キャンペーン特集

生産技術のニューウェーブ
＜溶接の脱技能化＞

④ 溶接機器からの脱技能化へのアプローチ*

山 本 英 幸**

Try for De-Skillization with Welding Machine*

by Hideyuki Yamamoto**

キーワード：脱技能化，人手不足，現場離れ，老令化，半自動化，自動化，ロボット化

1. はじめに

平成 3 年後半以降にややかげりが見え始めてはいるが平成景気の中でのこの 2～3 年，内需拡大に伴う建築，土木，造船などの重厚長大産業の復興には目覚ましいものがある。このため溶接作業量が急増する一方，溶接作業の 3K が問題になり，特に若年技能者の現場離れや，熟練者の老令化などにより，作業量に見合うだけの溶接作業者の確保がますます深刻な問題となっている。

このような状況の中で，人手不足解消のための対策として，溶接の自動化，ロボット化が推進されるとともに，素人工での対応も現実に進められているところも多く，溶接作業の「脱技能化」が緊急の課題となってきた。ここでは，主としてアーク溶接機器からの脱技能化についてこれまでの歴史的経緯をふりかえると共に，今後のあり方について検討してみたい¹⁾。

2. アーク溶接における脱技能化の歴史的経緯

昭和 40 年代の高度成長期には，アーク溶接技術そのものが急進展しており，溶接施工を専門とする技術者，技能者の社会的地位も相対的に高い位置にあった。

図 1 は，戦後 5 年毎に実施されている国勢調査で溶接専門工として登録されて人員の推移とこれに対応するアーク溶接材料（棒，ワイヤ，フラックス含む）の生産総量²⁾を対比させたものである。

この図から昭和 40 年末までは，溶接作業量の伸びにほぼ比例して溶接工が急増しており，その需要・供給はバランスしていた。しかし，昭和 50 年のオイルショック以降は，重厚長大産業の構造不況が叫ばれ，溶接作業量とそれに必要な溶接材料の伸びは停滞してきた。これに対して溶接工の数は急速に減少する一方溶接工 1 人当たりの溶材消費量を試算すると昭和 40 年代に比べて約 2 倍に急増している。つまり，昭和 55 年以降は，アーク溶接の半自動化・自動化・ロボット化で，溶接作業者の不足を補ってきたと言える。

図 1 溶接専門工と溶接材料の生産量の推移

*原稿受付 平成 3 年 10 月 14 日

**正 員 ㈱ダイヘン Member, Daihen Corporation

図2 アーク溶接の自動化率

図3 溶接機器の累計台数の推移

図2は我国のアーク溶接の半自動・自動化率の推移を鉄鋼を対象とする溶材生産量から推定したもので、特にこの2、3年自動溶接用のワイヤの消費が急増し欧米の自動化率を追い越して約70%に達している。

被覆棒からCO₂・MAG溶接への移行は基本的には溶

図4 アーク溶接プロセスの変遷と脱技能化

接の高効率化を主眼としたものであるが、機器の面から見ると作業員自身が棒の消耗に対応してアークの長さを手動で調整する部分をワイヤを機械的に送給する方法に替えたもので、この点からすると「脱技能」の大きな進歩であった。

図3は、このような溶接プロセスの移行に伴う溶接機等の全国累積生産台数(8ヶ年)の推移²⁾を見たもので、被覆棒アークに主として使用される交流アーク機が減少し、これに対応して標準自動機の伸びが著しい。また最近では、アーク溶接ロボットの累積台数も急増し、半自動・自動溶接機の中ですでに10%近くを占めるまでに至っているものと推定され、本来の意味での脱技能化が進みつつあることは明らかである。

以上のようなアーク溶接プロセス・機器の歴史的な変遷の中で、図4に示すような作業方法の変化が進んできたが、以下にプロセス別、作業方法別に見た脱技能のための機器の改善アプローチについて検討する。

3. プロセス別に見た手動・半自動機器の脱技能化

3.1 被覆棒溶接機

被覆棒アークはもともと手動溶接が基本形態であるが、グラビティ法が古くから使用されており、機械化による能率向上と省人化がなされてきた。

しかし、現場でしかも曲線部や短尺溶接部では依然として被覆棒アークは有効であり皆無になることはない。脱技能の方向からすると1つの工夫として、溶接電源の交流から直流への変換がある。

欧米ではもともと電源の開発が回転機から出発したこともあり、現在でも被覆棒溶接の大半に直流電源が使用されている。我国では安価な電源指向と制御技術開発の進歩により交流電源が主体となってきた。しかし、溶接作業の技能の必要度から見るとアークの起動やアーク長の維持安定性の面では直流のほうが優れている。最近、インバータ制御方式の開発によって直流電源の小形軽量

化が進んでいるが、図5の写真に示すように、従来電源の1/3程度で可搬性に優れ、価格もかなり低減されている。今後は日本においても現場溶接では被覆アークの直流化による脱技能が指向されるものと思われる。

3.2 CO₂, MAG 溶接機

前述の通り CO₂溶接は、現在の段階では半自動による施工がまだまだ主流を占めており、今後も自動化・ロボット化が困難な箇所溶接、例えば大型構造物や、現場溶接あるいは作業者のスキルで溶接品質を補う必要のある

図5 現場向直流アーク溶接機の外観 (被覆棒アーク用)

溶接には採用されなければならない。

ところで、半自動用の溶接機器の基本的な形態は、溶接電源、ワイヤ送給装置、溶接トーチの3つの要素で構成されている。

このうち、溶接電源については、この数年で出力制御方式がサイリスタ位相制御からトランジスタインバータ方式に変わり、その溶接性能は飛躍的に向上している。

例えば、CO₂ショートアーク溶接法では各種波形制御によりアークスタート性、スパッタ発生量などが著しく改善され、アーク安定性の維持が容易となって技能の裕度を補っている。機能面でも溶接条件(溶接電流、電圧)の一元調整機能のAI化により精度向上が図られ、リモートコントロール(図6)での条件設定が容易となって技能者の作業負担を軽減できるようになってきている。

さらに、MAGパルス機能の高性能化⁴⁾により、溶接の品質改善、裏波溶接や、溶込みの均一化などの面で技能をカバーできるようになった。

一方、ワイヤ送給装置、トーチについては使用ワイヤ重量の目的別の選択による軽量化や性能面での向上はかなり図られているが機能的にはまだまだ脱技能の方向には進んでいない。

図7に示す写真はビルの合成スラブ用デッキプレートのアークスポット溶接専用に従来の被覆棒溶接に替わり開発された半自動溶接機であるが、この場合は用途が明確なため、小型のプッシュプルフィーダと、立ち姿勢用トーチの組み合わせにより作業の単純化と可搬性の両面を満足できた脱技能の数少ない例である。今後は電源機能のみならずフィーダ、トーチを含めた半自動作業そのものを容易にするための開発がより一層必要となるものと考えられている。

図6 条件設定用リモートコントロール外観 (CO₂アーク溶接用)

図7 デッキプレート用アークスポット溶接機の作業風景

3.3 TIG 溶接機

アルミ、ステンレス等の非鉄金属の溶接に不可欠な TIG 溶接機では、一般にフィラワイヤを手動で送給するためにはかなりの技能を要する。これを半自動化する方法として図8に示すようなスプールオンガン方式の TIG 機も市販されている。

また、溶接電源の機能として図9に示すように、直流電源では0.1~10 Hz 程度の低周波から500 Hz までの高周波まで選択可能な高精度のパルス機能の付加、または交流電源では極性がプラス・マイナスに変化する周期・電流比率波形が自由に調整できる波形制御が付加されたため⁵⁾、このような機能を有効活用すれば、アークの集中性、ビード成形をやりやすくすることによって溶接品質確保のための熟練作業の軽減を図ることができる。

3.4 MIG 溶接機

半自動 MIG 溶接機は主としてアルミ合金の溶接に使用されているが、この溶接法は特に溶接品質の確保が重要であり、このため現在でも溶接技能に依っている部分がきわめて多い。

最近になって、自動車・車輛・船・タンクなどへの適用が進み、作業量が急増するとともに溶接機器の見直しも進められ、TIG 溶接なみの外観で MIG 溶接の作業性の期待できる方法が提案されている。

図10はMIG パルス溶接法に TIG で用いられている

図8 ティグ半自動溶接機外観

アークの種類	電流波形	アークの状態	ビード外観	適用溶接
一般直流 TIG		ソフトなアーク	なめらかなビード	安定したアークで薄板から厚板まで適用可
ローパルス		アークの広がり大	均一性のあるビード波形	オールポジション溶接 板厚が広い 異種金属
ミドルパルス		アークの集中性大	きめ細かな均一なビード	薄板の高速溶接 すみ肉がやりやすい。 溶加棒の挿入が容易

(1) パルスの効果

制御方法	波形	アーク再点着 用高周波火花	溶込みの制御	クリーニング 幅調整	電極消耗
サイリスタ 制御	電極⊖ 高周波 電極⊕ 正弦波	必要	不可	不可	多い
トランジスタ インバータ 制御	電極⊖ 矩形波 電極⊕	不要	可能	広範囲	少ない

(2) インバータ制御交流ティグ溶接の非対称矩形波の効果

図9 ティグ溶接法における波形制御の効果

図10 アルミ合金のMIG 低周波パルス法の電流波形とビード外観

0.1~10 Hz 程度の低周波パルス法を重ねた新しい制御方式によるビード外観であり、うろこ状の断続ビードが得られ溶接部の割れ防止、気孔発生防止にも効果がある⁶⁾。

このように TIG 溶接を MIG 溶接に置換することにより、能率の向上とともに省技能化の方向に進むことが期待される。

4. 簡易自動化による脱技能

溶接作業者がトーチを小形の手持ってアークを溶接線に沿って移動させる半自動溶接から、トーチを小形の台車に取り付けて自走させる簡易自動化が造船、鉄骨分野で積極的に進められている⁷⁾。

詳しくは別稿にゆずるとして、繰返しの多い溶接や長尺の直線溶接などで、作業方法、溶接条件が確立している場合に多く採用されており、現場の目的に応じて種々の改善・工夫がなされることで、省人化とともに作業の一層の単純化が図られ、脱技能の面からも極めて有効な手段と言える。

ただ、簡易自動化の適用範囲は限られており、一般に比較的単純な作業の自動化(機械化)は可能でも、複雑な形状や熟練を要する作業の置換には限界がある。

5. ロボット化による脱技能

半自動溶接から自動化、ロボット化することで本質的な脱技能が達成される。

我国では特に生産のライン化が進んでいる自動車関連や小物部品の製造分野でのアークロボット化が特に進んでいるが、溶接目的によっては、ロボットの適用が不可能な部分が存在し、全てをロボットに依存することは困難である。

現在のアークロボットの主流はティーチングプレイバック方式であり、溶接対象に対してまず、溶接方法、条件を十分熟知した作業者が的確にティーチングしなければならない。つまり、肉体的な作業は置換できるが、技能的情報を教える作業を省くことは出来ない。ハード的には、図 11 に見るように、対話方式の簡便なティーチングボックスや図 12 に示す協調制御機能による多軸同時制御により複雑な形状のティーチングの簡素化が図られる装置が開発されているが⁸⁾、溶接技能知識の面ではまだレベルは低い。このような問題を解決する手段としてオフラインティーチングによって現場ティーチング作業の省略が可能となるが、この場合ロボット本体と周辺システムのインテリジェンスの向上とそれに伴う新たな問題として管理技術者自身の脱技能化のためのエキス

図 11 アーク溶接ロボットの対話式ティーチングボックス

図 12 2台のロボットの協調制御による溶接施工状況

パートシステムや、AI の高度化によって、ロボット自体の溶接の知識レベルを向上させなければならない。

また、溶接途中に発生する溶接開先線の変動や、溶接欠陥に対応する種々の問題に対してモニタリング技術、センサ技術の開発実用化が進んでいるが⁹⁾一層の発展が必須条件となろう。

6. おわりに

溶接機器から見た脱技能についてアーク溶接に限って概括的に検討してきた。結論的には本質的な脱技能は自動化、ロボット化であるが、すべての溶接作業が技能者から解放されることは考えられず、現実的な問題としてより一層の手動、半自動機における脱技能、さらには、3K 対策としての環境改善も含めた総合対策が必要であろう。

参考文献

- 1) 山本：溶接機器からの脱技能化へのアプローチ，溶接学会関西支部シンポジウム資料(1991) p25～p30
- 2) 通産省統計
- 3) 山本：インバータ制御によるアーク溶接機の進歩と自動化への適応，溶接学会誌，第 58 巻，第 4 号，(1989) p56～p63
- 4) 山本，原田，安田：インバータ制御パルスマグ溶接機の新電流波形制御と高速溶接におけるスパッタの低減，溶接技術，Vol. 37, No. 2, (1989) p67～p73
- 5) 芥川，原田：溶接機器と溶接法，軽金属溶接，Vol. 25, No. 12, (1987) p20～p27
- 6) 山本，原田，上山，小川：アルミニウム合金の低周波パルスミグ溶接法の開発とその効果，溶接技術，Vol. 39, No. 9, (1991) p95～p99
- 7) 斎田：造船における溶接の自動化方向と二，三の適用例，溶接技術，Vol. 33, No. 12, (1985) p63～p67
- 8) 渡辺：最近のアーク溶接用ロボットシステム，溶接技術，Vol. 38, No. 12, (1990) p125～p128
- 9) アーク溶接におけるセンシングと制御，溶接法研究委員会，溶接法ガイドブック 2，ISBN4-906110-23-1 (1990)

1992 年度（第 30 回）日本接着学会年次大会講演募集

●日本接着学会 会長 宮入 裕夫

●大会実行委員会 委員長 天野 普武

主 催：日本接着学会

1. 会 期：1992 年 6 月 23 日（火）
6 月 24 日（水）の 2 日間
2. 会 場：品川区立総合区民会館「きゅりあん」
(東京都品川区東大井 5-18-1)
3. 発表の種類：
○研究発表：ポスター発表とする。
○討論発表：口頭発表 25 分，討論 10 分。（予定）
既発表の内容を含んでもよい。（会場の都合で発表件数に限界がありますので，採否については実行委員会にご一任下さい）
4. 資 格：発表者は当会正会員又は学生会員（連名発表の場合は内 1 名）でなければならない，非会員の場合は，入会手続を事前に取って下さい。
5. 発表の内容：接着に関連する全ての研究
(A) 物性，(B) 界面現象，(C) 合成および反応，
(D) 分析，(E) 接着・粘着加工，(F) 強度解析，
(G) 試験法，(H) 耐久性，(I) その他
6. 申込締切：1992 年 3 月 10 日（火）必着
7. 申込方法：本誌（日本接着学会誌）綴じ込み用紙（複写可）に黒インキを使用し，下記項目を明記の上，郵送にてお申込下さい。
a. 発表の種類 研究発表あるいは討論発表
b. 発表の内容 (A) ～(I)
c. 発表題目
d. 研究者（氏名，勤務先，郵便番号，住所，電話，連名の場合は発表者に○印）
e. 講演内容（目的，方法，結果を 200 字程度にまとめること）
8. 講演要旨締切：1992 年 5 月 9 日（土）必着
申込者には，執筆要領をお送りします。
締切日に要旨原稿未着の時は，講演中止として取扱います。
9. 申込取消：プログラム編成に支障をきたしますので
申込締切後の取消はできません。

10. 申 込 先：日本接着学会 〒556 大阪市浪速区日本橋 4 丁目 2 番 20 号（コア日本橋 2 階）
TEL:06-634-7561

■ポスター発表について■

1992 年度の年次大会では，昨年通り従来の研究発表に相当する発表はすべてポスター発表となります。

ポスター発表は，発表者と聴講者が個々にかつ詳細に議論できる上に討論時間を充分にとることができます。今回も発表者の方々には会期初日にあらかじめ聴講者が一堂に会する講演会場にて約 4 分程度のポスター発表内容のアピールをしていただく機会を設けることに致しました。このことにより聴講者の方々も事前にその内容を理解の上で翌日のポスター発表会場に参加できますので，従来の形式の研究発表より以上の活発で十分な発表・討論ができると期待されます。多数の発表申し込みをお待ちしております。

ポスター発表の要領は下記の通りです。

- 1) 発表会場はいくつかのブースに分けられていて，各ブース内にはパネルが何枚か用意されています。
- 2) 発表題目と研究内容を示したポスターを，指定されたパネルに貼り付けます。
- 3) ポスター貼り付けと取り外しは，指定された時間内に行います。
- 4) 発表時間として設定された時間帯（一時間程度になる予定です）には必ず発表者はポスターの前で発表・討論にあたってください。

尚，さらに細かい要領については，プログラム編成後それぞれの発表者あてに通知します。

■接着関連機材（剤）展示会について■

日 時：1992 年 6 月 23 日（火） 10：00～17：00

6 月 24 日（水） 9：00～17：00

会 場：品川区立総合区民会館「きゅりあん」