

Streszczenie

W ramach niniejszej rozprawy doktorskiej opracowano wielkoskalową technologię wytwarzania warstw srebrowych ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb przemysłu elektroenergetycznego. Srebrzenie elementów zestykowych szyno-przewodów prądowych wymagane jest każdorazowo z uwagi na szybką pasywację miedzi oraz aluminium, materiałów z których wykonywane są szynotory prądowe. Narost warstwy tlenkowej na powierzchniach miedzianych oraz aluminiowych znacząco podwyższa rezystancję układu zestykowego, co wpływa niekorzystnie na przesył energii elektrycznej, oraz generuje tym samym duże straty finansowe firm odpowiedzialnych za eksploatację łączy energetycznych.

Metoda srebrzenia z wykorzystaniem kompozytu srebrowego opartego o zastosowanie nanoproszku srebra stanowi alternatywę do procesów elektrochemicznych, które stosowane są do dnia dzisiejszego jako jedyna możliwość srebrzenia przemysłowego. Z wykorzystaniem procesów elektrochemicznego powlekania aluminium i miedzi powiązać można ogromne obciążenie środowiska związkami cyjanogennymi stosowanymi w tzw. kąpielach galwanicznych. Wymagania infrastruktury jaką muszą posiadać zakłady galwaniczne nie pozwalają mniejszym przedsiębiorcom na ustabilizowanie rynku poprzez politykę konkurencyjności. Wdrożenie technologii srebrzenia aluminium i miedzi z wykorzystaniem kompozytu na bazie nanoproszku srebra stanowi nowatorskie rozwiązanie o potencjale przemysłowym. Otrzymane wyniki badań pozwoliły na przeprowadzenie procesu skalowania wytwarzanych prekursorów nanoproszku srebra, samego nanoproszku srebra, wytwarzania kompozytu srebrowego oraz wdrożenie technologii wytwarzania warstw srebrowych do sektora przemysłowego.

Technologia wytwarzania warstw ochronno-przewodzących na elementach złączeniowych szynotorów prądowych z wykorzystaniem nanometrycznych cząstek srebra oparta jest w głównej mierze na fizycznych właściwościach nanoproszku srebra. Niższa temperatura formowania się spieku metalicznego dla fazy nanometrycznej w stosunku do cząstek mikrometrycznych stanowi główną przewagę technologiczną nad korzystaniem z kompozytów srebrowych na bazie mikrometrycznego srebra oraz szkliwa, które są produktami ogólnodostępnymi na rynku. Mimo usilnych prób spiekania ścieżek i połączeń srebrowych wytworzonych z past na bazie mikrometrycznego proszku srebra nie udało się obniżyć temperatury procesu spiekania do takich wartości, aby nie miały one fizycznego wpływu na materiały wrażliwe temperaturowo. Temperatura takiego procesu waha się od 600 do 850°C. Jest to zakres temperaturowy, który wyklucza zastosowanie takich past na podłożach

typu aluminium, kapton, czy nawet miedź, która z uwagi na jej podatność na procesy redukcyjne w podwyższonej temperaturze ulega utlenieniu. Wykorzystanie nanoproszku srebra wytwarzanego metodą termicznej redukcji prekursora pozwoliło na opracowanie kompozytu, którego spiekanie zachodzi w znacznie niższej temperaturze rzędu 200-350 °C. Po procesie spiekania, tworzy on litą adhezyjną warstwę ochronną, stanowiącą alternatywę w stosunku do warstw galwanicznych, wytwarzanych na elementach zestykowych torów prądowych.

Słowa kluczowe: nanoproszek srebra, warstwy przewodzące, alternatywa do procesów galwanicznych, elektroenergetyka, elementy zestykowe torów prądowych, przemysłowy proces srebrzenia.

Abstract

In this presented PhD dissertation, a large-scale technology for the production of silver layers, especially for the power industry was developed. It is necessary to silverplate the busbar contact surface due to its quick passivation. Such phenomena occurs especially in case of the copper and aluminum, which are the most often used as busbar material.

The build-up of the oxide layer on copper and aluminum surfaces increases the resistance of the contact system and affects the transmission of electricity. It generates large financial losses for companies dealing with high current transmission.

The method of silver plating with the use of a silver composite based on silver nanopowder is an alternative to common electrochemical processes. Due to cyanogenic compounds used in electroplating baths electrochemical coating of aluminum and copper entails a significant environmental impact. At the same time, the silverplating market is not available to smaller entrepreneurs. This is due to high infrastructure requirements and as a result the market is not stabilized according to the principles of competition.

The implementation of the aluminum and copper silver-plating technology based on silver nanopowder composite is an innovative solution which exhibits high implementation potential.

Obtained results allow to scale up the whole production processes from the silver nanopowder precursors to silver composite. Furthermore, it allows to procure layer with both conductive and protective properties.

The mechanism of layer formation from nanometric silver particles is mainly based on the physical properties of silver nanopowder itself. The main technological advantage of the developed technology is the lower sintering temperature comparing to temperature required by larger, micrometric particles and glazes available on the market. The temperature level safe for temperature-sensitive materials is crucial for technology spread. Market available pastes and glazes require temperature between 600 and 850°C which made it inconvenient for such materials as aluminum or kapton. Copper should also be processed in lower temperature since its tendency to oxidation and further material structural deformations in higher temperature.

The use of silver nanopowder produced by thermal reduction of the silver precursor allowed for the development of a composite with sintering temperature is in the range of 200-

350 °C. After the sintering process, a solid adhesive protective layer is formed, which is an alternative for the galvanic layers produced on the contact elements of the current busbars.

Keywords: silver nanopowder, conductive layers, alternative to galvanic processes, power engineering, current busbar contact elements, industrial silver plating process.