

欧米における溶接技術の現状

The Present State of Welding Technique in America and Europe

沢井 善三郎*

Zenzaburo SAWAI

1. ま え が き

昭和43年9月21日から10月28日まで、アメリカおよびヨーロッパに出張した。訪問先は溶接技術に関係したところが多かったので、ここに溶接技術についての海外の現状を紹介し、これにある程度の考察を加えたいと思う。

一般の動向としては、抵抗溶接、アーク溶接とも、溶接機に関する従来からの技術はほぼ安定して、メカによる差異はあまりなく、むしろ工場現場などいかに溶接を取り入れるべきか、すなわち生産ラインの一部としての溶接装置のあり方などが、主たる関心のまとなっているようである。しかし一方溶接方式や溶接機にも新しい考案がいくつかあり、今後の発展も予想されるので、まず最初にこれらを紹介し、ついで自動車工業を主として、生産工場における問題にふれることとする。

2. 新しい溶接方式

(1) 電子ビーム溶接 (Electron Beam Welding) 電子ビーム溶接は、真空中で電子銃から射出される電子ビームを、溶接すべき金属部材に投射し、そのエネルギーによって溶接する方法で、いわゆる融接 (fusion welding) の一種である。この E. B. W. は原子炉用 vessel の溶接からはじまり、ジェットエンジンの製作、修理等に用いられているが、次第に応用が広くなり、すでにわが国でも作られるようになってきている。E. B. W. では溶接部材の存在する場所の真空度が問題になる。電子銃の部分は 10^{-4} mmHg 以上の高真空に保ちたいが、溶接部はなるべく低真空か、できれば大気圧ですむことが望ましく、各所で実用的な研究が行なわれている。

a) hard vacuum type: 電子銃も溶接部材もともに 10^{-4} mmHg 程度の高真空におくもので、この形式のものでは、溶接部材は固定し、電子銃の位置や方向を外からの操作で変えられるようにしたものが見られた。

b) soft vacuum type: 電子銃の部分は油拡散ポンプによって 10^{-4} mmHg 程度に保つが、図1に示すように、アルゴンガスのカーテンによって大気を遮断するようにし、溶接部材の部分は 10^{-1} mmHg 程度としている。電子ビームは細孔を通過して部材に投射されるようになっている。この程度の低真空で溶接すれば簡単なパッキングにより、金属管の製造のような連続的な溶接も可能である。この場合電子銃の寿命は約8時間とのことである。

なお大気中での溶接は好ましくない。その理由は①金属中のガスの除去ができず、かえって溶接部にガスを吸

収する。②空気中の分子に電子が衝突して、ビームが広がるので、エネルギーがよけい必要になる、③ビームの照射によって発

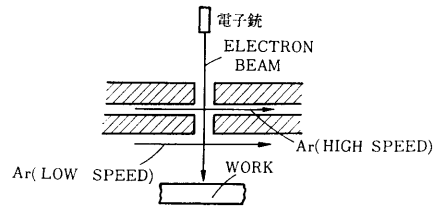


図1 電子ビーム溶接 (SOFT VACUUM TYPE)

生ずるX線の遮へいが必要となるが、これに対する遮へい箱を作るくらいならば、soft vacuumにした方がかえり安くなる等である。E. B. W. は、特殊鋼の細径管や、自動車用部品 (distributor 等) に応用されているが、現在のところではまだ標準的な溶接法というところまではいかず、また高価なので、どこまで普及するかなお問題である。複雑な鍛造品を作るかわりに、簡単な形の部品を E. B. W. で溶接することにより、経済的なメリットを出しうる場合があるなどの説明をきいた。

(2) 摩さつ溶接 (Friction Welding) 溶接部材の一方をつかんで高速回転しながら相手におしつけ、摩さつで発熱させ、適当な時期に強く加圧して溶接する方法である、わが国でもすでに研究されているが、イギリスの Welding Institute では、100 HP, 100 ton の実験装置をもっている。F. W. は溶接時間が短かく、また同種金属ばかりでなく、異種金属やセラミックでも溶接できるという特徴があるが、各種の場合についてあらかじめ溶接条件を求めておく必要があり、また設備が多少めんどうなためか、自動車部品のごく一部以外には、まだあまり実用化されていないようである。

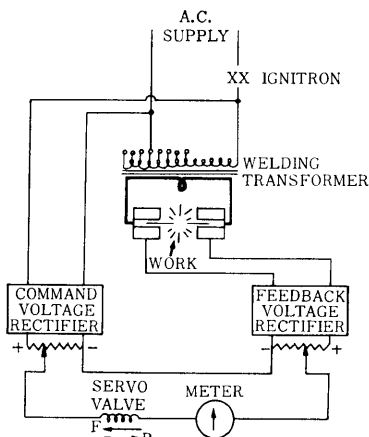
(3) 抵抗溶接の適応制御 (Adaptive Control) a) 点溶接の適応制御 (Sciaky 社): 点溶接の制御は、電流値に対しては変圧器のタップ切換または放電管の位相制御で行ない、通電時間に対してはタイマの時間設定によるのが、従来から行なわれていた普通の方法である。このようなやり方でも、加圧力や溶接部材の管理を正確に行なえば、実用上差支えないのであるが、溶接前の加工の不良、表面処理の不十分、加圧力の変動、電源電圧の変化などがあると、溶接結果が好ましくないこともおこる。これに対して溶接中点溶接部の加熱によるわずかの膨張を検出し、これによって通電を停止するかまたは電流を変化させようとするのがこの適応制御である。検出器は expansion monitor と称しているが、差動変圧器のよう

* 東京大学生産技術研究所 第3部

なものと考えられる。なお溶接部に消費される電力量を検出して電流を停止させる energy control という方法が以前からあったが、上記の適応制御がうまくいくとすれば、より適切な点溶接のフィードバック制御であるということができよう。

しかし自動車工業などに使われる点溶接機は、おびただしい数にのぼるので、これにそれぞれ適応制御を付加することは経済的に問題であり、また多量生産の場合には、いずれにしても部材や機械の管理を厳重にして、個々の変動が最小となるようにするのが常道で、この種の制御にあまり依存すべきではないと考える。

b) フラッシュ溶接の適応制御 (McKAY 社): フラッシュ溶接は、溶接部材を近づけて接触させ、電流による加熱で接触部を火花状にふきとばしながら進行して、全体が適当な温度になったとき、強く加圧して溶接する方法である。従来は溶接部材の一方を取付けた可動プラテン (movable platen) を動かすのに、あらかじめ形を定めたカムなどを利用してしたが、この適応制御の方式は、図2に示すように溶接部の電圧降下を基準電圧 (command) と比較し、これらの電圧の差を検出してサーボ



バルブを動作させ、油圧シリンダの操作によって可動プラテンを動かすようにしたフィードバック制御方式である。すなわち溶接部電圧降下が高すぎれば溶接部材を押し方向に、また低すぎれば部材をはなす方向に、プラテンを移動させる。この移動速度は上記の電圧差に比例するようになっている。この場合スライドで見たオシログラムから判断すると、整流装置のフィルタで適当な検出おくれをもたせることにより、フラッシュの発生中適当な時間間隔で電流を断続させる場合もあるらしい。この適応制御の方法はなかなか興味のある方法で、今後の発展が期待される。

(4) Narrow-Gap Welding これはアメリカのコロンバスにある Battelle Memorial Institute で開発されたイナートガス・アーク溶接 (MIG) の一つの形式で、経済的で、溶接部の特性がよく、ひずみや変形が少なく、上向、立向等全溶接姿勢に対して使用可能という特色をもった自動アーク溶接である。船舶用の厚い板などを、図3のように1/4"~3/8"のギャップでI形グループの状態に

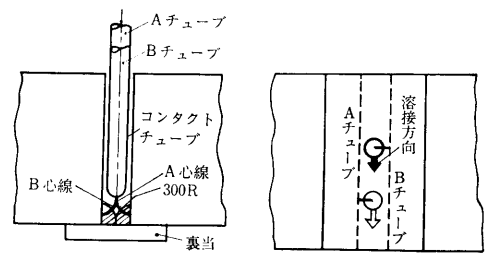
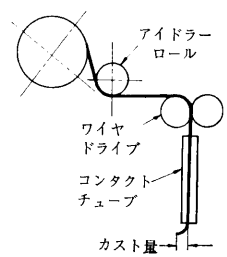


図3 Narrow Gap Welding



おき、A、B 2本の電流供給用のコンタクト・チューブを前後に配置し、この中に溶接電極用ワイヤを通すようになっているが、ワイヤは図4に示す装置で送給され、途中のロールでひずみを与えられ、コンタクト・チューブの先端から図のようにまがって出てくるようになっている。このまがりの方向がAとBとで左右逆になっているので、このワイヤによって溶接を行なうと、図3のように、隅肉溶接部が左右対称に形成されることになる。ギャップに沿ってこの溶接を繰返すことにより、全体の溶接が完了するわけである。なお溶接部は Ar80%、CO₂ 20% のガスでシールドしている。この方式は今後わが国でもかなり普及するものと思われる。

(5) Pulsed Arc System (AIRCO 社) アーク溶接では、電流が比較的大きいときは溶滴が小さくスプレー状になり、立向、上向等でも溶接ができるが、電流を小さくすると溶滴が大きくなり、落下してしまうので溶接不能になる。ところが溶接部材の寸法や金属の種類によっては、全発生熱量を小さくする必要があり、電流を大きくできず、溶接が困難になる場合がある。

これに対して電流をパルス状にし、平均電流を下げて電流のピーク値を大きくすると、有害な加熱を避け、しかも小さい溶滴で良好な溶接を行なうことができる。

Pulsed Arc System はこの考え方にもとづくもので、図5のように、アークを維持するための小電流に、たとえば 60 pulse/sec のパルス電流を重畳するよう

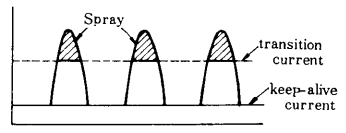


図5 PULSED ARC SYSTEM

る。このパルス電流のある値以上のところで溶滴はスプレー状になるのである。

(6) プラズマの応用 (ARCOS 社) ガスを数千度以上の高温にすると、イオンと電子とに離解して、いわゆるプラズマの状態になる。このプラズマを放射して溶融点の高い物質のスプレー、切断、溶接等を行なうことが研究され、すでに装置が製作されている。たとえば図6の

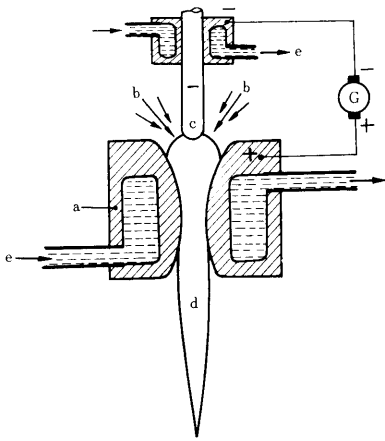


図6 プラズマ・スプレー・トーチ
 アルゴンを使用した場合、ジェットは 20,000°C 以上にもなるという。これによってアルミナ、クロム、タンゲステン、モリブデン、コバルト、酸化ジルコン、クロムカーバイド、タンゲステンカーバイド、酸化チタンなどの粉末の溶射を行なうことができる。

(7) その他 上記のほか、溶接機メーカーの立場で多種類の半自動および全自動のアーカ溶接装置が製作され、特に厚板、大口径パイプ、石油タンク等寸法の大きいものの現場溶接に適した自動溶接装置など、見るべきものが多い。これらはいずれもシールドガスとして、Ar または CO₂ を使用するアーカ溶接機である。レーザの応用はなお初期の研究時代であり、研究的にガスレーザによる切断が試みられているのが見られた程度であった。なお溶接機の話ではないが、研究所などでは溶接部の試験に関する研究に力が注がれ、特に疲労試験について莫大な費用をかけているのは特筆すべきであろう。

3. 自動車工業における溶接の自動化

(1) 自動車工業における自動化の問題 自動車工場を見学すると、作業員の数の多いのに驚く。ことに乗用車の最後の総組立は人海戦術といっても過言でない。

一般に自動車工業は多量生産工業であるといわれる場合が多いが、一工場で製造される自動車でも、車種はもとより、エンジン、塗色、シート等の種類、ハンドルの右左、その他アクセサリの選択などを考えると、本当の意味の多量生産とはいえないのではなからうか。ことに数年ごとのモデル・チェンジを考えると、製造方法も必ずしも量産態勢をとるべきかどうか問題である。近頃では、組立工場の管理に電子計算機を使うのが常識になっており、流れてくる車体の順序に部品が用意されるので、ラインの速度が大きくても間違いは少なくなっているが、このラインに作業員の数の多いことは、世界各国とも共通である。しかし生産台数の多い工場では、1車種に対してプレスラインが専用に使えるので、この部分の人手がへり、またプレスされた鉄板を組合わせて溶接

する車体集成工場にも、大がかりな自動化が採用されるようになっている。特に外国の一流自動車工場では、生産ラインの速度がわが国の3倍程度もあり、人件費も高いので、自動化を重視するのも当然であろう。

(2) 各国における溶接自動化の現状 車体組立のもっとも重要な作業である溶接について考えると、点溶接はポータブル点溶接機1台ごとに1人の作業員がつき、またアーカ溶接も手作業で行なうのが従来のやり方であった。アーカ溶接は車体組立の場合ごくわずかであるが、点溶接の方は自動車1台につき数千点にも及ぶので、作業員の数は非常に多くなる。最近ではこれに対して自動化された多極点溶接機 (press welder とよばれることが多い) を導入して、人手を省くようになってきているが、この自動化には設計上の苦勞がある上に、意外に大きな投資を必要とするものである。

従って大がかりな自動化を行なうには、販売台数の予測はもとより、労働力確保の難易や、将来の人件費などもにらみあわせて、慎重に判断すべきである。この点各国により、ある程度事情をことにしているようである。

a) U.S.A.: アメリカは世界一の自動車生産国で、各工場は生産速度もはやく (約60台/時)、活気にみちている。工場により2直制または3直制が行なわれているが、黒人労働者の多いのが目につく。平均して日本よりも大形の自動車なので部品の形も大きい。体格のよい黒人が疲れを知らないようにはたらくている。現場では60~70% は黒人のようで、黒人への依存度はすこぶる大きい。このような状況で、組立工場の自動化はドイツよりも幾分控え目であるように見られた。熟練者は別として、一般労働者の採用はあまり困っていないようで、どこで聞いても自動化は経済ベースからの考慮のみで採否を決定しているという。

それでも、部品のハンドリング装置、プレスウエルダ、シームウエルダ等自動化されたものが随所に見られた。プレスウエルダは1台の溶接機で数十点の点溶接を行なうが、これが数台直列に配置されてボデーの部品をつくる一つのラインを形成している。1台のプレスウエルダでは数十点の溶接を同時に行なうのではなく、電極を交互に加圧して、数回に分けて溶接するのが普通である。なお電極チップは規定の回数で取換えるようにしている。

アメリカでは自動車の下請工場も非常に発達し、ボデーでもかなりのところまで下請で作り、いわゆる自動車会社の工場は、単にこれらを組合わせて完成する工場になっている場合もある。この場合下請といっても非常に大きな企業であり、このような企業形態において、モデルチェンジの計画なども考慮すると、自動化という面だけを見ても、アメリカの自動車工業の全体を適確に判断することはなかなか簡単でない。

b) 西ドイツ: 西ドイツの自動車工業はアメリカとか

なり事情がちがっている。特にフォルクスワーゲンはかつてヒトラーが国民車として設計製作を命じたもので、速度制限のない自動車道路（アウトバーン）とともに、戦時中からの歴史をもっている。工場は戦争により一時まったく破壊されたが、戦後復旧し、1949年頃から本格的生産にはいった。主工場はその後1957～1962年の6年間に、めざましい自動化が計画的に行なわれた。すなわち、フロント・ボデー・ライン（溶接点数 258）、リアー・ボデー・ライン（溶接点数 256）、ルーフならびに主集成ライン（溶接点数 350）が相ついで自動化され、これらの部分の作業員はきわめてわずかである。

塗装前の車体は英語で white body とよばれるが、フォルクスワーゲンの white body の集成ラインは図7のようになっている。フロントおよびリアー・ボデーは、それぞれ7および10ラインのサブ集成ラインで部品が作られ、これらはそれぞれ8ステーションおよび10ステーションからなる merry-go-round 式集成装置の周囲に供給される。この装置は直径 20 m 程度で、それぞれ一まわりする間にフロントおよびリアー・ボデーができ上がるわけである。また別のラインで作られたルーフは、大きな回転ビームで供給されるが、このステーションを含んで合計10ステーションより成る主集成ラインと、最後のCO₂ アーク溶接とによって white body が完成する。

以上のうちアーク溶接の部分以外は、自動化の程度は非常に高く、前に2直分で430名いた作業員が、現在では67名に減少している。生産現場には、アメリカのような体格のよい黒人はほとんど見られず、ドイツ人以外にはあまり体格

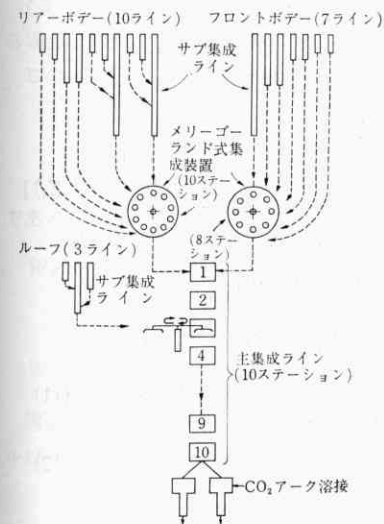


図7 White Body Assembly Line 系統図 数は7,500台/日および、そのうち2000台/日はアメリカへ輸出されているとのことで、その規模の大きさが想像されるであろう。思い切った自動化も生産台数が多いために可能となるのであるが、長年にわたってモデルチェンジをしな

いでいたことも自動化を生かしているわけで、この点ドイツ魂が現われているといえるであろう。

ダイムラー・ベンツ社はその生い立ちは少しちがうが、自動化の意欲はやはり強く、250点の点溶接を7ステーションで行なうアンダー・ボデー用プレスウエルダ群、その他完全に自動化された大がかりな装置が数多く使用されている。CO₂アーク溶接でも、フロント・サスペンション・メンバの溶接など、完全に無人化された装置が高速で稼動しているのは、まことにみごとであった。

自動化がコストの低減を目的とするだけでなく、労働力不足の対応策として真剣に考えられている点は、アメリカとちがうように思われる。

c) フランス：ルノー社は3,500台/日の生産台数であるが、見たかぎりにおいては西ドイツに比して計画性が少なく、ややのんびりした感じがあった。しかしルノー

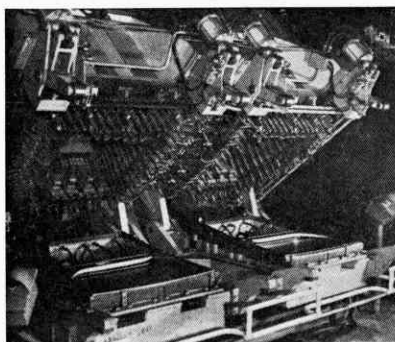


図8 ドアパネル用多極点溶接機 人の特徴がよく現れているように思った。図8はショーソン社のドアパネル組立用のマルチ・スポット・ウエルダである。

4. あとがき

以上欧米諸国における溶接の新技術と自動車工場を主とした生産現場での溶接技術の現況につき見聞したことを述べた。わずかの期間の旅行であり、十分な見学ができたとはいえないが、各国の技術者が、それぞれ自国の実情に適するように、しかもはっきりした目的をもって研究し、計画し、また実施している点、おおいに感銘した次第である。ひるがえってわが国を見ると、高度成長経済のもと技術の発達はめざましいが、諸外国とくらべてみると、どこか着実性にかけているのではないだろうか。現在では個々の技術については必ずしも外国より劣っているとは思われないが、それをはっきりした目的のために結集し、長期計画によって実施にもっていくということになると、なおすこぶる不十分な点が多い。

最近わが国では人手不足が深刻な問題になり、自動化と別に、人手を省くという意味で省力化という言葉も生まれてきている。いずれにしても、生産工業に限らずあらゆる面で今後人手が不足するので、思い切った手段をとる必要があるが、これに対して西ドイツのやり方は大いに参考となるであろう。 (1969年1月6日受理)