

## 不銹鋼合せ鋼の研究 (I)

(製造法の概要並に一般的性質)

(昭和 25 年 9 月本會講演大會にて講演)

阿部富美夫\*・木村熊太郎\*・齋藤 利生\*

## STUDY ON THE STAINLESS CLAD STEEL (I)

On the manufacturing methods and the general properties

Fumio Abe, Kumataro Kimura, and Toshio Saito

Synopsis: Recently, although a large quantity of corrosion-resistance alloy is required for the chemical industry and others, the nickel production in this country is very poor at the present time. Therefore, the requirement of nickel always cannot be filled. To economize this material and to produce a lower-price stainless steel, the authors studied the method of manufacturing stainless clad plate and its qualities.

Base metal of stainless clad plate was mainly low carbon steel, and the clad metal was an 18% chromium and 8% nickel type austenitic stainless steel.

As the results of various tests, it was recognized as follows:

1. Of many manufacturing methods, both the casting method and the assembling method were the most suitable for mass-production because of easiness of working and the lowest cost.
2. In its manufacture, finishing of contact face in both metals, heating time or reduction ratio did not affect the adhesion strength of clad plate. For convenience of making, reduction ratio could be fixed properly.
3. The tensile strength of clad steel generally agrees with the value, calculated from the thickness ratio between clad metal and base metal layer. Nevertheless the endurance limit of a clad plate was far higher than the calculated limit.
4. The thermal conductivity of clad steel was considerably improved as compared with the mere stainless steel.

## I. 緒 言

鋼の表面を特殊の金属又は合金で蔽うことは古くからその価値が認められて居り、その方法にも電気鍍金、Cementation, Hot-dipping, Spraying, Cladding等の種々の方法が有る。此の内 Cladding によつて造つた合せ鋼は、表面金属が鍍金その他の方法によつたものより相当厚く、且つ圧延又は鍛錬した組織特性を有しているのを特徴とする。

Clad Steel は 1868 年、John Lave が軟心高炭素鋼製の合せ鋼を Plow に利用したのに始まり、その後 Ni, Cu 等種々の金属に發展し現在では特殊合金表面の種々の合せ鋼造られている<sup>1)</sup>。不銹鋼合せ鋼は不銹鋼の需要増加に伴い、そのコストの低下と Ni 節減の爲相當以

前より重要視されていたに拘らず商品化したのは未だ最近である<sup>2)</sup>米國に於ては現在合せ鋼専門のメーカーが十數社を數える程有るが最近の文献にも數多く不銹鋼合せ鋼に就いて發表されている<sup>3)4)</sup>處を見ると現在發展の初期に在ると云つてもよいであろう。

特に我國は Ni 資源に乏しく、現在の不銹鋼生産量を以つてしては國內化學工業に於ける需要量をも満たし得ない現状にある。従つて Ni 資源節約上から見ても不銹鋼合せ鋼を更に廣く利用すべきであると考え。當社に於いては先きに軟心高炭素鋼の三層鋼製の製造法を研究して商品化した<sup>5)</sup>が、更に進んで不銹鋼合せ鋼の製造を企畫し現在既に商品化している。本報告は此等不銹鋼合せ

\* 株式會社日本製鋼所室蘭製作所研究部

鉄の製造法並びに性質について研究した結果である。

と第3表の如くである。

## II. 合鉄の特徴及用途

一般 Clad Steel の目的とする處は第1表に示した如くである。

第1表 Clad Steel の目的

1. 硬い表面の裏面を靱くして衝撃抵抗を増す。
2. 表面は硬化しても裏は焼入後でも穿孔出来る。又焼入後の曲直しが出来る。
3. 高價な金屬製品のコストの低下。
4. 腐蝕及酸化に對する表面保護。
5. 異種の材料を組合せ特殊の物理的性質を得る。

1, 2 は高炭素鋼, 工具鋼等と軟鋼との合せ鉄に適用され, 3, 4 は不銹鋼, 耐熱鋼等と軟鋼との合せ鉄に應用される。5 は特殊の物理的性質として組合せ材の振動の減衰効果を利用するもの, 送電用鋼線の強度を増加する爲の鋼芯鋼線及熱膨脹の差による歪を利用したバイメタル等種々のものがある。

又不銹鋼合せ鉄には第2表の如き利點がある。

第2表 不銹鋼合せ鉄の利點

1. 母材と表面との接着は完全であり表皮が剥げることなく如何なる加工でも出来る。加熱, 冷却を繰返す場所に使用しても表皮の剥げる心配はない。
2. 如何なる薄鉄でも製造出来, その表層は均一である。
3. 不銹鋼單獨では製造出来ない様な厚鉄でも製造出来る。
4. 熔接は容易である。
5. 必要に應じ軟鋼の一侧だけ, 兩側及數層に任意の厚さの不銹鋼で蔽うことが出来る。例えば兩側を不銹鋼—軟鋼—耐熱鋼等。
6. 不銹鋼單獨に比べ熱傳導性がよい。
7. 廉價に入手出来る。

不銹鋼合せ鉄の母材は C 0.2% 程度, 抗張力 40kg/mm<sup>2</sup> 位の軟鋼が普通用ひられるが, 必要に應じて更に 0% の高い炭素鋼又は強度大なる特殊鋼も使用出来る。又表面材としては 18-8 系不銹鋼を主とするが高クロム鋼, 不銹鋼, 特殊合金鋼等その目的に應じて必要なものを選ぶことが出来る。不銹鋼の厚さは普通鉄厚の 10~20% としているが必要に應じて厚く又は薄くすることが出来る。米國では熱傳導性のよい軟鋼又は銅の兩面に不銹鋼を合せた Clad Plate が鋼, フライパン等の台所用具として最近盛に使用されている。

一例として米國に於ける Clad metal の種類を挙げる

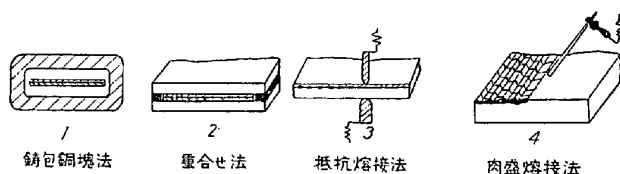
第3表 米國に於ける Clad metal

炭素鋼の表面に:	以下の合層の上に:
ステンレス	銅
ニッケル	鉛
クロム	鉛
モネル	アルミニウム
インコネル	アルミニウム合金
銀	マグネシウム
銅	
アルミニウム	
白金	
マグネシウム	

不銹鋼合せ鉄は主として化學工業方面の耐蝕性容器, タンク, 攪拌器, 熱交換器, バンパーその他多くの装置に用いて經濟的な耐蝕鋼鉄として低コストで使用し得る。又薄鉄は各種車輛, 建築物等の化粧鉄, 台所道具又は罐詰等に利用出来る。

## III. 製造法の概要

現在發表されている合せ鉄製造法は各種あるが, 此等の中で主要なものを第1圖に示した。1 は鑄包み鋼塊を壓延する法で, 不銹鋼2枚を間に分離剤を塗布してケー



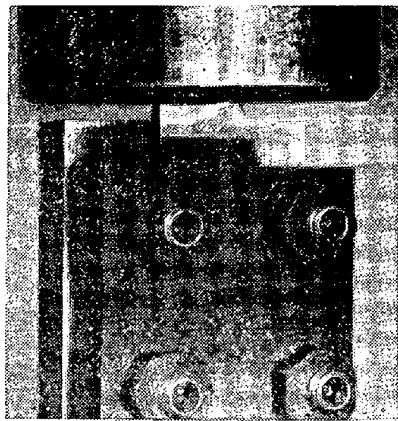
第1圖 不銹鋼合せ鉄製造法

ス内に置き周圍に軟鋼を鑄込んで鑄包み鋼塊を造る。此の鋼塊を壓延後周圍を切斷すれば分離剤により剥れて2枚の合せ鉄を得る。2 は鋼鉄を重ね合わせて鑄包み鋼塊と同様のサンドウイッチを造り, 之を壓延して1と同様の2枚の合せ鉄を得る。3 は各々所定の鉄厚に壓延した不銹鋼と軟鋼を重ねてスポット又は抵抗熔接により接着するものである。4 は軟鋼表面に不銹鋼熔接棒により肉盛りして不銹鋼の層を造り, 之を希望の鉄厚迄壓延する。3, 4 は熔接技術の著しく進歩している米國で採用されているが<sup>6)</sup>, 我國ではコストが高くなる爲特殊の製品にしか適用出来ないと考える。従つて第1圖の製法中1の鑄包み鋼塊を壓延する法と2の鋼鉄を重ねて壓延する法の両者が最も簡易にして而も多量生産に適している。

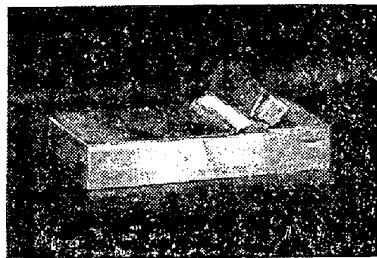
## IV. 接着強度の問題



を示しているが<sup>4)</sup>、筆者が写真第3によつて當所の製品の接着強度を測定した結果は 28.8kg/mm<sup>2</sup> と云う優れた強度が得られ<sup>\*</sup>、外國品に比し劣らぬ成績を有していることが判つた。



写真第3 接着強度測定装置



写真第4 剪断後の試験片の状態

2) 接着に関する二三の實驗

鋼鉄を重合したサンドウィッチを壓延して合せ鉄を造る場合の接着強度に及ぼす製造上の諸因子の影響を確める爲次の様な實驗を行つてみた。試料は 18-8 不銹鋼及軟鋼を 20×40×12mm に仕上げ、各々2枚を直接重ねて合せ目を不銹鋼棒で熔接した。

a: 接着面仕上程度の影響: 初期接着面の仕上状態が接着強度に及ぼす影響を確める爲、酸洗仕上、機械削荒仕上及上仕上の三者に接着面を仕上げて試験した。加熱時間、鍛造比はすべて同一とし、一試料から前記剪断試験片を2ヶ宛採つて接着強度を測定した。測定結果は第5表の如くである。

第5表 初期仕上が接着強度に及ぼす影響

仕 上	壓延比	鉄厚	剪断強度 kg/mm <sup>2</sup>
酸洗仕上	4	6mm	29.3 } 平均 27.7 26.0 } 27.2 }
機削 ▽	"	"	30.5 } " 28.8 25.0 }
機削 ▽▽▽	"	"	28.6 } " 26.8

第5表の結果によれば初期仕上程度は何れも大差ない。機削荒仕上のものが僅か強度が優れているが、仕上面の凹凸が多く接着面が廣いと同じ結果になる爲であろう。従つて接着面の仕上は何れでもよいから、なるべくコストの掛らぬ方法を選定すればよい。

b: 加熱時間が接着強度に及ぼす影響: 初期加熱時間の影響を確める爲酸洗試料二組を造り、一組は他の一組より同一温度で加熱時間を三倍にした。測定結果は第6表の如くである。

第6表 初期加熱時間が接着強度に及ぼす影響

加熱時間	仕上	壓延比	鉄厚	剪断強度 kg/mm <sup>2</sup>
1200°C×5'	酸洗	4	6mm	29.3 } 平均 27.7 26.0 }
" ×15'	"	"	"	27.7 } " 29.0 30.3 }

第6表によれば初期加熱時間の長短は接着強度に著しい影響はないが、僅かに加熱時間の長い方が接着良好なことが認められる。不銹鋼は普通鋼に比べて熱傳導度が甚だしく悪いから、均一に加熱する爲にも加熱時間は普通鋼に比べて長時間にした方がよいであろう。

c: 壓延比が接着強度に及ぼす影響

製造上壓延比を幾らに取るべきかは必要な事であるから次に壓延比を變化した試料について強度を測定した。試料はすべて兩者共酸洗仕上とした。測定結果は第7表の如くである。

第7表 壓延比が接着強度に及ぼす影響

壓延比	仕 上	鉄 厚	剪断強度 kg/mm <sup>2</sup>
1	酸洗	24 <sup>mm</sup>	0 } 平均 0 0 }
2	"	12	31.0 } " 29.3 27.6 }
4	"	6	27.2 } " 28.8 30.5 }
6	"	4	30.8 } " 28.5 26.3 }

第7表によると、壓延比1即ち全然壓下せず加熱だけでは接着面が部分的には接觸していても全面的には接觸していない爲擴散が起らず接着していない。兩面が完全に接觸して居りさえすれば、兩金屬の間の擴散により壓力はなくても接着する筈である。第7表の結果では壓延比による接着強度の變化はない、即ち壓延比は僅かでもあれば兩面が完全に接觸して擴散が起るから強固な合せ鉄が得られる。

\* 壓延の儘、熱處理せず。

第8表 合せ鋼抗張試験結果

		降伏点 $\text{kg/mm}^2$	抗張力 $\text{kg/mm}^2$	伸 %
18—8 不銹鋼 軟鋼	鋼	66.4 } 66.9 }	79.6 } 80.2 }	44.2 } 43.4 }
		31.0 } 31.6 }	50.9 } 51.5 }	36.6 } 35.8 }
	鋼	66.6	79.9	43.8
		31.3	51.2	36.2
合せ鋼	鋼厚の比から計算	37.2	56.1	37.5
6mm厚1mmクラッド	實測	37.5 } 37.0 }	57.2 } 56.4 }	34.9 } 37.5 }
		37.3	56.8	36.2

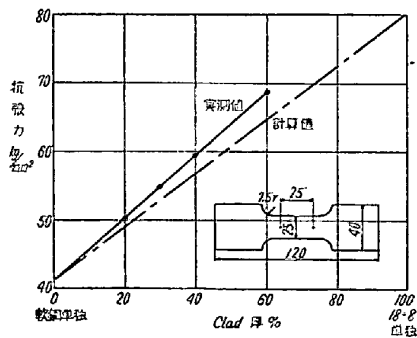
V. 機械的性質

本節に於ては一般設計に必要な合せ鋼の機械的性質を測定した結果について述べることにする。

1) 抗張試験: 不銹鋼合せ鋼の抗張力は不銹鋼と母材の各々の強度と兩者の厚さの比から計算出来る、一例を示すと第8表の如くである。

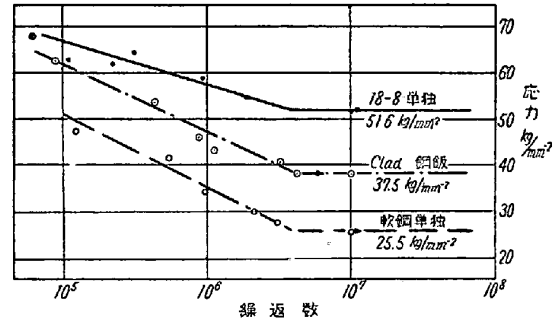
鋼厚の比から計算した結果は實測値よりも少々低いと云われているが、第8表に於ても實測値が少々高い結果となつている。従つて設計の際は鋼厚の比から計算した値を採用しても大差はない。

次に不銹鋼のクラッド厚を變化した時の抗張力に及ぼす影響を實測する爲、18—8 不銹鋼の各種クラッド厚の合せ鋼を造り抗張試験を行つた。試験結果よりの抗張力に及ぼすクラッド厚の影響は第2圖の如くで、抗張力はクラッド厚が増すに従つて増加するが、前述の如く鋼厚の比から得た計算値に比べて僅かに上廻つている。



第2圖 合せ鋼の抗張力に及ぼす Clad 厚の影響

2) 疲労試験: 次に Upton Lewies 型繰返し曲げ疲労試験機により合せ鋼の疲労限を測定した。比較の爲合せ鋼と同一の不銹鋼及母材軟鋼の單獨鋼についても同様に試験した。試験片はすべて圧延の儘である。測定結果は第3圖に示した。合せ鋼は 6mm 厚で 1mm 不銹鋼であるが、不銹鋼及び軟鋼の各々の疲労限から計算すると  $30\text{kg/mm}^2$  の疲労限となる。然し實測の結果は  $37.5\text{kg/mm}^2$  と云う計算値より相當高い値を示して居り、

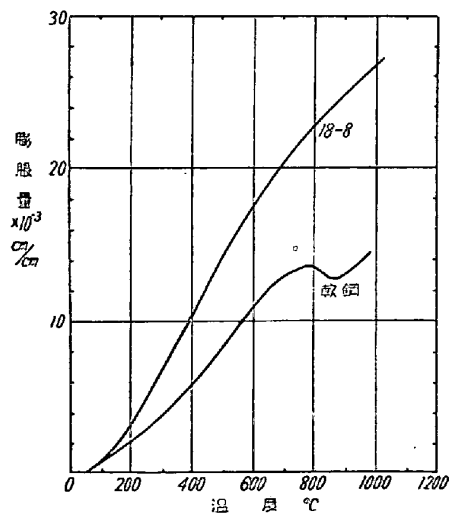


第3圖 疲労試験結果 (6mm厚 -1mm Clad) 抗張試験と異つて厚さの比から計算した値を適用することは出来ない。

軟鋼自身の疲労限は甚だ低いものであるが之に僅かの不銹鋼をクラッドせしめただけで疲労限を著しく高めると云うことは構造用鋼板としても有利な一利點である。

VI. 物理的性質

合せ鋼の物理的性質としては熱膨脹と熱傳導の問題がある。



第4圖 熱膨脹測定結果

1) 熱膨脹: 合せ鋼の製造及使用上最も顧慮を要することは不銹鋼と軟鋼との熱膨脹の著しい相異に基く反りである。之に關しては第2報で各種の實驗結果について

述べるが、茲では熱膨張の測定結果のみについて述べる。

本多式全膨脹計により兩者の熱膨脹を測定した結果は第4圖の如くである。軟鋼では變態の爲 770°C 附近から收縮するが、18—8 不銹鋼では變態はない爲膨脹を続けるだけである。従つて軟鋼の變態以上に加熱、冷却する場合は膨脹の差は甚だしく反りを生ずることとなる。

2) 熱傳導度: 18—8 不銹鋼の熱傳導の悪いことはよく知られているが、合せ鉄では鉄厚の大部分が軟鋼の爲熱傳導度は著るしく改善される。兩者の接着部は擴散により一體となつて居るから自由に熱を移動せしめ外部からの傳熱に際し接着部に於ける熱の蓄積は全然ない。獨逸に於て測定された表面に直角に流れる場合の熱傳導係數測定例を紹介すると第9表の如くである<sup>6)</sup>。

第9表 熱傳導係數測定例<sup>6)</sup>

溫度	10%クラッド合せ鉄 Cal/cm/sec/°C	不銹鋼單獨
20°C	0.13	0.05
100	0.12	0.04
300	0.09	0.03

## VII. 結 言

不銹鋼合せ鉄の研究の第1報として先づ不銹鋼合せ鉄の特徴について紹介し、次いでその製造法の概要並に一般的性質について報告した。その結果を要約すると次の如くである。

1. 不銹鋼合せ鉄の製造法は鑄包み鋼塊及び鋼鉄を重ね合せたサンドウィッチを壓延する方法が最も簡易にして而も多量生産に適している。

2. 合せ鉄は如何なる加工を施しても接着面から剥げると云う心配はない。

3. 接着面の仕上程度は如何なる方法でも大差ないからなるべくコストの安い方法を選べばよい。
4. 初期加熱時間は普通鋼より稍々長くした方がよい。
5. 壓延比は大ならしめる必要はない。僅かの壓延比でも充分な接着強度を得られる。
6. 合せ鉄の抗張諸元は不銹鋼と母材の各々の諸元と厚さの比から計算したものをを用いて差支えない。
7. 軟鋼に僅かの不銹鋼をクラッドさせるだけで合せ鉄の疲労限は著るしく高まる。又鉄厚の比から計算した疲労限より高く計算値は適用出来ない。
8. 18—8 不銹鋼と軟鋼との熱膨脹の差は著るしく大きい。
9. 合せ鉄は不銹鋼の低い熱傳導度を著るしく改善する。(昭和26年9月寄稿)

## 文 献

- 1) T. S. Fitch: Metals Handbook, A.S.M., 1939 1155
- 2) 遠藤彦造: 金屬の研究, 13 卷 8 號 286  
厚木勝基: 日本ニッケル時報, 昭和13年, 6 卷 2 號 247
- 3) Machinery, July 1947, 176
- 4) W.M. M. Strocker: American Machinist, Feb. 6, 1950, 89
- 5) T.S. Eitch: Industrial and Engineering Chemistry, 1941, Vol 33, No. 4, 502
- 6) R. E. Kinkead: Arc Welding in Design, Manufacture and Construction, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1945 1192
- 7) A.S.T.M. Designation, Revised 1944
- 8) Plattierungen mit Remanit oder Thermax, Deutsche Edelstahlwerke A. G.