(Ag-Te)を含浸させた低サージ真空遮断器用 電極材料の裁断電流特性

渡 辺 隆 二** 安 藤 寿**
岩 下 喜代次** 黒 沢 幸 夫**

J. Japan Inst. Metals, Vol. 52, No. 11 (1988), pp. 1144-1148

Chopping-Current of (Ag-Te) Impregnated Materials for the Electrode of Low Surge Vacuum Circuit Breaker

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

Various electrode materials for low surge vacuum circuit breakers which were impregnated with silver-10 mass%Te alloy into the sintered matrices of Co, Fe, Ni, Cr, Fe-50 mass%Co and WC-12 mass%Co were prepared in vacuum.

The microstructures and basic electrical properties for the electrodes have been examined. Silver-10 mass%Te can be impregnated to the Co, Fe, Ni, Fe-Co matrices very well. Defects are not found in these alloys at all.

The maximum chopping current values of the materials are approximately 2~3 A and the average are in the range of 1~2 A except (WC-Co)-(Ag-Te).

Especially the chopping currents of Co-(Ag-Te) and (Fe-Co)-(Ag-Te) electrodes are very stable and low even after interruptions.

Further, it has been found that the materials are superior in withstand-voltage and interruption-ability to the conventional electrode (Cu-0.75 mass%Pb).

(Received March 2, 1988)

Keyword: vacuum circuit breaker, electrode material, sintered matrix, cobalt-silver-tellurium alloy, withstand voltage, chopping current, interruption-ability

I. 緒 言

真空遮断器⁽¹⁾(VCB)には、真空中でのアーク消弧作用により引き起こされる電流裁断現象⁽²⁾があり、機器にサージ電圧を発生させ、例えばトランスやモータなどを絶縁破壊させる危険性がある。この保護としてサージアブソーバが併用されているが、小型、軽量性、信頼性の面からサージアブソーバを必要としない低い裁断電流特性を持つ電極材料を用いた低サージ真空遮断器⁽³⁾の開発が要望されている。

前報⁽⁴⁾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)合金が3 A台の低い裁断電流を有し、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。

本研究では、Co以外の焼結マトリックスとして、Ni, Fe, Cr, Fe-50 mass%Co, WC-12 mass%Coなどのマ

トリックスを選び、Ag-10 mass%Te合金を含浸した材料について、含浸組織およびVCB電極としての裁断電流値、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

Table 1に本実験に用いた粉末等の原材料の形状および

Table 1 Source materials used electrode making.

Material/mass%		Forms	Purity/mass%
No.1	Ag	3~7mm shot	99.99
2	Te	2~5mm shot	99.99
3	Co	44~74μm powder	99.5
4	Ni	149μm under	99.9
5	Fe	149μm under	99.5
6	Cr	74μm under	99.5
7	Fe-50Co	149μm under	-
8	WC-12Co	44μm under	-

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

* 1988年4月日本金属学会習志野大会に発表

び純度を示し、真空含浸による各種電極材料の作製方法を Fig.1 に示す。マトリックスとなる Co, Ni, Fe, Cr, Fe-50 mass%Co および WC-12 mass%Co 合金などの粉末を直径 23 mm の黒鉛型中にタップ充填し、水素雰囲気中で 900°C、1 h 焼結した。次いで、Co, Fe, Ni, Fe-50 mass%Co については 6.6 mPa の真空下で 950°C、Cr および WC-12 mass%Co については 1200°C で 1 h の脱ガス処理を施した。

このようにして作製したスケルトンに、予め作製しておいた Ag-10 mass%Te 合金を 6 mPa の真空中で含浸した。なお、この含浸母合金は Ag を真空中で溶解後、Te 添加は Te の蒸発による損失を防ぐため Ar ガスを 101 kPa 封入した雰囲気で行なった。含浸は高周波誘導加熱炉(10 kHz, 15 kW)を用い、1100°C、6 mPa の条件下で、黒鉛るつぼ中で溶解した Ag-Te 合金の溶湯中にスケルトンを 10 分間浸漬し、その後引き上げる操作で行った。

Fig.1 Schematic diagram of the impregnation process.

2. VCB 電極特性評価方法

電極特性の評価は、前報⁽⁴⁾と同様に Fig.2 の(a)図に示すような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 R 30 付)の電極で試験した。なお、測定前には排気セットに取付けた電極を 300°C で 2 時間のベーキング処理を行ない、更に、冷却後、交流電圧を印加し、電極表面のクリーニングを施すようにした。

遮断電流の測定は、1~10 A の小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遮断電流を求めた。本報では、50 回の測定を行い、最大値および平均値を求めた。

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 ステップで電圧を増加させながら印加し、最初に放電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 ステップで同時に上げ、順次遮断容量を増加させながら遮断し、遮断不能となる限界電流を求めるようにした。

Fig.2 Schematic diagram of the interruption test and circuit for surge analysis.

III. 結果およびその考察

1. 含浸組織

約 50% の気孔率の Co, Ni, Fe, Cr, Fe-50 mass%Co および WC-12 mass%Co 焼結合金のマトリックスに Ag-10 mass%Te を含浸させた材料の光学顕微鏡組織を Fig.3 に示す。組織中で白色の部分が Ag、これと隣合っている黒色の部分が Ag_2Te 化合物であり、その他の灰白色の粒子が焼結マトリックスである。

各マトリックス毎にそれぞれの含浸量が異なっているが、これは焼結した後の気孔率の違いによるものである。Co, Ni, Fe, Fe-50 mass%Co などの焼結合金は含浸性が良く、空孔などの欠陥は殆どみられないが、Cr, WC-12 mass%Co 焼結合金はマトリックスの粒径が小さく、ミクロ的な空孔が生じやすい。この原因は焼結マトリックスの濡れが悪いためである。含浸性に若干、差はあるが目的とする試験用の電極材料が得られた。

2. 遮断電流特性

Fig.4 は種々のマトリックス金属に Ag-10 mass%Te 合金を含浸した材料の遮断電流を測定し、正規確率紙に整理したものである。遮断電流値が小さく且つ狭い領域に分布している材料ほど遮断電流特性が良好なことを意味する。

マトリックスが Fe-50 mass%Co および Co の場合、遮断電流の平均値が 1.5 A 以下、最大値も 2.0 A 以下の優れた低サージ特性を示す。マトリックスが Fe および Cr の場合は平均値は Fe-50 mass%Co および Co とほぼ同じであるが、最大値は約 2.5 A と高い。WC-12 mass%Co

Fig.3 Microphotograph of the impregnated alloys.

Fig.4 Chopping-Current of the impregnated alloys before interruption.

の場合は最大値が 5.8 A に達するなど、ばらつきが大きい。このばらつきの要因は、前述したように、WC-Co への Ag-Te 合金の含浸性が若干悪いため、微細な未含浸孔がわずかに残り、その部分にアークが点弧することによって遮断電流が上昇してしまうと考えられる。

一方、大電流遮断を繰り返すと、アーク熱によって電極表層の組織は変化しやすい。すなわち表層部が溶け、Te などの低融点物質は蒸発し、電極表層部で欠乏しやすい。このため、一般的には遮断電流は大きくなったり、ばらつきの範囲が広くなることが多い。

Fig.5 は遮断性能試験を実施した後の電極の遮断電流を測定した結果である。大電流を遮断する前において、初期遮断電流の低かった Fe-50 mass%Co, Co, Fe, Cr などのマトリックス電極は平均および最大値とも若干大きな

Fig.5 Chopping-Current of the impregnated alloys after interruption.

り、逆にばらつきの大きかった WC-12 mass% Co マトリックス電極は性能が良くなり、結果として、大電流遮断後の最大裁断電流値は 3~4 A の範囲にあり、材料間の差がなくなることが分かった。また、平均裁断電流値を見ても、それぞれが約 1~2 A に収まっている。このような傾向を示す要因としては、蒸発しやすい Te を Ag_2Te の金属間化合物にしているため、大電流を遮断しても Te が蒸発逸散せず、電極表層部に微細な Ag_2Te となって保持されとともにマトリックス元素および Ag も粒径が著しく微細になり、アークが 3 つの相に対し平均的にあたるとなるためと考えられる。

従って、(WC-12 mass% Co)-(Ag-10 mass% Te)電極においても、予め表層部の組織を微細化する工夫をしておけば、良好な裁断電流特性を得られると思われる。このことは今後の検討課題である。

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、前章で述べたように、極間に 5 kV ステップで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く、これが極間の電界集中の原因となり耐電圧を劣化させることが多い。従って、耐電圧を向上させるためには、電接部表面が遮断アークで溶けても、表面が滑らかであることが必要である。

Fig.6 に示す各種のマトリックスに Ag-10 mass% Te 合金を含浸させた電極の耐電圧試験結果を見ると、前報⁽⁴⁾でも述べたが、最小耐電圧が Co-Ag-Te 電極と同等の 35 kV を示すのはマトリックスが Cr の場合であり、マトリックスが Ni および Fe-50 mass% Co 合金の最小耐電圧は 30 kV であり、マトリックスが Fe および WC-12 mass% Co では約 25 kV である。なお平均耐電圧値と比較すると、Fe をマトリックスとした電極が若干低いが、マトリッ

Material of Electrode /mass%	Withstand-Voltage/kV
a. Co-43(Ag-10Te)	35 40 45 50 55 60 65 70 mean
b. Ni-48(Ag-10Te)	35 40 45 50 55 60 65 70
c. Fe-52(Ag-10Te)	35 40 45 50 55 60 65 70
d. Cr-46(Ag-10Te)	35 40 45 50 55 60 65 70
e.(Fe-50Co)-48(Ag-10Te)	35 40 45 50 55 60 65 70
f.(WC-12Co)-51(Ag-10Te)	35 40 45 50 55 60 65 70

Fig.6 Withstand-voltage of impregnated alloys.

スを変えても大きな差はない。現在汎用の真空遮断器に使用されている Cu-0.75% Pb の平均耐電圧が 30 kV であるが、本研究材料はおおよそ 35~50 kV の範囲にあり、高い耐電圧特性を示した。

Fig.7 はマトリックスを変えて Ag-10 mass% Te 合金を含浸した材料を 0.5 kA ステップで電流を増しながら遮断試験を行い、限界の遮断電流値を求めたものである。耐電圧特性と同様に、マトリックスが Co の場合が最も高く、次いで Fe-50 mass% Co, Ni, Cr であり、性能が低いのは WC-12 mass% Co である。なお、Cu-0.75 mass% Pb 合金の遮断性能は約 7 kA であることから、WC-12 mass% Co マトリックスの電極を除いて、その他の電極は高い遮断性能を有している。WC-12 mass% Co マトリックスの電極の遮断性能が劣るのは、組織中に熱電子放射率の高い WC を含んでいるためと考えられる。

Material of Electrode /mass%	Interruption-Ability/kA
a. Co-43(Ag-10Te)	3 4 5 6 7 8 9 10
b. Ni-48(Ag-10Te)	3 4 5 6 7 8 9 10
c. Fe-52(Ag-10Te)	3 4 5 6 7 8 9 10
d. Cr-46(Ag-10Te)	3 4 5 6 7 8 9 10
e.(Fe-50Co)-48(Ag-10Te)	3 4 5 6 7 8 9 10
f.(WC-12Co)-51(Ag-10Te)	3 4 5 6 7 8 9 10

Fig.7 Interruption-ability of impregnated alloys.

IV. 結 言

Co, Ni, Fe, Cr, (Fe-50 mass% Co) および (WC-12 mass% Co) の焼結マトリックス中に Ag-10 mass% Te 合金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としての電極性能を調べた結果、次の結論を得た。

(1) Cr, WC-12 mass% Co 以外の、Co, Fe, Ni, Fe-50 mass% Co 焼結体への Ag_2Te の含浸性は良好である。

また、上記含浸合金はマトリックス材料、Ag、および Ag_2Te の 3 相からなる。

(2) 本実験では各種焼結マトリックスにはほぼ一定量の Ag-10 mass%Te を含浸させ、これらの材料の VCB 電極としての諸特性を調べた。その結果、多数回の遮断を繰り返すと、とくに裁断電流特性については、あまりマトリックス間の優位差は見られなくなり、主として Ag_2Te 含浸量に依存するようである。

(3) WC-12 mass%Co をマトリックスとした材料では、初期の裁断電流、耐電圧、遮断性能のいずれの特性とも低く、ばらつきが大きい。ただし、この材料でも大電流遮断を繰り返すと、電極表層部の組織が微細され裁断電流特性は安定する傾向にある。

本研究を行なうに当り有益なご助言、ご指導を賜りました(株)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) 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.
- (2) T.H.Lee and A.Greenwood: J. Appl. Phys., 32(1961), No.5, 916.
- (3) H.Watanabe, Y.Kurosawa and R.Watanabe: Hitachi Review, 33(1984), No.3, 147.
- (4) 渡辺隆二ほか 2 名: 日本金属学会誌投稿中.