

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **239793**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **430852**

(22) Data zgłoszenia: **09.08.2019**

(51) Int.Cl.

**B06B 1/00 (2006.01)**

**B06B 1/02 (2006.01)**

**B06B 3/00 (2006.01)**

---

(54) **Elektroda przyłączeniowa zasilającego układu wysokoprądowego  
do układu ultradźwiękowego**

---

(43) Zgłoszenie ogłoszono:  
**22.02.2021 BUP 04/21**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:  
**10.01.2022 WUP 02/22**

(73) Uprawniony z patentu:

**ŹRODOWSKI ŁUKASZ, Gdańsk, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**ŁUKASZ ŹRODOWSKI, Gdańsk, PL**  
**MATEUSZ OSTRYSZ, Wiązowna, PL**  
**WOJCIECH ŁACISZ, Warszawa, PL**  
**ANNA STRÓŻ, Góra Kalwaria, PL**

---

**PL 239793 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest elektroda przyłączeniowa zasilającego układu wysokoprądowego do układu ultradźwiękowego.

Dynamiczny rozwój zaawansowanych materiałów coraz częściej wymusza stosowanie hybrydowych metod wytwarzania, które powstają poprzez połączenie technik znanych i stosowanych dotychczas. Przykładem są metody spajania, w których poza przepływem prądu o wysokim natężeniu (zgrzewanie oporowe, spawanie łukowe) materiał jest pobudzany wibracjami o częstotliwości ultradźwiękowej. Synergiczny efekt wyładowania i drgań pozwala osiągnąć rewelacyjne właściwości złączy (Umair Shah, Xun Liu; Effects of ultrasonic vibration on resistance spot welding of transformation induced plasticity steel 780 to aluminum alloy AA6061; Materials & Design 2019), ale praktyczna implementacja techniki hybrydowej jest ciągle daleka od komercyjnych zastosowań.

Istotnym problemem jest połączenie układu wysokoprądowego i ultradźwiękowego, które musi spełniać jednocześnie wymagania obydwu układów, tj. zapewnić minimalny opór elektryczny, wysoką sztywność i izolację układu prądowego od drgań układu ultradźwiękowego.

W urządzeniach wykorzystujących wibracje ultradźwiękowe o wysokiej intensywności (zgrzewarki ultradźwiękowe, sonikatory, noże ultradźwiękowe) elementy łączące układ ultradźwiękowy z resztą urządzenia nazywa się falowodem lub *boosterem*. Najczęściej składa się z polimerowych o-ringów ściśniętych przez metalowy korpus w miejscu minimalnych drgań osiowych (węzeł fali stojącej). Takie rozwiązanie opisano na przykład w dokumencie patentowym US4647336. Korpus mocujący w tym przypadku jest izolowany elektrycznie od falowodu, dlatego nie może być wykorzystany do połączenia z układem wysokoprądowym.

Innym sposobem mocowania układu ultradźwiękowego jest zastosowanie sztywnego kołnierza sprężynującego jak opisano np. w dokumencie patentowym US5590866. Pozwala to przenieść jednocześnie wysokie obciążenie osiowe do układu drgającego, jak i prąd o umiarkowanym natężeniu. W tym przypadku elementem mocującym jest sprężyna podatna w kierunku promieniowym, a sztywna w kierunku osiowym. Wykonane w ten sposób mocowanie ma zazwyczaj grubość ścianki poniżej 2 mm. Ze względu na ograniczony przekrój i wysoki opór właściwy materiału falowodu (tytan Grade 5 – ok. 1% IACS), połączenie wykonane w ten sposób ma ograniczone zastosowanie, tj. nie nadaje się do wykorzystania w trybie ciągłym przy przepływie więcej niż 200 A. Przy prądach o natężeniach przekraczających wskazaną wartość materiał w tym miejscu ulega znacznemu nagrzananiu, zmienia częstotliwość rezonansową układu i zwiększa straty mechaniczne.

Jeszcze inną metodą mocowania układu ultradźwiękowego jest zastosowanie osiowo podatnej płyty w strzałce fali stojącej, tj. w miejscu łączenia falowodu z przetwornikiem i w miejscu łączenia falowodu z sonotrodą. Rozwiązanie takie zostało zaprezentowane w dokumencie patentowym U53752380. Zapewnia to wysoką sztywność w kierunku promieniowym i niską sztywność w kierunku osiowym. Z tego powodu jest to jedno z rozwiązań stosowanych w układach ultradźwiękowych poddawanych obciążeniom prostopadłym do osi układu ultradźwiękowego, np. w układach do ultradźwiękowego zgrzewania metali. Alternatywnie, płyta zamontowana w strzałce fali może być osiowosymetryczna jak opisano w US3955740 i/lub US5976316. W każdym przypadku mocowanie na strzałce fali stojącej oparte jest o płaską płytkę z materiału o niskiej impedancji akustycznej (np. tytanu) i ma za zadanie przeniesienie wysokich obciążeń prostopadłych do osi układu ultradźwiękowego, a nie przenoszenie prądu. Ze względu na wymaganą niską sztywność płyty w kierunku osiowym, jej grubość mieści się zazwyczaj poniżej 0,5 mm, co również zwiększa opór elektryczny układu.

Wszystkie ww. rozwiązania służą zapewnieniu docisku układu ultradźwiękowego do materiału obrabianego, przy jednoczesnym zachowaniu niskich strat na tarcie między elementami maszyny. Wymusza to stosowanie cienkościennych elementów sprężynujących z materiałów stosowanych tradycyjnie w technice ultradźwiękowej (tytan i stal). Niewielki przekrój i wysoki opór właściwy stosowanych materiałów sprawiają, że w omawianych technologiach hybrydowych, ww. elementy mocujące (*boostery*) nie są w stanie dobrze spełnić swojej drugiej roli jako elementu przyłączeniowego o niskim oporze elektrycznym.

Celem wynalazku jest rozwiązanie problemu przegrzewania się układu ultradźwiękowego, szczególnie elementów mocujących, poddanego działaniu prądu o wysokim natężeniu.

Elektroda przyłączeniowa zasilającego układu wysokoprądowego do układu ultradźwiękowego, którego elementy wibrujące połączone są łącznikiem śrubowym według wynalazku składa się z diafragmy wykonanej z materiału o przewodności elektrycznej IACS powyżej 20%, sztywności mniejszej lub równej 10 kN/mm w kierunku osiowym układu ultradźwiękowego i zamocowanej co najmniej

w dwóch miejscach, z czego w pierwszym miejscu ściśnięta jest między elementami układu ultradźwiękowego połączonymi łącznikiem śrubowym, a w drugim miejscu połączona jest do wysokoprądowego układu zasilającego. Jednocześnie przewodność poniżej 20% IACS sprawia, że opór elektrody jest na tyle wysoki, że nie spełnia swojej funkcji.

Dzięki takiej konfiguracji powstaje droga swobodnego przepływu prądu, przez co natężenie prądu płynącego przez elektrodę przyłączeniową według wynalazku jest wielokrotnie wyższe niż natężenie prądu płynącego przez inne elementy układu, które cechują się wyższym oporem elektrycznym. Rozwiązuje to problem nakreślony w stanie techniki, gdyż w połączeniu z klasycznymi elementami mocującymi pozwala to zachować jednocześnie wszystkie wymagania układu hybrydowego, tj. niski opór elektryczny, wysoką sztywność i niskie straty mechaniczne. Dodatkowo elektroda przyłączeniowa stanowi dla elementów ultradźwiękowych radiator o rozwiniętej powierzchni, chłodząc jednocześnie resztę układu.

Korzystnie diafragma może być wykonana w postaci karbowanego pasa. Rozwiązanie to jest szczególnie przydatne w przypadku wykorzystania sonotrod o wysokim stopniu wzmocnienia i ograniczonej przestrzeni pracy, ponieważ pozwala zredukować wymiary układu.

Korzystnie diafragma może być wykonana w postaci pofalowanej płyty. Rozwiązanie to jest szczególnie przydatne w przypadku przenoszenia bardzo wysokich prądów, np. przy rozładowaniu baterii kondensatorów przez układ ultradźwiękowy. Ponieważ diafragma pracuje w kierunku osiowym, to sposobem na zmniejszenie jej sztywności i strat mechanicznych, bez zmniejszania przekroju (i tym samym zwiększenia oporu elektrycznego) jest wprowadzenie wytłoczeń (falistości) na jej powierzchni. Diafragma w tej postaci ma niską sztywność w kierunku osiowym jak i promieniowym, co pozwala zwiększyć jej grubość i zapewnić mniejszy opór elektryczny układu.

Korzystnie elektroda wykonana jest ze stopów miedzi typu Ampcoloy lub stopów aluminium serii 7000. Materiały te są predestynowane w rozwiązaniu według wynalazku ze względu na wysoką sztywność i niski opór właściwy.

Korzystnie elektroda chłodzona jest przepływającym medium. Pozwala to dodatkowo odebrać stratne ciepło i w przypadku zastosowania na diafragmę materiału o wysokiej przewodności cieplnej – wychłodzić elementy ultradźwiękowe. W zależności od obciążenia prądowego medium chłodzącym może być gaz, np. powietrze, lub ciecz, np. woda demineralizowana. Zastosowanie dodatkowego chłodzenia pozwala odebrać ciepło wydzielone na skutek przepływu prądu przez diafragmę i elementy układu, oraz dodatkowo odebrać ciepło wydzielone na skutek strat mechanicznych i ciepło przekazane od materiału obrabianego. Dodatkowym elementem uczestniczącym w odprowadzaniu nadmiaru ciepła jest diafragma, funkcjonująca również jako radiator względem elementów układu ultradźwiękowego.

Przedmiot wynalazku został przedstawiony w przykładach, w którym Fig. 1 przedstawia układ ultradźwiękowy z podłączeniem układu wysokoprądowego według stanu techniki, Fig. 2 przedstawia układ ultradźwiękowy z podłączeniem układu ultradźwiękowego według wynalazku, Fig. 3a przedstawia elektrodę przyłączeniową z diafragmą w postaci karbowanej taśmy w układzie ultradźwiękowym. Fig. 3b przedstawia elektrodę przyłączeniową z diafragmą w postaci karbowanej taśmy. Fig. 4 przedstawia elektrodę przyłączeniową z diafragmą w postaci falowanej osiowosymetrycznej płyty.

Elektroda przyłączeniowa według wynalazku może stanowić element dołączony do układu ultradźwiękowego znanego w stanie techniki. Układ według stanu techniki został przedstawiony na Fig. 1. Przetwornik 101 jest połączony z falowodem 102 wyposażonym w sztywny kołnierz mocujący 103. Falowód 102 połączony jest z sonotrodą 104 wyposażoną w końcówkę roboczą 105. Wszystkie elementy układu drgającego połączone są łącznikami śrubowymi 106. Zasilający układ wysokoprądowy 107 połączony jest do falowodu 102 przez sztywny kołnierz 103, oraz do elementu obrabianego 108. Elementy aktywne (wibrujące) stanowi przetwornik, falowód, sonotrodą i końcówka robocza. Znanca w dziedzinie układów ultradźwiękowych o wysokiej mocy z łatwością proponuje równoważne układy, w tym inne niż osiowosymetryczne.

Przedmiot wynalazku został ukazany w przykładach wykonania na rysunku, na którym Fig. 2 przedstawia układ ultradźwiękowy, którego częścią są elektrody według wynalazku. Przetwornik 101 jest połączony z falowodem 102 wyposażonym w sztywny kołnierz mocujący 103. Falowód 102 połączony jest z sonotrodą 104 wyposażoną w końcówkę roboczą 105. Wszystkie elementy układu drgającego połączone są łącznikami śrubowymi 106, układ wysokoprądowy 107 jest połączony do elementu obrabianego 108 i elektrod przyłączeniowych 109 według wynalazku.

Przetwornik 101 falowód 102 z kołnierzem 103 i sonotrodą 104 są wykonane ze standardowych materiałów znanych w technice, np. stopu tytanu grade 5, który zapewnia wysoką sprawność mechaniczną układu. Końcówka robocza 105 wykonana jest z czystego wolframu w celu zapewnienia wysokiej

odporności termicznej i w celu zapobieżenia przegrzewania materiału obrabianego 108 do układu ultradźwiękowego. Łączniki śrubowe 106 stanowią standardowy element łączący elementy układu ultradźwiękowego, łączniki wykonane są również ze stopu tytanu grade 5 i mają formę śruby M10×1. Układ zasilający wysokoprądowy 107 może stanowić źródło transformatorowe inwertorowe lub baterię kondensatorów, lub inne źródła stosowane rutynowo w technice spawalniczej. Element obrabiany 108 jest dowolnym materiałem poddawany jednocześnie działaniu prądu o wysokim natężeniu i działaniu wibracji ultradźwiękowych.

Elektroda przyłączeniowa 109 według wynalazku składa się z diafragmy wykonanej z materiału o przewodności elektrycznej powyżej 20% IACS, sztywności w kierunku osiowym mniejszej lub równej 10 kN/mm. Sztywność diafragmy jest regulowana przez grubość materiału oraz stopień jej pofalowania. Sztywność diafragmy w kierunku osiowym większa niż 10 kN/mm sprawia, że drgania z układu ultradźwiękowego przenoszą się na obudowę i układ wysokoprądowy, dlatego przy doborze diafragmy do danego układu należy dążyć do obniżenia tej wartości.

Elektroda przyłączeniowa 109 znajduje się w odległości mniejszej lub równej 20 mm od strzałki fali i pomiędzy kolejnymi elementami układu ultradźwiękowego połączonymi łącznikiem śrubowym 106. W typowym układzie ultradźwiękowym składającym się z przetwornika 101, falowodu 102, sonotrody 104 i końcówki roboczej 105 można wyróżnić trzy miejsca predestynowane do zamocowania diafragmy, tj. pomiędzy przetwornikiem 101 a falowodem, między falowodem a sonotrodą i między sonotrodą a końcówką roboczą. Właściwy układ może zawierać dowolną kombinację tych rozwiązań, np. jedną elektrodę przy końcówce roboczej 105 lub w każdym możliwym miejscu mocującym. Znacząca z łatwością również zaproponuje układ zawierający wiele falowodów i dodatkowe miejsca mocujące na elektrody przyłączeniowe według wynalazku.

Element mocujący elektrody przyłączeniowej stanowi miejsce podłączenia układu wysokoprądowego (najczęściej przewodu lub taśmy miedzianej) do układu ultradźwiękowego. Koniec diafragmy połączony z elementem mocującym przenosi minimalne drgania od układu ultradźwiękowego i prąd o wysokim natężeniu, w związku z tym istnieje ryzyko związane z utratą kontaktu i wyiskrzaniem pomiędzy diafragmą a elementem mocującym. Dlatego element mocujący składa się co najmniej z dwóch części, pomiędzy którymi ściśnięta jest diafragma. Element mocujący może być połączony w sposób trwały do diafragmy np. przylutowany do diafragmy lutem srebrnym. Element mocujący może być połączony mechanicznie z resztą układu np. stanowiąc część obudowy układu ultradźwiękowego.

Elektroda przyłączeniowa według pierwszego przykładu wykonania przedstawiona jest na Fig. 3a i 3b. Elektroda przyłączeniowa według przykładu zbudowana jest na bazie diafragmy z pofalowanej taśmy 309 ze stopu aluminium 7070 o grubości 1 mm. Wzdłużny przekrój taśmy na przebieg sinusoidalny z amplitudą 2 mm. Elektroda mocowana jest pomiędzy sonotrodą 104 a końcówką roboczą 305 stanowiącą jednocześnie łącznik śrubowy i z drugiej strony za pomocą dwóch elementów dociskowych 310 wykonanych z mosiądzu M60 dołączonych do układu wysokoprądowego 107.

Elektroda według drugiego przykładu wykonania przedstawiona jest na Fig. 4. Elektroda przyłączeniowa według przykładu zbudowana jest na bazie osiowosymetrycznej tłoczzonej diafragmy 409 ze stopu Ampcoloy 972 o grubości 2 mm. Promieniowym przekrój diafragmy ma przebieg sinusoidalny z amplitudą 1 mm. Elektroda mocowana jest pomiędzy falowodem a sonotrodą przez ściśnięcie łącznikiem śrubowym, a po stronie zewnętrznej za pomocą kołnierza 410 w standardzie ISO-K 100 wykonanego z brązu berylowego, do którego przyłączony jest układ wysokoprądowy 107.

Elektroda według trzeciego przykładu zbudowana jest, podobnie jak w przykładzie drugim, na bazie osiowosymetrycznej tłoczzonej diafragmy ze stopu Ampcoloy 972 o grubości 2 mm. Promieniowy przekrój diafragmy ma przebieg sinusoidalny z amplitudą 1 mm. Elektroda mocowana jest pomiędzy przetwornikiem a falowodem przez ściśnięcie łącznikiem śrubowym i z drugiej strony za pomocą kołnierza w standardzie ISO-K 100 wykonanego z brązu berylowego, do którego przyłączony jest układ wysokoprądowy. Ponadto diafragma jest trwale połączona z kołnierzem za pomocą lutu srebrnego. Diafragma jest chłodzona od strony falowodu przez wymuszony przepływ wody demineralizowanej o wydatku 2 l/min zapewniając chłodzenie przetwornikowi.

Elektroda według wynalazku rozwiązuje problem nakreślony w stanie techniki, gdyż dzięki rozdzieleniu funkcji mocowania mechanicznego i przyłącza elektrycznego pozwala zredukować nagrzewanie się układu hybrydowego bez zmiany jego właściwości mechanicznych. Pozwala to stworzyć praktyczny układ spawalniczy wykorzystujący jednocześnie przepływ prądu o wysokim natężeniu jak i wibracje ultradźwiękowe.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Elektroda przyłączeniowa zasilającego układu wysokoprądowego do układu ultradźwiękowego, którego elementy wibrujące połączone są łącznikiem śrubowym, **znamienna tym**, że składa się z diafragmy wykonanej z materiału o przewodności elektrycznej IACS powyżej 20%, sztywności mniejszej lub równej 10 kN/mm w kierunku osiowym układu ultradźwiękowego i zamocowanej co najmniej w dwóch miejscach, z czego w pierwszym miejscu ściśnięta jest między elementami układu ultradźwiękowego połączonymi łącznikiem śrubowym, a w drugim miejscu połączona jest do wysokoprądowego układu zasilającego.
2. Elektroda wg zastrzeżenia 1, **znamienna tym**, że diafragma zbudowana jest w postaci karbowanej taśmy.
3. Elektroda według zastrzeżenia 1, **znamienna tym**, że diafragma zbudowana jest w postaci pofalowanej płyty.
4. Elektroda według zastrzeżenia 1, **znamienna tym**, że diafragma chłodzona jest co najmniej z jednej strony przez przepływające medium chłodzące.
5. Elektroda według zastrzeżenia 4, **znamienna tym**, że diafragma chłodzona jest wodą demineralizowaną.
6. Elektroda według zastrzeżenia 1, **znamienna tym**, że diafragma wytwarzana jest ze stopów typu Ampcoloy lub stopów aluminium serii 7000.

## Rysunki

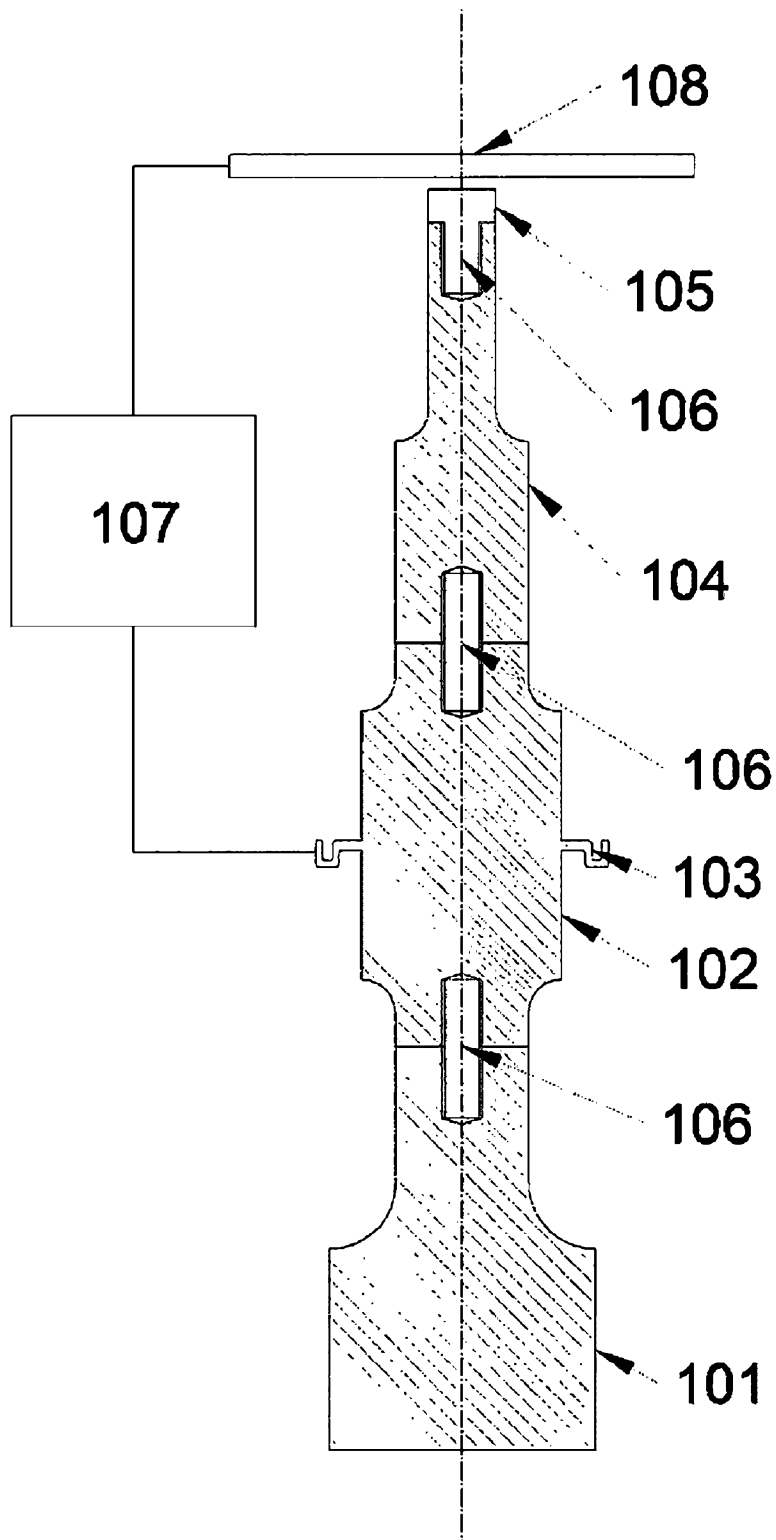


Fig. 1

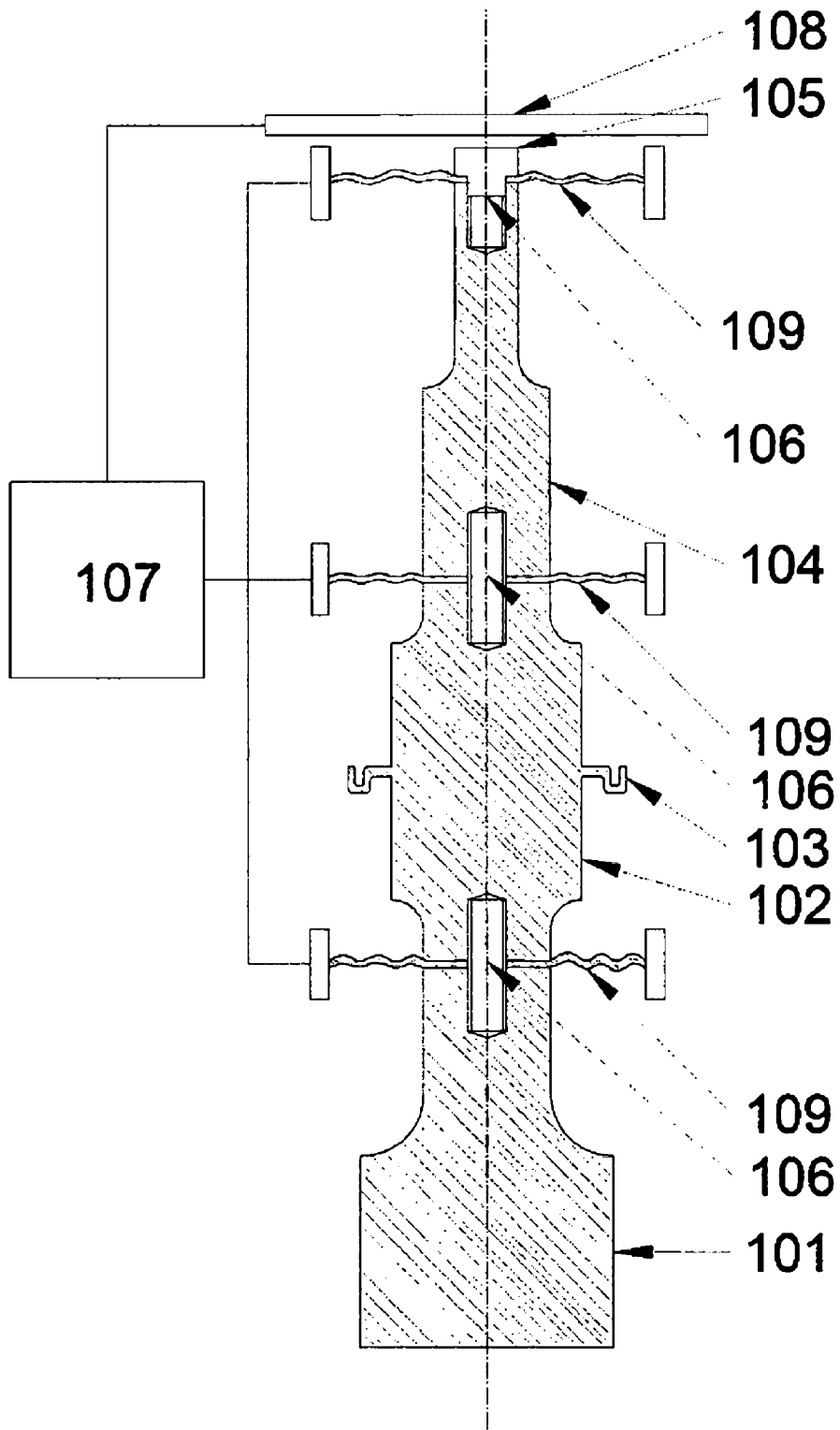


Fig. 2

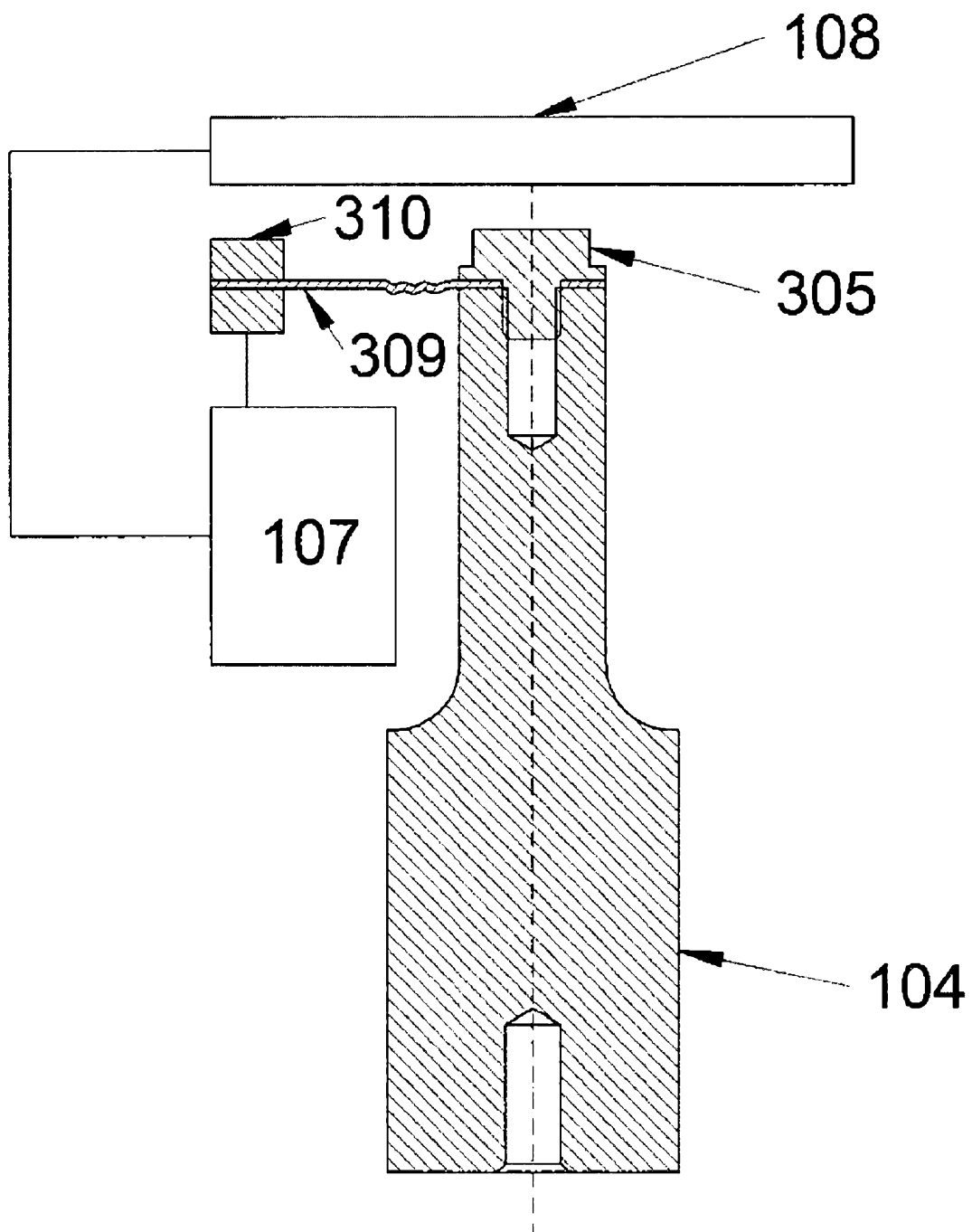


Fig. 3a

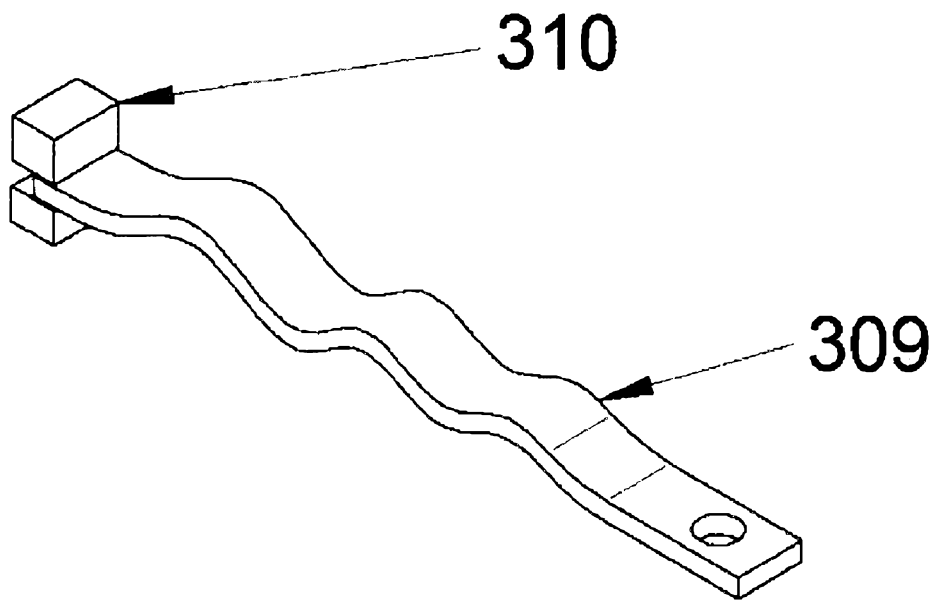


Fig. 3b

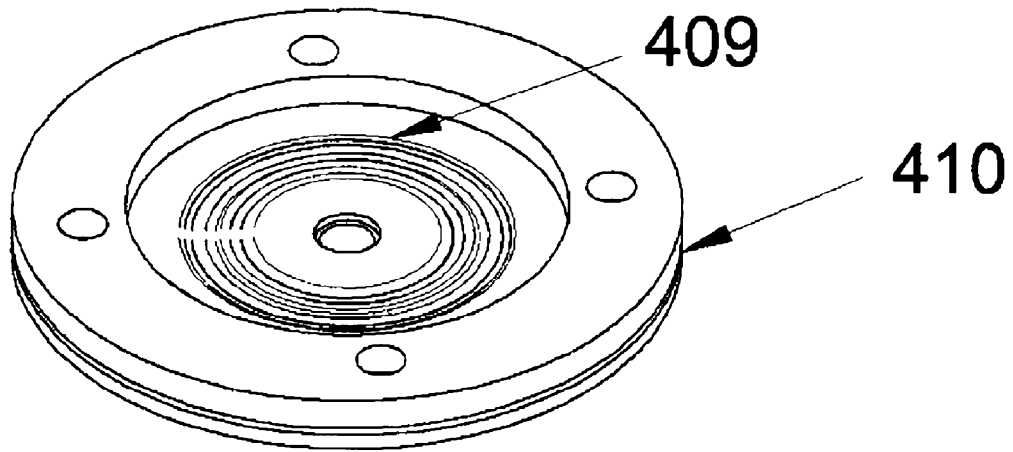


Fig. 4