が、最近少形で強力な油圧ジャッキが容易に得られ、連動操作もできるので、これの有効な活用を計ることにより、より強力な治具とすることができる。

剛性の強い治具を用いると溶接による収縮量がじゅういの治具で組立した場合の1/4以下になることからわかるように溶接変形を小さくおさえることができる。今までの構体組立作業は、ともすると溶接によって生じたひずみをいかに上手に修正するかに力を注いでいたが、今後は治具の有効な活用により、はじめから溶接ひずみを出さないような施工方法を取り、ひずみなおしの工程をなくするようにしなければならない。これは鉄道車両の構体製作のみならずすべての溶接構造物の製作においても考慮しなければならない問題であり、そのための事前検討に力を注がねばならない。

一方設計においても、ブロック分割組立の方法を考慮し、各ブロックの組立時における応力やひずみを逃がす場所を考えた構造にしなければならない。この点については、工場側が常に設計者に情報を提供して品質の向上と製作工数の低減ができるようつとめなければならない。鉄道車両においては特にこの点が重要に思われる。すなわち現在の車種における基本的構造は、以前から継続され製作方法の研究も相当に進み、飛躍的發展を期待することがむずかしくなった。それで部分的に設計をかえることによって効果が得られることを旅客車の構体を例にして示すと、じゅうらいの方法における側構ブロックは、柱の根本が自由な状態であるために、せっかく治具で正しい寸法にしても治具から抜き出すと変形して精度をそこなう。それで柱の根本に台枠の側梁をつけて固

定することにより、骨組ブロックはあたかも障子の格子と枠のごとく一つのまとまった枠組となる。すなわち、長桁（カントレール）、窓上横物、窓下横物、側梁、柱などの骨組部材による枠組が完成されるわけで、障子にたとへると周囲4辺の枠のあるものと1辺が欠除して3辺になった枠の差がある。このように側梁をつけて剛性を高めた骨組に外板を張ることによって、側構の精度が向上し外板のひずみもきわめてよくなる。また側梁を台枠ブロックにつけない構造にするために、台枠の構造を変更して、側構を建ててから横梁を組む構造とし、台枠組立作業の一部を省略する。このように設計との結びつきを良好にして、治具組立に対する認識を強めることによって新方法を生み出し、これが大きな成果となることが多いので、この方面への働きかけを積極的に進める必要がある。

6. 結 言

以上車両の治具組立について述べたが、専門的になることをさけたので抽象的になってしまったきらいがあるが、参考になれば幸である。鉄道車両は、船舶や橋梁のごとく厚板を使った大形構造物と異なり、比較的薄板部材を組合せ、しかも溶接部が集中されている構造のため、溶接によるひずみが出易く製作者は常に悩んでいるものであるだけに、治具に対する関心は強く常に改善につとめている。今後とも溶接構造物に対するひずみ防止の問題は絶えないので、治具に対する研究を一層進めていかねばならないと思われる。

炭酸ガスアーク溶接法の車輛への応用*

小 林 年 夫**

Application of CO₂ Gas Shield Arc Welding Method for Car Body Assembly*

by Toshio Kobayashi**

1. 緒 言

鉄道車輛は多種中量生産であるため、溶接の自動、専用機械化を行ないにくい、原価低減、品質向上と安定お

よび工期短縮が厳しく要求されているので、生産形態に適合するように溶接機に改良を加えたり、独創的な考案につとめ自動化を促進している。これらの要求をみたすものとして、抵抗スポット溶接法やサブマージドアーク溶接法は早くから強度部材へ応用され、消耗ノズルエレクトロスラグ溶接法なども取り入れられている。

* 原稿受付 昭和44年1月29日

** 正 員 (株)日立製作所笠戸工場 Member, Kasado Works Hitachi Ltd.

いっぽう、炭酸ガスアーク溶接法が鉄道車輛の生産ラインへ組み込まれてから、すでに10年以上になり、いまやアーク溶接の花形になっている。鉄道車輛工業界ではこの炭酸ガス半自動溶接法を中心にして溶接の自動化を推進し、現在、自動化率は60~70%に達している。近年は半自動溶接を自動溶接に置きかえたり、一人の溶接作業者が複数の溶接機を操作するようにして、より一層の合理化を追求している。以下鉄道車輛製作への炭酸ガスアーク溶接法の応用状況を具体例をあげて紹介する。

2. 車輛の溶接法と自動化の現状

2.1 車輛の溶接法

鉄道車輛の製作に現在適用している溶接法を表-1に示す。

表-1 鉄道車輛の溶接法

車輛の溶接法	自動溶接	—CO ₂ アーク溶接法
		—カットワイヤ CO ₂ アーク溶接法
		—サブマージアーク溶接法
		—カットワイヤサブマージアーク溶接法
	半自動溶接	—CO ₂ アーク溶接法
		—ノーガスアーク溶接法
		—グラビター溶接法
		—EHV溶接法
	抵抗溶接	—スタッド溶接法
		—スポット溶接法
手 溶 接	—消耗ノズルエレクトロスラグ溶接法	

このうち代表的な溶接法は抵抗スポット溶接法と炭酸ガスアーク溶接法である。抵抗スポット溶接法は歪発生量が少なく、能率のよい点から、床板、側板および屋根板の結合に適用され、定置式スポット溶接機、シリーズスポット溶接機、ポータブルスポット溶接機ならびに車載式スポット溶接機を使用している。車載式スポット溶接機はレール上の台車へ溶接機を搭載し、あらゆるピッチで迅速に自走するようにでた懐深さ 1600 mm の大型スポット溶接機である。

消耗ノズルエレクトロスラグ溶接法はディーゼル機関車の台枠などの厚板の溶接に用いられている。サブマージアーク溶接法はビード外観が美しいので、タンク車のタンクや台車などに適用している。

2.2 自動化の現状

溶接の自動化は溶着金属重量の割合で表示する方法が一般に使われている。すなわち、一定期間の溶接作業による全溶着金属重量と自動溶接(半自動を含む)によって得られた溶着金属重量の比率で表わしたもので、その算式を(1)に示す。A, D, E, の係数は溶着効率である。

$$\text{溶接自動化率} = \frac{B+C+0.9D+0.72E+F}{0.56A+B+C+0.9D+0.72E+E} \times 100\% \quad \dots\dots(1)$$

ただし

A: 手溶接棒の使用重量 (kg)

B: サブマージアーク溶接線材使用重量 (kg)

C: 消耗ノズルエレクトロスラグ溶接線材使用重量 (kg)

D: 炭酸ガスアーク溶接ソリッドワイヤ使用重量 (kg)

E: 炭酸ガスアーク溶接複合ワイヤ使用重量 (kg)

F: 抵抗スポット溶接をセン溶接に換算した線材使用重量 (kg)

図-1 は筆者らの工場における自動化率の推移を示す。自動溶接の内訳はスポット溶接5%, 炭酸ガスアーク溶接90%, その他5%で、鉄道車輛生産工場の溶接の自動化は炭酸ガスアーク溶接法に負うところが非常に大きい。

図-1 溶接の自動化率推移

3. 炭酸ガスアーク溶接法の応用

3.1 炭酸ガス半自動アーク溶接法

3.1.1 半自動溶接を円滑にするための附帯設備

半自動溶接法を必要な時期に必要な場所で、安全かつ迅速に使用できるように機動性を持たすためには、電源設備、被包ガス、冷却水および心線送給装置が容易に移動できる装置などの附帯設備を整備しないと、十分にその効果が發揮できない。とくに重要な心線送給装置の移動装置と被包ガス送給装置を取りあげ説明する。

(a) 心線送給装置の移動装置

炭酸ガス半自動溶接機は人力で所定場所へ持ち運び溶接可能のように心線送給装置を軽量化したり、心線を小

巻にして機動性を備えている。しかし、鉄道車輛のような大物構造物の溶接を溶接装置を人力で運びながら行っていたのでは、作業者の疲労の増加、作業意欲の減退、アーク発生率の低下および溶接機の故障発生の増加などからじゅう分な成果をあげ得ない。

図一2は溶接機の二次側ケーブル長さを30mにして心線送給装置を移動させて使用した台枠の溶接作業場と、固定して使用した部品溶接場の一年間の溶接機一台当りの故障発生件数を調べたものである。

図一2 炭酸ガスアーク溶接機の故障発生件数(縮尺1/2)

移動が多いと移動中に落下させたり溶接物に打ち当てたりしてトーチや送給装置を破損させたり、操作線の断線や接触不良になりやすいので、トーチ、心線送給装置ならびに操作線関係の故障が増加する。全体としては固定して使用する場合の1.5倍に増加している。客電車の全長は約20mあるので、溶接機の二次側ケーブルは30mにし全体の溶接を一台の溶接機で溶接可能にしているが、その移動方法には適切な考慮を払わないと故障が多発する原因になる。次に移動装置の例を示す。

写真一1 客電車台枠炭酸ガスアーク溶接

写真一2 客電車側構の炭酸ガスアーク溶接

写真一1, 2は建屋の柱へモノレールを架設し、これに心線送給装置とケーブルやホース類を吊り下げて行動面積を広くしている例である。レイアウトは溶接作業場を建屋の側面にし、中央部は歪取りや仕上げ作業場にする、このように建屋面積を有効に活用できる。

建屋の中央部で溶接作業を行う場合は、クレーンによる品物の運搬に支障がないように注意しなければならない。写真一3は治具の側面を利用して、移動台車を取付け客電車の側構の溶接を行なっているものである。客電車は大物の割に溶接作業密度が低いので、このように広範囲に心線送給装置を移動して使用するようにしなければならない。

貨車のように比較的小さな構造物で溶接作業量が多い場合は、溶接機の移動範囲が狭くてよい、写真一4

写真一3 客電車側構の炭酸ガスアーク溶接

写真-4 貨車台架の炭酸ガスアーク溶接

のように支柱を立て、これに水平回転と伸縮可能な腕を取付けた吊装置を利用している。

(b) 被包ガスの送給方法

高压容器の取扱については、法規で厳しい規則があるし、溶接設備の漸増に伴う現場へのボンベ搬入が増加することになり、現場作業の整理整頓を乱すばかりか、運搬による危険度の増加、ボンベ取替による溶接作業の中断、取扱不慣れによるガスもれなどの欠点がある。また液化炭酸ガスは気化の際に急激に温度が下りドライアイスができるため、一般の減圧弁では所定の圧力で必要なガスを円滑に送給することは難しい、現場での使用量が増すと気化熱によりボンベ内の温度が下り、ドライ

写真-5 炭酸ガス気化送給装置

アイス化するため要求量を送給することが不可能になるとともに、ボンベ内への残量が多くなる。

これらの欠点をなくするため、ボンベから液化炭酸ガスを取り出し、気化器を通して使用することが必須条件である。その気化送給装置を写真-5に示す。炭酸ガスの放出による特性を示すと図-3、4のとおりである。

3.1.4 半自動溶接の応用例

鉄道車輛の製作に炭酸ガス半自動溶接法の一般的な応用例はすでに写真1~4で示した。ここではその他の特殊なものについて述べる。

図-3 ボンベより炭酸ガスを取り出す場合

図-4 気化減圧装置により炭酸ガスを取り出す場合

客電車の台枠の床板は強度部材として利用するため、キーストンプレートを張り付けている。写真-6は炭酸ガスアークスポット溶接法でキーストンプレートを溶接しているものである。キーストンプレートの谷をアークスポット溶接するので、余盛りを仕上げる必要がなく効果的に適用されている。

写真-6 キーストンプレートの炭酸ガスアークスポット溶接

被覆アーク溶接法で片面溶接の裏ビードを完全に出すことは、熟練作業者が適正溶接電流で正確な開先取りを行って施工してもかなり困難な作業の一つである。しかし、炭酸ガスショートアーク溶接法では非常に容易に裏ビードが出る。この特長を活して、空気溜などの重要な部品の片面溶接継手の溶接施工に使用し、溶込み不足や表面欠陥のないことはもとより無気孔の溶接を行っている。写真-7は空気溜の溶接状況を示す。

写真-7 空気溜の炭酸ガスアーク溶接

3.2 炭酸ガス自動アーク溶接法の応用

多種中量生産の鉄道車輛の生産には完全な専用機による自動溶接は出来にくい、類似部品を集めて溶接するようにし自動化している。次に、その数例を紹介する。

写真-8は外板などの板継ぎ用炭酸ガス自動溶接機である。銅裏当て金を使用して片面溶接を行なっている。

写真-9はトキ、トラ型貨車などの台枠の中梁の溶接

写真-8 板継ぎ用炭酸ガスアーク溶接機

を二個のトーチで同時に溶接する機械である。中梁は山型鋼と板厚 9~12 mm の鋼板を図-5のように組合せた構造をしている。これをI開先で両面から各一層で100%溶込ませている。

写真-10はトキ、トラ型貨車のアオリ戸用溶接機であ

図-5 トキ、トラ型貨車の中梁

写真-9 中梁の炭酸ガス自動アーク溶接機

図-6 トキ、トラ型貨車のアオリ戸

写真-10 アオリ戸用炭酸ガス自動アーク溶接機

る。二個のトーチで左右同時に溶接する。

写真-11は二個の溶接頭を備えた万能溶接機である。二個の溶接頭は単独におのおの巾方向に 3000 mm, 上下方向に 500 mm 移動させることができ、直線はもとより、ゆるやかな曲線のすみ肉継手や突合せ継手をならい装置で溶接可能である。また、厚板の溶接ではこの溶接機で、カットワイヤ炭酸ガス自動アーク溶接法を応用し一段と能率化している。

写真-11 双頭式炭酸ガス自動アーク溶接機

4. 炭酸ガスアーク溶接法の経済性

炭酸ガスアーク溶接法の経済性については過去の投資金額と必要な材料費および諸経費を含めたものと、手溶接による費用を検討して、手溶接から炭酸ガスアーク溶接法へ転換する場合の経済分岐点を求める必要がある。これらの考え方を次に述べる。

炭酸ガスアーク溶接法による merit, demerit は次のとおりである。

merit……溶接工数低減, 歪取り工数低減, 電力費の低減, 関連作業工数の低減。

demerit……高価な機械の購入, 保守, ガスの購入, 高価な心線の購入, ガス配管, 治工具設備費, グラインダー工数の増加, 冷却水の使用, 修理要員の配置。

これらの demerit をカバーするだけの merit を生かす要因としては、アーク発生率の向上, 稼働率の向上が必要である。これらの demerit はアーク発生率, 稼働率に無関係のものもあるが、一応心線使用量に比例すると考え、心線 1 kg を溶着するのに必要な、溶接機の設備費, ガス費, 溶接機器部品の消耗費, 修理費などを実績から算出し心線 1 kg の単価に加えて、炭酸ガスアーク溶接法による費用と考え、他の溶接法と比較する必要がある。

いっぽう、溶接能率については、種々の文献からもあきらかなように、同一電流値でも炭酸ガスアーク溶接法による場合が遙に大きいことが知られている。また、同一部材を溶接する場合の手溶接と炭酸ガスアーク溶接の電流値を比較すると表-2に示すように、一般に手溶接作業で使用する電流の一段上位のものが使用されていることは能率はすもちろん、歪防止にも役立っていることがわかる。

表-2 同一部材を手溶接する場合と炭酸ガスアーク溶接する場合の溶接電流比較

No.	手 溶 接		炭酸ガスアーク溶接	
	mm 溶接棒径	A 溶接電流	mm 心 線 径	A 溶接電流
1	2.6	70~100	1.0	100~160
2	3.2	100~150	1.2	150~200
3	4	130~210	1.2	170~230
4	5	170~260	1.2	250~320

これらの関係から溶接電流と溶着金属重量の関係を求めてみると図-7に示すようになる。

さて現在手溶接で施工しているものを、炭酸ガスアーク溶接に置き換える方が果して merit があるかどうかを算定する簡単な式を示すと次のとおりである、

図-7 溶接電流と溶着金属重量の関係

溶着金属 1 kg を得るのに必要な炭酸ガスアーク溶接での費用 (C_1)

$C_1 = (\text{労賃}) + (\text{心線} + \text{炭酸ガス} + \text{設備費} + \text{チップ} + \dots) + (\text{償却費})$

$$= \left(\frac{1}{a_1} \times \frac{1}{b_1} \times L \right) + (X) + \left(\frac{1}{a_1} \times \frac{1}{b_1} \times M \right) \dots (2)$$

溶着金属 1 kg を得るのに必要な手溶接での費用 (C_2)

$$C_2 = (\text{労賃}) + (\text{溶接棒費})$$

$$= \left(\frac{1}{a_2} \times \frac{1}{b_2} \times L \right) + (Y) \dots (3)$$

ただし

a_1 : ある電流値における炭酸ガスアーク溶接の溶着量 kg/分

a_2 : ある電流値における手溶接の溶着量 kg/分

b_1 : 炭酸ガスアーク溶接のアーク発生率%

b_2 : 手溶接のアーク発生率%

L : 作業の工賃 ¥/分

M : 機械の償却費 ¥/分

X : 溶着金属 1 kg を溶着するのに必要な炭酸ガスアーク溶接による附帯費 ¥/kg

Y : 溶着金属 1 kg を溶着に必要な手溶接棒費 ¥/kg

a_1, a_2 は図-7 から求め、 $X=500$ ¥/kg $Y=180$ ¥/kg
炭酸ガスアーク溶接機の価格 700k¥/1台, 作業時間 10000分/月, 半期の機械の償却 7.9% と仮定して経済分岐線を求めると図-8 のようになる。

5. 炭酸ガスアーク溶接法の問題点

鉄道車輛の溶接に炭酸ガスアーク溶接法は今や欠くことができない非常に重要な溶接法である。しかし、現在の炭酸ガス溶接法が理想的のものであるわけではなく、幾多の問題点を包含している。

溶接機は非常に改良されているが、操作線の断線が多い。心線送給装置近傍が断線しやすいので、ゴム被覆やプラグの改良が望まれる。また、トーチの故障が多い。トーチは耐久性と軽量化の相反する面をどこで折り合うか常に問題となるが、より一層の研究が要望される。

溶接施工では、スパッタが多いし、ビードが硬くて仕上げ工数が増加する。錆やペイントに対して敏感で気孔が発生しやすい。ビード形状が凸になりやすい疲労強度にじやっかん問題がある。

強力な輻射熱を発生する上に扇風機が使用できないので、夏期は作業員へ非常な苦痛をあたえる。皮膚の露出した部分がアークにさらされると輻射線により火傷症状を呈するので保護を完全にしなければならない。

図-8 アーク発生率30%にした時の経済分岐線