

© 1989 ISIJ

解 説

冷間圧接による金属クラッド薄板の
製造方法と接着機構

石 尾 雅 昭*

Manufacturing Process and Bonding Mechanism of Clad Metals
by Cold Roll Welding

Masaaki ISHIO

1. はじめに

冷間圧接法による電気・電子工業用クラッド薄板の生産は、真空管用材料やバイメタルをはじめとして、30年以上の歴史がある。そしてその用途も拡大し材質や寸法も多様化してきた。特に近年、電子工業製品は、軽薄短小化、高精度化、高密度化が急ピッチで進んでいるが、クラッド材は、このような改善・合理化に役立つ機能材料として、注目を集めている。

その理由は、異種材料を組み合わせることによつて、単独材料では得られない特性が得られることや、複数の機能を同時に持たせたり、単独材料の欠点を補うことができるからである。なお、新しい組合せのクラッド材は、その構成材料間に著しい相互作用がなければ、組合せ後

の性質が、あらかじめ組合せ前の特性から予想できる(表1)。このようなことから、組合せのアイデアしだいで新しい価値を持つクラッド材が続々と開発されている。

図1はクラッド材の応用分野例であるが、各方面にわたる基礎技術に支えられていることを示している。クラッド材は機能材料として使用されることから、ユーザーの使用に供するに際しては、その機能が最大限に生かされるように、調整しておかなければならない。つまり用途に応じた構成材料や板厚比率の選択はもちろん、複合板としての機械・物理・化学的性質や、板の平坦度・板厚精度・表面粗さ等各種の調整が必要である。従つて、圧延・接合・熱処理(拡散制御、化合物生成抑制)・加工(プレス、エッチング、めつき、表面処理)等、多岐にわたった基礎技術の応用が必要になる。今後、各分野の技術進歩に伴い、クラッド材の応用分野も拡大していくであろう。

ここでは、クラッド薄板の製造方法として最も合理的であると考えられる冷間圧接法の概要を述べるとともに、接合に関する機構や技術ならびに用途にも触れてみたい。

2. 製造工程の概要

図2は、製造工程の概要である。工程は、表面処理・圧接・熱処理の三つの重要な工程から始まり、後は単板と同様の、圧延・熱処理・裁断工程へと進む。

まず、素材は脱脂洗浄を十分に行い、清浄なものを用意する。そして素材それぞれについて、スクラッチ・ブラッシング(Scratch-brushing)を行う。この表面処理工程は1st. Stageと呼ばれ¹⁾、処理条件によつては、接合強度に影響を与える²⁾³⁾。

次に、複数枚の素材を重ね合わせて圧延し接合するが、この圧延工程を圧接工程(2nd. Stage)と呼ぶ。ここで得られる複合板は、圧延によつて加工硬化しており、接

表1 複合後の主な特性の計算式

| 項 目 | 複合後の特性の算出式 |
|-------|---|
| 引張強さ | $\sigma_B = \frac{t_1 \sigma_{B1} + t_2 \sigma_{B2} + \dots + t_n \sigma_{Bn}}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$ |
| 縦弾性係数 | $E = \frac{t_1 E_1 + t_2 E_2 + \dots + t_n E_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$ |
| 密 度 | $D = \frac{V_1 D_1 + V_2 D_2 + \dots + V_n D_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n}$ |
| 熱伝導率 | (1) 表面に垂直方向 $\frac{100}{K} = \frac{a_1}{K_1} + \frac{a_2}{K_2} + \dots + \frac{a_n}{K_n}$ (2) 表面に平行方向 $100 K = a_1 K_1 + a_2 K_2 + \dots + a_n K_n$ |
| 熱膨張係数 | (1) 表面に垂直方向 $100 \alpha = a_1 \alpha_1 + a_2 \alpha_2 + \dots + a_n \alpha_n$ (2) 表面に平行方向(2層の場合) $\alpha = \alpha_1 + \frac{(\alpha_2 - \alpha_1) t_2 E_2}{t_2 E_2 + t_1 E_1}$ |

σ_B : 引張強さ t : 各構成材の厚さ E : 縦弾性係数 D : 密度
 V : 各構成材の体積 K : 熱伝導率 a : 各構成材の厚さ比
 α : 熱膨張係数

昭和63年10月29日受付(Received Oct. 29, 1988)(依頼解説)

* 住友特殊金属(株)吹田製作所(Suita Works, Sumitomo Special Metals Co., Ltd., 2-19-1 Minamisuita Suita 564)

Key words: clad metal; cold roll welding; bimetal; scratch brushing; diffusion bonding; insert metal; intermetallic compound.

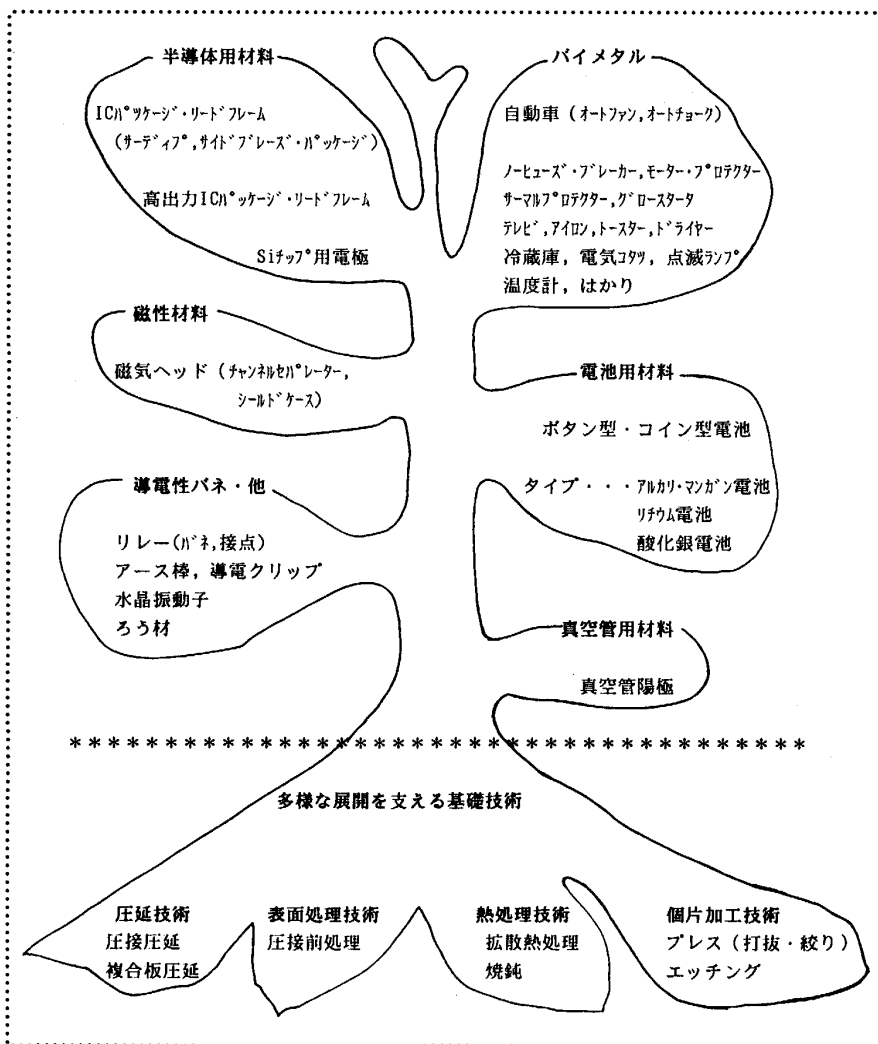


図1 クラッド薄板の電気・電子機器への応用分野

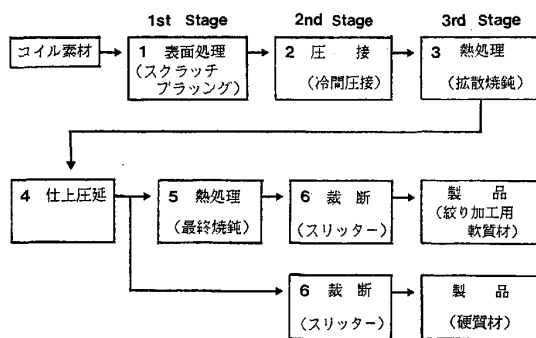
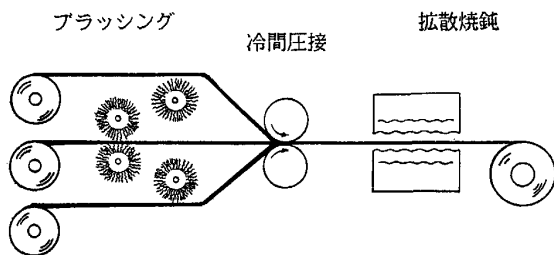
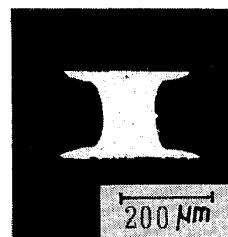


図2 製造工程の概要



溶失 (斜線部)



42Ni-6Cr-Fe

写真1 42Ni-6Cr-Fe/SUS430/42Ni-6Cr-Fe 三層クラッドの塩化第二鉄エッチング後の断面 (リードの先端観察)

は、接合境界の金属の相互拡散によって接合強度を上げるという主目的の他に、加工硬化した複合板を軟化する意味があり、拡散焼鈍 (3rd Stage) と呼んでいる。

ここまでの3段階の工程からなる製造法は、G. DURST によって Three-step process¹⁾ として提唱されたものである。3段階の工程を通過したクラッド板は、もはや単板と同じ取扱いが可能になり、圧延・絞り加工等、かなり過酷な塑性加工にも耐えるが、次の点に注意せねばならない。

素材の組合せによつては、熱処理時に金属間化合物が

合境界は接着部が点在しているのみで、不安定である。そこで圧接後は、すみやかに熱処理を行う。この熱処理

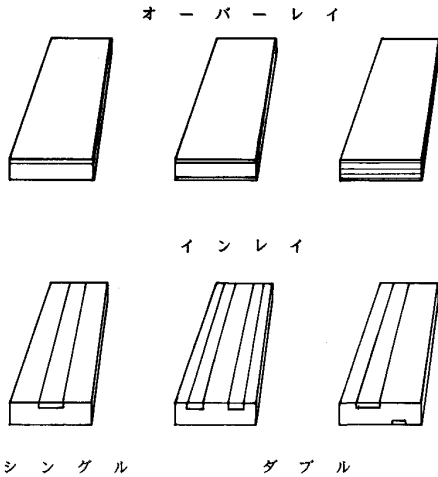


図3 冷間圧接法によるクラッド板の代表的形状

生じて、接合力が低下する場合 (Al-Fe, Cu-Ti 他) がある。また構成材料の機械的性質に大きな差がある場合には、圧延中にそりが生じたり、板厚比率に変動を生ずることがある。クラッド板のプレス加工時には、構成材の変形能の差によつて、成形性に影響を及ぼす場合がある⁴⁾。また、温度の変化にともないわん曲を生ずるバイメタルの加工においては、成形時の温度管理が極めて重要である。めつき・エッチング加工では、異種材料が隣り合う断面において局部優先的な電着や溶解がおりやすい (写真1)。

このように、圧延技術・熱処理技術・プレス、成形技術・めつき、エッチング技術等各分野においては、クラッド材をあつかう上で固有の技術が必要である。

以上、製造工程は特殊な工程の組合せで構成されており、特別な技術も必要であるが、うまく量産化できた場合のメリットは大きい。すなわち当方法は、長尺のコイル素材を用いて、連続的に圧延接合することから、熱間圧接法や、爆着法と比較して、品質の良いコイルが歩留り良く得られる特徴がある。また、材質の組合せおよび形態のパラエティに富むこともあげられる (図3)。次章では、主要工程それぞれについて説明する。

3. 主要工程の解説

3.1 冷間圧接の接合機構

接合の機構および接合に影響を与える因子についての研究は、古くから行われており、実験に基づいて接合の機構が考えられている^{2)3)5)~8)}。一般的に、金属の固相接合には、金属の清浄な面を対向させて加圧して接合する方法や、摩擦して接合する方法がある⁹⁾。

圧延機を用いて接合する冷間圧接は、これらふたつの方法 (加圧・摩擦) を連続的に行うものである。最近では、摩擦を積極的に利用するために、接合面に摩擦を起こさせる異周速圧接の実験も進められている¹⁰⁾。

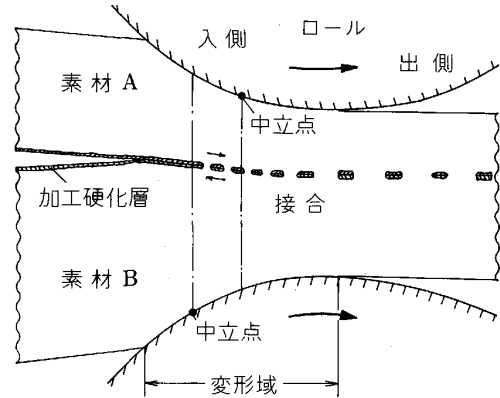


図4 冷間圧接の概念図

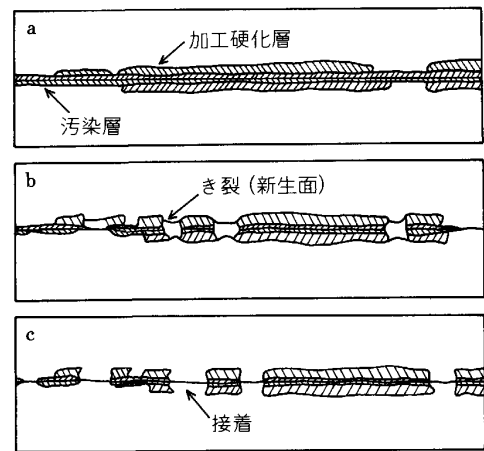


図5 接合の機構

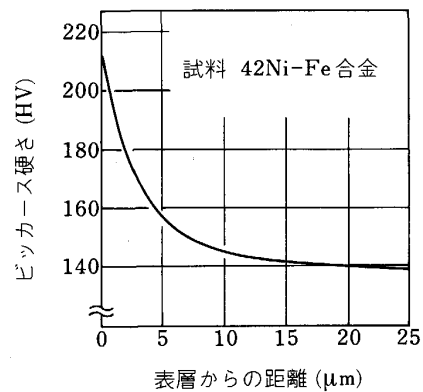


図6 スクラッチ・ブラッシング後の表層硬さ

図4、図5は、圧接・接合機構の概念図である。圧接に際し、素材金属の表面は、スクラッチ・ブラッシングで生成した加工硬化層で覆われている。この表面硬化の一例として、Fe-42Ni合金板についての測定結果を図6に示す。スクラッチ・ブラッシングした表層は、焼鈍母材に比べ著しく硬化しており、従つて伸びは低下している。こうした前処理を施した面を対向させて圧延を行

うと、加工硬化層に優先的にき裂を生じる。これは、加工硬化層の伸びが母材の伸びに追従しないからである(図5-b)。表層に生じたき裂は、ロール出側にいくに従いさらに広がり、新生面が露出する。新生面は、圧延圧力によつて表層に押し出され、対向した新生面どうしが接着する(図5-c)。

なお、異種材質を重ね合わせ圧延することから、圧延時には、上下非対称(塑性変形能・摩擦)となり、上下の中立点が異なり、接合面に、摩擦力・せん断力が働く。これらの力は、き裂の開口および新生面の接着に効果的に寄与していると考えられる。

安定した接合に必要な最低の圧延率は、素材の組合せによつて異なるが、これはそれぞれの材質によつて、新生面の露出と押出しに要する変形量および圧力に差があるからである。一般的に、変形抵抗の低い材質のほうが低い圧延率で接合できることが知られている。このため圧接用素材としては、焼鈍により軟化した材料を使用す

ることが有利であり、変形抵抗を下げるために、圧接時の温度を上げる方法も、組合せによつては有効になる場合がある¹¹⁾。図7に、AlとSUS304を加熱接合した際の接合強度と温度の関係を示すが、約400°Cに加熱することによつて、20%の低い圧延率で圧接できることがわかる。(常温では50%程度の圧延率が必要であり、SUSとAlの同時焼鈍が不可能なこの場合、深絞り加工が行えない。)したがつて、Al-SUSクラッド板は、加熱圧接法(低圧延率圧接)で製造した場合には深絞り加工に耐える。この加熱は、熱間圧接ほどの高温でないことから、冷間圧接の応用分野であると考えられる。写真2に当クラッド板の深絞り加工例を示す。

なお、圧接前の表面処理方法によつても接合強度が異なる³⁾が、レーザー光線照射による表面処理も効果的な方法であることが確認されている¹²⁾。これはレーザー

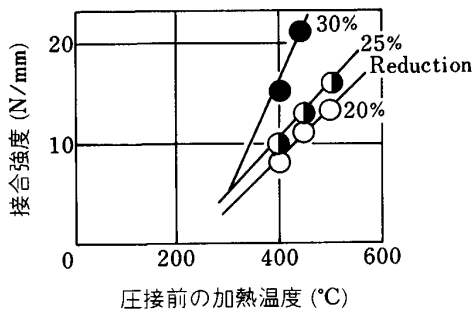


図7 Al-SUSクラッドの接合強度と温度の関係

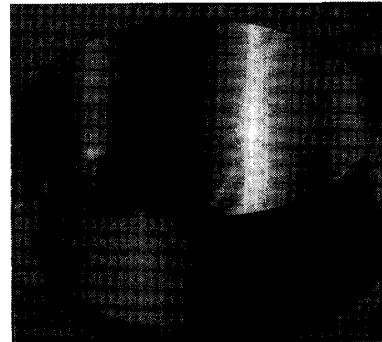
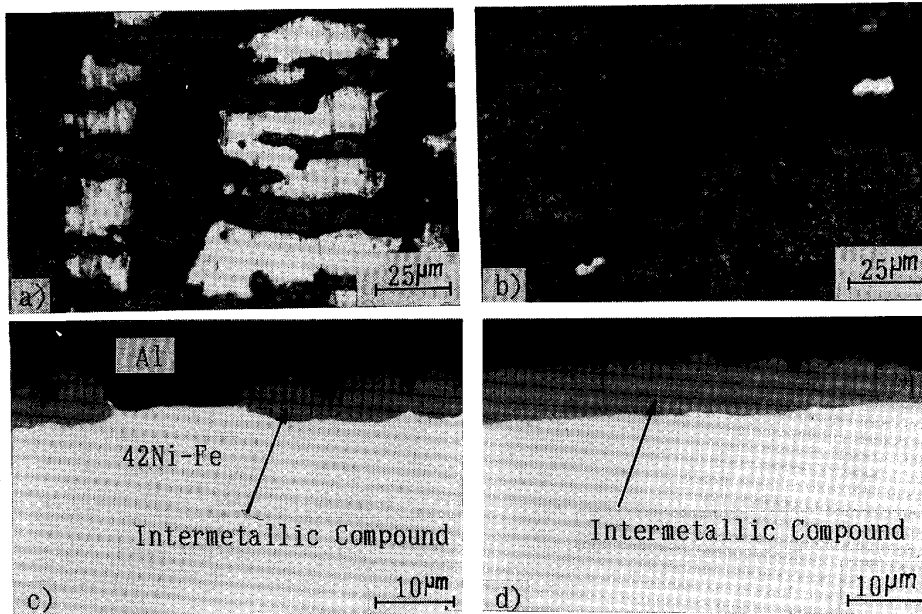


写真2 SUS430/Alクラッドの深絞り加工例(外層:SUS430 外径:200φ)



a) 接合表面(前処理:スクラッチ・ブラッシング) b) 接合表面(レーザー)
c) 接合部断面(スクラッチ・ブラッシング) d) 接合部断面(レーザー)

写真3 Al/42Ni-Fe合金の接合部の比較写真(圧接後530°C×5min熱処理を施し合金層を生成した場合)

光によつて金属表面が蒸発清浄化され、同時に表面に極めて薄い溶融急冷凝固層が生成するというもので、圧接時には新生面が均一に発生し、良好な接合が得られる。写真3は、スクラッチ・ブラッシングとレーザー光による表面処理を行つた場合の、接合部の比較である。(組合せ: Al/42 Ni-Fe 合金) 接合の状況を確認するために、圧接後 530°C 5 min の熱処理を施し、合金層の成長をX線マイクロアナライザーにて観察している。

スクラッチ・ブラッシングにて表面処理を行つたものは、加工硬化層と裂開口部の合金層の成長は著しいものの、薄い部分もあり、厚みにむらがある。これに対して、レーザー光による表面処理を施したものは、接合面一面に均一な合金層の成長が確認されている。

3.2 拡散焼鈍

冷間圧接後の複合板は、接合が不安定である場合が多く、通常圧接後はすみやかに熱処理を行う。この熱処理によつて、接合境界での金属原子の拡散がおこり、接合力が上昇するとともに圧延で加工硬化した材料がなまされる。拡散の効果を上げるために必要な温度は、 $T = (0.4 \sim 0.6) \times T_m$ (T_m : 融点 K) が一応の目安になる¹³⁾。ただし最適温度は材料の組合せによつて異なり、熱処理温度によつては接合強度が低下する場合がある。K. J. B. McEWAN⁵⁾らは、種々の組合せについて、熱処理条件と接合強度ならびに接合界面の調査を行つているが、次の場合に特に注意が必要であると述べている。

ひとつは固溶体を作る組合せ(例 Cu-Ni, Ag-Cu)で、焼鈍温度を上げ過ぎると接合界面に空孔がならび接合強度が低下する(写真4)。もうひとつは塑性変形しにくい金属間化合物を作る組合せ(例 Al-Cu, Al-Fe)で、接合界面に生じた脆い化合物が厚くなると、加工時に化合物層の破壊がおこつて接合が維持できなくなる場合がある(写真5)。

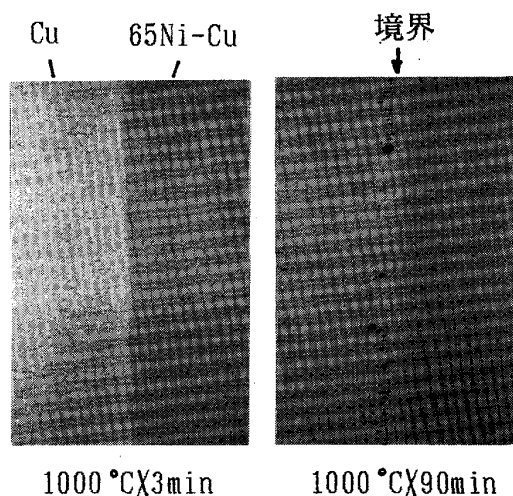


写真4 Cu/65Ni-Cu クラッドの熱処理によるポイド生成

このような組合せの場合、インサート材を挿入するかヒートパターンを工夫して、空孔や金属間化合物の生成を抑制する必要がある。インサート材についての研究は、拡散接合の分野で精力的に行われており、組合せに応じた材質の選択が考えられている¹³⁾¹⁴⁾。

なお、拡散焼鈍がうまく行われて安定した接合強度を持つクラッド板は、もはや単板と同様の取扱いが可能となり、圧延・絞り加工等種々の塑性加工が行える。

3.3 クラッド板の圧延

冷間圧接・拡散焼鈍を施したクラッド板は、その接合が良好であるかぎり過酷な圧延加工にも耐える。20段圧延機を駆使すれば20~30ミクロンの厚みにまで加工することができる。ただし以下に述べるような注意が必要である。

二層材もしくは三層材で第一層と第三層の性質が異なる場合には、圧延加工によつて幅方向のそりや長手方向のそりが生じやすい。この時の性質とは、塑性変形抵抗や、加工硬化能、ヤング率、線膨張係数、ロールとの摩擦係数等が上げられる。特にバイメタルは高膨張材と低膨張材で構成されていることから、圧延中のそりが大きく、圧延中と圧延後の温度変化による新たなそりも加わることになる。鈴木らはバイメタルの圧延を上下非対称圧延として取り扱い、これらの特徴ある現象の解析を試

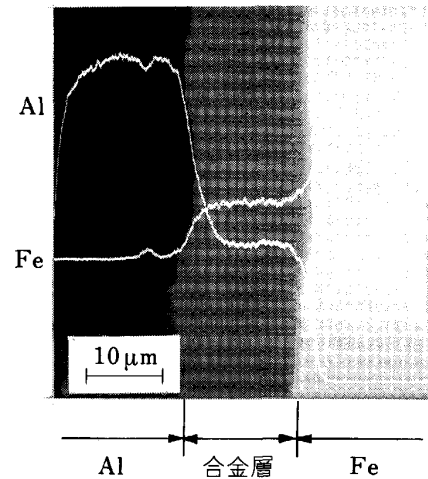


写真5 Al/Fe クラッドの熱処理による合金層の生成 (600°C×30 min 熱処理後のX線マイクロアナライザーラインプロファイル)

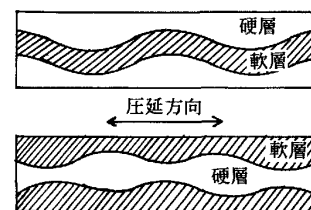


図8 過酷な圧延で生じる硬質層のくびれモデル(断面)

みている¹⁵⁾。その制御は、径差ロールの使用・パストライン調整・異周速圧延等が効果的である。

また三層以上の多層材の冷間圧延時には、塑性不安定現象^{16)~18)}と呼ばれる問題に注意する必要がある。これはCuとSUS、AlとSUSのように塑性変形能に大きな差がある場合、硬い方の層にくびれが生じ、圧延率が増すにつれてくびれが深くなり破断に至るというものである(図8)。このような場合、焼鈍後の圧延率が大きくなりすぎないように対策が必要である。

4. 用 途

4.1 半導体パッケージ用クラッド材料(表2)

ICの高性能化に伴い、パッケージに対しても高密度実装・多機能化のための小型化・多ピン化や、低コスト化が要求されている¹⁹⁾。さらにパッケージの構造も多様化しており、その種類によっては、リードフレームとしてクラッド材が使用される場合がある。たとえばセラミックパッケージのメタライジング導体との接合には、銀ろうストライプクラッドが使われ、パッケージの側面であらう付けされる。またサーディプと呼ばれるパッケージでは、SiチップとAlワイヤでボンディングするために、リードフレーム側の必要部分にAlをクラッドし

た材料が用いられる。なおこうした他の部品との接合性を向上させるだけでなく、単板では望めない性質(熱伝導率・電気伝導率・熱膨張係数・強度)を持つクラッド板は、リードフレームや電極リード・回路基板等にも応用分野が広がっている。

4.2 バイメタル(表3)

熱膨張係数の異なる合金を接合した二層以上の構造のクラッド材であり、温度変化によつてわん曲する性質を有する。バイメタルに通電して発熱させるか、雰囲気温度変化によるわん曲を利用して、過電流遮断機や、各

表3 バイメタル

| 構成材料 | | | 用 途 |
|----------------------------------|-------------------|-------------------------|---|
| 高膨張側 | 低膨張側 | | |
| Zn-Cu 合金 | Ni-Fe 合金 | Ni-Fe 合金 | 点滅燈・はかり温度補償 自動車(オートファン・オートチョーク)・ブレーカー テレビ色ずれ防止・アイロン |
| Ni-Mn-Fe 合金 | Ni-Fe 合金 | Ni-Fe 合金 | |
| Ni-Cr-Fe 合金 | Ni-Fe 合金 | Ni-Fe 合金 | |
| Cu-Ni-Mn 合金 | Ni-Fe 合金 | Ni-Fe 合金 | ノーヒューズブレーカー・サーマルプロテクター スチームトラップ |
| Ni-Cr-Fe 合金 | Ni-Cr-Fe 合金 | Ni-Cr-Fe 合金 | |
| 高膨張側 | 中間層 | 低膨張側 | ノーヒューズブレーカー サーマルプロテクター モータープロテクター・冷蔵庫 等各種温度調節器 |
| Ni-Mn-Fe Ni-Cr-Fe Cu-Ni-Mn | Ni Zr-Cu Cu | Ni-Fe Ni-Fe Ni-Fe | |

表2 ICパッケージ用リードフレーム

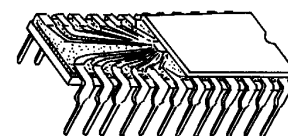
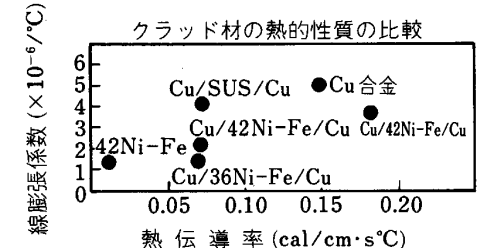
| 構成材料 | | | | 特 長 | 用 途 |
|--------|-----------------------|---------|-----|---|--|
| 部分クラッド | Alストライプ Al | 42Ni-Fe | | Alワイヤーボンディング容易 |  |
| | 銀ろう ストライプ Ag-Cu | 42Ni-Fe | | ろう付け容易 | |
| 全面クラッド | 被覆材 | 芯 材 | 被覆材 | 高強度・高電導度 低膨張係数 縦膨張係数(×10 ⁻⁶ /°C) クラッド材の熱的性質の比較  | |
| | Cu | 36Ni-Fe | Cu | | |
| | Cu | 42Ni-Fe | Cu | | |
| | Cu | SUS | Cu | | |
| Cu | Fe | Cu | | | |

表4 電池用材料

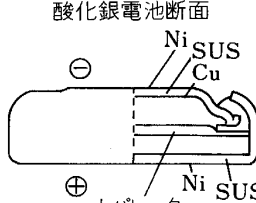
| 構成材料 | | | 特長・用途 | 使用例 |
|------|-----|----|---------------------------------|--|
| Cu | SUS | Ni | 絞り性・耐食性良好 低接触抵抗 用途……一極ケース |  |
| Cu | Fe | Ni | | |
| Cu | SUS | | 用途……+極ケース | |
| Ni | SUS | Ni | 用途……+極ケース | |
| Ni | SUS | | 用途……+極ケース | |
| Al | SUS | Ni | キャパシターケース | |

表 5 磁性材料・接点・ばね・他材料

| 構成材料 | | | 特 長 | 用 途 |
|------------------|---------------|------------------|-----------------|---------------|
| Ni-Cu (キュプロニッケル) | Ni-Fe (パーマロイ) | Ni-Cu (キュプロニッケル) | 高透磁率材を非磁性材で被覆 | 磁気ヘッド用シールド板 |
| Ni-Fe (パーマロイ) | SUS | Ni-Fe (パーマロイ) | 高透磁率, 耐摩耗性 | 磁気ヘッド用シールドケース |
| Ag | Cu | Cu-Ni | 導電性良・溶接性良・低接触抵抗 | 接 点 |
| SUS | Cu | SUS | 導電性良・高強度 | リレー用導電ばね |
| Cu | SUS | | | 導電ばね・クリップ |
| Ni | SUS | | | 導電・接触ばね |
| Cu | Fe | Cu | | 導電性良・高強度 |
| Cu | | Ni-Co-Fe | ガラスとの封着性良 | 水晶振動子ケース・半導体 |
| Cu | SUS | Cu | Cu はろう材として使用 | 熱交換器他・ろう付け用 |
| Ti | ML | Ti | 低融点・ぬれ性良好・高強度 | Ti 用ろう材 |
| ML | Ti | ML | | |

種感熱スイッチに使用されている。なお通電時の発熱量(わん曲量)の調整のために、中間層に Cu や Cu 合金・Ni 等を挿入したバイメタル(トリメタル)があり、各種の電気抵抗率を有するようにシリーズ化されている。

4.3 マイクロ電池用材料(表 4)

時計・電卓・カメラ等の小型電子機器に用いられるマイクロ電池は、アルカリ・マンガン・酸化銀・水銀・リチウム等のタイプがあり、構造は、ボタン型・コイン型が主流である。マイクロ電池の容器としては、強度があり良好な絞り加工性・耐食性・導電性が要求される。図 9 に酸化銀電池の構造を示す。負極側の封口板は、Cu-SUS 304-Ni が使用されるが、Cu は負極活物質との反応において電気化学的安定性を得るために、また外装の Ni は、外部端子との接触抵抗を下げるために必要である。なお中間層の SUS304 は、正極とのかしめに対して変形せず適当な反発力をもつて封口する際に有効である。

4.4 磁性材料・接点・ばね・他材料(表 5)

軟質磁性材料を非磁性材料で被覆した材料は、磁気ヘッドのシールドやチャンネルセパレーターに用いられる。また耐摩耗性に優れた SUS とパーマロイのクラッドは、ケース材に使用され初期性能の維持に効果を上げている。

接点材は、接触抵抗が低い Ag・導電性の良い Cu・溶接性の良い Ni 合金の組合せが合理的である。導電性ばね材は、Cu と SUS・Ni と SUS 等の組合せがあるが、導電率・強度は板厚比率・圧延率による調整が可能である。他の用途としては、水晶振動子のケースや、ろう材等多岐にわたっている。

5. む す び

製造工程の流れに沿って解説を進めてきたが、複合板の製造には、多方面の技術の応用が必要であることが御理解いただけたであろう。これからの複合板の応用分野拡充のために、各専門分野(塑性加工・拡散・界面表面科

学等)での複合板に焦点をあわせた研究が期待されることである。紙面の都合上、技術的内容はいささか定性的となつたが、詳細は現在も研究が進められているものが多く、部分的には末尾の文献が大変参考になると思われる。

おわりに、当解説をまとめるにあたり、御協力いただきました住友特殊金属(株)吹田製作所 乾 一 主任部員・三浦博志氏に深く感謝いたします。

文 献

- 1) G. DURST: J. Met. (1956) 3, p. 328
- 2) L. R. VAIDYANATH, M. G. NICHOLAS and D. R. MILNER: British Weld. J., 6 (1959), p. 13
- 3) L. R. VAIDYANATH and D. R. MILNER: British Weld. J., 7 (1960), p. 513
- 4) 近藤一義, 平岩正至: 第 114 回塑性加工シンポジウム(塑性加工学会編)(1988), p. 41
- 5) K. J. B. McEWAN and D. R. MILNER: British Weld. J., 9 (1962), p. 406
- 6) J. A. CAVE and J. D. WILLIAMS: J. Inst. Met., 101 (1973), p. 203
- 7) P. K. WRIGHT, D. A. SNOW and C. K. TAY: Met. Technol. (1978) 1, p. 24
- 8) N. BAY: Weld. Research Supplement (1983) 5, p. 137-s
- 9) 益本 功: 金属, 3 (1971), p. 10
- 10) 中村雅勇, 牧清二郎, 松田忠明, 永井直記: 塑性と加工, 29 (1988), p. 404
- 11) 中村 保, 近藤一義: 塑性と加工, 28 (1987), p. 1150
- 12) 川上 誠, 中村恭之, 乾 一: 日本金属学会一般講演概要(1987), p. 425
- 13) 橋本達哉, 田沼欣司: 溶接学会誌, 36 (1967), p. 1266
- 14) 益本 功, 玉置維昭, 寺井 清, 永井義夫: 日本金属学会会報, 9 (1970), p. 653
- 15) 鈴木 弘, 荒木甚一郎, 新谷 賢: 塑性と加工, 13 (1972), p. 114
- 16) 小野寺龍太, 外本和幸: 日本金属学会会報, 26 (1987), p. 1028
- 17) 志村宗昭, 田中英八郎: 日本金属学会会報, 14 (1975), p. 707
- 18) 外本和幸, 小野寺龍太, 清水峯男: 塑性と加工, 29 (1988), p. 965
- 19) 坂本光雄: 日本金属学会会報, 24 (1985), p. 494