低サージ真空遮断器用 Co-Ag₂Se 電極の電気的特性*

渡 辺 隆 二** 安 藤 寿**
岩 下 喜代次** 黒 沢 幸 夫**

J. Japan Inst. Metals, Vol. 53, No. 7 (1989), pp. 711-715

Electrical Characteristics of Co-Ag₂Se Electrode for Low Surge Vacuum Circuit Breaker

Ryuji Watanabe**, Hisashi Andoh**,
Kiyoji Iwashita** and Yukio Kurosawa**

Various electrode materials for low surge vacuum circuit breakers which were impregnated with Ag₂Se intermetallic compound into sintered Co matrix were prepared in vacuum.

The microstructures and basic electrical properties for the electrodes have been examined. Ag₂Se can be impregnated to the Co matrix very well. There are almost no structural defects in these alloys.

The maximum chopping-current value of the materials are approximately 1~1.2 A and the average are 0.4 A. Especially, the chopping-currents of the electrodes are very stable and at a low level even after interruptions.

Further, it has been found that the materials have are comparable in performance to the conventional electrode of Cu-0.75 mass%Pb alloy in withstand-voltage and interruption-ability.

(Received October 3, 1988)

Keywords: vacuum circuit breaker, electrode material sintered cobalt matrix, Ag₂Se intermetallic compound, withstand-voltage, chopping-current, interruption ability, impregnated alloy

I. 緒 言

既報では、Co 粉末焼結マトリックスの気孔中に Ag-10 mass%Te 合金を40~60 mass%真空含浸させた Co-(Ag-Te)合金⁽¹⁾および Fe, Ni, WC などの各種焼結マトリックス中に Ag-Te 合金を含浸した合金⁽²⁾を真空遮断器の電極材料として適用した結果、裁断電流が3A 台を示し、同時に耐電圧および遮断性能とも良好な特性を示すことを述べた。

これらはモータ、油入トランス、モールドトランスなどの誘導性の負荷機器にはサージアブソーバなしで充分保護ができた。ところが、乾式トランスのような絶縁耐圧の低い負荷機器をサージによる絶縁破壊⁽³⁾から保護するには、1A 台の裁断電流レベルにする必要があることが分かった。本報告は1A 台の裁断電流特性を達成するため、Co 焼結マトリックス中に Te よりも蒸気圧が高い Se を Ag₂Se とし含浸した材料について、含浸組織および真空遮断器電極としての裁断電流値⁽⁴⁾、耐電圧、遮断性能などの基礎特性を検討した。

II. 実 験 方 法

1. 電極作製方法

真空含浸による各種電極材料の作製方法を Fig. 1 に示

Fig. 1 Schematic diagram of the impregnation process.

* 1988年11月日本金属学会吹田大会に発表

** (株)日立製作所日立研究所(Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd., Hitachi)

す。平均粒径 $50\text{ }\mu\text{m}$ のCo粉末を直径 23 mm の黒鉛型中にタップ充填し、水素雰囲気中で 1173 K で 1 h 焼結した。次いで、 6.6 mPa の真空下で 1223 K で 1 h の脱ガス処理を施した。作製したCo焼結体(スケルトン)は気孔率が約 60% である。 60% 以下の気孔率の調整には油圧プレスで再加圧処理する方法で行なった。このようにして作製したスケルトンに Ag_2Se 母合金($\text{Ag-27 mass\%Se}$)を真空含浸した。なお、 Ag_2Se 母合金は、直径 $3\sim 7\text{ mm}$ の粒状のAgおよびSeを直径 40 mm 、高さ 300 mm の石英管中に、真空封入し、 1273 K の温度で溶解して作製した。含浸は高周波誘導加熱炉(10 kHz , 15 kW)を用い、 1233 K , 6.6 mPa の条件下で、黒鉛のつぼ中で溶解した上記化合物の溶湯中にスケルトンを 5 min 間浸漬し、その後引き上げ、炉冷した。

2. 電極特性評価方法

電極特性の評価は、既報⁽¹⁾と同様、Fig. 2の(a)図に示すような組み立て式排気型真空遮断装置を用い、(b)図のような直径 20 mm (電接面球R30付)の電極で試験した。なお、測定前には電極部分を 573 K で 2 h のベーキング処理を施し、更に、冷却後に交流電圧を印加し電極表面のクリーニングを行なった。

今回の低サージ用真空遮断器電極として必要な電気的特性の一覧をTable 1に示す。

裁断電流の測定はFig. 3に示すような回路を用い、真空チャンパー内を 0.6 mPa 以下の圧力とし、電極間隙を 2.5 mm にセットし、 100 V 回路を用いて測定した。すなわち、電流遮断時の電流波形をデジタルメモリに記憶させた後、シンクロスコープに再現させて裁断電流を読み取

Table 1 Electrical characteristics of the electrode

Characteristics	Value
Chopping-current	$\approx 1\text{ A}$
Withstand-voltage	$> 25\text{ kV}$ (2.5 mm gap)
Interruption-ability	$> 7\text{ kA}$ (20 mm dia.)

Fig. 3 Circuit for surge analysis.

り、これらは1試料につき50回測定し、最大および平均値を出すようにした。耐電圧測定は、ギャップを 2.5 mm に設定した電極間隙に 5 kV ステップでインパルス電圧を増加させながら印加し、最初に放電をした電圧をもって耐電圧値とした。

遮断性能は、遮断電流を 0.5 kA および電圧を 0.5 kV ステップで同時に増加させながら、順次遮断容量を増しながら遮断し、遮断不能となる限界電流を求めるようにした。

III. 結果およびその考察

1. 含浸組織

Co焼結体の気孔率を $30, 40, 50, 60\%$ の4段階に変えて Ag_2Se を含浸させた材料の光学顕微鏡組織をFig. 4に示す。組織中で黒色に見える部分が含浸した Ag_2Se 化合物で、その他の灰白色の粒子がCo焼結マトリックスである。使用したCo粉末は機械的とう砕粉で、元の形状は非常に角ばっていたが、 Ag_2Se の浸透によってかなり侵食され、丸みを帯びている。

含浸性は良好で、それぞれ目標とする含浸組成が得られ、とくに、空孔などの欠陥は非常に少ない。

Fig. 5は、 Ag_2Se が $60\text{ vol\%}$ の含浸合金の組織を、SEMにてAgとSeについて線分析した結果である。このSEM像では黒く見える粒子がCoで、他の白地の部分が Ag_2Se 含浸部である。白地の部分でAgとSeのラインが同時に立ち上がっていることが分かる。

(a) Schematic diagram of Interruption Test

Fig. 2 Experimental apparatus for the interruption test and test electrode.

Fig. 4 Microphotograph of the impregnated Co-Ag₂Se alloys. Fig. 5 X-ray microanalysis of the impregnated Co-Ag₂Se alloys.

含浸物である Ag₂Se が Co 粒子の間に充填されても、化合物の形で健全に保持されるものなのかどうかを調べるため、含浸量を変えた材料について X 線回折した結果を Fig. 6 に示す。この結果では、おおむね Ag₂Se 化合物の形が維持されている。ただ、 2θ が 40° および 65° 付近に Ag のピークが現われ Ag₂Se 含浸量が多いほどピーク強度が

Fig. 6 X-ray diffraction patterns of the Co-Ag₂Se alloys.

(a) Co-30Ag₂Se, (b) Co-40Ag₂Se, (c) Co-50Ag₂Se, (d) Co-60Ag₂Se.

大きくなること、さらに含浸合金の組織を高倍率で詳細に観察すると、Co 粒子の周囲が侵食されていることから、Ag₂Se の Se の一部が Co と反応し、Ag が遊離するとともに Co-Se 化合物が形成されたものと思われる。X 線回折図形に存在する不明のピークは Co-Se 化合物と思われる。

2. 裁断電流特性

Fig. 7 は Co-60 vol%Ag₂Se 合金の裁断電流を測定し、正規確率紙に整理したものである。なお、比較のため、Co-60 vol%(Ag-10 mass%Te) 合金の結果も併せてプロットした。横軸の裁断電流値が狭い領域に分布している材料ほど良好なことを意味する。Co-60 vol%(Ag-10 mass%Te) 合金の裁断電流の平均値は1.8 A、最大値は4.1 Aである。これに対し、Co-60 vol%Ag₂Se の平均値は約0.4 A、最大値も更に1.2 A と非常に低いことが分かる。また注目すべきことは、この Co-60Ag₂Se は交流で約10 kA の大電流遮断を行った後においても、その値は上記した値と殆ど変わらず、安定していることである。

一般に大電流遮断を繰り返すと、アーク熱によって電極表面の組織は変化しやすい。すなわち、表面層が溶け、Ag, Te, Se などの低融点物質は蒸発しやすく、また欠乏しやすい。このため、一般的には裁断電流は大きくなった、ばらつきの出ることが多い。化合物である Ag₂Se が非常に安定した物質で、遮断アークによって溶けても、化合物組成を維持しているためと考えられる。このことは、Co への含浸実験のさい、真空中で Ag₂Se 母合金を1233 K に溶かし、繰返し使用しても、本来の組成(Ag-27 mass%Se)を殆ど失わなかったことから推察できる。

Fig. 8 は、Co 焼結マトリックス中への Ag₂Se の含浸量を変え、成分毎1個の試料について、繰返し50回の裁断電流測定を行ない、その最大と平均値を調べた結果である。この図から 30 vol% の含浸量でも裁断電流は最大値が1.4 A まで下がり、更に40 vol%以上では1.2 A 一定となることが分かる。また、裁断電流の平均値は含浸量が増すと低くなり、0.4~0.7 A の範囲にある。

Fig. 7 Chopping-current of the impregnated alloys.

Fig. 8 Relation between chopping-current and Ag₂Se content of Co-Ag₂Se.

3. 耐電圧および遮断性能

耐電圧試験は交流360 A の小電流遮断を約10回繰返した後、電極間を2.5 mm に保持し極間に5 kV ステップでインパルス電圧を増加させながら印加し、絶縁破壊する電圧を測定するものである。一般的に、繰返し負荷開閉すると、アーク熱や強制圧縮、引き剥がし力等によって電接面は非常に荒れやすい。この電接部の表面状態により極間の電界集中が異なり、耐電圧特性が左右される。経験的に、耐電圧特性を向上させるには、遮断アークで溶けても、表面が滑らかに保たれていることが重要である。

Fig. 9 は Co-(20~60) vol%Ag₂Se を電極材料の成分毎1個の試料について繰返し10回のインパルス耐電圧試験を行なった結果を示す。Ag₂Se が20 vol%では平均耐電圧が約80 kV の高い特性を示し、含浸量を増すにつれ、徐々に低下するが、最大の60%含浸量でも60 kV 近くを維持している。

ただし、実機の真空遮断器では、信頼性の面から平均よりも最小値が重要である。現在、汎用の真空遮断器(定格: 7.2 kV, 12.5 kA)に使用されている Cu-0.75 mass%Pb 電極の平均耐電圧は30 kV、最小値は25 kV であるが、Co-

Fig. 9 Withstand-voltage of the impregnated alloys.

(20~60) vol% Ag₂Se 電極材料の特性は平均耐電圧値が 60~80 kV, 最小値が 25~60 kV の範囲にあり, 遜色のない特性を有している。

Fig. 10は更に, 上記 Co-Ag₂Se 含浸電極材料を 500 A ステップで電流を増しなから遮断試験を行ない, 限界の電流遮断性能を求めた結果である。耐電圧特性と同様に, Ag₂Se 含浸量が増すにつれ, 徐々に低下する傾向にあり, 20 vol% では約 9 kA, 最大の 60% 含浸量でも 7 kA 程度を遮断できる特性を有している。なお, 実用電極材料の Cu-0.75 mass% Pb 合金の遮断性能は約 7 kA であることから, Co-Ag₂Se 電極材料はそれより優れた性能を有している。

Fig. 10 Interruption-ability of the impregnated alloys.

IV. 結 言

Co 焼結マトリックス中に Ag₂Se 化合物を真空含浸した材料を作製し, 含浸組織および真空遮断器電極としての基礎特性を調べた結果, 次の結論を得た。

(1) Co 焼結マトリックスへの含浸は良好であり, 含浸合金は Co マトリックス, および Ag₂Se の 2 相からなり, Ag₂Se は安定した形で存在する。

(2) Co マトリックスへの Ag₂Se 含浸量を増すと, 裁断電流値は下がり, 40~60 vol% で, 平均 0.4~0.7 A, 最大でも 1.2 A の低裁断電流特性を有する。また, 大電流遮断の後もばらつきも少なく安定である。

(3) 耐電圧および電流遮断性能は, Ag₂Se 含浸量を増すにつれて下がるが, 40~60 vol% で汎用の Cu-Pb 電極と遜色のない性能を示す。

本研究を行なうに当り有益な御助言, 御指導を賜りました日立製作所国分工場受変制御設計部 津田英明主任技師, 日立研究所 杉田 恒博士に深甚なる謝意を表する。

文 献

- (1) 渡辺隆二, 安藤 寿, 岩下喜代次, 黒沢幸夫, 津田英明: 日本金属学会誌, 52(1988), 719.
- (2) 渡辺隆二, 安藤 寿, 岩下喜代治, 黒沢幸夫: 日本金属学会誌, 52(1988), 1144.
- (3) Y. Kurosawa, K. Iwashita, R. Watanabe, H. Andoh, T. Takasuna and H. Watanabe: IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol PAS-104 (1985), No. 12, 3634.
- (4) T. H. Lee and A. Greenwood: J. Appl. Phys., 32(1961), 916.