二相ステンレス鋼溶接熱影響部の耐孔食性と 靱性に及ぼす W の影響*

—高 W 二相ステンレス鋼の溶接性に関する研究 (第1報)—

小川 和博**, 岡本 弘***, 植田 昌克***, 五十嵐正晃***, 森 友希***, 小林 経明***

Effect of Tungsten on Pitting Corrosion Resistance and Impact Toughness in HAZ of Duplex Stainless Steel

—Study on Weldability of High Tungsten Duplex Stainless Steel (1)—

by Kazuhiro Ogawa**, Hiroshi Okamoto***, Masakatsu Ueda***,
Masaaki Igarashi***, Tomoki Mori*** and Tsuneaki Kobayashi***

The effect of tungsten on the HAZ properties in duplex stainless steel was investigated to obtain the high pitting corrosion resistant duplex stainless steel. The steels tested were the modified 25%Cr SUS329J4L duplex stainless steel with the addition of tungsten. The welded joints produced by gas tungsten arc (GTA) welding and simulated HAZ were evaluated in terms of pitting corrosion resistance, impact toughness and microstructures including analysis of precipitates. As results, the tungsten addition up to 2 mass% was effective to improve the pitting corrosion resistance without remarkable deterioration of impact toughness in the HAZ. However, the tungsten addition exceeding 3 mass% decreased the impact toughness in the HAZ as well as pitting corrosion resistance because of accelerating the precipitation of intermetallic compound during the weld thermal cycles. From these findings it was clarified the corrosion resistance of duplex stainless steel is improved in the HAZ by the alloying of proper content of tungsten as well as in the base metal.

Key Words: duplex stainless steel, HAZ, pitting corrosion, impact toughness tungsten, precipitation, intermetallic compounds, nitride

1. 緒 言

二相ステンレス鋼は、フェライト相とオーステナイト相の二相組織から成るステンレス鋼で、フェライト系ステンレス鋼の欠点である低靱性とオーステナイト系ステンレス鋼の欠点である耐応力腐食割れ (SCC) 性を補完した性能を有している。さらに高強度であること、高価な Ni が、同じ耐食性を持つオーステナイト系に比べ低減されているため経済的にも有利であることから、近年注目され、石油生産設備に関連するラインパイプ等に多く用いられている^{1,2)}。特に、海底ラインパイプ用途として多く用いられている二相ステンレス鋼は 22%Cr 系がほとんどであるが、最近、腐食環境での使用に対する信頼性向上の観点から、耐孔食性の優れたいわゆるスーパー二相ステンレス鋼³⁾が注目され、その一例である 25%Cr-7%Ni-4%Mo-0.3%N 鋼⁴⁾が、実用化されている⁵⁾。耐孔食性向上には、Cr, Mo, N 等の合金元素量の増加が有効なことは、よく知られているが、反面、これらの合金元素は、溶接性に対しては悪影響を及ぼすことが多い。Cr, Mo 量の高い材料では、溶接熱サイクルにより、溶接熱影響部 (HAZ) に、シグマ相等の金属間化合物が生成しやすく、そのため、HAZ において、靱性、耐孔食性の劣化を招くことがある⁶⁾。

一方、W も Cr, Mo と同様に、耐孔食性の向上に寄与することが知られている⁶⁾が、HAZ における析出物の挙

動や靱性、耐食性への影響については、必ずしも十分検討されてはいない。本報では、HAZ での性能劣化の小さい W 添加高耐食鋼の成立の可能性を明らかにするため SUS329J4L 鋼をベースとした二相ステンレス鋼の HAZ での靱性、耐孔食性に及ぼす W の影響について、検討を行った。

2. 実験方法

2.1 供試材

JIS 規格において最も耐孔食性の優れる二相ステンレス鋼である SUS329J4L 鋼の成分 25%Cr-7%Ni-3%Mo-0.3%N 鋼をベース材として、W 量を 4% まで順次変えた二相ステンレス鋼を実験室にて溶製し、供試材とした。板厚 10 mm に鍛造圧延した後、1070°C で 1.8 ks 加熱後水冷して固溶化熱処理を行った。化学組成を Table 1 に示す。

2.2 溶接継手試験

供試材を板厚 9 mm、幅 100 mm、長さ 300 mm で、長手方向に (圧延方向に平行に) 板幅の中央に、ルートフェイスの厚さ 3 mm、幅 8 mm、角度 40° の U 開先をもつ板に機械加工し、開先内に TIG 溶接して溶接継手を作製

Table 1 Chemistries of materials tested (mass%).

Mark	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	W	N
0%W	0.022	0.32	0.48	0.022	0.0014	7.44	25.2	2.86	<0.01	0.33
1%W	0.022	0.28	0.47	0.022	0.0018	7.68	25.6	2.92	0.98	0.33
2%W	0.024	0.28	0.48	0.020	0.0017	7.55	25.2	2.86	2.05	0.33
3%W	0.027	0.26	0.45	0.022	0.0018	7.51	25.6	2.93	3.05	0.33
4%W	0.022	0.30	0.48	0.019	0.0014	7.80	25.3	3.04	4.17	0.37

*原稿受付 平成 6 年 12 月 15 日 平成 6 年度春季全国大会で発表

**正 員 住友金属工業㈱ Member, Sumitomo Metal Industries

*** 住友金属工業㈱ Sumitomo Metal Industries

Fig. 1 Test specimens for evaluation of pitting corrosion resistance of HAZ.

した。初層は、溶接材料を用いずに溶接し、2層目以降は、SUS329J4L 共金系の溶接材料を用いて、入熱量17 kJ/cmにて、全層5パスの溶接を行った。溶接材料は、すべて共通としたのは、HAZの評価を行うことを目的とした試験であったためである。

本実験に用いた溶接条件では、溶融線から約4 mm までが、析出相が生成しやすいと言われているピーク温度約700°C以上に加熱される領域と考えられる。そこで、溶融線から4 mmの領域から電解抽出による残渣として、析出物を抽出し、化学分析により析出物を形成したCr, Mo, Fe, W, Nの量を評価した。またシグマ相、炭窒化物の生じやすい二相温度域に加熱されたHAZの靱性を評価するため、溶融線から2 mmまたは4 mmの位置にVノッチをもつ板厚5 mmのシャルピー試験片を採取して、衝撃試験を行った。

耐孔食性の評価は、Fig. 1に示す厚さ2 mm、直径15 mmの試験片を溶融線を中心に採取して初層側の板表面を機械加工により0.5 mm除去した面について行った。実際に使用される溶接部は、溶接によるスケールを残したままあるいは酸洗により処理した状態で、腐食環境に触れることが多いが、ここでは、試験の再現性を重視し、表面を機械加工により除去している。試験片は、Fig. 1に示すように、一部、溶接金属を含む形で採取し、溶接金属をシリコンゴムにて完全に被覆し、HAZ、母材のみを露出させて、試験に供した。腐食試験は、一定温度に保持した10%FeCl₃水溶液とし、50°Cから始めて、86.4 ks浸漬後に孔食の有無を検鏡し、86.4 ksごとに5°Cづつ温度を上げて試験し、孔食発生限界温度(Critical Pitting Temperature 以下CPT)を求めた。

HAZの析出物観察は、継手断面において溶融線直近及び溶融線から2 mmの領域ならびにシャルピー破面上から、5%ブロムアルコール水溶液中で抽出した抽出レプリカ膜を用いて、透過型電子顕微鏡(以下TEM)にて観察、同定を行った。またフェライト量は、100倍の視野にて20×20の格子点を用いた点算法にて測定した。

2.3 HAZ再現熱サイクル試験(再現HAZ試験)

供試材を厚さ10 mm、幅11 mm、長さ100 mmの試験片に機械加工し、長手方向の中央部に、高周波誘導加熱により、HAZ再現熱サイクルを与えた。孔食の起点となりやすいTIG溶接の溶融線近傍を想定したピーク温度1400°Cに1 s保持し1300°Cから700°Cまでの冷却時間20 sとした熱サイクルを1回与えたものと、さらにその後に、ピーク温度1000°Cに1 s保持し、1000°Cから700°Cまでの冷却時間を10 sとした熱サイクルを与えた2回熱サイクル材を作製した。幅約10 mmの均熱部について、組織観察、耐孔食性の評価を行なった。耐孔食性の評価は、均熱部の直径約5 mmの領域のみを露出させ、他の部分は、シリコンゴムにてシールして、前述の溶接継手と同様の方法にて行った。

3. 実験結果

3.1 母材の耐孔食性に及ぼすWの影響

25%Cr-7%Ni-3%Mo-0.3%Nの二相ステンレス鋼にWを添加した鋼の母材の耐孔食性試験結果をFig. 2に示す。耐孔食性は、Wの増加とともに向上する傾向が認められた。ところで、二相ステンレス鋼母材の耐孔食性は、鋼の化学組成の等量式

$$PREW = Cr + 3.3(Mo + 0.5W) + 16N$$

(mass%)

で整理され、PREW値が高くなるほど、耐孔食性が向上することが報告されている⁶⁾。

3.2 HAZの耐孔食性に及ぼすWの影響

25%Cr-7.5%Ni-3%Mo-0.3%Nの二相ステンレス

Fig. 2 Pitting corrosion resistance in HAZ of 25%Cr-7%Ni-3%Mo-W-0.3%N steel.

Fig. 3 Pitting corrosion resistance in simulated HAZ of 25%Cr-7%Ni-3%Mo-2%W-0.3%N steel.

鋼にWを添加した鋼の溶接継手及び再現HAZ材の耐孔食性を評価した。溶接継手におけるHAZの評価結果をFig.2に示す。HAZでは、W量が2%までは、Wの添加により、耐孔食性が向上する傾向が認められた。しかし、2%以上では、W添加による耐孔食性の向上は認められず、4.2%ではかえって耐孔食性が低下する傾向が認められた。

孔食の発生は、W量3%以下の鋼では、主に溶融線近傍のHAZで、W量4.2%の鋼では、それに加えて、HAZから2～4mm離れた低温側のHAZでも生じていた。

再現HAZ材での結果をFig.3に示す。最終層の溶融線近傍のHAZを想定したピーク温度1400°CのHAZ再現熱サイクルを与えた試料では、母材に比べ耐孔食性が低下するものの、Wの添加により、耐孔食性が向上していた。これに対し、初層側の溶融線近傍を想定したピーク温度1400°Cの後に、ピーク温度800°CのHAZ再現熱サイクルを与えた試料では、W量が2%までは、W量の増加により耐孔食性の向上が認められたが、2%以上ではその効果は飽和し、4.2%では、むしろ耐孔食性は、低下していた。

3.3 HAZの靱性に及ぼすWの影響

25Cr-7.5%Ni-3%Mo-0.3%Nの二相ステンレス鋼にWを添加した鋼のHAZでの衝撃靱性を評価した。0.3%前後のNを含む高N二相ステンレス鋼では、後述のFig.12に示すように、N量の低い(0.1%程度)二相ステンレス鋼で知られているようなフェライト単相温度域に加熱される高温HAZでの顕著な窒化物析出は生じない。高Wであるため、むしろ金属間化合物の析出温度域と考えられる800～1050°C程度に加熱される低温HAZでの靱性を対象に検討した。結果をFig.4に示す。HAZの衝撃値は、Wの添加により、低下する傾向を示したが、Wが2%までは、-30°Cで、80 J/cm²以上の実用

Fig. 4 Effect of W content on Charpy impact toughness in HAZ of 25Cr-7%Ni-3%Mo-W-0.3%N steel.

上、十分高い値を有していた。Wが3%を超えると、W量の増加による靱性の低下が、より顕著となっていた。溶融線から2mmのHAZに切欠を与えたシャルピー試験片での試験後の破面をFig.5に示す。W量2.1%の鋼では、一部平坦な破面が認められたが、塑性変形の痕跡を示すディンプル破面が多く認められた。これに対し、W量4.2%の鋼では、変形の少ない平坦な破面がより多く認められた。

3.4 HAZの組織、析出物とW量

25Cr-7.5%Ni-3%Mo-0.3%N鋼をベースに、Wを添加した供試材(母材)のフェライト量をFig.6に示す。Wの増加とともにフェライト量は、増加する傾向に

Fig. 5 Fracture surface of Charpy impact test specimen with V notch in HAZ 2 mm distance from fusion line. a) 2%W steel, b) 4%W steel.

Fig. 6 Volume fraction of ferrite in base metal and simulated HAZ heated at 1400°C.

Fig. 7 Effect of W content in 25Cr-7Ni-3Mo-W-0.3N steel on precipitation in HAZ.

Fig. 8 Chromium nitride in HAZ close to fusion line observed by TEM with extraction replica in 2%W steel.

あるが、W 量 0～4.2% の鋼で、フェライト量は 34～43% の範囲となっていた。

溶接継手の溶融線から 4 mm までの HAZ 領域から抽出残渣を採取し、HAZ での析出物の生成量に及ぼす W 添加の影響を検討した。結果を Fig. 7 に示す。結果は、鋼の単位質量当たりに、析出物として存在していた Cr, Fe, Mo, W, N の質量として、縦軸に示している。W 量が 2% 以下では、Fe, Mo, W を含む析出物は、ほと

Fig. 9 Precipitates in HAZ of 4%W steel.

Fig. 10 Precipitates identified as chi phase in HAZ of 4%W steel.

んど生じていなかったが、W 量が 3% 以上では、W 量が多いほどこれらの析出物の生成が顕著となっていた。N に関しては W が添加されていない鋼でも、析出物の生成が認められ、W 量の増加により、その生成が、増加する傾向が認められた。Fig. 8 の抽出レプリカ法による TEM 観察に示すように、W 量 2.1% の鋼では、溶融線近傍の HAZ で Cr_2N の生成が認められており、N は主に Cr_2N として析出していたものと考えられる。W 量の増加にともなう HAZ での窒化物の析出の要因としては、W が固溶することによるフェライト相中の N 溶解度¹¹⁾の減少とフェライト量の増加による鋼全体としての N の固溶限の低下が推察される。高 W 材では、W 量 4.2% の鋼での Fig. 9, Fig. 10 に示す例のように、溶融線から約 2 mm の HAZ において、 $\text{Fe}_{32}\text{Cr}_{12}\text{Mo}_{10}$ の一部が W で置換されたと考えられるカイ相が多く認められ、W を含まない二相ステンレス鋼の低温 HAZ や時効材で報告されているシグマ相は、認められなかった。これは、カイ相がシグマ相に比べマトリックスの整合性に優るためと考えられるが、この点については、次報にて検討する。このことから、W が 2% 以上の鋼での抽出残渣中の Fe, Mo, W の多くは、カイ相として析出しているものと考えられる。

溶融線から 2 mm 離れた HAZ に切欠を与えたシャル

ピー試験片の衝撃試験後の破面から抽出レプリカ膜を採取し、TEM 観察を行った。結果を Fig. 11 に示す。W 量 2.1% の鋼では、比較的平坦と思われる箇所すなわち塑性変形を伴わずに破壊が生じたと推定される箇所に、 Cr_2N が多く認められた。これに対し、W 量が 4.2% の鋼では、平坦と思われる箇所では、 Cr_2N に加えて、カイ相が多く

Fig. 11 Chromium nitride in fracture surface of Charpy test with V notch in HAZ 2 mm distant from fusion line of 2%W steel observed by TEM with extraction replica.

Fig. 12 Precipitates in simulated HAZ of 4%W steel heated 1400°C and 1000°C.

認められた。

孔食試験に供するために作製した再現 HAZ 材の組織を Fig. 12 に示す。耐孔食性の劣化が顕著であった W 量 4.2% の鋼のピーク温度 1400°C + 1000°C の 2 回熱サイクル材においては、フェライト/オーステナイト相境界に、電子線回折によりカイ相と同定された析出相が認められた。一方、W 量 2.1% の鋼では、同じ 2 回熱サイクルを受けた再現 HAZ においては、光学顕微鏡観察では、析出相は認められなかった。フェライト量は、W 量 2.1%、4.2% で、それぞれ 42%、46% となっていた。

ピーク温度 1400°C の再現 HAZ 及び母材において、フェライト相、オーステナイト相での Cr、Mo、W の濃度を EPMA により分析した結果を Fig. 13 に示す。Cr、Mo、W の濃度は、オーステナイト相中では、鋼中の平均濃度よりも低く、これらの元素はフェライト相に濃化していた。母材と再現 HAZ 材を比較すると、再現 HAZ 材では、溶接熱サイクルにより Cr、Mo のフェライト相への濃化が緩和される傾向が認められた。しかし、W に関しては Cr、Mo ほど顕著には熱サイクルの影響は認められなかった。

4. 考 察

4.1 HAZ の靱性に及ぼす W の作用

25%Cr-7.5%Ni-3%Mo-0.3%N 鋼に対し、W を添加した鋼の HAZ において、W を、2% まで添加した場合に、若干の靱性低下が、2% 以上添加した場合には、さらに顕著な靱性低下が認められた。この理由について考察する。

ここで対象とした HAZ は溶融線から 2 mm あるいは 4 mm 離れたいわゆる低温 HAZ である。二相ステンレス鋼の HAZ は、オーステナイト相の一部あるいはすべてが、高温で一度フェライト相に変態するピーク温度 1100°C 以上の領域、いわゆる高温 HAZ と 1100°C 以下の温度域にしか加熱されずフェライト相がほとんど変化しない低温 HAZ とに大別される。低温 HAZ では、オーステナイト相のフェライト相への変態がないため HAZ のフェライト量は、母材と大差なく、炭窒化物の析出や金属間化合物の析出が組織変化の中心となると考えられる。二相ステンレス鋼の低温 HAZ での靱性に影響を及ぼす因子として①フェライト量、②炭窒化物、③金属間化合物が挙げられる。①に関しては、Fig. 6 に示したように、W 量の異なる材料間での母材のフェライト量の差

Fig. 13 Distribution of Cr, Mo and W content measured by EPMA in ferrite and austenite phase of base metal and simulated HAZ of 2%W steel.

は、高々10%であり、W量が増加することによりフェライト量が増加し、それがHAZ靱性の低下の主要原因になっているとは考え難い。②に関しては、Fig. 7に示したようにWの増加によりHAZでの窒化物(Cr_2N)の析出量が増加する傾向が認められていた。SUS329J1二相ステンレス鋼の溶接金属において、シャルピー衝撃破面のフェライト相のへき開ファセット上に Cr_2N が、へき開クラックに平行もしくは、垂直に存在して、靱性低下を生じさせる可能性が報告されている⁹⁾。HAZにおいても、 Cr_2N がへき開面に析出して、靱性低下を引起した可能性が、十分考えられ、Wを含まない高Cr、高Mo二相ステンレス鋼で、 Cr_2N によるHAZの靱性劣化が認められている⁹⁾ことから、W量2%までの靱性低下の要因として、フェライト相への Cr_2N の析出が支配的と考えられる。一方、Wが2%を超える鋼ではさらに顕著な靱性の低下を示していた。Wが2%以上では定量的には、Crに加えてFe、Mo、Wを含有する析出物が増加し、TEM観察においては、カイ相が確認されていた(Fig. 10)。カイ相は、金属間化合物相であり、シグマ相が析出した場合と同様の脆化⁹⁾を、引起することが十分考えられる。Wが2%を超えた場合でもHAZでのNの析出量は高々0.02mass%であり、Wが4.2%の鋼での急激な靱性低下に対しては、 Cr_2N の析出が支配的とは考え難く、むしろカイ相の多量の析出が支配的と考えられるべきと思われる。また、Fig. 5で、高W材では、溶融線から4mm離れたHAZよりも、より高温の熱サイクルを受けた溶融線から2mm離れた靱性低下が顕著となったことは、Wの増加にともないカイ相の析出C曲線のNoseが、高温短時間側にシフトしたことによるものと推察される。

4.2 HAZの耐孔食性に及ぼすWの作用

25%Cr-7%Ni-3%Mo-0.3%N鋼のHAZの耐孔食性とWの作用について考察する。Fig. 2, Fig. 3に示したように、溶接継手及び高温HAZを模擬した再現HAZ材では、耐孔食性は母材に比べ、劣化していたもののW量が2.1%までは、Wの増加とともに向上していた。一方、母材においては、W量の増加により、直線的に耐孔食性が向上していた。ところで、Fig. 13に示したようにWはCr、Moとともにフェライト相中に濃化していたが、フェライト相中への濃化度は、再現HAZ材では、母材に比べ低減していた。この理由については以下のように説明できる。ピーク温度1400°Cという高温に加熱されたHAZでは、高温でオーステナイト相がフェライト相に変態し、冷却過程で、フェライト相の一部がオーステナイト相に変態する組織変化が、20~30sという極めて短時間で生ずる。そのためCr、Mo、Wという置換型元素の移動は、1200°C以上の高温域すなわちオーステナイト相がフェライト相に変態する際にほとんどであり、その結果、Cr、Mo、W濃度はフェライト相中で減少し、オーステナイト相中では、逆に増加することとなる。そのために、HAZでは、フェライト相の耐孔食性が低下することが考えられる。Fig. 13の分析結果から、母材、再現HAZ材のフェライト相(α)のPREW値を計算するとFig. 14に示すようにそれぞれ約43、約41となる。ただしNはすべてオーステナイト相中のみ固溶しているものと仮定している。このPREW値の低下がHAZでの耐孔食性低下の一因と考えられる。

ところで、1000°C~1400°Cでのフェライト相、オーステナイト相中のWの拡散速度はCr、Moに比べて0.4倍程度であり¹⁰⁾、そのためFig. 13に示したように、HAZ

S.HAZ: Simulated HAZ heated at 1400°C

Fig. 14 PREW value in each phase calculated using measured data by EPMA in 2%W steel.

での相変態にともなう移動もCr、Moに比べ少なく、HAZでの耐孔食性の低下へのWの寄与も小さいものと考えられる。HAZでは、母材に比べ耐孔食性が低くなっていた原因として、WよりもむしろCr、Moの拡散移動にともなうフェライト相での濃度低下の影響が大きいものと考えられる。言い換えれば、母材の耐孔食性向上元素として、Cr、MoよりもWをより多く用いた方が高温HAZでの耐孔食性の低下は、小さいものと考えられる。

以上は、HAZにおいて炭窒化物や金属間化合物の析出の影響がほとんど無視できると仮定した場合の考察である。W量が、2%以上でかつ、フェライト量が少ないため高温HAZでの炭窒化物がほとんど生じない場合には、この仮定は近似的に成立つと考えられる。

ところが多層溶接された継手のHAZでは、高温HAZを模擬した再現HAZ材では認められなかった(Fig. 12)窒化物が認められていたことから、低温HAZ側に析出した窒化物の周辺でのCr欠乏層の生成が耐孔食性低下の要因となっているものと考えられる。

さらにはW量が、2%以上となると、Fig. 7, Fig. 9に示したように、低温HAZにおいて、金属間化合物の生成が顕著となっていた。金属間化合物(カイ相)にはCr、Mo、Wが富化しており、その周辺では、これらの元素の濃度が低下しているものと考えられる。27.5%Cr系二相ステンレス鋼のHAZにおいて、シグマ相の周辺が孔食の起点となりうる事が確認されており⁹⁾、カイ相についても、同様のことが十分考えうる。カイ相は、1070°Cの固溶化熱処理材(母材)では、全く出現しなかったことから、少なくとも1070°C以下に析出のNoseを有しているものと考えられる。再現HAZ材においては、4%W鋼で、ピーク温度1400°Cの熱サイクルの後に、ピーク温度1000°Cの熱サイクルを与えた試料に、カイ相が認めら

れていたことからこの試料で、耐孔食性の低下が顕著となっていた要因として、カイ相の析出が支配的と考えられる。

以上のことより、HAZ における W の添加は、耐孔食性の向上に有効に寄与しうるが、過剰の添加は、金属間化合物の析出を誘発し、かえって耐孔食性を低下させると言える。

5. 結 言

25%Cr-7%Ni-3%Mo-0.3%N の二相ステンレス鋼の HAZ での組織、靱性、耐孔食性に及ぼす W の影響について検討し、以下の知見を得た。

(1) W の添加は、母材の耐孔食性の向上に有効である。

(2) 3%以上の W の添加により、HAZ でのカイ相の析出が生じていた。

(3) W 量 2%までは、W の添加により、HAZ の耐孔食性は、向上したが、2%以上の添加は、窒化物、金属間化合物（カイ相）の析出を促進し、耐孔食性の向上効果は小さく、4%の W 添加はむしろ、耐孔食性が低下した。

(4) W 量 2%までは W の添加により、HAZ において窒化物の析出が生じ、靱性が低下するが -30°C において、 80 J/cm^2 以上の衝撃値が得られた。W を 2%以上添加すると窒化物、カイ相の析出により、HAZ 靱性の低下

が、より顕著に生じた。

(5) 母材では、Cr, Mo, W がフェライト相中に濃化しており、溶接熱サイクルを受けると Cr, Mo のフェライト相への濃化が低減される。窒化物、カイ相の析出に加え、このフェライト相への Cr, Mo の濃化の低減も、HAZ の耐孔食性が母材に比べ低くなっていた一因と考察された。

参 考 文 献

- 1) C.V. Posce and K.J. Gradwell: Proc. of "Duplex Stainless Steel '86", Hague, Netherland, (1986), p. 126.
- 2) 小川忠雄, 小関敏彦: 溶接学会誌, 57 (1988), p. 92.
- 3) L. Nassau: Joining Welding 2000, Pergamon-Press (1991), p. 271.
- 4) A. Josefsson: Proc. of "Stainless Steels '91", Iron and Steel Institute of Japan, Chiba, Japan (1991), p. 1069.
- 5) 小川和博, 三浦実, 小溝裕一: 溶接学会論文集, 9(1991), p. 269.
- 6) H. Okamoto: Proc. of "Stainless Steels '92", Stockholm, (1992), p. 360-369.
- 7) K. Sugimoto and Y. Sawada: Corrosion, 32 (1976), p. 347.
- 8) 粉川博之, 富田昌孝, 桑名武: 溶接学会論文集, 12 (1994), p. 404.
- 9) 小川和博: 学位請求論文 (大阪大学, 1991).
- 10) 日本金属学会編: 金属データブック, 丸善 (1984).
- 11) W.M. Small and R.D. Pehlke: Tran. Met. Soc. AIME 242 (1968), p. 2501.