

住金溶接工業(株) 技 術 部
住友金属工業(株) 総合技術研究所

○村田義明、塚本宗安
平田弘征、天谷尚、小溝祐一

Development of GMA welding consumables for super 13Cr stainless steel pipes
by Yoshiaki MURATA, Muneyasu TSUKAMOTO, Hiroyuki HIRATA, Hisashi AMAYA, Yu-ichi KOMIZO

1. 緒言：近年、石油関連用として、新しい13Cr系ステンレス鋼、いわゆるスーパー13Crステンレス鋼が開発され、注目されている。これらスーパー13Cr鋼は、従来鋼(AISI 420)と比べて、熱影響部を含む母材の耐食性や低温靱性などが格段に向上し、とりわけ予後熱なしで低温割れが防止できるという溶接性の改良が加えられている。その結果、22Cr系二相ステンレス鋼に代わる経済的なラインパイプ用鋼として期待されている。ところが、ラインパイプへの適用においては溶接が必要であるが、 H_2S を多く含有する厳しい腐食環境への適用においては、溶接ままの継手部では残留応力に起因する応力腐食割れが懸念され、そのため従来の方法ではSR処理が必要となる。そこで本報では、SRなしでも十分な耐SSC性(Sulfide Stress Cracking)が確保できる溶接材料の検討を行い、GMA溶接用として新たにスーパー二相ステンレス鋼メタル系コアードワイヤを開発したので報告する。

2. 供試材料：母材として用いたスーパー13Crの継目無鋼管の化学組成と引張特性をTable 1に示す。溶接材料にはメタル系コアードワイヤとして、窒素量を変化させた4種類の試作スーパー二相

Table 1 Chemical compositions and tensile properties of materials used

Mark ^{a)}	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Ti	N	Y.S (MPa)	T.S (MPa)
No.1	0.007	0.31	0.45	0.018	0.001	6.20	12.05	2.53	0.070	0.004	567	883
No.2	0.010	0.24	0.46	0.020	0.001	6.42	11.96	2.42	0.077	0.010	579	906

^{a)} No.1; $\phi 168.3 \times 12'$ (mm)

No.2; $\phi 273.1 \times 12'$ (mm)

ステンレス鋼(23Cr-9Ni-4Mo-2W-0.1~0.3N)を供試した。また比較材として、市販の22Cr系二相ステンレス鋼(22Cr-8Ni-3Mo-0.1N)とスーパー二相ステンレス鋼(25Cr-9Ni-3Mo-2W-0.3N)のソリッドワイヤを用いた。これら二相ステンレス鋼の選定理由は、溶接金属の基本特性として強度、低温靱性および耐食性を同時に確保できるからである。

3. 実験方法

3-1. 残留応力のシミュレーション：溶接材料の強度特性によって継手部の残留応力分布がどのような影響を受けるかを調査するため、ケースⅠとして溶接金属の強度が母材より低い場合、ケースⅡとして母材と同等以上である場合について、それぞれ22Cr系二相鋼とスーパー二相鋼の応力-歪み曲線を使用してFEM(Finite Element Method)による残留応力のシミュレーションを行った。但し、残留応力の大きさは母材の降伏強度に等しいものと想定し、また熱影響部の応力特性は硬度測定値より類推した。これを基に、溶接材料の強度レベルを決定した。

3-2. 耐ブローホールの調査：GMA溶接における溶接材料の窒素量とブローホール発生率の関係を調査するため、U型開先を施した市販SUS329J4Lの母材に1パス上向溶接を行い、JIS Z3106に準じてX線透過試験を実施し、窒素量の適正值を決定した。

これらの知見により、N低減スーパー二相ステンレス鋼溶接材料(23Cr-9Ni-4Mo-2W-0.17N)を開発した。

3-3. 溶接継手性能：溶接継手の機械的性能、SSC性能をそれぞれASME Sec. IX、NACE TM 0177(Method A)に準じて試験した。2種類の市販ソリッドワイヤについても試験し、比較検討

した。継手はGMA溶接で作製したが、市販のスーパー二相鋼ソリッドワイヤは耐ブローホール性に問題があるのでGTA溶接で作製した。

4. 検討結果および考察

4-1. 残留応力分布の評価：ケースⅠ、Ⅱの応力分布図をそれぞれFig. 1、2に示す。母材より強度が低いケースⅠでは、ボンド部近辺の母材に応力集中が見られる。強度レベルが母材と同等以上のケースⅡでは、このような応力集中は見られない。母材熱影響部近傍の応力軽減という観点からは、溶接材料の強度レベルはケースⅡが好適である。

4-2. 耐ブローホール性の評価：溶接材料の窒素量とブローホール発生率の関係をFig. 3に示す。窒素レベルの低減と共に、ブローホール発生率の低下傾向が見られる。また試作メタル系コアードワイヤは市販ソリッドワイヤと比べて相対的にブローホール発生率が低い。

4-3. 耐SSCの評価： H_2S を含む腐食液中での定荷重引張試験結果をFig. 4に示す。併せて引張試験結果を示す。新開発のスーパー二相ステンレス鋼GMA溶接材料は市販のスーパー二相鋼用GTA溶接材料と同等の優れた耐SSCを示す。母材と強度的にアンダーマッチの22Cr系二相鋼は規定時間内で破断した。破断箇所はボンド部近辺の母材であり、これは残留応力分布の計算結果と良く一致する。

5. 結言：スーパー13Cr鋼管の適正な溶接材料について検討し、GMA溶接材料を開発した。 H_2S 腐食環境において、新開発のスーパー二相ステンレス鋼メタル系コアードワイヤの溶接継手は溶接ままでも優れた耐SSC性を有する。

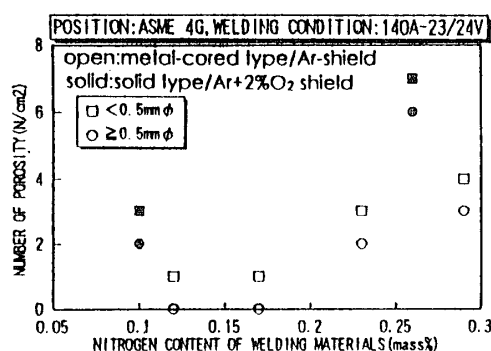


Fig.3 X-ray inspection results of GMA welds

6. 参考文献：M. Ueda et al., 1992, Corrosion / '92, Paper No.55

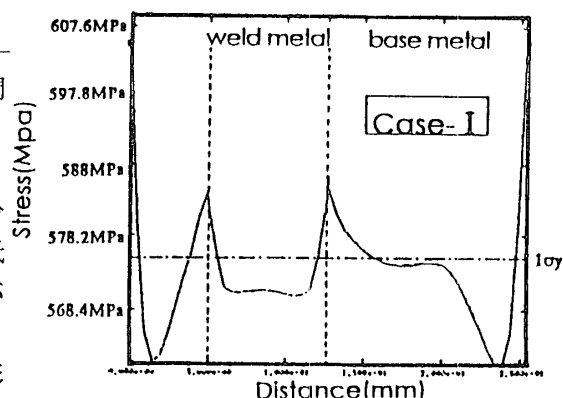


Fig.1 The stress distribution of the welded joint with 22Cr duplex material

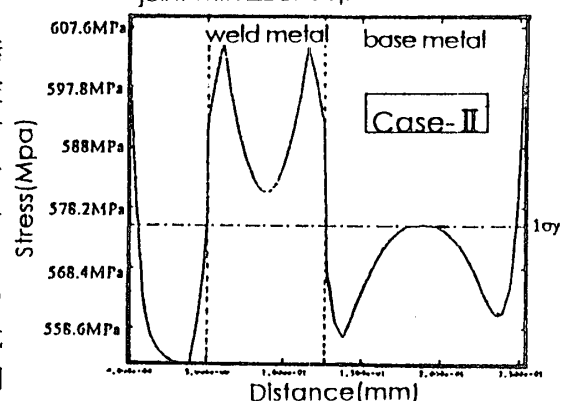


Fig.2 The stress distribution of the welded joint with super-duplex material

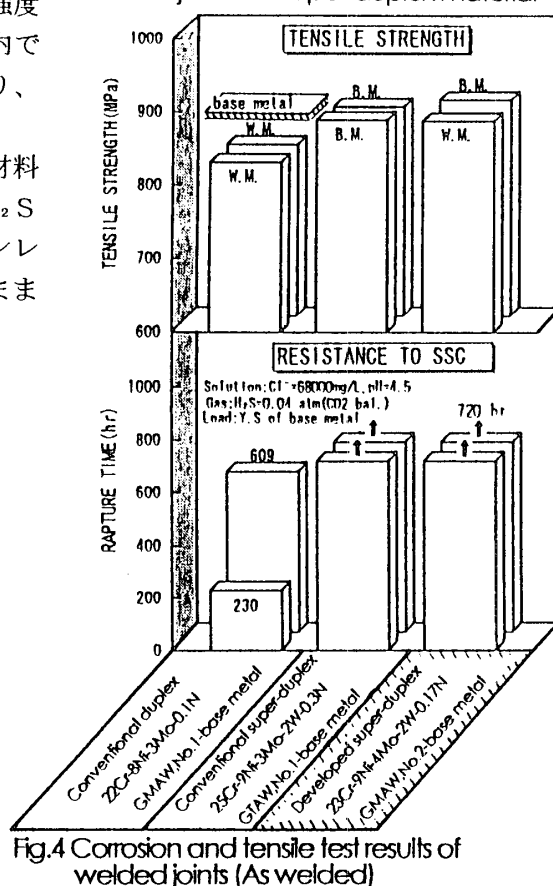


Fig.4 Corrosion and tensile test results of welded joints (As welded)