

討22 圧延チタンクラッド鋼板の製造技術と品質

新日本製鐵㈱ 塑性加工研究センター ○ 吉原征四郎
 素材第2研究センター 川並高雄
 分析研究センター 内藤浩光
 八幡製鐵所厚板条鋼部 黒澤文夫
 加古幸博

1. 緒 言

チタンは鋼に対して耐食性が著しく優れているが、高価である。チタン板が産業用機材として用いられるとき、耐食性の観点からは十分薄くできるが、構造用部材としての強度の観点から厚さが与えられている。チタンクラッド鋼板は、チタンの耐食性と鋼の強度および経済性を兼備するものとして期待されている。しかしながら、チタンクラッド鋼板を圧延法によって製造することは最近まで困難視され、工業化されていなかった。本報告は圧延チタンクラッド鋼の製造を可能ならしめる技術と製品の品質について、工業的見地から検討を加えたものである。

2. 接合性能向上技術

接合性能を向上するために、接合阻害因子、接合促進因子、破壊抑止因子などを解明し、製造条件決定のための指針とした。

2.1 接合阻害因子

Table 1 に接合阻害因子とその発生源および製造上の対策を示す。チタンと鉄の金属間化合物の TiFe や TiFe_2 が脆弱なため、チタンと鋼の健全な接合部を得ることは困難である。従って接合予定面の汚染を防止するためにはチタン板を高真空室内に封入しなければならず、チタンクラッド鋼板製造用素材の構造は、いわゆるサンドイッチタイプとなる。この場合には分離材(剤)として用いられる酸化物および炭化物を、接合予定面から完全に隔離することが最も重要である。Fig. 1 にこれを可能とする素材組立構造例を示す。Fig. 1 の上半分にはチタン板を薄鋼板で密閉し、この薄鋼板と母材間の周囲を溶接により閉鎖して、酸素または炭素あるいはその化合物が接合予定面に侵入するのを防止する例を示す。Fig. 1 の下半分にはチタンと鋼母材を直接接合する例である。この

ような対策をとらない場合には分離材としての Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 などが接合予定面に侵入しやすくなる。

2.2 接合促進因子

拡散接合には拡散溶接の知見から中間材を用いること、加熱温度を高くすること、圧縮応力を高くすること、あるいは圧縮時間を長くすることにより接合が促進されるが、チタンと鋼の接合では、これらは接合強度を向上させる要因とはならない。圧延法においては、Table 1 の対策が実施されている場合には、必然的に発生する十分な圧縮応力によって初期パスで容易に接合し、光学顕微鏡、EPMA および SEM 等で高倍率で観察しても、未接合部を見出すことはできず、接合促進因子間に効果の差異を見出すことは困難である。従って、むしろ先に述べる接合した材

Table 1 Bond interrupting factors.

Bond interrupting factors		Origins	Counter-measures
Oxides	Al_2O_3 SiO_2 TiO_2	Separating agents Grinding wheel Stains by welding	Adoption of sealed structure (See Fig.1)
	Fe_mO_n (Fe_2O_3) Ti_mO_n (TiO_2)	Stains of plate Oxygen in air Oxygen evaporated from environment	Remove stains, oxygen and moisture from to-be-bonded part
Carbides	TiC Fe_3C	Lubricants and coolants of machining Carbon in steel	Don't use oil Wash away oil Separate the C source with intermedium (See Fig.1)
	C_mH_n	Organic materials	Don't use organic materials

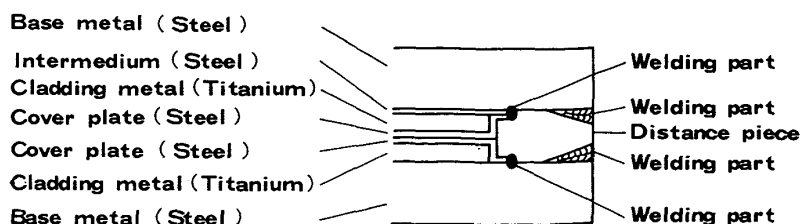


Fig. 1 Structure of slab.

料の接合部破壊誘起因子や破壊制止因子から接合性能を評価するのが妥当である。

2.3 破壊誘起因子

圧延によって一旦接合したとしても、その後破壊しやすいものは好ましくない。Table 2 に接合境界破壊誘起因子とその生成原因および製造上の対策を示す。TiC や Ti と Fe の固溶や Ti の亜酸化物は、微量で分散していれば強化元素となりうるが、過度に濃縮した場合には脆性が現われ、破壊誘起因子となる。特に TiFe や TiFe₂ の金属間化合物が X 線回折で同定できる程度に発達すると、脆化が顕在化する。Photo 1 に 775℃ に加熱し、圧延接合したチタンクラッド鋼板を、850℃ で 60 分焼鈍した場合の接合部の TiC を SPEED 法によって可視化して示す。TiC は厚さ約 2 μm の層状に発達しており、脆化の原因となっている。

TiC と α-Ti の間には Fe を固溶した β-Ti の生成が認められる¹⁾。

2.4 破壊抑止因子

前述の破壊誘起因子の弊害を抑え、破壊の進展を制止するために、C の Ti への移動をさえぎる元素の添加や中間材を挿入すること、あるいは圧延によって脆化層を粉碎して新生面による接合面積を増大することが接合性能を向上するために有効であると考えられる。

Fig. 2 にせん断強さに及ぼす中間材の影響を示す。Ni メッキを Ti 側あるいは鋼側に施したものあるいは Ni 箔を挿入したものはいずれもせん断強さは低下の傾向を示している。せん断破面には Ni と Ti が高濃度で見られ、X 線回折では NiTi₂、NiTi、Ni₃Ti の金属間化合物が同定されている²⁾。また Ti 側には TiC も認められ²⁾、これらの例は、Ni によってせん断強さは向上できないことを示している。また同図において中間材として鉄箔を挿入した場合もせん断強さは上昇していない。これらの中間材の厚さはいずれも約 50 μm であり、C、Ti、Fe の拡散を遮断するには薄すぎ、また、圧延によって破断しやすいものであった。SUS304 や SUS430 の金網を中間材として用いた場合は、破壊は合せ材と母材と中間材を横切って進み、せん断強さは向上し、破壊の進展を抑止した。そしてこれらのステンレス金網を中間材として用いた場合には、中間材を用いない場合よりも安定して高いせん断

Table 2 Fracture inducing factors.

Fracture inducing factors		Origins	Counter-measures
Carbides	TiC	Lubricants and coolants of machining Carbon in steel Organic materials Separating agents	Adoption of sealed structure (See Fig.1) Clean the to-be-bonded part
	TiFe TiFe ₂	Mutual diffusion Eutectoid reaction Eutectic reaction	Don't heat above β transformation temperature of Ti
Oxides	Ti _m O _n (Ti ₂ O) Fe _m O _n (FeO)	Stains of plate Air invaded from broken part	Remove stains from to-be-bonded part Weld the materials rigidly

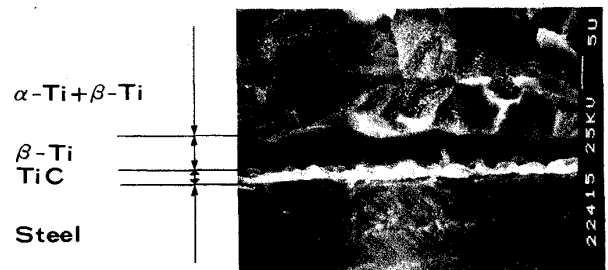


Photo 1 TiC on the boundary revealed by SPEED method (Annealing condition : 850℃×60 min).

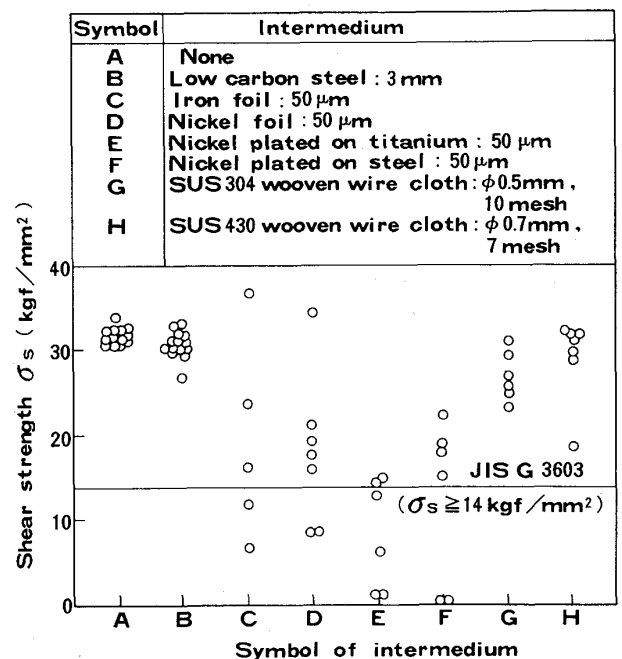


Fig. 2 Relationship between kind of intermedium and shear strength (Full thickness: 14.5 mm).

強さが得られる実験データを得たが²⁾、中間材を用いない場合は、その後の技術的改善によって、中間材を用いることなしに、Fig. 2 に示すように、ステンレス金網を中間材とする場合と同等以上のせん断強さを得ることも可能となった⁴⁾。

当社の従来のデータでは、せん断強さを高位に安定させるためには圧下比を大きくとる必要があったが、スラブ組立法と圧延条件に工夫を加えることによって、Fig. 3 に示すように圧下比3でも十分高いせん断強さが得られるようになった。また、素材の加熱温度、素材寸法、仕上寸法が同じ場合には、圧延パス回数が多い方が板厚精度とせん断強さが優れている。

3. 材質特性と加工性

Table 3 に供試材の化学成分を示す。

圧延ままで JIS 3603 (1986) の SB42 と TP 28 のチタンクラッド鋼に要求される性質を満足するように材質の選定を行っている。

3.1 機械的性質

Fig. 4 に引張特性とせん断特性に及ぼす熱処理温度の影響を示す。熱処理保持時間は 60 分である。圧延ままではせん断強さはいずれも十分高い水準にある。せん断強さは熱処理によって低下するが、チタンの β 変態点以上に加熱して TiC を接合境界から分散させる処理を行うことによって、せん断強さの低下を小幅に留めることができる。引張特性のうちの引張強さは熱処理によって低下し、規格を満足しないものが一部見られるが、熱処理を行う場合にはそれを前提とした成分の母材を用いることによって、引張強さを高めることは容易である。

3.2 加工性

表曲げおよび裏曲げ性は Fig. 4 の全条件において良好である。また参考試験としての側曲げ試験結果は 850℃ 60 分焼鈍材の一部に接合部破壊が見られたが、他は良好である。

Photo 2 に圧延ままのチタンクラッド鋼板から覆い鋼板を除去したのち、冷間、温間および熱間で鏡板成形し、浸透探傷後の外観を示す。いずれも成形後に接合部の剥離は認められず、せん断強さの低下も認められず良好である。

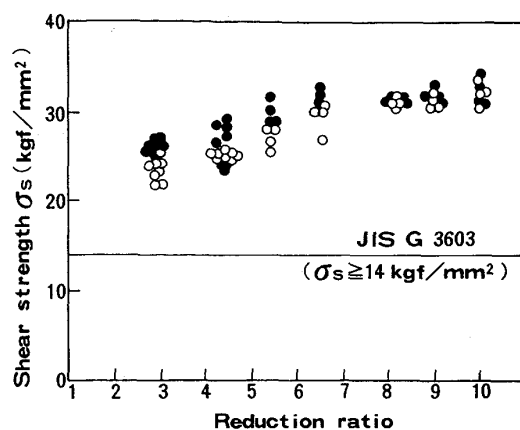


Fig. 3 Relationship between reduction ratio and shear strength.

Table 3 Chemical Composition (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Fe	N	O	H	Ti
Base metal	0.104	0.191	0.682	0.017	0.007	Bal.	—	—	—	—
Cladding metal	—	—	—	—	—	0.035	0.005	0.050	0.0012	Bal.

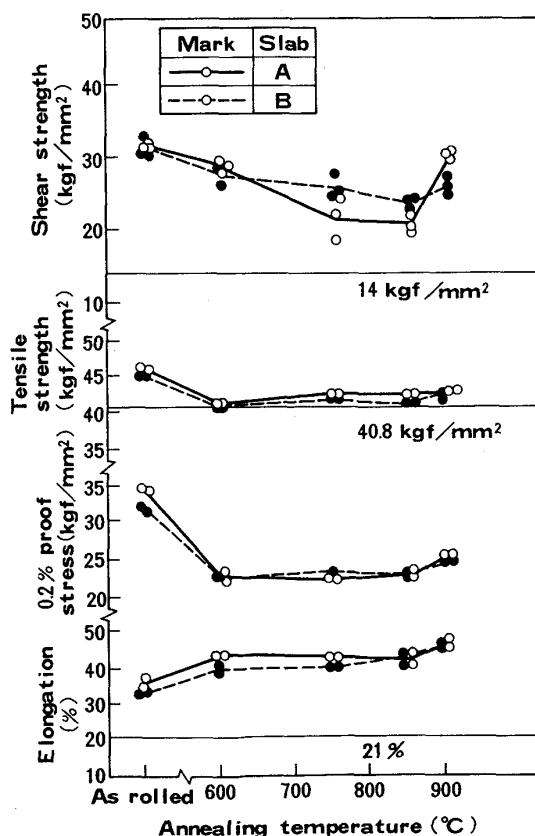


Fig. 4 Effect of annealing temperature on mechanical properties (Annealing time : 60 min)

'87-A86

4. 結 言

圧延法によるチタンクラッド鋼板の製造が可能となった。熱処理によってそのせん断強さは低下するが、JIS G 3603 規定のせん断強さに対して十分高い値が確保できる。圧延法によって製造したチタンクラッド鋼板は成形性、溶接性、耐食性ともに優れている。

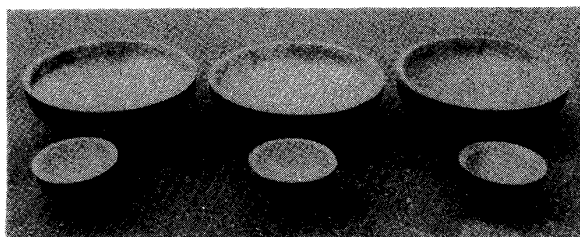


Photo 2 Appearance of head plates.

参考文献

- 1) 黒澤文夫, 鈴木堅市, 内藤浩光: 金属学会 61 年度秋季講演会 № 572 (1986)
- 2) 吉原征四郎, 川並高雄, 鈴木堅市: 鉄と鋼, 72 (1986), p. 671
- 3) 吉原征四郎, 川並高雄, 加来勝夫, 鈴木堅市, 内藤浩光: 鉄と鋼, 72 (1986), S 1658