溶射による放電加工用電極製作

荒 井 伸 治^{*} 井 藤 治 彦^{*}

The Copper Spraying Process for an EDM Electrode

Shinji ARAI , Haruhiko ITO

It is found that a metal spraying process in manufacturing electrodes has an advantage of fast forming ability. But a metal sprayed electrode has a high wear ratio in electric discharge machining.

We have developed a new method for manufacturing an EDM electrode. In this process, a shell formed by copper spraying is deoxidized in CO gas at elevated temperature, and then is precisely reformed by pressing.

The electrode manufactured in this process has a high electric conductivity and density than those of a no oxidizing and no pressing copper sprayed electrode.

Therefore, we can obtain the EDM electrodes having a low wear ratio as well as normal copper.

In the process, determination of deoxidizing condition is especially important. This paper describes a result of our experiments determining deoxidation condition.

* 三菱電機株式会社名古屋製作所

1. 緒 論

鍛造型、ガラス金型などのように、同一の金型を繰り返し再生産をするような場合には、既存の金型を利用して放電加工電極を製作し、放電加工により金型を製作する方法が有利である。それらの電極製作法には放電成形法、鍛造法、電鋳法などが試みられた。しかし、いろいろな形状の電極を精度良く、能率的に製作するという点からみると、溶射によって製作する方法は優れた方法ではないかと考えられ、溶射電極は一部では既に使用されていたが、それは金型に銅などを溶射し、離型後、そのまま電極として用いていたものであった。ところが溶射のままでは電極消耗が大きいという根本的欠陥があった。これは恐らく酸化物の含有量が多く（溶射の際、高温の粒子が空气中で酸化されることによる）、また多孔質であるため、電気伝導度が悪く、かつ熱伝導が悪いため、放電加工の際、部分的に高温となり、熔融、蒸発が起ることが原因ではないかと考えられる。また、機械的にもろく、脱落し易いことも電極消耗を大にする原因ではないかとも考えられる。

しかし、いろいろ試みているうちに、この溶射殻をうまく還元する方法をみつけ、その方法で還元した溶射電極は低消耗特性を有することがわかった。（特許出願中）これは還元処理によって、電気伝導度と密度が共に大きくなるのが主な原因と思われる。ただ還元処理によって、溶射殻に多少の収縮やゆがみが生じるので、それを是正するために、低融点の可塑性金属を圧力媒体として、溶射した時に使用した金型を用いてプレス成型を行い、精度を出す方法をとる。溶射殻に還元処理とプレス成型を施すことは製作の簡易性が失われるが、同じ電極を多数個生産するためには大きなメリットがある。

ここでは電極の消耗に最も関係がある適当な還元処理条件をみつけるために、還元処理温度、時間に対する溶射殻の特性変化を調べる実験を行なったので、それを中心に報告する。

2. 電極製作方法

実験について報告する前に、新しく開発した電極製作法の工程を説明する。（図1を参照）

- ① マスター金型に銅を溶射する。適当な厚みになったら溶射をやめる。
- ② 溶射された殻をマスター金型より離型する。（従来はこのまま電極として用いていたが、放電が不安定で消耗が激しく、実用には供しにくかった）
- ③ 剝離した溶射殻を加熱し、COガスで還元する。
- ④ 還元処理を終った溶射殻は多少の収縮、

図1 溶射電極製作工程

ゆがみがあるので、低融点で、しかも塑性流動しやすい金属、あるいは合金を圧力媒体として、溶射に用いたマスター金型を用いてプレス成形を行ない、寸法精度を出して、電極として用いる。

3. 実験方法

溶線式ガス溶射法によって銅板上に銅を溶射し、約 $300 \times 300 \times 5 \text{ mm}$ ほどの溶射銅板を製作し、それより $40 \times 40 \times 3 \text{ mm}$ の小片を切り出して試験片とした。溶射条件は表 1 に示すとおりであるが、材料の都合上、溶射に用いた線径が 2 mm と 3.2 mm の二種類であったため、特性に多少のちがいが認められたので、後でこの件について説明をすることにする。

表 1 : 溶 射 条 件

銅 線 径	2, 3.2 (mm) 電気銅線
アセチレンガス圧	1 (kg / cm ²)
酸素 ガス 圧	2 (kg / cm ²)
圧 縮 空 気 圧	4 (kg / cm ²)
銅 線 消 費 量	≒ 170 (g / min)
溶 射 ガ ン	METCO 8 E ガン

このようにして作った試験片を CO ガスにより、時間を一定にして温度を 700°C ～ 950°C まで変化させ、また温度を一定にして時間を 1 時間～5 時間まで変化させて還元処理を施し、各試験片の密度、電気伝導度を測定し、内部組織の顕微鏡観察を行なって還元された状態を調べた。

つぎに還元処理を施した各試験片を、炭素工具鋼 (SK-5) を被加工材として放電加工を行ない、消耗率 (電極消耗量と加工量の割合) を測定した。密度の測定は浮力法により、電気伝導度の測定はシグマテスター (渦流法による比較測定) により行った。

4. 溶射線径による溶射殻の特性のちがい

前にも述べたように、材料入手の都合上、溶射する銅線径が 2 mm と 3.2 mm の二種類を使用することになった。

2 mm の銅線で作った試験片と 3.2 mm の銅線で作った試験片との間に多少の特性の変化があったので、その結果を表 2 に示す。

表 2 からわかるように、 2 mm で作った試験片の方が 3.2 mm で作った試験片より密度、電気伝導度が大きいことがわかる。組織写真でみると 3.2 mm の方が空孔が多い。

実験では、時間を一定にして温度を変化させ、最適な還元温度を求める方に 2 mm の銅線で作った試験片

を用い、温度を一定にして時間を変化させて還元状態を調べるときには 3.2mm の銅線から作った試験片を用いた。

表 2

溶射銅線径 2 (mm)	溶射銅線径 3.2 (mm)

密 度 7.6 (g/cm ³)	密 度 7.4 (g/cm ³)
導電率 33 (IACS%)	導電率 27 (IACS%)

5. 実験結果と考察

5.1 還元処理温度

過去に行った種々の試みから、還元温度は比較的高い温度が望ましいことがわかっていった。ここでは 700℃～900℃ の温度について実験を行った。還元時間は 3 時間と一定にした。

5.1.1 還元処理温度と電気伝導度

図 2 は還元処理温度によって、溶射銅の電気伝導度が変化する様子を示す。電気伝導度は IACS% で示す。

溶射のままでは 33% であったものが 700℃ で還元処理すると約 75% と倍以上も電気伝導度が上昇し、900℃ ではほぼ 90% に達していることがわかる。850℃ ぐらいからはあまり電気伝導度の上昇

は大きくならないが、この結果からみるかぎり、還元処理温度は、より高温度が望ましい。ただし、作業条件、経済性あるいは後述の放電特性や還元時間などの要因などを考えて、必要な温度を決めるのがよいであろう。

5.1.2 還元処理温度と密度

同じく図2に還元処理温度と密度の関係が示されているが、電気伝導度と同じように850℃あたりからは密度の上昇がゆるくなっていることがわかる。

溶射のままでは約 7.6 g/cm^3 であるが900℃では約 8.1 g/cm^3 と理論密度の約90%に達している。この密度が上昇しているのは、還元と同時に焼結が行われているためだと思われる。

5.1.3 還元処理温度と内部組織

先に表2で示した溶射組織が還元処理によって変化する様子を示したのが図3である。（写真の倍率は100倍）

図2 還元処理温度と導電率、密度の変化

図3 還元処理温度による溶射殻の内部組織の変化

溶射のままでは銅の組織らしいものは全くみられず、酸化銅（うす黒くみえる）が大部分を占めている。写真では気孔（黒い部分）があまり写っていないが、実際はかなり気孔がある。

700℃×3hrの還元処理では酸化銅がかなり還元されているのがわかる。しかし、まだ不十分であり、気孔のサイズが大きい。800℃×3hrでは還元はほぼ完全に行なわれており、銅本来の組織があらわれ、気孔も小さくなっている。しかし、その数はまだ多い。850℃×3hrになると気孔のサイズは小さくなり、数もさらに少なくなっており、この条件で還元すれば、ほぼ満足すべき電極が得られるものと思われる。900℃×3hrになると還元はさらに十分なものとなる。ここで800℃〜900℃の三つの写真を比較してみると、結晶粒は高温になるほど大きくなっている。これは高温になるほどはやく還元され、結晶の成長する時間が生ずるためだと思われる。また、焼結の効果も高温になるほど大となり、気孔は小さくなり、数も少なくなっている。これは前述した密度が還元温度の上昇とともに大きくなっていくこととよく一致している。

5.1.4 還元処理温度と放電特性（消耗率）

各温度で還元処理を行なった試験片を電極にして、SK-5を被加工材として実際に放電加工を行なった。放電加工時間は低消耗条件の場合は5分、消耗条件の場合は3分である。そして各試験片について消耗率（電極消耗量/加工量）を測定し、結果を図4、図5に示す。図4は消耗条件を示し、図5は低消耗条件の場合を示す。

特に低消耗条件についていえば、溶射のままでは35%と非常に大きな消耗率を示し、放電加工中は放電が不安定であった。これらの理由により、溶射のままでは電極に用いるのはあまり実用的ではなかった。しかし、700℃×3hrの還元処理では溶射のままに比べて消耗率が1/6ぐらになっており、還元することにより放電特性が良くなっているのがわかる。850℃×3hrでは消耗率がほぼ1%となり、十分

図4 還元処理温度と消耗比の変化(1)

図5 還元処理温度と消耗比の変化(2)

実用に供し得る。

5.1.5 還元処理温度の検討

還元処理時間を3時間とした場合、放電特性が溶射のままに比べて格段によくなるのは還元処理温度が800℃以上の場合である。ここでは放電特性と相関があると思われる電気伝導度、密度を測定したが、それらは850℃ぐらいになればほぼ満足し得る特性が得られることがわかった。組織的にも同様なことがいえる。以上のことから、ここでは時間のファクタが考慮されていないが、還元は化学反応であること、消耗率は出来るだけ小さい方がよいことなどを考えると、還元処理に必要な温度は850℃以上が望ましい。

5.2 還元処理時間

還元処理は温度と時間が重要なファクタである。ここでは還元処理温度を一定にして時間を変化させることにより、還元処理状態を測定、観察した。還元処理温度は850℃以上が望ましいことから、900℃一定とした。また、電極製作方法のところで述べたように、製作最終工程でプレス成形をするので、プレスによる特性変化の影響を調べるため、各条件で還元した試験片を15 kg/mm²、30 kg/mm²の加圧力でプレスしたものについても同様に実験を行なった。とくに15 kg/mm²、30 kg/mm²の加圧力を選んだ根拠はない。実際に電極を製作する時のプレス圧力は製作するものによって違い、測定することは困難である。

5.2.1 還元処理時間と電気伝導度

図6に示すように、溶射のままでは電気伝導度が27%であるが、900℃×1hrの還元処理によって約80%となっている。以後、時間が長くなるにつれて少しずつ上昇している。15 kg/mm²でプレスしたものは、しないものより大きくなっているが、時間に対する変化の傾向は同じようである。30 kg/mm²のプレスの場合は電気伝導度がかなり大きくなり、変化

図6 還元処理時間と電気伝導度の変化

図7 還元処理時間と密度の変化

のしかたも規則的ではない。これらの原因については現在のところはっきりしていないので次の機会に確認したい。

5.2.2 還元処理時間と密度

図7に還元処理時間に対する密度の変化を示す。処理時間が2時間あたりから密度の変化が小さくなる。3時間では 8.1 g/cm^3 と銅の理論密度の約90%に達している。プレスしたものは各時間について $0.2 \sim 0.3 \text{ g/cm}^3$ ぐらいプレスしない場合より大きくなっている。プレスして密度が大きくなるのは当然のことながら内部の気孔がつぶされるためである。

また、密度の変化に関連して、各条件で還元処理した試験片を研磨し、エッチングをしないで気孔の状態を顕微鏡で観察した。それらの写真を図8に示す。これを見ると、1時間の還元ではまだ気孔の数も多く、サイズの大きな気孔が存在する。2時間の処理では気孔の数も少なくなっており、サイズも小さくなっている。それ以後、3時間以上になっても数が多少減っているだけで大きく変っていない。この写真の気孔の存在と図7の密度の変化の傾向はよく一致している。(プレスしたものについては行なわなかった)

図8 還元処理した溶射殻内の空孔

5.2.3 還元処理時間と内部組織

図9からわかるように $900^{\circ}\text{C} \times 1\text{hr}$ の還元処理では少し銅の結晶組織が現われているものの、まだ還元が不十分である。 $900^{\circ}\text{C} \times 2\text{hr}$ ではかなりはっきりと結晶組織があらわれている。これぐらいの条件になると還元がほぼ完了していると考えられる。しかし、焼結の効果はまだ十分ではないようである。3時間以上になると少しずつ気孔が減ってゆき、それと同時に結晶粒の成長がみられる。それは3時間と

図9 還元処理時間による溶射粉の内部組織の変化

5 時間を比較してみるとよくわかる。参考のために電気銅板と電鍍銅^{*}の内部組織を示しておいたが、違いがよくわかるであろう。

5.2.4 還元処理時間と放電特性

還元処理温度の実験と同じ条件で各試験片の放電加工実験を行なった。それより求められた消耗率の変化を図10（消耗条件）、図11（低消耗条件）に示す。この場合も特に低消耗条件について検討してみることにする。図11において、プレスしないで還元処理のままのものでは、 $900^{\circ}\text{C} \times 2\text{ hr}$ の還元処理で消耗率が1%程度となっており、比較的短時間で還元処理が行なわれていることがわかる。特に $900^{\circ}\text{C} \times 5\text{ hr}$ では消耗率が約0.7%となり、同じ条件で放電加工をした電鍍銅の消耗率0.6%とほとんど変わらないまでになっている。

プレスしたものはしないものに比べると少し消耗率が大きくなっているが、2時間でほぼ2%かそれ以下の消耗率になっており、特性は悪くない。プレス圧力の差による消耗率のちがいは、データに多少のバラつきがあることを考慮して、あまりないものと思われる。

ただし、ここで疑問に思われることは、プレスした場合、図6からわかるように電気伝導度が大きくなって電気的特性が良くなっているにもかかわらず、消耗率がプレスしない場合よりわずかではあるが大きくなっていることである。この問題の確固たる原因は今のところつかめていない。

図10 還元処理時間と消耗比の変化(1)

図11 還元処理時間と消耗比の変化(2)

5.2.5 還元処理時間の検討

還元処理温度を 900°C にした場合、2時間でほぼ実用に供し得る放電特性が得られることがわかった。還元処理時間が長くなれば酸化物の還元に要する時間以外は気孔の縮小と結晶粒の成長に費されるものと

* 硫酸銅浴にて作ったもの

考えられる。5.1.5 で検討したように還元処理時間を3時間とした場合、電極として満足な特性が得られる温度は850℃以上が望ましいが、900℃にした場合は2時間でほぼ満足すべき特性が得られる。この実験では溶射殻の厚みは3mmのものをを用いたが、実際の電極を作る場合はそれより薄くて十分である。それ故、還元処理を行なうには一応温度として850℃～900℃、時間は2～3時間を目安として、還元するための炉の性能、製作時間、その他を考慮して適当に決定すればよいであろう。

5.3. 還元処理した溶射銅の引張試験

電極製作の最終工程でプレス成形を行なうが、そのとき、還元処理が不十分なものは延性が悪いので、プレスによって割れが生じ十分に寸法精度が出ないことがある。そこで5.2で行なったのと同じ条件で還元処理した引張試験片で、伸び、引張り強さを測定した。図12はその結果である。溶射のままでは伸びが1%以下と、ほとんど延性がない。900℃×2hrでは伸びが約17%、引張り強さ約16 kg/mm²となり、プレス成形して寸法精度をだすのに十分な延性を有していることがわかる。

図12 還元時間と引張強さ、伸びの変化

6. ま と め

従来、放電加工用の電極として、あまり実用的ではなかった溶射銅に還元処理を施すと、低消耗特性を有する実用的な電極を製作できることがわかった。ここではCOガスを用いて有効な還元処理条件をみつける実験を行なった結果、実際的には850℃～900℃の還元処理温度、2～3時間で還元処理を行なえば実用的な電極が得られることがわかった。その場合の低消耗条件での消耗率は2～1%という値が得られた。

(1972. 6. 12 受付)

参 考 文 献

- 1) 荒井伸治, 片寄文隆, 井藤治彦, 浅名義久; 溶射による放電加工用電極製作, 精機学会秋季大会前刷集 (1971) 528
- 2) 蓮井 淳; 溶射工学 (昭44), 養賢堂