Evaporation Source of Vacuum Evaporation by Electric Arc

Saburo Nagata, TaKuya Nasu and Yasuyuki Tomoda

The applicability of vacuum arc to a source of vacuum evaporation has been investigated. Two methods have been examined; the intermittent arc with vibrating electrode and the continuous arc. By the former method, Zn, Al, Cu, Ni, Mo and W was deposited by the former method, so it is expected that in principle, most metals may be able to evaporate in vacuum. By the latter method, Zn and Al were evaporated finely, and other substances of higher boiling temperature seem to be able to evaporate. In particular, thermal efficiency of the continuous arc method was excellent and more than 60% for Zn.

電弧放電を利用した真空蒸着用蒸発源

永 田 三 郎*

那 須 卓 也*

友 田 泰 行*

1. 緒 言

最近真空蒸着の工業的な用が注目されて来たが、実際の技術面では尚研究を要する点が少ない。例えばmetallized paperの様な連続蒸着では可成り長時間に亘つて相当大きな蒸発率を要求されるので、その蒸発源には尚種々の問題がある。

従来工業用の蒸発源として用いられている主なものは電熱線による抵抗加熱法と高周波による誘導加熱法とであるが、電熱式の加熱法では熱エネルギーを能率よく蒸発金属に供給することが困難であるので、蒸発金属の融点がやや高い場合には種々の困難を伴ふ。一方誘導加熱は蒸発金属を直接加熱するので原理的には優れているが、高周波電源に多額の設備費を要するので小規模で簡単に実施出来ない難点がある。

我々は以上の観点から、簡単でしかも能率の良い蒸発源を得ようとする目的で電弧放電を利用することに着想し、二、三の予備実験を試みて来たので、まだ定量的な結果は殆んど出ていないが、敢て報告する。尚以下に述べる間歇電弧法の実験は1955年の始めに行つたものであるが、其後の文献**にB. vodar等によつて着想、装置ともに我々の間歇電弧の実験と殆んど同様な実験が報告されているが、両者は全く独立に行はれたものである。

よく知られている様に電弧放電では、その陰極点及び陽極点は電極物質の沸点に相当する程度の高温であり、電弧柱には電極物質の蒸気が大量に含まれるのが普通であるから、もし真空中で電極物質のみの蒸気による電弧が安定に得られるものとすれば、極めて能率の良い蒸発源となり得ると考えられる。

電弧放電の形式としては普通の持続電弧と、放電加工等に利用されている様な間歇電弧とがあるが、融点の高い金属電極では真空中で安定な持続電弧は得難いであろうと考えられたので、実験は先づ間歇電弧法から始めた。

2. 間歇電弧法

装置としてはFig. 1に示す様なものであり①、②は蒸発電極で①の方を半波整流したバイブレーターで60 $\sim$ の振動を与えておき、②の方を外部から操作して接近させるようにした。

電極材料としてはZn, Al, Cu, Ni, Mo, W, 真鍮等を試みたが、その形状はZn, Al, Cuはそれぞれ直径約3mmの丸棒の先端をやや細くしたもの、Ni, Mo真鍮は約0.2mmの薄板、Wは0.2mmの線を曲げたものを用いた。被蒸着物体としてはガラス板、銅板等を支持棒に乗せて放電点から約4mmの距離に置いた。

実験は先づ両電極を離れた状態でバイブレーターを入れて電極①を振動させながら②を接近させる。放電は接触した瞬間の火花放電と離間する時の電弧放電とを連続的に反復するので見掛け上は持続放

電の様である。

平均電流は電源の都合上 $1/2$ A 以下に制限されたが、上記の金属中、Zn 及び真鍮は数 A 程度の電流で放電開始と同時に持続電弧が形成され、陰極点は電極の先端のみに止らずその側面に沿つて走行するようになり間歇電弧のみの放電状態を持続することが困難であつた特に Zn の場合には点弧後数秒で電極が溶融脱落してしまつた。しかしこのような短時間の電弧でも持続電弧の後には必ず可成り厚い蒸着膜が得られたので、電弧放電が蒸発源となり得ることを確かめることが出来た。真鍮の場合も Zn とほぼ同様の持続電弧が成立するが、得られた蒸着膜は殆んど Zn のみのものであつた。

次に Al 及び Cu は上記の程度の電流では持続電弧に移行することはなかつたが、暫く放電を継続すると電極の先端が外に拡がる傾向が見られ、この現象は特に陽極側に多く認められた。これは半溶融状態にある先端部が叩かれて拡がるものと見られるが、同時にこの種の電弧では熱損失の多くは陽極側に発生することを意味しているようである。蒸着膜としては Al, Cu では餘り良好なものは得られなかつたが、その原因はこれ等の金属は熱伝導がよいため、電極の支持部が加熱されて其処からガスが発生したものと思はれる。Ni, Mo, W は可成り良好な鏡面が得られたが、融点が高い金属程蒸発量は少くなる傾向が見られた。

この実験では電極に接続された金属部分やパイプレータークoil等からのガスの発生があつたので得られた蒸着膜は最上級のものは得にくかつたが、原理的にはこの様な方法で殆んどすべての金属の蒸着が可能であると思はれる。

尚この実験に於いて電極と並列に $10 \sim 100 \mu F$ の蓄電器を入れて見たが、蓄電器を入れると電極消耗の速度は遙かに増加するが、電極が接触した時の火花放電により蒸発しないで飛散する部分が多くなり、この破碎粉が蒸着面に附着して思はしくなかつた。尚蓄電器を入れない場合でもこの破碎粉が幾分見られるので、機械的破碎粉を生じない様な外部回路の研究も今後の問題である。次にこの様な実験装置を作る場合に注意すべきことは、陰極側に接続される部品には陰極点の成立し易い金属、例へば真鍮のようなものを使用しないことである。ビス / 本でも陰極点となつて Zn の持続電弧が形成され、目的の金属の間歇電弧を困難にすることがある。

尚 Vodar^{**)} 等によれば蒸着物体に (+) の電位を与えておけば蒸発量の殆んど全部を目的物に蒸着させることが出来ると述べているが興味あることである。しかしこの場合には被蒸着物体が導体に限られるので絶縁体の場合には磁界を利用すればよいと考えられるがこれは今後の問題である。

3. 持続電弧法

前述の実験でZn、真鍮のような金属は容易に持続電弧が成立して大量の蒸発が行はれることがわかつたので、持続電弧が得られる金属ではこの方法による方が遙かに能率的である。しかしFig 1の様な方法では電極が溶融脱落し易く水冷でもしない限り長時間の電弧を継続することがむづかしいので、両電極を夫々適当な容器状の支持物で保持する必要がある。

実験は先づ真空持続電弧の大体の性質を知る目的から点弧容易な亜鉛について行つた。

装置の大要はFig 2に示すようなもので①は硬質ガラス製の容器、②は陰極、③は陽極でドーナツ状となつてゐる。④は点弧用の補助電極、⑤が被蒸着物体である。容器①の内部を二重壁としたのは蒸着膜によつて両極が短絡することを防止したものである。

点弧法は先づ開閉器Kを閉じ、補助電極を陰極に接触させて除々に引き離すと補助電力との間に持続電弧が生じ、数秒の後Kを開くと陽極点は上部のドーナツ型陽極に移行して定常的な持続電弧が得られる。補助電極としては鉄棒及び炭素棒を試みたが、どちらでも点弧は出来るが、鉄は消耗がはげしいので炭素棒の方が適當である。

Fig 3
持続電弧の状態

Fig 3は定常電弧の様子を示すもので、陰極表面には点状の輝点を持った明瞭な陰極点が形成され、水銀電弧と同様に陰極面上を走行するが、陽極面上には特に輝いた陽極点は認められず陽極のほぼ全面に亘

つて拡がった弧光が見られる程度である。

Fig. 4はこの定常電弧の電圧電流特性を求めたもので実験の範囲内では殆んど定電圧特性を示している。但し4 A以下では電圧、電流ともに不安定となり3 A以下では電弧を維持出来なかつた。電流の上限は電源の都合で15 A以上に出来なかつたが原理的には無制限と考えられる。

次にこの様な持続電弧に於いて消費する電力と容器から蒸発する蒸発量との関係を調べて見た。この場合の電極間電圧16.5 v, 電弧電流8 A(入力132 Watt)で4分間点弧した後、両電極を含めた重量の減量から蒸発率を求めると毎分約2.5 gr.の蒸発を示し、気化の潜熱から計算した熱効率は

約62%に及ぶことがわかつた。尚この数字には電弧容器の内壁に蒸着した量は含まれていないので真の効率は更に高いものと考えられる。

この装置によりガラス、セロファン、ポリエチレン等に蒸着して見たが、真空度が良好で蒸着膜の厚さが適当な場合には美しい鏡面の蒸着膜が得られ、これをX線及び電子線廻折で調べたが従来の電熱加熱等で蒸発させたものと本質的な相違は認められなかつた。しかし膜厚が大になると繊維組織となり易い様である。

以上の実験からZnの場合には大体期待通りの結果が得られることがわかつたので、次に蒸発金属として最も実用性の大きいAlについて持続電弧の可能性を調べるための実験を行つた。前節の実験により12 A程度の電流では持続電弧は得られないことがわかつているので、電源部を多少改良して短時間なら30 A程度流せるようにして、先づZnの場合と同様の装置により実験を試みた。この場合補助電極の短絡電流が35 A程度になると補助電極との間に持続電弧が形成出来るようになるが、開閉器Kを開くと同時に消滅してしまい上部のドーナツ陽極に移行させることが出来なかつた。これは電極間距離が遠すぎるのとドーナツ陽極の支持容器が絶縁体であるため電弧柱が陽極の上面に迂回する必要があるためと考えられたのでFig. 5の様にドーナツ状容器をモリブデンで作り、その内部にAlを入れて陽極とし陰極容器(石英)の上方に約2mm

Fig 4 電圧電流特性 (Zn - Zn)

電極間距離 40 mm

真空度 10^{-3} ~ 10^{-4} mm Hg

の距離に配置したもので実験を試みたところ、予想通り陰極表面とMO容器の下面との間に点弧することが出来た。この場合の電弧電流は2.5 A程度から不安定ながら持続電弧が見られるようになり、3.5 A程度まで流すと可成り安定

するが、電源容量の関係上、継続的に実験を行うことが出来なかつたこの際の電極間電圧は約22 Vであつた。しかし点弧後僅か20秒程度で陽極に入れたAlが溶融赤熱するのが見られ蒸発源から約1.2 cmの距離においたガラス面に

可成り美しいAlの鏡面が得られた。この結果から比較的融点の高い金属でも原理的には電流を増加することによつて持続電弧を形成させることが出来るものと考えられ、又必ずしも連続蒸着に限らず短時間の蒸着を度々行ふような目的にも応用出来るであらう。

4. 考 案

電弧放電に於いて、蒸発源は陰極であるか陽極であるかと云う問題であるが、この点はまだ定量的には明瞭でないけれども定性的には次のようなものであらうと考えられる。持続電弧を維持するためには少くとも局部的に陰極点を形成して陰極の蒸気を放電路に供給する必要があるので、陰極の蒸発は点弧と同時に行はれる筈である。一方陽極側では観察によると輝やいた輝点は認められないし、赤熱しない程度に短時間点弧したものを調べて見ると蒸発したと思われる痕跡は認められないので、点弧直後に於いては主として陰極点が蒸発源であると考えられる。しかしZnを電極として長時間点弧した後では明らかに陽極の減少が大きいことが認められるので、発熱量は陽極の方が大きく陽極全体が沸点に達して蒸発したものと考えられる。従つてFig. 5の陽極の様に蒸発させようとするAlに直接点弧していなくても薄いMO容器の発熱が能率よくAlに伝導し、Al自身に点弧した場合と大差のない能率が得られるものと考えられる。

尚前述の間歇電弧法では初期電弧の状態を反復していることになるから、その主な蒸発源は陰極側にあると考へられる。

以上で今迄試みたことの概要を述べたが、実用性をはかるため更に設備も改良して研究を進めて行きたいと考へている。

終りに、本研究に関して御指導をいただいた田中晋輔教授並びに実験に協力された(大学院学生)芳賀洋君及び(卒業研究学生)作田共平君に謝意を表します。

文

献

** B. Vodar, S.Minn et S. Offret : J.Phys. radium,
16, 811(1955)