

21 組立熱間圧延法によるクラッド鋼板製造技術

住友金属工業(株)和歌山製鉄所 中川 洋 中村 剛

総合技研 大谷 泰夫

本社 O 原 修一

1. 緒言

近年クラッド鋼板はその機能性と経済性から、広範囲な産業分野に使用されている。特に厚板クラッド鋼は石油精製、石油化学プラントの反応容器材料、ケミカルタンカー用タンク材料、海水淡水化装置用材料、ダム水門用ゲート材料等に幅広い用途がある。最近の需要の新しい傾向としては、より高耐食性を要求される用途に高合金ステンレス鋼、ニッケル合金、銅合金、チタン等のクラッド鋼の必要性が高まってきていることと、複合材料としての用途拡大である。こうした中で当社は昭和56年量産開始以来、品種および製造可能範囲の拡大を図り、ほぼ全てのクラッド鋼の製造が可能となっている。これらクラッド鋼板の製造法として当社は主として独自の組立熱間圧延法を採用しているが、その大きな特徴はより簡素な素材組立て、最適なインサート材の使用等による高接合性である。本報では主にステンレスクラッド鋼について、良好な接合性を確保するための素材組立技術、加熱圧延条件について述べ、更に熱処理や加工条件の接合性におよぼす影響について報告する。

2. クラッド鋼の接合性の評価

クラッド鋼の接合が良好か否かを評価するため、現在 JIS では JIS G 0601 にて剪断強さ試験および超音波探傷試験が用いられているが、更に詳細に接合部の健全性を評価するためには必要に応じ、板厚方向 (Z 方向) 引張試験、ミクロ組織試験、接合部の断面硬さ試験、高温剪断強さ試験、溶接性試験あるいは鏡板成形試験迄実施する場合がある。剪断試験を実施した SUS316L クラッド鋼の断面ミクロ写真を



Photo 1 Rupture appearance of shearing strength test specimen

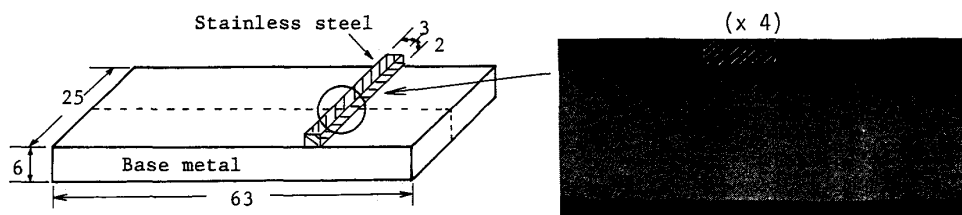


Fig 1 Shape of shearing strength test piece and magnified photograph of ruptured test piece

photo1, Fig1 に示すが、このように健全なステンレスクラッドの場合には破断は接合界面で起らず、母材で発生する。一方 9/1 キュプロニッケルクラッドの場合は合せ材での破断を示す。又 Fig2 に母材硬さおよび合せ材硬さの剪断強さ

におよぼす影響を示すが、剪断強さが組合せ素材の硬さすなわち強度にかなり依存することがわかる。このことは Fig3 でも明らかである。従って接合性を正しく評価するためには、素材の組合せ、熱処理履歴などを同一にして比較することが必要であることお

よび剪断強さの値は母材又は合せ材の強度以上であるということ示す相対指標であると理解すべきと考えられる。このため母材強度の極端に高い HT80 母材クラッド鋼で試験すると界面破断し板厚方向強度で 70 kgf/mm² 以上を示す (Table 1)。従ってステンレスクラッド鋼の真の接合強度はかなり高く略 70 kgf/mm² 級に位置していると考ええる。又チタンクラッド鋼などのように接合界面に金属間化合物を生成し易い素材の組合せの場合には一般に界面で破断が起り易いことも注意を要する。以上述べたようにクラッド鋼の接合性評価試験値の意味する内容は一率ではなくクラッドの構成素材の種類に応じて正しく評価すべきであろう。後述するように最近のクラッド鋼の製造技術は著しく進歩し、厳格に管理されて製造されているため圧延クラッド鋼の接合性は極めて安定してきており上記の如き接合性に及ぼす諸因子もかなり明瞭になってきている。

3. 素材組立技術

クラッド素材スラブの組立技術はクラッド鋼の製造技術上の基本である。Table 2 に示すように素材設計と実際の組立技術と大別される。組立形式とは、いわゆるサンドイッチ型やオープンサンド型などの素材積層形式をいう。当社は一般にオープンサンド型すなわち非対称の片側のみ合せ材を積層する形式を採用しているが、クラッドの種類に応じて種々の最適形式を選択

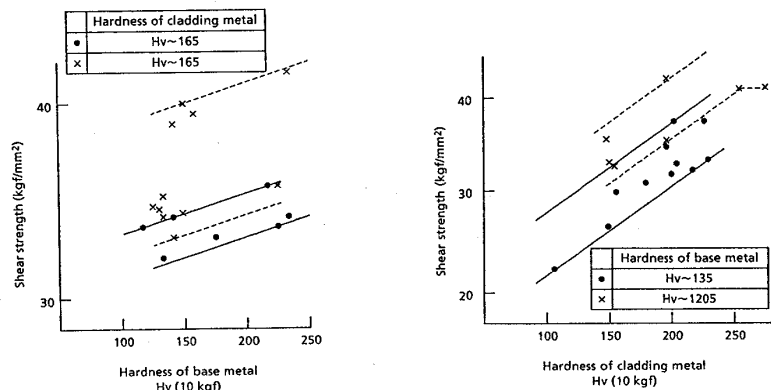


Fig 2 Effect of base metal and cladding metal hardness on shear strength

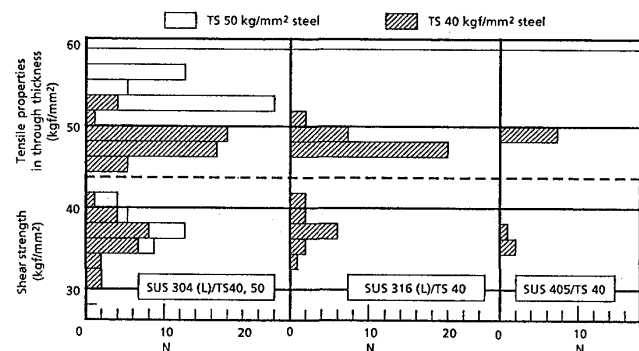


Fig 3 Tensile properties in through thickness direction of TS40 steel and TS50 steel

Table 1 Tensile strength through thickness (HT80 base clad)

base steel / clad metal	Tensile test through thickness		
	T.S. (Kg/mm ²)	R.A. (%)	Rupture Position
SUMITEN80 / SUS304L 11 ± 1.5mm	74.1	36.0	Weld metal
	74.0	29.4	Bond
	74.4	29.4	Bond
	74.0	34.3	Bond

Table 2 Technical points for clad slab composition

Items	Control points
1. Design	① selection of the type of composite ② decision of clad ratio ③ selection of the method of insertion ④ quality design of cladding metal ⑤ quality design of base steel
2. Composing	① control of bonding interface (roughness, contamination, local surface grinding) ② groove cutting, welding method ③ control of welding condition ④ vacuum control, sealing method

する必要がある。Table 3 にオープンサンド型とサンドイッチ型の比較を示すが、圧延性の難しさはあるものの接合性安定化に長所が多いことがわかる。インサート法はステンレスクラッド鋼の場合用途や溶接性からNi 箔をインサートすることが多いが必ずしも必要としない場合もあり、又クラッドの種類に応じて最適のインサート材質を選定する必要がある。更にガス吸収材や剥離材などを必要とする場合もある。又素材設計時、クラッドに

適した合せ材および母材の品質設計を行う必要があり、特に耐食性確保上ステンレスの成分設計には配慮が必要である。以上述べたように素材組立に於ては素材設計時から種々の要素を考慮して品質設計する必要がある、その影響についての一例をインサートについて Table 4, Fig 4 に、又圧下比について Fig 5 に示す。次に実際の組立に於ては溶接継手形式又真空度管理以外に Table 5 に示すように合せ材の局

Table 3 Comparison open sandwich type with sandwich composit

Items	Open sandwich type	Sandwich type
① simplification of composite structure	◎	△
② efficiency of composing	◎	△
③ flexibility of clad ratio	◎	△
④ efficiency of slab heating	○	△
⑤ keeping safe of welding seam before perfect bonding	○	△
⑥ workability of rolling	△	○
⑦ flatness in and after rolling	△	○
⑧ quality of bonding	◎	○
⑨ application for large variety of metal and small lot production	○	△

◎ excellent ○ better △ inferior

Table 4 Merit of Ni insertion

Items	Variation
Prevention from decarbonization of base metal	○
Prevention from hardening of stainless steel	◎
Shearing strength	△
Bending property	○
Weldability	△
Corrosion resistance	○

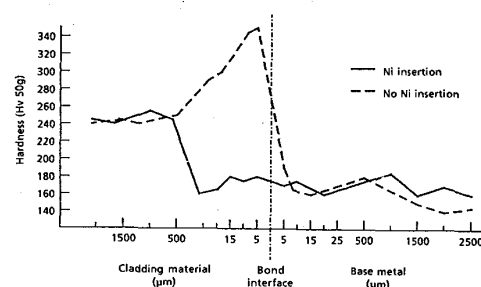


Fig 4 Hardness of Bond area

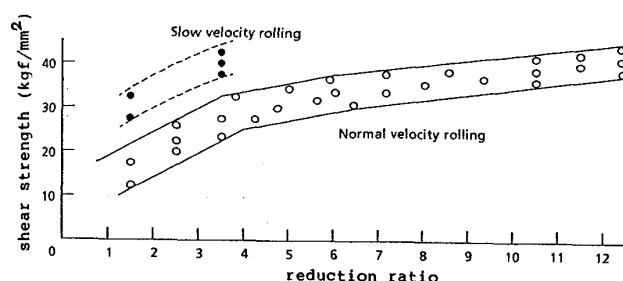


Fig 5 Effect of reduction ratio on shear strength

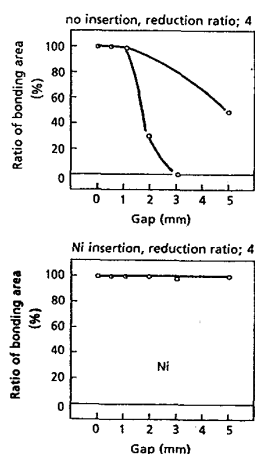


Fig 6 Effect of composit slab gap on bonding properties

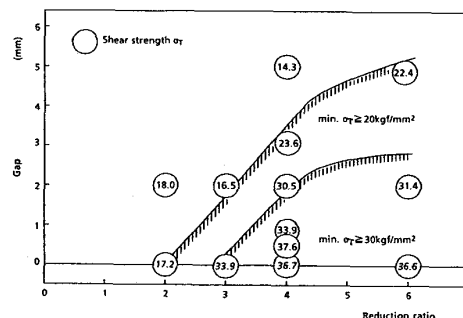


Fig 7 Effect of reduction ratio and composit slab gap on shear strength

部手入や界面の汚れが管理上重要である。局部手入については Fig 6, 7 に示すように界面の残留空気のトラップや金属間の接触の不完全さの原因となり、限界圧下比を高めることになるので有害であると考えられる。

Table 5 Effect of bonding interface condition on bonding properties

Factor	Effect
Roughness of interface	○
Contamination (Rust, Dust etc.)	△
Local surface grinding	×

○ not so effective
△ micro defect like inclusion
× disbonding

4. 加熱圧延条件

クラッド鋼の圧延温度は、その接合原理より可能な限り高いことが望ましいが、合せ材の種類、変形能又母材の靱性確保上制約を受ける。Fig 8はSUS 316Lクラッド鋼の圧延温度による剪断強さの変化を示したものであるが、圧延温度の上昇に伴ってわずかながら剪断強さが向上することがわかる。圧延条件については、先にFig 5に示したように圧下比の影響が大きく圧下比4～5以上が通常圧延速度で必要と考えられる。

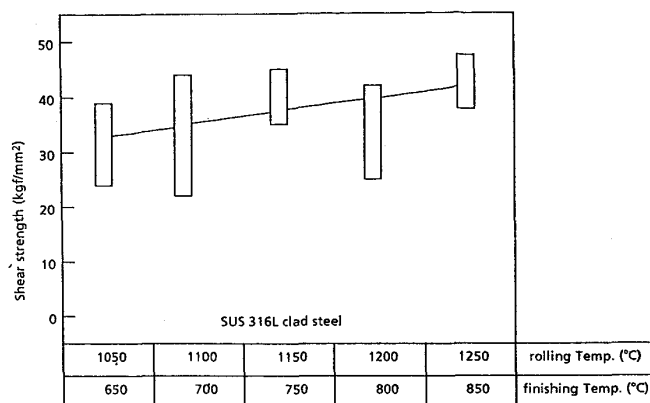


Fig 8 Effect of rolling temperature on shear strength

圧延スケジュールの影響をFig 9に示す。クラッド鋼は一般に高温域で初期強圧下が有利と考えられるが、図で明らかなようにミクロ的な空隙をなくするために仕上域での圧下率も重要であると考えられる。現在当所ではバックアップロールのロールベアリング化など低速度圧下圧延技術の進歩により、従来圧延クラッドでは困難とされる極厚100mm級のクラッドも製造可能となっている。

Rolling Schedule	(1250°C 1hr 700°C finish)			
	1250°C	1000°C	850°C	700°C
I	90t	80t	60t	15t
II	90t	70t	50t	15t
III	90t	60t	40t	15t
IV	90t	50t	30t	15t

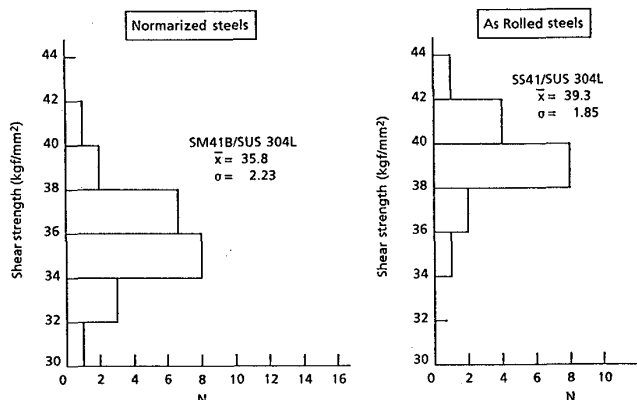


Fig 10 Shear strength of 304L stainless clad steel

5. 熱処理および加工の接合性に及ぼす影響

クラッド鋼の熱処理は一般に母材の熱処理に準じて行われることが多い。これらの熱処理は通常焼準あるいは焼戻しであるが、熱処理によって剪断強さは若干低下する傾向が認められる (Fig 10)。しかしながらこれは接合性の劣化ではなく、合せ材、母材の強度（硬度）低下によると考えられる。一方、Fig 11に示すように冷間スピニング加工のような厳しい加工を行った場合は、加工硬化特にステンレスの硬化により剪断強さは高値を示す。鏡板加工はクラッド鋼にとって最も苛酷な加工とされるが、逆にクラッド鋼の接合性の良否を最も明瞭に示す実用性試験ともいえ、より厳格な製造管理レベルが求められる。

6. 結言

組立熱間圧延法によるクラッド鋼の接合性と製造技術の関連についてステンレスクラッド鋼を中心に述べた。圧延法は最も基本的なクラッド鋼板製造法であり、品質的にも安定しているので品種的にも、又サイズの的にも拡大してゆくと考えられる。今後更に品質安定化に努力していく所存である。

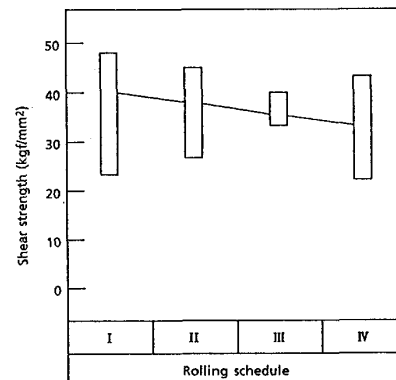


Fig 9 Effect of rolling schedule on shear strength

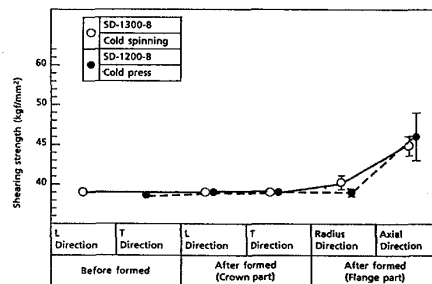


Fig 11 Effect of cold spinning on shear strength