶことにする。

D 410 Nb 溶接棒を用いてこれらの試験片に1層6ビードの溶接を行ない、常温に冷却後ダイチェック検査を行なったところ、円形リング割れ試験では溶接後2hr経て4個所の割れが発生し、24hrを経てふたたび検査を行なったところ、新しく13個所に割れが発生していた。さらに48hr後に2個所120hr後にはあらたに4個所発生した。Phot. 1に溶接後2hr経過した時の割れの状況をPhot. 2に24hr後の割れ発生状況を示す。24hr経過すると明らかに割れの数が増加している。

Fig. 2 Circular Ring Cracking Test.

Fig. 3 Bead on Thick Plate Cracking Test.

また Fig. 3 に示したごとく厚板肉盛試験の場合の溶接後144hr経過した割れ発生状況を Phot. 3 に示した。この場合溶接直後のダイチェック検査では割れが発見されず、24hr後の検査で1個所、72hr後の検査でさらに1個所、144hr後の検査で4個所割れが増加した。Fig. 4 に円形リング割れ試験と厚板肉盛試験における溶接後の経過時間と割れ発生の増加状況を示す。

Photo. 1 Crack of circular Rig test (2hr after Welding)

Photo. 2 Crack of circular Rig test (24 hr after Welding)

Photo. 3 Crack of Thick plate Test

Fig. 4 Relation Between Elapsed Time and Number of Crack in Circular Ring Test and Bead on Thick Plate Test.

これらの割れはいずれもビードの横割れであって、実際の工事において発見された割れと非常によく似ている。また時間とともに割れの数が増加するが、3 day または 5 day を経てもなおかつ割れが増加するのが特長である。

円形リング割れ試験において溶接後 2 hr 経過して発見された割れの数を除くと、割れ発生数は時間の経過に

対し対数的な増加を示している。

3. 円形リング割れ試験による割れ防止試験

Table 1 に示す条件で円形リング割れ試験を行なった。すなわち各予熱温度にガスバーナーによって予熱し、300°C で 2 hr 乾燥した D 410 Nb 溶接棒 4 mmφ を用い、145 A の溶接電流で 5~8 ビード肉盛り、溶接後 5 day 以上放置してビード表面およびビードを母材表面まで切削した面のダイチェック試験を行なった。それらの溶接後 5 day 経過したビード表面の割れ発生状況を Phot. 4 に示す。

Table 1 Testing condition

Welding process	Electrode	Preheat temp. (°C)
Manual arc	D 410 Nb	No preheat
		50
		80
		100
	D 430 Nb	No preheat
		50
MIG	17Cr-Nb	No preheat

a. No Preheat

b. 50°C Preheat

c. 80°C Preheat

d. 100°C Preheat

Photo. 4 Effect of Preheat on Crack of Circular Ring Test.

D 410 Nb 溶接棒による予熱温度と割れ発生数の関係を Fig. 5, 割れ発生数と溶接後の経過時間の関係を Fig. 6 に示す。

予熱温度による硬さの変化を Fig. 7 に示した。

これらの結果から予熱により部分的に軟化しているところもあるが全般的に硬く, Hv 380~420 のところが大部分である。しかるに予熱温度が高くなるにしたがって割れ発生数は減少し, 100°C の予熱によって割れは完全になくなっている。

Fig. 7 Relation Between Preheating Temp. and Hardness.
(D410Nb Electrode)

D 430 Nb 溶接棒による円形リング割れ試験結果を Table 2 に示した。またこの場合の硬さ試験の結果を Fig. 8 に示す。

これによると硬さは低く, すべてフェライト組織のごとくみえる。しかるに予熱を行なわない場合には表10の

Fig. 5 Relation Between Preheat Temp. and Number of Crack.

Fig. 6 Relation Between Elapsed Time and Number of crack.

ごとく溶接後 1 day を経過し、割れが発生し、3 day 後に新しく増加している。

17CrNb 棒を芯線とした MIG 溶接による円形リング割れ試験の結果を Phot. 5 に示す。

この場合の硬さの測定結果を Fig. 9 に示した。

この結果によると硬さはすべて Hv 350~420 であり、マルテンサイト組織を示しているにもかかわらず、溶接後 5 day 経過しても割れは発生していない。

4. 試験結果の考察

1. 円形リング割れ試験および厚板肉盛試験によって、実際工事において現われた割れ発生状況とほぼ一致した割れ発生状況を再現することができた。

厚板肉盛試験によれば割れ発生の潜伏期間は約 24 hr におよび、またいずれの試験においても非常に長期間にわたり割れ発生数が増加している。

Table 2 Incubation periods of cracks of D 430 Nb weld metal

Electrode	Preheat temp. (°C)	Number of cracks					
		No time after welding	24 hr. after	48 hr. after	72 hr. after	120 hr. after	340 hr. after
D 430 Nb	No	0	1	1	2	2	2
"	50	0	0	0	0	0	0

Fig. 8 Hardness of Weld Metal.
(D430Nb Electrode)

Fig. 9 Hardness of Weld Metal.
(MIG Welding)

Photo. 5 Circular Ring Test of CO₂ Welding.

これは構造用鋼などのルート割れにおける潜伏期間の常識では考えられない長期間の潜伏期間を有する遅れ割れであることを示したものであるといえる。

また, 430 Nb 溶接棒を用いたフェライト組織の溶着金属も円形リング割れ試験において溶後 24 hr を経て割れが発生し, 70 hr を経て新しく割れが増加した。

405ステンレス鋼は Fig. 10 に示したごとく焼きなましぜい化はなく, また D 410 Nb 溶接棒による溶着金属にも Fig. 11 に示したごとく焼きなましぜい化は生じないから, これらの割れは焼きなましによって生じたものではなく, それより以前に生じていたものと考えられ, 溶接直後の検査においては発見されなかった遅れ割れであると判断される。

したがって緒言に述べた原因不明の割れは, きわめて長時間の潜伏期間を有する遅れ割れであると考えられる。

2. D 410 Nb 溶接棒による円形リング割れ試験において, 予熱によって溶着金属の硬さは余り変化しないにもかかわらず, 割れ発生数は非常に減少した。また 17 Cr-Nb 芯線による MIG 溶接においては硬さは Hv 350 以上で, 組織はマルテンサイト組織であるにもかかわらず遅れ割れは防止することができた。MIG 溶接は Table 3 に示すごとく溶着金属中の拡散性水素量を減少する。また遅れ割れが発生する約 150°C~100°Cに溶着金属が

Fig. 10 Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties of 405 Stainless Steel.

Fig. 11 Effect of Heat Treatment of Mechanical Properties of 13Cr Weld Metal.

Table 3 Hydrogen content in weld metal

Electrode, process	Hydrogen (cc/100 g)
Ilmenite	35
Low hydrogen	4.4
Submerged	2.7
CO ₂ gas Wg (cored wire)	3.2
" (solid wire)	0.4

冷却した時点での拡散性水素量は予熱によって減少するといわれている。

したがってこれらの結果から溶接部の遅れ割れ防止には硬さの低下よりもむしろ溶着金属中の拡散性水素量の減少のほうが大きな効果をもたらしたものと考えうる。

3. 一般にフェライト組織のごときやわらかい組織の溶着金属には遅れ割れは発生しないと考えられている。

しかしながら本試験結果では D 430 Nb 溶接棒によるフェライト組織と考えられるやわらかい溶着金属にも遅れ割れが発生している。この点は一般の高張力鋼や構造用鋼の遅れ割れと非常に異なっている点であり, 軟かい溶着金属には割れは発生しない考えることは危険であることを示唆したものである。

5. 結 言

405ステンレス鋼およびそのクラッド鋼を新しく開発された同系の D 410 Nb 溶接棒で溶接した場合に, 溶接部に原因不明の割れが発生することがあり, 信頼性が乏

しいと考えられている。これらの割れの再現およびその防止法について研究した結果、次のことが明らかになった。

1. 405ステンレス鋼およびクラッド鋼の溶接部には構造用鋼の溶接に比べて、きわめて長期間の潜伏期間を有する遅れ割れが発生する。原因不明の割れと考えられているのはこの遅れ割れである。

2. これらの溶接部の遅れ割れを防止するには D 410 Nb 棒を用いる場合には、予熱によって溶着金属中の拡散性水素量を減少することが大切である。

また MIG 溶接など溶着金属中の拡散性水素の少ない

溶接法を使用するのが良い。

3. D 410 Nb, D 430 Nb 溶接棒など高 Cr 鋼の溶着金属はフェライト組織と思われるやわらかい組織にも遅れ割れを発生することがある。

参 考 文 献

- 1) 宇都, 山崎, 貝, 北島, “13 Cr 鋼溶着金属の組織硬度および機械的性質におよぼす C, Cr, Ti, Nb, Mo の影響”, 三菱重工技報, Vol. 6 (1969), No. 1, p. 112~121.
- 2) 五代, 杉山, “新しく開発されたクロムステンレス溶接棒について”, 神鋼技報, Vol. 15 (1965), No. 4, p. 246~268
- 3) 杉浦, “405ステンレス鋼の工作上的問題点”, 生産技術協会溶接部会, 1967. 12. 15

IIW/JIW

第 1 回 ゴールドシュミット, クレモント賞 (技術, 科学映画) の募集について

主 催 国際溶接学会 (IIW)

IIW 本部より当会宛, 標記の案内がまいりましたのでご案内申し上げます。

Paul Goldschmidt-Clermont 氏 (ベルギー) の業績を記念して, 科学, 技術情報などに関する映画 (3 年に 1 度) を募集しております。なお, 参加資格は次のとおりです。

1. 映画の内容は次に該当するものとする

- イ) One or more the welding and allied processes (o.g. brazing, hot spraying, thermal cutting etc.)
- ロ) The application of welding or allied processes to fabrication and its consequences ;
- ハ) The quality control of joints made by welding or the allied processes.

(ただし, 特定の商品の宣伝に関するものは除く)

2. その他の規定

- イ) 上映時間は30分以内に限る。
- ロ) 音声は英語或いは仏語に限る。若し, それ以外の言語を使用している場合は, 英語或いは仏語の字幕が入る事とする。
- ハ) 16 mm の映画に限る。

3. 登録規定

- イ) 登録できる映画は, 一国一本とし, 各々の国において IIW 代表団の審査を通らねばならない。
- ロ) 映画は, 1970年12月15日迄に IIW の科学技術事務局長(フランス)宛送らねばならない。
- ハ) 登録料は, 30ポンド (約3万円) を IIW の事務局長 (イギリス) 宛送らねばならない。

4. 審 査

審査は, 1971年2月20日 (パリ) にて, 会長, 事務局長, 各委員会委員長及び, 会長の指定した映画の専門家によって行なわれる。その結果はただちに発表され出展映画もすみやかに返却される。

5. 賞

優勝映画にはベルギー代表団より寄贈された記念メダルをプロデューサー又はディレクターに贈り, 1971年度 IIW 年次大会 (スウェーデン・ストックホルム) の開会式の席上表賞し, 映画は上映される。

(註) 問合せ又登録を希望される方は, 当会宛お申込下さい。折り返し, 登録用紙をお送り致します。