

の硫化物は Cr を主成分とする (Cr Ni Fe) S の形態をとり, Mn 合金量の増加にしたがい漸次 MnS の形態に変わり高温の延性が改善されるものと考えられる. 低 Mn 合金で Ti を含む場合の硫化物は TiS の形態をとり有効な作用を与えるものと見做される.

IV. 結 言

原子炉用低 Mn, Co オーステナイト・ステンレス鋼の開発のために Co, Mn の制御と熱間脆性に関し実験し, つぎの結論をえた.

(1) 実験室的誘導炉溶解により製鋼原料を選択して $\text{Co} < 0.01\%$, $\text{Mn} < 0.10\%$ に制御することができる. さらに真空溶解法を用いれば Mn を痕跡まで除去することができる.

(2) 一般の工業的製品の純度では, Mn 含有量を 0.60% 以下にすると熱間の脆化現象が現われやすい. このような脆化を防止するためには Ti または Zr の添加が有効である.

(3) 低 Mn 鋼に現われる熱間延性の低下と, これに対する Ti, Zr の効果は酸化物形態または酸素含有量の影響のみならず, 実質的には硫化物の形態変化の作用によると見做される.

文 献

- 1) R. A. Perkins, et al.: J. Met. Feb., 1957, p. 239.

(80) ステンレス・クラッド鋼に関する研究

(特に原子炉用超厚クラッド鋼の製造研究)

日本製鋼所, 室蘭製作所

工博 下田 秀夫・宮野樺太男

○井上 欣一・遠藤 良幸

Study of Stainless-Clad Steel Plates
(Study of heavy stainless-clad steel plates
for a nuclear reactor)

Hideo Shimoda, Katao Miyano,
Kinichi Inouye and Yoshiyuki Fndō.

I. 結 言

P. W. R. 型ならびに B. W. R. 型原子炉には原子炉炉芯圧力容器として, 超厚のステンレス・クラッド鋼が用いられており, 現在では最大 200mm 前後のステンレス・クラッド鋼まで使用されている. 本報告では全厚 200mm (内ステンレス鋼厚み 12mm) のステンレス・クラッド鋼の製造法の概要および二, 三の試験例, すなわち一般常温機械的性質, 熱間曲げ加工の試験例, ならびに炭素拡散の試験結果について報告する.

II. 製 造 法

本超厚ステンレス・クラッド鋼は熱加圧法 (熱間圧延接着法¹⁾²⁾) によつて製造したものである.

製造にあつて, まず, 49mm 厚みのステンレス鋼板と 725mm の炭素鋼板を作製した. これらステンレス鋼板および炭素鋼板の化学成分は Table 1 に示した.

一般に, 薄板, 中板および厚板のステンレス・クラッド鋼を製造する方法として, ステンレス鋼と炭素鋼を完全に接着させるために, ステンレス板の接着面に在る有害な酸化被膜を除去し, さらにこの面を保護し, かつ炭素拡散を防止するためにニッケル鍍金が行われる. さらに比較的わずかな圧延比で接着を完了するためには, 炭

Table 1. Chemical composition of materials tested.

Kind	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	V	Cb	Ti	Co
Backing metal A	0.19	0.15	1.42	0.019	0.022	0.42	0.05	0.09	0.48	0.04	—	—	—
Backing metal B	0.25	0.30	1.48	0.019	0.024	0.13	0.07	0.13	0.47	0.08	—	—	—
Backing metal C	0.20	0.30	1.48	0.016	0.009	0.39	0.09	0.10	0.46	0.04	—	—	—
Cladding metal A.I.S.I. type 347	0.05	0.74	1.51	0.013	0.007	10.6	18.8	—	—	—	0.58	0.05	0.12
Cladding metal A.I.S.I. type 304 L	0.02	0.70	1.07	0.014	0.013	10.9	19.3	—	—	—	—	—	0.09
Cladding metal A.I.S.I. type 304	0.06	0.62	1.08	0.017	0.007	8.6	19.1	—	—	—	—	—	0.05

素鋼と接着容易な鉄を鍍金する方法³⁾もある。

超厚ステンレス・クラッド鋼は、充分な圧延比を採用することができないので、前述二種の鍍金法、すなわちニッケル鍍金法およびニッケル・鉄鍍金法（ニッケル鍍金の上に鉄鍍金を行う）でステンレス鋼板の接着面に鍍金しこの製造結果を比較した。鍍金後、充分研磨された炭素鋼にステンレス鋼板を重ね合わせ、その合わせ目の周辺を熔接し、接着面を外気から遮断した。かような超厚のクラッドスチールを製造する場合には、一般のクラッド鋼製造に用いられるようなサンドウィッチ法でステンレス鋼と炭素鋼を組み合わせると、組み合わせ時の厚みが非常に厚くなり、圧延が不可能になるために、ステンレス鋼 1 枚と炭素鋼 1 枚を直接張り合わせる。

その後、シーメンス式重油焚バッチ炉にて、1230°C に均熱後 950°C~900°C の仕上り温度で約 30 パスを径て所定の 200mm 厚さの鋼板に圧延した。この時の圧延比は 1/3・8 である。圧延には四重式圧延機（ワーキングロール径 1100mm および長さ 5300mm）を使用した。圧延寸法は 200mm 厚さ（内ステンレス厚み 12mm）、巾 1700mm、および長さ 3000mm である。

III. 一般常温機械的性質

上記材料から試験片を採取し、引張強さ、降伏強さ、伸び、絞り、曲げおよび剪断強さを A. S. T. M. 規格にしたがつて測定した。Table 2 にその代表的機械的性質を示した。

この試験材は 890°C に 20 時間均熱焼準後、620°C で 5 時間応力除去焼鈍したものである。この結果接着性は、その製法によつて異なるものではない。また一般の厚板ステンレス・クラッド鋼から見ると剪断強さと比較してみると、剪断強さの低いのは、ニッケル鍍金厚みに起因するものと考えられる。しかし A. S. T. M. に定められている規格値 $>14.1 \text{ kg/mm}^2$ を充分満足するもの

である

IV. 熱間曲げ加工試験

熱間加工性を調べるために、巾 1,600mm、長さ 1,900mm の材料を採取し、1,900mm を円周方向にステンレス側を内側にして半径 500mm で熱間曲げ加工を行つた。なお、この曲げ半径は実際の加工に比して十分苛酷なものである。また上記材料を 900°C に均熱後、4,000 t ペンディング・プレスを用いて、熱間曲げ加工を行つた。（Fig. 1 参照）

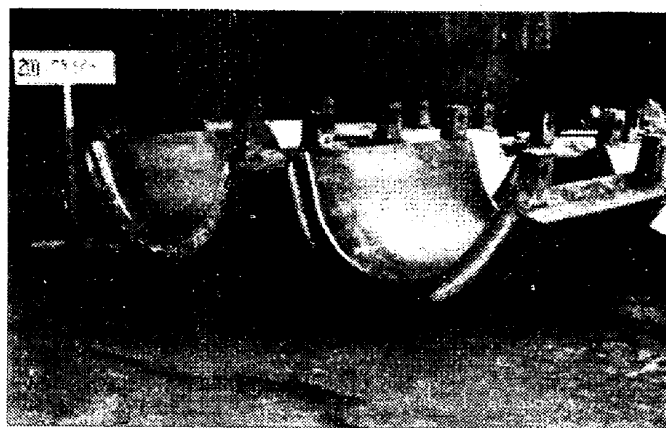


Fig. 1 Showing the hot-formed stainless-clad steel plates.

この加工後に超音波によつて、剝離の状況を観察した。超音波探傷条件は、 $V_{17}=100\% \text{ 3 M.C.}$ でステンレス側から探傷した。この結果、ニッケル鍍金を施行した材料は面積を有しない剝離欠陥 1 カ所（クラッド鋼中央部）のあつたものが 1 枚他の 3 枚は剝離欠陥は生じなかつた。ニッケル・鉄鍍金を施行した材料は、円周方向端面に面積を有さない剝離欠陥 1 カ所があつた材料が 1 枚、他の 2 枚は円周方向端面より胴長方向に円錐状に大きく剝離した。ニッケル・鉄鍍金はニッケル鍍金に比して熱間曲げ加工によつて剝離欠陥が生じやすくとくに

Table 2. Mechanical properties by A. S. T. M.

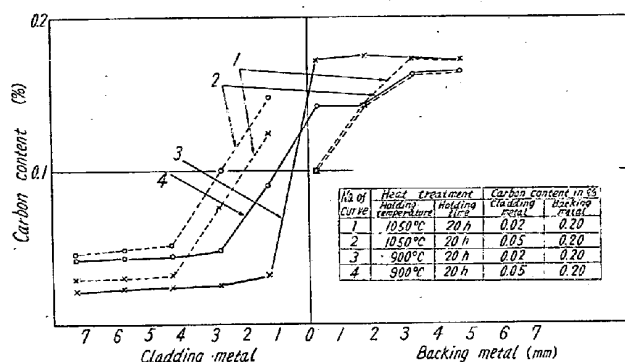
Cladding metal	Backing metal	Electroplated metal on the cladding metal	Yield strength in kg/mm^2	Tensile strength in kg/mm^2	Elongation in %	Reduction of area in %	Shearing test in kg/mm^2	Bending test in kg/mm^2	Side bending test
A.I.S.I. type 347	A	Nickel	43.2 44.1	54.9 56.2	27.2 26.2	61.5 60.1	27.6 27.9	Good	Good
A.I.S.I. type 304L	A	Nickel	45.9 45.9	57.8 57.8	26.3 25.4	61.0 63.4	29.3 27.0	do.	do.
A.I.S.I. type 304	B	Nickel	48.2 50.0	59.1 60.8	22.1 23.7	62.6 64.9	26.2 26.5	do.	do.
A.I.S.I. type 304	B	Nickel and iron	42.3 42.3	66.8 69.3	34.0 33.8	62.9 63.9	27.8 27.7	do.	do.

円周方向端面より剝離が進行しやすい傾向にある。

V. 炭素拡散試験

超厚ステンレス・クラッド鋼の場合、熱処理および熱間曲げ加工等において、材料が高温にさらされる場合が多いので、炭素鋼からニッケル層を越えてステンレス側への炭素拡散が問題となってくる。

ステンレス鋼の炭素量が 0.02% と 0.05% の場合で炭素鋼の炭素量が 0.20% の場合、900°C と 1050°C で 20 時間保持した場合の拡散量を測定した。その測定方法⁴⁾は境界面に平行に、1.5mm 厚さで ± 0.05 mm の誤差範囲で削り出し、炭素分析を行つたものである。その結果は Fig. 2 に示す。



Distance from boundary between cladding and backing metals.

Fig. 2. Diffusion of carbon from backing metal to cladding metal.

VI. 結 言

ステンレス厚さ 12mm、全厚 200mm におよぶステンレス・クラッド鋼を製造したが前記ニッケル鍍金法とニッケル・鉄鍍金法にて常温の機械的性質および剪断強さにおいて顕著な差異はないが、熱間曲げ加工性について両者には差があり、とくにニッケル・鉄鍍金を行つた材料は剝離しやすい傾向にある。

さらに炭素拡散については、ステンレス鋼炭素成分 2 水準 (0.02%, および 0.05%) と温度 2 水準 (950°C および 1050°C) について測定を行つた。

以上超厚クラッド鋼の製造概要および二、三の試験例について報告した。

文 献

- 1) 阿部富美夫: 鉄と鋼 38(1952) No. 4, 214
- 2) By Helmut Thielsch: Stainless Clad Steels, March, 1952. The Welding Journal.
- 3) U. S. Patents 1,997,538.
- 4) By R. E. Loreutz: Welding problems in pressure vessels for nuclear reactors, September, 1957. The Welding Journal.

(81) 410 型ステンレス鋼の準安定オーステナイト域における塑性加工が機械的性質におよぼす影響

金属材料技術研究所 ○細井 祐三
Pennsylvania State University

ケイ・イー・ピンナウ

エイ・ジェー・シャーラー

Effect of Deformation in the Metastable Austenite Condition on the Mechanical Properties of Type 410 Stainless Steel.

Yuzo Hosoi.

K. E. Pinnow and A. J. Shaler

I. 緒 言

準安定オーステナイト域における塑性加工により鋼の機械的強度を増加することができると Harvey¹⁾が 1951 年に報告したが、最近 Lips と Van Zuilen²⁾が、0.35% C, 1.5% Cr, 4.5% Ni 鋼を準安定オーステナイト域にて加工した後マルテンサイト変態させたものは、普通の焼入した場合にくらべ降伏強さが 207 kg/mm² から 280 kg/mm² に増加したとのべた。また Schmatz と Zackay³⁾は 0.28~0.57% C 鋼につき、Kula と Dhosi⁴⁾は SAE 4340 鋼について同様の実験を行ない 10% 以上の強度の増加を得ている。この新しい技術は Cohen⁵⁾などにより Austforming と呼ばれているが、強度増加の理由等については詳らかでない。

本研究は準安定オーステナイト域が広く、熱処理性の良いマルテンサイト系ステンレス鋼に同方法を適用し、同鋼の機械的性質向上をはかるとともにその強化機構を検討したものである。

II. 実験試料および方法

使用した試料は主として 410 型ステンレス鋼 (0.11% C, 12.37% Cr) であり、時に 420 型ステンレス鋼 (0.37% C, 12.98% Cr) も用いた。

実験方法は、試料を適当な温度でオーステナイト化した後、準安定オーステナイトの温度 (425°C あるいは 595°C) に保持した塩浴中に急冷し、数分保持し試料と塩浴が同温度になった後、圧延あるいはスウェーピングにより種々の加工率を与え水中に焼入れた。その後、残留オーステナイトをなるべく少なくするために液体窒素中