

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10)

PL 242249 B1

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **435930**

(22) Data zgłoszenia: **2020.11.10**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.05.16 BUP 20/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.02.06 WUP 06/2023**

(51) MKP:

B23K 1/19 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:

TOMASZ WOJDAT, Bogdaszowice, PL

PAWEŁ SOKOŁOWSKI, Wrocław, PL

LESZEK ŁATKA, Wrocław, PL

DOMINIKA PIĄTKOWSKA, Żytowice, PL

(74) Pełnomocnik:

Anna Meissner, Wrocław, PL

(54) Tytuł:

**Sposób łączenia stopów aluminium z materiałami kompozytowymi na osnowie grafitu
metodą lutowania miękkiego**

PL 242249 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób łączenia stopów aluminium z grafitem i materiałami kompozytowymi na osnowie grafitu metodą lutowania miękkiego. Powyższe połączenia stosowane są w urządzeniach przewodzących prąd elektryczny, a w szczególności w budowie odbieraków prądu pojazdów szynowych (pantografach).

Wytwarzanie połączeń lutowanych charakteryzujących się wysoką jakością i spełniających stawiane im wymagania eksploatacyjne, zwłaszcza materiałów o zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych, zawsze stanowiło duży problem technologiczny. Problem ten wynika głównie z braku uniwersalnych materiałów lutowniczych, takich jak luty i topniki, zapewniających dobre właściwości lutownicze na obu spajanych materiałach. Wybór materiałów dodatkowych do procesu lutowania materiałów o zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych determinowany jest bowiem specyficznymi właściwościami pary spajanych materiałów (np. niską temperaturą topnienia, wysoką temperaturą rozkładu tlenków itp.), co może stwarzać problemy związane z uzyskaniem dobrej zwilżalności, powodując obniżenie jakości złącza lub nawet brak możliwości jego wykonania. Rozwiązaniem problemu może być zastosowanie w procesie lutowania miękkiego tzw. warstwy pośredniej, która może być naniesiona na jeden lub na oba spajane materiały przy użyciu różnych metod np. galwanicznych lub natrysku cieplnego, umożliwiających utworzenie na ich powierzchni dobrze przyczepnych i zwilżanych przez spoiwa lutownicze warstw metalicznych.

Lutowanie grafitu i materiałów kompozytowych na osnowie grafitu z aluminium, a w szczególności ze stopem aluminium AA 6060, z uwagi na proces jego obróbki cieplnej, należy przeprowadzać przy użyciu spoiw lutowniczych, których temperatura topnienia nie przekracza 200°C (np. spoiw cynowo-ołowiowych). Zastosowanie lutów na osnowie Sn-Pb oraz innych lutów miękkich, przy bezpośrednim lutowaniu grafitu i materiałów na osnowie kompozytu grafitowego ze stopami aluminium, jest jednak nieskuteczne z uwagi na brak ich zwilżalności. W efekcie niemożliwe jest zajście podstawowych zjawisk fizykochemicznych, takich jak np. kapilarne wnikanie ciekłego lutu do szczeliny lutowniczej czy adhezja, odpowiedzialnych za utworzenie poprawnego połączenia lutowanego.

Z japońskiego opisu wynalazku JP2014224030 znany jest sposób lutowania grafitu z blachą metalową. W celu utworzenia połączenia lutowanego na powierzchnię grafitu nanosi się warstwę materiału lutowniczego metodą sitodruku, następnie dodając spoiwo wykonuje się połączenie lutowane grafitu z blachą metalową. W trakcie lutowania tworzą się dwie warstwy – warstwa reakcyjna utworzona w wyniku reakcji chemicznej spoiwa z węglem zawartym w strukturze grafitu oraz warstwy właściwej (lutowiny) wiążącej grafit z blachą metalową. Proces przebiega w niskiej temperaturze, w związku z czym w strukturze grafitu nie dochodzi do powstawania pęknięć.

Ponadto z japońskiego opisu wynalazku JP 2014205609 znany jest sposób wytwarzania komutatorów silników elektrycznych o silnym połączeniu pomiędzy warstwą metalową a grafitowymi prętami. Proces lutowania przebiega w dwóch etapach – w pierwszym etapie w procesie lutowania twardego nanosi się warstwę spoiwa na strukturę prętów grafitowych, następnie w drugim etapie, obejmującym lutowanie miękkie za pomocą dodatkowego spoiwa, łączy się pręty grafitowe z arkuszem blachy metalowej.

Lutowanie metali różnorodnych z wykorzystaniem warstw pośrednich (międzywarstw) znane jest również z polskiego opisu wynalazku PL 223503, gdzie co najmniej jedną powierzchnię poddaje się obróbce strumieniowo-ściernej, po czym nanosi się warstwę metaliczną metodą bombardowania cząsteczkami metalu zawieszonymi w strumieniu gazu (metoda niskociśnieniowego natryskiwania na zimno). Następnie pomiędzy powierzchnią naniesionej warstwy metalicznej i powierzchnią drugiego łączonego metalu umieszcza się lut w postaci taśmy lub pasty lutowniczej, po czym tak przygotowaną strukturę podgrzewa się znanymi metodami w celu wykonania połączenia lutowanego na miękko.

Sposób łączenia metali za pomocą warstwy lutu naniesionego metodą wysokociśnieniowego natryskiwania na zimno znany jest z amerykańskiego opisu wynalazku US 6821558. Naniesiona warstwa lutu charakteryzuje się chropowatą i falistą strukturą, korzystną podczas nanoszenia topnika w postaci proszku, który dzięki odpowiedniej stereometrii warstwy utrzymuje się na powierzchni w próbie uderzenia przy swobodnym spadku. Metoda ta cechuje się minimalnym wpływem temperatury na natryskiwany proszek oraz materiał podłoża, co w efekcie powoduje, że nie tworzą się kruche fazy na powierzchni łączenia warstwa–materiał podłoża. Nie dochodzi również do niekorzystnych zmian strukturalnych w natrykiwanym materiale oraz materiale podłoża.

Z amerykańskiego opisu wynalazku US 8354754 znany jest również sposób lutowania miękkiego układów scalonych z wykorzystaniem struktury wielowarstwowej. Struktura ta utworzona jest z kilku kolejnych warstw metalowych, umieszczonych na boku korpusu żarowego wykonanego z materiału półprzewodnikowego, ułożonych jedna nad drugą, wytwarzanych za pomocą fizycznej metody powlekania. Warstwa lutownicza umiejscowiona jest pomiędzy warstwą metalu szlachetnego znajdującego się na powierzchni struktury warstwowej a korpusem chipu.

Z polskiego rozwiązania patentowego PL 232258 znany jest również sposób łączenia stopów aluminium z materiałami kompozytowymi na osnowie grafitu metodą lutowania miękkiego z wykorzystaniem metalicznej warstwy pośredniej nanoszonej w procesie niskociśnieniowego natryskiwania na zimno (LPSC). Materiały, z których jeden stanowi stop aluminium, a drugi kompozyt na osnowie grafitu, odtłuszcza się i oczyszcza się z tlenków, a następnie łączy się spoiwem w postaci lutu, charakteryzujący się tym, że przed wytworzeniem trwałego połączenia lutowanego miękkiego materiałów, na uprzednio odtłuszczonej oraz oczyszczonej z tlenków, powierzchnię jednego z materiałów nanosi się metodą natryskiwania cieplnego warstwę metaliczną z proszku metalu, która po procesie natryskiwania tworzy, naniesioną na tym metalu, międzywarstwę metaliczną, a na powierzchnię drugiego materiału nanosi się w procesie natryskiwania cieplnego strukturę złożoną z trzech powłok metalicznych, nałożonych jedna na drugą, stanowiącą międzywarstwę metaliczną drugą, przy czym przed wytworzeniem trwałego połączenia lutowanego obie międzywarstwy pokrywa się topnikiem.

Celem wynalazku jest opracowanie sposobu łączenia stopów aluminium z grafitem i materiałami kompozytowymi na osnowie grafitu metodą lutowania miękkiego z wykorzystaniem metalicznej warstwy pośredniej nanoszonej metodą natrysku plazmowego APS.

Do wytworzenia warstw użyto palnika plazmowego SG-100 (Praxair) zamocowanego na ramieniu robota FANUC R-2000iA. Takie rozwiązanie umożliwia nanoszenie warstw metalicznych o równomiernej i kontrolowanej grubości, dedykowanej pod konkretne rozwiązania aplikacyjne. Metoda charakteryzuje się możliwością nanoszenia warstw (powłok) metalicznych o dobrej przyczepności do natryskiwanego podłoża (wyższej niż w przypadku niskociśnieniowego natryskiwania zimnym gazem – LPSC). Ponadto umożliwia bezpośrednie naniesienie warstwy metalicznej z proszku Cu na podłoże grafitowe i materiałów na osnowie kompozytu grafitowego, bez konieczności nanoszenia międzywarstw z proszków metali o większej plastyczności niż miedź np. proszku Al. Należy uważać na nadmierne nagrzanie podłoża i proszku Cu w strumieniu gazów plazmowych, dlatego też ograniczono moc elektryczną do 20 kW oraz użyto jedynie Argonu jako gazu plazmotwórczego.

Istotą rozwiązania według wynalazku jest sposób łączenia stopów aluminium z materiałami kompozytowymi na osnowie grafitu metodą lutowania miękkiego, w którym materiały, z których jeden stanowi stop aluminium, a drugi kompozyt na osnowie grafitu odtłuszcza się i oczyszcza się z tlenków, a następnie łączy się spoiwem w postaci lutu, w procesie lutowania miękkiego w temperaturze w zakresie $183 \div 200^{\circ}\text{C}$ polegający na tym, że przed wytworzeniem trwałego połączenia lutowanego miękkiego obu materiałów na, uprzednio odtłuszczonej oraz oczyszczonej, powierzchnię jednego z materiałów nanosi się metodą natryskiwania cieplnego plazmą atmosferyczną warstwę metaliczną z proszku metalu, która po procesie natryskiwania tworzy, naniesioną na tym materiale, warstwę metaliczną, a na powierzchnię drugiego materiału nanosi się w procesie natryskiwania cieplnego warstwę metaliczną z proszku metalu, stanowiącą warstwę metaliczną drugą, przy czym przed wytworzeniem trwałego połączenia lutowanego obie międzywarstwy pokrywa się topnikiem.

Korzystnie warstwę metaliczną w postaci warstwy utworzonej z proszku metalu wytwarza się w procesie natryskiwania cieplnego plazmą atmosferyczną (APS).

Korzystnie do wytworzenia warstwy metalicznej w postaci warstwy utworzonej z proszku metalu używa się proszku miedzi.

Korzystnie warstwę metaliczną w postaci warstwy utworzonej z proszku metalu wytwarza się o grubości nie mniejszej niż $50\text{ }\mu\text{m}$.

Korzystnie jedną warstwę metaliczną w postaci warstwy utworzonej z proszku metalu nanosi się na powierzchnię stopu aluminium, a drugą warstwę metaliczną nanosi się na powierzchnię kompozytu na osnowie grafitu.

Korzystnie do lutowania miękkiego stopu aluminium z kompozytem na osnowie grafitu, po uprzednim naniesieniu międzywarstw, dozuje się spoiwo cynowo-ołowiowe S-Sn60Pb40 w postaci pasty lutowniczej.

Korzystnie do lutowania miękkiego stopu aluminium z kompozytem na osnowie grafitu, po uprzednim naniesieniu międzywarstw, dozuje się spoiwo cynowe-ołowiowe S-Sn60Pb40 przy nagrzewaniu oporowym.

W rozwiązaniu według wynalazku powierzchnie spajanych ze sobą materiałów, najlepiej stopu aluminium i materiału kompozytowego na osnowie grafitu, przeznaczone do utworzenia połączenia lutowanego pokrywa się warstwą utworzoną z proszku miedzi w procesie natryskiwania ciepłego plazmą atmosferyczną, która stanowi metaliczną międzywarstwę lutowniczą. Międzywarstwa może być utworzona z dowolnego proszku metalu, o temperaturze topnienia wyższej od temperatury topnienia spoiw na osnowie cyny, ale który nie tworzy kruchych faz międzymetalicznych ze stopami aluminium i jest dobrze zwilżany przez spoiwa na osnowie cyny. Cała powierzchnia przeznaczona do procesu lutowania powinna być pokryta odpowiednią międzywarstwą, aby zapewnić jednolite właściwości złącza. Grubość międzywarstwy Cu, zasadniczo наносzonej na obydwa spajane materiały, jest dowolna, jednak korzystnym jest zastosowanie grubości powyżej 50 μm , co gwarantuje jej trwałość w procesie lutowania. Elementy przeznaczone do lutowania mogą być wykonane przede wszystkim ze stopów aluminium serii 6000 i kompozytów na osnowie grafitu.

Przedmiot wynalazku objaśniony jest w przykładzie realizacji i na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia elementy powstającego połączenia lutowanego.

Przykład 1

Sposób lutowania miękkiego stopów aluminium z materiałami kompozytowymi na osnowie grafitu polega na tym, iż powierzchnię pierwszego materiału nr 1 – stopu aluminium 6060 oczyszcza się mechanicznie lub chemicznie z tlenków i odtłuszcza. Następnie na tak przygotowaną powierzchnię stopu aluminium – materiału nr 1 nanosi się międzywarstwę metaliczną pierwszą nr 3 poprzez bombardowanie cząsteczkami metalu powierzchni stopu aluminium – materiału nr 1, w postaci proszku miedzi, transportowanego do palnika plazmowego przy natężeniu przepływu 20 g/min, w strumieniu gazu transportującego, w tym wypadku Argonu. Międzywarstwę metaliczną nr 3 w postaci proszku Cu o grubości powyżej 50 μm nanosi się na całej powierzchni przeznaczonej do wykonania połączenia lutowanego. Nanoszenie pierwszej międzywarstwy metalicznej nr 3 (lutowniczej) może odbywać się dowolną metodą natrysku ciepłego, najlepiej metodą ciepłego natryskiwania plazmą atmosferyczną (APS). Następnie powierzchnię drugiego materiału nr 2 – kompozyt na osnowie grafitu oczyszcza się mechanicznie z tlenków i odtłuszcza, po czym na tak przygotowane podłoże nanosi się również metodą APS międzywarstwę metaliczną drugą nr 4 stanowiącą warstwę proszku miedzi (warstwa lutownicza). Bezpośrednio po zakończeniu procesów nanoszenia na materiały 1, 2 międzywarstw 3, 4, na ich powierzchnie nanosi się topnik nr 5 i ustala się ich wzajemne położenie, po czym podgrzewa się je płomieniem propanowo-powietrznym do temperatury lutowania miękkiego w zakresie $183 \div 200^\circ\text{C}$, oraz dozuje się w miejsce połączenia miękkie spoiwo cynowe-ołowiowe S-Sn60Pb40 nr 6 w postaci drutu w celu uzyskania trwałego połączenia lutowanego.

Przykład 2

Sposób lutowania miękkiego stopów aluminium z materiałami kompozytowymi na osnowie grafitu przebiega jak w przykładzie 1 z tą różnicą, że warstwę metaliczną 3 наносzoną metodą APS na powierzchnię stopu aluminium – materiał nr 1 nanosi się z innego rodzaju proszku, tworzącego powłokę dobrze zwilżaną przez luty cynowe i nie tworzy kruchych faz międzymetalicznych ze stopami aluminium. Naniesiona warstwa metaliczna nie powinna być roztwarzana podczas końcowego lutowania miękkiego obydwu materiałów.

Przykład 3

Sposób lutowania miękkiego stopów aluminium z materiałami kompozytowymi na osnowie grafitu przebiega jak w przykładzie 1 z tą różnicą, że warstwę metaliczną nr 4 наносzoną metodą APS na powierzchnię kompozytu na osnowie grafitu – materiał nr 2 nanosi się z innego rodzaju proszku, który jest dobrze przyczepny do podłoża i łatwo zwilżany przez spoiwa na osnowie Sn.

Przykład 4

Sposób lutowania miękkiego stopów aluminium z materiałami kompozytowymi na osnowie grafitu przebiega jak w przykładzie 1 z tą różnicą, że grubość międzywarstwy metalicznej 3 naniesionej na powierzchnię stopu aluminium – metalu nr 1 wynosi 150 μm . Taka grubość międzywarstwy umożliwia uzyskanie poprawnego połączenia, nawet w przypadku częściowego roztwarzania podczas końcowego lutowania miękkiego.

Przykład 5

Sposób lutowania miękkiego stopów aluminium z materiałami kompozytowymi na osnowie grafitu przebiega jak w przykładzie 1 z tą różnicą, że grubość międzywarstwy metalicznej 4 nanoszonej metodą APS na powierzchnię materiału kompozytowego na osnowie grafitu metal nr 2 wynosi 30 μm . Taka grubość warstwy może okazać się wystarczająca podczas końcowego lutowania miękkiego cienkich i drobnych elementów, nagrzewanych szybko, tak że nie zdąży się ona rozpuścić podczas nagrzewania.

Przykład 6

Sposób lutowania miękkiego stopów aluminium z materiałami kompozytowymi na osnowie grafitu przebiega jak w przykładzie 1 z tą różnicą, że grubość międzywarstwy metalicznej 4 nanoszonej metodą APS na powierzchnię materiału kompozytowego na osnowie grafitu metal nr 2 wynosi 150 μm . Tak gruba warstwa metaliczna daje większe prawdopodobieństwo zachowania tej warstwy podczas końcowego lutowania miękkiego.

Przykład 7

Sposób lutowania miękkiego stopów aluminium z materiałami kompozytowymi na osnowie grafitu przebiega jak w przykładzie 1 z tą różnicą, że do lutowania miękkiego stopu aluminium z materiałami kompozytowymi na osnowie grafitu, po uprzednim naniesieniu międzywarstw 3, 4, dozuje się spoiwo cynowo-ołowiowe S-Sn60PB40 nr 6 w postaci pasty lutowniczej. Pasta lutownicza umożliwia łatwiejsze i wygodniejsze lutowanie w porównaniu z używaniem lutu w postaci drutu i osobnego topnika.

Przykład 8

Sposób lutowania miękkiego stopów aluminium z materiałami kompozytowymi na osnowie grafitu przebiega jak w przykładzie 1 z tą różnicą, że po uprzednim naniesieniu międzywarstw metalicznych 3, 4 dozuje się spoiwo cynowo-ołowiowe S-Sn60Pb40 nr 6 przy nagrzewaniu oporowym. Ten sposób nagrzewania w porównaniu z nagrzewaniem płomieniowym umożliwia szybsze nagrzewanie i łatwiejsze oprowadzenie procesu przez lutowacza.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób łączenia stopów aluminium z materiałami kompozytowymi na osnowie grafitu metodą lutowania miękkiego, w którym materiały, z których jeden stanowi stop aluminium, a drugi kompozyt na osnowie grafitu odtłuszcza się i oczyszcza się z tlenków, a następnie łączy się spoiwem w postaci lutu, w procesie lutowania miękkiego w temperaturze w zakresie $183 \div 200^{\circ}\text{C}$, **znamienny tym**, że przed wytworzeniem trwałego połączenia lutowanego miękkiego materiałów (1), (2) na, uprzednio odtłuszczonej oraz oczyszczonej z tlenków, powierzchnię jednego z materiałów (1) nanosi się metodą natryskiwania ciepłego plazmą atmosferyczną warstwę metaliczną z proszku metalu, która po procesie natryskiwania tworzy, naniesioną na tym metalu (1), warstwę metaliczną (3), a na powierzchnię drugiego materiału (2) nanosi się w procesie natryskiwania ciepłego warstwę metaliczną z proszku metalu, stanowiącą warstwę metaliczną (4) drugą, przy czym przed wytworzeniem trwałego połączenia lutowanego obie międzywarstwy pokrywa się topnikiem (5).
2. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że warstwę metaliczną (3) w postaci warstwy utworzonej z proszku metalu wytwarza się w procesie natryskiwania ciepłego plazmą atmosferyczną (APS).
3. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że do wytworzenia warstwy metalicznej (3) w postaci warstwy utworzonej z proszku metalu używa się proszku miedzi.
4. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że warstwę metaliczną (4) w postaci warstwy utworzonej z proszku miedzi (4).
5. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że warstwę metaliczną (3) w postaci warstwy utworzonej z proszku metalu wytwarza się o grubości nie mniejszej niż 50 μm .
6. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że warstwę metaliczną (4) w postaci warstwy utworzonej z proszku metalu wytwarza się o grubości nie mniejszej niż 50 μm .
7. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że warstwę metaliczną (3) w postaci warstwy utworzonej z proszku metalu nanosi się na powierzchnię stopu aluminium, a warstwę metaliczną (4) nanosi się na powierzchnię kompozytu na osnowie grafitu.

8. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że do lutowania miękkiego stopu aluminium z kompozytem na osnowie grafitu, po uprzednim naniesieniu międzywarstw (3, 4), dozuje się spoiwo cynowo-ołowiowe S-Sn60Pb40 (6) w postaci pasty lutowniczej.
9. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że do lutowania miękkiego stopu aluminium z kompozytem na osnowie grafitu, po uprzednim naniesieniu międzywarstw (3, 4), dozuje się spoiwo cynowo-ołowiowe S-Sn60Pb40 (6) przy nagrzewaniu oporowym.

Rysunek



Fig. 1