

## 高密度エネルギービームを制御する

—溶接プロセスから材料プロセスへの新たな展開をめざして—

19世紀の初めに炭素アークが発明され、それを用いて金属材料を溶かす技術が実用化した。それ以来、アークプラズマは金属材料の溶解、溶接などに広く利用されることになった。

第2次世界大戦を境に、プラズマ雰囲気ガスを積極的にコントロールして、軽金属や活性金属をアーク溶接する技術が実用化された。さらに作動ガスの熱的ピンチ効果（プラズマ中の荷電粒子の流れと、それが作る磁場の相互作用で、プラズマが細く絞られる現象）を利用してアークプラズマを絞り込み、通常のアークのエネルギー密度（約 $10^4 \text{ W/cm}^2$ ）を1桁高くして、プラズマ溶接やプラズマ溶射などに利用するようになってきた。

一方、活性金属の高品質溶接技術の確立をめざして、高真空中で電子ビーム流を集束して利用することが試みられた。このエネルギー密度は $10^8 \sim 10^9 \text{ W/cm}^2$ にも達し、特異な溶融形態を示すことから、精密溶接技術として広く利用されてきた。さらに100kW以上の装置も実用化され、極厚肉構造物の高精度、省力溶接作業にも偉力を発揮している。

レーザービームも電子ビームと同程度の密度の熱源として早くから注目されたが、 $\text{CO}_2$ レーザーやYAG（イットリウム・アルミニウム・ガーネット）レーザーのような安定した高出力レーザーが登場し、大気圧雰囲気を利用できるという作業性の良さも

加わり、切断や溶接などの精密金属加工熱源に利用されだしている。現在、上記の赤外線レーザーのほかに紫外領域のエキシマレーザーや各種可変波長レーザーの開発も進んでおり、広範囲の波長を利用した材料プロセスへの展開が期待されている。

このように溶接における熱源の開発は、各段階において多大の成果をあげながら着実に熱源集中、すなわち高密度エネルギー化へと進んできた。

一方、材料技術の高度化という社会的ニーズを背景に、これらの優れた熱源特性をさらにレベルアップするとともに、それぞれの熱源の特徴を有効に利用した熱加工以外の分野への適用も注目を集めてきている。この新分野は大別して、材料の表面改質技術などに代表される、材料の機能化技術分野と、超微粒子など新素材の開発に代表される、熱源・プロセスの新応用分野に分けられる。とくに、前者の分野は、既存材料の新素材化の活路としても注目される場所である。

このような状況の下で当研究所では、今日まで溶接加工に利用してきた熱源を、その蓄積された知識とともに、さらに広く他分野へ応用する研究に着手している。この研究では、既存特性の熱源を単純に利用するだけでなく、ビームモードやエネルギー密度分布を積極的に制御し、溶融形態を制御することによって、より有効な熱源として活用する研究を試みている。

# プラズマ熱源分布によって溶融池形態を制御する ——ガス噴流によるアークプラズマの拘束安定化——

材料を局部的に加熱したり、溶融させるとき、アークによるプラズマ（電極と材料との間にアーク放電を発生させ、イナートガスや磁場によってアークを収縮させて得られる高温の電離気体）を熱源として利用することは、きわめて効率のよい方法である。

しかしながら、このアークプラズマの細かな制御は容易ではなく、従来は比較的大雑把に取扱われていた。すなわち、このようなアーク放電現象は、その一方の電極となる材料の表面状態、例えば表面が固体であるか、溶融状態であるか、また表面に不純物が存在するかなどによって大きく変化する。とくに材料の表面が陽極の場合の現象はあまり解明されていない。

溶融金属表面上での陽極点分布は、その表面の温度や微量元素（硫黄、酸素など）によって大きく左右される。例えば、オーステナイト・ステンレス鋼などで硫黄の含有量が比較的多い場合（約60ppm）には、その陽極点は中央に集中するが、少ない場合（10ppm）には周辺に分散する。陽極点が集中したり分散したりすると、これに応じてアークから溶融金属表面に与えられる入熱分布が変化し、材料表面の溶融状態を大きく変える。そのため、局所的な溶融を精密に制御することは不可能となる。

当研究所では以前からこのアークにおける溶融

金属表面上での陽極点挙動に着目して、種々の表面状況下での陽極点挙動に関する現象とその制御技術について基礎的な研究を行っている。この制御技術の一つとして、イナートガス噴流によってアークプラズマを拘束し、微量元素の違いなどに関係なく陽極点を特定の位置に安定に固定してしまう方法が開発されている。

写真1はステンレス鋼板上のアーク溶接で、この制御がなされているときの溶融池の表面状態を示す。左右両側に一つずつ陽極点（輝点）があり溶融池はこの陽極点に対応した“ひょうたん”型となり、従来の溶融池形状と全く異なるものとなっている。このときの溶接ビードは写真2の(a)のようにきわめて幅の広いものとなる。逆に陽極点を溶接線上に並べると(b)のようにきわめて狭いビード幅の溶接が行える。ここで陽極点分布制御をしない場合が(c)であり、この陽極点分布制御によってアークプラズマの熱源分布を大きく変えることができる。

最近、VAMAS(国際共同研究)の研究課題として、材料に含まれる硫黄などの微量元素による溶融状態の不安定化の問題が取上げられ注目されている時でもあり、今後の本方式の制御方法の確立と種々の用途への応用が期待される。



写真1 TIGアークでの陽極点分布制御による溶融池の表面の状態

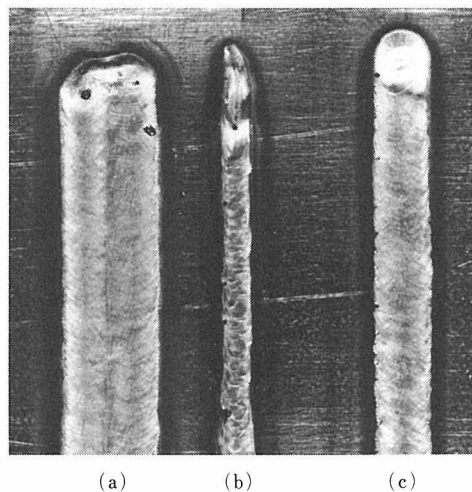


写真2 陽極点分布制御による溶接ビード(a), (b)と普通のTIGアークのビード(c)との比較

# ビームの形状を制御した電子ビーム溶接法

## —溶接の高品質化と新素材製造への応用をめざして—

電子ビーム溶接は、厚板を精度よく、しかも高能率に溶接できることを最大の特長としている。ところが、板厚が厚くなればなるほど、溶接現象が複雑となるため、溶接部で色々な欠陥が発生しやすくなる。電子ビームが当たっている位置では、図の(a)に示すように、金属蒸気によって掘られたビーム孔と呼ばれる細長い空洞が形成されている。溶接に際して、この周囲を流動する熔融金属をうまく制御しないと、溶接部に欠陥が発生する。例えば、何らかの原因で熔融金属がスムーズに流動しない場合には、ビーム孔内にたまった熔融金属が凝固壁の形状を乱し、凝固時に大きな気孔が残留したり割れが発生する原因となる。一方、流動性を良くするために、溶込み先端でのパワー密度を高めると、スパイクと呼ばれる溶込み深さの周期的な変動が起り、新たな欠陥の発生につながる。このように、欠陥が発生する機構は、その種類によってそれぞれ違っており、これらを同時に防止することが難しいとされてきた。

当研究所では、従来円形であった電子ビームの断面形状を任意の形に制御することにより、熔融金属の流動を制御し、これらの欠陥を同時に防止することに成功した。

図の(b)には、その方法を模式的に示す。通常用いられている収束レンズの下に、ビーム形状変換コイルと呼ばれる4極のコイルを新たに設置し、このコイルから印加される磁場によりビーム形状を制御する。色々な磁場の下で電子ビームの特性を調べたところ、図に示すように、溶込み中央より表面側では溶接の進行方向に、また溶込み先端側ではこれと直角方向に伸びた楕円形の電子ビームを作ることができた。この電子ビームを用いると、表面で進行方向に細長くビーム孔が開くため、ビーム孔の中から外へと熔融金属がスムーズに流動し、気孔や割れの発生

を防止できる。また溶込み先端では、電子ビームのパワーが直角方向に分散するため、スパイクの発生も防止でき、これまで難しかった二種類の欠陥を同時に防止することができた。さらに、高速溶接時に発生しやすい不安定ビードも、この制御法を用いることによって防止できることがわかっており、今後さらに高品質な溶接継手を得ることを目指して、研究を続ける予定である。

また電子ビームは、これまで溶接や溶解などには広く利用されてきたが、熱源の集中度が高く、しかもその制御が容易なことから、新素材の製造や表面改質の分野に新たな展開が期待される。当研究所では、既に金材技研ニュースNo.5 (1986)に掲載したように、電子ビームによる超電導線材の製造法を開発し、新しい加工法についても研究を始めている。電子ビーム形状制御法は、このような新分野でも今後偉力を発揮するものと期待される。

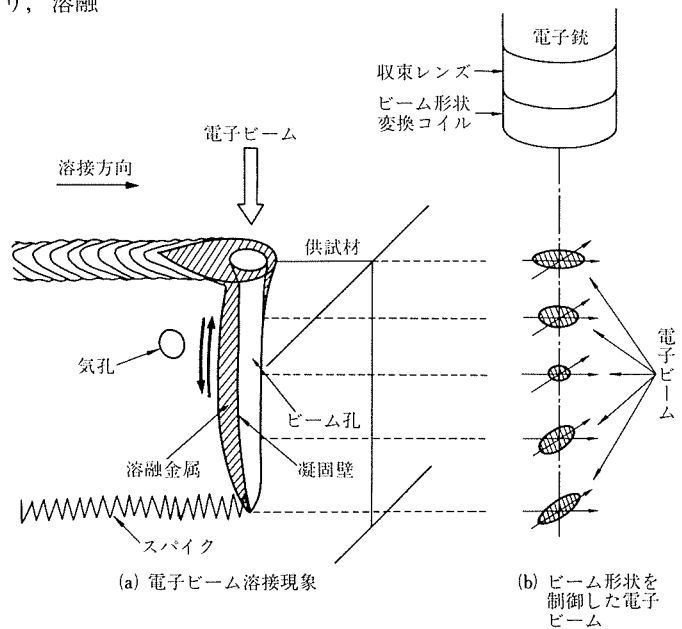


図 電子ビーム溶接現象とその形状制御

# パルス状アークプラズマによって凝固組織を制御する ——溶接部の大幅な性能向上を目指して——

多くの構造物の製作には溶融溶接技術が多用されている。しかし、溶接された箇所（溶接部）では、その機械的、化学的諸性質が低下したりする問題がしばしば生じている。

溶接部は、溶融・凝固部（溶接金属）とそれに隣接した未溶融部（熱影響部）とからなり、その結晶粒は溶接熱によって一般に粗大化する。この粗粒化が溶接部の諸性質の低下を招く一大要因と考えられている。溶接金属は熱影響部の粗大結晶粒を核として凝固し、細長い粗大な結晶（柱状晶）となる傾向がある。そのため、熱影響部の結晶粒の粗大化を阻止すること、さらに溶接金属の凝固形態を柱状晶凝固から粒状晶凝固へと変えることができれば、溶接部の結晶粒を微細化することが可能となる。

そこで当研究所では、溶接部の結晶粒制御の新技術を目指して、SUS310S ステンレス鋼を素材に研究を進めている。すなわち、矩形波パルス電流によってアークプラズマを周期的に短時間強くして溶接を行い、溶接部の結晶粒微細化の可能性を検討した。その結果、溶接金属および熱影響部の結晶粒径は、ベース電流値、パルス周波数およびベース電流の流れる時間とピーク電流の流れる時間との比によって大きく変化し、細粒化のための適正な条件が存在することを見出した。適正条件下で溶接を行った場合、その熱影響部の結晶粒の粗大化はほとんど抑えられ、また溶接金属においても表層近傍に一部柱状晶が見られるものの、ほぼ全体にわたって、粒状晶が出現しており、所期の目的が達成された。

パルス状アークプラズマを使う本溶接法では、ごく短時間に溶融・凝固が繰り返されて溶接が行われるため、このような効果が得られたものと考えられる。また、溶接金属の粒状化・微細化について、熱伝導理論を応用することによって溶接金属の凝固形態を予測することを試み、適正なアークプラズマのパルス周波数が存在することを明らかにしている。

溶接部の結晶粒の微細化と並んで本溶接法のも

う一つの大きな特長は、非常に小さな平均溶接電流によって、従来の TIG 溶接では得られなかった、非常に深い溶込みを有する溶接部が得られることである。写真(a)は従来の TIG 溶接法(平均溶接電流 120A)で得られた溶接部の組織であり、(b)は本法で平均溶接電流 50A で溶接した場合の組織である。溶接金属および熱影響部の結晶粒径と溶込み深さに顕著な差異がみられる。

パルス状アークプラズマを用いる本溶接法の開発によって、各種溶接部の性能向上が図られることは必至であり、とくに、オーステナイトステンレス鋼溶接部の耐食性や低温用鋼の溶接熱影響部の低温じん性などの大幅な向上が期待される。

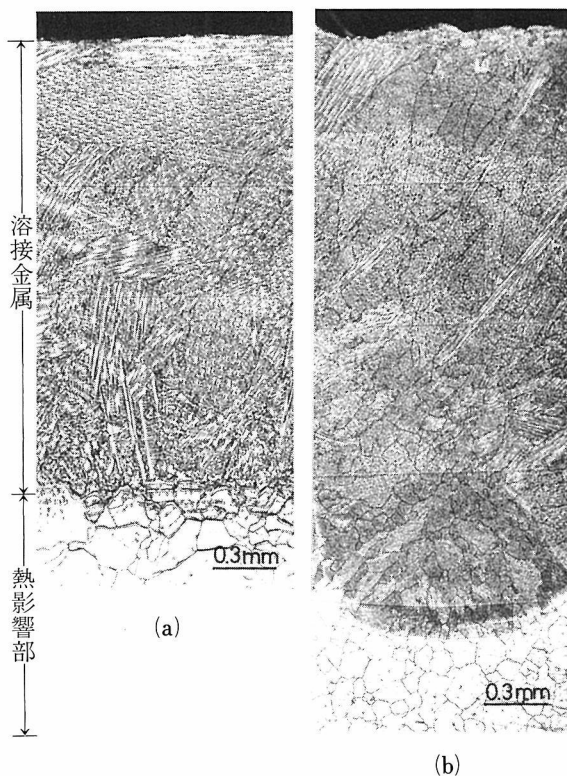


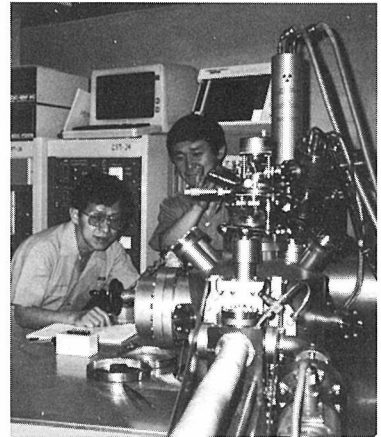
写真 従来法(a)と開発法(b)によるステンレス鋼の溶接部組織の比較

## シンガポールの研究者と 屋内腐食の問題を解明

隣接アジア諸国との科学技術交流は我が国にとって重要な課題である。当研究所では、腐食防食の問題を通じて交流を行うため、ASEAN（東南アジア諸国連合）の国立研究所と屋内腐食および防食に関して共同研究を行っている。タイ、フィリピン、インドネシア、マレーシアに続いて61年度には、シンガポール標準工業研究所(SISIR)の研究員L.C.Yap氏(写真左)が来所した。

屋内における腐食と環境因子との関係を解明

するため、SISIRの室内5ヵ所に1ヵ月間暴露したCu, Agの表面成分および環境汚染の分析を行った。



## 「プラズマ応用技術研究会」発足

金属材料の高性能・高機能化手法にセラミックスなどの異種材料を被覆する皮膜形成技術がある。その中で、プラズマ溶射は、比較的厚い皮膜の形成ができ、被覆できる材料の種類も多いので、広範囲の応用が期待されている。

プラズマ溶射技術は、これまで、装置の改善、実施方法の改良など目ざましい進歩をとげてきているが、皮膜形成過程における粉末粒子の溶融状態や飛行形態、粒子の積層機構など溶射時の基本的現象については、十分な検討がなされ

ておらず、この検討を行うことによって一層の技術進歩が期待されるという状況にある。

そこで、当研究所では、産学官の第一線の方々にお集りいただき、この問題を深く検討していくことを目的に、大阪大学工学部丸尾教授を委員長にお願いし、「プラズマ応用技術研究会」を発足させた。研究会は、3年間を目途とし、年間3回程度開催し、研究発表、講演、文献調査などを基にして討論を行う予定である。

現在、溶射現象における問題点の抽出とその解決策について検討を行っているところである。

## 超電導——新たなる飛躍 ——新超電導材料研究会 第1回シンポジウム——

世界各国の研究者により次々に記録が塗りかえられてきた超電導臨界温度は、当研究所でも遂に液体窒素温度を超えた。いったい、夢といわれた室温超電導は実現するのであろうか。

昨秋以来の超電導ブームとその社会的インパクトの大きさを重視した科学技術庁は去る2月27日、「新超電導材料研究会」(会長 齋藤進六 長岡技術科学大学学長)を発足させた。

この研究会の代表幹事には太刀川恭治当研究

所前筑波支所長、幹事としても当研究所は3名を参加させるなど全面的に協力している。この研究会主催の第1回シンポジウム「超電導——新たなる飛躍」が5月1日に開かれた。これには今回の記録ラッシュの契機となった金属酸化物超電導体の研究を行ったスイス・チューリッヒIBM研究所のBednorz博士も招待されている。当研究所においても新超電導材料に関する総合研究を開始し、すでに前記の成果を挙げており、さらに外部研究機関との大幅な共同研究を計画している。

## 【注目発明の選定】

当研究所から下記発明が、科学技術庁第46回（昭和61年度）の注目発明に選定された。

| 発 明 の 名 称         | 発 明 者                       | 公 開 番 号      |
|-------------------|-----------------------------|--------------|
| P-型熱発電素子          | 西田勲夫・増本 剛・磯田幸宏・大越恒雄         | 特開昭60-43882  |
| 材料の疲れ試験機          | 西島 敏・山口弘二                   | 特開昭60-105941 |
| 単結晶Ni基耐熱合金及びその製造法 | 山崎道夫・山縣敏博・原田広史              | 特開昭60-177160 |
| 金属間化合物TiAl基耐熱合金   | 橋本健紀・土肥春夫・辻本得藏<br>中野 理・信木 稔 | 特開昭61-41740  |

### ◆短 信◆

### ●受 賞

#### 日本金属学会功績賞

構造制御研究部 吉原一祐

「金属に関する学理、ならびに技術の進歩に対する功績」

#### 日本鉄鋼協会西山記念賞

疲れ試験部 西島 敏

「金属材料の疲れ特性に関する研究」

#### 日本機械学会奨励賞

極低温機器材料研究グループ 中曽根祐司

「分布微小き裂モデルに基づく疲労寿命予測法の開発に関する研究」

#### 科学技術庁長官表彰

##### 研究功績者

製錬研究部 吉松史朗

「溶銑中ニオブの連続回収法の研究」

##### 創意工夫功労者

材料物性研究部 磯田幸宏

「走査電子顕微鏡用試料ホルダの改良」

疲れ試験部 小菅通雄

「多点動ひずみ測定装置の考案」

金属加工研究部 浅井義一

「超耐熱合金粉末の固形化方式の考案」

製錬研究部 本多均一

「連続選択酸化炉の酸素底吹ノズルの考案」

### ●人事異動

昭和62年 3月31日

定年退職 金尾正雄（科学研究官）

定年退職 太刀川恭治（筑波支所長）

〃 横井 信（材料強さ研究部長）

辞 職 加藤公輝（管理部企画課長）

昭和62年 4月 1日

昇 任 科学研究官 新居和嘉（構造制御研究部長）

〃 筑波支所長 岡田雅年（原子炉材料研究部長）

〃 構造制御研究部長 小川恵一（機能材料研究部第2研究室長）

〃 機能材料研究部長 辻本得藏（材料物性研究部第3研究室長）

〃 原子炉材料研究部長 白石春樹（原子炉材料研究部第1研究室長）

〃 管理部企画課長 木村 良（科学技術庁研究開発局企画課）

配 置 換 材料強さ研究部長 武内朋之（機能材料研究部長）

### ●海外出張

石川圭介 極低温機器材料研究グループ  
第5研究グループリーダー

VAMAS国際共同研究における極低温構造材料のラウンドロビンテストと試験条件等の打合せと、関連設備の視察のため、4月5日から4月18日までアメリカへ出張した。

小川恵一 構造制御研究部長

1987年材料科学会春季大会に参加し、高温超電導体に関する研究調査および討論のため、4月22日から4月26日までアメリカへ出張した。

通巻 第341号

編集兼発行人 木村 良  
印 刷 株式会社 三 興 印 刷  
東京 都 新 宿 区 信 濃 町 1 2  
電話 東京(03)359-3841 (代表)

発 行 所 科学技術庁金属材料技術研究所

東京都目黒区中目黒2丁目3番12号  
電話 東京(03)719-2271 (代表)  
郵便番号 153