論文および報告

アーク溶接現象に関する界面張力理論 (第1章)*

— 1. つぼと母滴 —

石 崎 敬 三**

Interfacial Tension Theory on the Phenomena of Arc Welding
(Chapter 1)*

— 1. Surface of Penetration and Mother Drop —

By Keizo Ishizaki**

This is an attempt at interpreting arc welding as a kind of wetting phenomenon, i.e., a mechanical phenomenon which is governed by three kinds of interfacial tension taking part in it. Fundamental and general behaviour of a liquid drop confined within a solid surface was discussed first, and the findings were applied to explain the welding phenomena. The results were as follows.

- (1) "Mother Drop", the molten weld metal phase, should be considered as a single liquid drop, surrounded by an interface between molten metal and slag or gas phase, stressed by interfacial tension.
- (2) Mother Drop is confined within a concave "Surface of Penetration", which is composed of the melting surface of mother plate and the solidifying surface of a weld bead. "Confinement" means that the contact line of a liquid drop can not leave the intersecting line of two surfaces until the liquid surface takes the equilibrium contact angle against the adjoining surface.
- (3) Internal pressure of a liquid drop kept within a concave conical surface upon a horizontal plate is minimum when its contact line reaches the boundary line and its contact angle is equilibrium value. Mother drop on the surface of penetration seems to be in a similar condition.
- (4) Generally there are two types of drop, "Convex" and "Flat", in a single V-groove. If the inclination of groove face is too small as compared with the contact angle of the drop, there emerges flat to convex transition with an increasing volume of the drop. Mother drop of normal weld bead must be a flat type.

1.1 ま え が き

アーク溶接現象は液体金属と固体金属の物理的関係を主としてみれば一種の濡れ現象すなわち関与する各相の界面張力に支配される力学的現象と考えることができる。この観点は類縁のろう付けの場合は常識であるが、溶接では従来不当に看過され、これに言及した研究^{1),2)}もその真相をつくしていない憾みがある。

本研究の目的は界面張力の観点に立ってアーク溶接における溶込みの生成からビードの形成までの諸様相に新しい視野を開くことにある。しかしこの方面の研究は非常に少なく参考文献も乏しいままに研究を進めたので、あるいは未熟独断のそしりを免れないと思われるが、こ

の小論を端緒として研究者の興味がこの方面に導かれれば著者の幸福これに過ぎるものはない。

第1章ではまず研究の発端となったアークにより掘られた母材の凹面について概略を述べ、このような凹面上の液体金属の挙動について基礎公式より導いた法則によって考察を加え、第2章以降への緒論とする。なお本章3, 4節については別報^{3),4)}で詳説した。

1.2 つぼと母滴および母滴の界面張力

アーク溶接中にハンマーで母板に強い衝撃を与え、溶融状態の金属とスラグを慣性により掃い落とすと、Photo. 1.1 (a) に示すような母材から溶着金属にわたる凹面が得られる。溶接後普通に見られるクレーターと呼ばれる凹面は、この中にあった溶融金属がアークの消滅と同時に凹面を埋めつつ凝固したもので、これをクレーターと言うことはできない。また、溶融池というのも

* 原稿受付 昭和37年4月24日 (昭和36年度溶接学会 秋季学術講演会において発表)

** 八幡溶接機KK Member, Yawata Welding Electrode Co. Ltd.

(a) "Surface of penetration" obtained by a hammer blow during welding

(b) Equi-depth contour lines and boundary line between melting and solidifying zones

(c) A water drop placed on the solidifying zone

(d) A water drop pushed by air blast through a piece of straw pipe

Photo. 1.1 Various aspects of surface of penetration." Electrode ; iron oxide type
5 mm dia
Welding current ; AC 220 amp

溶融金属のたまりであるから、くぼんで深くなった所の意味で「つぼ」または「とけこみ面」 Surface of Penetration ということにする。

つぼ中の溶融金属は凝固して溶接ビードを生み出すもので、その意味から「母滴」 Mother Drop と名づける。

Photo. 1.1 (b) の点線で示すようにつぼ中に描いた等高線の最大巾の点を結ぶ線で凹面を前半部と後半部に分ければ前半は「溶融面」 Melting Zone, 後半は「凝固面」 Solidifying Zone と定義することができる。時間的に平均して溶融面では母材の溶融が進行しており、凝固面ではアークの溶解作用がやみ、凹面上の溶融金属の凝固が進行していると考えられる。つぼ面の中心線上では両面の境界線は溶接棒の先端が指向していたと思われるつぼの前方に偏った位置にあるが、これから後方にのびて、つぼの中央の最大巾の点すなわち母材上のビード形成の始まる点にいたっているの、溶融面は馬蹄型となっている。溶融面と母材表面との交線を「溶解線」 Melting Line, 凝固面とビード表面との交線を「凝固線」 Solidifying Line と名づける。

このようにして得られたつぼにパラフィンを塗り、この上に適量の水を載せることにより Photo. 1.1 (c) に示すように高温の溶接時におけるつぼ中の母滴の形状をある程度再現できる。溶解面を濡らさないように注意すると、凝固線に始まる水滴表面はほぼ溶着ビードの表面と連続するにすることができる。このとき溶解面を水滴で濡らしてやると水は前方に引かれ水滴のふくらみはなくなり、水の表面は凹面となって通常のクレーターによく似た形となる。

次に Photo. 1.1 (a) に示すようなつぼ中に静止した水滴にちょうど溶接時溶接棒のある位置からストローで風を送ると (d) のように衝風のあたった所は凹み、その左右の衝風の当たらない水滴部分が凸出して、斜め前方に水膜を引張っているように見える。実際このような時には衝風に対抗する引張り力が生じているのであって、これについては第 3 章で詳説することにする。

さて液体はすべてその表面積をできるだけ小さくしようとする傾向をもっている。液体が気体に接している時この力を普通表面張力というのであるが、表面張力は液体の内外の分子凝集力が異なるために生ずるのであるから、2 種の物質の境界面には必ずこのような張力が働くと考えられる。これを一般的には界面張力と総称することとする。

液体金属の界面張力はこれと接する物質により異なる。Table 1.1 は T.H. Hazlett¹⁾ が pendent drop method により測定した軟鋼の溶融点における種々な物質との間の界面張力の値から引用したものである。残念

Table 1.1 Values of interfacial tension of steel in contact with various substances.
(T.H. Hazlett)¹⁾

Substance	Ar	MnO	Fe ₂ O ₃	K ₂ CO ₃	Na ₂ SiO ₃
Tension dyne/cm	956	846	714	786	518

ながら通常溶接に使用されるような多数の酸化物の混合したスラグについては測定されていないが、それらのスラグの熔融温度よりしてその場合の界面張力は 500～1000 dyne/cm の程度であると考えられる。

液滴は重力の影響がなければ界面張力により球形となるが、重力場内では界面張力が大きいほど球形に近い。後述のごとく γ を表面張力、 ρ を液体の密度、 g を重力の加速度とすると $\sqrt{2\gamma/\rho g}$ の大きいほど歪みが少ない。Table 1.2 に溶融した鋼、水銀および水の物理的数値を比較して示したが、これに明らかなように溶鋼は同じ液体金属である水銀より重力による歪の程度が少なく、この点でむしろ水に近いことがわかる。すなわちつば中に載せた水滴の形は溶接時の液体金属の形をある程度再現すると考えられる。一見してわかるごとくこの形は一つの液滴である。

Table 1.2 Comparison of physical properties of three kinds of liquid

Substance	Temp. °C	Sp. gravity ρ ; g/cm ³	Interfacial tension γ ; dyne/cm	$\sqrt{2\gamma/\rho g}$
Steel	1600	7.1(0.05% C)	1000-500	0.58-0.38
Mercury	20	13.6	472	0.27
Water	0	1.0	75.6	0.40

1.3 固体表面上の液体の接触角

3種の液体（その中の一つは気体でもよい）1, 2, 3 が Fig. 1.1 に示すように一つの曲線に沿い相接している

Fig. 1.1 Relation between three kinds of interfacial tension acting upon the boundary line among three liquid phases and contact angle between them

場合を考える。それぞれの境界面における界面張力を γ_{12} , γ_{23} , γ_{31} とすると、境界線が安定するためには上の三つの張力が釣合わねばならないから各相の界面のはさむ角を θ_1 , θ_2 , θ_3 とすると $\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = 2\pi$ で

$$\frac{\gamma_{12}}{\sin \theta_3} = \frac{\gamma_{23}}{\sin \theta_1} = \frac{\gamma_{31}}{\sin \theta_2} \dots \dots \dots (1.1)$$

ガラスの容器壁に対する水滴のような場合は固体表面は液体のように自由に動けないから Fig. 1.2 に示すように固体の表面張力を γ_s , 固-液間の界面張力を γ_i , 固-液間の接触角を θ_0 とすると、

$$\gamma_s = \gamma_i + \gamma \cos \theta_0 \dots \dots \dots (1.2)$$

Fig. 1.2 Three kinds of interfacial tension and contact angle of a liquid drop on a solid plane

さて同種金属のアーク溶接の場合、溶接現象に関与する相は普通金属固相 m , 金属液相 l , 溶融スラグ相 s (またはガス相 g) の三つの相である。Fig. 1.3 (a) に示すようにおのおの2相間の界面張力をそれぞれ γ_{ml} , γ_{sl} , γ_{ms} とすれば、それぞれ (1.2) 式の γ_i , γ , γ_s に対応して形式的には平面 m 上の接触角 θ_0 は次のごとく定義できる。

$$\gamma_{ms} - \gamma_{ml} = \gamma_{sl} \cos \theta_0 \dots \dots \dots (1.3)$$

固体上の界面張力は普通見なれない数値であるが、表面張力と同様に二つの相が一定で、また界面での吸着反応が相の内部と平衡に達した時には、各相の組成と温度により一義的に定まる量である。さらにガラスと水、および空気のように互に反応しない時には (1.3) 式の接触角は常実現され、したがって測定できる量である。しかし溶接の場合のように l 相 m 相が同じ物質で状態を異にしたものである場合 (1.3) 式の条件は過渡的の釣合い条件であって、少しでも静止の時間をおけば三相境界線付近は m 相の溶解または凝固が直ちに進行して (1.1) 式に示されるような完全な平衡状態での安定に移行するであろう。そこで (1.3) 式が成立し、この式で定義される接触角が実現するのは l 相の接触線が m 相表面をある程度の速度で移動している時であると考えことにする。つばの前半溶融面はまさにそのような所である。過渡状態でない場合、運動中の液滴に対する接触角の考え方については別報⁴⁾ で論じた。

界面張力は温度によりもちろん変化するが、都合のよ

いことにはアーク溶接で最も基本的な数値である接触角 θ_0 は接触線すなわち $m-l$ 界面のごく近傍の分子力により決定されるものであるから、温度は常に溶接される金属の溶融温度としてよく、 θ_0 は温度に影響されない。

以上の考察はもちろん十分ではなくこれによって結論を急ぐものではないが、一応 Fig. 1.3 (a) に示すようにつば内面および母材の表面のような連続した曲面上では母滴は常に (1.3) 式により定義される θ_0 の接触角を保ちつつ変形移動することを仮定してもさしつかえないであろう。

(a) within the surface of penetration

(b) on the boundary line of surface of penetration

Fig. 1.3 Equilibrium condition in arc welding

Fig. 1.4 Equilibrium condition proposed by hazlett²⁾

ところが水滴模型および Fig. 1.3 (b) に示したように、母滴の接触線はつばの後半部ではこれとビード表面との交線すなわち凝固線に一致しており、ここでは (1.3)

式のような安定条件は適用できない。Hazlett²⁾ はこのような 3 相境界に対する安定条件を Fig. 1.4 に示すように γ_{sl} および γ_{ml} が γ_{ms} に対してはさむ角を α, β として、

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{ms} &= \gamma_{sl} \cos \alpha + \gamma_{ml} \cos \beta \\ \gamma_{sl} \sin \alpha &= \gamma_{ml} \sin \beta \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (1.4)$$

によって示し、これを溶接の基礎的な公式と考えたが、これは実は前述の (1.1) 式に異ならず、各相が流動相である場合は妥当であるが、一相が固体で自由な変形が許されないときは適用できない。

この場合の安定条件は (1.2) 式から導くことができる⁴⁾。Fig. 1.5 (a) に示すように一平面上の境界線の左右が性状の異なる 2 種の固体表面よりなるとき、この境界線をよぎる液滴の挙動を考える。固体 m_1 上の接触角を θ_{01} 、 m_2 上のそれを θ_{02} とし、 $\theta_{01} > \theta_{02} = \pi$ とすると液滴が m_1 上であれば接触角は θ_{01} であるが、液滴が m_2 のほうに移動して接触線に対し m_2 の分子間引力の働く範囲内まで境界線に近づくと、(1.3) 式の γ_s は m_1 内の分子凝集力の影響が減り、 m_2 内のそれが増すことにより連続的に変化し、 m_2 内に接触線が入るにつれ最後には m_2 上の一定の固体表面張力となる。

Fig. 1.5 Gradual transition of contact angle in the vicinity of boundary line of two kinds of solid

また γ_i は境界線以前では m_1 上の界面張力で一定であるが、境界線付近において連続的に変化し最後には一定の m_2 上の界面張力となる。したがって境界線付近では接触角は接触線との距離 (分子間距離の程度の大きさ) の関数であって、 θ_{01} から θ_{02} まで連続的に変化する。液滴をしだいに大きくするときこのような境界線付

近では広義の接触角 θ' は θ_{01} から θ_{02} まで連続的に変化し、この間は接触線は二表面の境界線付近を離れることができず、液滴はふくれてくる。 $\theta' = \theta_{02}$ となって始めて接触線は m_2 上を自由に迂ることができるようになり、以後接触角は変わらない。Fig. 1.5 (b) は境界線付近の広義の接触角 θ' の変化を模式的に示したものである。

このように固体表面の性質の不連続線上で液滴の接触線の移動が阻止されることを「接触線の拘束」 **Confinement of Contact Line** ということにする。また様な平面上で液滴に対し (1.2) 式の平衡が成立する場合を「平面上の平衡」 **Equilibrium on a Plane** とすれば、上述のように境界線上で広義の接触面が境界線の左右の面上の接触角の間の任意の値をとって平衡する場合を「境界線上の平衡」 **Equilibrium at a Boundary Line** ということができる。

このような拘束は Fig. 1.3 (b) のように固体の表面が二つの連続曲面よりなり、上述の不連続線が曲面の交線である場合にも考えられる。このときは第二の曲面に対し液滴表面が接触角 θ_0 をとることができるまでは接触線は拘束される。母滴がつぼのふちまで一杯になっているのはこの面内に拘束されているのであって、母材面またはビード面に対し接触角 θ_0 をとることができるまで母滴が歪めば接触線はこの面上に迂り、母滴はつぼから溢れ出る。

また Fig. 1.3 (b) に示すようにスラグ相 s は通常金属固相 m よりも溶融点が高いからつぼのふちの C 点よりある距離の点 A までは溶融状態にあり、スラグは AC 間で母材上の酸化膜を溶融して金属面を露出させる。酸化膜の金属液相 l に対する接触角はかなり大きいと想像され、したがって酸化物の有無の境界 B もまた境界線上の平衡が成立する位置である。ハンダ付けにおいて、フラックスで酸化膜が除去されない所にはハンダがのらないという現象はこれであるが、固体の角稜における境界線上の平衡状態はハンダの場合アーク溶接におけるようなつぼができないことと接触角がかなり小さいため見逃されていたと思われる。溶接の場合はアークにより母材の溶込みが必ず起こり、 l 相が m 相上の凹面内に拘束されていることが最も本質的なことである。

1.4 液滴形状と内部圧力

前節では接触線上の一点における接触角の変

化によって拘束の意味を示したが、一つの面内に拘束された液滴は全体として最小表面積の条件を満たさねばならないからその形が限定される。ここではつぼ中に拘束された母滴の形状を単純化した条件によって考察する。

液体の界面張力を γ (dyne/cm)、液体表面の主曲率半径を R_1, R_2 (cm)、液体の内外の圧力差を P (dyne/cm²) とすると Laplace の基礎式は次のように示される。

$$P = \gamma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \dots\dots\dots (1.5)$$

液滴が球であるときは $R_1 = R_2$ 、また無限に長い液滴では $R_2 = 0$ である。

液体との接触角が π である平面内に液体との接触角が θ_0 である面 (これを拘束面とよぶことにする) があるとする。Fig. 1.6 (a) は拘束面が円形の平面である場合、(b), (c) はそれぞれ円錐および円転面である場合である。拘束面上に液体を少量ずつ添加してゆくことを考えると、番号 (1), (2), (3) の順に液滴が大きくなるにつれ表面の曲率は減じ、したがって重力による静圧力を無視すれば (1.5) 式より内部圧力 P は減少する。しかるに液滴の接触線が境界線に達した (3) 以後は接触線はここに拘束され平面上に進むことができなくなり、(3)~(4) で広義の接触角 θ' は増し、したがって曲率は逆に増加して圧力は増加してくる。(5) の半球の状態よりさらに液滴がふくらめば曲率は再び減じ内部圧力は減少する。液滴の容積 V に対し P をプロットすれば Fig. 1.6 (d) の

Fig. 16 Liquid drop kept within confining surfaces.
(a), (b) and (c) Liquid drop kept within surfaces of circular, conical and revolution
(d) Relation between internal pressure and volume of a liquid drop.

assumed. θ_0 in (a) = $(\theta_0 - \theta_g)$ in (b) and (c)
 θ_g in (b) = θ_g in (c)

ごとくである。

(3)の状態は液滴の内部圧力が最低で、したがって最も安定である。安定の意味は次のように考えてもよい。拘束面に導管をとりつけ(3)での最低圧力 $P_{\min}$ に等しい静水圧をもつ容量の大きな液体の容器にこれを連結すれば、連結時の液滴の大きさにより液滴はあるいは増大し、または減少して $P_{\min}$ より若干高い内部圧力 P_R で平衡に達するであろう。概念的にいえば母滴はつば内で(3)~(4)の状態間でアーク圧力に対し平衡していると考えられる。

θ_p を境界線における拘束面の傾斜角とすると、 $P_{\min}$ のとき液滴は上から見ると平面上にある ($\theta_0 - \theta_p$) の接触角をもつ液滴の状態と変わらないことが注意される。

溶接速度が大きい時はつばは前後に長い溝状となり、この中の液滴も非常に長くなる。このような液滴はどのような場合にできるであろうか。Fig. 1.6 (a)~(c) は平行な境界線で拘束された無限に長い液滴の横断面と考えれば (d) の曲線は液滴断面積と内部圧力との関係として見る事ができる。しかし実際にはこのような帯状平面または溝の中に無限に長い液滴ができるのはある限られた条件の下である。

ここで非常に長いつば面を平行のV型開先溝と考え、この中にある液滴の形について考察する。Fig. 1.6. (b) を横断面とする開先で傾斜面の水平となす角を θ_g とする。このなかに拘束された液滴の形は液体と開先面との接触角 θ_0 、開先傾斜角 θ_g および液滴の容積 V により決定される。

まず $\theta_0 = 90^\circ$ で重力を無視する場合、このような理想的液滴の形はシャボン玉により実験で求めることができる⁴⁾。Photo. 1.2 は $\theta_g > 60$ の場合の一例で(1)~(2)の間でシャボン玉が開先端(ここではガラス板のふち)に達するまではシャボン玉の形は完全な球の一部であるが、(3)ふちに達した後は開先の方向にしだいに長くなり、(4)から先は長さの伸びが少なくなり逆に中央部が突出してき、遂には(5)のごとく非常に突き出たシャボン玉となるのが見られる。正面図側面図の各点の曲率半径を R_1, R_2 頂部でのそれを R_{1T}, R_{2T} とすると、 R_1 が減少している間は R_2 特に R_{2T} は増加し続けるが、正面図のシャボン玉の形が半円を越すと逆に R_1 は増大に転じ R_2 特に R_{2T} は減少するようになる。側面図の頂部曲率 $1/R_{2T}$ が極小を示す場合を平型、 $1/R_{2T}$ が極大を示す場合を凸型と名づければ、その遷移点は正面図の曲率 $1/R_1$ が極大の容積の時である。

Photo. 1.3 に示すように $\theta_0 = 90^\circ$ 一定として θ_g を変えた場合 $\theta_g = 0$ ではシャボン玉が拘束面の端に達すると同時に凸型になってしまう。 θ_g が大になると容積 V

Photo. 1.2 Shapes of soap bubble in a V-groove constituted by two glass plates, showing flat to convex type transition with increasing volume of the bubble

Photo. 1.3 Shapes of soap bubble near the transition range in V-groove with various values of angle of inclination

に対し平型である範囲が大になり、 $\theta_g > 60^\circ$ ではVに関せず常に平型で無限に長いシャボン玉を作ることができる⁴⁾。

次に実験は困難であるが θ_g を一定にして θ_0 を変えた場合の液滴の形について考える。両開先底面の交線と液膜との交わる角を β とすると、 $\theta_0 = \theta_g$ のときは $\beta = 0$ なることは明らかである。もし $\theta_0 < \theta_g$ であれば一定量の水を開先内に入れると液は開先の前後に引かれて流れ

Fig. 1.7 Shapes of liquid drop with various contact angle and volume in a V-groove

去り、まとまった一つの液滴となり得ない。また $\theta_0 = \pi = \theta_g$ のときは $\beta = 180^\circ$ である。 $\pi - \theta_g < \theta_0 < \pi$ であれば液滴と開先面との接触線は閉じた曲線となり、液滴の下方の開先面には液に濡れない所が残ることになる。Fig. 1.7 は $\theta_g = 50^\circ$ で $\theta_g < \theta_0 < \pi - \theta_g$ の間の θ_0 の三つの値について液滴が開先の上縁に達してから増大するにつれて形状が変化する模様を示したもので θ_0 が小さいほどVが増しても平型にとゞまりやすく、 θ_g が大きいときは容積が増すと直ちに凸形となってしまう長さの増加が少なくなる。

以上のごとく重力を無視する場合、開先内の液滴は θ_g が大きく θ_0 が小さいほど凸型になりにくい。 θ_0 が小さく θ_g がこれに十分近い時は細長い液滴の中央横断面での θ' は θ_0 に近似すると考えてよい。

Photo. 1.4 は高酸化鉄系溶接棒で立向水平溶接を行った場合に見られた異常なビードで明らかに凸型の母滴によって生じたものである。

Photo. 1.4 Abnormal bead in V-H position showing convex type mother drop. Electrode; iron oxide type

最後にこのような液滴に対する重力場の影響を考える。(1.2)式と(1.3)式を組合わせて重力場における液表面の形を求めることができる⁵⁾。液体内の圧力零の位置を原点とし下方を y 方向、高さ y の位置の液表面の切線と水平面のなす角を θ とすると、液体の密度 ρ (gr/cm³)、重力の加速度 g (980 cm/sec²) として、

$$y = \sqrt{2\gamma/\rho g} \cdot \sqrt{1 - \cos\theta} \dots \dots \dots (1.6)$$

垂直の固体壁に対する液面の這い上がり高さ H_1 は、

$$H_1 = \sqrt{2\gamma/\rho g} \cdot \sqrt{1 - \sin\theta_0} \dots \dots \dots (1.7)$$

平面上にある頂部が水平面と見なすことができる大きな液滴の高さ H_2 は、

$$H_2 = \sqrt{2\gamma/\rho g} \cdot \sqrt{1 - \cos\theta_0} \dots \dots \dots (1.8)$$

(1.6)式は、非常に大きい液滴では頂部では $R_1 = R_2 = \infty$ 、また垂直横断面の曲率半径を R_1 とするとこれと共軛する $R_2 = \infty$ であることから導かれたもので、帯状平面内でも頂部に水平面ができるほどその巾 d が十分広ければ、液滴の横断面について適用できる。このときはこの断面の $\theta' = \theta_0$ で、また θ_0 および V が大きくても平型の液滴となる。 d がそれほど大でなくとも重力の影響は凸型の液滴となりにくする。

開先中では前述のごとく中央横断面での広義の接触角を θ' として(1.8)式の θ_0 のかわりに $(\theta' - \theta_g)$ を代入すれば頂部に水平面がある細長い液滴の高さ(母材表面よりの) H_2 を求めることができるが、 $(\theta - \theta_g)$ が零に近いときは重力により θ' は一層 θ_0 に近似すると考えてよい。

つば内の母滴の形の第1近似は帯状平面上の細長い液滴であるとするれば、つばの中央横断面におけるとけこみ角 θ_p を開先傾斜角 θ_g とし、同じ幅をもつ開先内の液

滴はその第 2 近似と考えられ、界面張力 γ と接触角 θ_0 をもつ液滴の形状は大略決定される。実際の母滴の形に対してはつばがこのような単純な形でないためにさらに若干の修正が必要であるが、平型と凸型の母滴型式はアーク溶接にとって最も大切な区別であり、アーク溶接現象はこれによって根本的な差異を生ずるものである。これについては章をあらためて論ずることにする。

1.5 ま と め

本章では緒論として本研究の対象であるアーク溶接現象に関与する諸相すなわち固体金属 m 、溶融金属 l 、スラグ s 等の間の物理的力学的関係について界面張力理論の立場から考察を行ない、第 2 章以後の論証のための仮説の検討を行なった。その結果は次のように要約される。

1. 溶融金属 l 相はスラグまたはガスとの界面における界面張力 γ_{sl} の作用する界面にとりまかれ「母滴」すなわちその凝固によりビードを生み出す液滴と考えなくてはならない。

2. 「母滴」は母材の溶融面およびビードの凝固面よりなる凹面すなわち「つば」中に「拘束」されている。拘束とは、液滴は表面が固体表面の性状の不連続線をこえた隣接面上に接触角をとることができるまで、その線

を離れることができないことをいうものである。

3. 固体の一曲面内に拘束された液滴はその面の形と接触角 θ_0 および容積 V により一定の形をとる。円形の拘束線のなかでは液滴は拘束面と θ_0 の接触角をとり一杯となった時内部圧力は極小で、したがって安定であると考えられる。

4. つばを一つの開先面で代表させれば、開先傾斜角 θ_g と θ_0 の一定値に対し、容積 V が増すに伴い液滴は通常は最初縦断面の頂部曲率が極小である平型になるが、ある限界の V 以上ではこれが極大である凸型に転移する。開先内では θ_0 が小さく ($\theta_0 - \theta_g$) が小さいほど液滴は凸型になりにくい。開先の巾 d が大で重力の影響が大きくなればさらに凸型になりにくい。母滴に対してもこのような型式の差異は重要であると考えられる。

文 献

- 1) T.H. Hazlett, "Effect of Individual Ingredients on Surface Tension of Iron Electrodes" W.J. Vol. 35(1956), No. 3, 113 s-114 s
- 2) T.H. Hazlett "Influence of Coating Ingredients on Surface Tension, Arc Stability and Bead Shape" Ibid., Vol. 36 (1957), No. 1, 18 s-22 s
- 3) 石崎敏三 "アーク溶接現象に関する界面張力理論—第 1 報" 八幡溶接技術 No. 4 (1961) p. 1-p. 11
- 4) 石崎敏三 "アーク溶接現象に関する界面張力理論—開先内の液滴" 溶接技術 Vol. 9 (1961), No. 10, p. 681-p. 691
- 5) 関根幸四郎著 "表面張力測定法" 理工図書, 昭和 32 年

研 究 委 員 会 の 動 き (11月)

◎溶接冶金研究委員会 (第10回)

37.11.13—14 学士会館 (本郷)

鈴木、小林両副委員長外 第 1 日 41 名, 第 2 日 38 名
議事:

1) 委員会会計状況の報告および予算の修正

2) 委員会運営方針の協議

○学会理事会の研究委員会運営方針 (案) にもとづいて委員会の態勢を協議した。

○委員会運営の具体的な諸問題について討議した

3) 次回は 38 年 2 月上旬関西地区において開催する。

講演: (第 1 日)

1) 「高張力鋼およびその溶接部の高温高圧水素ガスによるぜい化」 日立製作所 根本正氏

2) 「高張力の硫化物腐食割れに関する研究の展望」 新三菱重工業 KK 三原 西村修明氏

3) 「高温腐食ガスによる鋼溶接部の腐食について」 阪大 菊田米男氏

(第 2 日)

4) 「ステンレス鋼の応力腐食割れについて」

日立造船 KK 国広敏之氏

5) 「オーステナイト系不銹鋼の応力腐食に関する研究」 阪大 向井喜彦氏

6) 「Al 材料の溶接冷却時における含有ガスの挙動」 原研 藤村理人氏

7) 「チタン溶接部に発生するブローホールならびにその影響について」

神戸製鋼所 西原 守氏