資 料

片 面 溶 接

One-Side Welding

片面溶接の基本的な考え方*

稲垣 道夫**, 岡田 明**

Fundamental Opinion on One-Side Arc Welding*

By Michio Inagaki** and Akira Okada**

1. ま え が き

著者らは以前から片面溶接についての基礎的な研究を行ってきた。片面溶接法において裏波ビードは溶接条件、開先条件および裏あて条件などにより大きく左右されまた予期できない現場での種々の困難に遭遇し、基礎的な研究をやってもあまり意味がないなどということを経験することがある。たしかに実験室で 30 cm や 50 cm 程度の長さのきれいな裏波がでたからといって、これがすぐ現場で通用するとは考えられない。しかし逆に実験室でうまくいかないものは現場でもうまくいくはずがない。したがってここで述べる基本的な考え方はあくまでも片面溶接を実施するための必要条件なのである。

最近多くの片面溶接法が開発されこれに関する溶接施工条件の決定についての報告が発表されているが、これらの大部分はただ単に溶接条件や開先条件を順次変化させ溶接を行ない、これを統計的に処理したものや、継手の機械的な性質を調べたものである。もちろん溶接施工条件を決定するのに機械的な性質の試験は欠くことはできないが、まず第1に考えなければならないことは、考えられる種々の溶接施工条件の変動に対して、安定でかつきれいな欠陥のないビードを置くことであり、これは継手の機械的な性質を良くするための必要条件でもある。さらに現状の片面溶接法に対してはこのことがもっとも重要な問題となる。

本稿は片面溶接施工条件を選定するための基本的な考え方について述べるが、これに関する詳しい考察、しちめんどくさい理論式やその実証などについては今後おいおい論文として発表することにし、ここでは概要とその各項目について容易に現象を考え、理解するための大まかな「めやす」を記述し、現場で溶接施工条件を検討する場合にすぐ役立つように心がけた。

2. 片面溶接法の種類

片面溶接において適確な裏波ビードをうるためには溶接方法、溶接条件、開先条件および裏あて方法などじゅう分に検討する必要があるが、とくに裏あて方法の良否は裏波ビードの形成に大きく影響する。

現在までに開発されている片面溶接法は表-1に示すように裏あての有無および裏あての種類により分類することができる。これらの方法はそれぞれ一長一短があり、どのような場合でもすべて適用できるというわけではない。すなわち現状の片面溶接法では長尺板における開先の精度の不均一や、仮止め部による裏波ビードへの影響および裏あて機構など種々の施工上の問題や、あるいは経済性の面における問題を含み、これらの条件に対して実際に実用化でき、将来性のあるものは二、三種の方法に限定されるものと考えられる。

溶接方法についてはサブマージアーク溶接がもっとも一般用いられ、また能率の向上の面からフィラメタル法や多電極法などが採用されている。なお継手が短い場合や曲線の場合、あるいは構造物の関係でじゅう分な裏あ

* 原稿受付 昭和42年4月8日

** 正 員 金属材料技術研究所 Member, National Research Institute for Metals

表-1 片面溶接法の種類

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
裏あてを使用 しない方法	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
裏あてを使用 しない方法	その他の方法—ファイバードラス・アルミテープバックング法	二層フラックス法
		一層目低入熱溶接法
裏あてを使用 しない方法	裏波用フラックス使用法	

* 開先内に鉄粉、カットワイヤ、FN パーなどを充填する場合もある。

てが不可能な場合には裏あてを用いない方法やあるいは簡単な裏あてにより片面溶接を行ない、この場合被覆アーク溶接、マイクロワイヤおよびフラックス入りワイヤを用いるアーク溶接など比較的低電流の溶接法が用いられる。

3. 溶接施工条件を決定するための基準

溶込み深さは溶接施工条件をきめるのにきわめて重要であり、とくに片面溶接では裏波ビードが出るかどうかをきめる重要な条件になる。ところでじゅうらい適正溶接条件といえ、与えられた板厚に対してアーク電圧、電流および溶接速度などを基準として、実験的にその適正範囲を求めるのが普通である。しかしアーク溶接における溶込みの生成機構は複雑であり、溶接方法、溶接条件および開先条件などから溶込み深さを推定することはきわめて難かしい。とくに最近のように溶接方法、開先形状、フラックスなど各社独自なものが開発され、その種類が多様多様のためアーク電圧、電流および溶接速度だけでは溶込み深さを単純に推定することはできない。

そこで著者らはつぎのような考え方を採用した。すなわち、熱伝導的にじゅう分に厚い板にある溶接条件で溶接を行なったときの溶込み形状や熱影響部の形状がわかっていれば、その溶込み形状が板厚の変化や裏あての有

無によりどのように変化するかということが熱伝導論によってある程度推定することができる。そこで熱伝導的にじゅう分厚い板（開先を有する場合にルートを面をじゅう分厚くとした板）に、ある溶接施工条件で溶接を行なったときの溶込み形状および熱影響部の形状を、この条件に対する適正な板厚の範囲を決定するための基準とした。このような基準を採用することにより、溶接方法や溶接施工条件に関係なくこの基準によって得られた結果を適用することができる。

図-1はこの考え方で適正条件を定めるための基準の記号を示したものであり、ルート面をじゅう分厚くとした板に溶接したときの溶込み深さ P_{∞} 、板の表面から熱影響部の境界（約 Ac_1 に加熱されたエッチングによる境界）までの深さ H_{∞} 、板の表面からある一定深さ d の位置での溶込みの幅 W_{Pd} および熱影響部の境界の幅 W_{Hd} と定める。また逆に熱影響部の幅 W_H が与えられているとき板の表面からその位置までの深さ $[d]_{WH}$ と表わすことにする。

なお本文中に「熱伝導的にじゅう分厚い板」というあいまいなことを用いたが、これは熱影響部が形成される過程の範囲内において無限板厚であればよい。このめやすとしては熱影響部の深さ H_{∞} に対して板厚 t を $t > 1.7 H_{\infty}$ 程度にとればよく、たとえば被覆アーク溶接で I 開先の場合板厚 16 mm、V 開先の場合ルート面高さを 10 mm 程度、サブマージアーク溶接だと I 開先の場合板厚 30~35 mm、V 開先の場合ルート面高さを 20~25 mm 程度にとれば大部分の場合まにあう。

4. 裏あてを用いない片面溶接法

裏あてを用いない片面溶接で適確な裏波ビードを出すための溶接施工条件の選定はきわめてむずかしく、たとえば溶接入熱に例をとると、入熱が大きすぎると溶落ちが起こるし、逆に入熱が少ないと溶込み不足になる。これは溶接入熱だけに限らず継手の開先形状などによっても異なり、とくにルート間隔が大きい場合は溶落ちが生じ、逆に狭い場合は溶込み不足となる。したがって溶落ちおよび溶込み不足の現象と溶接施工条件との関係が明らかになれば、裏波がでる適正な溶接施工条件の範囲を求めることができる¹⁾。

4.1 溶落ちについて

溶落ちは溶接アークによって板の裏面まで溶融し、溶融金属が溶接部からたれ落ち溶接部に穴があく現象である。いまアーク熱により板の裏面までである一定の幅が溶融したとき、この溶融部に作用する力を略図で示すと図-2のごとくになる。すなわち溶接アークによる下向き

図-1 適正条件の選定のための基準

図-2 溶融部に作用する力

のアーカ力 F_A (電磁圧力, プラズマ気流など) および溶融金属の重力 F_G とこれらの下向きの力に対して溶融金属の表面張力による上向き成分 F_S が作用しており, 溶融幅 W が小さい場合はこれらの力は平衡を保っているが, 溶融幅 W が大きくなると表面張力による上向き成分 F_S は小さくなり, $F_A + F_G > F_S$ となると溶融金属は溶落ちる。

自動アーク溶接などの大電流アークの場合は F_A がきわめて大きく, 板の裏面がわずかに溶融する状態で (溶込み深さが板の裏面に達したとき) ただちに溶落ちが起る。しかし被覆アーク溶接や TIG アーク溶接など低電流アークにおいては F_A は小さく, 板の裏面がある程度溶融しないと溶落ちは起らず, この場合溶落ちは溶融金属の表面張力によって大きく左右される。すなわち母材の成分により大きく影響を受ける²⁾。

(1) 板の裏面が溶融する条件

板の表面に溶接ビードを置いたときの板の裏面の温度について考察する。ここでアーク熱源を近似的に表面移動点熱源と仮定し, また板の表面および裏面からの熱損失を無視することができると仮定すると, このような仮定により映像法 (Image Method) を適用することができる³⁾。この映像法はなにも熱伝導理論に限ったことはなく電磁気学において電界の分布を求めるのにラプラスの方程式を実際に解かなくとも簡単に解を求める方法として古くから知られている。図-3の (a) の場合, 板の各面に対しておのおの対称な位置に映像熱源を逐次設

図-3 表面熱損失を無視した板厚 t の鋼板裏面の温度の推定法

定していき, 無限個の映像熱源によって表わすことができるが, 板厚がある程度厚く, 短い時間について考える場合は考察点から遠い点の映像熱源は無視できる。いま鋼板の裏面 B 点 (溶接部直下近傍) の温度が, 移動点熱源により最高温度に達したときを考えると, 板厚が 3mm 以上の場合近似的に図-3の (b) のように簡単に表わすことができる。すなわち

めやす(1): 板の裏面の溶接部直下近傍のある位置の最高到達温度は, 熱伝導的にじゅう分厚い板における熱源から同じ位置での最高到達温度の約 2 倍となる。

図-4 板の裏面が溶融する条件

ここで構造用鋼板上にアーク溶接を行なった場合について考えてみると, 図-4の (a) は熱伝導的に無限板厚に相当するような厚い板にビードを置いたときの断面を示したものであるが, いまこの熱影響部のエッチングによる境界はアーク熱によって最高温度が Ac_1 付近のほぼ $750^\circ C$ に達した個所であると考えられる。したがって板の表面からこの熱影響部境界までの深さ H_∞ に相当する板厚に同一溶接条件で溶接を行なった場合, この板の裏面の温度は約 $750^\circ C$ の 2 倍, すなわちほぼ融点に近い温度に達するわけで, 図-4 (b) のように板の裏面まで溶融することが推定される。したがって

めやす(2): 鋼板の裏面が溶融する条件 (溶込みが鋼板の裏面まで達する条件) は, (板厚 t) $\cong$ (じゅう分厚い鋼板に溶接したときの板の表面から熱影響部の境界までの深さ H_∞) としたときである。

つぎに板厚 t と板の裏面の溶融幅 W_B との関係を求めると, いま板厚 $t (t \leq H_\infty)$ に溶接を行なったとき, 図

図-5 板の裏面が溶融する位置

図-6 板厚と板の裏面の溶融幅との関係

一5のようにこの板の裏面と、この板をじゅう分厚くしたときの熱影響部の境界(点線)との交点 b, b' の温度はちょうど約 750°C の2倍、ほぼ融点に達すると考えられ、この $b \sim b'$ 間が溶融幅になる。すなわち

めやす(3) : 図6のように板厚 t の鋼板にある溶接条件で溶接したときの板の裏面の溶融幅 W_B は、熱伝導的にじゅう分厚い鋼板に同一条件で溶接したときの板の表面から板厚 t に相当する深さの位置での熱影響部の境界の幅 W_H に等しくなる。

以上の考えはアーク熱源を表面移動点熱源とし、また板の面からの熱損失がないものと仮定した場合であるが、実際のアーク熱源の温度は有限であるので、めやす

(1) については、板の裏面の温度が実際の溶融金属の温度以上にならない範囲で適用する必要があり、また板が厚いときと薄いときとで入熱量、およびその作用位置があまり極端に変わらない範囲で適用しなければならない。なお裏あてなどを用いて板の裏面からの熱損失が大きい場合は適用できない。まためやす(2)~(3)で熱影響部のエッチングによる境界を一応最高温度が 750°C に達した所と仮定したが、実際には鋼の種類や加熱冷却の度合により $\pm 50^\circ\text{C}$ 程度の差は生ずるし、また鋼が溶融するときには 65 cal/g 程度の潜熱を必要とする。しかしこれらが溶込み深さにおよぼす影響は、ボンド近傍の温定勾配がきわめて大きいので比較的小さく厳密に考えない場合は無視できる。

(2) 溶落ちが起こる最大板厚の推定

溶接方向に板厚が次第に薄くなっていくようなテーパ試片やルート間隔がしだいに大きくなっていくルートテーパ試片を用いて、実験により溶落ちが起こる最大板厚や溶落ちが起こったところの板の裏面の溶融幅を求めることができる。この実験の結果、

めやす(4) : 軟鋼 (SS 41 級) の場合においては板の裏面の溶融幅が $6 \sim 8 \text{ mm}$ に達すると溶落ちが起こる。

したがってめやす(3)と考え合せると

めやす(5) : 溶落ちが起こる最大板厚 $t_{\max}$ は熱影響部境界の幅 $W_H = 6 \sim 8 \text{ mm}$ になるような板厚 $[t]_{W_H=6 \sim 8 \text{ mm}}$ のときである。

図-7 熱影響部の境界の形状

いま熱影響部境界の形状について被覆アーク溶接に例をとると、図-7のように平板に溶接した場合は板厚方向を短軸とした平扁な半楕円形になり、I 開先でルート間隔が大きくなると板厚方向を長軸とした半楕円形に近くなり、V 開先上ではほぼ円形になる。したがって平板に溶接したときは溶落ちが起こる最大板厚 $t_{\max}$ と熱影響部深さ H_∞ はほとんどかわらないが、ルート間隔が大きい場合や V 開先の場合は $t_{\max}$ は H_∞ より小さい値になる。またサブマージアーク溶接などの大電流の溶接では熱影響部境界の幅は大きく、 $t_{\max} \cong H_\infty$ としてもほとんどもとささしつかえない。

めやす(6) : 軟鋼板において比較的大電流でアーク溶接する場合、あるいは低電流でも平板上の場合 (I 開先継手でルート部が密着している場合) では、(溶落ちが起こる最大板厚 $t_{\max}) \cong$ (じゅう分厚い板に溶接したときの板の表面から熱影響部の境界までの最大深さ H_∞)

4.2 溶込み不足について

溶込み不足は一般的には与えられた溶接継手の開先形状に対して溶接アークの入熱量の不足(主に溶接電流の不足)によるもので、開先角度が比較的大きく、かつルート面の高さが低い開先形状をつかうとか、あるいは溶接電流を大きくすることによって解決できる。しかるに裏あてを用いない片面溶接では溶落ちの危険性があり、じゅう分に溶接電流を大きくすることはできず、したがってこの場合溶接電流は小さめにとり、そのかわりルート間隔をある程度あけて溶融金属を継手の裏側まで流してやる必要がある。この場合ルート間隔がせますぎると溶融金属はルート内に流れず溶込み不足が生じる。そこでルート面の高さ(板厚)やルート間隔が溶込み深さにどのように影響するかについて検討してみよう。

(1) 板厚が溶込み深さにおよぼす影響

溶込み深さは板厚が薄くなるにしたがって深くなるように思われるが実際にはそうでない。実験では板厚がしだいに薄くなるテーパ試片を用いて、各板厚に対する溶込み深さを求めることができる。また板厚が無限度から有限板厚 t に変化したとき、溶込み深さが静的な熱伝導によって P_∞ から P_t に変化する状態を影像法を用いて計算することもできる⁵⁾。これらの結果

めやす(7): 板厚に対する溶込み深さの変化は, 板厚 t が熱影響部境界までの深さ H_{∞} より大きい範囲では板厚の変化に対して溶込み深さはほとんど変化しない。しかし板厚 t が H_{∞} に接近したとき溶込み深さは P_{∞} から H_{∞} に急激に変化し, 板の裏面に達する。

この原因は溶融部のボンド近傍の温度勾配がきわめて大きいため, 板厚の変化による $100 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 程度の温度上昇では溶込み深さはせいぜい $0.3 \sim 0.5 \text{ mm}$ 程度しか変化せず, 普通の状態での溶込み深さの変動と大差がない。しかし板厚 t が H_{∞} に近づくとき溶接部直下の板の裏面は急に融点に近い温度になり溶込み深さは急激に P_{∞} から H_{∞} まで変化するものと考えられる。

めやす(2), めやす(7)を拡大すると

めやす(8): 鋼板の寸法効果により溶込み形状が変化する最大の大きさは, じゅう分大きい板に溶接したときの熱影響部境界線までである。

(2) 裏波の形成

めやす(5)~(7)で考えられるように板の裏面が溶融する状態で溶接を行なうことは, 溶接条件のわずかな変動により溶落ちが起こったり, あるいは板の裏面まで溶込まず溶込み不足になる可能性がある。したがって裏あてを用いない片面溶接法においてはアーク熱によって板の裏面を溶融させ裏波ビードを得ようとすることは安定性がじゅう分得られず, また母板の裏面が溶けてできた裏波ビードはビード外観が悪く, 均一な裏波ビードは得られない。著者らは種々な溶接条件や開先条件について溶接を行ない, 均一できれいな裏波ビードが得られている条件を調べた結果, いずれもルート間隔が存在する場合であり, ビード断面を調べると溶融金属がルート面内に流れ込み裏面まで達し, 裏波ビードを形成していることがわかった。これらのことから考えて, 均一な裏波ビードを得るためには溶接アークの入熱量を板の裏面が溶融するほど大きくせず, そのかわりルート間隔をあけ溶融金属を裏面まで供給してやることにより, 裏波ビードを形成させることが適正であると思われる。なおこのとき溶融金属がルート面, およびルート底部の母材と融合するだけのアーク入熱量は与えられていなければならない。

(3) 溶融金属がルート面内に流れ込む条件

溶融金属がルート面内に流れ込むためにはルート間隔がある一定の値以上である必要がある。すなわちアーク溶接の場合, 溶融金属は母板のルート面に対して一般に濡れにくく, 図-8のようにルート間隔内で凸曲面を形

図-8 溶融金属のルート面内での凸曲面

成し, 溶融金属がルート面内に入るのを妨げる⁹⁾。いまルート間隔 G が大きくなると溶融金属の表面張力による上向きの力は減少し, つり合いがやぶれ溶融金属はルート内に流れることができる。概算すると, このときのルート間隔は $2 \sim 4 \text{ mm}$ 程度になる。実験的には溶接方向にルート間隔がしだいに大きくなっていくルートテーパ試片により, ルート間隔とルート溶込みとの関係を調べることによりわかる。すなわち

めやす(9): アーク溶接においてルート間隔とルート溶込みとの一般的傾向は図-9のようになる。

図-9においてルート間隔が小さい部分(I)については, 最初にアークにさらされアークにより直接に溶融する部分について考えると, ルート間隔が大きいほど板の

図-9 ルート間隔とルート溶込みとの関係

表面よりルート面内のほうがアークにさらされる割合が大きく, 溶込みは深くなる。しかしルート間隔がある程度以上大きくなるとアークのルート面内にとどく範囲は限度があり, ルート面がアークにさらされてからまもなく溶融金属層でアーク直下がふさがれてしまうわけであるから, ルート間隔に対して溶込みの深くなる割合は減少する。さらにルート間隔が大きくなると, ルート面上部での溶融金属のつり合いがやぶれて, 溶融金属はルート内に滑り落ちるが, この場合溶融金属とルート面との接触温度が凝固点に達するところで止まるものと考えられる。ここでルート間隔が大きいほど流れ込む溶融金属

量が多いので、アークにさらされている溶融金属の表面は板の表面より内部へ下がる。すなわち曲線(Ⅱ)の部分では、ルート間隔が大きくなるほどルート内でのアークの発生位置は下にさがっていく。

以上のことから溶融金属がルート面内に流れ込むためには、(イ) ルート間隔をある一定値以上にあげる必要があり、さらに(ロ) 溶融金属がルート面内に流れ込むさいにルート面がある一定温度に達しているだけの入熱を与える必要がある。(イ) のルート間隔については溶接法、溶接条件、ワイヤ径などによりある程度異なると考えられるが、実験の結果、

めやす(10)：裏あてを用いない片面溶接法においてはルート間隔を 1.5~2 mm 以上とる必要がある。

また(ロ)については溶融金属がルート面内に流れ込みルート面と融合するためには、少なくとも溶融金属とルート面との接触温度が凝固点以上にならなければならない。溶融金属の温度を 1800°C と考えると、溶融金属が流れ込む直前のルート面の温度は 1300°C 程度に達していなければならない。したがって

めやす(11)：裏あてを用いない片面溶接においてはルート底部が 1300°C 程度の温度に達するように板厚(ルート面高さ)を選ぶことが必要であり、この板厚 t は $t \cong H_{\infty} + 0.27/\sqrt{v}$ (v ：溶接速度 cm/min) 程度である。

以上めやす(5)、めやす(10)およびめやす(11)から

めやす(12)：裏あてを用いない片面溶接において裏波が得られる板厚 t の範囲は

$$[t]_{WH=6 \sim 8 \text{ mm}} < t \leq H_{\infty} + 0.27/\sqrt{v}$$

で表わされ、このときルート間隔 G は 1.5~2 mm 以上とる必要がある。

よって裏あてを用いない片面溶接法においては高電流高速度溶接よりも低電流低速度溶接のほうが安定性がよいということがいえる。

以上のように裏あてを用いない片面溶接法ではルート間隔をある程度あげる必要があり、したがってルート間隔が大きくなってもなかなか溶落ちが起こらないような溶接法や溶接条件を選ぶことが、この方法の一つのポイントになる。一般に棒の外径が比較的大きいほうが大きいルート間隔に対してはアークの安定はよく、棒はつねにルート面上部にあり棒の突きぬけによる溶落ちが起こらない。

溶接電流は低電流(電流密度小)のほうがアーク力は小さく溶落ちは起こりにくい。また裏波ビードをスラグ

で包み支えて大気からシールドするフラックスを使用する溶接法が適している。

被覆アーク溶接が裏あてせずに比較的安定して裏波ビードが得られるのはこれらのためであると考えられ、本研究では、裏あてを用いない自動アーク溶接に低電流で比較的アークが安定して動作するフラックス入りワイヤを使用する自動アーク溶接法を採用して検討を行なった。

裏あてを用いずにサブマージアーク溶接による片面溶接が可能な、特殊な片面溶接用フラックスも開発されているようである⁷⁾。また最近簡単な裏あて(母板の裏面との密着度をあまり必要としない)を用い、ルート間隔を 2~5 mm 程度あけ、300~400 A 程度の電流でフラックス入りワイヤを用いる半自動アーク溶接法により、現場での比較的小さい継手、曲りや傾斜のある継手、あるいは横向き姿勢などの片面溶接が実用化されている⁸⁻¹⁰⁾。

5. 裏あてを用いる片面溶接法

表一1の裏あてを用いる片面溶接法の中で、バックイングストリップ(Backing Strip)を用いる方法は裏あてそのものが継手とともに溶融し、構造物の一部となるが、これ以外の方法では裏あてはすべて溶融金属を裏側から保持し、裏波ビードを形成させるためのものである。

5.1 バックイングストリップを用いる方法

バックイングストリップを用いる方法は図-10(a)のように溶接継手の裏面に裏あて板を密着させ溶接を行ない、溶接継手とともにこの裏あて板も溶融させ、通常この裏あて板は溶接後もとり去らず、溶接構造物の一部として残す。バックイングストリップは一般に母板と同一材

図-10 バックイングストリップを用いた片面溶接法

を用いる。以後ここでは母板が鋼板の場合で、バックイングストリップに鋼片を用いる場合について検討する。

バックイングストリップを用いる方法においては溶接によりバックイングストリップをじゅう分溶込ますことが必要であり、図-10(a)においてめやす(7)により裏あて鋼片が溶融するための条件は、じゅう分に厚い板に溶接したときの溶込み深さ P_0 。よりも母板の板厚 t が小さい場合である。次に裏あて鋼片の裏面に溶融するための条件は、じゅう分厚い板に溶接したときの熱影響部の深さ H_{∞} が、母材の板厚 t と裏あて鋼片の板厚 t' との和

($t+t'$) に等しくなったときであるしたがって

めやす(13): バッキングストリップを用いる片面溶接法において裏あて銅片が溶融し, かつ溶落ちを起こさないための条件は

$$H_{\infty} - t' < t < P_{\infty}$$

ここで t : 母板の板厚, t' : 裏あて銅片の厚さ

なお図-10 (b) のように母板と裏あて銅片との間にわずかなすき間が存在する場合, 母板の裏面が溶融する条件は裏あてを用いない場合に近い状態になり, まずこの条件で母板の裏面が溶融し, 次に溶融金属が裏あて銅片に接触し, そして裏あて銅片を溶融するものと考えることができる。したがって母板の裏面の溶融幅は W_{Ht} に近くなるはずであるが, この溶融幅の端に近いところの溶融金属の温度は融点に近い温度であり, この部分では溶融金属が裏あて銅片に接触してもさらに裏あて銅片を溶融させるだけの能力はない。したがって, 確実に裏あて銅片を溶融させるにはやはり母板の板厚 t よりも P_{∞} が大きい場合であり, 裏あて銅片が母板に密着している場合とほぼ同じと考えてよい。ただ図-10の (a) と (b) に示すように, 裏あて銅片が密着している場合は母板と裏あて銅片との溶込み線はある程度連続的につながるが, すき間があいている場合はすき間によって裏あて銅片への熱伝達が防げられ, 溶込み線は母板と裏あて銅片との境界で不連続となり段がつく。裏あて銅片が密着している場合は, 母板の裏面の溶融はじゅう分厚い板での溶込みの幅 W_{Pt} に近い値になるが, すき間があいている場合はじゅう分厚い板での熱影響部の幅 W_{Ht} に近い値となる。したがって熱影響部の幅の小さいほうが, すなわち温度勾配の大きいほどこの溶込み線に段がつく度合は小さくなる。溶込みの機構からいうと, いわゆる静的な熱伝導によって溶融が行なわれる場合より, アークの掘下げ作用のような動的な熱伝導で溶融が行なわれる場合のほうが温度勾配はきわめて大きく, 溶込み線の段の大きさは小さくなり, この点から考えると大電流高速度溶接のほうが適している (溶込み線の段のつきかたの大小が機械的性質にどのような影響をおよぼすかははっきりわからないが, 段が大きいと溶接割れが発生しやすくなる)。また温度勾配が大きいほど H_{∞} は小さくなり P_{∞} に近くなるわけで, めやす (13) の適正条件の範囲は大きくなる。なお裏あて銅片の幅 W' は母板の裏面の溶融幅より大きくなければならず, $W' > W_{Ht}$ である必要がある。

5.2 裏あての有無による裏波形成条件の相異

裏あてを用いない片面溶接法において, アーク熱によって板の裏面を溶融させ裏波ビードを得ようとするこ

は, 溶落ちの可能性があり, また均一な裏波ビードも得られないことから, 溶接アーク入熱は板の裏面が溶融するほど大きくせず, そのかわりにルート間隔をあけ溶融金属を板の裏面まで供給することにより, 裏波ビードを形成させるのが適正であることを前章で検討を行なった。

これに対して裏あてを用いる場合は, 板の裏面までじゅう分溶融させ裏あてによって溶落ちを防ぐとともに裏波ビードを形成させるものである。すなわち裏あてを用いない場合では溶落ちが起こることが板厚の下限になるが, 裏あてを用いる場合にはこれが上限になることになる。この場合の下限はビード外観 (ビード面の凹凸, バリの発生など), ビード形状 (裏波ビードの幅および余盛の高さ) および欠陥 (スラグの巻き込み, 溶接割れなど) などにより定まる。

5.3 フラックスバッキング法

めやす (3) は母板の裏面からの熱損失がないと仮定した場合であるが, フラックスバッキング法の場合について母板の裏面の溶融幅 (裏波ビード幅) W_B とじゅう分厚い板での熱影響部の境界の幅 W_{Ht} を実験により調べてみると, 溶融幅 W_B が小さい場合は W_{Ht} よりもやや小さめであるが, W_B が大きくなると W_B と W_{Ht} とはほぼ一致してくる。これは板の裏面の溶融幅 W_B が小さい範囲ではこの板の裏面の溶融部分は融点に近い温度であり, したがって溶融部に接しているフラックスを溶融するために供給する熱量に大きく影響を受け, 溶融幅 W_B は熱損失がないときの理論溶融幅 W_{Ht} よりも小さくなる。しかし板の裏面の溶融幅がある程度大きくなると板の裏面の溶融部の中央部分は融点よりもかなり高温になることが考えられ, バッキングフラックスを溶融させるための熱はここからじゅう分供給でき, フラックスの溶融に奪われる熱の溶融幅に対する影響が少なくなるためであろう。

めやす(14): フラックスバッキング法において, 母板の裏面が溶融する条件 (裏波が出る条件) は板厚 $t \leq [t]_{W_{Ht}=4 \sim 6 \text{ mm}}$ のときであり, 適正な裏波ビードの得られる範囲では裏波ビード幅 $W_B \cong W_{Ht}$ である。

裏波ビードが生ずる板厚 t の条件は, バッキングフラックスへの熱損失により, じゅう分厚い板での熱影響部境界までの深さ H_{∞} よりもやや小さく, フラックスの種類, 板の裏面でのフラックスの接触状態により異なるが $[t]_{W_{Ht}=4 \sim 6 \text{ mm}}$ 程度である。なおサブマージアーク溶接の場合熱影響部境界の形状が図-12 (b₁) のようなときには $[t]_{W_{Ht}=4 \sim 6 \text{ mm}} \cong H_{\infty}$ と考えてよい。なおめやす (14) はフラックス・銅バッキング法の場合にも適用

できることはいうまでもない。

次に板厚の薄いほうの限界については、板厚が薄くなると板の裏面の溶融部の中央部分の温度はかなり高くなり、バックングフラックスを多量に溶融するためバックングアップの作用がなくなり、裏波ビードの余盛が過大になり適正な裏波ビードが得られなくなる。一般にアーク溶接における溶融部を考えると、アークにさらされている近くでは攪拌や対流が激しく、溶融金属の温度も高いがこれから離れるにしたがって溶融金属の流動も緩やかになり、温度も低くなるものと思われる。そこで溶込み深さに対してその何割程度まで板厚を薄くしても良好な裏波ビードが得られるかということを調べてみた。この場合、溶込み深さについてはじゅう分厚い板での溶込み深さ P_{∞} をとり、またその割合を示す係数を α ($0 < \alpha < 1$) として、 $P_{\infty} \cdot \alpha$ を適正な裏波ビードが得られる最小板厚との関係を実験により求めた。その結果、バックングフラックスにグレード 20 ($20 \times D$) を用いたとき $\alpha_f \approx 0.8$ 程度であった。この α_f はフラックスの種類、圧力によりある程度変化する。とくにフラックスの溶融温度に影響され、この溶融温度が高いほど母材の厚さを薄くしても裏波ビードの余盛高さは過大にならず、 α_f の値は小さくなることは容易に察しがつく。

めやす(15)：フラックスバックング法において裏波ビードが得られる板厚 t の範囲は

$$\alpha_f \cdot P_{\infty} \leq t \leq [t] \quad W_H = 4 \sim 6 \text{ mm}$$

で表わされる。ここで α_f はバックングフラックスの種類、圧力などにより定まる定数 ($0 < \alpha_f < 1$)

フラックスバックング法としては、先行電極に CO_2 アーク溶接、後続電極にサブマージアーク溶接を用いた二電極法¹¹⁾やルート間隔を大きくとった I 開先内に FN バーを充填し、25 mm 程度までの板厚を片面一層溶接する方法¹²⁾がある。またバックングフラックスとして、フェノール樹脂などの熱硬化性物質を添加したフラックスを使用し、溶接アーク前方のバックングフラックスをアークからの熱伝導によって固化し、この状態で溶接を行なう方法¹³⁾があり、この方法では溶融金属を均一な圧力で保持することができ、比較的均一な裏波ビードが得られる。最近裏あて治具が簡素で取扱いの便利なシートフラックスを用いる方法⁹⁾や、下層に耐火性のケイ砂などをしき、さらに上層にバックングフラックスを散布する方法¹⁴⁾などが開発されている。

5.4 銅バックング法

銅バックング法において、母板の裏面と銅裏あてとが完全に密着していたとしたら、たとえ母板の裏面が溶融したとしても銅の融点は 1083°C 程度なのでその前に銅

裏あてが溶融してしまう。実際の場合母板の裏面と銅裏あての間にはわずかなすき間が存在し、このためにまずアーク熱により母板の裏面が溶融し、つぎにその溶融金属が銅裏あてに接触すると考えると、この場合溶融金属と銅裏あての接触温度は溶融金属と銅裏あての熱浸透率により左右される。いま溶融金属の温度を 1800°C とすると銅裏あてとの接触温度は概算すると 600°C 程度となる。この温度は銅板がじゅう分に厚い場合であるが、銅板の厚さが有限の場合は、接触温度はこれ以上に上昇する可能性もある。実際に必要な銅裏あての厚さは、溶融金属が凝固して 1000°C になるまでの間に接触温度が 1000°C を越えないような厚さであればよい。

めやす(18)：銅裏あての厚さ t' はほぼ次のように表わせる。

$$t' > 0.3\sqrt{as} \text{ (cm)}$$

ここで a ：銅裏あての温度伝播率 (cm^2/sec)、 s ：溶融部下部の温度が 1000°C になるまでの経過時間 (sec)

サブマージアーク溶接の場合溶融金属の銅裏あてとの接触部よりやや内部の温度が 1000°C になるまでの経過時間は約 6~14 sec. 程度であり、したがって t' は 0.8~1.2 cm 程度あればじゅう分である。

一般に銅裏あての場合は母板と裏あてのすき間を前提として用いるのである。この場合裏波ビードの余盛の高さは母板と裏あてのすき間にはほぼ等しくなる。一般に裏波ビードの余盛の高さがきわめてわずかでよい薄板の溶接の場合の場合は、母板と裏あてとのわずかなすき間を利用して、銅板をそのまま裏あてとして使うが、余盛の高さをある程度 (1~3 mm) 必要とする厚板の溶接で

図—11 銅バックングの溝の形状

は、銅裏あての母板の裏面の溶融部に相当する部分に図—11のような溝をつける。ここで同図 (a) のような場合、余盛の高さと同時にビード幅も溝によって制限されるものであり、(b) の場合は余盛の高さだけを制限するものである。 (a) の場合の溝の幅は裏波ビード幅を制限するものであるから母板の裏面の溶融幅より小さくしなければ意味がなく、したがって溝の幅 $\leq W_H t$ である必要がある。なお (a) の場合は裏波ビードを完全に裏あての溝で制限しているため、溝の両側の端で母板と裏あてとに間隙があると裏波ビードにバリが生ずる可能性がある。(b) の場合において、溝にフラックスを入れ溶融金属

が横に広がるのをスラグで防いでいるものに、フラックス・銅バックリング法¹⁵⁾があり、この場合フラックスバックリング法と銅バックリング法の両法の利点が生かされる。

これらの場合に裏波ビードを得る条件を考えると銅バックリング法の場合、裏波ビード形状が銅裏あての溝によって完全に制限されるわけであるが、裏波ビード幅についてはこれをある一定値以下に制限しなくてはならない根拠はこれといってなく、溝の幅は裏あてを用いない場合に生ずる裏波ビード幅(図-11(b))のように溝の幅が広い場合の裏波ビード幅 $\cong W_{Ht}$ に近づくことが望ましい。溝の幅を W_{Ht} より極端に小さくとした場合、母板と銅裏あてとの接触が常に均一であればよいが、局部的に接触状態が悪い箇所があると、その接触部の母板の裏波ビードに近い面の温度は高温に上昇しそこに溶融金属が流れ込み、バリが生ずることは必至である。したがって一定の溝の幅が与えられている場合は、この溝の幅より W_{Ht} がやや大きめ(溶接施工条件の変動による裏波ビード幅の変動を考慮して)になるように溶接条件を選ぶことが適切である。

なお図-11(a)のように裏波ビードを溝によって形成させる利点は大電流による片面溶接ができる点である。これは電流が大きいと溶融幅が大きくかつ溶融金属の温度も高くなり同図(b)のような場合だと溶融金属が横に広がりオーバーラップを生じ易くなり、極端な場合には溶融金属が横に流れだすためである。

一般に同図(a)のような方法において、薄板の溶接の場合溝の幅を狭ましくしなければならないように思われているが、裏波ビードが比較的小さく(裏波ビード幅 $\leq 6\text{ mm}$, 余盛高さ $\leq 1\text{ mm}$)、溶融金属が溝に広がる恐れのないものでは、上述の理由から同図(a)の場合よりも(b)のように幅の広い溝のほうがよく、またこのほうが母板の溶接線を裏あて溝にセットするときに融通性がありセットが簡単である。

このようなことから考えると図-11の(a)の銅裏あての溝の幅は $8\sim 14\text{ mm}$ 程度であり、裏波ビードが生

ずる(母板の裏面の銅裏あての溝の中央の位置が溶融する)ときは、銅裏あての影響はあまりなく、裏波ビードが生ずる条件は $t \leq H_{\infty}$ としてよい。次にフラックス・銅バックリング法の場合はめやす(14)から $t \leq [t]_{WH} = 4\sim 6\text{ mm}$ である。

これら銅バックリング法、フラックス・銅バックリング法のいずれも銅裏あての構により裏波ビードの余盛の高さを一定におさえているので板厚 t の薄いほうの制限はないともいえるが、しかし板が薄くなり板厚に対してアーク電流が大きすぎ、かつアークが板の裏面に近いところで発生すると、欠陥の発生する可能性が大きくなることとアーク熱を多量に銅裏あてに消費させるだけである。またとくにフラックス・銅バックリング法の場合はオーバーラップになり易くなる。したがってやはり溶込み深さ P_{∞} に対してある係数 α ($0 < \alpha < 1$) を掛けた最小板厚の制限値が存在するものと考えられる。銅裏あて法についての河崎ら¹⁶⁾の論文によると、板厚に対してある一定以上の入熱を与えると裏波ビードに欠陥が生ずる割合が大きくなることを報告している。

めやす(17): 裏波ビードが得られる板厚 t の範囲は、

銅バックリング法の場合

$$\alpha_c \cdot P_{\infty} \leq t < H_{\infty}$$

フラックス・銅バックリング法の場合

$$\alpha_{fc} \cdot P_{\infty} \leq t < [t]_{WH} = 4\sim 6\text{ mm}$$

と表わせる。

銅バックリング法は、溝の形状、溶接方向への傾斜角度、母板との密着性などじゅう分な検討がなされている銅裏あて装置¹⁷⁾を用いてかなりの実績が得られている。さらにこの方法での多電極法の開発も行なわれ、たとえば先行電極で裏波を生じさせたあと、後続電極で再溶融させて完全な裏波ビードを形成させる再溶融方式¹⁸⁾などである。この方法は銅バックリングの冷却効果を利用し再溶融することにより裏波ビードを均一にさせる効果もあると考えられる。

表-2 片面溶接における基本的な適正溶接施工条件

片 面 溶 接 法	裏波が得られる板厚 t の範囲	そ の 他 の 条 件	裏波ビード幅 W_B
裏あてを用いない方法	$[t]_{WH} = 6\sim 8\text{ mm} < t \leq H_{\infty} + 0.27/\sqrt{v}$	ルート間隔 $G = 1.5\sim 2\text{ mm}$ 以上 低電流低速度溶接が適当	$G < W_B \leq 6\text{ mm}$
バックリング・ストリップを用いる方法	$H_{\infty} - t' < t < P_{\infty}$ (t' : バックリングストリップの厚さ)	$W' > W_{Ht}$ (W' : バックリングストリップの幅)	$W_{Pt} \leq W_B < W_{Ht}$ (W_B : 母板の裏面の溶融幅)
フラックスバックリング法	$\alpha_f \cdot P_{\infty} \leq t \leq [t]_{WH} = 4\sim 6\text{ mm}$ (Gr. 20 の場合 $\alpha_f = 0.8$)	—	適正な裏波ビードの得られる範囲では
フラックス・銅バックリング併用法	$\alpha_{fc} \cdot P_{\infty} \leq t \leq [t]_{WH} = 4\sim 6\text{ mm}$	銅板の厚さ $t' > 0.3\sqrt{\alpha_s}$	$W_B \cong W_{Ht}$
銅バックリング法	$\alpha_c \cdot P_{\infty} \leq t < H_{\infty}$	溝の幅 $W_{G'} < W_{Ht}$	$W_B \cong W_{G'}$

6. 各種片面溶接法の基本的な溶接施工条件

前章までにおいて各種片面溶接法に対して裏波ビードが得られる条件のめやすを簡単に記述してきたが、わかりやすいように一括すると表-2 になる。すなわち定められた開先形状 (I 開先あるいは V 開先) に対して、ルート面の高さを熱伝導的にじゅう分厚くとり、ルート面の高さ以外の条件すなわちルート間隔、開先角度および開先の深さはすべて実際に行なおうとしている条件と同一にして溶接を行ない、そのときの溶込み形状および熱影響部の形状 (図-1 参照) からこのときの溶接条件に対する裏波ビードが得られる板厚の範囲と、この板厚における裏波ビード幅を表-2 から推定することができる。なおこの表で α_{fc} , α_c は今後実験により調べる予定であるが、0.6~0.8 程度の値になるものと考えられる。

7. 開先条件の局部的変化による裏波ビードへの影響

7.1 溶接施工条件の選定のキーポイント

現状での片面溶接法の重要な問題の一つに、長尺板での開先加工ならびに取付精度がじゅう分に得られないことや、仮付個所により裏波ビードが均一にならず溶接後補修を必要とする個所が多いことである。これを緩和するために現在では溶接方法や裏あての方法などの開発がいろいろなされているが、溶接条件や開先条件の選定に対してもこのことをじゅう分に考慮する必要があるのではなかろうか。

溶接施工条件の選定に対する多くの報告は溶接条件や開先条件を変えて溶接を行ない、“裏波ビードにもっとも影響を与えるのはルート面の高さ、ルート間隔および溶接電流であり、また開先角度は大きいほど裏波がでやすい”などと溶込み深さに対する一般的な知識でじゅう分わかるような結果を導き出している。前章までで検討したように、裏あてを用いる場合ある開先条件に対してそれ相応の入熱を与えてやればかならず裏波は得られるのである。

適正な溶接施工条件を決める重要なポイントは溶接作業条件の種々の変動に対して裏波ビードの変化のもっとも少ない溶接施工条件を選ぶことである。ここでアーク電圧、電流および溶接速度の変動は技術的にある程度の精度までおさえることができるが、長尺板における開先条件の変動を一定におさえるのは現状では難かしい。したがって

めやす(18) : 適正な溶接施工条件の選定のための第 1 のポイントは、ルート面高さやルート間隔の変化に対する裏波ビード幅 (フラッ

クスバックング法の場合は余盛高さについても) の変化の割合を調べ、この変化率のもっとも小さいような溶接施工条件を選ぶことである。

なお適正な溶接施工条件の選定のための第 2 のポイントとしては、クレータ近傍に生ずる溶接割れに対する対策であろうと著者らは考えている。

7.2 熱影響部の形状について

めやす (3) から母板の裏面から熱損失がない場合は裏波ビード幅 W_B はじゅう分厚い板での熱影響部境界の幅 W_{Ht} に等しくなるが、裏あてを行なった場合のように母板の裏面から熱損失がある場合でも熱影響部において等温度線が熱影響部境界線に平行であるとすれば、板厚 t の変化に対する W_B の変化の割合は、 W_{Ht} の変化の割合と同じになると考えられる。したがって

図-12 熱影響部の境界の形状

めやす(19) : じゅう分厚い板における熱影響部境界の形状が図-12 (a) の場合より (b) の場合のほうが、ルート面の高さやルート間隔の変化に対する裏波ビード幅の変化の割合は小さくなる。

熱影響部境界の形状が図-12 (a) のようになるのは溶込み形状がきのこ形になるものに多く、サブマージアーク溶接では焼結形フラックスに多い。ただし焼結形フラックスでも片面溶接用のものはほとんど (b) のような形状になる。また溶融形フラックスの場合は大部分 (b) のような形状になる。次に開先角度については、サブマージアーク溶接の場合開先角度が大きくなると同図 (a) に近くなる傾向があるから、片面溶接の場合開先角度は小さめ (50~30°) にとるほうがよい。これは溶着金属量を少なくするという面からもよい。また裏波ビードを出すための一層目のアーク電圧も低めにとるほうがよいということがいえる。ただし以上のことはすべて限度があり、同図 (b2) のようになるとクレータ近傍に割れが発生しやすくなるから注意が肝要である。また片面溶接で大部分採用されている上り板溶接や電極を溶接方向に傾斜させるのは溶融金属の先行を防ぐとともに、熱影響部境界の形状は同図 (b) に近い傾向になり、この面からもきわめて有効である。

なおルート面の高さの変化に対する裏波ビード幅の変化の割合を熱影響部の形状から推定する場合、板厚は一

定であるからルート面の高さが変化するという事は開先の深さが変化することであり、したがって図-1において開先の深さ d_g が変化するような試片（このときルート面高さはじゅう分厚くとする）に溶接し、このときの板の表面からの深さ $d(=t)$ に対する熱影響部境界の幅 $W_{Hd}(=W_{Ht})$ の変化を調べればよい。なお板厚が厚く開先深さが 15 mm 以上になる場合は、開先深さをある程度変化させても熱影響部境界の形状はあまり影響せず、一定開先深さで溶接を行ない、このときの W_{Hd} の変化を調べればよい。またルート間隔に対する裏波ビード幅の変化の割合を推定する場合図-1においてルート間隔 G を変化させたときの W_{Hd} の変化を調べればよい。

7.3 開先条件の局所的な変化の緩和法

開先条件の局所的な変化や仮付けによる裏波ビードの変化は、結局は継手部の幾何学的な変化によるもので、溶接全長にわたり均一な条件にすればよい。この方法としては開先内に鉄粉やカットワイヤなどを表面の高さがつねに均一になるように挿入すれば、ルート面高さ、ルート間隔の変化や仮付けによる影響はかなり緩和されることが考えられる。阿部ら¹⁹⁾はカットワイヤを使用することにより開先条件の許容範囲が大きくなることを報告している。また鉄粉入りフラックスもこのような面である程度効果があるものと考えられる。なお仮付けの影響をなくするためには、仮付けする部分のある程度はつりそこに仮付けビードを置か、あるいは一定の長さのワイヤを開先入に溶接全長にわたってならべ、ワイヤの端と端との間を 3~4 cm あけ、そこを仮付けしていく方法も考えられる。この場合挿入するワイヤの断面積と仮付けビードの断面積とがほぼ同じになるようにすればよい。

表-3 ルート間隔が大きい場合の溶接施工条件²⁰⁾

板 厚	開 先	一 層 目	二 層 目
$t=16$	$g=5\pm 1$ $r=16$	1100 A, 36 V 30 cm/min	—
$t=19$	$\theta=60$ $g=5\pm 1$ $r=10\pm 1$	$I_L=750$ A 35 V $I_T=600$ A 37 V 37 cm/min	—
$t=25$	$\theta=60$ $g=5\pm 1$ $r=12$	$I_L=850$ A 35 V $I_T=1000$ A 38 V 26 cm/min	—
$t=28$	$\theta=50$ $g=5\pm 1$ $r=12\pm 1$	$I_L=850$ A 35 V $I_T=900$ A 38 V 36 cm/min	800 A 40 cm/min 650 A
$t=32$	$\theta=50$ $g=5\pm 1$ $r=12\pm 1$	$I_L=900$ A 35 V $I_T=900$ A 26 V 36 cm/min	900 A 40 cm/min 900 A

表フラックス MF-38 双極極間 60~90 cm/min

心線 4.8φ (43#) 先行電極傾き 15~20°

ポンドフラックスを使用する場合先行電流は 100 A 程多くする。

7.4 ルート面高さとルート間隔について

ルート面高さやルート間隔が裏波ビードに影響することは誰にでもわかるが、それではこのルート面高さやルート間隔がどのような割合で裏波ビードに影響するのだろうか。とくにルート間隔が変化する場合にはルート間隔が大きくなるほど開先内での溶融部の位置は下降し、すなわちルート間隔の変化で溶融の状態も変化するので取扱がきわめでめんどうである。そこでこれらの関係を少し大まかに考えてみる。ルート面高さを大きくとれば裏波ビードは小さくなり、ルート間隔を大きくとれば裏波ビードは大きくなる。そこでルート間隔を大きくとったらそれに相応するようにルート面高さを大きくすれば裏波ビードは変わらないであろう。いまルート間隔がゼロでルート面の高さが h_0 のとき適正な裏波ビードが得られたとすると、ルート間隔 G を有するときルート面高さ h_g をどのくらいにとれば、 $G=0$, $h=h_0$ のときと同程度の裏波ビードを得ることができるかを継手の溶融部分の熱容量から求めると

めやす(20):

$$h_g \approx \frac{h_0 + \frac{G}{2 \tan \theta/2}}{1 - \frac{G}{W}}$$

ここで h_g : ルート間隔 G のときのルート面高さ, h_0 : ルート間隔ゼロのときのルート面高さ, θ : 開先角度, W : 継手の溶融部分の平均的な幅で図-13のように裏波ビードが十分に出ている場合は $W \approx W_B$ (裏波ビード幅) としてさしつかえない。

めやす(20)はアークによる溶融の状態がルート間隔の変化に対して極端に異ならない範囲(サブマージアーク溶接の場合 $G=0\sim 3$ mm)で用いることがのぞましく、またどのようなことから裏波ビードの余盛高さが一定に保たれている場合にのみ適用できる。

フラックスバックリング法やフラックス・銅バックリング法において適正な裏波ビード幅 W_B は板厚にもよるが、サブマージアーク溶接の場合、12~16 mm 程度である。銅バックリング法の場合溝

図-13 片面溶接におけるビード断面

により制限され、 W_B は 8~9mm であるが、ルート部分の平均溶融幅 W は 12~16mm 程度となる。したがって $W=14$ mm 程度と考えて、これらの片面溶接法での標準溶接施工条件をもとにして、これと等価になるようなルート面高さ（ルート間隔を任意にとったときの）あるいはルート間隔（ルート面高さを任意にとったときの）をめやす（20）を用いて換算することができる。なおめやす（20）はルート間隔が大きい場合でも大まかなめやすをつけることができる。たとえば 5mm のルート間隔を有する溶接施工条件の例を表一 3 に示すが、この開先条件をルート間隔ゼロの場合に換算すると、 $W=14$ mm にとると I 開先（ $\theta=180^\circ$ ）の場合 $h_0 \cong 10$ mm であり、また V 開先の場合は $h_0 \cong 2 \sim 3.5$ mm となり、これらはルート間隔ゼロの場合の標準的な開先条件である。

8. お わ り に

以上片面溶接法の溶接施工条件の選定に関する基本的な考え方について著者らが考察を行なったものの概要を簡単に記述したが、この研究は現在も続行中でありさらに詳細な検討を行なっていく予定である。本稿での「めやす」が溶接施工条件を検討する際に役立てば幸である。

参 考 文 献

- 1) 稲垣, 岡田 "片面溶接における適正な溶接施工条件の選定 (第 1 報)" 金材技研報告, Vol. 9 (1966) p. 157~166

- 2) 稲垣, 藤田, 森田, 岡田 "薄鋼板の溶着におよぼす鋼種の表面張力の影響について" 溶学誌, Vol. 36 (1967) p. 337
- 3) ZVI Paley, J.N. Lynch, C.M. Adams, "Heat Flow in Welding Heavy Steel Plate" W.J., Vol. 43 (1964) p. 71s-79s
- 4) 稲垣, 岡田 "片面溶接における適正な溶接施工条件の選定 (第 4 報)" 金材技研報告, Vol. 9 (1966) p. 422~433
- 5) 稲垣, 岡田 "同上 (第 3 報)" 金材技研報告, Vol. 9 (1966) p. 334~341
- 6) 石崎 "ビードのできるまで" 溶技, Vol. 12 (1964) No. 12 p. 45~49
- 7) 中井 "裏波サブマージアーク溶接法の実用化について" 造船協会誌等 433 号 (昭和 40 年 8 月) p. 330~336
- 8) 金山, 麻生, 八木 "炭酸ガス半自動による片側溶接の実用化" 溶技, Vol. 14 (1966) 10 月 p. 19~23
- 9) 寺井, 須沢 "オーブンアーク溶接法の実用化" 溶技, Vol. 15 (1967) 2 月 p. 13~17
- 10) 堀内 "フラックス入り無被包アーク溶接用ワイヤによる横向片面溶接について" 溶接冶金, 溶接法合同委員会資料 昭和 42 年 2 月
- 11) 高木, 西, 鈴木 "片側半自動溶接法について (第一報)" 溶学誌 Vol. 31 (1962) p. 872-876
- 12) 馬田, 田中, 浦田 "FN バー片面サブマージアーク溶接法" 溶技 Vol. 13 (1965) 4 月 p. 19~24
- 13) 神鋼溶接棒事業部 "RF 片面溶接法について" 溶技報第 484 号
- 14) 八幡溶接棒 "新しい片面溶接法" 研 B 第 404 号
- 15) 神鋼溶接棒事業部 "F.C.B 片面サブマージアーク溶接法について" 溶技報第 473 号
- 16) 河崎, 内川, 林田 "船体建造における片側自動溶接" 三菱重工技報 Vol. 2 No. 1
- 17) 河合, 河崎, 三谷, 東後, 内川, 林田 "One-Side Automatic Welding 導入による船殻組立工程の流れ作業化について" 造船協会論文集 第 115 号 p. 175-194
- 18) 三菱重工長崎造船所 "片面多電極自動溶接法の実用化" JIW 12 委資料 (昭和 42 年 2 月)
- 19) 阿部, 尾上, 前沢 "片面自動溶接の造船への適用" 造船協会論文集 第 119 号 p. 289-296
- 20) 妹島, 大園, 松本 "重電気機械における自動・半自動溶接の現状" 溶技 Vol. 15 (1967) 1 月 p. 35-44

片 面 溶 接 法 の 開 発 と 適 用*

寺 井 清** 有 川 正 康***

Developments and Applications of One Side Welding*

By Kiyoshi Terai**, and Masayasu Arikawa***

1. ま え が き

この数年来片面溶接法の導入の機運は造船を中心とする組立業界においていちじるしく高まりつつある。特に造船の場合には現在多くの工場において広範な浸透をみせており、地上の板つぎ工程における片面自動溶接もす

でに実施の段階に入りつつある。もちろんこのように全国的にめざましい溶接法の転換のうごきは、エレクトロスラグ法などの普及とともに造船溶接近代化の最近の主流をなすものであり、これの革新は対外的には欧米各国に対するわが国の造船業の優位の維持、あるいはまた対内的には各社間の競争の激化と労働事情のひっばくなどの要素が作用して、いっそうつよく推進されつつある傾向を認めぬわけにはいかない。

しかしいっぽうにおいて片面溶接の歴史をひもとけばこれは決して最近にはじまった新技術ではないのであ

* 原稿受付 昭和 42 年 6 月 2 日

** 正 員 川崎重工(株)造船事業部, Member, Kawasaki Dockyard Co., Ltd. Shipbuilding Division.

*** 正 員 (株)神戸製鋼所溶接棒事業部, Member, Kobe Steel Ltd. Welding Electrode Division.