論文および報告

点溶接におけるナゲット生成機構の研究(第6報)*

—連続スポット溶接における加圧力の変動について—

中村 孝** 浜崎 正信** 小保方貞夫**

Some Studies of Nugget Formation Phenomena on the Spot Welding (Report 6)*

—Electrode Force Change on Continuous Spot Welding—

by Takashi Nakamura**, Masanobu Hamasaki** and Sadao Obokata**

Abstract

The reducing valve used for a spot welder is characterized by producing a large pressure drop at a little discharging range when the welding speed (number of spots/sec.) is increased in a spot welder having a pneumatic system with an air reservoir, it is noticed that the electrode pressure with pneumatic system become lower than the pre-set value by following welding when the air reservoir is connected to the cylinder nearer than the reducing valve.

This pressure drop can be prevented if the air reservoir is inserted between air source (compressor) and reducing valve.

1. は し が き

スポット溶接において、生産性の向上のため溶接速度の増大が要求されるようになってきた。ふつうはハンドリングの時間を入れ平均すると、溶接速度は1分間に10~20点くらいのものであるが、実際には短時間内には1秒に1~2点、すなわち1分間に60~120点くらいの速さで溶接作業が行なわれる。さらに高度の生産性を要求されるときには、1秒間に4~5点もの高速溶接が使用されることさえある。

スポット溶接における加圧力は、溶接作業では重要な要素の1つであり、電流に対し加圧力が不足すると、はなはだしく散りを生ずるし、加圧力が高すぎると溶接部の強さ、特に引張強さが低下する。このため、この加圧力の変動を防ぐ目的でじゅうらいのスポット溶接機は、空気回路中に適当な大きさ、たとえば、10~20l くらいのエア・レザーバを設けるようになっていた。このエア・レザーバは Fig. 1 に示すように、じゅうらいは減圧弁と電磁弁の中間に設けられており、この効果については次のように考えられていた。

制御回路によって電磁弁が動作し、電極加圧用のシリンダの一室 v_1 が空気源によって充填されるとき、レザー

Fig. 1 Schematic illustration of air systems installed on spot welder with air equipment

バがあると必要な空気はレザーバから直接供給される。したがって このレザーバがない場合に比べて、シリンダ室も速く充填され加圧力の低下も少ない。

このようにレザーバがない場合は空気の充填速度が遅れると判断されるのは、工場の空気源からスポット溶接機まで空気配管が長い場合、空気の流れに対する配管の抵抗、あるいは減圧弁の抵抗、さらに減圧弁の動作の遅れなどが無視しえないほど影響を与えているからである。

しかしながら、現実にはこのレザーバがかえって悪影響を与えている。この原因について実験考察してみるとする。

* 原稿受付 昭和43年1月6日(昭和39年春季大会に発表)

** 正 員 (株)電元社製作所 Member, Dengensha

2. 実験方法

2.1 加圧力の測定

実験方法は Fig. 2 (a) (b) に示すように、他の配管系統の関係はそのまま、減圧弁とレザーバのみ配置を変え、シリンダの圧力状況を調べたもので、この実験に使用したレザーバの容量は 22 l である。スポット溶接機に使用されるものとしては比較的大きいものを使ったのは、その効果がよくわかるようにとの配慮からである。

Fig. 2 schematic illustration of different air systems

シリンダの断面積は 180 cm^2 のものを使用した。シリンダのピストン・ロッドでロード・セルを加圧し、加圧力すなわちシリンダへかかる 2 次圧力を測定するようになっている。ピストン・ロッドはロード・セルにすれすれに設置してあり、加圧にさいしては衝撃力がかからないようになっている。また排気したとき、ピストン・ロッドが戻りすぎると、再加圧するとき衝撃力がかかるので、ストップを使用し、戻りすぎないようにしている。図中 P_1 , P_2 はそれぞれ、減圧弁の 1 次側および 2 次側の圧力を示したものである。

Fig. 3 cut-away view of typical air reducing valve

実験にさいしては、連続溶接作業前の 1 次圧力を 5 気圧に保つために 1 次側に空気放出弁を取付けてある。

Fig. 3 は減圧弁の構造を示したものであるが、溶接作業中の減圧弁の開きがわかるように一部を改造し、バルブ・ロッドに $1.6 \text{ mm}\phi$ のタングステン棒を挿入し、スプリング調整用のボルトの中心に穴をあけて外部に取出し、ロッドの動きが測定できるようになっている。この Fig. 3 ではダイヤル・ゲージで測定するようになっているが、オシログラフで記録するときはダイヤル・ゲージのかわりに差動トランスを取付けるようにしてある。この差動トランスの搬送波は $50 \sim$ である。この減圧弁の構造からもわかるように、この測定ではバルブ・ロッドの動きを測定しているだけで、実際のバルブのオリフィスの開きを測っていることにはなっていない。

それはバルブ受けはゴム製であり、この撓みしろがかなりあるので、バルブ・ロッドが動いていても、バルブのオリフィスの真の開きは、バルブ・ロッドの動きとは同じにならないので、この動きは単なる目安にしかならないが、溶接作業をしているとき、減圧弁のバルブがどのような動作をしているか理解するには役立つ。

Fig. 4 はこの実験に使用した装置を示したものであるが、実験の目的は溶接作業にともない加圧力の低下を調べることになり、実際のスポット溶接作業を行なう必要はないので、操作そのものは溶接作業に準じて行なっているが、溶接電流は流していない。

Fig. 4 experimental apparatus

2.2 圧力降下の測定

Fig. 5 は空気を流出させたときの空気の流量と圧力降下を測定する概略図であるが、圧力降下は水銀柱の高さで測定し、流量は満水にした容器に流出した空気を捕集する方法によった。

Fig. 5 measuring method of air flow

3. 実験結果

3.1 打点速度と1次圧の低下

レーザーバと減圧弁との配置関係は Fig. 2 (a) のように、レーザーバを減圧弁の溶接機側におき、2次圧を1, 2, 3気圧と変え、打点(溶接)速度を変え、連続打点を行なって定常状態になったときの1次圧および2次圧は Table 1 に示すようになる。低下しているのがわかる。

Table 1 Relation between welding speed and pressure change

Reduced Pressure	Welding Speed	P ₁	P ₂
kg/cm ²	Spots/Sec	kg/cm ²	kg/cm ²
3	2	4.5	2.6
	5	4.0	2.5
	7	3.8	2.4
2	2	4.8	1.7
	5	4.5	1.6
	7	4.4	1.6
1	2	4.8	0.9
	5	4.7	0.8
	7	4.6	0.7

Fig. 2 (b) のようにレーザーバを減圧弁よりコンプレッサ側の配管関係になるようにしたときは、変動が激しくて圧力計で読み取ることが不可能である。溶接速度の増加とともに、空気源としてのコンプレッサの容量、溶接機までの配管の長さ、太さなどのため1次圧もかなり低下している。

3.2 レザーバの位置と2次圧力との関係

溶接速度7点/秒で2次圧とレーザーバの配管関係による加圧力の変動を調べてみると Fig. 6 および Fig. 7 に示すようになる。図中 (a) はすべて配管関係は Fig. 2 において (a) のものであり、(b) はすべて同じく Fig. 2 において (b) に相当するものである。これらの図中のオシログラムの上段は、ロード・セルにかかる圧力、すなわち2次圧を示したもので、中央はバルブのオリフィスの開きを、下段は電磁弁のコイルにかかる電圧を示したものである。

Fig. 2 (a) に相当する配管関係のときは、2次圧力のいかにかわからず、溶接回数の増加とともに大きく低下する。1気圧の場合で8~10点、3気圧のときで4~5点の溶接ですでに定常状態になっている。このときのバルブの開きを見ると、定常状態になるまではユックリ開き、その後はバルブは開いたままで、その量はほぼ一定である。

しかも 溶接終了と同時にバルブは閉じず、規定の圧

Fig. 6 change of electrode force owing to different air systems on continuous spot welding (welding speed 7 spots/sec, 1 atm)

Fig. 7 change of electrode force owing to different air system on continuous spot welding (welding speed 7 spots/sec, pressure 3 atm)

力を回復するまでしばらく開いた状態を保っている。

これに対し Fig. 2 (b) のような配管関係のときは、溶接回数の増加によっても2次圧力は低下していない。

この Fig. 6~7 (b) ではよく判らないかも知れないが、バルブは溶接するたびに、シリンダを上下させるための電磁弁の動作に応じて1回ずつ忠実に開いている。

2次圧力を3気圧にしておき、溶接速度を2点/秒としたときのオッシログラムは Fig. 8 (a), (b) に示すようになり、Fig. 6~7 の7点/秒の場合と傾向はまったく同じである。Fig. 9 は2次圧3気圧で (a) の配管関係

Fig. 8 change of electrode force owing to different air system on continious spot welding (welding 2 speed spots/sec, pressure 3 atm)

Fig. 9 change of electrode force on continious spot welding (piping system in Fig 2 (a), welding speed 0.5 spots/sec)

でユックリ溶接し、2秒に1回で速度で溶接する場合であるが、このオッシログラムの開きを見ると、溶接(加圧)後 少しタイム・ラグがあって開き始める。しばらくたち、消費した空気を充滿さすとバルブは閉じるが、バルブが閉じた後、ふたたび溶接するなら2次圧力の低下はないが、消費した空気を補充しないうちに連続溶接すると、2次圧力はある値まで低下してしまうことになる。

3.4 1点づつユックリ溶接した場合

このような2次圧力の低下は連続打点しなければおこらないわけではなく、初回ですでに起こっているのである。これはシリンダ容積 (v) に対してレザーバの容積 (V) が大きいときにはわかりにくいだけである。Fig. 10 (a), (b) は配管関係が Fig. 2 (a), (b) に相当するものの2次圧力、バルブの開きの変化、電磁弁のコイルにかかる電圧を示したものである。

Fig. 10 change of electrode force on one spot welding

(b) の配管のときはコイルに電圧がかかってから、およそ 1∞ で減圧弁が開き始め、それから $1/2\infty$ もすればシリンダの圧力が高くなり始めているが、(a) の配管関係のときは、コイルに電圧がかかっても減圧弁のバルブはほとんど開いていない。これはシリンダへはレザーバに蓄えられている空気が送られ、消費しただけの空気は減圧弁を通しては補給されなかったことを意味している。

このため、たとえば、初めの圧力を3気圧とすると、溶接後のシリンダの圧力は

$$\left(\frac{V}{V+v}\right) \times 3 \text{ (atm)}$$

となり圧力は低下することになる。

しかし、減圧弁から空気は全然補給されないわけではなく、ユックリと補給され、かなりの時間たとえば 1 分～2 分くらい経過すればレザーバはもとの圧力に戻る。しかし実際の溶接作業ではそんなに長時間加圧していることはないで、1 回づつユックリ溶接するときでも、わずかではあるが上記の理由で低下している。

4. 実験結果の考察

以上の実験結果により、レザーバの配管関係によって、加圧力の低下する原因は次のように考えられる。

たとえば、1 秒 1 点の溶接速度で連続的に溶接している場合を考えると、Fig. 2 (b) のような配管関係のときはシリンダでの空気消費量に応じてレザーバの空気量が減少するので、定常状態では消費しただけの空気量を空気源から補給しなければならない。

このとき ピストン・シリンダへの空気の流れの時間的変化は Fig. 11 (b) に示すように、電極下降時、電極上昇時ともに衝撃的波形になる。しかしながら Fig. 2 (a) のような配管関係のときは、シリンダへの空気の流れはこのような衝撃的な波形にはならず、レザーバのクッションのために Fig. 11 (a) のように平均化される。

Fig. 11 Schematic illustration of air flow to cylinder on different air system

しかるに減圧弁の流量特性は Fig. 12 に示すようなものであって、この実験に使用したシリンダの容積は 1.4 l であり、シリンダのピストン・プレートはほぼ中央にあり、そのストロークは短いものとする、1 秒 1 点の

Fig. 12 flow characteristic of air reducing valve

溶接速度では 3 気圧として $1.4 \text{ l} \times 1 \times 60 \times 3 = 252 \text{ l/min}$ となる。

これは Fig. 12 の C_1 になる。1 秒間 7 点の溶接とすると、その 7 倍で空気消費量は 1764 l となり、その動作点は C_7 である。連続的に溶接すると、たとえば初めは 2 次圧力は 3 気圧であり、その動作点は C_0 であっても、溶接回数の増加とともに空気を消費してゆくの低下してゆき、ついにはある定常状態の位置に落着く。

レザーバの圧力が動作点にあるとき、シリンダの圧力はこのレザーバの圧力以上になることはないで、初めに設定した圧力よりも低いため、加圧力も低下するし、電極を加速する圧力も低く、溶接速度も遅くなる。

これに対し、レザーバの位置が Fig. 2 (a) に相当するときは、シリンダの空気の消費によって、瞬間的に 2 次圧力が低下し、このため減圧弁のバルブが開き、すぐに空気を補給することになるが、この場合 可動部の慣性による時間的おくれは問題にならない。

シリンダにおける空気の消費にさいし、クッションとなるべきものがないので、減圧弁のバルブは 1 回ごとに瞬間的に大きく開き、2 次圧力は毎回 C_0 まで戻る。

レザーバがある場合の動作点 C_1 とか C_7 より C_0 点の方が圧力が高いので、当然ながら加圧力も高く、電極の加速も速いので溶接速度も速くなる。

1 例として 2 次圧力が 3 気圧の場合について記述したが、Fig. 12 の減圧弁の特性よりわかるように、他の 2 次圧においても同様のことがいえる。

これは特に上述のようにレザーバの配置によっておこるものであり、Fig. 2 (b) のような配置のときは、かえてレザーバがない方がはるかによいことは明らかである。

以上のことから、定常状態における作業点数が溶接における加圧力 ひいては溶接速度に大きな影響を与えることがわかる。

Fig. 13 Schematic illustration of flow characteristic

この原因は減圧弁の特性にあり、減圧弁の特性を Fig. 5 のような方法で測定してみると、圧力—流量特性は Fig. 13 (1) のように微小流量区間 AB において大きな圧力降下がある。もしも減圧弁の特性が Fig. 13 (2) のように水平であるならば、たとえ B とか B' のような所に動作点があっても圧力がわずかでも低下しようものなら、無限大の流量ですばやく補給し、圧力は低下することなくレザーバの配管関係に無関係になる。

しかるに現実の市販の減圧弁は、この微小区間においてかなりの圧力降下を生じている。減圧弁のなかには流量が増加した BC 区間において、BC' のように圧力の増加するもの、BC'' のように低下するもの、などのように特性の異なるものがある。特性としては BC' のように上昇特性の方が、圧力降下を回復する時間が短かくて

すむので良いのは当然であるが、BC 区間と AB 区間を比較すると AB 区間は流量が少ないので、BC 区間に比べて圧力回復に断然時間が長くなり、溶接作業を対象とした加圧力を考える場合、CB 区間の特性はあまり問題にならず、AB 区間の特性がもっとも重要な問題となる。

5. 結 論

スポット溶接において、生産性を向上させるため、溶接速度を上げて連続溶接作業を行なうと、溶接回数増加とともに加圧力が減少する。加圧力の低下のため、ひいては溶溶速度が低下するし、また散りを発生したり、散りを発生しないように初めから2次圧力を上げておくと、溶接の初回において加圧力が高すぎるために引張強さが低下する。

この原因は減圧弁の特性と密接な関係があり、減圧弁の微小流量の所で大きな圧力降下があるため、この圧力降下がなければレザーバの配管関係は問題にならないが、現実のものはすべて圧力降下があるので、じゅうらいのようにレザーバをシリンダと減圧弁の間におくことは、まったく有害無益であり、かえってレザーバがない方がはるかによく、置くとすれば空気源と減圧弁との間に置く方がよいことがわかった。

謝 辞

この実験研究を行なうにあたり、終始 有益なご指導、ご助言をえた大阪大学工学部 安藤教授に誌上をかりて深く感謝いたします。

1968年 I. I. W. 年次大会 日本代表团

ワルシャワで開催される1968年 I. I. W. 年次大会に出席する日本代表团は I. I. W. の役員として出席される仲 I. I. W. 副会長、木原 I. I. W. 第X 委員長をはじめ、団長 小林卓郎 (本会会長)、副団長 金沢武 (東大教授) および稲垣道夫 (金材研溶接部長)、幹事 成田 罔郎 (日本鋼管技術部次長以下) 来年の京都大会に備えて学術会議事務局次長など事務関係者も含まれ、学界産業界の専門家を加えて総勢40名の大代表团となった。

代表团は7月13日~20日の会期中それぞれの専門分野にわかれて委員会などに出席する。活躍を期待したい。