
ラインパイプ用マルテンサイト系ステンレス継目無鋼管の開発

Development of Martensitic Stainless Steel Seamless Pipe for Linepipe Application

宮田 由紀夫(Yukio Miyata) 木村 光男(Mitsuo Kimura) 村瀬 文夫(Fumio Murase)

要旨：

ラインパイプ用マルテンサイト系ステンレス継目無鋼管として、CO₂ 環境用 0.01C-11Cr-1.5Ni-0.5Cu-0.01N 系鋼管、および CO₂ 1 微量 H₂S 環境用 0.01C-12Cr-5Ni-2Mo-0.01N 系鋼管を開発した。両鋼管は X80 級の強度、および溶接部の 240℃ のシャルピー吸収エネルギーが溶接ままで 100 J 以上の低温靱性を有しており、かつ、予熱および PWHT なしで割れが発生しない優れた溶接性を有している。また、CO₂ 環境用 11Cr 鋼管は 0.2C-13Cr 鋼より優れた耐 CO₂ 腐食性、CO₂ 1 微量 H₂S 環境用 12Cr 鋼管は 10%NaCl 水溶液、pH 4.0、0.002 MPa H₂S において耐 SSC 性を示す。本鋼管は腐食抑制剤を用いた防食や二相ステンレス鋼管などの高価な耐食材料を使用している従来のフローラインの代替材料に適している。

Synopsis：

Two types of martensitic stainless steel seamless pipes have been developed for linepipe applications. One is 0.01C-11Cr-1.5Ni-0.5Cu-0.01N steel pipe for CO₂ environment, and the other is 0.01C-12Cr-5Ni-2Mo-0.01N steel pipe for CO₂ and slight H₂S environment. Both pipes are suitable for welding without preheating. They give X80 grade strength and good low temperature toughness of welds without PWHT. The former pipe gives better resistance to CO₂ corrosion than the 13Cr martensitic stainless steel for OCTG. The latter pipe gives good SSC resistance in 10% NaCl solution with H₂S partial pressure of 0.002MPa and pH value of 4.0. These steel pipes have a great economical benefit and are expected to substitute conventional flowline pipes using carbon steel with inhibitor injection or costly corrosion resistant materials, such as, duplex stainless steel.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

ラインパイプ用マルテンサイト系 ステンレス継目無鋼管の開発*

川崎製鉄技報
29 (1997) 2, 90-96

Development of Martensitic Stainless Steel Seamless Pipe for Linepipe Application



宮田 山紀夫
Yukio Miyata

技術研究所 鋼管・鋳
物研究部門 主任研究
員(部長)



木村 光男
Mitsuo Kimura

技術研究所 鋼管・鋳
物研究部門 主任研究
員(課長)



村瀬 文夫
Fumio Murase

知多製造所 シームレ
ス管技術室 主査(課
長)

要旨

ラインパイプ用マルテンサイト系ステンレス継目無鋼管として、CO₂ 環境用 0.01C-11Cr-1.5Ni-0.5Cu-0.01N 系鋼管、および CO₂ + 微量 H₂S 環境用 0.01C-12Cr-5Ni-2Mo-0.01N 系鋼管を開発した。両鋼管は X80 級の強度、および溶接部の -40℃ のシャルピー吸収エネルギーが溶接まで 100J 以上の低温靱性を有しており、かつ、予熱および PWHT なしで割れが発生しない優れた溶接性を有している。また、CO₂ 環境用 11Cr 鋼管は 0.2C-13Cr 鋼より優れた耐 CO₂ 腐食性、CO₂ + 微量 H₂S 環境用 12Cr 鋼管は 10% NaCl 水溶液、pH 4.0、0.002 MPa H₂S において耐 SSC 性を示す。本鋼管は腐食抑制剤を用いた防食や二相ステンレス鋼管などの高価な耐食材料を使用している従来のフローラインの代替材料に適している。

Synopsis:

Two types of martensitic stainless steel seamless pipes have been developed for linepipe applications. One is 0.01C-11Cr-1.5Ni-0.5Cu-0.01N steel pipe for CO₂ environment, and the other is 0.01C-12Cr-5Ni-2Mo-0.01N steel pipe for CO₂ and slight H₂S environment. Both pipes are suitable for welding without preheating. They give X80 grade strength and good low temperature toughness of welds without PWHT. The former pipe gives better resistance to CO₂ corrosion than the 13Cr martensitic stainless steel for OCTG. The latter pipe gives good SSC resistance in 10% NaCl solution with H₂S partial pressure of 0.002MPa and pH value of 4.0. These steel pipes have a great economical benefit and are expected to substitute conventional flowline pipes using carbon steel with inhibitor injection or costly corrosion resistant materials, such as, duplex stainless steel.

1 緒 言

近年、油井・ガス井は、高温、高 CO₂ 分圧、高塩素イオン濃度であったり、さらに H₂S を含有するような腐食性の厳しいものが増加しており、油井管材料の CO₂ 腐食や硫化物応力割れ (sulfide stress cracking, SSC) を防止することが大きな課題となっている。パイプラインにおいても、腐食性成分や水分が除去される前の油あるいはガスを輸送するフローラインやギャザリングラインと呼ばれるパイプラインでは、油井管材料と同等の耐食性が材料に要求される。従来このようなパイプラインには一般に、腐食抑制剤を注入するなどの防食が講じられる¹⁾が、二相ステンレス鋼などの耐食材料が用いられてきた²⁾。しかしながら、腐食抑制剤の注入は、特に海底パイプラインにおいて運用コストが高いこと、高温での腐食抑制効果が不安定であること、腐食抑制剤の漏洩による環境汚染などが問題となっている。また、二相ステンレス鋼は、優れた耐食性を持

つものの、材料コストが非常に高いこと、溶接入熱の管理が難しいこと、過防食となっている場合も多いことが指摘されている。

一方、マルテンサイト系ステンレス鋼は、一般に溶接性が低く、溶接には予熱および溶接後熱処理 (PWHT) を必要としていたため、パイプライン材料としてはこれまで使用された例は少ない。しかしながら、適度な耐 CO₂ 腐食性を示し、またコストも比較的低い材料である。したがって、溶接性の優れたマルテンサイト系ステンレス鋼管を開発すれば、パイプラインの材料コスト、敷設コストおよび運用コストを削減できる経済的な鋼管として大きな需要が期待できる。

このような背景から、溶接性と耐食性に優れたマルテンサイト系ステンレス継目無鋼管として、13Cr 油井鋼管より優れた耐食性をもつ CO₂ 環境用の 11Cr 鋼管、および耐 SSC 性の良好な CO₂ + 微量 H₂S 環境用の 12Cr 鋼管を開発した。本論文では、これらのマルテンサイト系ステンレス継目無鋼管の開発経緯とその特性を紹介する。

*平成9年5月20日原稿受付

2 CO₂ 環境ラインパイプ用 11Cr 鋼管の開発

2.1 目標特性

CO₂ 環境ラインパイプ用マルテンサイト系ステンレス継目無鋼管の開発目標特性を以下に挙げる。

- (1) 溶接性：予熱および PWHT なしで溶接が可能
- (2) 耐 CO₂ 腐食性：油井管用 0.2C-13Cr 鋼管と同等以上
- (3) 低温靱性：母材および溶接部のシャルピー吸収エネルギーが -40℃ で 100J 以上
- (4) 強度：降伏応力 (YS) が 360MPa 以上、すなわち、米国石油協会 (API) の API 5L 規格における X52 級以上
- (5) 熱間加工性：マンネスマン方式で継目無鋼管が製造可能

2.2 実験室的検討

2.2.1 成分設計の考え方

新鋼管の成分設計はマルテンサイト系ステンレス鋼の溶接性、熱間加工性および耐食性に及ぼす合金元素の影響に関する知見に基づいて行った。

一般にマルテンサイト系ステンレス鋼の溶接では、溶接熱影響部のマルテンサイト変態にともなう硬化を原因とする割れや、溶接時に溶接金属中に溶解した水素に起因する割れが発生する³⁾。したがって、材料側からの溶接割れ防止手段として、C および N を低減してマルテンサイト変態にともなう硬化を抑制することが有効であると考えられる。なお、マルテンサイト系ステンレス鋼において C と N の総量を 0.04% 以下に抑えることで、予熱および後熱処理なしで溶接部の割れを防止することが可能であることが報告されている⁴⁾。また、C 量の低減は、それにより Cr 炭化物が減少することから耐 CO₂ 腐食性の向上も期待できる⁵⁾。

熱間加工性は、継目無鋼管の表面品質を決定する上で非常に重要

な因子である。マルテンサイト系ステンレス鋼の継目無鋼管製造過程でデルタフェライト相が生成すると熱間加工性は著しく低下して表面品質が劣化し、造管不能になる場合もある⁶⁾。したがって、Ni, Mn, Cu などのオーステナイト生成元素の添加、増量、あるいは Cr, Si などのフェライト生成元素の減量は熱間加工性の向上に効果がある。

これらの考えから、0.01C-(11,12)Cr-Ni-Cu-0.01N 系を基本組成とした小型鋼塊を溶製した。化学組成を **Table 1** に示す。溶製した鋼塊を板厚 15mm に熱間圧延し、焼入れおよび焼もどしを施した。

2.2.2 溶接性

溶接性は斜め Y 形溶接割れ試験により溶接熱影響部の割れ発生感受性を評価した。溶接材料として市販のマルテンサイト系ステンレス鋼用ライム系被覆アーク溶接棒を使用し、予熱温度は 30, 70, 100℃ で行った。**Table 2** に試験条件とともに斜め Y 形溶接割れ試験結果を示す。C および N を 0.01% まで低減した鋼では、予熱温度 30℃ でも、溶接後 120h の経過した後の観察で、いずれの材料も断面割れは確認されず、良好な溶接性を示した。しかし、C あるいは N を 0.03% とした鋼では、溶接熱影響部の硬化あるいは水素が原因と考えられる溶接割れが発生した。この結果から、C および N の低減により溶接性が向上することが確認され、C および N を 0.01% まで低減した鋼は予熱なしで割れ発生をともなわない溶接が可能であると考えられる。

2.2.3 機械的性質

Cu 量を 0~1.5% まで変化させた 12Cr 鋼を、Ac₁ 変態点下の 600~700℃ で 30 min の焼もどしをしたときの、0℃ のシャルピー吸収エネルギーと YS の関係を **Fig. 1** に示す。この系の鋼を適当な条件で焼もどすことにより、高靱性でかつ YS550MPa 級すなわち X80 級の強度が得られることがわかる。なお、Cu 量が 1.0% 以上の鋼では焼もどし軟化抵抗が高いため高強度低靱性となる傾向があり、靱性を安定して確保することに関しては不利となることが示唆される。

Table 1 Chemical compositions of steels used in laboratory study

(mass%)

Material	C	Cr	Ni	Cu	Mo	N
1 Laboratory heats	0.01-0.03	11-12	0-2.0	0-1.5	-	0.01-0.03
2 Production heats	0.2C-13Cr	13	-	-	-	0.02
	Low C-13Cr	0.02	13	4.0	-	1.0
3						

Table 2 Results of y-groove cracking test for 11 and 12Cr steels

Material	Preheating temperature		
	30°C	70°C	100°C
0.03C-0.01N	Crack	Crack	Crack
0.01C-0.03N	Crack	Crack	Crack
0.01C-0.01N	11Cr-1.0Ni-0.5Cu	No crack	No crack
	12Cr-1.0Ni-0.5Cu	No crack	No crack
	12Cr-2.0Ni-0.5Cu	No crack	No crack

Plate thickness: 15 mm

Welding material: Type 410H SMAW, 4φ (Diffusible hydrogen; 4.28 cc/100 g)

Welding condition: Current; 160A, Voltage; 24-26V, Speed; 150 mm/min

Test condition: Room temperature; 30°C. Humidity; 60%RH

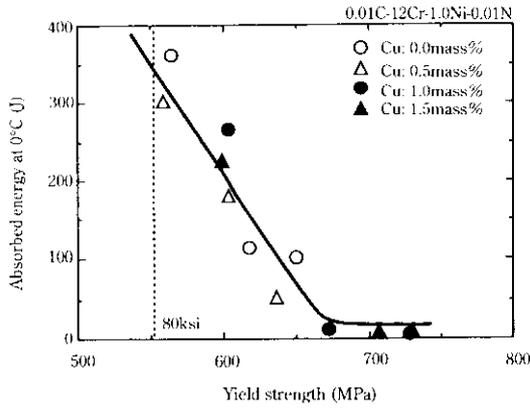


Fig. 1 Relation between Charpy absorbed energy at 0°C and yield strength of 12Cr steels with various Cu contents

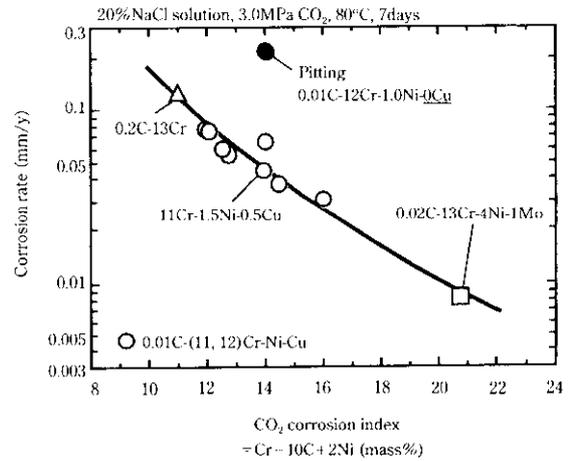


Fig. 2 Relation between corrosion rate and CO₂ corrosion index

2.2.4 耐 CO₂ 腐食性

耐 CO₂ 腐食性を評価するために、オートクレーブを用いて CO₂ 腐食試験を行った。試験は、3 mm×25 mm×50 mm の試験片を 20% の NaCl 水溶液中に浸漬し、3.0 MPa の CO₂ を飽和させた後、80°C で 7d 保持することにより実施した。重量減少速度から腐食速度 (mm/y) を換算し、耐 CO₂ 腐食性を評価した。比較鋼として、油井管用 0.2C-13Cr 鋼管および高温高 CO₂ 環境油井管用 0.02C-13Cr-4Ni-1Mo 鋼管も同時に試験した。

Fig. 2 に CO₂ 腐食試験結果を示す。Cu を添加した鋼では全面腐食の形態を示した。腐食速度は Cr, Ni の増量、あるいは C の減量により減少し、回帰式を求めた結果、Cr-10C+2Ni で定義される CO₂ 腐食指数 (CO₂ corrosion index, CCI) で整理された。一方、Cu 無添加鋼では孔食が発生し、その結果高い腐食速度を示した。これらの結果から、Cr を 11% に低減しても、Cu を添加し、かつ CCI を 12% 以上とすれば、油井管用 0.2C-13Cr 鋼より優れた耐 CO₂ 腐食性が得られることがわかる。

2.3 実機試造管と試造管材の特性

上述の実験的検討の結果および熱間加工性を考慮して、0.01C-11Cr-1.5Ni-0.5Cu-0.01N 系を転がで溶製し、外径 273 mm、板厚 12.7 mm の継目無鋼管を製造した。造管後、鋼管は焼入れおよび焼もど

し処理して、YS を X80 級に調整した。

溶接部の特性を評価するために、試造管材の円周溶接継手を作製した。溶接は本鋼種の実施工で最も一般的に適用されている方法で実施した。すなわち、溶接材料は 25Cr 系二相ステンレス鋼溶接材料を用い、全層 GTAW (gas tungsten arc welding) で溶接した継手および初層 GTAW で 2 層目を GMAW (gas metal arc welding) で溶接した継手をそれぞれ作製した。溶接材料と母材の化学組成を Table 3 に示す。また、溶接条件を Table 4 に示す。いずれの溶接においても予熱および PWHT を実施しなかったが、いずれも溶接割れは発生しなかった。したがって、供試鋼管は、実施工で適用されている GTAW もしくは GMAW では予熱および PWHT を施さなくても割れを発生させることなく溶接することが可能であり、優れた溶接性を備えていると言える。

溶接継手の引張試験および側曲げ試験の結果を Table 5 に示す。引張試験では、平行部の幅が 25 mm の余盛を削除した全厚試験片を使用した。全層 GTAW の継手および GTAW + GMAW の継手のいずれも母材で破断し、両者に大きな差は認められなかった。側曲げ試験は、板厚 4 mm の余盛を削除した全厚試験片を用いて曲げ半径 8 mm で実施したが、両継手とも 180° 曲げにおいても割れは認められなかった。

Table 3 Chemical compositions of base metal and welding wires for girth welding of 11Cr-1.5Ni-0.5Cu steel pipe

Material	(mass%)							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Mo	N
11Cr base metal	0.01	0.16	1.13	11.1	1.5	0.48	-	0.01
GTAW filler wire	0.01	0.30	0.38	25.3	9.5	-	4.0	0.27
GMAW wire	0.02	0.33	0.41	25.1	9.6	-	4.0	0.27

Table 4 Girth welding conditions for 11Cr-1.5Ni-0.5Cu steel pipe

Welding method	Pass	Diameter of welding wire (mm)	Welding current (A)	Welding voltage (V)	Welding speed (cm/min)	Heat input (kJ/cm)	Shielding gas
GTAW	1-7	2.0, 2.4	150-190	13.5-16.5	5.3-7.2	20-35	Ar
GTAW + GMAW	1 (GTAW)	2.0	146	13.5	4.0	30	Ar
	2 (GMAW)	1.2	150	14.0	6.5	19	Ar

Table 5 Mechanical properties of girth welded joints of 11Cr-1.5Ni-0.5Cu steel pipe

Welded joint/Base metal	Tensile test				Side bend test
	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	Fracture position	
GTAW	-	717	24	BM	No crack
GTAW + GMAW	-	748	25	BM	No crack
Base metal	593	726	22	-	-

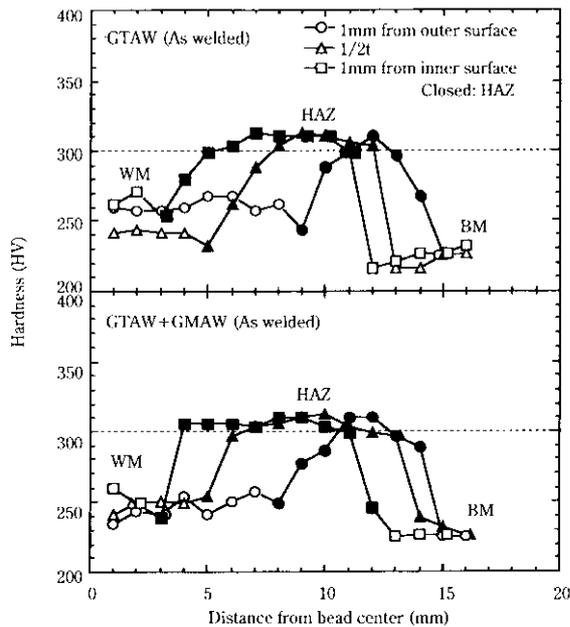


Fig. 3 Hardness distribution in welded joint of 11Cr-1.5Ni-0.5Cu steel pipe

全層 GTAW の継手および GTAW + GMAW の継手の硬さ分布を Fig. 3 に示す。硬さは、板厚中央および内外表面からそれぞれ 1 mm の位置で、ビード中心から母材まで 1 mm 間隔で測定した。最高硬さは溶接熱影響部においておよそ HV310 であり、全層 GTAW の継手および GTAW + GMAW の継手の間で大きな差は認められなかった。

全層 GTAW の継手および GTAW + GMAW の継手のシャルピー試験の結果を Fig. 4 に示す。試験は、ボンド部、溶接熱影響部および母材で行った。なお、ボンド部と溶接熱影響部のノッチは図中に示す位置とした。溶接熱影響部の靱性は母材より良好であった。またボンド部は母材よりやや低い靱性を示したが、 -40°C で 100J 以上の吸収エネルギーが得られた。

溶接継手部の CO_2 腐食試験結果を Table 6 に示す。試験は、継手部の鋼管内表面から採取した $3\text{mm} \times 25\text{mm} \times 50\text{mm}$ の試験片を用い、 3.0MPa の CO_2 を飽和させた 10% NaCl 水溶液中に 80°C で 7d 保持することにより実施した。比較鋼として、11Cr 鋼管母材および油井管用 0.2C-13Cr 鋼管も同時に試験した。両継手とも腐食速度は油井管用 0.2C-13Cr 鋼管の場合の 1/2 程度であり、溶接部の選択腐食は認められなかった。

2.4 まとめ

以上の試験結果から、開発した 11Cr 鋼管は CO_2 環境で使用されるラインパイプ用鋼管として実用的に十分な溶接性、機械的性質お

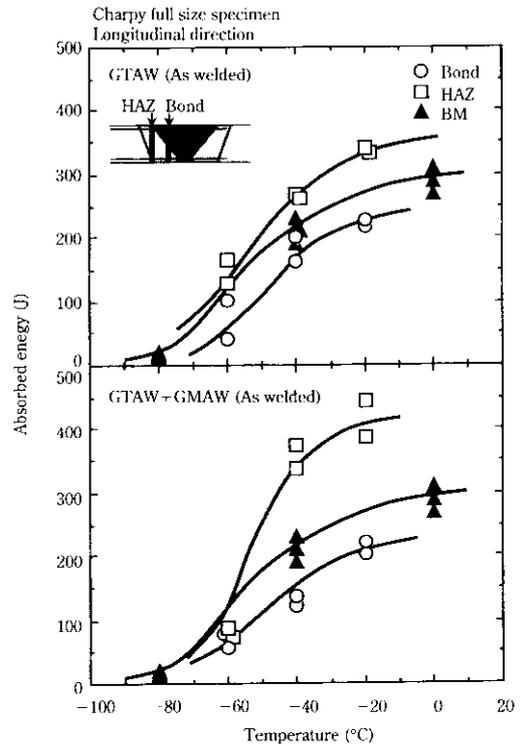


Fig. 4 Relation between Charpy absorbed energy and temperature of 11Cr-1.5Ni-0.5Cu steel pipe welded joint

Table 6 Results of CO_2 corrosion test for welded joints of 11Cr-1.5Ni-0.5Cu steel pipe

Material			Corrosion rate (mm/y)
11Cr-1.5Ni-0.5Cu	Welded joint	GTAW	0.030
		GTAW + GMAW	0.029
	Base metal		0.033
0.2C-13Cr			0.059

10%NaCl solution, 3.0 MPa CO_2 , 80°C , 168 h

よび耐食性を備えていることが確認された。

3 CO_2 + 微量 H_2S 環境ラインパイプ用 12Cr 鋼管の開発

3.1 目標特性

CO_2 + 微量 H_2S 環境ラインパイプ用マルテンサイト系ステンレス継目無鋼管の開発目標特性は、上述の CO_2 環境ラインパイプ用

マルテンサイト系ステンレス継目無鋼管の目標特性に耐 SSC 性を加えたものとした。開発目標特性を以下に挙げる。

(1)~(5) CO₂ 環境用鋼管の目標特性と同じ

(6) 耐 SSC 性: H₂S 分圧 0.001 MPa, 5% NaCl 水溶液, pH 4.0 の環境での耐 SSC 性

3.2 成分設計の考え方

マルテンサイト系ステンレス鋼の SSC は、不動態皮膜が形成される環境では孔食を起点として発生する。したがって、耐孔食性を向上させることで耐 SSC 性は改善される。Mo はマルテンサイト系ステンレス鋼の耐孔食性を向上させる元素として知られている。油井管用マルテンサイト系ステンレス鋼の耐 SSC 性に及ぼす Mo および Ni の影響を Fig. 5 に示す⁷⁾。Ni は SSC 試験結果に影響を与えないのに対し、Mo を 1% から 2% に増量することにより、SSC 発生の限界線が、低 pH、高 H₂S 分圧側、すなわちより厳しい環境側に移動していることがわかる。このことは、開発目標である H₂S 分圧 0.001 MPa, 5% NaCl 水溶液, pH 4.0 の環境に対しては、1% の Mo 添加で十分であることを示している。しかし、溶接熱影響部の耐孔食性は母材のそれより低いと考えられるため、安定な耐孔食性を確保するために開発材には 2% の Mo を添加した。

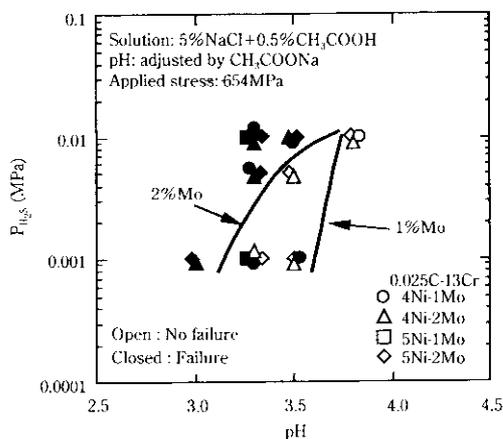


Fig. 5 Effects of Ni and Mo content on SSC resistance of 0.025C-13Cr steels

優れた溶接性は、前述の 11Cr 鋼管と同様に、C および N 量を 0.01% に低減することで確保した。また、Mo の添加、ならびに C および N の減量により熱間加工性が低下すると予測され、これを補償するために Ni を 5% 添加した。

以上の考えから、CO₂ + 微量 H₂S 環境ラインパイプ用マルテンサイト系ステンレス継目無鋼管開発鋼の化学組成を 0.01C-12Cr-5Ni-2Mo-0.01N とした。

3.3 実機試造管と試造管材の特性

転がで溶製した 0.01C-12Cr-5Ni-2Mo-0.01N 系の鋼を用いて、外径 273 mm、板厚 12.7 mm の継目無鋼管を製造した。製造した鋼管は焼入れおよび焼もどし処理をして、YS を X80 級に調整した。溶接部の特性を評価するために、試造管材の円周溶接継手を作製した。前述の 11Cr 鋼管溶接継手と同様に、溶接材料としては 25Cr 系三相ステンレス鋼を使用し、全層 GTAW で溶接した継手および初層 GTAW で 2 層目を GMAW で溶接した継手を作製した。溶接材料と母材の化学組成を Table 7 に示し、また溶接条件を Table 8 に示す。予熱および PWHT は行わなかった。前述の 11Cr 鋼管と同様に、本鋼管でもいずれの溶接においても溶接割れは発生せず、優れた溶接性を備えていることが確認された。

溶接継手の引張試験、側曲げ試験、硬さ測定およびシャルピー試験は、前述の 11Cr 鋼管溶接継手の場合と同じ要領で実施した。

溶接継手の引張試験および側曲げ試験の結果を Table 9 に示す。引張試験では両継手とも母材で破断し、両者に大きな差は認められなかった。側曲げ試験では割れは認められなかった。

全層 GTAW の継手および GTAW + GMAW の継手の硬さ分布を Fig. 6 に示す。最高硬さは溶接熱影響部においておよそ HV330 であり、11Cr 鋼管溶接継手の最高硬さよりやや高い値となった。これは、Ni および Mo の添加により焼入れ硬さが高くなっていることに起因している。12Cr 鋼管の両継手の間で大きな差は認められなかった。

全層 GTAW の継手および GTAW + GMAW の継手のシャルピー試験の結果を Fig. 7 に示す。ボンド部は他の位置よりやや低い値を示すが、-80℃ で 200J 以上の吸収エネルギーが得られ、優れた低温靱性を備えることが確認された。

SSC 試験は GMAW 継手を用いて、定荷重引張 SSC 試験により実

Table 7 Chemical compositions of base metal and welding wires for girth welding of 12Cr-5Ni-2Mo steel

Material	C	Cr	Ni	Cu	Mo	N
12Cr base metal	0.01	12.0	5.1	-	2.0	0.01
GTAW filler wire	0.01	25.3	9.5	-	4.0	0.27
GMAW wire	0.02	25.1	9.6	-	4.0	0.27

Table 8 Girth welding conditions for 12Cr-5Ni-2Mo steel pipe

Welding method	Pass	Diameter welding wire (mm)	Welding current (A)	Welding voltage (V)	Welding speed (cm/min)	Heat input (kJ/cm)	Shielding gas
GTAW	1-6	2.0, 2.4	145-191	14.0-16.5	4.0-7.4	18-33	Ar
GTAW + GMAW	1 (GTAW)	2.0	148	13.5	4.4	27	Ar
	2 (GMAW)	1.2	145	15.0	7.5	17	Ar

Table 9 Mechanical properties of girth welded joints of 12Cr-5Ni-2.0Mo steel pipe

Welded joint/Base metal	Tensile test				Side bend test
	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	Fracture position	
GTAW	-	845	30	BM	No crack
GTAW + GMAW	-	856	30	BM	No crack
Base metal	634	827	34	-	-

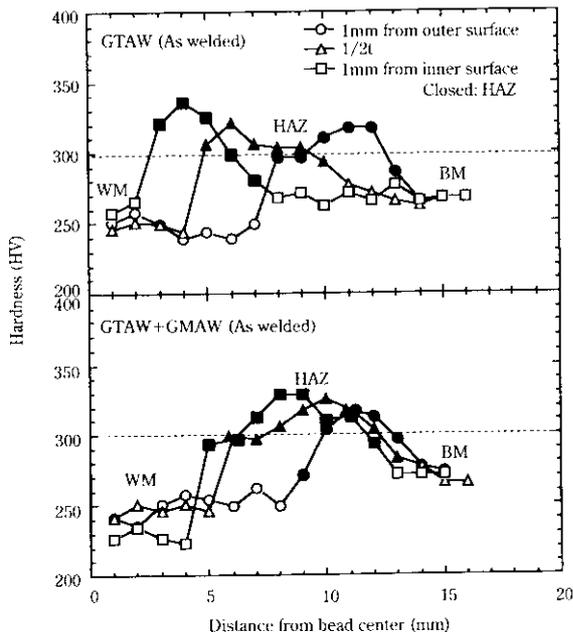


Fig. 6 Hardness distribution in welded joint of 12Cr-5Ni-2Mo steel pipe

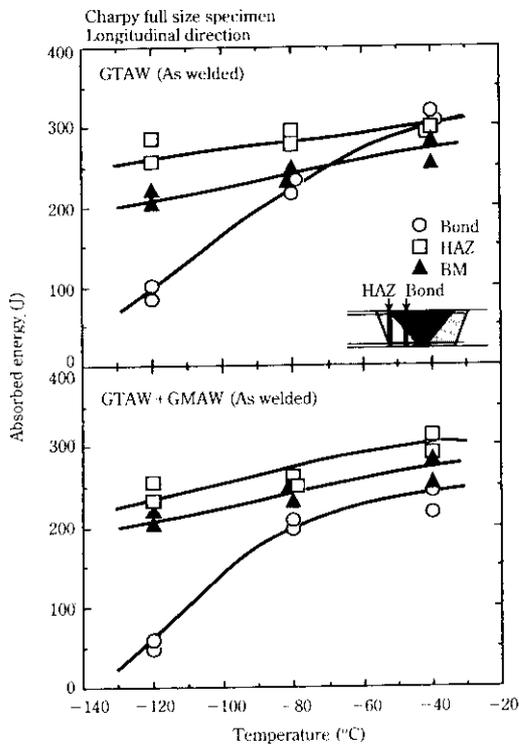


Fig. 7 Relation between Charpy absorbed energy and temperature of 12Cr-5Ni-2Mo steel pipe welded joint

Table 10 SSC test results of GTAW + GMAW joint of 12Cr-5Ni-2Mo steel pipe

H ₂ S	Solution	pH	
		4.0	4.5
0.001 MPa	5%NaCl+ 0.5%CH ₃ COOH	○	○
		○	○
0.002 MPa	5%NaCl+ 0.5%CH ₃ COOH	○	○
		○	○
0.002 MPa	10%NaCl+ 0.5%CH ₃ COOH	○	○
		○	○

pH was adjusted by CH₃COONa
Applied stress: 567 MPa
○ : No SSC
× : SSC

施した。試験片は溶接部が平行部中央となるように採取した。溶液は5%あるいは10% NaClと0.5% CH₃COOHの混合水溶液とし、pHをCH₃COONaで4.0あるいは4.5に調整した。ガスは0.001あるいは0.002 MPaのH₂Sとし、バランスガスはCO₂で全圧0.1 MPaとした。負荷応力は母材のYSの90%に相当する567 MPaとした。SSC試験結果をTable 10に示す。10% NaCl水溶液、pH 4.0、0.002 MPa H₂SにおいてもSSCは発生せず、本鋼管溶接継手が良好な耐SSC性を備えることが確認された。

3.4 まとめ

これらの試験結果から、開発した12Cr鋼管はCO₂+微量H₂S環境ラインパイプ用鋼管として実用的に十分な溶接性、機械的性質および耐食性を備えていることが確認された。

4 結 言

溶接性および耐食性の優れた2種類のラインパイプ用マルテンサイト系ステンレス継目無鋼管を開発した。一つはCO₂環境用の0.01C-11Cr-1.5Ni-0.5Cu-0.01N系鋼管、もう一つはCO₂+微量H₂S環境用の0.01C-12Cr-5Ni-2Mo-0.01N系鋼管である。両鋼管および二相ステンレス鋼溶接材料を用いたこれらの溶接継手は、以下の特性を持つ。

- (1) 両鋼管は予熱およびPWHTともに不要の優れた溶接性を有する。
- (2) 強度はいずれもX80級に調整可能である。
- (3) 両鋼管溶接継手は実用的に十分な低温韌性を有する。シャルピー吸収エネルギーは、CO₂環境用11Cr鋼管溶接継手において-40°Cで100J以上、CO₂+微量H₂S環境用12Cr鋼管溶接継手において-80°Cで200J以上である。

- (4) CO₂ 環境用 11Cr 鋼管溶接継手は、油井管用 0.2C-13Cr 鋼より優れた耐 CO₂ 腐食性を有する。
- (5) CO₂ + 微量 H₂S 環境用 12Cr 鋼管溶接継手は、10% NaCl 水溶液、pH 4.0、0.002 MPa H₂S においても SSC は発生せず、良好な耐 SSC 性を有する。

以上のように両鋼管は優れた溶接性、機械的性質および耐食性を有することから、腐食抑制剤を用いた防食や二相ステンレス鋼管などの高価な耐食材料を使用している従来のフローラインの代替材料に適している。

参 考 文 献

- 1) L. van Bodegom, K. van Gelder, and J. A. M. Spanincs : Corrosion/88, Paper No. 187 (1988)
- 2) 小川忠雄、小関敏彦：溶接学会誌、57(1988)2, 92
- 3) 渡辺正紀、向井喜彦：「ステンレス鋼の溶接」、(1971)、62、[日刊工業新聞社]
- 4) 吉岡啓一、木下 昇、小野 寛、小林 真、長谷川隆一、良本義信：川崎製鉄技報、12(1980)2, 367
- 5) K. Tamaki, T. Shimizu, Y. Yamane, and Y. Kitahaba : "New 13Cr Oil Country Tubular Goods for Severer CO₂ environments", Proc. of Int. Conf. on Stainless Steels, ISIJ, Chiba (1991), 257
- 6) 清水哲雄、岡 弘、稲谷利昭：材料とプロセス、5(1992)2, 527
- 7) M. Kimura, Y. Miyata, Y. Yamane, T. Tuyooka, Y. Nakano, and F. Murase : Corrosion/97, Paper No. 22 (1997)