

# 高機能商品対応の新接合技術の開発

## Development of a Novelty Joining Technology for High Functional Materials

齊藤 亨<sup>\*(1)</sup> 一山 靖友<sup>\*(2)</sup> 宮崎 康信<sup>\*(2)</sup> 小原 昌弘<sup>\*(3)</sup>  
*Tohru SAITO Yasutomo ICHIYAMA Yasunobu MIYAZAKI Masahiro OHARA*  
 北口 三郎<sup>\*(2)</sup> 下田 信之<sup>\*(2)</sup> 浜谷 秀樹<sup>\*(4)</sup> 森本 裕<sup>\*(2)</sup>  
*Saburo KITAGUCHI Nobuyuki SHIMODA Hideki HAMATANI Hiroshi MORIMOTO*  
 及川 初彦<sup>\*(2)</sup> 崎山 達也<sup>\*(4)</sup>  
*Hatsuhiko OIKAWA Tatsuya SAKIYAMA*

### 抄 録

近年の新日本製鐵の事業領域の拡大に伴って、開発された新しい素材及び部品に対する溶接・接合技術と関連技術のいくつかを紹介した。次に示す各分野でのそれら技術を概説した。1) エレクトロニクス分野でのワイヤボンディング、光ケーブル用金属保護管のレーザ溶接、2) 航空宇宙機器分野でのジェットエンジン部品の補修のための液相拡散接合とプラズマ溶射、又、傾斜機能材料の溶射技術、3) 自動車分野での触媒コンバーター用メタル担体におけるろう付とチタン合金エンジンバルブへの肉盛技術や、更に、鋼板とアルミニウム板の異材接合技術、4) 建材分野でのスタッド溶接技術、5) 製鉄機械を対象とした溶射技術である。

### Abstract

In this paper, welding and its related technologies for some new materials, devices and parts are introduced which have been developed by Nippon Steel with the recent advance of extending its business, including the following technologies in various fields, i.g., wire bonding and laser welding of metal sheath for optical fiber cables in the electronics field, transient liquid phase diffusion bonding and plasma spraying for repairing jet engine parts and plasma spraying of Functionally Gradient Materials in the aerospace field, brazing for metallic supports used for catalytic converters for engines, cladding for engine valves made of titanium alloys and joining of dissimilar materials such as steel and aluminum in the automobile field, stud welding in the building materials field, spraying for steel making apparatuses, and so forth.

## 1. 緒 言

近年、新日本製鐵では事業領域の拡大が進み、電子、航空宇宙、自動車、建材などの各分野に向けて各種機能素材・部品を提供する機会が増加した。これに伴って鋼材を対象とする従来の溶接技術以外に、新しい接合技術の開発が必要となった。ろう付、レーザビーム、超音波などによる微細接合・精密接合技術への取組み、従来からの抵抗スポットやスタッド溶接技術の見直し、改善、更には、溶接技術と近い関係にある肉盛や溶射技術の開発を進めてきた。本文にその中のいくつかを紹介する。又、新規事業関連ではないが、製鉄設備の長寿命化に向けての溶射技術の開発を進めており、これについても本文で紹介する。

## 2. 電子部品分野での接合技術

### 2.1 集積回路におけるワイヤボンディング

マイクロエレクトロニクスの発達により、電子機器の小型化、高

機能化が進み、その要素である集積回路の実装技術も微細化へ向かって大きく進展している。ワイヤボンディングはその実装技術の一つであるが、配線ピッチが年々微細化されるに伴い、接合部への信頼性はより重要となってきた。ワイヤボンディングの基本プロセスは、図1に示すように、ボンディングワイヤ先端を放電アークによって溶融してボールを形成し、これをキャピラリによって加圧圧着する方法である。接合機構としては固相拡散接合に属するが、25 $\mu\text{m}\phi$ 程度の微細なワイヤが用いられるため、接合部の直径は60~100 $\mu\text{m}$ と現状では最も小さな接合方法である。

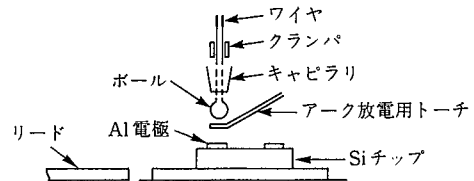


図1 ワイヤボンディングの基本プロセス

\*<sup>(1)</sup> 技術開発本部 鉄鋼研究所 接合研究センター 主幹研究員  
 \*<sup>(2)</sup> 技術開発本部 鉄鋼研究所 接合研究センター 主任研究員

\*<sup>(3)</sup> 技術開発本部 鉄鋼研究所 接合研究センター 主任研究員 Ph. D.  
 \*<sup>(4)</sup> 技術開発本部 鉄鋼研究所 接合研究センター 研究員

表 1 ワイヤボンディングの信頼性の項目と影響因子

信頼性の項目	影響因子
ボンディングワイヤの断線	素線, 熱影響部強度 熱影響部 (ネック部) 疲労
ワイヤ/パッド界面破壊	接合界面強度 ・ボンディング初期の強度 ・高温, 長期放置後の強度
ワイヤスイープによる短絡	素線強度, 剛性
腐食進行による断線	Al メタライズ腐食

集積回路の信頼性に対するワイヤボンディングの課題を表1にまとめた。この中で初期信頼性(製造時, 又は使用初期)としてワイヤ熱影響部の強度低下が重要な課題となる。ボンディングワイヤは99.99%純度のAuを用い, 数ppm程度のドーパント(添加元素), 及び伸線加工後の調質熱処理によって必要な強度に調整されている。ボンディング時のボール形成の際にワイヤが熱影響を受けて再結晶, 粒成長するため一般にその部分は強度が低い<sup>1)</sup>。極細線用として開発した研磨/腐食法によるAuワイヤのマイクロ組織の一例を写真1に示すが, ボール近傍の熱影響部で粒成長していることが観察できる。この熱影響部の機械的性質を測定するため, ボール形成時と等価な熱サイクルを与えることのできる熱影響部再現試験装置を開発した<sup>1)</sup>。図2に構成を示すが, 加熱応答性の高いパルス通電加熱方式を用いたものである。この装置を用いて種々のワイヤの熱影響部破断荷重を調べた結果を図3に示す。ワイヤ素線の段階では引張強度は160~240MPaの範囲であるが, 熱影響部の引張強度は素線より30~40%低下して100~160MPaとなること, ドーパント成分によって左右されることが判明した<sup>2)</sup>。これらの結果は熱影響部特性の優れたワイヤの開発につながった。

Auワイヤ/Al電極の界面の接合強度も重要な課題である。その接合機構は加熱・加圧時にAl電極表面の酸化膜が破壊されて新生面が生じ, その間での相互拡散によって強度が得られる。従って接合部の強度は形成された合金相の面積に比例し, 一次近似としては接

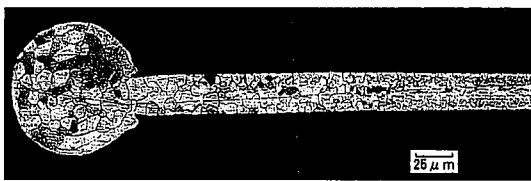


写真 1 ボンディングワイヤのボール近傍マイクロ組織 (25μmφ, 4N-Au)

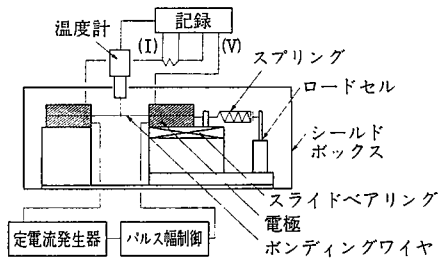


図 2 ボンディングワイヤ熱影響部再現試験装置

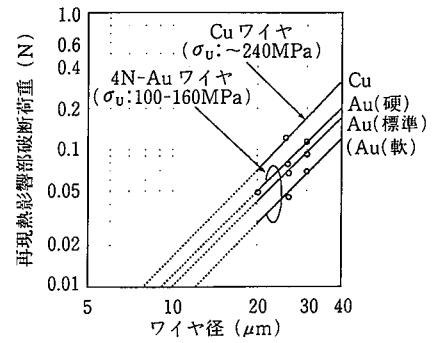


図 3 ボンディングワイヤ再現熱影響部の破断荷重と引張強度(σ<sub>u</sub>)

合部面積で推定でき, 一般的な接合条件では接合部せん断強さはおよそ100MPaとなることが分かった<sup>2)</sup>。高温に長期保持された場合, 界面強度はカーケンダルボイドの生成により著しく低下する。この対策として接合条件の改善などがなされているが, 今後取り組むべき重要な課題となっている。

## 2.2 光ケーブル金属保護管のレーザ溶接

情報化社会を支える通信用ケーブルとして光ファイバケーブルが脚光を浴びている。光ファイバは約0.1mmφの石英クラッドファイバ素線にウレタン系有機被覆を施し0.4mmφとしたものであり, 単線で使用される場合と何本か合わせたものに有機系被覆を施して1本のケーブルとする場合がある。このケーブルは水中, 地中など過酷な環境下での敷設には適さないため, 光ファイバを金属管内に挿通した金属被覆光ファイバケーブルが開発されており(商品名:ピコループ/日鐵溶接工業(株))<sup>3)</sup>。下水道通信網向けなどに使用されている。この金属被覆光ファイバケーブルは, あらかじめ製造した金属管に光ファイバを挿通して作られるため, 長さには限度があり, 例えば, 海底送電用ケーブルにこれを組み込む場合には, 長尺化のための接合技術が必要となる。

被覆用のステンレス管(例えばSUS304)は外径1.5mm, 内径1.1mm(肉厚0.2mm)程度の寸法であり, これに光ファイバを挿通すると, ファイバ表面と被覆管内壁との距離はわずか0.35mmとなる。ファイバに被覆された有機被覆の耐熱温度は瞬時で約200°C, 常時で約60°Cである。このため, 金属管の接合には小入熱の精密接合技術が必要となり, レーザによる溶接技術を開発した<sup>4)</sup>。突合せ溶接では管内にレーザ光やプラズマが漏れると, 光ファイバを熱的に損傷するため, 図4に示すような隅肉の部分溶け込み溶接を採用している。又, 連続的に溶接すると, 管内壁からの輻射熱が光ファイバを損傷するため, レーザパルスによるスポット溶接とし, これを部分的に重畳して連続的な溶接部を得ている。例えば, 約30Jのレーザパルスを照射して直径0.5mm, 溶込み深さ0.3mm程度のスポット溶接部を形成する。この場合, 溶接部直下の管内面温度は瞬間的に600°C近くに達し, 200°Cまでの冷却には1.1秒, 100°Cまでは4.4秒必要であっ

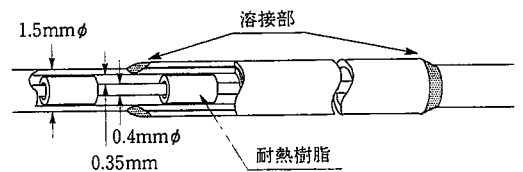


図 4 金属被覆管溶接接続部の構造

た。

管内に断熱材を配置することが望ましいが、隙間が0.35mm という制約と、後の使用時にこの断熱材が光ファイバを損傷するという恐れがある。

このため、最終的に光ファイバを被覆管中心軸に固定して、被覆管内壁と光ファイバ間に空気層を確保し、休止時間を長くとしたスポット溶接を繰り返すことで、ファイバの損傷を回避した。こうして得られた金属被覆管の溶接部は、気密性が達成され、強度的にも優れ、引張試験では母材で破断し、圧壊試験では溶接金属での割れが発生しないレベルを達成している。

### 3. 航空宇宙機器分野での接合及び関連技術

#### 3.1 ジェットエンジン部品の補修

ジェットエンジンの高圧タービン部におけるブレード、ペーン、ダクトセグメントなどの部品は、表2<sup>2)</sup>に示すように非常に過酷な環境で使用されるため、使用時間の経過とともに様々な劣化が進行する。この劣化、損耗が過度に進行する以前に、補修して部品寿命を延長し、安全性を保ちつつ、エンジンの整備費用の削減が図られる。補修対象は、エンジンの心臓部に使われる部品であるため、補修は、これまで長く、エンジンメーカー及びそこから補修資格を取得した極く限られた専門企業によってのみ実施されてきた。

こうした状況の下、このような補修を専門にする日本最初の企業として、日本航空(株)と新日本製鐵との合弁により日本タービンテクノロジー(株)が1988年4月に設立され、1990年に一部部品の補修操業を開始した。以来、米国連邦航空局の部品補修工場としての認定をも取得し、順次補修部品種を拡大しつつ今日に至っている。各種の補修資格取得にあたって、溶射技術、接合技術及び材料技術について様々な形で基本的な実験を行い、細部の検証をおこなってきたが、ここではその一端を紹介する。

##### 3.1.1 液相拡散接合

ペーンには、過酷な状況の下での使用により、写真2に示すよう

表 2 高圧タービン部品の使用環境

燃焼ガス	* 燃焼室出口最高温度 1220-1460°C * 圧力比 22-30 * 毎時約3t(巡航時)消費される燃料ケロシン中の微量有害成分 * 毎時150t(巡航時)程度も使用される燃焼空気中の酸素、粉塵、火山灰、海水成分
温度変化	* アイドル—離陸—巡航—降下—着陸の激しい急熱・急冷の繰り返し
温度勾配	* 冷却空気の通る内部と燃焼ガスに触れる外部表面との大きな温度差
回転(ブレード)	* 8 000-10 000rpmによるモーメント * ダクトセグメントとの接触

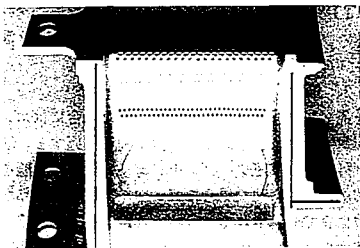


写真 2 数千時間使用後のペーンの亀裂

な微細な疲労亀裂が生じる。従来、TIG 溶接によって補修されていたが、最近、これに代わって、TURBOFIX™や ADH と呼ばれる液相拡散接合技術を用いて補修する技術が開発され、実用化が始まった<sup>3)</sup>。

この方法は、亀裂内に生じた酸化物、硫化物を水素若しくは弗化水素ガスによる高温還元をもって除去した後、亀裂表面に接合材を塗布した部品を炉加熱し、接合材を亀裂内部に溶かし込む技術である。接合材は融点降下材として B を含む母材と類似の合金でできており、加熱時に母材融点よりも低い温度で溶融し、亀裂内部に界面張力によって浸入する。亀裂内部に接合材が充てんされた後、引き続き高温で部品を保持すると B が母材中へ拡散してゆき、その結果、写真3の高温顕微鏡による観察結果<sup>7)</sup>に見られるように接合材充てん部の平均融点は上昇し、等温凝固が始まる。引き続き十分な時間、部品を高温保持することによって接合材充てん部は母材と類似の成分、金属組織となって凝固が完了する。

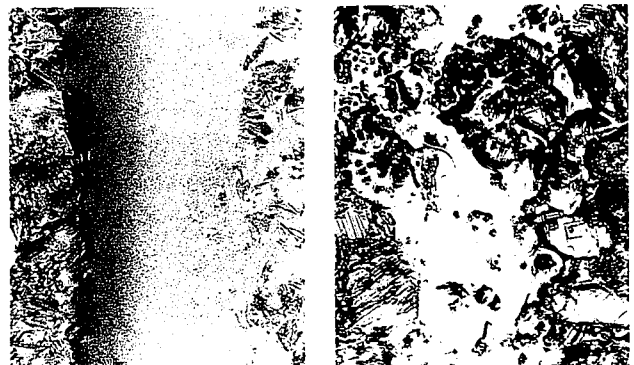
この方法は、このような金属組織的な利点とともに、大量処理が可能、溶接のような特殊技能が不要、熱変形が少ない等の特徴から従来の溶接補修に置き換わりつつある。

##### 3.1.2 耐熱皮膜溶射

ジェットエンジンで高温で使用される部品は、耐熱性と同時に耐酸化特性が要求される。このため部品表面には特殊な耐熱皮膜が形成される。この耐熱皮膜には Al が合金成分として含まれており、エンジンの使用中に耐高温酸化特性の優れたアルミナ皮膜が生成するようになっている。更に、このアルミナ皮膜は、熱応力によって、はくりしてもすぐに新しい皮膜が生成して母材を保護する。

こうした皮膜の形成方法の一つとして減圧プラズマ溶射技術(Low Pressure Plasma Spray : LPPS)がある。この溶射は数10Torrの減圧 Ar 雰囲気中で施工されることから、大気溶射に比較して極めて清浄度の高い皮膜の形成が可能である。又、減圧雰囲気であることから、プラズマ長が長く溶射粒子の溶融が容易であると同時に溶射粒子の速度が速く、密着性に優れた皮膜を形成できることが特徴である。

この溶射技術で形成される代表的な皮膜は MCrAlY (Mは Ni, Co あるいはこの両者) である。この皮膜はバックコーティング法によるアルミナド皮膜に比較すると Al 濃度がやや低いものの、優れた延性、耐高温酸化性、耐摩耗性を備えており、母材との密着性も良い。写真4に溶射皮膜処理したブレードの例を示す。



(a) 初期

(b) 中期

写真 3 高温顕微鏡による等温凝固の観察

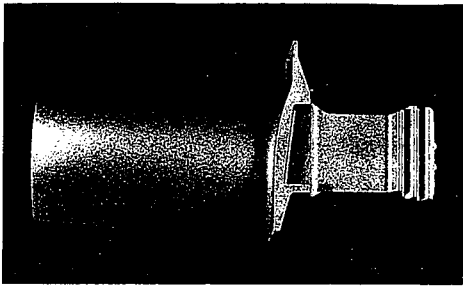


写真4 LPPS溶射されたブレード

### 3.2 熱応力緩和型傾斜機能材料の開発

将来の宇宙開発に向けて、過酷な熱環境に耐える超耐熱材料の開発が、重要な技術課題の一つとなっている。この耐熱材料として、厚み方向に順次（望ましくは連続的に）組成を変化させた構造をもつ“傾斜機能材料（Functionally Gradient Material：FGM）”が提唱された<sup>9)</sup>。減圧プラズマ溶射をベースとして、このFGMを形成する技術開発を進めてきた<sup>9)</sup>。

まず、セラミックス及び金属の粉体をそれぞれ独立な送給系から一つの溶射ガンに送給し、これらを一つのプラズマ中で混合させる“4ポート溶射ガンによる1ガン混合溶射方式（図5参照）”を開発し、金属と同時に高融点セラミックスの溶融を可能とする中圧領域（100～200Torr）での溶射条件を確立した。これにより、酸化物の少ない清浄な皮膜を広域に形成することができるという、LPPSの基本的な利点を損なうことなく、任意の組成混合比率において、広い面積にわたって均一な皮膜を形成することが可能となった。

ジルコニアとNi系合金を組合せて、本法により形成したFGMの断面を写真5に示す。このFGMは、科学技術庁航空宇宙技術研究所における液体水素と液体酸素の燃焼ガスによる耐熱試験において、従来のセラミックス皮膜材料より高い耐熱衝撃特性を有することが

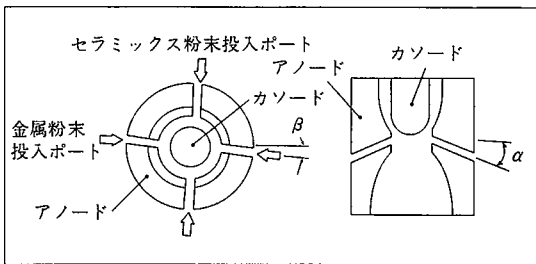


図5 4ポート溶射ガン概略図

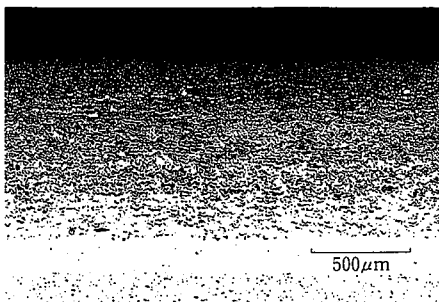


写真5 ジルコニア/Ni合金傾斜機能材料の断面写真

実証された<sup>10)</sup>。引き続き、実際のロケット軌道制御エンジンの燃焼器に適用するための開発を進めている。

## 4. 自動車分野での接合技術

### 4.1 触媒コンバーター用メタル担体

自動車の排気ガスの浄化に用いられる金属製触媒担体（メタル担体）は、セラミックス製担体に比べて軽量化、浄化性能の向上及びエンジン出力の向上等の利点を持っている<sup>11)</sup>。代表的な構造の外観を写真6（a）に示したように、その構造は波形に成形したステンレス箔と平箔を交互に重ねて渦巻状にハニカム体を形成し、これをステンレス製外筒に挿入したものである<sup>12,13)</sup>。箔は厚さ50μm前後の20Cr-5Alフェライト系ステンレス鋼で、波箔と平箔及びハニカム体と外筒との接合にNi基耐熱ろう材 BNi-5（19Cr-10Si）を用いた真空ろう付技術を開発した<sup>11-14)</sup>。

ろう付は面接合で、意図する多数の接合点を一度に接合できるという利点があり<sup>12)</sup>、高温で一点当たりの十分な強度を達成するとともに、多数の接合点で強度のばらつきの少ないろう付技術を開発した。写真6（b）に波箔と平箔のろう付部の断面を示す。更に、メタル担体は排気管上流のエンジン直近に配置されるため、静的な高温強度のほかに、激しく脈動する高温の排気ガスによる熱膨張・収縮に起因する熱応力に対する耐久性能が要求される。この問題に対しては、波箔と平箔間、及びハニカム体と外筒間の接合箇所を検討し、担体内部に生じる軸方向及び半径方向の熱応力を緩和する構造を開発した。こうしたろう付によるメタル担体は優れた耐久性能が実証され、現在実用に供されている。

又、ろう付以外の接合方法によるメタル担体も検討、開発を進めてきた。図6に示すように、外筒の外側から電子ビームを照射することにより、ハニカム体内での箔同士の接合及びハニカム体と外筒の接合が同時に可能であることを示した。この接合方法によるメタ

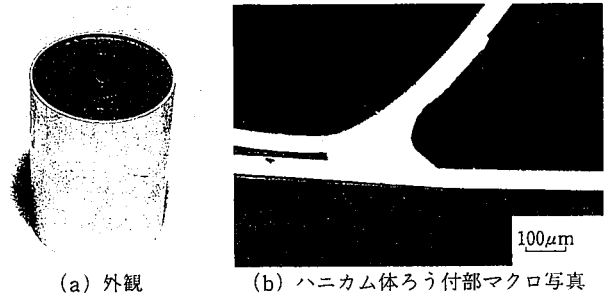


写真6 (a) 外観 (b) ハニカム体ろう付部マクロ写真

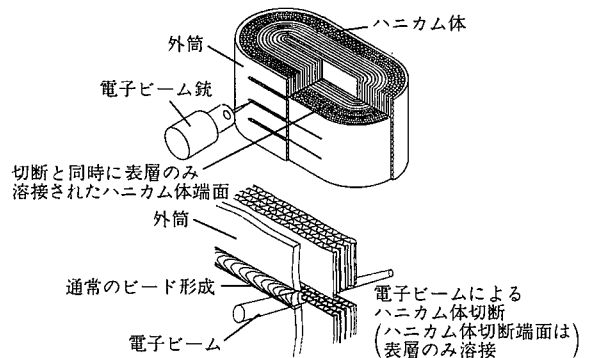


図6 電子ビームによるメタル担体の接合方法

ル担体も目標の性能を達成することが証明されている<sup>15,16)</sup>。

#### 4.2 Ti 合金エンジンバルブへの硬化肉盛技術

Ti 合金の用途の一つにエンジンバルブへの適用があり、軽量化(高比強度)による動力性能の向上が期待されている。このとき耐摩耗性を付与する表面硬化技術が必要となる。従来の鉄系エンジンバルブではプラズマ粉末肉盛溶接法(図7参照)を用いてステライト合金が肉盛されてきたが、Ti 合金(Ti-6Al-4V)では割れが発生して適用不可能であった。開発した肉盛材料はCo-Ti-6Al-4V系で、ステライト合金と同程度の硬さ(Hv: 450~650)が達成されるものである<sup>17)</sup>。回転電極法によって製造したこの肉盛材料は写真7に外観形状を示したように、200 $\mu$ m程度の寸法のそろった球状粉末であるため、安定した粉末送給性能を発揮する。写真8にバルブのフェース部分に円周状に肉盛溶接した断面を示すが、1.5mm程度の均一な組織の硬化肉盛層が得られることを示している。この肉盛材料は他のTi合

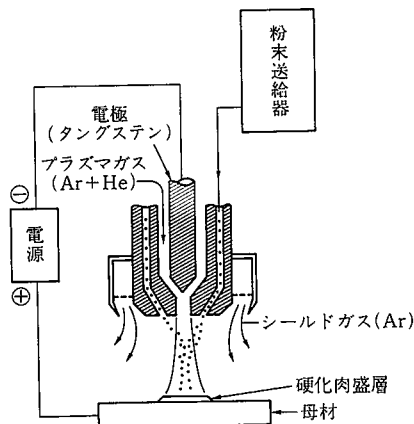


図7 プラズマ粉末肉盛溶接法

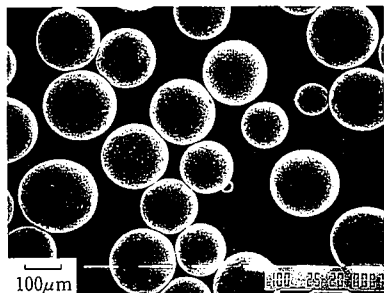


写真7 粉末肉盛材料(Co-Ti-6Al-4V系)



写真8 Ti合金製エンジンバルブのフェース肉盛部断面

金部品への耐摩耗性肉盛にも適用できるものと期待される。

#### 4.3 鉄とアルミニウムの異材接合技術

最近、自動車車体の軽量化のためにアルミニウム合金(以下、アルミと略す)を用いることが検討されている。しかし、コストや材料特性の問題からその適用範囲はまだまだ一部に限られている。今後適用範囲を広げるためには、鉄とアルミの信頼性のある接合技術が必要となる。

鉄とアルミを直接溶接すると、溶接部に脆弱な金属間化合物が生成されるため良好な継手が得られない。これを解決する方法として、アルミクラッド鋼板をインサートして、鋼板とアルミ板をスポット溶接する方法を検討してきた。これについては既に鉄道車両で一部実績があり、信頼性ある技術として期待される。

新日本製鐵は鉄/アルミ界面の接合強度が高く、又、成形性も良好なアルミクラッド鋼板の製造技術を開発しており<sup>18)</sup>、本節ではこれを用いた接合法について紹介する<sup>19)</sup>。

写真9はスポット溶接部の断面の一例で、鋼板側とアルミ板側で、それぞれ独立してナゲット(溶融部)を形成できることがわかる。一方、溶接後のクラッド鋼板のFe/Al界面では、厚さ2~5 $\mu$ mの金属間化合物層が生成されており、又、アルミ板側ではブローホールやクラックが発生しているが、以下に述べるように、これらによって継手強度が低下することはない。

図8は溶接部の引張せん断強さ(せん断方向の強さ)及びU字引張強さ(はくり方向の強さ)に対する溶接電流の影響を示したものである。クラッド鋼板をインサートした場合には、直接溶接した場合より継手強度が高く、アルミ板同士の継手強度とほぼ同じレベルにある。これは破壊がアルミ板側で起こるためである。又、適正溶接電流範囲は、鋼板同士あるいはアルミ板同士を溶接した場合の中間にある。その理由は、鋼板側のジュール発熱がアルミ板側のナゲット形成を助けるためであると考えられる。このように適正溶接電流範囲がアルミ板同士の場合に比べて低いため、アルミ板同士の場

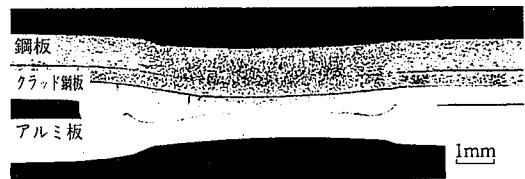


写真9 スポット溶接部の断面組織 (溶接電流; 10.8kA, 溶接時間; 0.2s)

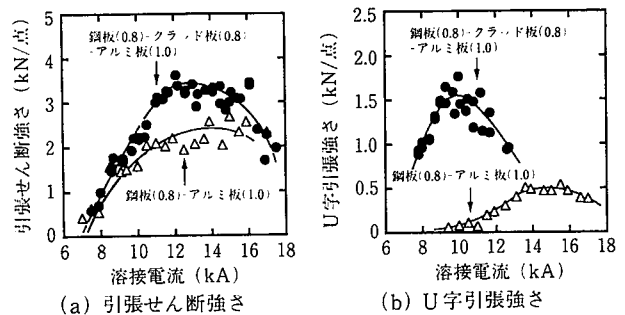


図8 溶接電流と継手強度との関係 (溶接時間: 0.2s ( )内は板厚mm)

合より連続打点性が向上するという利点もある。

以上述べたように、アルミクラッド鋼板をインサート材に用いたスポット溶接では、高い継手強度が得られるため、今後、車体などでの異材接合技術として期待される。実際の適用に当たっては、疲労強度、電解腐食、施工法などについて明確にする必要がある。

### 5. 景観材料対応のスタッド溶接技術

昨今、需要の高い高級化粧鋼板やステンレス鋼板などを、外装・内装材として使用する際には、裏面にスタッド溶接される場合が多い。このとき、熱影響による表側面の変質、変色や歪を極力低減することが必要とされ、これに対応するコンデンサー型の新しい低入熱低歪スタッド溶接技術の開発を行った。

スタッド溶接では、1)充電電圧、2)極性、3)加圧力、4)電流波形などが基本的溶接条件となる。溶接現象を観察、解析した結果から、図9に示したように最大電流を抑制し、更に、不要電流を削除するといった最適化制御を開発した。図10は溶接時の鋼板表面の温度分布を計測したものであるが、従来の方法と比べて最高温度が低く、加熱範囲も狭くできることを示している。これにより十分な接合強度を達成するとともに、熱影響が少なく、塗装薄鋼板の化粧面を損傷せず、熱歪の少ない溶接を実現した。

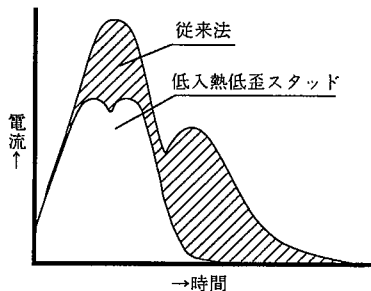


図9 溶接電流の最適化制御

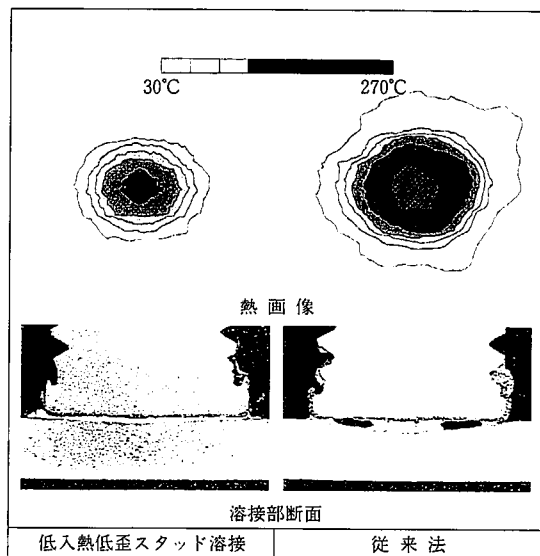


図10 新・旧方法による溶接部の比較

### 6. 製鉄設備における新溶射技術

製鉄設備は磨耗、熱衝撃損傷などの厳しい劣化損傷を受けるため、対策としてめっきや溶射などの表面改質技術が適用されている。表3は現在の溶射適用対象をまとめたものである。溶射はめっきと比較すると、被覆材料の選択範囲が広く、又、厚膜化ができるなどの利点を有している。反面、溶射皮膜は一般的に衝撃に弱く、界面はくりの問題もあり、高品質な溶射技術の開発が望まれてきた。このような背景から、新しい溶射技術である減圧プラズマ溶射及びハイブリッドプラズマ溶射技術の製鉄設備への適用検討を進めてきた。

減圧プラズマ溶射はジェットエンジンの分野で適用されてきた技術であるが、特に、超合金系において緻密な膜形成が可能である。比較的耐熱衝撃特性に優れ、耐亜鉛侵入性が良好なMar-M509合金(Co基超合金)を製鋼工程における水平連続鑄造用Cu鑄型へ応用した例を写真10に示す。この例では、最も損傷の大きい鑄型入り口部の内面側に耐熱溶射皮膜を形成している。この皮膜形成は、Cuの高温損傷防止とともに、その断熱効果から鑄片のコールドシャックラック発生防止にも、有効であることが明らかになっている。

ハイブリッドプラズマ溶射技術は、図11に示したように、直流及び交流(高周波)の2種類のプラズマを複合させた新しい溶射法である。粒子を効果的に加熱することができることから、粒径の大きな粒子も溶射できる特徴を持っている。複合条件と粒径の最適化により、皮膜強度と界面強度のともに優れた皮膜を形成できることが

表3 製鉄設備における溶射の適用例

用途	溶射材料	目的
原料処理設備 ホップ、シュートライナー、コークス、焼結グリズリバー	Ni基自溶性合金	耐摩耗
高炉 羽口、装入装置シール	Ni-Cr, ZrO <sub>2</sub> 自溶性合金	耐摩耗, 耐熱
転炉 ランス羽口	ZrO <sub>2</sub>	耐熱
連続, 鑄造機 モールド、ガイドライナー	Ni基自溶性合金, WC-Co	耐摩耗, 耐熱
熱間圧延 搬送ロール、圧延ロール、ガイドロール、サイドガイド	Ni基自溶性合金, Ni基自溶性合金, Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> -NiCr	耐摩耗, 耐焼付, 耐摩耗, 耐熱, 耐摩耗, 耐焼付
冷間圧延表面処理 ハースロール、ライントップロール、シンクロール、サポートロール	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> -NiCr, WC-Co, Ni基自溶性合金	耐焼付, 耐摩耗, 耐付着, 耐食



写真10 減圧溶射被覆された水平連続鑄造鑄型の外観

明らかとなり、写真11に示す熱押し用ダイスなど、小型部品への適用を目指して開発を進めている。

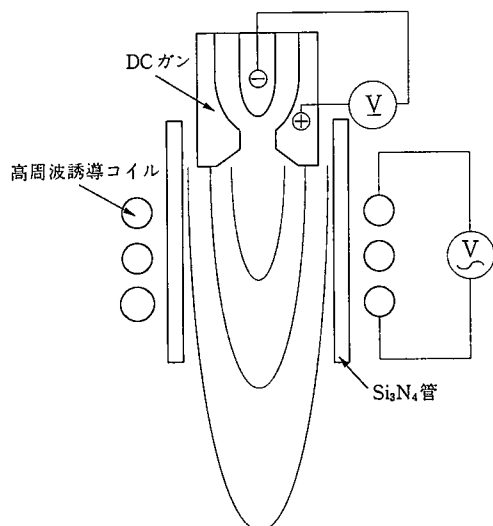


図 11 ハイブリッドプラズマ溶射法の概念図

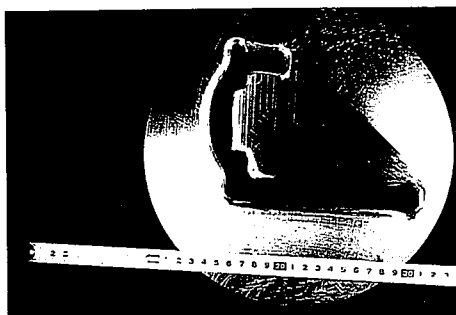


写真 11 ハイブリッドプラズマ溶射技術による熱押しダイス耐熱コーティングの例

## 7. 結 言

新規分野、新商品に対応した接合技術の開発についてその一部を紹介した。対象となる素材、部品は、それぞれ特有の機能を追求するものであるため、現象の解析や接合部の特性評価においては独特のアプローチを必要とした。これらに関する追求、開発も主要な研究課題として進めてきたが、今回は紙面の都合で各項目で極く簡単に触れるに止めた。

今後も各種事業の展開に伴って、キーテクノロジーの一つとして接合技術の重要度は増すものと考えられる。個々の課題で得られた知見を蓄積するとともに、新たな技術開発に挑戦したいと考えている。

### 参 照 文 献

- 1) 一山靖友 ほか：溶接学会論文集. 9, 587(1991)
- 2) 一山靖友 ほか：溶接学会誌. 63, 202(1994)
- 3) Found Out. 1(3), 34(1993)
- 4) 宮崎康信 ほか：高エネ加工委. (1991)
- 5) 山口敏：日本ガスタービン学会誌. 21(82), p.3(1993)
- 6) Demo, W.A. et al.: Advanced Materials and Processes. 3/92, 43(1992)
- 7) 小原昌弘：溶接学会全国大会講演概要. 46(4), 96(1990)
- 8) 新野正之 ほか：日本複合材料学会誌. 13, 265(1987)
- 9) 斎藤亨 ほか：表面技術. 41(10), 992(1990)
- 10) 斎藤俊仁 ほか：第5回傾斜機能材料シンポジウム講演集. 191(1992)
- 11) Tanaka, T. et al.: SAE technical paper series. No.910615 (1991)
- 12) 田中隆 ほか：現場に役立つろう付技術講演会テキスト. 東京, 大阪, 1991-11, 1992-1, 日本溶接協会, 貴金属ろう部会
- 13) 山中幹雄 ほか：材料とプロセス. 4, 1784(1991)
- 14) 田中隆 ほか：溶接学会全国大会講演概要. 47, 70(1990)
- 15) 岩見博志 ほか：溶接学会全国大会講演概要. 52, 130(1993)
- 16) 岩見博志 ほか：高エネ加工委. (1993)
- 17) 北口三郎 ほか：材料とプロセス. 3(5), 1716(1990)
- 18) 吉村尚 ほか：材料とプロセス. 5, 1774(1992)
- 19) 及川初彦 ほか：溶接技術. 41(3), 75(1993)