バッテリーを電源とするスポット溶接について (第1報)*

—連続放電における溶接回数が溶接部強さに及ぼす影響—

浜崎 正信** 松岡 敏***

Spot Welding used in the Storage Battery as a Energy Source (The 1st Report)*

—Change of tensile shear strength with increasing of member
of spots in case of continuous discharge—

by Masanobu Hamasaki** and Satoshi Matuoka***

Spot welding is the most commonly used, because it is the simplest, the lowest cost and the highest welding speed. On the other hand, the spot welding has the limitation that is demanded relatively heavy current for an extremely, usually, cycle unit.

Therefore, the substation transformer or power supply becomes larger with increasing of welding transformer. In the point of this disadvantage it could not be applied to minor enterprises and field shops.

In order to dissolve these problems, the battery type spot (electrochemical stored energy spot) welding system has been studied. In this system, the storage battery is connected to the primary of welding transformer and comprises the underlying principle that the electrical energy is stored at a low rate during a night, then discharge it at a high rate as required for welding during a day.

This investigation evaluated the effect of the increasing of number of spots on the tensile shear strength in 1.0~3.2 mm thick mild steel.

1. は し が き

スポット溶接は電力以外にほとんど消耗品がいらない、溶接速度が速い、溶接部品質は作業員の技量に左右されないなどの特徴があるため、コスト低減に寄与する最もすぐれた溶接方法として広く活用されている。スポット溶接機の使用率はせいぜい10%くらいのものであるため連続等価容量としては大きなものではないが、きわめて短時間とはいうものの大電流を流すということは大容量の溶接機を必要とし、これにともなって配電室(柱上)トランスも大容量のものを設置しなければならない。この配電室トランスの容量が小なる場合には電圧降下が起ることはいうまでもないが、多少トランス容量が大きくとも、同一トランスに多数の溶接機が接続されていると、同時通電した場合にもいちぢるしい電圧降下が起る。この現象をフリッカと称しているが、フリッカが起ると溶接部の強さは低下し、時には全く溶接されてないことさえ起るのである。この問題の解決方法として、

比較的長時間かけてバッテリーにエネルギーを蓄えておき、このエネルギーを使用してスポット溶接する方法の開発を試みた。

バッテリーにエネルギーを蓄える場合、スポット溶接の使用率はきわめて低いので休止時間中に充電する方法と、夜間電力を利用して充電する方法がある。前者の場合は初めだけ夜間電力を利用して充電しておき、昼間のスポット溶接作業で消耗しただけのエネルギーを休止時間中に補充するものであり、この場合には溶接機の連続等価容量に相当する配電室トランスがあればよい。後者の場合はさらに長時間かけて充電するため配電室トランスは小さくともよいことになるうえに、近い将来電力の不足は眼に見えているが、夜間電力に着目してみると逆にかなりの余裕を生じ、この有効利用という点で大いに有意義であると思われる。今回は後者の場合を対象とし研究したもので一回充電したのみで全く補充しない場合、溶接部の強さにおよぼす溶接回数の影響について報告する。

2. 実験装置および実験材料

2.1 スポット溶接機

Fig. 1 に実験に使用したスポット溶接機を示す。溶接機は本体、トランス、制御装置、バッテリーおよび充電

* 原稿受付 昭和49年4月3日(49年度春季全国大会に発表)

** 正 員 四国工業技術試験所 Member, Government Industrial Research Institute, Sikoku

*** 四国工業技術試験所 Government Industrial Research Institute, Sikoku

Fig. 1 Spot welder used in this experiment

装置により構成されており、本体は最大加圧力 1000 kg の交流スポット溶接機本体をそのまま使用しており、トランスおよび制御装置は新しく設計製作し、これにバッテリーおよび充電装置を追加している。

2.2 バッテリー式スポット溶接機の基本回路

バッテリーを電源としてスポット溶接する場合、バッテリーを溶接機の2次側に直接入れる方法はすでに知られているが、カーボンデスク接触器で電流を開閉するものの、あまりにも大電流であるため接触器はいたみやすく実用されていない。これを解決するため以下述べる方法を試みた。

Fig. 2 はバッテリーを電源とするスポット溶接機の基本電気回路を示したものである。トランスは1次巻線に中間ターミナルのある特殊なものを使用している。回路について簡単に説明すると、まず、初めにサイリスタ SCR_1 のゲートにシグナルを与えると、バッテリーよりトランスの巻線 n_1^1 および SCR_1 を経て I_1^1 なる電流が流れる。これにともなってトランスの巻線 n_2 に溶接電流 I_2^1 が流れるのである。この状態で電流 I_1^1 を流しつづけると電流 I_1^1 は直流であるためトランスのコアは飽和し、磁束の変化はなくなり短絡と同じ状態になり、電流 I_1^1 は急激に大となり溶接電流 I_2^1 は低下する。このため加熱時間はトランスのコアの断面積および1次電流 I_1^1 , I_2^1 に左右されある値以上に長くはとれない。一

Fig. 2 Schematic circuit diagram of battery type spot welder

方、電流 I_1^1 が流れている時、コンデンサ C_1 は抵抗 R_1 を通じ、図に示す極性にチャージされる。そこで、ある時間経過すると SCR_3 にシグナルを与え、このコンデンサ C_1 のチャージを放電させ転流電流 I_2^1 を流し、 SCR_1 に流れる電流 I_1^1 を停止させる必要がある。つぎにサイリスタ SCR_2 のゲートにシグナルを与え、トランスの1次巻線 n_1^2 および SCR_2 を経てバッテリーより電流 I_2^2 を流し、トランスの2次巻線 n_2 に溶接電流 I_2^2 を得るのである。この場合 I_1^1 と I_2^2 とはトランスを流れる方向は逆になり、 I_1^1 により励磁されたトランスは I_2^2 により逆に励磁されることになる。これにともなって溶接電流 I_2^1 , I_2^2 も互に逆方向に流れる。

このようにしてバッテリーより流れる直流を交流に変え、溶接機の2次側にスポット溶接に必要な大電流を得るのであるが、サイリスタ SCR_3 にシグナルを与え、つぎに SCR_2 にシグナルを与えるまでの時間が冷却時間となり、加熱時間と冷却時間の選び方により周波数を変換することも可能になる。Fig. 3 は加熱時間および冷却時間を変えた場合の溶接電流波形の数例を示したものであるが、実際のスポット溶接実験では周波数を変換し、加熱時間 16 msec 冷却時間 16 msec の条件を選んでいる。

Fig. 3 Current wave form in battery type spot welding

2.3 バッテリー

実験に使用したバッテリーは、電気車用バッテリー 200 Ah のものおよび自動車用バッテリー 120 Ah のものである。前者のものは放電特性を調査するのに使用し、後者のものは1個 12 V のものを並列に2個、直列に8個接続し 96 V として使用している。Fig. 4 は溶接実験に使用したバッテリーの全景を示したものである。

Fig. 4 Battery used in this experiment

2. 4 材料

試験材は板厚 1.0 mm, 2.3 mm, 3.2 mm の軟鋼であり, 板厚 1.0 mm および 3.2 mm は磨き材を使用し, 板厚 2.3 mm のものは材料の入手難のため熱延材を酸洗して使用した。引張せん断試験片はいずれの板厚のものも 5 本製作している。

3. 実験結果および考察

3. 1 バッテリーの放電特性

バッテリーを連続的に放電させた場合の電流変化は, ある時間まではゆるやかに低下してゆくが, それ以後は急激に低下し, 電流を大にするとゆるやかに低下する時間は短くなることはよく知られている。

バッテリーを電源とするスポット溶接では, バッテリーをふつうに放電させるよりもはるかに大電流を流す反面, その時間はきわめて短かく, しかも休止時間は非常に長いという特徴ある使い方をする。このため, ふつうの使用条件とはかなり異なる特性になることが予想されるのである。

この特性を調べるため 200 Ah のバッテリーを使用し, 初期放電電流が 300 A および 650 A になるように調整し, 放電時間は 1 秒と固定しておき, 放電間隔を 15 秒, 30 秒, 60 秒と変え, 放電回数による電流の変化を示すと Fig. 5 のようになる。間けつ放電の場合も連続放電の場合と同様ある放電回数 (放電回数は放電時間を意味する。) まではゆるやかに低下しているが, それ以降は急激に低下している。同一エネルギーを放出するにしても休止時間が長いほど電流の低下する傾向は少ない。このことはスポット溶接のように使用率の低い場合は連続放電の場合よりも有効にエネルギーの使用できることを意味している。

放電電流を変えた場合は, 当然のことながらゆるやかに低下する期間は変化し, 300 A と 650 A ではその期

Fig. 5 Effect of discharge period on discharge current (Discharge time 1 sec, Initial discharge current 650 A, 350 A, Battery 200 AH)

間は 3 ~ 3.5 倍になる。例えば 650 A で放電させた場合, 放電間隔が 60 秒では 500 回目と 1000 回目で一度低下した電流が再び増加している。その後放電回数の増加とともに電流の低下の傾向は速くなり, ある期間を過ぎると従来の低下の傾向と同じになり落着いている。これは休止している間にバッテリーの性能が回復するためである。60 秒ごとに放電させると 500 回で 8 時間経過したことになり, 1 日実験し次の日に再び実験を継続すると, 夜間何ら充電しないのに性能は多少回復するのである。このような回復現象があるため同一放電回数の場合でも放電間隔が長くなるほど低下傾向は小さくなるのである。

放電させた場合の各電流パルスの波形は Fig. 6 (a)(b)(c) のようになる。(a) は放電開始時のものであり, 放電回数が増すほど (b)(c) のような波形になり, 初めは I_i だけの電流が流れるがすぐに低下し I_f となる。Fig. 5 に示す放電電流はこの I_f を示しており, 平均値で示すともう少し高い値を示すことになる。

Fig. 6 Wave forms of discharge current

3. 2 溶接回数が引張せん断強さにおよぼす影響

Fig. 7 は板厚 1.0 mm の軟鋼を A', B', C' の 3 種類の条件 (電流, 加圧力はそれぞれ次の如くである。[10000 A, 300 kg], [6500 A, 150 kg] [5500 A, 100 kg]) で, Fig. 8 は板厚 2.3 mm については 1 種類, 板厚 3.2 mm については A', B' 2 種類 (電流, 加圧力は [10000

Fig. 7 Effect of weld time on tensile shear strength (Plate thickness 1.0 mm)

Fig. 8 Effect of weld time on tensile shear strength (Plate thickness 3.2 mm)

A, 300 kg] [8000 A, 260 kg] の条件でパルス数 (通電時間であり, 30パルスで 1 sec となる。) を変え引張せん断強さとの関係を求めたものである。この場合, 電流と加圧力との関係は散り限界曲線を選んでいる。

この実験結果を参考とし, 板厚 1.0 mm の場合はパルス数を 4 および 10 にとり, A' に相当する電流, 加圧力条件で, バッテリーを充電させ溶接中は何ら補充することなく, 15秒間隔で通電し, 100~200点目ごとに引張せん断試験を行なってみると Fig. 9 に示すようになる。4パルスの場合は4500点目, 10パルスの場合は1500点目で引張せん断値が一時高くなっているのは, Fig. 5 で説明したように, 夜間の休止時間中にバッテリーの性能が回復したためである。この場合も強さの低下ははじめの中はゆるやかで, ある点数溶接すると急激に低下している。強さの低下を仮りに15%まで許容するならば, 4パルスの場合は3000点, 10パルスの場合は1500点溶接できることになる。パルス数を増せばいうまでもなく一回の溶接で消費するエネルギーが大となるため溶接可能な点数は低下する。

Fig. 10 は板厚 2.3 mm および 3.2 mm の軟鋼を使

Fig. 9 Relation between number of spots and tensile shear strength (Plate thickness 1.0 mm)

Fig. 10 Relation between number of spots and tensile shear strength (Plate thickness 2.3 mm, 3.2 mm)

用し, 両者とも電流 10000 A, 加圧力 300 kg の条件で, 板厚 2.3 mm についてはパルス数を 10 に, 3.2 mm についてはパルス数を 16 および 40 にとり, 放電間隔は 15 秒 および 30 秒で 1.0 mm の場合と同様電流を流し, 100 回目ごとに引張せん断試験片を採取した結果を示したものである。板厚 1.0 mm の場合と同じように強さの低下を 15% まで許容するなら, 2.3 mm の場合は 1200 回, 3.2 mm の場合はパルス数 16 で 300 回, パルス数 40 で 200 回近く溶接できることを示している。

Fig. 11 はパルス数が溶接部の強さに与える影響を調べるため, 加熱時間 24 msec, 冷却時間 16 msec の条件でパルス数を 10, 16, 20, 30, 40 に, 放電間隔を 15 秒にとり, 溶接機の 2 次を短絡しておき, 1 次側に流れるバッテリー電流の変化を調べたものである。横軸は放電時間 (パルス数) の総計で示している。これより明らかに同一エネルギーを消費するにしても 1 回のパルス数が長いほど電流の低下する傾向は大である。これは Fig. 5 において, 同一回数放電させる場合放電間隔の

Fig. 11 Effect of weld time on change of primary current

長い方がエネルギーの消費の少ないことを示したが、この場合と同様同一放電間隔では1回の放電パルス数が少ない方が有効にエネルギーの使えることを物語っている。これは放電間隔が同じではパルス数の少ない方がその時間内での消費エネルギーが少ないため、バッテリーの性能回復が早いのである。

バッテリーの放電特性は電解液の温度によってもかなり異なる。実験は比較的長期にわたったため液温を同一に保つことは困難であり、200 Ah のバッテリーを使用したときは液温は $18^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ の間変化し、120 Ah を使用しスポット溶接の実験したときは $12^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ の間変化した。この変化が実験結果にも多少は影響しているものと思われる。

既述のように板厚が変わっても電流、加圧のセッティングは変えていない。板厚 2.3 mm と 1.0 mm とはパルス数も放電間隔も同一条件に選んで実験しているものもある。電流のセッティングは同じ場合、板厚 2.3 mm の方が抵抗が高くなるため実際に流れる溶接電流は少し低いはずであるが、同一点数溶接したものを比較すると、2.3 mm の方が強さの低下する傾向は大である。これは Fig. 7 および Fig. 8 を見ればわかるように、板厚 1.0 mm の場合パルス数を10に選ぶと、引張せん断強さは一定値に近づいた条件の所であり、これはナゲットの大きさがほぼ飽和していることを示している。これに対し 2.3 mm の場合にはパルス数10というのは、まだ強さの増加しつつある条件であり、ナゲットの大きさは飽和していないことを示している。このことは溶接点数の増加にともなって溶接電流が変化した場合、1.0 mm ではナゲットはあまり変らないが、2.3 mm ではかなり変動するおそれのあることを物語っており、これが板厚が異なれば、条件は同一でも強さの低下する傾向の異なる原因

である。

4. 総 括

中間ターミナルを有するトランスの1次側にバッテリーより直流を流し、2次側で得られ交流の大電流によりスポット溶接を行う新しい溶接方法の開発を行ない、板厚 1.0~3.2 mm の場合、電流値はともかくも RWMA の A クラス近くの引張せん断強さを得ることに成功した。

バッテリーを電源として使用する場合の問題点は、溶接点数の増加とともに電流が低下し、これにともなって溶接部の強さの低下することであるが、自動車用バッテリー 120 Ah を並列に2個、直列に8個使用する場合には、強さの低下を15%まで許容するならば、板厚 1.0 mm で1500~3000点、板厚 3.2 mm で200~300点溶接可能なることが明らかになった。

企業における1日のスポット溶接の点数は、板厚、作業内容により異なるが、上記の値では十分ではない、これを改善には次の方法がある。

- (1) 適当点数溶接し、初期の溶接部の強さの15%近く低下した場合には、通電時間（パルス数）が長くなるよう条件を選定しなおす。
- (2) バッテリー容量を増加する。
- (3) バッテリーの種類を変える（据置高率放電用）を使用する。
- (4) さらに大電流、短時間通電の条件を選定する。
- (5) スポット溶接は使用率は低く、高いものでも10%である。このため、自動的に通電時間中はバッテリーの充電開路を開き、休止時間中は閉じ、つねに消耗しただけのエネルギーを補給するようにする。

などである。(1)については板厚が与えられると、何点溶接するとパルス数をいくらに増加するかを予め決めておけば、さらに溶接可能であるが、せいぜい20~30%余分に溶接できるに過ぎない。(2)(3)はいうまでもなく効果的であり、バッテリーの価格は問題とするほどではないが、床面積が大となることと重量が重くなり、移動性が悪くなる欠点がある。(3)についてはトランスを新しく製作中である。(4)は最も有効であり、配電室（柱上）トランスも小さくすむが、夜間電力の有効利用という点では効果は半減する。これらについてはさらに実験を進める予定であり、機会をみて報告したいと考えている。

参 考 文 献

- 1) "Resistance welding manual" RWMA 刊行