資 料

鉄 道 車 両 に お け る 溶 接*

矢 部

満**

The Welding in the Rolling Stock Manufacture*

By Mitsuru Yabe**

1. ま え が き

鉄道車輛に溶接構造がとり入れられたのはかなり古くからであるが、過去におけるその技術的進歩は必ずしも高度なものでなく、したがって溶接を中心とした製作方式も確立されていなかった。

戦後鉄道輸送の急速な復旧が叫ばれるとともに大量の客車が製作されることとなったが、工期の短縮、原価の低減もまた強く要求され、溶接治具組立方式に対して真摯な研究が行なわれるようになった。また昭和28年頃から鉄道車輛の高速化と運転諸性能の向上をめざして諸種の研究が行なわれ、それにともなって鋼体重量の軽減を極度に要求されるようになってきた。そのため外板 1.6 mm はあるいは 1.2 mm 薄鋼板となり、骨組部材も薄鋼板のプレス構造が採用されることとなった。したがって単に従来の溶接方法を採用したのでは鋼体各部、特に外板に生ずる溶接歪の抑制がきわめて困難となった。

これらの点を解決するため広範な治具組立法の研究を行ない、客電車鋼体の製作においていわゆるブロック治具組立法の考え方を明らかにし、これによって客電車鋼体の多量生産方式に画期的な改善をもたらした。またこれにともなって各種の新溶接法の応用についても研究を行ない、上述の治具組立法にいっそうの効果をあげられるようにした。

本講義では以上の点についてその概要を述べる。

2. ブロック組合せ治具方式

2.1 ブロック組合せ治具方式の概念

戦後溶接が多くの構造物に使用されるようになってきて、しばらくの間はここにいうブロック組合せ方式という考え方が系統化されず、大型構造物でも一つ一つの

部品を次々に組立ててゆくことがなされていた。昭和27～28年頃から造船業が急速な進展をみ、しかも全継手の80～90%を溶接化する溶接構造船が出現し、かつ少ない船台で短期間の完工を要求されるに及んで、いわゆるブロック建造法と称する工法が急速に実現普及するにいたった。この方式は設備機量の容量いっばいに船体をいくつかのブロックにわけて地上にて組立溶接を施工し、しかる後船台に入れて総組立する方式で、かくすることにより各ブロックをさらに細分化して単純な溶接継手とし、ユニオンメルト溶接など機械溶接をきわめて多量に使用することを可能ならしめ、船台上の作業量を少なくして工完期日の著しい縮減をみるにいたったのである。

しかし造船の場合のブロック建速法は製品自体の特質から完全な治具作業とはいいい難い。われわれは鉄道車輛の製作においても上述の考え方をとり入れ、かつこれを治具作業の観点から整理し、ブロック組合せ治具作業の目的をつぎのごとく明確にし、鉄道車輛のみならず一般溶接構造物にも適用するように提唱した。すなわち

1. 複雑な溶接組立構造の製品を単純化する。
2. 各ブロック治具では十分な拘束のもとに歪を防止し、寸法精度のすぐれたものを得る。
3. 単純化されたブロックでは溶接作業が容易化された形となり、したがって溶接による収縮変形も定量化しその防止策が簡単になる。
4. 作業量が分散するため、広大な床面積を専有する総組立治具の回転率が向上し、単位床面積当たり生産量を飛躍的に増大しうる。
5. このような方式をとれば治具の諸目的を容易に達成しうる。

これらの目的を達成するためには

1. 各部材の溶接による縮み代および歪取りによる収縮量の把握
2. 部材製作寸法公差の設定と精度管理

* 原稿受付、昭和36年12月14日（昭和36年度溶接学会秋季学術講演会佐々木賞特別講演において発表）

** 正員、KK 日立製作所 Member, Hitachi Ltd.

3. 溶接法の決定

4. 上記を併せ考えた上で、最も妥当なブロック分割法の決定

などが必要となり、さらに寸法変化の大半が組合せ溶接作業後の歪取りによって生ずるものであるから、できる限り歪の発生を防止するための諸方策がとられるような治具を用いることが必要である。この目的を果すためにはつぎの諸点を考慮することが望ましい。

1. 部材の取付け組合せが正しく容易にできること。
2. 溶接に際して十分な抑制と、必要に応じて逆歪を与えうるものであること。
3. 回転式にしてすべての溶接がなるべく下向で行なえること。

2.2 ブロック分割法

溶接構造物をブロック組合せ治具方式で製作する場合、最も重要な問題はどのようなブロック分割をとるかである。ブロック分割の基本的な考え方は上に述べた目的に合うようにすることであるが、具体的にはつぎのごとくである。

- (1) 構造物をまずできるだけ細分化したブロックにわけて、適当な大きさを検討する。
- (2) 溶接歪が著しく大きくなる部分、あるいは複雑

な溶接部を分割する。

- (3) 分割されたブロックはできるだけ溶接量のバランスがとれており、簡便な治具で十分な歪防止法を採用しうること。
- (4) 分割されたブロックの総組立作業は容易であって、適当な組立寸法誤差の逃げがとられうること。(ブロック組合せをしたため総組立時の誤差の逃げがとれなくなることが生じやすいので注意しなければならない)
- (5) 自動溶接、機械溶接の採用を可及的可能なごとくにする。

図-1 国鉄急行客車台車枠 (TR-50 形)

図-2 TR-50 台車枠フローチャート

- (6) 生産量を考慮に入れて、治具製作費の回収が十分に行なわれ、かつ総工費の低減が行なわれるか否か検討する。

かくして分割方法の構想ができ上ったならば、これをフローチャートに表現して細部検討する。いまその一例を図-1以下に示す。

図-1は国鉄戦行客車台車枠の外観を示すものである。台車枠は鉄道車輛走行機能の根幹をなすものであって強度、寸法精度ともきわめて高度な要求がかせられている。板厚は 9~16t の厚さのもので構成され、溶接量も多い。かかる観点からブロック組合せ治具方式が必要とされているものである。ブロック分割法は図において、側バリ、横バリ、端バリ、軸箱等に分けられる。これ前述のフローチャートに示すと図-2のごとくである。

このようにフローチャートに分解してみると各ブロックにおいて組合せなければならぬ部品あるいは必要な治具が一目にしてわかり細部にわたる検討がきわめて容易となる。

3. 客電車鋼体のブロック組立法

以上溶接構造物組立治具についてその概念を述べ、ついでこれらの治具の諸目的を達成するにはブロック組合せ治具方式をとることが最も望ましいであろうことを述べたが、つぎにこれの実例として客車鋼体のブロック組立法についてその概要を述べ、あわせて車輛の製作方法一般についての知識を得る参考にも供したいと思う。

客電車鋼体の構造物としての特徴は

- (1) できるだけ軽量構造でしかも必要な剛性を保持していること。
- (2) 常に相当の動荷重をうけるので、各部の結合強度が十分であること。
- (3) 各部の寸法精度ならびに外板の歪に対する要求が大物製罐品としてかなり高度であること。

近來軽量化の要請にともなって、構成部材のプレス化、外板の薄鋼板化が進められるにつれて、上の特徴の第3項に関連してその組立溶接に困難が加わってきている。これを克服して優れた車輛を製作するためには、従来の組立溶接法に十分な検討を加えて、各種組立治具装置、溶接方法等の根本的な改善が必要とされている。ここではこれらの点がどのように解決されて客電車鋼体の組立溶接が行なわれているか述べてみる。

3.1 客電車鋼体の概要

客電車の鋼体には種々の形式のものがあるが、いま国鉄の標準形軽量客車ナハ11形3等客車を例にとってその概略仕様を示すと表1のごとくである。

表1 ナハ形3等客車鋼体の概略仕様

項 目	仕 様
定 員	88人
自 重	総重量約 24 ton (台枠 1.98 ton, 鋼体全重量 7.39 ton)
主要寸法	最大長さ 20,000 mm 最大高さ 4,020 cm 車外々部の長さ 19,500 mm 車体外部の巾 2,805 mm ボギー中心距離 14,000 mm
鋼 体	鋼体骨組には主として鋼板プレス品を、台枠の中梁には高抗張力鋼板を、外板、屋根板には厚さ 1.6 mm の鋼板を用いる。

客電車の鋼体を大別すると、台枠、妻構え、屋根構えの四つの部分からなり、これらはそれぞれ独立した溶接組立用治具で組立てられた後に総合組立てされるのが常である。すなわち図-3 写真-(1)のごとく完成され

図-3(1) 台枠に側構え、妻構えを取付けたところ

た台枠上に写真-(2)にある立体状に組合された妻構え、および側構えを立て、仮溶接の状態で、鋼体巾、対角などを所定の寸法精度に合せ、しかる後多くのス

図-3(2) 完成した妻構え

テーで拘束して台枠との結合部の溶接、側構えと妻構えの結合部の溶接を行ない、鋼体の総組立が終了して車体として外観が整えられることになる。

このようにして鋼体は製作されるものであるから、寸法精度を高めあるいは製作法の合理化をはかるにあっても、台枠、側構えなど各ブロックの製作法について慎重に検討を加えてゆかねばならないが、この要求をみたすため、先に述べたブロック治具方式の目的、諸条件⁴⁾

満足するように治具，製作方法を決定しなければならないが，往々にして一つの条件を満足せしめると他は不満足な結果に終わることがあるが，最もその製品に要求されることが満されるように計画するべきであろう。つぎに台枠，側構えなど個々の部分について，その製作法の要点を説明する。

3.2 台枠組立溶接

台枠は普通型钢あるいはプレス品（最近では軽量型钢なども使用される）の組合せ構造で，型钢からなる中梁と側梁とを縦通部材として，これに横梁を配したいわゆる中梁式のものと，中央部には中梁がなくプレス製の横梁を型钢あるいはプレス製の側梁で結んだ横梁式のものに大別できる。これらの代表的な台枠の外観写真を図-4に示す。

図-4 国鉄ナハ11形3等客車台枠の外観写真（横梁式台枠の一例）

図-5 エジプト納ジーゼル動車台枠治具の外観（中梁式台枠の一例）

台枠治具は一般に図-5のごとく逆位置式のもの（はじめの組合せを裏面を上にして行なう）を採用し，治具抜き後転倒して上面側の溶接を下向きで行なう。この台枠治具を回転式にする場合もあるが，必然的に作業位置が高くなること，および20mにおよぶ長大な治具の回転装置はかなり大掛りなものとなるのでその適否は即断できない。台枠治具作業では，台枠構成部材をできるだけブロックに分割して組立てるいわゆるブロック治具方式をとることが望ましい。このような方式によると複雑な組立溶接構造の製品を単純化することが可能となり，したがって各ブロック治具では十分な拘束のもとに歪を防止し，寸法精度の優れたものが得られる。またこのような

ブロック治具方式をとれば当然広大な床面積を専用する総組立治具の回転率が向上し，単位床面積当り生産量を飛躍的に増大しうるのである。

図-6は図-5に示したエジプト納めジーゼル動車台枠における枕梁ブロックの製作要領を示すものである。この基本的な考え方は後に述べる側構え，妻構え，屋根構えなどにもそのまま適用される。

図-6 枕梁ブロック

このようにできるかぎり広範囲にブロック建造方式を採用して，前述の技術的諸問題を容易に解決するように考慮しなければならない。この台枠では全溶接量の57.8%がブロック治具によって施工されている。

3.3 側構え組立溶接

客電車の側構えは普通鋼板プレス製の柱と，型钢ある

図-7 国鉄2等客車側構え断面比較図

いはプレス製の長桁および帯とを結合した骨組に、外板を溶接する構造をもっているが、近時軽量化の進展にともなって、型鋼や平鋼の利用が皆無になり、骨組や外板の板厚も漸次薄くなってきている。軽量化されつつある国鉄 2 等客車について新旧の側構え構造を比較すると図一 7 のごとくである。

このように側構えの構造は軽量化とともに剛性が少なくなっているため、各部の寸法を正しく保ち、また外板の溶接歪を極力防止するために、強固な抑制を可能とする合理的な組立治具装置が必要である。側構えの治具方式としては従来「立形治具」と「水平形治具」との二つの方法が用いられており、それぞれの特徳を有している。いまその利害を取纏めて表示してみると表一 2 のごとくである。

表 2 側構え製作方式の利害比較表

作 業	水平型治具方式 (ブロック方式を用いない場合)	立型治具方式
所要床面積	1	0.5
骨組部品の組合せ作業	作業が非常に容易	垂直面に取付けるので難しい
外板の組合せ、溶接作業	エアシリンダーを利用して簡単にできる。	外板の締付け具が吊掛式となり左右の移動が重い。
溶 接 作 業	下向姿勢のため容易	堅向姿勢となり作業が困難かつでき栄えも劣る。
以上組立、溶接工数の比較	1	1.5
外板歪発生量	1	0.6
歪取工数比較	1	0.8

しかしいずれの方式によるにせよ、その利点をさらに助長し欠点を改善して、適用すべき構造物の性状に適した方式を採用すべきであるということはいうまでもない。たとえば水平治具であってもブロック組立方式を採用して

- (1) 第一治具では窓と窓と間にある吹突せ部にある 2 本の柱のみの組合せを行ない。
- (2) 第 2 治具では、このブロックを 4 個組合せていくつかの窓間部を組立てる。
- (3) 第 3 治具は総組立治具としてそれぞれ精度の出されているブロックを組合せ、これに外板を張る。

このようにすると、各ブロック治具で歪取りされた、寸法精度の高い部分組立品を総組立することができること。骨組の収縮が各ブロックに小さく分散され縮み代の把握が容易となること、骨組の収縮が外板に影響をおよぼさぬため、外板の歪を極めて少量になしうるなどの効

図一 8 立型側構え治具

果が生じ、完成品のでき栄えを著しく向上させることができる。

図一 8 は立形側構え治具を、図一 9 は水平形治具方式による治具組立作業を示す写真である。

図一 9 水平形側構え治具作業場全景

次にこのように製作される側構えでは、さらに外板の歪の軽減と、手作業を機械化合理化しようとする目的のもとに、点溶接の利用が大巾に採用されている。もちろん側構えのみならず後に述べる妻構えなども利用されているが、最近の軽量構造化された客電車では全溶接量の約 20% が点溶接化されている。

図一 10 はそれらの一例を示すものであるが、自動車などと比較にならぬ大物構造物でも、このように点溶接が大きく取上げられている点に注目すべきであろう。

図一 10 側構え点溶接作業場全景

3.4 妻構えの組立溶接

妻構えの組立溶接は一般に水平形治具（反転式の場合もある）で行なわれるのが普通である。これは妻構えは

側構えに比して小さいこと、妻単独で完成後治具内で歪取りまで行なうのに水平形が便利であることなどによる。しかしこの場合にも、骨組のみを組合せ溶接する第一治具と、これを板張りする第二治具とにわけて行ない、歪の集積をさけることが望ましい。

このようにして完成された妻構えは先に図-5で説明したごとく、車体前後部出入台あるいは便所洗面所部分として、2~3箇の妻構えをもって立体ブロックに組立てられる。図-11は妻構え作業状況を示すものである。

図-11 妻構え立体ブロック組立治具

3.5 屋根構え組立溶接

屋根構えは主としてプレス品の骨組に、1.6 mm または 1.2 mm 厚の鋼板が張られる。20 m 余の長さにおよぶ長大なこの構造では、側構えの場合と同様図-15^{1)・2)}

図-12 屋根構え回転治具

に示すごとく骨組のみを3~4分割してブロックとし、然る後全体を組合せ屋根板を張ることが望ましい。この治具は回転治具とすることがよく図-12はこれを示すものであるが、治具の剛性を増すためかなり大きな補強材を設けている。

3.6 総組立作業

このようにして鋼体の各部分ができると、はじめにも少しふれたごとく、まず台枠を水準器を用いて適当な反り（鋼体総組立時における上、下部の溶接量のバランス、鋼体全体の構造等からきめる）を与えて定位置に据え付け両端に妻構えを立て、台枠と両妻構えに側構えを取付け溶接し、十分な芯出しを行なった後に屋根構えを組合すことによって、総組立溶接を完了する。

この場合の溶接はすべて現車溶接で各向姿勢の溶接があり、特に立向姿勢になる溶接が多いので、すべて手動溶接によって行なわれ、適正な溶接棒の利用と溶接工の配置に対して十分な考慮を払い、各種拘束ステーの採用、溶接順序や溶接量の適正、あるいは水冷溶接法などによる溶接熱影響の吸収にも意を用い、美麗で確実な溶接の実施と歪の発生防止に努めねばならない。なお電車にあつては幕板を鋼体総組立時に取付け、その後骨組との溶接は点溶接を行なう場合もある。

総組立溶接作業の終了した鋼体は、つぎに外板の歪取り作業として、点熱急冷歪取り法による歪取り作業が行なわれ、ついで鋼体内部の各種小部品を取付け、総仕上げ作業が行なわれる。

以上のごとく、客電車鋼体の溶接組立作業では、各種の部品、ブロックの製作に当って、溶接歪の防止と寸法精度の向上にきわめて大きな注意を払いつつその製作方法が考案されていることが知られるであろう。

6. 客電貨車の製作における各種

溶接法の応用

6.1 薄鋼板のユニオンメルト溶接

外板に使用される 1.6 mm ならび 2.3 mm に鋼板を対象として下記に示すような項目の基礎実験を行なった。

- (1). ブローホールの発生原因
- (2). 溶接条件とビード形状の関係
- (3). ビード形状、溶接電流および溶接速度と溶孔発生の関係
- (4). アーク電圧と母材チップ間距離との関係
- (5). 溶接条件と亀裂発生の関係

この結果ブローホールの発生防止のためには、厚板の場合よりも一層厳しく水素源の排除を行なわねばならぬこと、溶孔発生は主として溶接条件、特にアーク電圧の影響を受けるので、定電圧特性電源溶接機によらなければ良好な結果を得がたいこと、亀裂は裏当板銅板の溝形状に関連して溶込みが大にすぎると、ビード裏面の冷却速度が大となるため発生しやすくなることなどを明らかにすることができた。この研究結果から得られた溶接条

図-13 標準溶接条件

件を示すと図-13のごとくであって高速度溶接の実を十分にあげている。しかしこの溶接法の有する自動化、機械化の威力を能率向上の上にさらに発揮するためには、設備上つぎの諸点を解決しなければならぬことが明らかにされた。

1. 銅裏当板えの完全な密着を可能とする抑圧装置
2. 大板の運搬、配列、組合せの機械化
3. 仮付けされた鋼板の溶接線位置合せの機械化

これらの諸点を満足する装置を種々考案し、図-14に示すごときものを製作した。

図-14 薄鋼板ユニオンメルト溶接作業場全景

自動溶接走り装置は架台の上にユニオンメルト溶接機 SW-3A 型、定電圧電源特性直流溶接機、フラックス回収装置、2 台の 5HP ベビーコンプレッサーによって作動されるエアシリンダー式加圧装置などを装備している。

6.2 EVH 溶接

最近の軽量車体では屋根板に 1.2mm 鋼板を使用することが多い。この厚さのものでは前述のユニオンメルト

溶接はやや困難であって、われわれはこのような薄鋼板の自動溶接にオーストラリアから紹介された EHV 溶接の応用を考え研究を行なった。

この溶接法の特長を纏めてみるとつぎのごとくである。

- (1) 銅当板の中でアークを発生するため、アークが目に見えずまたスパッターが全く発生しない。
- (2) 溶接ビードが上当板で規正されるため、ビードの蛇行などがなく、またきわめて美しいビードが得られ、歪が少ない。
- (3) 板厚が薄いものでもきわめて容易に溶接が可能である。最小 0.8mm 厚の鋼板まで容易にできる。
- (4) 一定の条件のもとで施行するため溶接部は均一となり、溶接員の技倆は何ら必要としない。
- (5) 裏ビードはきわめて均整に、かつ少量であるから、ビード裏面側を製品外面に使用することが可能であって、したがってグラ仕上作業量を減少することができる。

図-15は客電車の 1.2mm 厚屋根板を本法により実施している状況を示す写真である。下当板定板は前項のユニオンメルト溶接用のものを併用している。

図-15 EHV 板継ぎ溶接治具装置

図-16 ポータブルスポットによる鋼体総組立溶接

6.3 点 溶 接

点溶接については既に治具組立の項で詳しく述べたと

おりであるが、図-16に示すごとく鋼体総組立においてもポータブルスポット溶接が大巾に使用されている。

6.4 CO₂-O₂ アーク溶接

CO₂-O₂ 溶接法の実際作業への応用に関する研究も一昨年はじめよりとりあげ、その進展をはかってきた。特に図-17に示すキーストンプレートアークスポット自動溶接装置は独特の考案になるものであって、その作業能率向上に益した点はきわめて大きい。

図-17 アークスポット自動溶接作業状況

また CO₂-O₂ 溶接法はユニオンメルト溶接とは異なる特長を有し、特に半自動溶接の分野にその応用の途がひろいと思われ、これが実用化されれば車輛工場における溶接の機械化、自動化を、ユニオンメルト溶接とあわせて飛躍的に進展せしめうると考えられる。かかる観点から種々の実験を行ない、標準作業条件、作業場配置の問題、経済性などを綿密に検討した上、車輛の製作に広範囲に使用している。図-18はその一例を示すものである。

図-18 トレーラー中梁の CO₂-O₂ 溶接

6.5 溶接の自動化、機械化向上に関する二、三の提案

以上最近の鉄道車輛の溶接法として、主として新しい自動溶接あるいは機械溶接について生産に実用している状況を述べた。溶接は近時ますますその応用の途が拡大されてゆくが、溶接員の教育充足は必ずしも十分でない。また一方では品質の安定向上も常に要求される。こ

こにおいて溶接作業能率の向上と品質の安定確保に自動溶接あるいは機械溶接の主要な役割が存するわけである。比較的薄鋼板をもってする大物製罐作業においても前述のごとく各種の自動溶接がとり入れられる余地が多分に残されており、これをさらに拡大してゆく努力が必要であると考えられる。これをわれわれは溶接現場における自動化率として数値的に常に管理し改善の努力を払うべきであることを提案したい。ここでいう自動化とは必ずしも全自動溶接を意味するものではなく、各種の半自動溶接あるいは点溶接などを含めてもよい。それぞれの製品内容によって数値の定義のしかたは異なることもあると考えられるが一例を下記に示す。

A = 手溶接棒使用量 (kg)

B = 0.6 A (手溶接溶着金属量)

C = ユニオンメルト線材使用量 (kg)

D = その他線材使用量 (kg)

E = α D (その他線材使用の場合の溶着金属量)

ただし、CO₂-O₂ アーク α = 0.80

アーク α = 0.75

ハイアーク α = 0.75

ユニアーク α = 0.85

EHV α = 0.65

F = 抵抗溶接工数 (h)

G = $\frac{F \times B}{\text{手溶接全実働時間}}$ (抵抗溶接換算溶着金属量)

自動化率 $M = \frac{C + E + G}{B + C + E + G}$

各数値はそれぞれ単位生産工場における1ヶ月間の集計値をもって管理するとよい。図-19はわれわれの客電車鋼体工場における管理数値の結果を示すものである。比較的厚板を使用する製罐工場では30%以上の自動化率を得ることはさしたる難事ではなく、逐次標値を高めて研究を続けてゆくべきであると考えられる。

図-19 客電車工場の溶接自動化率

7. む す び

以上鉄道車輛鋼体の治具溶接組立法の概要と、これに使用される最近の新しい溶接法について述べた。鉄道車輛の製造方式は今後も進展してゆくであろうけれども、この講演が参考に供せられれば幸いである。