加圧下の加熱現象と抵抗熔接

発熱作用について

林 千 博** 橋 本 達 哉**

Characteristics of Resistance Welding

On heat generation

By C. Hayashi**, T. Hashimoto**

Abstract

In this report, the author has investigated the spot welding of light alloy and points out the difference of heating under high load from free conditions. The results obtained are as follows.

- 1) Under high load, current path increases as temperature rises, and current density decreases during welding.
- 2) Current path is affected with mechanical pressure and temperature. So it is possible to control heat generation by pressure or current wave.
- 3) Heat generation is controlled by following factors, electrode Material and its shape, too.

1 緒 言

本報告は熔接電流値ならびに電流波形、通電時間、加圧力、電極、表面処理などの熔接諸条件中特に加圧力、電流波形、電極形状および電極材質の4要素を例にとり、点熔接実験によってこれら要素の発熱におよぼす作用について説き、抵抗熔接現象の特異性について述べたものである。

抵抗熔接現象の取折いの非常に困難な理由の一つに次の点あげられる。

発熱効果は電流密度によって決せられる ($i=I/S$, I : 電流値, S : 断面積)。しかし S は加圧力と上昇温度に左右される。また一定加圧の下でも温度上昇にともなう材質の軟化は S の増加を促す。したがって電流密度は温度上昇につれて刻々減少する。また断面積の増加は熱の逃逸効果を増すことともなる。かかる点に加圧の下に加熱を行う抵抗熔接現象の特異性がある。

2 抵抗熔接の特異性

既述のごとく抵抗熔接現象の特異性は、加圧力、温度上昇により熔接部断面積が変化していくところにある。今比抵抗 ρ , 断面積 S なる物体に電流値 I を通じた時の加熱現象は次式で示される。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \kappa P^2 \theta + 0.24 \frac{I^2 \rho}{cm S^2} \begin{cases} \theta: \text{温度}, t: \text{時間} \\ c: \text{比熱}, m: \text{密度} \\ \kappa: \text{温度拡散率} \end{cases}$$

しかし本式の S は上記のごとく一定とすることはできな

いのであって、加圧力を p とすれば近似的に θ と p の関数となる。

$$S = F(\theta, p)$$

$$\text{または } S = S_0 \{1 + f(\theta, p)\}$$

(S_0 : 電極形状, 表面状態で定まる)

従って電極形状材質ならびに電流値を一定とした場合においても、 S を制御することによって発熱効果を支配することが可能なわけである。また S_0 が一定であっても、加圧力ならびに電流波形によって発熱効果を左右することもできる。(接触抵抗の取扱については、便宜上接触抵抗の大小は S の小大と解し、 S の中に含まれるものとす。)

しかし点熔接部のごとく温度分布が不均一であり、電極形状が球面、截頭円錐台のごとき複雑な形状をなす場合には p , θ と S の関係を定量的に決定することは容易なことではない。したがって以下は二三の実験を行って S による温度上昇制御の可能性を指摘し、併せて抵抗熔接の特異性を論ずることとする。

なお本実験においては電流は単相交流波形、被熔接材は超デュラルミン SDH 板厚 1mm, 表面処理はワイヤブラシ研磨を採用した。

(i) 加圧力による方法

電流、通電時間、表面処理、電極形状などの諸条件を一定とし加圧力のみを変化せしめた場合、熔融量は加圧力の増加と共に減じてくる。また変圧加圧方式については既に報告* した通りであるが、初期圧力の高低にかかわらず通

* 原稿受付昭和30年3月11日

** 正員 京都大学工学部 Member, Kyoto University

* 浮田, 橋本: 点熔接における加圧に関する研究(第2報) 熔学会 昭29年関西支部秋季講演会

電中に適切な変圧を行うことにより、温度上昇を制御できるが、これは熔接部の面積増加を抑制または促進せしめて温度上昇を制御するものである。一定加圧方式では熔接不能のごとき高圧の場合でも、通電中に減圧することにより熔接量を増すことができる。また過熔融を起すごとき低圧の場合でも、通電中の増圧によりこれを防ぐことも可能である。次に電流値ならびに波形、電極形状などを一定とし加圧力を変化せしめた実験例を Photo. 1 (A), (B), (C), (D) に示す。(A) は一定加圧方式、(B) は減圧方式、(C) は増圧方式、(D) は減圧後再増圧した場合であり、それぞれ電流 I と圧力 P を示すオシログラムとその後得られた熔接部の断面を示したものである。電流波形は便宜上写真のごとき“ビルドアップ”波形を採用した。

まず(A)には一定加圧方式で圧力を 200, 300, 400, 500 kg とした場合の熔接部が写真上より順次示されており、加圧の増加によって熔融部は明らかに小さくなっている。

(B)には通電初期は高圧であっても減圧すれば熔接可能となることおよび二種の減圧量による効果の違いを示した。(C)は増圧によって温度上昇を抑制しうることを示したものである。

なおここで変圧方式の材質に対する影響力について一言したい。

低圧一定方式または低圧凝固の場合には熔融部は多孔性となり、亀裂の甚しいことは(A), (B)からも明らかである。しかし(C)のごとき高圧凝固の際にはこれら欠陥は認められない。従って変圧方式は温度上昇のみならず、材質的にも影響力をもつ。(D)は減圧によって熔融量を増すと共に、再増圧によって材質の低下を阻止した例である。なお熔接条件は既述の外

主電流値：24.0 KA

電極；材質：銅 形状：70mm 半径の球—平面

(ii) 電流波形による方法

(A) Constant pressure

(C) Increasing pressure

(B) Decreasing pressure

(D)

Photo. 1 Oscillograms of welding current and electrode pressure. Macrostructures under that conditions

面積の変化はひとり圧力のみならず温度にも左右されるのであるから、電流波形によって温度上昇を制御することが可能となる。前駆通電法もかかる意味で重要な作用をもつ。周知のとおりこの方法は主電流に先立って予め電流を通ずる方法であって、予熱を与える通電法と解釈できる。すなわち予熱により軟化せしめて、加圧力の作用を増し、接触面積を増大せしめる方法である。従って (i) は加圧力によって直接的に面積を増加せしめるに反し、(ii) は温度上昇により同目的を達するのである。故に両方式は同じ効果を持つことになる。しかも前駆通電は熔接部の温度上昇以外に熱伝導により周辺部を軟化せしめ電極の圧入を容易ならしめるのである。次に一実験例を示す。本実験で採用した電流波形の前駆6サイクルの場合を示したのが photo. 2 であって、主電流通電は6サイクル一定とし、前駆通電時間と熔接部の直径、強度の関係を示したものが Fig. 1 である。予熱時間が長くなるにつれて熔融量、強度は共に減少し4サイクル程度となるとその傾向は顕著となる。なお

Photo. 2 Oscillogram of current

Fig. 1 Effect of Pre-Heating Cycles.

電流値その他は次の通り

主電流値；24.0 KA

加圧力；250kg

電極；材質：銅、形状：70mm 半径の球—平面

以上のごとく予熱通電法は長時間通

電にもかかわらずかえって温度上昇を抑制するものであるが、かかる点に加圧下の現象としての特異性がある。抵抗熔接法において、徐熱法を避け、大電流を通ずる急熱性をとらざるをえない理由もまたここに存するわけである。

(iii) 電極形状による方法

電極形状は通電前の接触面積を決定するのみならず温度上昇時の接触面積の変化をも規定する。

次に一例として Fig. 2 のごとく上部截頭円錐台電極の α のみ変化せしめてその効果を検討する。上部電極の尖端面積は一定で 6mm ϕ の円とし、下部電極は平面とした。熔接条件は

電極材質；銅

加圧力；200, 300, 400, 500kg の4種

電流値；30.0, 26.5, 22.6KA の3種

通電時間；3サイクル

Fig. 2 Electrode tip

Photo. 3 (A)は $\alpha=90^\circ$ 、(B)は 45° の場合の熔接部断面である。(A)、(B)において、(a)、(b)、(c)は電流値はそれぞれ 30.0, 26.5, 22.6 KA である。各写真とも加圧力は4試料中上より順次 200, 300, 400, 500 kg となっている。通電前の熔接部の変形量は極微量である。従って加圧力一定のもとにおいては電極の尖端面積が同一であれば接触面積は α に無関係にほぼ同程度と見做しうる。しかし α の大きさにより熔融部の大きさ、状態に変化をきたすのであ

Photo. 3 Effect of electrode tip shape

る。以上の実験結果を要約するとつぎの通りである。

電流値の大きい場合には α の効果は著しいが小さい場合は温度上昇が顕著でないため α の影響はあまり認められない。

また α の大なる時には接触面積の増加率は少く、温度は上昇しやすい。大電流の場合には勢い急熱現象となるので徐熱の場合とは異なり周辺部は熱影響が少いから接触面積の増加は阻まれ発熱作用は顕著となる。

圧力の発熱におよぼす作用は α および電流値の大きさによって異なる。すなわち電力値の過大な場合または電極形状の尖鋭な場合には圧力の効果は少なく、しからざる場合には顕著である。

以上 α の大きさが適切であれば熔接部の軟化に伴い接触面積が増加する結果、加熱現象が円滑に進行する。電流値、電流波形、加圧力などと同様に α によってもまた温度上昇を制御しうることが認められた。

(iv) 電極材質による方法

次に電極材質の物理的並びに機械的性質の異なる場合の例として、調質ベリリウム銅を使用した場合と銅電極を使用した場合とのちがいを指摘しよう。なお本ベリリウム銅合金の諸性質はおおよそ次表に示すとおりである。

添 加	処 理 法	比抵抗 $\mu\Omega\text{cm}$	抗張力 kg/mm^2	融 点 $^{\circ}\text{C}$
2.5%Be	800 $^{\circ}\text{C}$ から急冷 350 $^{\circ}\text{C}$ で3時間焼戻	約10	135.0	950

以上2種の電極で実験した場合の熔接部断面を photo. 4 (A) (B) に示す。
熔接条件は

被熔接材：写真(A)は板厚1mm 2枚

(B)は板厚2mm 1枚

電極：形状：50mm 半径の球面一平面

材質：写真(a)は銅

(b)は球面側のみ
本合金

電流値；22.6KA

通電時間；2 サイクル

加圧力；各写真3 試料中上より順次
200, 300, 400kg 一定

両電極材質の影響を比較して根本的に異なる点は、熔融部の生成位置が異なることである。ベリリウム銅の場合は板間接触部はほとんど熔融せず熔接不能となっている。本合金は表からもわかる通り比抵抗はデュラルミンの2倍、強度は3倍程度である。この両性質によって電極試片間の接触部では温

度上昇が著しいであろうことは想像に難くない。しかしこのために試片間接触部の温度上昇はかえって抑制される結果となるが、この点に重大な意味がある。従って比抵抗の高いまたは硬い電極を使用する場合には、電極と被熔接材とが熔着するという問題の外に熔接不能という現象が起るのである。本合金の場合は上記の理由により電極試片間の接触部の温度は極度に上昇し銅電極の場合よりもかえって接触面積が大きくなる。またこの場合の接触面積の増加は電極試片間の接触部の温度上昇のみによって決定される傾向が大きく、板中の温度上昇に依存することが比較的小さくなるという点に著しい特性がある。かかる場合には通電初期において接触面が急激に増大するので、電流密度が低下して板中は熔融しなくなったものと考えられる。すなわち板中の電流密度の減少率は銅の場合より遙かに速やかとなる。このような現象は1枚板の場合でも同様である。ななを熔接点表面の圧痕の直径とナグットの直径との測定結果によればベリリウム銅の場合には大きな圧痕を生ずるがかえって熔接部は小さくなっていた。

以上は電極材質の発熱作用によって間接的に試料の温度が上昇するにもかかわらず、熔接部の温度上昇はかえって抑制されるという特異な現象を示したものであって、熔接現象を温度によって制御するという点は電流波形によって制御する場合と全く同様なわけである。

(a)

(A)

Two sheets

(a): Cu electrode

(b): Be-Cu electrode

(b)

(B)

One sheet

(a): Cu electrode

(b): Be-Cu electrode

Photo. 4 Effect of electrode material

3 結 言

以上は超デュラルミンの点熔接に関する数種の実験例によって発熱現象を主体とした抵抗熔接現象の特異性を示したものであるが、要約すればつぎのごとくなる。

i) 抵抗熔接は加圧下の現象であることは特異性の存すること。したがってまた熔融に至るまでの軟化時の接触面積の増加を制御すれば、温度上昇の支配も可能となる。

ii) 接触面積の増加は加圧力や温度、時間に影響される

から、これらの制御により発熱効果を支配することができる。

iii) 加圧方式、電流波形、電極形状、電極材質に関する実験により上記の特異性を立証した。

なお本研究の一部は文部省科学研究費によって行われたものである。

終りに本研究に対し種々御援助を与えられた浮田博士に深く感謝の意を表する次第である。

火花突合熔接せる鋼棒の後熱について(第3報)*

—低クロム鋼の場合—

関口春次郎** 稲垣道夫**

On Postheating of Flash-Butt-Welded Steel Bar (Report 3)*:

On the Case of Low Chromium Steel

By H. Sekiguchi**, M. Inagaki**

Abstract

When low chromium steel bars (C 0.43%, Cr 0.99%) are flash-butt-welded, the weld metal and heat affected zone show coarse structure containing martensite and troostite. The degree of decarburization of weld metal is smaller than that of low manganese steel bar.

If these parts are postheated at about 800°C with an electric furnace, the very hard microstructure in these parts, martensite, disappears and fine sorbite or granular cementite appear. Accordingly the improvement of mechanical properties are observed. In the case of postheating with a flash-butt-welder, the postheating at about 800°C is also suitable.

I 緒 言

第1及び第2報においては、低炭素鋼棒及び低マンガン鋼棒について、火花突合熔接したものの熔着部および熱影響部の組織を改善するために、適当な炉後熱法または熔接機後熱法を選んだ。本報においては、上記の低炭素鋼棒および低マンガン鋼棒よりも更に組織変化の著しい低クロム鋼棒について、実験した結果を報告する。

II 実験法並びに結果

供試材料は Table 1 に示す化学成分を有する直径 18mm

の丸棒である。これを長さ約90mmに切断して、電気マッフル炉により 900°C に 1hr 焼鈍し、炉中冷却したものをを用いた。熔接機は前報と同じで、その熔接条件は Table 2 に示す通りである。猶熔接の際約900°Cに予熱を行った。この際の二次側加熱電流は約10000Aである。フラッシュ

Table 1 Chemical Composition (%) of Low Cr Steel Bar used

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
0.43	0.28	0.62	0.025	0.026	0.23	0.12	0.99

Table 2 Condition of Flash-Butt-Welding

Initial die opening mm	Flash-off mm	Upset mm	Rate of flash-off mm/sec	Air pressure atm	Upsetting current		Voltage	
					Primary A	Secondary A	Primary V	Secondary V
28	8	4	1.60	6.5	450	17700	210	5.33

* (昭和30年度熔接学会春季学術講演会において発表)

** 正員、名古屋大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Nagoya University