ボンド・フラックスによるサブマージド・

アーク溶接の研究(3報)*

—フラックス中の金属成分の移行と歩留り—

—海俊景** 渡辺文則**

Study of Submerged Arc Welding by Bonded Fluxes (3rd Report)*

—Transfer and yield efficiency of metallic component in fluxes—

By Toshikage Ikkai** and Fuminori Watanabe**

Abstract

Bonded fluxes are analogous to coated flux of manual electrode in the production method and the chemical composition of deposit metal can be easily regulated though addition of deoxidizers and alloy components in fluxes.

It is necessary to investigate the transfer and yield efficiency due to addition necessary alloy components in deposit metal.

This report is made to introduce an experimental equation from the relation between welding conditions and extent of penetration, deposit metal and melt slag and to estimate transfer and yield efficiency of alloy components in fluxes through chemical analysis of deposit metal.

1. 緒 言

前報^{1,2)}までにステンレス鋼, 軟鋼および60キロまでの高張力鋼用のボンド・フラックスの試作と, そのフラックスを使用した場合の溶着鋼の諸性質についてのべてきた。ボンド・フラックスは手溶接被覆剤と同様に低温度で乾燥固着して作られるため, その製造過程で脱酸剤や合金成分の酸化される機会は僅少となり, 容易に希望する合金成分をフラックス中より溶着鋼に添加することができる。しかしフラックス中に合金成分を添加して溶着鋼の化学成分を調整する方法はフラックス中に添加した合金成分が溶接により溶着鋼に移行する量と溶着鋼に移行した合金成分が溶池における化学反応ののち有効成分として止まる割合が明確にされていなければ各鋼種に適応したフラックスを作することは困難である。そこで本報告ではまず溶接諸条件に対する溶接ビードの溶込み量と溶着量およびスラグの単位長さ当りの溶融量との関係式を明らかにし, 実験よりそれらの係数を求め, つぎに1層溶接した場合の溶着鋼の化学成分から, フラックスに合金成分を添加した際の移行率と歩留り率を求めた。それをもとにして多層溶接したときの化学組成の変化を求める一般式を誘導し, ほぼ計算で溶着鋼組成を推定できるように試みた。

2. フラックス中の金属成分の移行と歩留りに関する理論的考察

溶着金属量は材料が溶接されたときの母材のとけこみ量と心線が溶着した量ならびにフラックスから移行した金属成分の和として表わされ, その化学成分は母材, 心線ならびにフラックスに含まれる化学成分の影響をうける。鋼材を溶接したときの溶接条件と溶込み量との関係についてはすでに多数の文献³⁻⁷⁾が発表されているが, 最近渡辺氏⁸⁾らはステンレスクラッド鋼を溶接する場合の希釈の問題にかんがみ, 比較的広い範囲の板厚に適用できるよう溶接条件と溶込み量の関係を求める略算式を導いているのでこれらの結果を用いて合金成分の移行と歩留りについて考察を加える。

2.1 溶込み量, 溶着量および溶融スラグ量

材料が半無限物体の条件のもとに溶接中の温度分布の計算結果を基礎にした解析的研究を行ない理論的に溶接ビードの溶込み巾, 溶込み深さと溶接条件との関係を次式のように導いている⁹⁾。

$$b = A \frac{I}{\sqrt{v}} + a \quad \text{または} \quad \frac{b}{h} = A \cdot \frac{I}{h \sqrt{v}} + \frac{a}{h} \quad \dots (1)$$

$$d = C \frac{I}{\sqrt{v}} + c \quad \text{または} \quad \frac{d}{h} = C \cdot \frac{I}{h \sqrt{v}} + \frac{c}{h}$$

ただし, b : ビード巾, d : 溶込み深さ, I : 電流 (Amp)
 v : 溶接速度 (mm/min), h : 板厚 (mm), A, a, C, c : 材料, 溶接法, フラックスの性質で定まる常数

* 原稿受付, 昭和37年10月31日 (昭和37年度溶接学会秋季学術講演会において発表)

** 正員, 日立製作所笠戸工場 Member, Kasado Works, Hitachi, Ltd.

Fig. 1 Aspect of submerged arc weld

一般に溶着金属の化学成分は重量%で表示されるため溶着鋼の化学成分を考えると、Fig. 1 に示すような溶接ビードの単位長さ当りの重量を求める必要がある。したがって、いま単位長さ当りの母材溶融量を $W(g)$ とすると、これはビード断面の母材溶融面積に溶接ビードの単位長ささと密度を掛けた値となる。溶接ビード断面の母材溶融面積は溶込み巾と溶込み深さの積に比例すると考えてよく、(1) 式より

$$W = \rho(K_1 I^2 / v + K_2 I / \sqrt{v} + K_3) \dots\dots\dots (2)$$

となる。ただし W : 単位長さ当りの母材溶融量 (g), ρ : 密度, K_1, K_2, K_3 : 材料, 溶接, フラックスの性能で表される常数,

また、板面上にある単位長さ当りの心線溶着量を $R(g)$ とすると、これは単位ビード長さ当りの心線溶融量と溶着効率との積によって表わされ次式のようになる。

$$R = \mu \cdot \beta_1 \cdot I / v \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 μ : 溶着効率, β_1 : 単位電流単位時間当りの心線溶融量 (g),

さらにボンド・フラックスを使用してフラックスから合金成分を溶着鋼に添加する場合には単位長さ当りのフラックスの溶融量を求める必要があり、その値を $S(g)$ とすると、

$$S = \beta_2 \cdot K_4 \cdot I / v \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 β_2 : 単位電流, 単位時間当りのフラックスの溶融量 (g), K_4 : フラックスの性質, 粒度, 配合割合など表される常数, で表わされる。

これらの常数, $K_1, K_2, K_3, K_4, \mu, \beta_1, \beta_2$ を実験によって求めれば、溶接条件と単位 (1 cm) ビード長さ当りの溶込み重量 (W), 溶着重量 (R), ならびにフラックスの溶融量 (S) が求まる。いま溶融スラグ $S(g)$ 中溶融金属に移行し合金成分となった重量を $s(g)$ とする。これより Fig. 1 に示した単位長さ当りの溶着金属重量 $M(g)$ は $R + W + s$ として表わされ、その溶込み率 r は、

$$\text{溶込み率} \quad r = \frac{W}{R + W + s} = \frac{W}{M} \dots\dots\dots (5)$$

で表わされ、溶着率 $1-r$ は

$$\text{溶着率} \quad 1-r = \frac{R}{R + W + s} = \frac{R}{M} \dots\dots\dots (6)$$

で表わされる。

つぎにフラックス中に添加された合金成分が溶接アーク熱により溶融されたスラグ中から溶着鋼に移行する現象について考えてみると、サブマージド・アーク溶接では手溶接の場合と異なりスラグ量も多く、合金成分全量が溶着鋼に移行しえず、一部スラグ中に残存する。溶融型フラックスはほぼ一様に溶融してスラグとなっているが、ボンドフラックスでは半溶融のまま冷却された部分が上層部にあり、その部分の合金成分は移動がほとんど不可能に近く、溶融部分でも移行途上で凝固するものもある。また合金成分が溶着鋼に移行してスラグと化学反応する前にスラグ中を通過するとき直接スラグと合金成分が反応して消耗する量やアーク直下のガス雰囲気によって酸化消耗する量など考えられるが、実験がきわめて困難なため次式の定義にもとづき移行した合金成分とそれ以外のものとを分け、移行率 (η) を定義した。

移行率 (η) (%)

$$= \frac{\text{溶着金属内に移行して酸化消耗しないと} \\ \text{仮定した添加合金成分量}}{\text{単位長さ当り溶融スラグ中に} \\ \text{含まれる添加合金成分量}} \\ \times 10^2 \dots\dots\dots (7)$$

として表示することができる。

2.2 溶着金属中の合金成分を求める一般式

2.1 項でのべた関係式をもとにして実際に溶接した際の化学成分を求める一般式について考察する。

まず始めに、フラックスから添加した合金成分ならびに母材、心線に含まれる合金成分は溶接により酸化消耗しないものと仮定し、その場合の 1 層溶接した溶着金属の化学成分は次式によって求めることができる。

$$CT_Z^1 = r \cdot CW_Z + (1-r)CR_Z + \frac{\eta}{M} S \cdot CS_Z \dots\dots\dots (8)$$

CT_Z^1 : 歩留り率 100% と考えて 1 層溶接した溶着金属の Z 元素の化学成分濃度 (%)

CW_Z : 母材に含まれる Z 元素成分の分析値 (%)

CR_Z : 心線に含まれる Z 元素成分の分析値 (%)

CS_Z : フラックス中に配合された Z 元素成分の重量割合 (%)

しかしながら (8) 式では添加した合金成分が全然損耗することなく有効成分として溶着金属内に止まった理想的な場合を示すが、実際は反応によって減少するので歩留りについて考慮する必要が生ずる。いま、フラックスから移行して溶着金属内に含まれる化学成分から有効成分として溶着金属内に止まる合金成分の割合を歩留り率 (ν) とよび、溶着金属の化学組成を求める一般式はつぎのようになる。

$$CD_Z^1 = \nu \left\{ r \cdot CW_Z + (1-r) \cdot CR_Z + \frac{\eta}{M} S \cdot CS_Z \right\} \dots\dots\dots (9)$$

ただし、

CD_Z^1 : 歩留り率も考慮した1層溶着鋼の化学成分
(%) (実際の化学分析値)

ν : 歩留り率 (%)

また、多層溶接する場合の n 層目の化学成分を求め
る一般式は

$$\begin{aligned} CD_Z^n &= \nu^n \gamma^n \cdot CW_Z + \nu(1-\gamma)CD_Z \\ &\times (1 + \nu\gamma + \nu^2\gamma^2 + \dots + \nu^{n-1}\gamma^{n-1}) \\ &+ \frac{\nu \cdot \eta}{M} S \cdot CS_Z (1 + \nu\gamma + \nu^2\gamma^2 + \dots + \nu^{n-1}\gamma^{n-1}) \\ &= \nu^n \gamma^n \cdot CW_Z + \nu(1-\gamma)CR_Z \\ &\times \frac{1-(\nu\gamma)^n}{1-\nu\gamma} + \frac{\nu \cdot \eta}{M} S \cdot CS_Z \cdot \frac{1-(\nu\gamma)^n}{1-\nu\gamma} \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

で与えられる。

ここで (9), (10) 式中, W, R, S はそれぞれ (2)
(3) (4) 式から実験により常数を求めておけばよく,
 CW_Z, CR_Z, CS_Z は化学分析値とフラックスの配合割合
よりきまる値である。

ただ合金成分の移行率 (η) と歩留り率 (ν) はフラッ
クスの物理的性質や粒度または添加合金成分の種類と添
加量などに左右されると考えられ、これらの諸条件を加
味した値について実験により求めなければならない。

3. 実験方法

合金成分の添加が必要と考えられる鋼種にはステン
レス鋼、高張力鋼、低合金鋼などがあげられるが、これら
の鋼種に適合するフラックスを作る場合、その基本とな
るフラックスは前報^{1,2)}で述べたステンレス鋼用 H-300
と軟鋼用 H-550 の2種である。また R, W, S の常数
決定のための実験に使用した心線、母材の化学組成を示
すと Table 1, 2 のとおりである。

3.1 溶込み実験

Fig. 2 に示すように軟鋼板またはステンレス鋼板上
に H-550, H-300 フラックスと心線を組合せ直進ビー
ドをおき試験片とした。この試験片をビードに直角な平

Fig. 2 Test piece of welding bead

面で Fig. 2 に示すように2ヶ所切断し、その切断面を
バフ仕上げの後、軟鋼板は5%硝酸アルコール溶液、ス
テンレス鋼は王水で腐食して2~3倍に拡大したマクロ
写真の撮影を行なった。その写真に基づき重量測定法に
より溶接部の溶込み断面積、板面上の溶着断面積を求め
、単位長さ当りの溶込み重量と溶着重量とを計算し
た。実験に使用した心線と母材は Table 1, 2 に示すと
おりで軟鋼は B+SB-46 ステンレス鋼では 316 L 心
線+317 L 母材の組合せとした。また溶接条件は軟鋼が
600~650 A で溶接速度を 200, 400, 600 mm/min と変化
した場合、ステンレス鋼は 500~550 A で溶接速度を軟
鋼同様変化させた場合について調査した。

3.2 移行率と歩留り率を求める実験

移行率の調査に使用した金属成分は溶接による化学反
応において高温でもっとも酸化しにくい $Cu^{6)}$ をえらび
基本フラックス H-550, H-300 に1~20%まで段階を
おいて添加したフラックスを作り調査するとともに Ni
成分についても同様な調査を行ない、その妥当性を検討
した。フラックス中に添加した合金成分が溶着鋼に移行
する割合は重量法で測定することは困難なため、これら
の関係を濃度で表わし、計算により求めることにした。
この際、 Cu の歩留り率を1と仮定し、溶着鋼に移行し
たものは酸化消耗しなかったものとおい。移行率は
(8) 式より次式によって与えられる。

$$\text{移行率 } (\eta) = \frac{CD_Z^1 - \gamma \cdot CW_Z - (1-\gamma) \cdot CR_Z}{\frac{S}{M} \cdot CS_Z} \dots\dots\dots (11)$$

また、有効成分として溶着鋼に止まる割合については

Table 1 Chemical composition of wire (%)

Composition Wire	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo
316 L	0.04	0.25	1.46	0.036	0.027	0.14	22.39	12.57	2.42
B	0.09	0.09	0.98	0.012	0.014	0.20	0.02	0.01	0.08

Table 2 Chemical composition of mother metal (%)

Composition Mother metal	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo
SUS 27	0.08	0.40	1.60	0.009	0.006	—	17.90	8.99	0.25
317 L	0.04	0.52	1.45	0.033	0.005	0.90	17.10	14.81	4.10
SB-46	0.22	0.26	0.77	0.017	0.023	0.12	0.18	0.13	0.09

(9) 式から歩留り率として次式のように与えられる。

$$\begin{aligned} \text{歩留り率}(\nu) &= \frac{CD_Z}{CT_Z} \\ &= \frac{CD_Z}{r \cdot CW_Z + (1-r)CR_Z + \frac{\eta}{M} \cdot S \cdot CS_Z} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(12)$$

これらはすべて1層溶接により合金成分の移行率や歩留り率を調査し、その値を実験によって求めた。実験に用いた合金成分は Ni, Cr, Mo, V である。

4. 実験結果と検討

4.1 軟鋼溶接

4.1.1 溶込み量, 溶着量および溶融スラグ量

Fig. 3 は軟鋼板 SB-46 B に軟鋼 B 心線と基本フラックス H-550 の組合せて溶接した場合の単位長さ当りの心線溶着量 (R) とスラグ溶融量 (S) を (3), (4) 式の関係にしたがってパラメーター I/v により示したものである。Fig. 3 から明らかなように原点をとる一次直線として近似的に表示しうる。

その実験式は次式ようになる。

$$R = 2.05 \times I/v \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$S = 1.50 \times I/v \quad \dots\dots\dots(14)$$

単位は R, S は g/cm, I は Amp, v は mm/min である。

(14) で示した溶融スラグ量 S はフラックス中に添加した合金成分の多少により、変動すると考えられるが、フラックス中に合金成分を20%まで2%おきに添加してその影響を調査した結果、近似的に前述の(14)式で表示できるので、以後の実験ではこの値を採用した。

Fig. 4 は同様軟鋼板に溶接した場合の単位長さ当りの母材溶融量(溶込み量)を(2)式の関係にもとづいてパラメーター I^2/v により示したものである。

溶接ビードの溶込み巾と深さは(1)式の関係で与えられるが、溶込み量は溶接の方法, 材料, フラックスの

Fig. 3 Relation between I/V and weight of R and S with H-550 flux (mild steel)

Fig. 4 Relation between W and I^2/V with H-550 flux

Fig. 5 Transfer efficiency of Cu and Ni with H-550 flux

物理的性質やフラックス中の合金成分量などによって影響を受け変化する。一般にサブマージド・アーク溶接に使用されている溶融型フラックスを用いた場合にはその溶着断面積が $(I/\sqrt{v})^2$ にほぼ比例するといわれている⁹⁾。しかしポンド・フラックスでは溶接ビードの溶込み巾が $I/\sqrt{v}$ に比例して増大するのに対して、溶込み深さは $I/\sqrt{v}$ に比例して増大することなく $I/\sqrt{v}$ が大になるとむしろ減少する傾向をもっている。したがって H-550 フラックスを使用した場合の単位長さ当りの母材溶融量 (W) は Fig. 4 から近似的に次式のように与えられる。

$$W = 4.78 \times 10^{-3} I^2/v + 1.0 \quad \dots\dots\dots(15)$$

4.1.2 軟鋼フラックスに添加した合金成分の移行率

Fig. 5 は合金成分として Cu⁹⁾ と Ni をえらび、Cu を1~4%添加したフラックスと Ni を最高10%まで添加したフラックスを製作し、溶接により合金成分が溶着金属に移行する割合について(11)式の関係にしたがって計算により求めた結果を図示したものである。

この結果によるとポンド・フラックスに合金成分を添加して軟鋼の溶接を行なった場合にはその移行率はほぼ $\eta=60\%$ を示したが、この値はかなり低い。これは後述したように溶融スラグ量 S が溶融部分と半溶融部分とを合せた重量であり実際に溶着鋼に移行可能な合金成分はスラグの溶融部分に存在する量であるためかなり低い

値を示すものと考えられる。合金成分に Cu と Ni を使用した場合には移行率の値が若干異なるが大きな差異は認められずわずかな酸化による影響と考えられる。なお、移行率は溶接条件、とくに大電流、低速度で使用される場合や、合金成分の添加量の相違（とくに多量添加した場合）により影響をうけ若干変動する傾向がみられるが、添加量があり多くない実用範囲内では前述の移行率の値を用いても大差ないことが判明した。

4.1.3 軟鋼フラックスに添加した合金成分の歩留り率

Fig. 6 (a), (b), (c), (d) は軟鋼フラックス H-550 を基本フラックスとして、これに合金成分 Ni, Cr, Mo, V をそれぞれ最高10数パーセント添加したフラックスを作り、軟鋼あるいは高張力鋼を対象として溶接した場合に、フラックス中に添加された合金成分が、有効成分として溶着金属内に止まる割合（歩留り率）を (12) 式の関係にしたがって計算により求めた結果である。

この結果によれば、Ni の歩留り率=97%前後、Cr の歩留り率=86%前後、Mo の歩留り率=95%前後、V の歩留り率=70%前後の値を示した。また同図には横軸をフラックスに添加した合金成分の配合割合をとり、縦軸を

(9) 式の関係にしたがって計算により求めた溶着金属中の合金成分含有量をとって実線で示したが、実際に化学分析で求めた含有量（プロットしている位置）とのバラツキも少なく、溶着金属中に含まれる合金成分はフラックス中の添加量に対して、比例的に増加して行く。実験に供した4種の合金成分について、その歩留り率を比較してみると、Ni, Mo, Cr, V の順に減少しているが、これは酸素との親和力が強いものほど低下していることがわかる。また合金成分がフラックス中に単独に添加された場合と多種共存の形で添加された場合の歩留り率の変化については調査しなかったが、被覆棒を用いて多種共存添加した実験結果では単独添加に比較してその値に大きな差がないことが報告されている⁹⁾。

Fig. 7 は軟鋼用 H-550 フラックスに Ni, Cr, Mo, V を添加し、図中に示す溶接条件の範囲内で1層溶接した溶着金属の合金成分含有量とフラックス中に添加した合金成分の配合割合との関係をまとめたものである。普通 Mo および V はフェロモリブデン、フェロバナジウムの形で市販されているが、これらの合金成分は Ni, Cr などの純金属成分に比較して溶着金属に入る割合が低く、フラックスから添加される場合には不利である。

Fig. 6 Yield efficiency (%) of alloy component with flux

Fig. 7 Relation between alloy components in H-550 flux and chemical composition of weld metal

4.1.4 多層溶接における溶着金属の化学成分

ボンド・フラックスに合金成分を添加して溶接を行なうと、1層溶接における溶着鋼の化学成分は(9)式の関係で与えられ、多層溶接では(10)式の関係により与えられるが、その合金成分濃度は移行して歩留る割合と酸化消耗して減少する割合が平衡になるまで層数を増すにつれ増加し、ある程度まで行くと収斂する。一例を示すと Table 3 のようになり(10)式からわかるように等比級数的関係にある。

それゆえ、単層用と多層用とでは心線に軟鋼を用いフラックスから化学成分を調整する場合、おのずと合金成分の配合量が異なってくる。

4.2 ステンレス鋼の溶接

4.2.1 溶込み量と溶着量および溶融スラグ量

Fig. 8 はステンレス鋼板 SUS 27 にステンレス鋼心線 NC-36L とステンレス鋼用基本フラックス H-300 を組合せて溶接した場合の単位長さ当りの心線溶着量(R)とスラグ溶融量(S)を(3),(4)式の関係にしたがってパラメーター I/v により示したものである。Fig. 8 から明らかなように原点を通る一次直線として近似的に表示しうる。その実験式は次式のようになる。

Fig. 8 Relation between I/V and weight of R and S with H 300 flux (stainless steel)

Fig. 9 Relation between W and I^2/V with H-300 flux

$$R = 1.96 \times I/v \dots \dots \dots (16)$$

$$S = 1.64 \times I/v \dots \dots \dots (17)$$

で表わされ単位は軟鋼の場合と同様で電流、速度の同一条件では心線の溶着量がスラグ溶融量より若干多い。

心線溶融量についてステンレス鋼と軟鋼の場合を比較してみると(16)式と(13)式より係数が1.96と2.05の相違で大きな差は認められない。それに対し、溶融スラグ量はステンレス鋼用 H-300 のほうが軟鋼より若干大きな値を示している。これはジルコン砂の添加に影響するものと思われる。

Table 3 Chemical analysis values and calculation values of multi-pass weld metal

Wire+flux	Alloy component in flux	Element of weld metal	No. of pass	Chemical analysis value					Calculation value				
				1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
B+H-550 base	Cr 4%	Cr (%)		0.46	0.74	0.92	1.03	1.13	0.54	0.77	0.97	1.02	1.08
	Cr 8%			0.82	1.49	1.74	2.09	2.36	1.05	1.50	1.80	1.98	2.10
	Fe-Mo 6%	Mo (%)		0.48	1.00	1.10	1.32	1.50	0.55	0.92	1.00	1.10	1.17
	Fe-Mo 10%			0.70	0.95	1.37	1.82	1.95	1.07	1.59	1.92	2.14	2.29
	Ni 6%	Ni (%)		0.77	0.97	1.28	1.83	2.07	0.88	1.38	1.70	1.91	2.04
	Ni 10%			1.46	1.81	2.61	3.21	3.72	1.43	2.23	2.75	3.08	3.30

Fig. 9 は同様ステンレス鋼板に溶接した場合の単位長さ当りの母材溶融量を(2)式の関係にしたがってパラメーター I^2/v により示したものである。ステンレス鋼用フラックスとして作られた H-300 は主としてビード外観を良好にする目的からジルコン砂を珪灰石とともに主原料として用いているが、このジルコン砂が溶接ビードの溶込み深さをやや大にする特質をもち、軟鋼用 H-500 と若干異なる。

それゆえ、溶接ビードの溶込み巾と深さが $I/\sqrt{v}$ にほぼ比例するので(1)式右辺第1項のみで表示でき、単位長さ当りの溶込み量は Fig. 9 に示すように I^2/v にほぼ比例しており、その結果溶込み量 W は近似的に次式で表される。

$$W = 6.25 \times 10^{-3} I^2/v \dots \dots \dots (18)$$

4.2.2 ステンレス鋼の場合の移行率

Fig. 10 は合金成分として Cu をえらび、最高20%まで添加したフラックスを製作して、ステンレス鋼溶接における合金成分の移行率について(11)式の関係にしたがって計算により求めた結果を図示したものである。この結果によると、移行率 $\eta = 40\%$ を示し、軟鋼フラックス H-550 よりさらに低い値を示した。これは H-300 にはジルコン砂が溶融してスラグ裏面に薄い珪瑯質の膜を作るため、これが若干影響して合金成分の移行を妨げ、H-550 フラックスよりさらに移行率が低下したも

Fig. 10 Transfer efficiency of Cu with H-300 flux

のと考えられる。

4.2.3 ステンレス鋼の場合の歩留り率

Fig. 11 (a), (b), (c) はステンレス鋼用フラックス H-300 を基本フラックスとして、これに合金成分, Ni, Cr, Mo 粉末を添加したフラックスを作りステンレス鋼同志の溶接を行なった場合、フラックス中に添加された合金成分が有効成分として溶着金属内に止まる割合(歩留り率)を(12)式の関係にしたがって計算により求めた結果である。

その結果によると Ni の歩留り率=95%前後, Cr の歩留り率=88%前後, Mo の歩留り率=90%前後の値を示した。またこの歩留り率を(9)式に代入して溶着金属中の合金含有量を求めた結果と実際に1層溶接した溶着鋼の合金成分含有量を化学分析して求めた結果を比較してみると、多少のバラツキはみられるが、フラックスの配合割合が増すにしたがって溶着金属の合金成分含有量は比例的に増加して計算結果と実際の分析結果はある程度の一致を示している。

さらに実験に使用した合金成分を軟鋼とステンレス鋼の溶接でその歩留り率を比較してみると Ni, Mo はステ

Fig. 12 Relation between alloy component in H-300 flux and chemical composition of weld metal

Fig. 11 Yield efficiency (%) of alloy component with H-300 flux

ンス鋼の溶接でも軟鋼の溶接に比較してほぼ同じ値を示し、Cr 成分は逆に増加している。

これはステンレス鋼母材に Ni, Cr, Mo などの合金成分が多量に含まれている影響とも考えられるが、軟鋼、ステンレス鋼いずれの鋼種でも、歩留り率の良否を示す順位に変化はなく、酸素との親和力が強い合金成分ほど歩留り率の悪い結果がえられた。

Fig. 12 はステンレス鋼用 H-300 フラックスに Ni, Cr, Mo の合金成分を添加し図中に示す溶接条件の範囲内で 1 層溶接した溶着金属にフラックスから入る合金成分の割合をまとめて示したものである。

5. 結 言

以上、軟鋼用ボンド・フラックス H-550、ステンレス鋼用ボンド・フラックス H-300 に合金成分を添加してサブマージドアーク溶接を行った際の移行率と歩留り率について、溶接条件と溶込み量、溶着量ならびに熔融スラグ量との関係を明らかにしたのち、これより実験式を導いて 1 層溶接した溶着金属の化学成分から検討した。要約するとつぎようになる。

(1) 軟鋼同志に軟鋼用フラックス H-550 を組合せて溶接した場合の単位長さ当りの溶込み量 W 、溶着量 R 、熔融スラグ量 S と溶接条件との関係は $W(g) = 4.78 \times 10^{-3} I^2/v + 1.0$, $R(g) = 2.05 \times I/v$, $S(g) = 1.50 \times I/v$ によって表わされる。

I : 電流 (Amp), v : 溶接速度 (mm/min)

(2) ステンレス鋼同志にステンレス鋼用フラックス H-300 を組合せて溶接した場合には $W(g) = 6.25 \times 10^{-3} I^2/v$, $R(g) = 1.94 \times I/v$, $S(g) = 1.64 \times I/v$ で与えられる。

(3) フラックス中に添加された合金成分が、溶着鋼中に移行する割合は軟鋼用フラックス H-550 で移行率 $\eta = 60\%$ 、ステンレス鋼用 H-300 では移行率 $\eta = 40\%$

である。

(4) 高張力鋼の自動溶接を可能にする目的で、H-550 に Ni, Cr, Mo, V などの合金成分を添加したフラックスを作り、1 層溶接した場合の溶着鋼えの歩留り率を調査した結果、Ni, Mo の歩留り率 $\nu = 95\%$ 前後、Cr が $\nu = 85\%$ 、V 成分は $\nu = 70\%$ の値を示した。

(5) ステンレス鋼の各グレードに適応したフラックスを製作する目的で、Ni, Cr, Mo を添加したフラックスを作り歩留り率を調査した。その結果 Ni, Mo の歩留り率 $\nu = 95\%$ 前後であり、Cr は若干低い歩留り率 $\nu = 90\%$ を示した。また軟鋼、ステンレス鋼用フラックスの両者とも歩留り率の良否の順位は変わらない。

終りに本研究を実施するに当たり、化学分析に関し終始御尽力下さった児玉三男一氏に深謝する。

参 考 文 献

- 1) 一海俊景, 渡辺文則, “ボンド・フラックスによるサブマージドアーク溶接の研究(1報)—ステンレス鋼溶着鋼の諸性能調査—” 溶接学会誌 31巻, 10号, 20~26 (1962)
- 2) 一海俊景, 渡辺文則, “ボンド・フラックスによるサブマージド・アーク溶接の研究(2報)—軟鋼および60キロまでの高張力鋼の溶着鋼の諸性能調査—” 溶接学会誌, 32巻, 3号, 55~61 (1963)
- 3) 渡辺正紀, 渡辺寛, “ステンレスクラッド鋼の溶接による希釈についての一考察”, 溶接学会誌, 31巻 5号367~373 (1962)
- 4) 小椋陽, “溶接条件によるとけ込みの推定”, 溶接資料, 1巻 11号 729~736 (1953)
- 5) 渡辺正紀, 佐藤邦彦, “溶接継手のとけ込みと溶接条件との関係(第1報)—とけ込みに関する基礎的考察—” 溶接学会誌, 24巻12号, 512~519 (1955)
- 6) 渡辺正紀, 佐藤邦彦, “溶接継手のとけ込みと溶接条件との関係(第2報)—とけ込み深さに関する略算式—” 溶接学会誌, 25巻1号 18~23 (1956)
- 7) C.E. Jackson, A.E. Shrubbsall, “Control of penetration and melting ratio with welding” W.J., Vol. 32 (1953), No 4, 172~178 S.
- 8) 沢村宏, 理論冶金学 p. 179 (丸善)
- 9) 八幡溶接棒社内報告, 未発表, “低合金鋼用溶接棒の合金成分の歩留りについて”(昭和33年3月)