
溶接構造用マルテンサイト系ステンレス鋼, RIVER LITE 410 DH Weldable Martensitic Stainless Steel, RIVER LITE 410 DH, for Structural Use

吉岡 啓一(Keiichi Yoshioka) 木下 昇(Noboru Kinoshita) 小野 寛(Yutaka Ono)
小林 真(Makoto Kobayashi) 長谷川 隆一(Ryuichi Hasegawa) 良本 義信
(Yoshinobu Ryomoto)

要旨：

R410DH は当社で新しく開発した 12%Cr マルテンサイト系ステンレス鋼であり, じん性, 延性および溶接性に優れ, 溶接構造部材として使用されている。この化学成分の特徴は, $(C+N) \geq 200\text{ppm}$ の低炭素窒素であり, かつ約 1.5% の Mn および約 0.35% の Cu を含有している点にある。同鋼の熱延焼鈍板では, 現場工程での熱処理条件の選択により 42~47, 50~55 および 60~70kgf/mm² の 3 水準の強度が安定して得られる。TIG および MIG 溶接部の熱影響部じん性は, 溶接前後の予熱および後熱を施さなくてもきわめて良好である。溶接作業性に優れている。MIG 溶接での溶接ワイヤとして Y-309 が推奨される。

Synopsis：

A newly developed weldable 12% Cr stainless steel, RIVER LITE 410 DH is superior in toughness, ductility and weldability, with its wide application for welded structures. The chemical composition of the steel is characterized by noticeably low carbon and nitrogen and high manganese with copper addition. Tensile strength of the plate can easily be controlled in any of the three levels of 42~47, 50~55 and 60~70kgf/mm² by the selection of heat treatment in mass-production process. The weld heat affected zone of the steel has a low carbon martensitic structure and exhibits good ductility and toughness even if no pre-or post-weld heating is employed. The filler metal of type 309 is recommended for MIG welding.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

溶接構造用マルテンサイト系ステンレス鋼, RIVER LITE 410 DH

Weldable Martensitic Stainless Steel, RIVER LITE 410 DH, for Structural Use

吉岡 啓一*
Keiichi Yoshioka

木下 昇**
Noboru Kinoshita

小野 寛***
Yutaka Ono

小林 真****
Makoto Kobayashi

長谷川 隆一*****
Ryuichi Hasegawa

良本 義信*****
Yoshinobu Ryomoto

Synopsis:

A newly developed weldable 12% Cr stainless steel, RIVER LITE 410 DH is superior in toughness, ductility and weldability, with its wide application for welded structures. The chemical composition of the steel is characterized by noticeably low carbon and nitrogen and high manganese with copper addition. Tensile strength of the plate can easily be controlled in any of the three levels of 42~47, 50~55 and 60~70kgf/mm² by the selection of heat treatment in mass-production process. The weld heat affected zone of the steel has a low carbon martensitic structure and exhibits good ductility and toughness even if no pre- or post-weld heating is employed. The filler metal of type 309 is recommended for MIG welding.

1. まえがき

SUS 410 および SUS 420 で代表される 13Cr 系ステンレス鋼は、オーステナイト系ステンレス鋼に比べ耐食性は劣るが、焼入れ焼戻し等の熱処理を施すことにより高い強度を付与できるので、主として工具、刃物、食器、オートバイディスクブレーキ等の用途に使用されている。

しかし、現在これらのマルテンサイト系ステンレス鋼が溶接構造部材（とくに厚板）に利用されていない大きな理由は、溶接継手性能が十分でなく、かつ溶接に際して予熱および後熱等の熱処理が不可欠であり、溶接作業性がオーステナイト系ステンレス鋼に比べ著しく低いことがあげられる。

これを回避する手段として、鋼中の C、N 等の侵入型不純物元素の低減および Ni の添加が有効であることが報告されている¹⁾。

また一方、構造用鋼は一般に良好な加工性とともに十分な強度が要求され、しかも用途によってその値が異なるため、これを安定して制御し得るかどうか製造するうえでの重要かつ困難な問題となる。

筆者らは上記の難点を克服し、とくに溶接熱影響部において、マルエイジング鋼にみられるようなじん性の高い低 C マルテンサイト組織²⁾が得られる新しい溶接構造用鋼, RIVER LITE 410 DH (以下 R410DH と略す), を開発した。本鋼は主として海上コンテナなどのような、耐錆性を必要とする溶接構造部材に使用されている。

* 技術研究所特殊鋼研究室主任研究員・工博
*** 技術研究所特殊鋼研究室室長
***** 阪神製造所管理部技術管理室主査(部長待遇)
(昭和55年3月17日原稿受付)

** 技術研究所特殊鋼研究室主任研究員
**** 千葉製鉄所管理部熱延管理課課長
***** 技術本部鋼材技術部東京鋼材技術室主査(副部長待遇)

以下にこの鋼の特徴を紹介する。

2. 化学成分および製造工程

Table 1 に R410DH の化学成分範囲と代表的な成分組成を示す。この特徴は、12%Cr 鋼の C および N を 0.01% 程度に低減し、Mn を高め、そして少量の Cu を添加している点にある。

Fig. 1 に R410DH の製造工程の概要を示す。板厚 3mm を境にして冷延焼鈍板と熱延焼鈍板に分かれ、熱延焼鈍板では熱処理条件の使い分けにより種々の機械的性質を得られる。

3. 板の機械的性質

R410DH は、熱処理により、要求される種々のレベルの機械的性質を安定して実現できる。

Fig. 2 に、Cu 添加および無添加の鋼について、熱延板の硬度の熱処理温度依存性を示す。硬度は、Cu 無添加の場合 600°~650°C の熱処理温度範囲で急激に低下するが、Cu 添加鋼の場合は緩やかに減少し、この温度範囲の熱処理後も高レベルを維持している。Photo. 1 に熱延板および熱延焼鈍板のミクロ組織を示す。Cu 無添加の場合、625°C の焼鈍ではフェライト組織を呈するが、Cu 添加鋼で

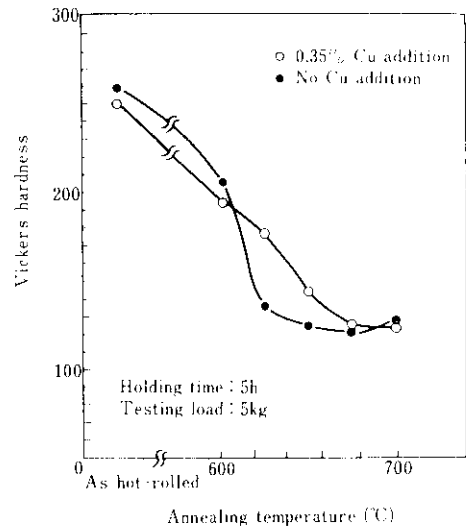


Fig. 2 Relation of Vickers hardness of 6.4mm thick hot rolled R410DH to annealing temperature

はマルテンサイトが残存している。

このように、Cu を添加することによりマルテンサイトの分解が抑制され、熱処理による機械的性質の軟化抵抗が増大するが、この機構は現在のところはっきりしていない。しかし、Fig. 3 に示す等時焼鈍による電気抵抗の変化曲線からわかるように、550°~650°C の温度範囲において ϵ -Cu が析出するので、これによる析出硬化も軟化抵抗の増

Table 1 Specification and a typical example of chemical composition of R410DH

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	N
Specification	≤0.02	≤0.5	1.0 2.5	≤0.04	≤0.03	10 13.5	≤1.0	<0.02
Example	0.01	0.2	1.5	0.025	0.005	11.7	0.4	0.007

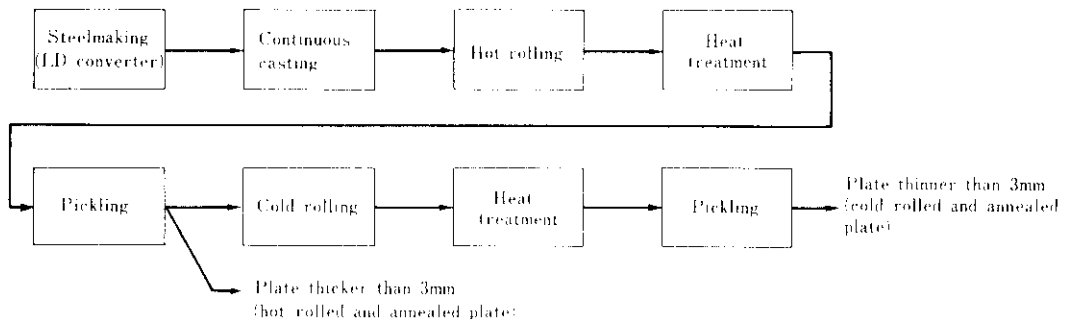


Fig. 1 Manufacturing process of R410DH

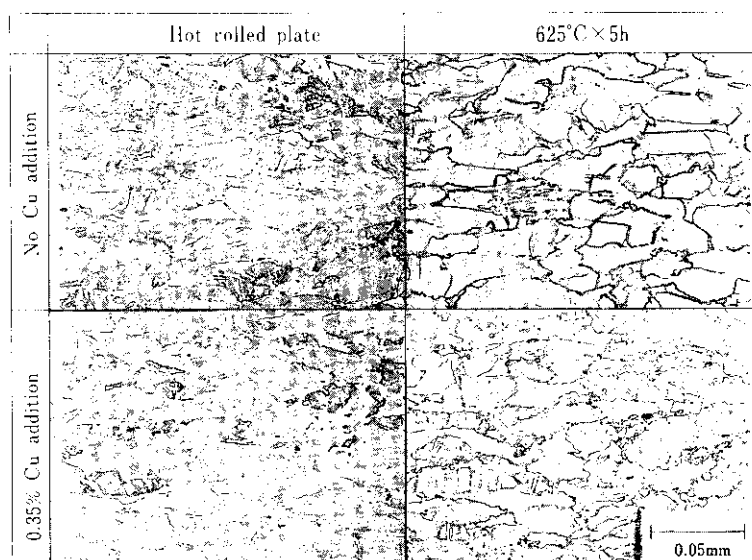


Photo. 1 Microstructures of hot rolled plates and annealed plates of 6.4mm thick R410DH (Etchant : picric acid-hydrochloric acid)

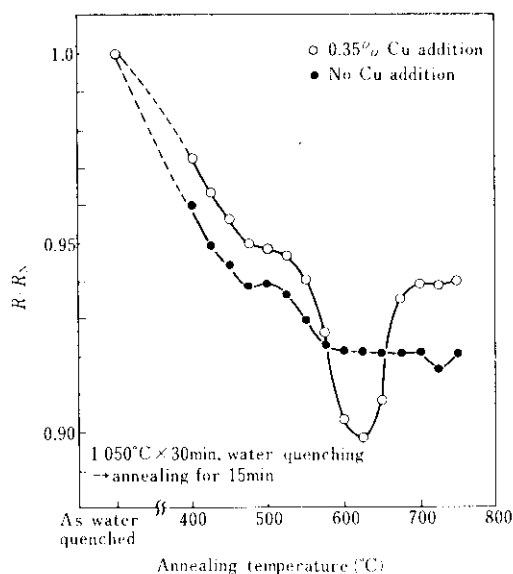


Fig. 3 Isochronal annealing curves of electric resistivity of R410DH measured in liquid nitrogen

大に寄与していると考えられる。

上述のように、R410DHの機械的性質は、熱延後あるいは焼入れ後の熱処理条件によって異なるが、Cr炭素化合物の析出による耐食性の低下を考慮した熱処理により、現在はTable 2に示されているような3水準の強度レベルの製品を製造している。

Table 2 Mechanical properties of hot-rolled and annealed 6.4mm thick plate of R410DH

Level of strength	0.2% proof strength* (kgf/mm ²)	Tensile strength* (kgf/mm ²)	Elongation* (%)	Bendability** (r=1.180 [°])
Low	25~32	42~47	≥35	Good
Medium	35~45	50~55	≥30	Good
High	50~60	60~70	≥18	Good

* JIS No.5 specimen, transverse to rolling direction

** r: Bending radius

t: Thickness of plate

Fig. 4 は耐力 35kgf/mm²、引張強さ 50kgf/mm²の強度を有する R410DH の種々の板厚についてのシャルピー試験結果を示す。延性-ぜい性遷移温度はいずれも -50°C 以下となっており、通常の構造部材としての用途に対し、十分適用できることが分かる。

また、板の耐疲労性も良好であり、疲労限は引張長さの 1/2 以上であることが確かめられている。

4. 溶接部の性質

一般に、溶接方法は溶接される鋼板の板厚の大小によって異なり、3mm 以下の板に対しては TIG 溶接、それを超える板厚に対しては MIG 溶接が用いられる。ここではそれぞれの溶接法に分けて説

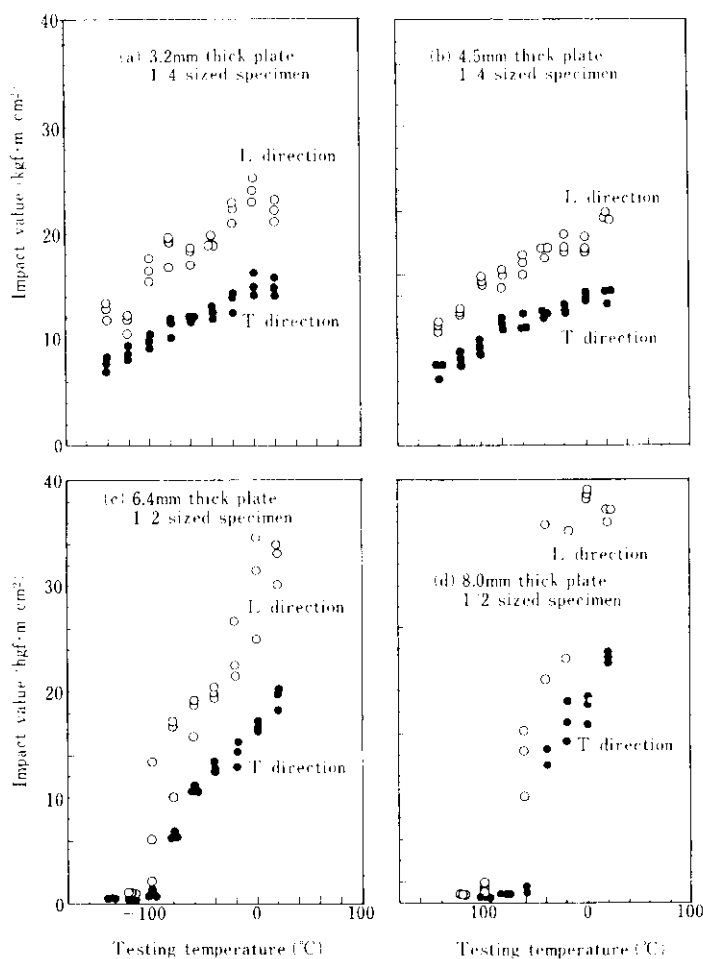


Fig. 4 Results of Charpy impact test on R410DH plate using JIS No. 4 specimen

明する。

4.1 TIG 溶接

Photo. 2 は R410DH 2mm 板のなめ付け、TIG 溶接部のミクロ組織を示す。溶着金属はマルテンサイト組織、そして熱影響部はマルテンサイトとフェライトの 2 相混合組織であり、母材よりも微細な組織を呈する。このような組織に対応して Fig. 5 に示すように、溶着金属および熱影響部の硬度は約 $260H_v$ と高い。

Table 3 は R410DH の冷延焼鈍板および TIG 溶接部の機械的性質を示す。溶接裏面の Ar シールドの有無によらず破断位置は母材であり、継手性能は良好である。

Fig. 6 は、R410DH の 2mm 厚の母材およびなめ

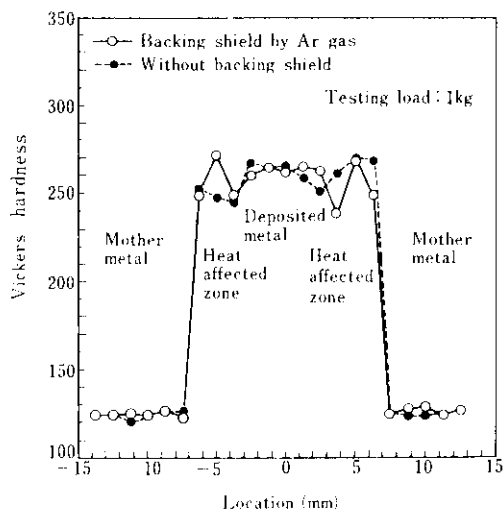


Fig. 5 Vickers hardness of TIG weldment of 2.0mm thick R410DH

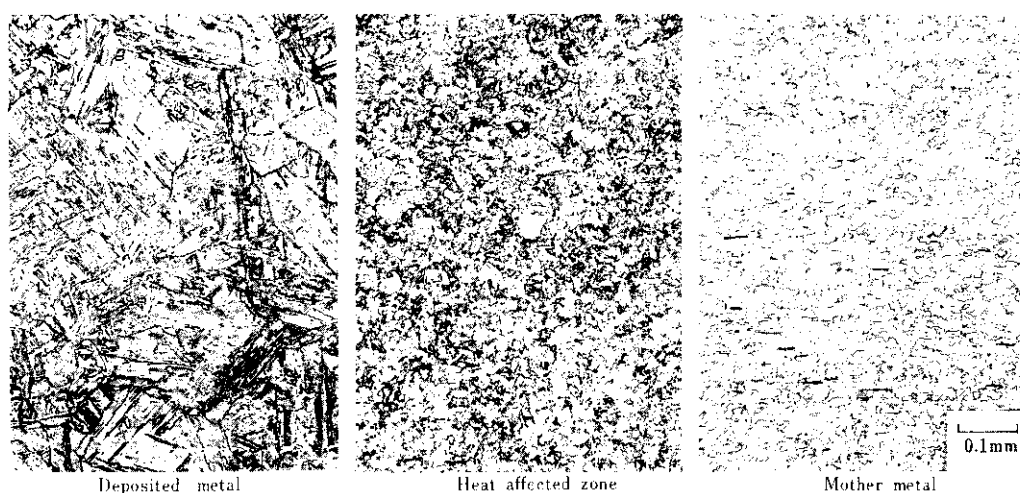


Photo. 2 Microstructures of TIG weldment of 2mm thick R410DH
(Filler metal : not used, etchant : picric acid-hydrochloric acid)

Table 3 Tensile properties* of cold rolled plate and its TIG weldment** of R410DH

	Thickness (mm)	0.2% proof strength (kgf/mm ²)	Tensile strength (kgf/mm ²)	Elongation (%)
Plate	1.0	31.0	44.2	33.3
	2.0	29.5	43.8	35.0
TIG weldment (backing shield by Ar gas)	1.0	28.9	42.9	24.1
	2.0	29.6	45.1	25.3
TIG weldment (without backing shield by Ar gas)	1.0	31.1	44.0	27.1
	2.0	28.4	43.8	26.8

* JIS No.5 type specimen transverse to rolling direction

** Filler metal is not used

付け TIG 溶接部の溶着金属と熱影響部についてシャルピー 衝撃試験結果を示す。図中には AISI409 のデータも比較のため記入した。R410DH の TIG 溶着金属の衝撃特性は、溶接シールド条件によらず良好で、エネルギー遷移温度は約 -40°C である。これに対し、AISI409 のそれはいずれも室温以上と高く、じん性に劣っている。また、R410DH の熱影響部の遷移温度は約 -120°C であり、母材よりもじん性が良好である。この原因は、Photo. 2 に示したように、熱影響部の組織が母材のそれに比べきわめて微細な低炭素マルテンサイトと少量のフェライトの混合組織であることに起因していると考えられる。

Table 4 は R410DH の冷延焼鈍板の TIG 溶接部における溶着金属の N および O 分析結果を示す。板厚が大きい場合、溶接裏面の Ar シールドを施さないと、溶着金属の N は顕著に増加する。一方 O は、裏面 Ar シールドを施さないと、板厚によらず約 20ppm 程度増加する。

極低炭・窒素（たとえば合計 100ppm 以下）の高 Cr フェライト系ステンレス鋼では、溶接裏面の Ar シールドを施さないと大気から浸窒が起こり、一般に溶着金属のじん性が著しく低下する^{3,4)}。しかし、R410DH では、Fig. 6 に示すように Ar シールドの有無による衝撃特性への影響が少ない。この原因は、R410DH の (C+N) 量が約 200ppm とそれほど低くないため、50ppm 程度の N のピックアップによる影響が比較的小さいこと、また溶着金属の組織がきわめて微細であることと関係が

Table 4 N and O contents of the deposited metal of TIG weldment* of R410DH cold rolled plate (wt. ppm)

	1.0mm thick		2.0mm thick	
	N	O	N	O
Backing shield by Ar gas	98	67	96	53
Without backing shield	99	82	140	78

* Filler metal is not used

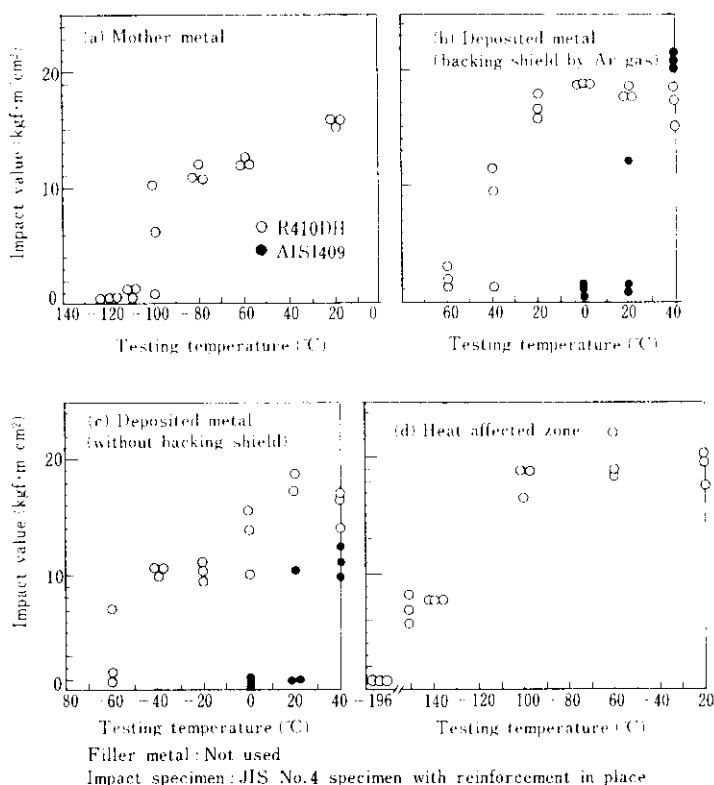


Fig. 6 Results of Charpy impact test on 2mm thick plate and its TIG weldment of R410DH

あるように考えられる。

このように、R410DHのTIG溶接における最大の特徴は、溶接裏面をArシールドしなくても溶接部のじん性が優れている点にあり、このことは実際作業上きわめて有利な性能といえる。また、溶接熱影響部のじん性も優れているため、溶加棒としてY-309等のオーステナイト系ステンレスワイヤを用いれば、 -80°C 程度の低温でも使用可能と考えられる。

4.2 MIG溶接

4.2.1 溶接ワイヤ

さて一般の溶接構造物では、R410DH同志の継手のみならず、異材継手についても考慮しなければならない。とくに溶着金属の継手性能は用いる溶接材料によって左右されるので、その選択が重要である。R410DH用のMIG溶接ワイヤとして、共金、フェライト系およびオーステナイト系ステンレスワイヤがあげられるが、異材継手まで含めて考慮するとはん用性の点でオーステナイト系ステンレスワイヤに限定されよう。

Fig. 7はY 308, 308Lおよび309の溶接ワイヤを用い、Table 5の条件で溶接したR410DHの板(6.4mm厚)の突合せ継手の溶着金属に関するシャルピー試験結果を示す。またFig. 8は異材継手の代表例として、6.4mm厚のR410DHと8mm厚の溶接構造用鋳鋼SCW49との異材突合せ継手

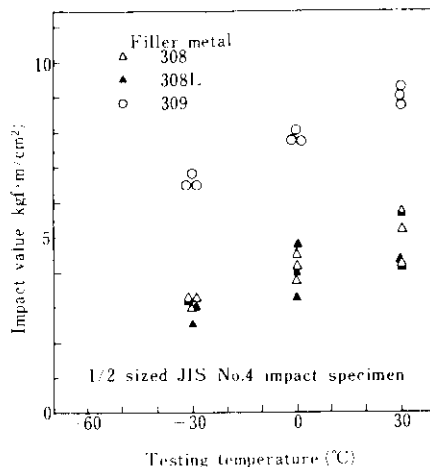


Fig. 7 Results of Charpy impact test on weld metals of butt welded joint of R410DH

Table 5 MIG welding condition for butt-joint
(6.4mm thick R410DH, 6.4mm thick
R410DH 8mm thick SCW49)

Current	250~290A
Voltage	23~25V
Travelling speed	300~350mm/min
Number of pass	1
Root opening	2mm, double square groove
Shielding gas	Ar 15l/min + CO ₂ 3~5l/min
Filler metal	1.2mm ϕ wire of Y-308, Y-308L and Y-309

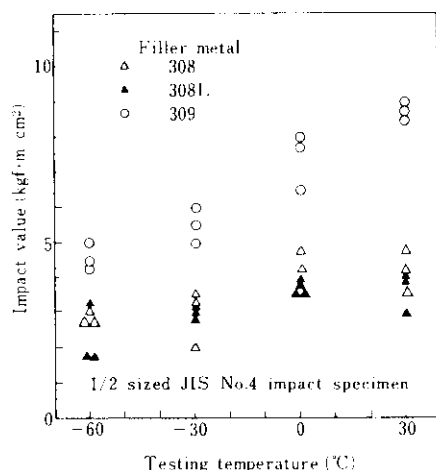


Fig.8 Results of Charpy impact test on weld metals of dissimilar butt joints of 6.4mm thick R410DH and 8mm thick SCW49

に関する結果を示す。R410DH および異材継手ともに、Y-309 で溶接した場合の溶着金属の吸収エネルギーは、Y-308 および 308L の場合に比べ全試験温度範囲にわたり約 2 倍高く、じん性に富んでいる。

溶着金属の組成を化学分析により求め、またフェライト（またはマルテンサイト）とオーステナイトの相比率を磁気測定から決定し、それらを Schaeffler の状態図^{5,6)}にプロットすると **Fig. 9** のようになる。Y-309 を用いて溶接した R410DH および異材継手の溶着金属は、ともに約 85% のオーステナイトを有する組織となるためじん性が高く、一方 Y-308 および 308L を用いた場合は、ともに約 10% のオーステナイトと約 90% の（マルテンサイト + フェライト）あるいはマルテンサイトの組織となり、じん性がやや劣る。しかし、308 系溶接ワイヤを用いた場合でも実用上は十分な継手性能を有し、たとえば **Photo. 3** に示されているように、T 型すみ肉溶接部の曲げ試験では割れは認められない。

したがって、用途によっては Y-308 系ワイヤも使用可能といえるが、十分な継手性能が要求される場合や異材継手に用いる溶接材料としては、308 系よりも 309 系の溶接ワイヤが推奨される。

4.2.2 溶接熱影響部

Photo. 4 に、Y-309 を用い **Table 5** の条件で溶

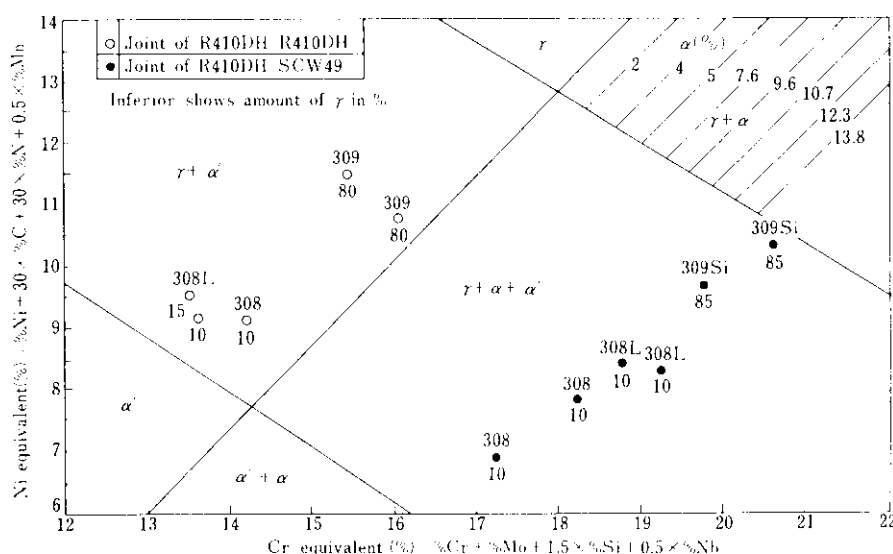


Fig.9 Cr and Ni equivalents and γ content of weld metal of butt welded joint in schaeffler's diagram

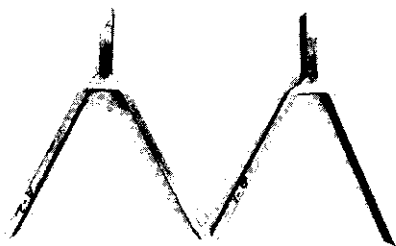
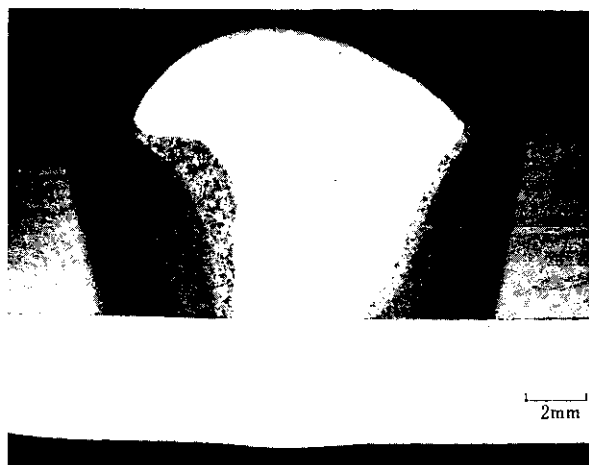
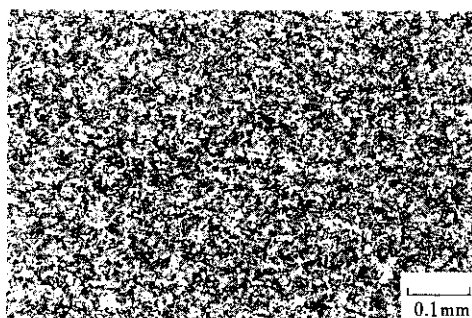


Photo. 3 Appearance of T-shaped fillet joints after bend test (web : 8mm thick SCW 49, flange : 6.4mm thick R410DH, filler metal : Y-308)

接した 6.4mm 厚の R410DH の突合せ継手部断面のマクロ組織と、その熱影響部のミクロ組織を示



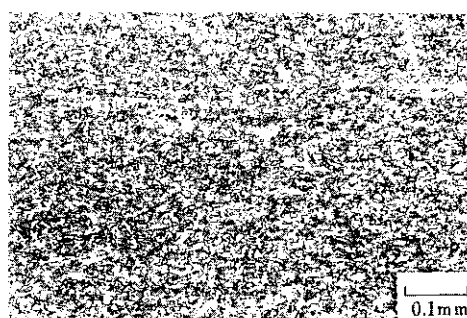
(a) Macrostructure (single bevel groove)



(c) Fine grained region



(b) Coarse grained region



(d) Mother metal

Photo. 4 Macro and microstructures of MIG weldments of 6.4mm thick R410DH (Joint geometry : single bevel groove, filler metal : Y 309, backing plate : SUS304, etchant : picric acid-hydrochloric acid)

す。溶接熱影響部は粗大粒領域と微細粒領域にはっきりと分別され、粗大粒領域は 90% 以上のマルテンサイト組織を呈し、一方微細粒領域はフェライトとマルテンサイトの微細な 2 相混合組織を呈している。

Fig. 10 は、R410DH の溶接熱影響部のシャルピー試験結果を AISI409 と比較したものである。AISI409 はフェライト単相鋼であるため、熱影響部が著しく粗大化し、エネルギー遷移温度は 100°C 以上とじん性に乏しくなっている。一方、R410DH の熱影響部の粗大粒領域および微細粒領域の遷移温度はともに約 -90°C と低く、溶接時の予熱後熱なしでも溶接構造用鋼として十分適用できることがわかる。

Table 6 は、50kgf/mm² の引張強さを有する板

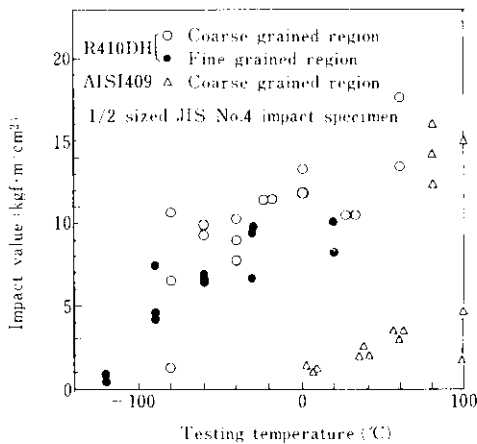


Fig. 10 Results of Charpy impact test on heat affected zone of MIG weldment of 6.4mm thick R410DH and AISI 409

Table 6 An example of tensile properties* of 6.4mm thick plate and its MIG weldment** of R410DH

Tensile properties	Plate	MIG weldment
0.2% proof strength (kgf/mm ²)	38.0, 35.7	35.8, 36.4
Tensile strength (kgf/mm ²)	53.9, 52.4	53.2, 53.6
Elongation (%)	31, 36	22, 22

* JIS No.5 specimen transverse to rolling direction

** Filler metal : Y-309

とその MIG 溶接部の機械的試験結果を示す。溶接継手の耐力および引張強さは母材のそれらとはほぼ同程度であり、強度の低下が認められない。また、破断位置は母材切れであった。

また、溶接継手の耐疲労性も良好であり、疲労限は引張強さの 1/2 以上である。

5. おわりに

溶接構造用鋼として開発された低炭素 Cu 添加 12%Cr ステンレス鋼 R410DH は、従来のマルテンサイト系ステンレス鋼の弱点である溶接作業性および溶接部の継手性能を著しく改善し、かつ板の強度レベルを広範囲にわたって制御できる特徴を有している。しかし、同鋼は Cr が 12% と少ないため、オーステナイト系ステンレス鋼に比べ耐食性が十分ではないので、腐食環境が比較的温和な用途の溶接構造部材に適している。

参 考 文 献

- 1) 安保, 岡崎, 野口, 木村, 山本, 牟田: 製鉄研究, (1977) 292, 12252
- 2) R. F. Decker, C. T. Novak and T. W. Landig: J. Metals, 19 (1967) 11, 60
- 3) 吉岡, 岡, 木下, 竹田, 小野, 大橋: 鉄と鋼, 63 (1977) 9, A135
- 4) 井川, 中尾, 西本, 寺島: 溶接学会全国大会講演概要, (1978) 23, 72
- 5) A. L. Schaeffler: Welding J., 20 (1947) 10, 601 S
- 6) W. T. Delong, G. A. Ostrom and E. R. Szumachowski: Welding J., 29 (1956) 11, 521 S