

直接通電加熱方式のクラッド板圧延接合への適用

Development of Electric Resistance Heating for Stainless Steel/Aluminium Clad Rolling

岩崎信吾 / Singo Iwasaki ・ 直江津製造所 冷延工場

市川利夫 / Toshio Ichikawa ・ 直江津製造所 冷延工場

米満善久 / Yoshihisa Yonemitsu ・ 総合技術研究所 ステンレス・チタン研究部

浜田幸一 / Koichi Hamada ・ 総合技術研究所 製板プロセス研究部

井坂和実 / Kazumi Isaka ・ 総合技術研究所 製板プロセス研究部 主任研究員

要 約

当社は、直江津製造所において連続温間圧延接合法を実用化し、ステンレス鋼とアルミニウムのクラッド板を、IHジャー内鋼用素材等として供給してきた。

しかし、需要の増加および高度化するユーザーニーズに対応する目的で、より安定した加熱を実現できる直接通電加熱装置を新たに導入し、接合強度の均一性を向上させた。

Synopsis

Manufacturing the stainless steel/aluminium clad strip for electromagnetic rice cookers, the Naoetsu Works has developed a cladding technique applied to the warm rolling process with a rapid induction heater.

As the market grows, a higher uniformity for bonding strength is an increasing requirement. For a development of a uniformity, new electric resistance heating equipment has been introduced, passing an electric current through the stainless steel strip. This has solved the problem.

1. はじめに

異種金属を接合したクラッド板は、それぞれの金属が持つ優れた性質や特長をかねそなえた機能材料である。なかでも、磁性を有し耐食性に優れたステンレス鋼と熱伝導性の良いアルミニウムとを組み合わせたクラッド板(以下 Al/SUS クラッド板と称する)は、それぞれの特性を活かし IH ジャー炊飯器の内釜などに使用され、需要が増加してきている。

当社ではこの市場ニーズに対応するため、接合強度が高くかつ高能率に圧延接合する連続温間圧延接合法を開発した¹⁾。これにより、最大 1000 mm もの広幅 Al/SUS クラッドコイルの製造を行ってきた。

本接合法において、ライン内に配置する素材コイル加熱装置には、短時間急速加熱性能および温度安定性が要求される。このため従来は、広幅急速加熱が可能な横断磁束型誘導加熱炉を配置し対応してきた²⁾。

しかし、近年ユーザーでの成形加工は苛酷になり、より一層の接合強度均一性が求められるようになってきた。この要求を満足するために、加熱方式のさらなる改良が必要

となった。従来の誘導加熱方式以外にこの性能を満たす可能性がある方式としては、電気抵抗発熱を利用した直接通電加熱方式が挙げられる。しかしこれまでは、スパークの発生などにより、直接通電加熱方式を薄肉広幅コイル加熱に適用した事例はほとんどなかった。

このほど当社では、スパークなどの技術課題を解決することにより、薄肉広幅コイル用直接通電加熱装置を開発し、クラッドコイル実製造ラインに設置した。その結果、クラッド板の接合強度均一性が向上可能となったので、以下に報告する。

2. Al/SUS クラッド板の接合法

第 1 図に、クラッド圧延接合時の界面接合率に及ぼす圧延圧力、圧延温度域の影響を示す¹⁾。図より、温間圧延域では冷間域圧延に比べ、より低い圧延圧力で高い接合性を有するクラッド板が得られることがわかる。このことから当社では、広幅素材を加熱し温間圧延接合するクラッド板製造方法を確立した。

その接合機構を第 2 図に示す^{2),3)}。圧延接合は第 2 図に示

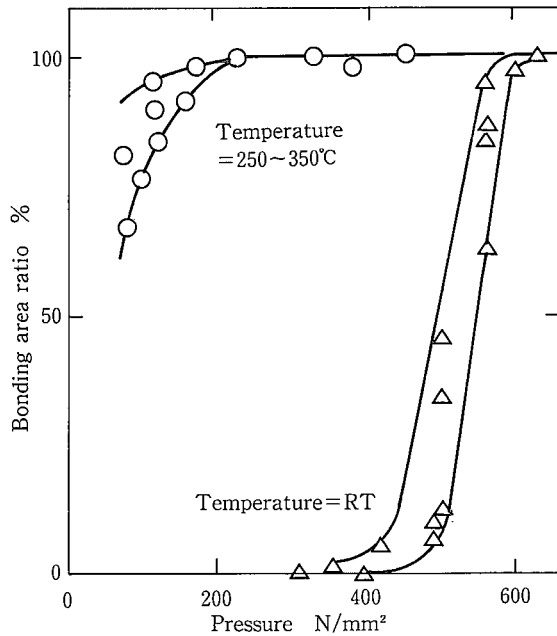
第1図 接合性に及ぼす圧力、温度の関係¹⁾

Fig.1 Effects of temperature and pressure on bondability of stainless steel/aluminium clad coil

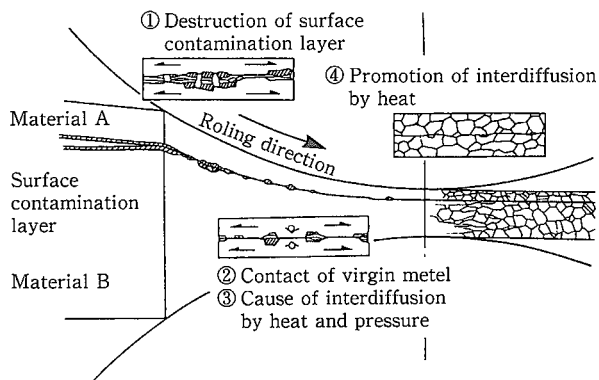
第2図 圧延接合機構²⁾

Fig.2 Bonding mechanism by warm rolling

す4段階を経て進行し、特に金属間の相互拡散を律則する温度因子が製造上の重要な管理点となる。

3. 直接通電加熱技術の開発

3-1 直接通電加熱の特長と導入の目的

幅方向に均一な接合強度を有するクラッド板を製造するためには、高い精度で幅方向均一加熱を実現することが不可欠である。

しかし従来の誘導加熱方式では、装置と素材の間の芯ズレなどにより、温度偏差が発生する場合があった。

ここで、直接通電加熱には次のような特長がある。

- (1)電力は、効率よくジュール熱に変換にされる。
- (2)金属の電気抵抗温度依存性により、板は走行方向に急速加熱される⁴⁾。

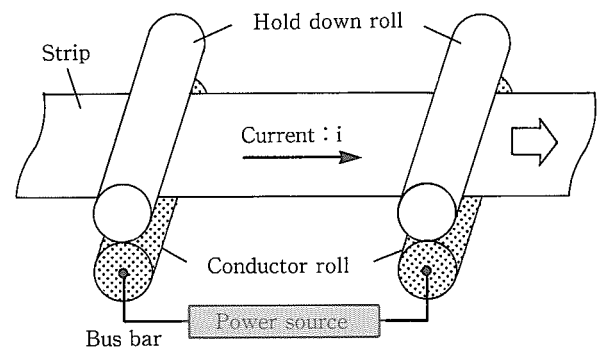
(3)同時に低温部ほど発熱量大となり、その結果均一加熱を可能とする(以下これを自己温度補償効果と称する)。

この自己温度補償効果を利用し、均一加熱を実現すべく、直接通電加熱法をクラッド板圧延接合へ導入した。

3-2 直接通電加熱装置

直接通電加熱の模式図を、第3図に示す。

電流は、給電ロールを介して走行する板材に直接供給され、ジュール発熱により給電ロール間の素材が急速昇温する。



第3図 直接通電加熱の模式図

Fig.3 Schematic figure of electric resistance heating

3-3 実機適用化への技術課題と対策

3-3-1 スパークの抑制

直接通電加熱方式では大電流を印加するため、板表面が一部溶融・飛散するスパークが発生し易い。この原因は、板と給電ロール間の狭い接触部を大電流が通過するとき、局所的な電流集中が生じているためと考えられる。

そこで、基礎検討として、上下ロール間給電時のスパークレス安定限界を検討した。

その結果を第4図に示す⁵⁾。本図より、給電安定限界は電流密度(全投入電流/圧下力によるヘルツ接触面積)に依存

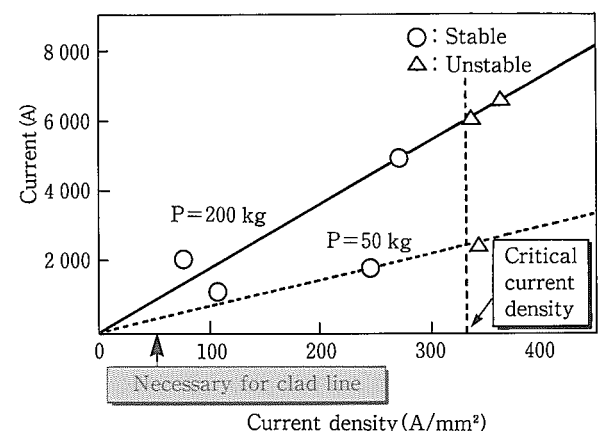
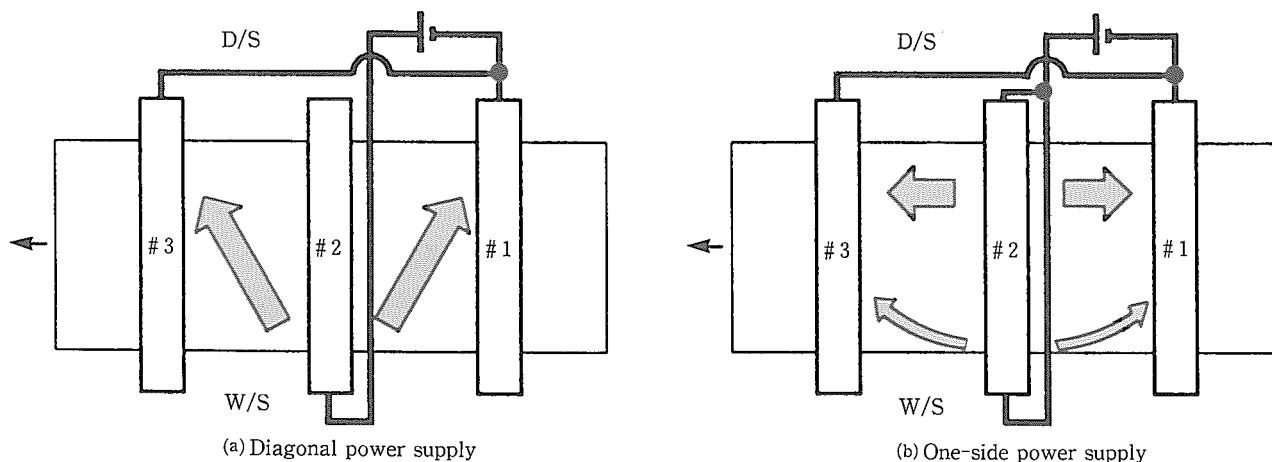
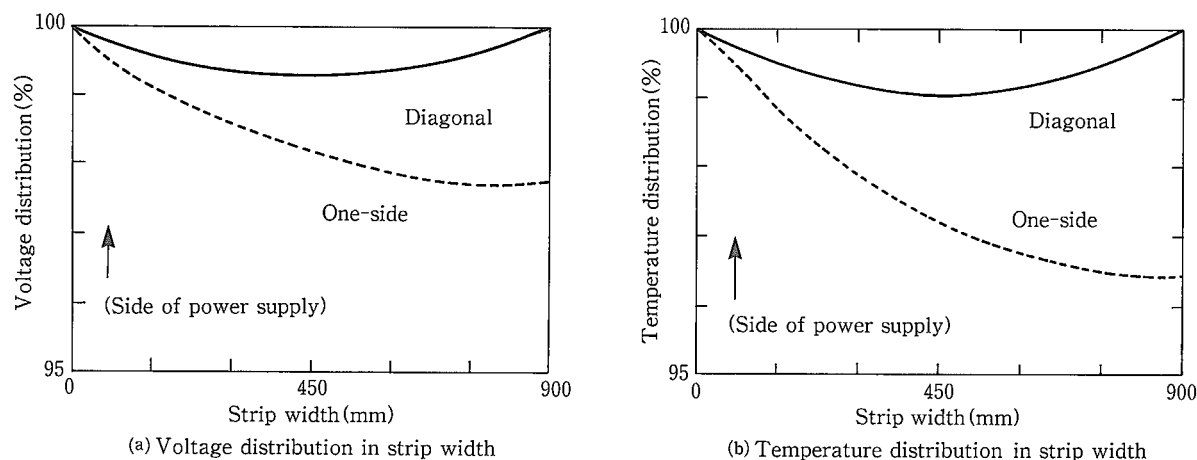
第4図 給電限界電流密度⁵⁾

Fig.4 Critical current density of electric resistance heating



第5図 給電方法の概念図

Fig.5 Schematic figure of power supply



第6図 FEM解析結果

Fig.6 Results of FEM analysis

し、その限界電流密度は約 330 A/mm^2 であることがわかる。

この結果からスパークを抑制するためには、電流密度をこの限界値以下に制御する必要がある。

3-3-2 板幅方向温度均一化

自己温度補償効果を発揮するには、板幅方向に対して電位分布を均一にし、板に供給される電流が均一にならなければならない。しかしながら、第3図に示す給電ロール軸端から板に電流を供給する方式では、ロール軸方向に電位分布が生じ易く自己温度補償効果を有効に発揮できない。そこで、走行方向に対し同じロール軸端側から給電した場合(片側給電法と称す)と、異なる軸端側から給電した場合(対角給電法と称す)についてFEM解析を行い、最適な給電方法を検討した。各々の場合の電流方向を第5図に、および解析結果を第6図に示す⁹⁾。図から明らかなように、片側給電法では給電側の電位が高く、幅方向の温度分布は不均一となる。一方、対角給電法では板幅方向電位分布および温度分布は対称かつ均一となることが判明した。

4. 導入設備仕様と操業結果

以上述べてきた基礎検討結果に基づき、クラッド圧延ライン内に、対角給電法を採用し電流密度を給電安定限界以下に抑制したステンレス材用直接通電加熱装置を導入した。

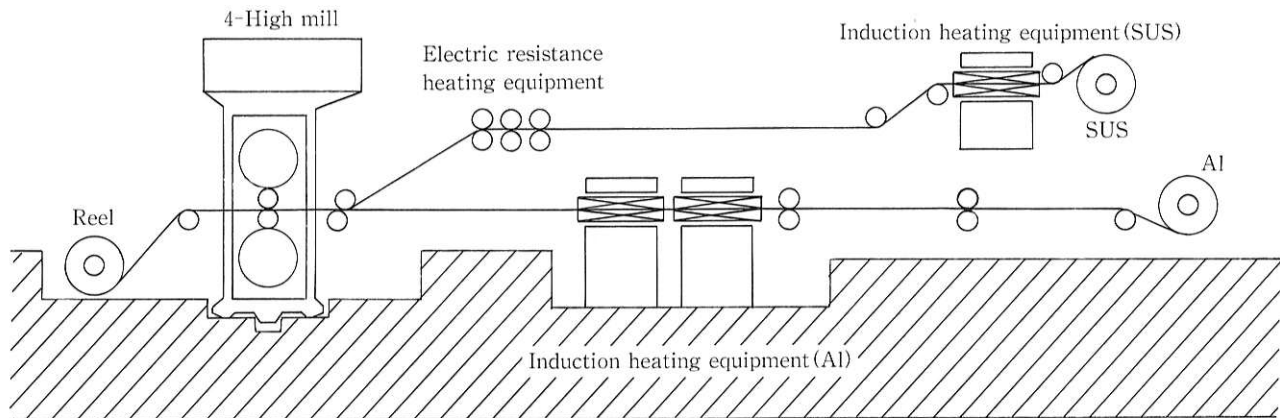
導入した設備の仕様および概略図を、それぞれ第1表、第7図に示す。

実操業における幅方向温度分布を第8図に示す。

第1表 クラッドライン直接通電加熱設備仕様

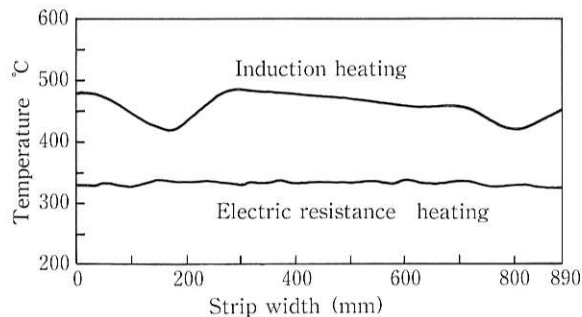
Table 1 Specification of electric resistance heating equipment

Material	NAR 160, SUS 304
Thickness	0.5~0.9 mm
Width	700~1 000 mm
Speed	5.0~15.0 m/min
Heating temperature	350 °C
Current	DC max 20 kA
Voltage	DC max 25 V



第7図 クラッドライン配置図

Fig.7 General arrangement of cladding mill



第8図 板幅方向温度分布

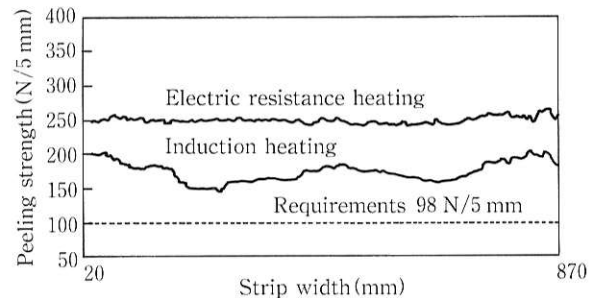
Fig.8 Distribution of temperature in strip width

第8図より、従来以上に均一な幅方向温度分布が得られたことがわかる。また、電流密度を安定限界以下に抑制したため、スパークは発生しなかった。

5. 直接通電加熱法を用いた Al/SUS クラッド板の特性

第9図に幅方向接合強度分布を示す。ここで接合強度は、5 mm 幅のクラッド板をはく離するときのはく離強さにより評価した。本図より、直接通電加熱材は従来誘導加熱材と比べて、幅方向接合強度均一性が向上していることがわかる。

写真1に、はく離後のステンレス鋼側接合界面のSEM観察結果を示す。写真1に見られる白い網目状部は、はく離後のステンレス鋼接合界面に付着残存したアルミニウムである。本部分は金属結合した強接合部であり、接合強度はこの面積率に依存する³⁾。直接通電加熱法は、温度均一性が高いことより、高精度の接合温度管理が可能である。その結果、従来材に比べ、より高いクラッド材接合強度が得られた。



第9図 幅方向接合強度分布

Fig.9 Transverse distribution of bonding strength in stainless steel/aluminium clad coil

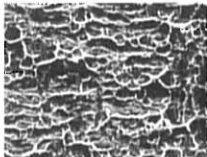
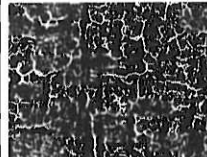
	Electric resistance heating	Induction heating
Bonding strength (N/5 mm)	250	200
Peeling surface of stainless steel (SEM)		
Aluminium on peeling surface (wt%)	55.3	30.5

写真1 クラッド接合界面のSEM観察結果

Photo 1 Difference of peeling surface (SEM)

6. まとめ

広幅薄肉材用直接通電加熱設備を開発し、当社直江津製造所クラッド圧延ライン内のステンレス材加熱用に導入・設置した。以下にその結果をまとめる。

- (1) 偏差 3% 以下の高い板幅方向温度均一性を実現した。
- (2) その結果、幅方向に均一な接合強度を有するクラッド板が得られた。

技術報文

(3)電流密度を軽減し、スパークの発生がない安定した操業を可能とした。

以上より、当社 Al/SUS クラッド板は、広幅かつ量産性に優れるなど従来から有していた特長に加え、一層の品質向上が果たされ、今後ますます高度化して行くであろう市場ニーズに充分こたえられ得るものになったと考える。



岩崎信吾/Shingo Iwasaki

直江津製造所
冷延工場

(問合せ先：0255(44)6615)

参考文献

- 1) 土居大治，八尋昭人，益居健，平原一雄，吉田毅：日本金属学会会報，**32-5**(1993)，p.364
- 2) 土居大治，鶴田忠，難波清海，八尋昭人，平原一雄：住友金属誌，**45-5**(1993)，p.145
- 3) 土居大治，米満善久，前川直人：日本機械学会 74 期全国大会講演論文集(II)，(1996)，p.37
- 4) 浜田幸一，井坂和実，益居健：材料とプロセス，**9**(1996)，p.317
- 5) 浜田幸一，井坂和実，益居健，芝原隆：材料とプロセス，**9**(1996)，p.1043
- 6) 浜田幸一，井坂和実，芝原隆，菰田隆司，中野正廣：材料とプロセス，**10**(1997)，p.394