

タングステン電子源作製のためのスポット溶接機の自作

川久保 貴史* 松本 光亮**

Fabrication of the Spot Welder for Making Tungsten Emitters

Takashi KAWAKUBO, Kousuke MATSUMOTO

Abstract

The purpose of this study is report the fabrication of the spot welder. Spot welders are used for welding between metallic samples. We research the electron emitters. Then we need a spot welder for making tungsten electron emitters. A spot welder is expensive. Therefore we decided to make the machine for ourselves. For designing the spot welder, we use conventional electronic devices. The spot welder was able to weld tungsten samples as a result. Therefore we are going to try to research the electron emitters using the spot welder for making the samples.

Keywords : Spot Welder, Tungsten, Emitter

1. はじめに

電子顕微鏡などのビーム装置に使われる電子源は、主にタングステンなどの高融点金属で作られている。高融点金属が用いられるのは、電子源の動作温度や表面処理などに 2000 K 前後の高温加熱が必要となるためである。我々の研究室では、電子源の性能向上を目指し、実際に電子源を作製してその特性の測定と評価を行っている。

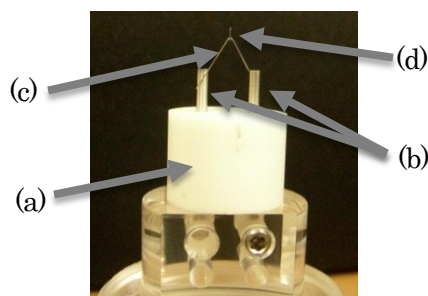


図1 電子源

電子源の作製のためには、材料となるタングステン線材(直径0.1~0.15mm)を加工する必要がある。図1に実際の電子源写真を示す。図中(a)に示す部分はステムと呼ばれるセラミック製の土台部分で、電極(b)が2本突き出している。タングステン線材(c)はV字に折り曲げられ、電極(b)へ溶接されている。さらに、非常に鋭い針状に加工されたタングステン線材(d)が(c)の頂点へ溶接されている。

タングステン線材の溶接には、スポット溶接機が用いられる。これは、溶接したい金属試料間に瞬間的に大電流を流し、その時に発生するジュール熱で溶接を行う機器である。電子源を作製するためにはスポット溶接機が必要不可欠であるが、市販されている物を購入すると数万円から数十万円程度かかる。研究室で必要なのは、電子源の作製に特化したスポット溶接機であれば良く、市販品ほどの汎用性(さまざまな金属、材料の厚みに対応など)は不要であると判断し、自作したので報告する。

2. 原理

図2にスポット溶接機の原理を示す。直流電源E, コンデンサC, 電源スイッチSW1, 放電用スイッチSW2, 溶接用電極a, bで構成される。溶接手順は次のようになる。

*香川高等専門学校詫間キャンパス
通信ネットワーク工学科

**神戸大学 理学部 物理学科

- 1) 初めに SW2 を開放した状態で SW1 を閉じる。するとコンデンサが充電され電荷が蓄えられる。電源電圧を $E[V]$ 、コンデンサの容量を $C[F]$ とするとコンデンサに蓄えることのできる電荷 $q[C]$ は式(1)であらわされる。

$$q = CE \dots(1)$$

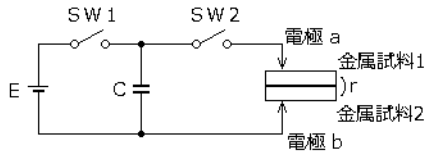


図2 スポット溶接機の原理

- 2) この状態で電極 a-b 間に、溶接したい金属試料 1 と金属試料 2 を挟み込む。
- 3) コンデンサが十分に充電された状態で SW2 を閉じると、電極 a-金属試料 1-金属試料 2-電極 b 間を通るように電流が流れる。この電流はコンデンサに蓄えられた電荷の移動(放電)であり、大きさを $i[A]$ とすると(2)式であらわすことができる。

$$i = \frac{dq}{dt} \dots(2)$$

- 4) 金属試料 1-金属試料 2 の間には接触抵抗 $r[\Omega]$ があるので、電流が流れると(3)式のようなジュール熱 $p[J]$ が発生する。

$$p = ri^2 \dots(3)$$

- 5) ジュール熱で金属試料 1 と金属試料 2 が部分的に加熱され、溶接される。

原理的には単純であるが、実際には考慮すべき点がいくつかある。

- 1)金属試料 1-金属試料 2 の間だけではなく、溶接用電極と金属試料の間にも接触抵抗がある。そのため、電極 a と電極 b は電気伝導率の良い(電気抵抗の小さな)金属を使う必要がある。
- 2)放電用スイッチ SW2 の接点にも接触抵抗がある。そのため、SW2 に普通のスイッチを用いると、回路を閉じたときに大電流が流れ、スイッチの接点が溶接され、以降使用ができなくなる。何らかの対策が必要である。
- 3)回路の導線にも抵抗がある。銅などで出来ているため抵抗値としてはごくわずかではあるが、コンデンサからの電荷 q の移動(放電電流 i) を制限してしまう。そうすると q を稼ぐために、より大きなコンデンサの容量 C や電源電圧 E が必要となり、装置がより大掛かりで危険なものになる。したがって、コンデンサ C と SW2、溶接用電極 a および b を結線する導線は太いものを使い抵抗を減らす必要がある。

以上のことを考慮しながら、実際に設計および製作を行った。

3. 設計と作製

図 3 に実際に作製したスポット溶接機の回路を示す。回路に使用した部品は、基本的に、本キャンパスに在庫のあった部品、および廃棄されていた機器の部品を使用した。以下に、設計思想について述べる。

- 1) 商用電源 AC 100V で使用可能とした。託問キャンパスの各研究室に配線されている交流 100V、60Hz の商用電源で使用できるようにトランスとダイオードを用いた整流回路を組み込んだ。トランスで商用電源 100V を 32V まで降圧し、ダイオードブリッジで全波整流して直流に変換している。また、回路には安全のためヒューズを加えている。トランスの突入電流でヒューズが切れることもあり、実験的に定格 5A のヒューズと決めた。

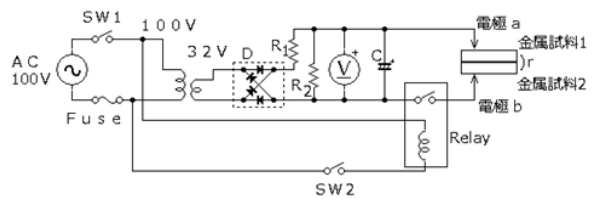


図3 自作したスポット溶接機回路

- 2) コンデンサ C の充電を抵抗 R_1 で制限するようにした。コンデンサは定常状態では直流電流を流さない。ところが、電荷の溜まっていないコンデンサに直流電圧を加えると、コンデンサの充電が完了するまでは直流電流を流すことになる。(電荷が蓄えられるということは電荷の移動であり、すなわち、前述の(2)式で示すように電流が流れることを意味する。) これは過渡現象と呼ばれている。コンデンサの充電開始時には非常に大きな電荷の移動が起こり、充電回路に大電流が流れることが予想される。充電電流によってトランスやダイオードが破損する可能性があるため、電流を制限するための抵抗を加えることにした。

コンデンサ C は全波整流後の脈流で充電される。(これは一種の平滑化回路と見ることもできる。) コンデンサの電荷充電時間の目安 $\tau_1[s]$ は、抵抗 R_1 とコンデンサ容量 C で(4)式のように求められる。

$$\tau_1 = R_1 C \dots(4)$$

ここで、 τ_1 は時定数と呼ばれ、コンデンサの最大充電電圧の約 63%まで充電されるのに要する時間である。スポット溶接機はコンデンサが十分に充電された後、その電荷を放電することで溶接が行われるので、 τ_1 は溶接までの待機時間の目安ということになる。電子源の作製時の溶接では、あまり連続して溶接(放電)させる必要はないので、 τ_1 を 10 秒程度とし、コンデンサがゆっくりと充電されるように設計を行った。

コンデンサ容量 C は、実際に回路を動作させ、タングステン線材を溶接しながら溶接に適した値を

探した。その結果、 $4700\mu\text{F}$ の電解コンデンサ 4 個と $10000\mu\text{F}$ の電解コンデンサ 1 個 (全て耐電圧 DC50V) を並列に接続した状態で溶接可能であった。したがって合成の容量 C は

$$C = 4700 \times 4 + 10000 = 28800 [\mu\text{F}] \cdots(5)$$

である。 τ_1 を 10 秒とするには、(5)の結果と(4)式から

$$R_1 = 10 / 28800 \times 10^6 \cong 347 [\Omega] \cdots(6)$$

が必要となる。 τ_1 はあくまで目安の値であり、厳密にこの値でなくても良いと判断し、市販されている抵抗の E6 系列の値から 330Ω の抵抗を選んだ。

また、 R_1 は充電時に比較的大きな電流および電圧が加わるので、抵抗の定格を考慮しなければならない。抵抗に加わる電圧と電流の最大値を考えると、最大電圧 v_{max} はダイオードブリッジで半波整流された電圧のピーク値、最大電流 i_{max} はコンデンサが全く充電されていない状態から充電が開始された瞬間の突入電流である。正確には、ダイオードブリッジによる電圧降下を考慮しなければならないが、ここでは電源電圧に対して微小であるとして無視した。その結果、(7)式と(8)式になる。

$$v_{\text{max}} = 32 \times \sqrt{2} \cong 45 [\text{V}] \cdots(7)$$

$$i_{\text{max}} = 45 / 330 \cong 0.14 [\text{A}] \cdots(8)$$

したがって、抵抗に必要な定格は、

$$W = v_{\text{max}} \times i_{\text{max}} = 6.3 [\text{W}] \cdots(9)$$

となる。今回は、定格電力 10W のセメント抵抗を選定して使用した。

さらに、実用のために、コンデンサの充電状況を示す直流電圧計 V をコンデンサに並列に接続している。電圧計の指示が(7)式の v_{max} 値 45V 付近になったとき、コンデンサがほぼ完全に充電されたことになる。

- 3) 溶接用電極とコンデンサ間を繋ぐ放電用スイッチには図 4 に示す水銀リレーを用いた。水銀は毒性の強い金属として近年使用が制限されるようになっている。水銀リレーもそれに伴って生産中止になっている製品が多い。今回は、古い廃棄機器の部品を再利用した。



図 4 水銀リレー

水銀リレーはスイッチの接点が水銀で濡れており、接点がジュール熱で溶けて溶接されることがない。

水銀リレーに替わる放電スイッチの案としては、パワー MOSFET を並列に接続し、大きな放電電流を分散させてスイッチングする方法などが考えられる。

- 4) 溶接用電極 a と b, および SW2 は握りスイッチ型の銅電極を使用した。



図 5 握りスイッチ付の銅電極

電極 a と電極 b は電気伝導率の良い銅製のものを使った。今回は握りスイッチ付の電極セットが入手できたので、水銀リレーの ON/OFF をする SW2 も電極に同時に組み込むことができた。図 5 に写真を示す。電極間に溶接したい金属試料をはさみ、手で握ることで、SW2 が ON になり水銀リレーを介して大電流が流れる。

- 5) 放電回路の配線は複数本の導線を並列に接続した。コンデンサの接続部分などは線路を分けて抵抗値を下げるように、導線を並列に接続した。溶接用電極への配線は太い導線 1 本で接続した。

- 6) ブリーダ抵抗 R_2 を追加した。コンデンサに蓄えられた電荷は、図 2 に示す原理回路図では、電源を OFF にしても、放電させない限り溜まったままになる。装置の使用を終えるときに必ず放電させておけば良いが、何らかの要因で放電を忘れた場合、人が触れるような事があれば非常に危険である。そのため、設計回路では、コンデンサに溜まった電荷を逃がすために R_2 を追加している。これはブリーダ抵抗と呼ばれる。 R_2 はあまり小さな値にするとコンデンサが充電できなくなるので、溜まった電荷をゆっくりと逃がすように $1\text{M}\Omega$ とした。(4)式と同様に、 R_2 と C で時定数 τ_2 を計算すると、

$$\tau_2 = 1 \times 10^6 \times 28800 \times 10^{-6} = 28800 [\text{s}]$$

これは放電までの目安の時間となる。8 時間(28800 秒)という値は非常に大きいように感じるが、電荷を放電しないまま装置の使用を終えて、翌日に再度使うときには電荷が残っていない状態になるので、安全性は向上していると考えられる。

4. 結果

作製したスポット溶接機の全体像を図 6 に示す。回路は金属製の箱に納め(実際はふたをしている。), 電極と電源への接続部分が箱の外へ出るようにした。

このスポット溶接機を用いて溶接作業を行っているとき、電解コンデンサの 1 つが破裂し、電解液が流れ出ることがあった。図 7 は破裂したコンデンサである。これは、コンデンサの耐圧 DC50V に対し

て、充電電圧 v_{max} が 45V であるため、実際の使用においてマージンがほとんど無く、耐えられなくなったものと考えられる。そのため、現在は、商用電源 100V をスライドトランスで 90V 程度まで下げて用いるようにしている。

の動作を確認し、電子源の作製に充分使用可能であることを確かめた。これによって本研究室では電子源サンプルの作製が可能となったので、今後の研究に活用していく予定である。

6. 参考文献

- 1) 西村信雄, 落山謙三: “改定 電子工学”, コロナ社(1982)

謝辞

本機器の作製にあたって、ご助言をいただいた室蘭工業大学 安達 洋 名誉教授に感謝いたします。

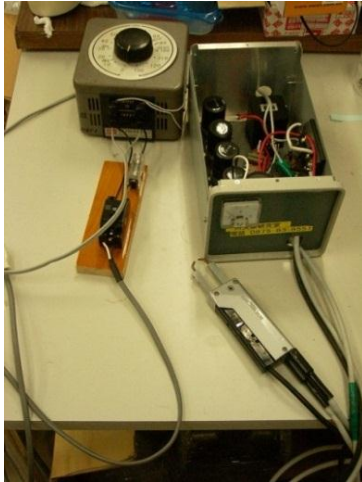


図 6 作製したスポット溶接機

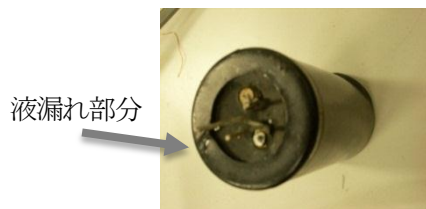


図 7 破裂した電解コンデンサ

図 8 にこの溶接機で溶接した電子源サンプルを示す。特に問題なくタングステン線材の溶接が行われている。



図 8 自作した電子源

5. まとめ

タングステン線材を使った電子源を作製するために、スポット溶接機的设计および製作を行った。そ