技術論文

クラッド薄板の開発

Development of Metal Clad Sheet and Strip

奥 井 利 行* Toshiyuki OKUI 米 満 善 久 吉 田 健太郎 Yoshihisa YONEMITSU Kentarou YOSHIDA

抄 録

新日鐵住金(株)直江津製造所では温間圧延接合法による金属クラッドコイルの量産技術を確立し、IH 調理用器物用途を中心とした素材薄板を提供している。クラッドの材料構成はアルミニウムを母材とした 2層もしくは3層の構成を基本としているが、合わせ材としてステンレス鋼やチタンなど使用目的に応じた材料選択を行なうことにより、従来の金属材料には無い新機能の創生や高機能化を実現している。

Abstract

We have established a mass production technology of metal clad sheet and strip by the warm rolling joining process in the Naoetsu Works, and we are providing the material sheet mainly used for kitchen utensils on IH cooking instrument. Our clad sheets are made on the basis of the combination of two layers or three layers that assumed aluminum as a matrix material, and we can choose various stainless steel or titanium as laying upon materials. We realize new feature and high function to conventional materials by making materials choice depending on a purpose of use.

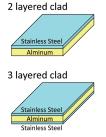
1. 緒 言

複数の異種金属を積層したクラッド薄板(以降クラッドと略す)は、使用目的に応じた合わせ材の選択によって、従来の金属材料には無い新機能を創生することが可能な機能材料である。新日鐵住金(株)直江津製造所では1988年に温間圧延接合法によるSUS/AIクラッド広幅コイルの量産技術を確立し1.20、主にIH炊飯器内釜に代表される電磁調理器用器物(鍋釜やフライパン)の素材を提供している。製造するクラッドコイルは、アルミニウムを母材とした2層もしくは3層の構成を基本としており、合わせ材としては種々ステンレス鋼の他、ステンレス鋼以外の材料を用いることも可能で、チタンやFe-Ni合金などをアルミニウムと積層したクラッドコイルの製造実績がある。

本稿では、上記クラッド薄板の接合方法および量産設備 を紹介するとともに、これまでに開発したクラッド材料に ついて、その製品特性を紹介する。

2. クラッド材料

クラッド材料は図1に例示した様に、材料特性の異なる 異種金属を一体積層することによって一方の材質の欠点を 他方が補うとともに、各構成材質の利点を同時に利用する



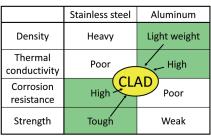


図1 異種金属積層による高機能化 Realization of high function by the laminating of different kind metal

ことで高機能化や新機能付与を実現した機能材料である。

電磁調理器用の器物を例に取れば、磁性のあるフェライト系ステンレス鋼はIH加熱用の発熱体として有用であるが、一方で熱伝達係数が小さいために局所加熱され易く、調理中に焦げ付きを生じる恐れがある。そこで熱伝達係数の大きなアルミニウムとクラッド化することにより、フェライト系ステンレス鋼のIH発熱特性とアルミニウムの熱伝達特性とを同時に利用した高機能化が実現できる。実例として図2には、実際に成形したSUS単層鍋とSUS/AI/SUS3層鍋とをIH調理器で空焚き試験した際の表面温度推移を示す。クラッド材料の適用によって底面のIHコイル直上部分での局所加熱が防止されたばかりでなく、IHコイル

^{*} 鉄鋼研究所 チタン・特殊ステンレス研究部 主幹研究員 新潟県上越市港町 2-12-1 〒 942-8510

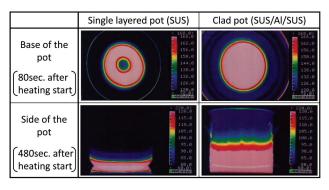


図2 IH 調理器を用いた空焚き試験における鍋の表面温度 分布推移

Surface temperature distribution of empty pot in the heating test using IH cooker

の無い側面部分にも熱が有効に伝わる様子が観察できる。

3. クラッドのコイル接合方法

一般にクラッド材料の接合方法には、爆着法、溶接肉盛法、圧延法などがあるが、薄板コイルを量産するためには 圧延法による接合が適している。

例えば鉄系材料のみから構成されるクラッド薄板は、組立熱間圧延法³によって製造することができる。新日鐵住金(株)ではSUS/Fe/SUSの構成を持つステンレスクラッド鋼板を製造しており、真空中でEBW溶接した組立スラブを用いて熱間圧延によりホットコイルを製造し、冷間圧延プロセスで薄板コイルに仕上げている。表1には本プロセ

表1 ステンレスクラッド鋼板の製品寸法例 Example of SUS/Fe/SUS clad product

Combination	Thickness (mm)		Width (mm)
	Total	SUS (×2)	widiii (iiiiii)
SUS-Steel-SUS	0.6 - 2.5	10% of total	Max.1280
(SUS304L/SPCE/SUS304L)		thickness	

スで製造した SUS/Fe/SUS の3層クラッド製品例を示す。

また母材としてアルミニウムを用いる場合には、特別な 真空設備や雰囲気加熱炉を必要とせず、大気中で加熱が可 能な温間圧延接合法を適用することができ、設備投資なら びに設備メンテナンス性の面から優れた製造プロセスを実 現できる。

図3には直江津製造所で用いる広幅クラッドコイル製造 ラインの概略を示す。素材コイルをインラインで加熱し、 その直後に接合圧延して巻き取る構成であり、単一工程で のクラッドコイル製造が可能となっている。

圧延機はワークロール径 250mm の4段圧延機を使用し、その許容最大荷重は1350tonfである。本製造ラインでは、通常914mm、最大1000mmの広幅でクラッドコイルの製造が可能であるが、安定した接合強度および品質を実現するためには幅方向での素材温度均一性および圧延率の均一性を確保する必要がある。このため図4に示す直接通電方式の加熱装置を用いて素材を均一加熱する技術4.50や、圧延機のバックアップロールにVCロールのを適用するなどの設備対応を講じている。図5には製品の幅方向接合強度

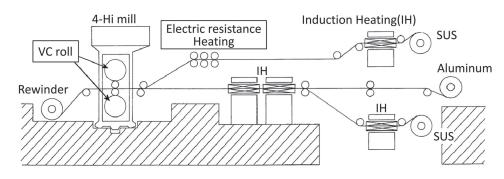


図3 広巾クラッドコイル製造設備概略 Outline of the clad coil production line

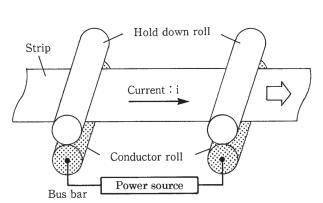


図4 直接通電加熱装置の模式図 Schematic outline of the electric resistance heating

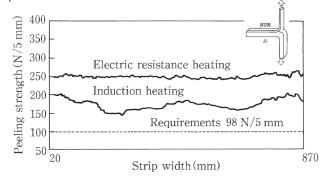


図5 巾方向接合強度分布におよぼす直接通電加熱の効果 (NAR160/A1100 2層クラッド)

Effect of the electric resistance heating for the distribution of peeling strength

表2 アルミニウムクラッド薄板の製品寸法例 Example of SUS/AI clad product

Combination	Thickness (mm)		Width (mm)
	Total	SUS, Ti	Width (mm)
SUS-aluminum	0.6 - 3.3	0.3 - 0.8	≤ 914
(SUS/Al, SUS/Al/SUS)			(Max.1000)
Titanium-aluminum	0.6 - 2.5	0.3 - 0.7	≤ 914
(Ti/Al, Ti/Al/Ti)			(Max.1000)

分布を示すが、本製造ラインを用いることにより極めて均一な接合強度分布を実現している。参考のため表2には本設備で製造実績のあるクラッド材料の製品寸法を示す。

4. SUS/AIクラッドの製品開発例

緒言でも述べた通り、直江津製造所で製造するクラッド 材料はアルミニウムを母材とした構成を基本とし、合わせ 材として使用目的に応じた種々のステンレス鋼やステンレ ス鋼以外の材料も選択することができる。以降ではこれま でに量産実績のあるクラッド材料を例示し、その特性を紹 介する。

4.1 調理器物用クラッド(NAR160/AI, NAR160/AI/ SUS304L)

前述のとおり、フェライト系ステンレス鋼とアルミニウ ムを積層したクラッド材料は IH 発熱特性と熱伝達特性を 併せ持つ特徴から IH 調理器用の器物として広く利用され ている。器物は通常プレス加工によって鍋形状へ成形して 使用されるため、素材には高い成形性が要求されるが、ク ラッド薄板の成形加工では単一板には見られない複雑な挙 動を示すことから、その実用化にあたってはクラッド板の 曲げ加工性や深絞り成形性など利用技術の開発が重要と なる。例として図6には3層クラッドの曲げ加工性におよ ぼす板押さえ圧力ならびに熱処理条件の影響を示す。板押 さえ圧力の小さな条件では工具の曲げ Rよりも加工後の板 のRが小さくなってしまうオーバーベンド現象が発生して 外面割れに至る様子が確認できるり。これらクラッド成形 加工に関する特徴的な知見を様々な加工条件に応じて蓄積 し、適正加工条件を提案することで実用化支援を行ってい る。

4.2 IH 炊飯器の内釜用クラッド (Cu/NAR160/AI)

IH 炊飯器は高い発熱効率と高火力を利用して"ご飯をおいしく"炊くことができ、その普及率は70%を超えてさらに上昇している。パナソニック(株)ではさらに IH 発熱効率を高めるため、図7に示す様に内釜の外面に銅めっきを施した製品を販売している。この銅めっきはプレス成形前の素材段階で施されており、SUS/AI クラッドをサークル形状に切断した後の SUS 面に銅めっきを施した Cu/SUS/AI クラッドが使用されている。

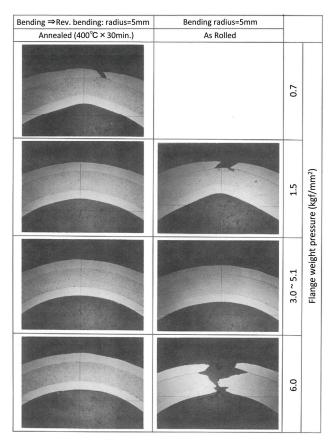


図6 クラッド材の曲げ性におよぼす加工条件の影響 Appearance after the bending test of clad sheet by various conditions (3 layered SUS/AI/SUS, 2.0 mm in thickness)



図7 IH 炊飯器用銅めっき釜 (パナソニック(株)) Copper plated clad pot for the IH rice cooker (Cu/SUS/AI, 1.5 - 2mm in thickness)

SUS/A1 クラッドのアルミニウム面にダメージを与えることなく SUS 面にのみめっき処理を施すには、バイメタルであるクラッド材料の熱変形に耐えつつ、アルカリ脱脂液やめっき処理液によるアルミニウム面の腐食から保護する必要がある。そこでクラッドサークル専用のめっき治具を作成し SUS 面のみへの Cu めっき加工を実現している(図8)。

また銅めっき層の形成によって高い IH 発熱効率を得るためにはめっき膜厚の厳格な管理が要求されるが ®, めっき膜厚は後工程のプレス成形に伴う側面の展伸によって変化するため、この展伸によるめっき減肉量を見込んだ膜厚設計が必要となる。このため FEM 解析を用いてめっき処理時の電流分布を制御する技術を開発し、サークル原板の



図8 クラッド SUS 面への銅めっき処理設備 Copper plating equipment for Cu/SUS/Al clad

半径方向に異なるめっき膜厚を実現している。

4.3 ディスクブレーキ用クラッド (SUS403/AI/ SUS403)

摺動発熱部材として SUS/AI/SUS の構成を持つ3層クラッド材料を用いることにより、過剰発熱によるトラブルを防止することができる。本目的のためアルミニウム母材の両面に SUS403 の焼入れ材を積層した3層クラッドを開発して競技用マウンテンバイクのディスクブレーキローター用途に提供している。

摺動面となる合わせ材には耐摩耗性に優れる材料として SUS403 の焼入れ材を用いているが, SUS403 の焼入れ温度 がアルミニウムの融点よりも高いため接合後のクラッドに 焼入れ熱処理を施すことはできない。そのため接合圧延に あたっては, あらかじめ焼入れ熱処理を終えた高強度母材をアルミニウムと接合する必要がある。高強度材料は接合 圧延に際して展伸性に乏しく新生面の露出が少ないために 充分な接合強度の確保が難しい。また一般に摺動部材には 高い板厚精度と平坦度が求められるが, 単一工程のクラッド接合では高精度での板厚制御が困難となる欠点がある。これら課題に対し,接合後のクラッドコイルに適正な条件で再圧延加工を施すプロセスを確立することによって充分な接合強度と板厚精度,平坦性を実現している。

4.4 チタン・アルミニウムクラッド (Ti/AI)

チタンはステンレス鋼や鋼に比べて耐食性能に優れ、また軽量かつ比強度が高いという特徴を持つ。このチタンをアルミニウムとクラッド化することによって、さらなる軽量化と放熱性改善の高機能化が実現できる。チタンはステンレス鋼に比べて接合圧延時の加工硬化が少ないことから、接合後のTi/Al クラッドは延性が高く、表3に示す様に曲げ性や深絞り加工性に優れる特長を持つ。またチタンはステンレス鋼に比べてヤング率が小さいためにチタン単一板の成型加工では大きなスプリングバックを生じる問題があるが、図9に示す様にTi/Al クラッドを使用することでスプ

リングバック量を少なく抑制することができる%。

また Ti/Al クラッドの表面処理は SUS/Al クラッドに比べて容易に実現可能であり、チタン面の陽極酸化処理およびアルミニウム面のアルマイト処理が共に可能である。図 10には Ti/Al クラッドのチタン面を発色加工した例を示す。

これらの特長から Ti/Al クラッドは、高い成形性を必要とし、かつ外観を重視する様な意匠性部材に適した材料で

表3 Ti/Al クラッド板の加工性 Workability of the Ti/Al clad

Material	Thickness	Drawing test		Bend test
		direction	L.D.R	(180°)
Ti/Al 0.8 mm	0.0	1 A - 1	2.38	Good
	Al Ti	2.40	Good	

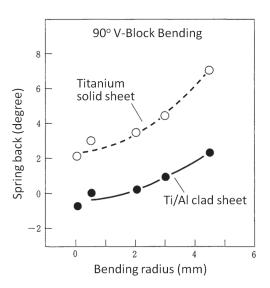


図9 Ti/Al クラッド曲げ加工時のスプリングバック Spring back of the Ti solid and Ti/Al clad sheet

Color development example

Specimen: Ti/Al clad sheetProcessing side: Ti surface

• Method : Anodizing color development

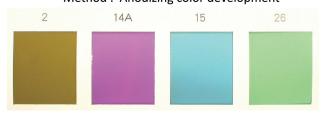


図 10 Ti/Al クラッド板 Ti 面の陽極酸化による発色例 Color development example by the anodizing of the Ti/Al clad (Ti side surface)

ある。

5. 結 言

温間圧延接合法を利用して、SUS/AIクラッドを中心とした広幅クラッドコイルの量産技術を確立した。また標準的なSUS/AIクラッド以外にもCu/SUS/AI、Ti/AI、さらにはSUS/Fe/SUSなどの構成を持つクラッド材料を開発し、従来の金属材料には無い新たな機能を実現している。

今後,新日鐵住金(株)の持つ多様な材料バリエーションと評価技術,利用技術を活用し,さらなる新機能の創生と,さまざまな用途への展開が期待される^{10,11)}。

参照文献

- 1) 土居大治, 鶴田忠, 難波清海, 八尋昭人, 平原一雄: 住友金属. 45 (5), 145 (1993)
- 2) 土居大治, 米満善久: 第184 回塑性加工シンポジウム. 1998,

p. 55

- 3) 中川洋, 中村剛, 大谷泰夫, 原修一: 鉄と鋼. 73 (2), 79 (1987)
- 4) 岩崎信吾,市川利夫,米満善久,浜田幸一,井坂和実:住友金属. 49(4),38(1997)
- 5) 浜田幸一, 井坂和実, 土居大治, 米満善久, 岩崎信吾: 鉄と鋼. 88(2), 66(2002)
- 6) 国元駿策, 米山儀男, 相沢義治:日本ステンレス技報. 17, 163 (1982)
- 7) 前川直人: プレス技術. 34 (7), 38 (1996)
- 8) 三島佳男, 大橋秀行:素形材. 45(3), 30(2004)
- 9) 平原一雄, 難波清海, 市川利夫, 土居大治: 住友金属. 49 (4), 98 (1997)
- 10) 奥井利行, 青木正紘, 岩崎信吾, 川西英賢, 麻植淳:まてりあ. 42(3), 233(2003)
- 11) 奥井利行, 浜田幸一, 青木正紘: CAMP-ISIJ. 17, 1367 (2004)



奥井利行 Toshiyuki OKUI 鉄鋼研究所 チタン・特殊ステンレス研究部 主幹研究員 新潟県上越市港町2-12-1 〒942-8510



米満善久 Yoshihisa YONEMITSU チタン・特殊ステンレス事業部 特殊ステンレス商品技術室



吉田健太郎 Kentarou YOSHIDA チタン・特殊ステンレス事業部 直江津製造所 製造部 技術室