

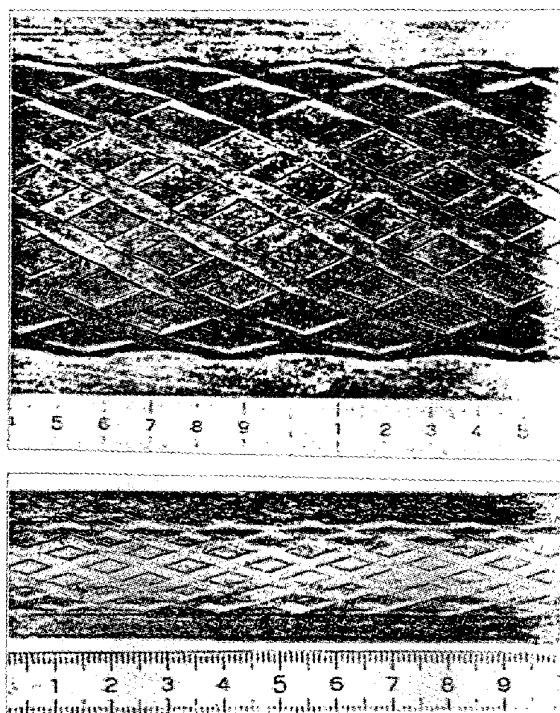


写真 4-8-4 クロスライフル管内面形状

がある。いずれの場合も後に曲げ加工を行なうものが多く、内外管の密着度の均一性が重要である。

管の取付は普通拡管加工を行なうため管端 10~25mm を内管と同じ材質のリングをはめて管端での異種金属接触腐食をさけるよう考慮している。

(7) 表面処理鋼管

耐熱性、耐食性の向上の目的として管表面にのみ異種金属の被覆ないしは合金層を形成せしめるものであつて、Al を溶融メッキしたものは Zn メッキに比べて耐高温酸化性がすぐれており、アルミナイズド鋼管といわれている。また Cr を拡散浸透させて管表面に高 Cr ステンレス鋼の性質を具備させたもので、クロマイズド鋼管として販売されている。

(8) クロスライフル管

貫流ボイラーにおける過熱探傷に対する限界熱負荷を向上させる対策として管内面に菱形の突起物を一様に設けたクロスライフル管が用いられる。これは溝付プラグを回転させながら冷間抽伸を行なつて製作する。(写真 4-8-4)

(9) その他

冷間抽伸を途中止めすることによつて段付管の製造や梅鉢型のダイスを回転させながら冷間抽伸してねじれ管を作ることができる。これらは装飾用に用いられることがある。また角管や楕円管も冷間抽伸で製作できる。

4.9 溶接技術の進歩

溶接技術は、数多くの材料と数多くの溶接法のなかから選定した適材、適法の組み合わせを中心として、溶接構造物をまとめあげるシステム化の技術である。このうち、鉄鋼材料、溶接性などの試験検査法、溶接鋼管製造

技術などについては、本記念特集号の別の個所で記述されているので、ここでは溶接法および施工法の進歩を主体として記述する。

4.9.1 溶接技術の位置づけ

溶接は材料接合部に局所的なエネルギーを与えて冶金的に接合する技術で、船舶、車輛、自動車などの交通機関、建築、橋梁、貯槽、圧力容器、ボイラ、ポンプ、ペンストックなどの構築物、電気機器、生産機械、石油機器、電子機器、家庭用品、事務機器などの機械装置、さらに原子力、太陽エネルギーなどのエネルギー発生プラント開発、宇宙航空開発および海洋開発など、ほとんどのあらゆる構造物の組み立て技術として、溶接が重要な役割を果たしている。

すなわち、溶接は金属加工分野のなかで、構造物の組み立て技術として特有な存在価値を持ち、鉚接、ボルト締めなどの機械的接合に対比される冶金的接合技術である。溶接は鉚接などに比べて、構造が簡単になり、生産工程上ブロック化が容易で、騒音がなく、材料の節約と工数の節減によつて製作費が安くなり、かつ製作上材料の厚さが無制限であり、その上できあがったものは高い継手効率とすぐれた油密、気密、水密あるいは耐圧性をもっている。近年溶接が必須の技術として重視されるのは、構造物の大型化、高圧化、高温化あるいは低温化、複雑化、材料の種類および寸法形状範囲の拡大と高強度化などに対応して、溶接組み立てにおける経済性や生産性がきわめて高く、かつ工場組み立てにしても現地組み立てにしても、これらの作業環境に対して適応性がよく、機動性に富み、構造物のそれぞれの使用性能を満足し、信頼性が得られるためである。また、人間・社会・経済・産業のニーズに対応して、近年溶接技術が著しく進歩し、溶接用材料や溶接工法の選択の範囲がきわめて広がってきていることもあげられる。

溶接は組み立て技術のほか、材料の製造技術としてクラッドの製造、溶造、溶解精錬にも適用される。さらに、材料や構造物の肉盛、成形あるいは補修にも活用される。

しかし、溶接はその現象による本質的な欠点なども持っている。すなわち、溶接による変形と収縮および応力の発生や材質変化を伴い、また各種の溶接欠陥が発生しやすく応力またはひずみ集中に敏感で、脆性破壊の危険性や疲労特性あるいはクリープ破断特性の低下、耐震性、耐食性などの問題をかかえている。

これら溶接諸現象および継手性能の解明のため、溶接の基礎工学として、溶接冶金学、溶接エネルギー学および溶接力学などが著しく発達している。

4.9.2 溶接法および施工法の進歩

溶接法としては現在約40種にのぼる多種多様な方法が実用されており、これを大別すると下記のように、融接 (fusion welding)、圧接 (pressure welding) およびろう付 (brazing) があり、また溶射 (spraying) や接着 (binding) も含まれる。さらに融接と関係の深い熱的な切断 (thermal cutting) および加工がある。

i) 融接：母材を含めた接合部を溶融して溶接する方法で一般に加圧しないで行なう。この方法にはガス溶

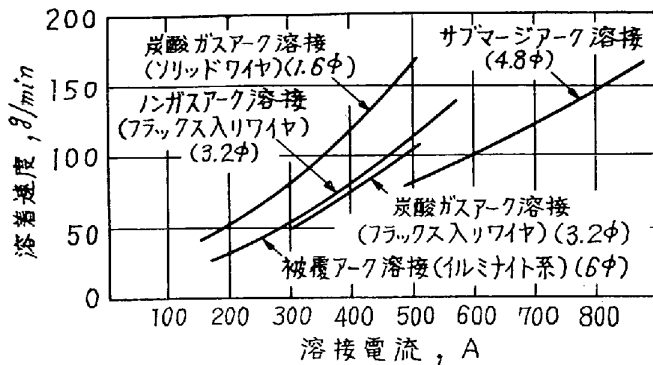


図 4-9-1 各種アーク溶接における溶着速度の比較
(稲垣：鉄と鋼，57 (1971) No. 7, P. 1252)

接，各種アーク溶接（被覆アーク溶接，サブマージアーク溶接，ティグ溶接，ミグ溶接，炭酸ガスアーク溶接，ノンガスアーク溶接など），プラズマ溶接，電子ビーム溶接，レーザ溶接，エレクトロスラグ溶接，テルミット溶接などがある。

ii) 圧接：接合部を加圧して溶接する方法で，加熱する場合と加熱しない場合がある。この方法にはガス圧接，各種抵抗溶接（スポット溶接，プロジェクション溶接，シーム溶接，アブセット溶接，フラッシュ溶接など），高周波溶接，超音波溶接，爆発圧接，摩擦圧接，常温圧接，鍛接，固相溶接，拡散溶接などがある。

iii) ろう付：母材を溶融しないで，溶融したろうを接合面の間隙に界面張力の作用でみたして溶接する方法で，これには硬ろう付と軟ろう付（はんだ付）がある。また加熱方式によつて，アークろう付，ガスろう付，炉内ろう付，誘導加熱ろう付，抵抗ろう付，真空ろう付などとよぶ。

iv) 溶射：母材に溶融粒子を吹付けて被膜をつくる方法で，これにはガス溶射，アーク溶射，プラズマ溶射などがある。

v) 熱的な切断および加工：ガス切断，アーク切断，プラズマ切断，ガスガウジング，アークエアガウジング，スカーフィング，線状加熱による曲げ加工，局部加

熱冷却によるひずみとりなどがある。

以下に，ここ10年間におけるわが国の各溶接法および施工法の技術的なトピックを簡単に紹介する。

(1) 融接法

(a) 溶接の自動化

近年，アーク溶接法を中心として溶接の自動化がさげばれ，被覆アーク溶接棒による手溶接から半自動アーク溶接あるいは自動溶接への移行の傾向を示している。ここで半自動アーク溶接とは，溶接工が溶接トーチを手に持つて移動し，溶接ワイヤを自動的に送給しながら溶接を行なう方法で，ソリッドワイヤあるいはフラックス入りワイヤによるガスシールドアーク溶接およびノンガスアーク溶接が全姿勢半自動溶接法として進出し，被覆アーク溶接法と競合してきている。その1つのねらいは，図4-9-1のように溶着速度の増加によつて作業能率を向上させることにあつた。ノンガスアーク溶接（セルフシールドアーク溶接）は風の影響を受けることが少ないので，鉄骨，造船などの野外の現場溶接に有利とされたが，フェームなどの発生が多く作業環境や品質の点で問題があり伸び悩んでいる。

ソリッドワイヤによる炭酸ガスアーク溶接は，昭和42年ごろから実用期に入りその後急速に伸び，昭和47年の例では溶接材料（溶接棒，溶接ワイヤおよびフラックス）の全使用量の約9%を占め，車両，機械，鉄骨などに多く利用されている。しかし，被覆アーク溶接は融接法の基本的なもので，他の溶接法にない汎用性があり，また被覆アーク溶接棒の専用化がはかられ，薄板用，裏波用，すみ肉用，立向進用などが開発実用化され，昭和47年の例では溶接材料の全使用量の約71%を占めている。このなかには，重力式，低角度式および横置式などの準自動溶接法も含まれており，とくに造船で多く使用された。

サブマージアーク溶接は，主として工場溶接における下向専用の自動溶接法として活躍してきているが，さらにその高速化や平板などの片面自動溶接法へと進展している。すなわち，高能率化のために電極ワイヤ突出し長を長くして抵抗加熱する I^2R 法，被覆棒やフラックス入りワイヤあるいは金属粉末などを添加する埋立て法，多電極法，带状電極法などが開発実用化されている。たと

表 4-9-1 片面溶接法の種類

(稲垣，岡田：溶接学会誌，36 (1967) No. 7, P. 695)

片面溶接法	裏あてを使用する方法	バックングストリップを用いる法	普通法 鋼帯・銅バックング併用法
		銅バックング法	普通法* フラックス・銅バックング法*
		フラックス・バックング法	普通法* 熱硬化性物質添加フラックス使用法 シートフラックス法 二層フラックス法
	裏あてを使用しない方法	その他の方法—ファイバークラス・アルミテープバックング法	一層目低入熱溶接法 裏波用フラックス使用法 ガス圧力差制御法

(注) * 開先内に鉄粉，カットワイヤ，FNバーなどを充填する場合もある。

えば I^2R 法では電力を10%だけあげる程度で1.5倍の溶着速度の向上がある。片面溶接法には表4・9・1に示すように各種あるが、とくに造船における工場内板継ぎ用の裏あてを使用する片面サブマージーク溶接法は、わが国の固有技術で、生産ラインの一環として合理化、省力化しようというシステムの考え方の普及の端緒となつた大型溶接機械化技術である。带状電極法は压力容器のステンレス鋼などによる肉盛クラッドに大きな効果を発揮し、高能率かつ高品質のものが得られる。

溶接の自動化の波は、エレクトロスラグまたはエレクトロガス溶接などの立向突合せ専用自動溶接法の開発実用化によつて拍車がかけられ、傾斜あるいは曲り部や横向の自動溶接へと、各種姿勢に対する自動溶接法の適用範囲が拡げられ、压力容器、造船、鉄骨構造などの広範な分野に実用されている。立向自動溶接法は、はじめ超厚肉(約40mm厚以上)の压力容器や鍛造鋼品の組み立てに活用されたが、その後中厚板の船殻の現場エレクトロスラグまたはエレクトロガス溶接や鉄骨構造の比較的短い立向溶接に簡易な消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接が実用されてきた。また種々の形状の構造物を母材なしではじめからエレクトロスラグ溶接法を用い連続製造式に製造する、いわゆる「溶造法」も開発され、压力容器胴部、石油化学における10m程度の長さのリフォーマチューブやボイラ、原子炉などの配管系の直管または曲り管の製作や熱交換器の管と管板の突合せ継手などにも利用されている。図4・9・2は溶造法による管製作の機構を示す。

溶接の自動化は、はじめ作業の高能率化あるいは省力化による生産性の増大をねらつたが、そのきつかけは人手不足、熟練度の低下、人件費の高騰などであつた。最近ではこの量的なものから質的なものへの移行がクローズアップされ、品質の向上、作業条件の改善などの信頼

性および安全性が重点事項となつてきている。わが国の溶接作業の半自動および自動化の現状は、昭和48年の工業調査によれば、造船が約20%、鉄骨橋梁が38%、鉄道車両が67%、压力容器が35%、産業機械が50%となつて

(b) 制御アークの利用

アーク溶接法の開発は溶接材料と溶接機器の両面から推進され、その実用にあつては、構造物の溶接施工法としてその適用技術が有機的に合体する必要があるが、最近のアーク溶接法の開発の特徴として、アーク現象、溶滴移行現象、溶融凝固現象を制御するために、これらの現象の検出法、パルス、プラズマ、流体、短絡、電磁場などによる制御アークの利用、溶接トーチの運動、溶接ワイヤ送給速度および溶接速度などの機械的あるいは電氣的制御機構の開発実用化が進められている。

炭酸ガスアーク溶接では、シールドガスとして純 CO_2 、 $CO_2 + O_2$ あるいは $CO_2 + Ar$ の混合ガスが用いられ、通常は粒滴移行現象を示すが、 CO_2 に Ar の流量を増すとスプレー移行にかわりスパッタを減ずることができる。また薄板や全姿勢用に、溶接電源特性を変えることにより短絡移行を円滑に行なわせることができる。ミグ(MIG)溶接においてパルスアークを用いると、図4・9・3のようにパルスによる円滑な溶滴移行範囲が低電流側に拡がり、アークが安定化するので、9% Ni 鋼や高合金鋼、アルミ合金などに活用されている。

ティグ(TIG)溶接はアークが安定で裏波溶接や薄板の溶接に有利で一般に溶接部の品質が良好であるが、作業能率に問題がある。しかし、TIG-hot wire 法、TIGパルス法、噴流ガス法などにより品質ならびに能率の向上が計られている。プラズマ溶接はTIG溶接の変型ともいふべきもので、両者ともタングステン電極を陰極として使用しているが、プラズマアークでは高速ガス流による熱的ピンチ効果を利用して、アークのエネルギー密度を高め、アーク長を安定して長くすることができ作業能率を高めることができる。高電流プラズマアーク溶接は深溶込みでキーホール型の1パス溶接ができ熱影響部の幅もせまくすることができる。また低電流プラズマアーク溶接は極薄肉のマイクロ溶接の一種として注目される。なお、プラズマアークは水中においても安定させるので、水中溶接と切断に有用になると考えられ開発が進められている。

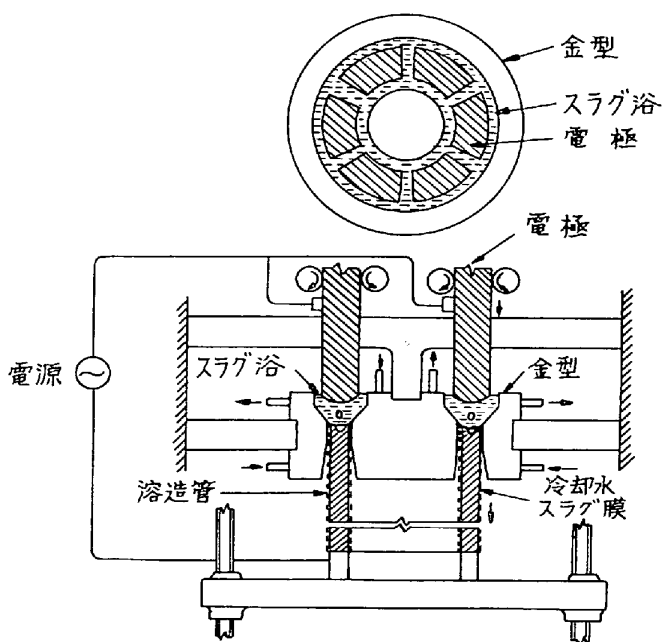


図 4・9・2 溶造法による管製作の機構
(氏家昭：火力発電，23 (1972) No. 2, P. 151)

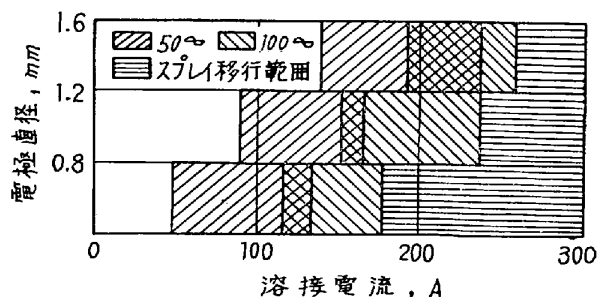


図 4・9・3 鋼のミグ溶接における電極ワイヤ径と適正パルス電流範囲
(長谷川：金属材料，7 (1967) No. 10, P. 37)

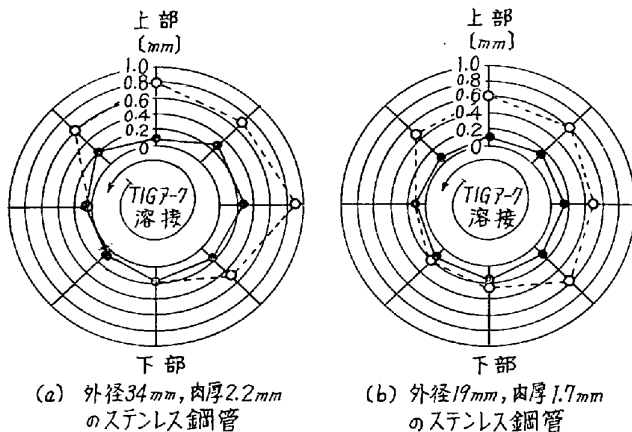


図 4.9.4 小径管全姿勢専用自動 TIG 溶接装置による管内外ガス圧力差制御法(実線)と従来の管内シールド TIG 法(点線)との水平固定管の裏波ビードの余盛高さの比較
(稲垣, 岡田: 溶接加工 (1971) P. 262, 誠文堂新光社)

チューブやパイプなどの全姿勢片面溶接はきわめてむずかしいアーク溶接法の適用技術であり、管の直径および肉厚、管間隔、使用目的および設置場所などによりその性能要求が異なるが、各種溶接法がそれぞれ粋を集めて競合し開発実用化が進められている。すなわち、管溶接専用のティグあるいはミグ溶接、裏波専用棒による被覆アーク溶接、短絡アーク法やパルスアーク法あるいはプラズマアーク法およびそれらの専用治具などの適用が検討されている。

たとえば、ボイラおよび熱交換器用チューブや原子力プラント関係などの小径管全姿勢専用自動 TIG 溶接装置として、円周各位置における管内外ガス圧力差および溶接条件制御機構を備えた装置が開発実用化されている。図 4.9.4 はこの装置によつて得られた水平固定管溶接継手の裏波ビードの余盛高さを従来の方法と比較して示したもので、この新方法を利用すれば、オーステナイト系ステンレス鋼小径管の例では余盛高さを管全周にわたつて 0.1~0.3mm 程度のせまい範囲内に精度よく制御することができた。

厚肉圧力容器などの全姿勢溶接や鉄骨または管構造の下向、横向姿勢などのミグあるいは炭酸ガスアーク溶接に「狭開先溶接 (narrow-gap welding)」が開発実用化され、狭開先による溶着量の低減と低入熱による溶接熱影響部幅の減少もねらつており、能率と品質の向上の両面を解決する有力な方法として期待されている。

(c) 新熱源利用の融接法

融接法における熱源としては、i) エネルギーの集中度、ii) 大容量のエネルギーが連続的に容易に得られること、iii) エネルギーが制御しやすいことが要件であると考えられるが、これらの要件を満足する新熱源としてとくに電子ビーム溶接などが注目される。しかし、これらの新溶接法の適用にあつては、コスト、これらに特有の溶接欠陥の防止および継手開先精度の確保などの適用技術の問題がある。融接熱エネルギーの集中度を比較して示すと、表 4.9.2 のようになり、高電圧電子ビーム

表 4.9.2 各種融接法における熱エネルギーの集中度

熱源の種類	熱エネルギーの集中度 [kW/cm ²]
酸素アセチレンガス	1
金属アーク TIG アーク サブマージアーク エレクトロスラグ	2~10
プラズマ	10~100
MIG アーク CO ₂ アーク	~150
高電圧電子ビーム, レーザ	~5,000~10 ⁶

およびレーザは同程度の高いエネルギー集中度をもち、酸素アセチレンガスの約 100 万倍にも達しうる。

電子ビーム溶接法はここ 15 年間もつとも有力な新熱源利用の融接法として、活性金属の溶接、深溶込み高能率溶接、精密溶接およびマイクロ溶接の各分野で注目を集め脚光をあびてきている。この方法は雰囲気気圧によつて、高真空 (10⁻⁴ Torr 以上) 型、大気中またはイナート雰囲気型および低真空 (10⁻²~10⁻¹ Torr) 型に大別される。わが国でははじめ自動車工業などの小物多量生産精密溶接用に実用され、現在は大型構造物への適用の研究などが進められている。レーザ溶接は熱エネルギーの集中度が高く、一種の光ビームであるので遠隔溶接が可能であるなど、熱源として興味深いものであるが、大容量のエネルギーを得ること、エネルギーの接続性、コスト、母材表面の物性の影響などに問題がある。したがつて、現状ではレーザ溶接の利用は限定された特殊な精密部品の製作や人が近づけないような個所の遠隔溶接などにかぎられ、まだ将来の開発に負うところが多い。ただし、レーザガス切断はレーザのエネルギーに加えてガスの燃焼と動圧のエネルギーを重ねることによつて協同効果が得られ、とくに薄板の精密な切断法として注目され、すでに十分実用の段階に到達している。

(d) その他の融接法および融断法

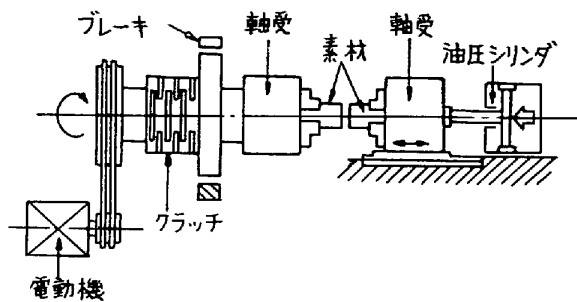
ガス溶接はマイクロ溶接などに有効な方法として見直され、ガス切断およびガス加工は溶接前後の母材の切断および加工に重要な役割を果している。プラズマ切断は高速切断法として造船などに適用され、また高合金鋼や非鉄金属の切断に威力を発揮している。プラズマ溶射は耐熱材料などの耐摩耗用被覆の形成に有効であり実用されつつあり、省資源化の技術として注目される。

(2) 圧接法およびろう付法

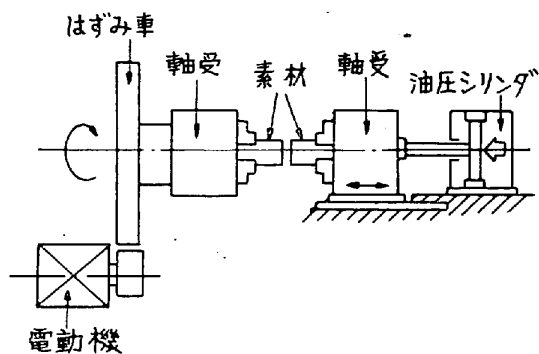
圧接法およびろう付法においては、一般に母材接合面の状況が重要で、とくに固相溶接、拡散溶接および接着においては、母材接合面の処理が溶接部の品質に対して支配的であり、その浄化エネルギーが重要である。

(a) 抵抗溶接

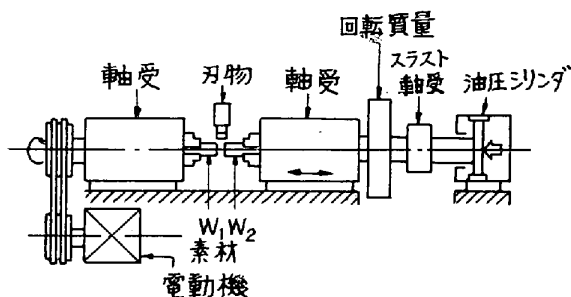
圧接法のうち従来から活用されている抵抗溶接におい



(a) ブレーキ式



(b) イナーシャ式



(c) 二軸回転式

図 4-9-5 代表的な摩擦圧接機の機構
(蓮井：溶接加工, (1971) P. 338, 誠文堂新光社)

表 4-9-3 溶接法の使用比率の推移と予測

(B. E. PATON : IIW 記念講演テキスト (1973), デュッセルドルフ)

年度	アーク溶接 (%)	抵抗溶接 (%)	新溶接法 (%)
1970	69.1	27.1	3.8
1975	66.1	29.9	4.0
1980	62.9	32.6	4.5
1990	57.9	35.5	6.6
2000	53	39	8

では、スポット溶接の多電極化、ロボット化あるいは自動制御化が行なわれ、流れ作業中に導入されて量産化または省力化が計られている。また、スポット溶接機やフラッシュ溶接機などの3相電源利用、直流化、低短絡抵

抗特性をもった回路変圧器の導入などがあげられる。これらによれば、能率よく比較的低電力で溶接が可能であり省エネルギー化が期待される。なお、スポット溶接と接着の組み合わせ継手は、接着によつてせん断強度をもたせ、スポット溶接によつて引張強度をもたせるような両者の特徴を生かした活用方法として考えられ、自動車や航空機構造用などに一部試みられている。

高周波溶接は製管、種々の形状のラジエータ、パイメタルなどの溶接組み立て、ラインパイプの仮付け溶接などに利用させ、生産ラインの一環としてその高速化に寄与している。

(b) 新エネルギー利用の圧接法

摩擦圧接は図 4-9-5 に示す種々の方式が開発され、近年急速に実用期に入りわが国でもすでに約 600 台の摩擦圧接機が稼働している。摩擦圧接機の形態は旋盤に類似しており、大量生産向きで異材突合せ溶接も可能であるが、継手の寸法形状に制約があり、圧接機の剛性、耐久性および取付部の精度が問題である。この方法はとくに自動車工業などの軸類、エンジンバルブ、切削工具などに利用されている。

爆発圧接は各種の異種材料の板や管のクラッドの製造や通常の融接では困難な異材継手の溶接に威力を発揮し、脚光をあびてきている。クラッド鋼の合せ材としては、ステンレス鋼、チタン、銅およびその合金、ニッケルおよびその合金、アルミ合金などがあり、化学プラントをはじめ各方面に実用されている。

超音波溶接は電子部品などのマイクロ溶接に利用されている。なお、近年耐熱材料や複合材料の開発が進められ、これらの溶接が問題になるが、固相接合や拡散接合などがクローズアップされてくると考えられる。

(c) ろう付法

わが国ではろう付法の研究は一部を除いてあまり活発とはいえないが、欧米ではロケットや航空機のエンジン組み立て用に耐熱性の金ろうやニッケルろうなどが使われ研究も盛んである。電気接点材料や電気ならびに電子部品などのはんだ付けは、機能、資源、環境などの問題から重要である。

4-9-3 溶接技術の課題

構造用材料として最も多く使用される材料は鉄鋼であり、ついでアルミニウムなどである。たとえば、ソ連パトン電気溶接研究所長 B. E. PATON によれば、世界の鉄鋼生産量および溶接構造物の量は、1975年にはそれぞれ 77,000 万 t および 33,400 万 t となり、2000 年ごろには 150,000 万 t および 65,000 万 t と推定している。このように鉄鋼が今後とも大量に使用されるのは、低品位鉱も含めて地球上の鉄鋼資源がほとんど無尽蔵であり、かつ鉄鋼が溶接しやすいことも含めて使いやすいことによるものと考えられる。これら構造用材料にどのような溶接法が使用されるかを、パトンは表 4-9-3 のように推定している。この表のなかで新溶接法というのは、電子ビーム溶接、摩擦圧接および今後出現すると思われる方法などが含まれている。この表によれば、今後ともアーク溶接の実用が主流の座を保ち、抵抗溶接および新溶接法が漸次増加する見通しである。しかも、溶接鋼構造物の

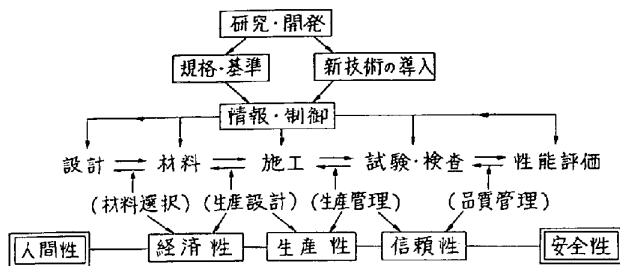


図 4-9-6 溶接生産のシステム化 (稲垣)

量が前述のように約25年後に倍加するであろうことを考えれば、アーク溶接使用の絶対量の伸びは著しいことが予想される。

アーク溶接法の自動化すなわち溶接法の自動制御のための命題としては、溶接作業および技術者の機能をどのようにして装置に置き換えるかということである。従来の機械溶接では、人間の出力機能を代行することに主体があつたが、今後は人間の目や耳などの感覚に相当する入力機能を持たせて溶接の状況を検出し、さらに情報処理機能によりそれぞれの状況に応じて最適制御を行ない、適正な溶接施工の諸条件を自動的に設定することが必要であり、これに出力機能が加わり相互に有機的に連動することが大切である。そして、情報処理技術のための主要機器は電子計算機であり、エネルギー出力技術のための主要機器は工業用ロボットであるが、これらの機器を人間の役割との関連において、経済性、生産性および信頼性を考慮し、どのように配分するかが問題である。溶接技術における電子計算機の利用は、複雑な溶接現象のシミュレーション解析、溶接法の自動制御、工程管理、原価計算、在庫管理などの一般事務管理、さらに溶接生産工程のシステム化などが挙げられ、これらのうち個別的にはすでに種々のかたちで利用されているが、今後一層の研究開発および検討が望まれる。

溶接生産のシステム化については、図 4-9-6 のように提案することができる。溶接構造物の生産方式は工場生産と現地生産によつて大いに異なり、また構造物の種類、大きさ、形状および用途などによつて変化するが、その生産方式を検討する必要がある。従来の生産方式は、能率を強調するあまり機械化に重点が置かれ、それに人間が従属あるいは人間無視の「機械主導型」であつたが、今後は人間性を重視したいわゆる「人間主導型」の生産方式でなければならない。このため、人間性あるい

は生きがいの追求、省力化、省人化、作業環境の改善を計り、かつ溶接製品の信頼性および安全性を確保することを目ざした真の意味の自動化、すなわち人間機能の拡張を計らねばならない。さらに今後は特殊な環境下、たとえば海洋、宇宙あるいは原子炉の高放射能下での溶接などが問題になり、溶接の無人化のための開発も要望される。

4.10 粉末冶金技術の進歩

4.10.1 粉末製造法

最近の鉄系粉末冶金製品の生産の伸びは著しいものがあり、この原料としての鉄粉の需要もそれにともなつて増加の一途をたどっている。以前は主として輸入にたよつていたが、国内における鉄粉製造の技術が確立されて、現在は約70%が国産となつている。また、製造別にみると、従来おもに使用されている鉄粉は還元鉄粉と一部電解鉄粉であつたが、最近ではアトマイズ鉄粉が使用されるようになってきた。これらの推移を表 4-10.1 に示す。

(1) 還元法

鉱石あるいは鋼材の熱間圧延時に発生するミルスケールを固体炭素（コークス）で還元し、できた海綿鉄を粉碎後、仕上還元する方法である。

原料の鉱石は純度の高い品質の一定なものが利用され、鉄粉メーカーとして世界的に有名なスウェーデンのヘガネス社では同国で産出する約70% Fe の鉄鉱石を使用しているという。使用される鉄鉱石は磁鉄鉱が多いが、同和鉄粉工業(株)では硫化鉄鉱を酸化焙焼し、高純度の酸化鉄鉱として原料に用いている。一般に、鉱石還元鉄粉は他の鉄粉に比較して不純物が多く、圧縮性が悪いほか焼結体の強度、とくに焼入性などがやや劣るため、国内の粉末冶金用鉄粉としてはミルスケールを原料とした還元鉄粉が多く用いられている。

原料にミルスケールを用いている川崎製鉄(株)での製造工程を図 4-10.1 に示す。原料のミルスケールと還元剤（コークス）、脱硫剤（石灰）とを Si C 容器（サガー）に充填し、トンネル炉を用いて粗還元を行なう。粗還元温度は約 1,100°C である。できた海綿鉄を 100 メッシュ以下に粉碎後、磁選機によつて不純物の除去を行ない、NH₃ 分解ガス中にて仕上還元を実施する。この温度は約 900°C である。仕上還元粉を解砕後、ふるい分け、粒度調整を行なつて製品とする。

表 4-10.1 粉末冶金用鉄粉消費量推移 (神戸製鋼技報 24(1974) 2, P2)

%

年 度	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
還元鉄粉	99	99	98	98	98	97	95	95	95	93	91	89	86
電解鉄粉	1	1	2	2	2	3	5	5	5	5	4	3	3
アトマイズ鉄粉	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	5	8	11
国 産	3	3	3	5	5	5	10	20	30	45	50	60	72
輸 入	97	97	97	95	95	95	90	80	70	55	50	40	28