RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **234940**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **425995**

(22) Data zgłoszenia: **20.06.2018**

(51) Int.Cl.
F02M 65/00 (2006.01)
F02M 61/16 (2006.01)
G01L 5/00 (2006.01)

(54) **Sposób i urządzenie pomiaru maksymalnej siły tarcia między korpusem a iglicą rozpylacza wtryskiwacza tłokowych silników spalinowych**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
02.01.2020 BUP 01/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
18.05.2020 WUP 05/20

(73) Uprawniony z patentu:
AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE, Szczecin, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
JAN MONIETA, Szczecin, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Rafał Malujda

PL 234940 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób i urządzenie przeznaczone do pomiaru siły tarcia między korpusem a iglicą rozpylaczy wtryskiwaczy tłokowych silników spalinowych środków transportowych i stacjonarnych o znacznych wartościach.

Podczas eksploatacji środka transportowego napędzanego silnikiem spalinowym istotne jest możliwie niewielkie zużycie paliwa i ograniczenie emisji toksycznych składników spalin. Jedną z metod jest minimalizacja strat tarcia na etapie projektowania, wytwarzania i eksploatacji silnika spalinowego m.in. w węzłach tarcia, w tym w aparaturze wtryskowej. Dlatego jest potrzeba jej pomiaru w tych fazach istnienia. Przyrost mocy tarcia jest istotną miarą procesów zużycia zachodzących w węzłach tribologicznych i jest czynnikiem determinującym efektywność maszyn [Bielawski P.: *Diagnozowanie maszyn z wykorzystaniem tarcia*. Diagnostyka 2003, vol. 29, s. 15–20]. Charakterystyka systemów smarowania i ilościowe określenie strat tarcia są bardzo ważnymi czynnikami w projektowaniu trwałych silników spalinowych o zwiększonej oszczędności paliwa [Fadel, C., Chalhoub, N. G., Kfoury, G. A.; et al.: *Direct measurement of the piston-assembly friction force in a single cylinder engine under motoring conditions*. 1st Annual Dynamic Systems and Control Conference (DSC 2008), oct., 2008, Ann Arbor, 20–22].

Ze zgłoszeń EP236887 A2 i US20020109021 znane są rozwiązania, które podają jedynie sposób redukcji siły tarcia w rozpylaczach wtryskiwaczy. Z kolei z dokumentu patentowego US6976389 B2 znany jest sposób określania ciśnienia otwarcia dyszy wtryskiwacza i układ do realizacji tego sposobu, który informuje, że tarcie, które powstaje w procesie będzie stanowiło zmienną zakłóceń określenia tego ciśnienia, zmniejszając dokładność pomiaru. W artykule [Karczewski M., Szczęch L.: *Pomiary oporów wewnętrznych silnika spalinowego*. Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej 2013 nr 2 (193), s. 27–49] przedstawiono metodykę oraz wyniki pomiarów oporów wewnętrznych silnika o zapłonie samoczynnym. Określono opory ruchu wprowadzane przez poszczególne układy funkcjonalne: tłokowo-korbowy, wymiany ładunku, zasilania, chłodzenia, smarowania oraz automatycznego sterowania i kontroli związane bezpośrednio z pracą silnika, a także określono procentowy udział strat mocy na napęd poszczególnych układów silnika. Urządzenie według wynalazku w dokumencie patentowym WO 2003036249 A1 jest przeznaczone do mierzenia siły obciążenia i siły tarcia w układzie tribologicznym. Urządzenie zawiera zespół dwóch wrażliwych na odkształcenia czujników w dwóch przeciwnych kierunkach dla wyeliminowania braku równowagi w systemie pomiarowym, gdy używany jest pojedynczy czujnik. Każdy czujnik zawiera odkształcalną wiązkę mającą przelotowe podłużne szczeliny rozciągające się w różnych i nierównoległych kierunkach oraz zachodzące na siebie w korpusie belki. Każdy czujnik odkształca się w jednym kierunku pod działaniem siły nośnej, a przeciwdziałanie odbywa się pod wpływem siły tarcia mierzonej przez kolejne dwie pary tensometrów usytuowanych po przeciwnych stronach wiązki w pobliżu drugiego końca belki. Dwa czujniki są umieszczone między dwiema płytkami w pozycjach ukośnie symetrycznych, tak, aby przenosić siły między dwiema płytkami i jednocześnie zapewniać ograniczoną swobodę ruchu między obydwoma płytkami i aby umożliwić odkształcenia wywołane przez przykładane siły. Tester pomiaru tarcia i charakterystyki zużycia próbek do badań mających kontakt cierny znany z dokumentu patentowego US 5795990 A ma poziomą podstawę z pionową kolumną, która podtrzymuje pionowe prowadnice do kierowania wózka oraz obrotowy mechanizm napędowy dla górnej próbki, która jest zamocowana koncentrycznie w uchwycie i sprzęga się z dolną próbką podtrzymywaną przez wymienną misę. Tester wyposażony jest również w skomputeryzowany system pomiarowy do precyzyjnych pomiarów charakterystyk, które mają być prowadzone. Główną cechą testera według wynalazku jest to, że elastyczne połączenie, które może mieć, co najmniej jeden stopień swobody (korzystnie trzy), jest zainstalowane w łączniku między obrotową jednostką ruchu a uchwytem do mocowania górnej próbki. Górna próbka jest ustalana w sposób samo wyrównujący tak, że jej płaska powierzchnia robocza jest zawsze utrzymywana w pełnym kontakcie powierzchnia – powierzchnia z dolną próbką. Zapewnienie elastycznego połączenia między jednostką napędową i strefą kontaktu ciernego umożliwia zmniejszenie ścisłości wymogu dokładności wykonania prowadnic i innych części testera. Zastosowano zestaw trójwymiarowych czujników siły, rozmieszczonych na jednej stronie podpory US 7584645 B2. Każdy z sygnałów wyjściowych z czujników sygnalizuje obecność siły wywieranej przez obiekt na ten czujnik. Elektroniczna jednostka przetwarzająca określa składowe sił przyłożonych do czujników przez obiekt, a także wysyła względną prędkość styczną, co najmniej z jednego punktu na obiekcie, który styka się z jednym z czujników i punktem, w którym element składowy siły przyłożony jest przez obiekt na tym czujniku i normalna do powierzchni podpory jest maksymalna. Urządzenie do pomiaru siły tarcia US 20040099059 A1, które mierzy ją między nieruchomym elementem

przymocowanym do głównego korpusu magnetycznego napędu taśmowego i taśmą magnetyczną przecierającą nieruchomy element, charakteryzuje się tym, że jest wyposażone w detektor wibracyjny, który jest połączony z nieruchomym elementem i otoczeniem. Podczas ścierania taśmy magnetycznej z nieruchomego elementu, urządzenie obliczające wyznacza siłę tarcia między nieruchomym elementem a taśmą magnetyczną w oparciu o sygnał z detektora drgań. Uniwersalny tester cierny do badania tribologicznych właściwości materiałów obejmuje ramę z wózkiem przesuwanym w pionowych prowadnicach i podtrzymującą przesuwny ruch w kierunku poziomym US 6418776 B1. Suwak podtrzymuje nieruchomą górną próbkę, którą sprzęga się z ruchomą dolną próbką, umiejscowioną w wymiennym module mocowanym do podstawy płyty ramy. Moduły mogą być obrotowe, posuwisto-zwrotne, blokowane pierścieniem lub dowolnym innym elementem, wymaganym w różnych warunkach testowych. Badanie można również przeprowadzić przy ogrzewaniu lub przy dostawie oleju w strefie kontaktu między próbkami.

Istota sposobu pomiaru maksymalnej wartości siły tarcia między korpusem rozpylacza 13 a iglicą rozpylacza 5 wtryskiwacza tłokowych silników spalinowych według wynalazku polega na tym, że mocuje się do korpusu rozpylacza 13 i wystającego z korpusu fragmentu czopa iglicy rozpylacza 5 uchwyty 4 i 6 połączone przez uchwyt górny 2 i wałek przedłużający 7 z płytą górną 1 oraz dolną 10 maszyny do badań wytrzymałości próbek na rozciąganie, do iglicy rozpylacza 5 przykłada się za pomocą maszyny do badań wytrzymałości próbek na rozciąganie dodatkową siłę pokonującą opory tarcia, którą zwiększa się od 0 do zarejestrowanych aktualnych przebiegów wartości siły rozciągającej przyłożonej do korpusu i iglicy rozpylacza zaś pomiar maksymalnej siły tarcia odbywa się po umyciu rozpylacza w rozpuszczalniku mineralnym i doprowadzeniu do części prowadzących środka smarowego, przy czym pomiarowi podlega maksymalna wartość siły na jej przebiegu w zależności od przemieszczenia. Korzystnie środkiem smarowym jest paliwo lub olej używany do prób rozpylaczy o takich samych własnościach smarujących. Równie korzystnie pomiaru maksymalnej siły tarcia dokonuje się, w co najmniej czterech kolejnych położeniach iglicy względem korpusu rozpylacza, stopniowanych co 90°.

Istotą urządzenia do pomiaru maksymalnej siły tarcia między korpusem rozpylacza 13 a iglicą rozpylacza 5 tłokowych silników spalinowych według wynalazku jest to, że posiada uchwyt 4 oraz zamocowany za pomocą trzech wkrętów 15 uchwyt 6 składający się z metalowego korpusu w kształcie walca z wywierconym osiowo walcowym otworem o średnicy zapewniającej swobodne wsunięcie metalowego korpusu czopa 17 iglicy 5 rozpylacza, które to uchwyty połączone są przez uchwyt 2 i wałek przedłużający 7 z płytą górną 1 oraz dolną 10 maszyny do badań wytrzymałości próbek na rozciąganie, gdzie uchwyt 4 posiada osiowy otwór, w którym umieszcza się koncentrycznie korpus rozpylacza 13 oraz trzy nagwintowane otwory rozmieszczone co 120°, w które wkręca się trzy śruby 14, które wkręca się na taką głębokość, aby ograniczyć wysuwanie korpusu rozpylacza 13 po przyłożeniu siły. Korzystnie, w uchwycie 6 wykonuje się w metalowym korpusie czopa iglicy 17 rozpylacza zapobiegający poślizgowi obwodowy kanalik 18 o przekroju półkola, w którym umieszcza się trzy stalowe kulki 16. Równie korzystnie stalowe kulki 16 umieszczone są częściowo w obwodowym kanale 18, a częściowo w rozmieszczonych, co 120° otworach za pomocą śrub 14. Dodatkowo korzystnie, stalowe kulki 16 powinny posiadać wytrzymałość na ściskanie nie mniejszą niż na 1250 MPa oraz wytrzymałość na ścinanie nie mniejszą niż 800 MPa.

Celem wynalazku jest skonstruowanie urządzenia i opracowanie sposobu oceny stanu technicznego rozpylaczy wtryskiwaczy na etapie wytwarzania i obsługiwania.

Podstawową zaletą osiąganą dzięki wynalazkowi jest możliwość ilościowego wyznaczania siły tarcia, jako jednej z mierzalnych istotnych cech stanu technicznego rozpylaczy wtryskiwaczy silników spalinowych, zwłaszcza o znacznej wartości. Dotychczas brak było dostatecznej wiedzy i technicznych rozwiązań na temat sposobów i urządzeń do pomiaru siły tarcia między korpusem a iglicą rozpylaczy wtryskiwaczy. Dodatkowo umożliwia wymontowanie trudno demontowanej iglicy z korpusu rozpylacza. Wynalazek może znaleźć swoje zastosowanie, gdy użycie innych rozwiązań może być nieskuteczne, ze względu na poślizg lub zbyt małe wymuszenie. Takie przypadki występują przy błędach parowania korpusów i iglic, prowadzące do połączeń wtłaczanych, występowaniu korozji i utleniania między korpusem a iglicą rozpylacza, obecności znacznych zanieczyszczeń itp. Dotychczas w czasie prób odbiorczych rozpylaczy wtryskiwaczy sprawdzano tylko, czy siła tarcia między korpusem a iglicą jest mniejsza od siły wynikającej ze składowej siły ciężkości, czy nie, co opisuje literatura [Piaseczny L., *Technologie naprawy okrętowych silników spalinowych*. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1992, s. 394–395].

Przedmiot wynalazku jest uwidoczniony w przykładzie wykonania na rysunkach, gdzie fig. 1 przedstawia urządzenie do pomiaru siły tarcia w maszynie do badania wytrzymałości próbek na rozciąganie, fig. 2 – korpus rozpylacza z iglicą w uchwycie, fig. 3 – iglicę rozpylacza w uchwycie, fig. 4 – iglicę w przypadku braku wystąpienia poślizgu czopa iglicy (17) w uchwycie iglicy rozpylacza, fig. 5 – iglicę rozpylacza adoptowaną w uchwycie, fig. 6 – adoptowaną iglicę w przypadku wystąpienia poślizgu czopa iglicy (17) w uchwycie (6), fig. 7 – przykładowy zarejestrowany przebieg siły tarcia w zależności od drogi tarcia. Oznaczenia na rysunkach oznaczają kolejno: 1 – płyta górna, 2 – uchwyt górny, 3 – śruba napędowa, 4 – uchwyt iglicy rozpylacza, 5 – iglica rozpylacza, 6 – uchwyt, 7 – wałek przedłużający, 8 – uchwyt, 9 – podstawa, 10 – płyta dolna, 11 – otwór, 12 – czop iglicy rozpylacza, 13 – korpus rozpylacza, 14 – śruby, 15 – wkręty, 16 – stalowe kulki, 17 – czop iglicy rozpylacza, 18 – wykonany obwodowy rowek w iglicy rozpylacza.

Na wartość maksymalnej siły tarcia między korpusem a iglicą rozpylacza ma wpływ stan współpracujących powierzchni oraz ich wzajemne usytuowanie, zanieczyszczenia itp. Dlatego korzystnym jest, gdy pomiar siły tarcia odbywa się po umyciu rozpylacza w rozpuszczalniku mineralnym, a następnie osuszeniu i przedmuchaniu sprężonym powietrzem. Dokonuje się wyznaczenia siły tarcia przez umieszczenie iglicy rozpylacza nasmarowanej paliwem lub olejem, w korpusie rozpylacza, o takich samych własnościach smarujących jak w środowisku pracy. Część prowadząca iglicy powinna się całkowicie wysunąć z korpusu rozpylacza, aż do chwili, gdy znajdzie się poza powierzchnią czołową korpusu rozpylacza (fig. 3). Stopniowe zwiększanie składowej siły tarcia, od wartości 0 do maksymalnej, realizuje się za pomocą sterowania maszyny do badań wytrzymałości próbek na rozciąganie. Po całkowitym wysunięciu iglicy poza powierzchnię czołową korpusu rozpylacza (13) wstrzymuje się doprowadzenie obciążenia. Obraca się o 90° iglicę w korpusie rozpylacza i ponownie przeprowadza próbę, aż w minimum czterech płaszczyznach. Z zarejestrowanych przebiegów odczytuje się maksymalne wartości siły tarcia w poszczególnych płaszczyznach.

Zmierzona wartość maksymalnej siły tarcia, a nie fakt organoleptycznej oceny, pozwala na określenie tej istotnej cechy stanu technicznego rozpylaczy wtryskiwaczy, co zapewni wycofanie z użytkowania rozpylaczy wtryskiwaczy powodujące duże straty tarcia, które nie będą prawidłowo rozpylały paliwo oraz jest pomocna w procesie odnowy rozpylaczy. Jest to jednocześnie metoda demontażu połączeń, w których czasami ze względu na znaczną wartość siły tarcia bywają istotnie utrudnione. Ma to znaczenie z punktu widzenia wpływu na wartości parametrów pracy silnika spalinowego, minimalizację strat mocy na tarcie, zużycie paliwa oraz toksyczność i zadymienie spalin wylotowych. Zbudowanie takiego oprzyrządowania do stanowiska badawczego nie wymaga dużych nakładów, a nie spotyka się w przeglądzie stanu techniki, aby w ten sposób badano rozpylacze wtryskiwaczy.

Wypłukany w benzynie ekstrakcyjnej oraz nasmarowany czynnikiem roboczym (paliwem lub olejem kalibracyjnym) rozpylacz mocuje się, wraz ze znajdującą się w nim iglicą w uchwycie 4 (fig. 2). Wystający z korpusu rozpylacza czop iglicy wsuwa się do osiowego otworu w uchwycie 6 i ustala za pomocą 3 śrub rozłożonych co 120°. Uchwyt 4 łączy się za pomocą kołka z mechanizmem Cardana (lub innym) i uchwytem 2 z płytą górną 1 maszyny do badań statycznych wytrzymałości próbek na rozciąganie, a uchwyt 6 za pomocą gwintu z uchwytem mocującym z płytą dolną 10 przez wałek przedłużający 7, uchwytem mocującym dolnym (8), podstawą 9 i płytą dolną.

Wartość maksymalnej siły tarcia odczytuje się z zarejestrowanego przebiegu siły w czasie zależnie od przemieszczenia, aż do całkowitego wysunięcia się iglicy z korpusu rozpylacza. W przypadku, gdy mocowanie czopa iglicy okaże się niewystarczające, ze względu na poślizg i wytrzymałość śrub, wówczas skuteczne okazuje się wykonanie przez obróbkę ubytkową obwodowego półokrągłego rowka na czopie iglicy 17 (fig. 6). Do otworów na śruby mocujące wstawia się okrągłe stalowe kulki 16 tak (fig. 5), aby częściowo (w około połowie średnicy zagłębiły się w obwodowym rowku czopa, a w połowie pozostały w otworach gwintowanych). Za pomocą klucza wkręca się śruby 15 z napięciem, nie powodującym uszkodzenia elementu kulistego ani wkrętu.

Za ostateczną wartość maksymalnej siły tarcia przyjmuje się średnią z pomiarów dokonanych w minimum czterech płaszczyznach T_{maxi}:

$$T_{\max śr.} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{i=n} T_{\max i}$$

gdzie n liczba płaszczyzn, w których dokonano pomiaru i-tej wartości maksymalnej siły tarcia.

Urządzenie do pomiaru maksymalnej siły tarcia rozpylaczy wtryskiwaczy charakteryzuje się tym, że posiada uchwyty mocujące korpus i iglicę rozpylacza współpracujące z uchwytami maszyny do badań wytrzymałości próbek na rozciąganie. Do korzystnych skutków można zaliczyć pomiar tylko jednego parametru, jakim jest maksymalna siła tarcia między korpusem a iglicą rozpylacza wtryskiwacza. Wynikiem pomiaru będzie: zmniejszenie strat mocy na tarcie, nie dopuszczenie do eksploatacji rozpylacza w stanie niezdatności i niedopuszczenie do jego dalszego uszkodzenia przez gromadzenie osadów, negatywnego wpływu na stan techniczny silnika oraz zmniejszenie emisji toksycznych spalin do atmosfery z silnika spalinowego. Niedopuszczony do eksploatacji rozpylacz można poddać naprawie i ponownie zbadać lub wycofać z eksploatacji. Pomiar maksymalnej siły tarcia dotyczy rozpylaczy przed montażem we wtryskiwaczu lub po demontażu. Badania wykazały, że duża liczba wtryskiwaczy jest dopuszczona do eksploatacji w stanie niezdatności.

Wykonano liczne pomiary z zastosowaniem sposobu i urządzenia do pomiaru siły tarcia między korpusem a iglicą rozpylaczy wtryskiwaczy silników spalinowych z zastosowaniem uchwytu czopa bez poślizgu. Rozpylacze myto za pomocą benzyny ekstrakcyjnej. Do smarowania części prowadzącej korpusu i iglicy rozpylacza użyto oleju Shell Calibration Fluid B. Przykładowy zarejestrowany przebieg siły tarcia w zależności od drogi tarcia przedstawiono na fig. 7, gdzie zaznaczoną wartość maksymalną siły tarcia T_{max}. Przykład wyznaczenia siły tarcia na podstawie zarejestrowanych maksymalnych sił tarcia przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Lp.	T_{maxi} [N]				$T_{maxśr}$ [N]
1	1	2	3	4	
2	2099	2216	1785	1883	1996
...					
n					

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób pomiaru maksymalnej wartości siły tarcia między korpusem rozpylacza (13) a iglicą rozpylacza (5) wtryskiwacza tłokowych silników spalinowych, **znamienny tym**, że mocuje się do korpusu rozpylacza (13) i wystającego z korpusu fragmentu czopa iglicy rozpylacza (5) uchwyty (4) i (6) połączone przez uchwyt górny (2) i wałek przedłużający (7) z płytą górną (1) oraz dolną (10) maszyny do badań wytrzymałości próbek na rozciąganie, do iglicy rozpylacza (5) przykłada się za pomocą maszyny do badań wytrzymałości próbek na rozciąganie dodatkową siłę pokonującą opory tarcia, którą zwiększa się od 0 do zarejestrowanych aktualnych przebiegów wartości siły rozciągającej przyłożonej do korpusu i iglicy rozpylacza zaś pomiar maksymalnej siły tarcia odbywa się po umyciu rozpylacza w rozpuszczalniku mineralnym i doprowadzeniu do części prowadzących środka smarowego, przy czym pomiarowi podlega maksymalna wartość siły na jej przebiegu w zależności od przemieszczenia.
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że środkiem smarowym jest paliwo lub olej używany do prób rozpylaczy o takich samych własnościach smarujących.
3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że pomiaru maksymalnej siły tarcia dokonuje się w co najmniej czterech kolejnych położeniach iglicy względem korpusu rozpylacza, stopniowanych co 90°.
4. Urządzenie do pomiaru maksymalnej siły tarcia między korpusem iglicy rozpylacza (13) a iglicą rozpylacza (5) tłokowych silników spalinowych, **znamienne tym**, że posiada uchwyt (4) oraz zamocowany za pomocą trzech śrub (15) uchwyt (6) składający się z metalowego

korpusu w kształcie walca z wywierconym osiowo walcowym otworem o średnicy zapewniającej swobodne wsunięcie metalowego korpusu czopa (17) iglicy (5) rozpylacza, które to uchwyty połączone są przez uchwyt (2) i wałek przedłużający (7) z płytą górną (1) oraz dolną (10) maszyny do badań wytrzymałości próbek na rozciąganie, gdzie uchwyt (4) posiada osiowy otwór, w którym umieszcza się koncentrycznie korpus rozpylacza (13) oraz trzy nagwintowane otwory rozmieszczone co 120°, w które wkręca się trzy śruby (14), które wkręca się na taką głębokość, aby ograniczyć wysuwanie korpusu rozpylacza (13) po przyłożeniu siły.

5. Urządzenie według zastrz. 4, **znamienne tym**, że w uchwycie (6) wykonuje się w metalowym korpusie czopa iglicy (17) rozpylacza zapobiegający poślizgowi obwodowy kanalik (18) o przekroju półkola, w którym umieszcza się trzy stalowe kulki (16).
6. Urządzenie według zastrz. 4, **znamienne tym**, że stalowe kulki (16) umieszczone są częściowo w obwodowym kanale (18), a częściowo w rozmieszczonych, co 120° otworach za pomocą śrub (15).
7. Urządzenie według zastrz. 4, **znamienne tym**, że stalowe kulki (16) powinny posiadać wytrzymałość na ściskanie nie mniejszą niż na 1250 MPa oraz wytrzymałość na ścinanie nie mniejszą niż 800 MPa.

Rysunki

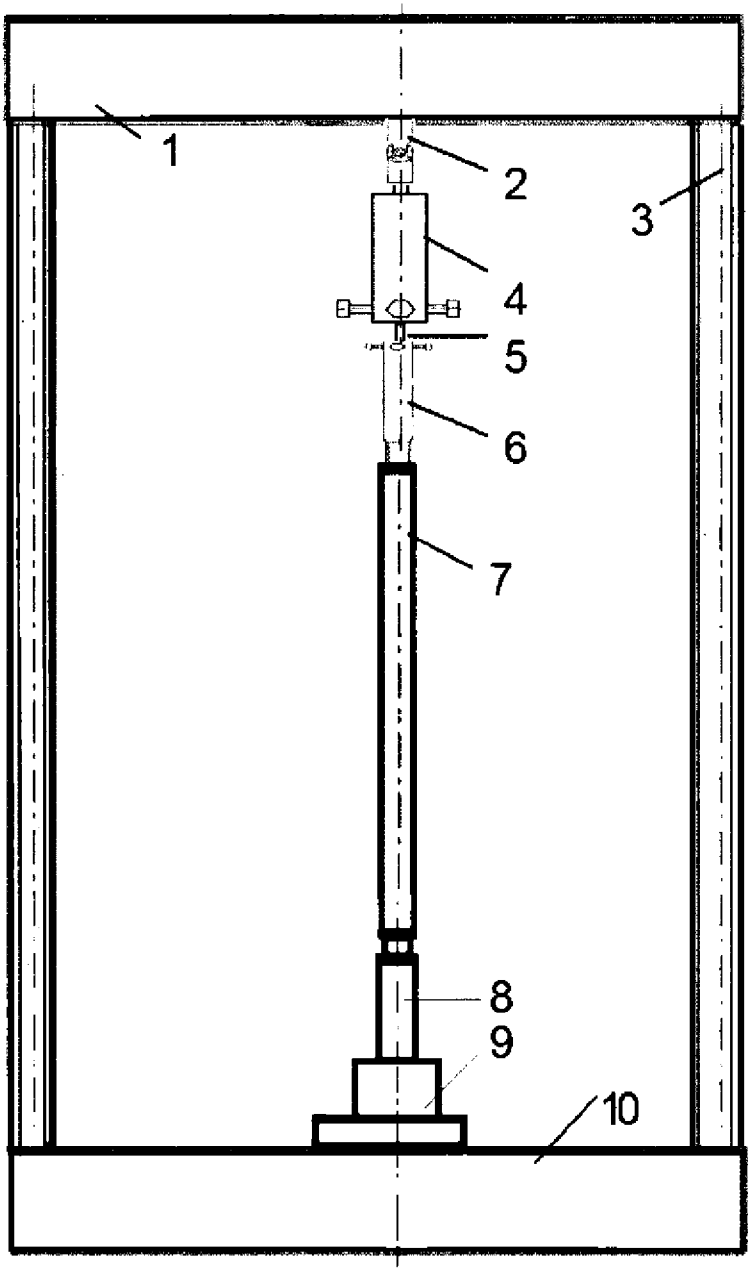

Fig. 1

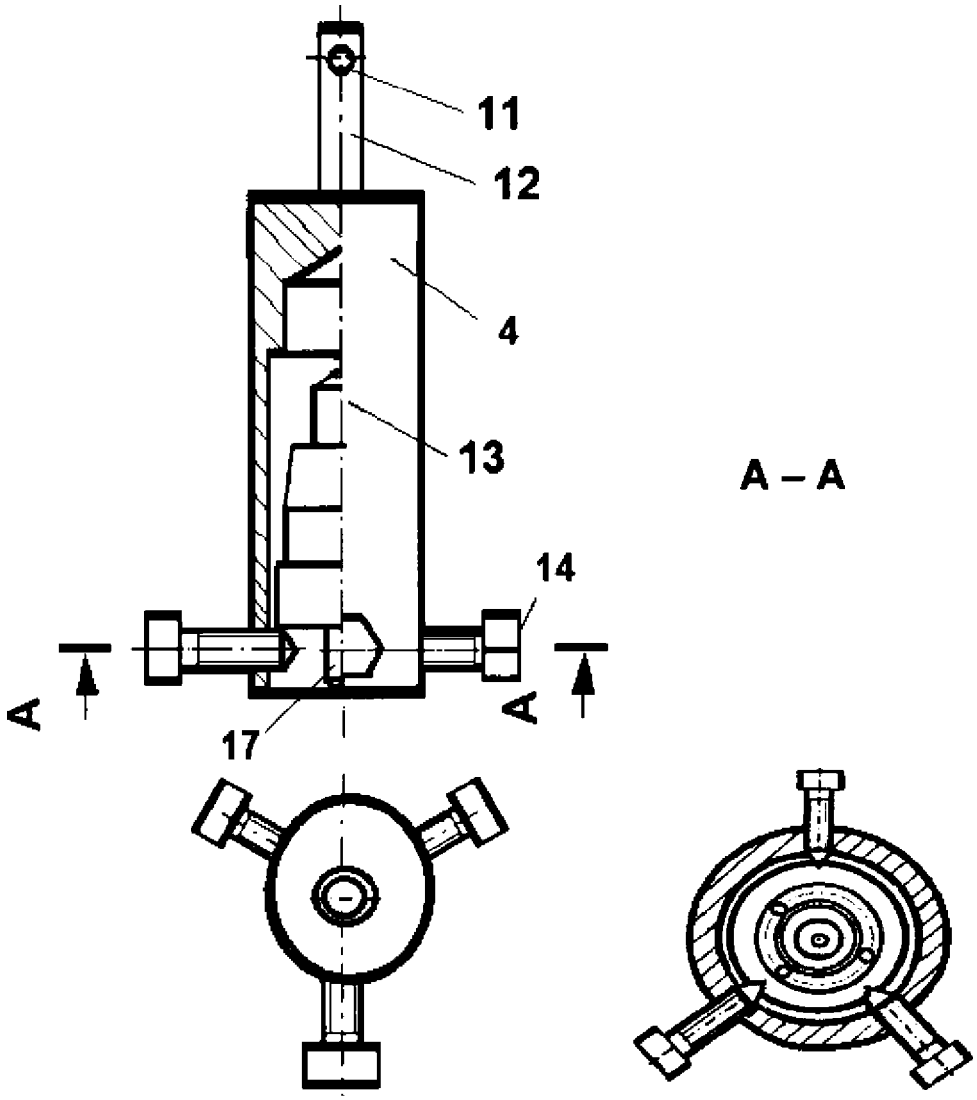

Fig. 2

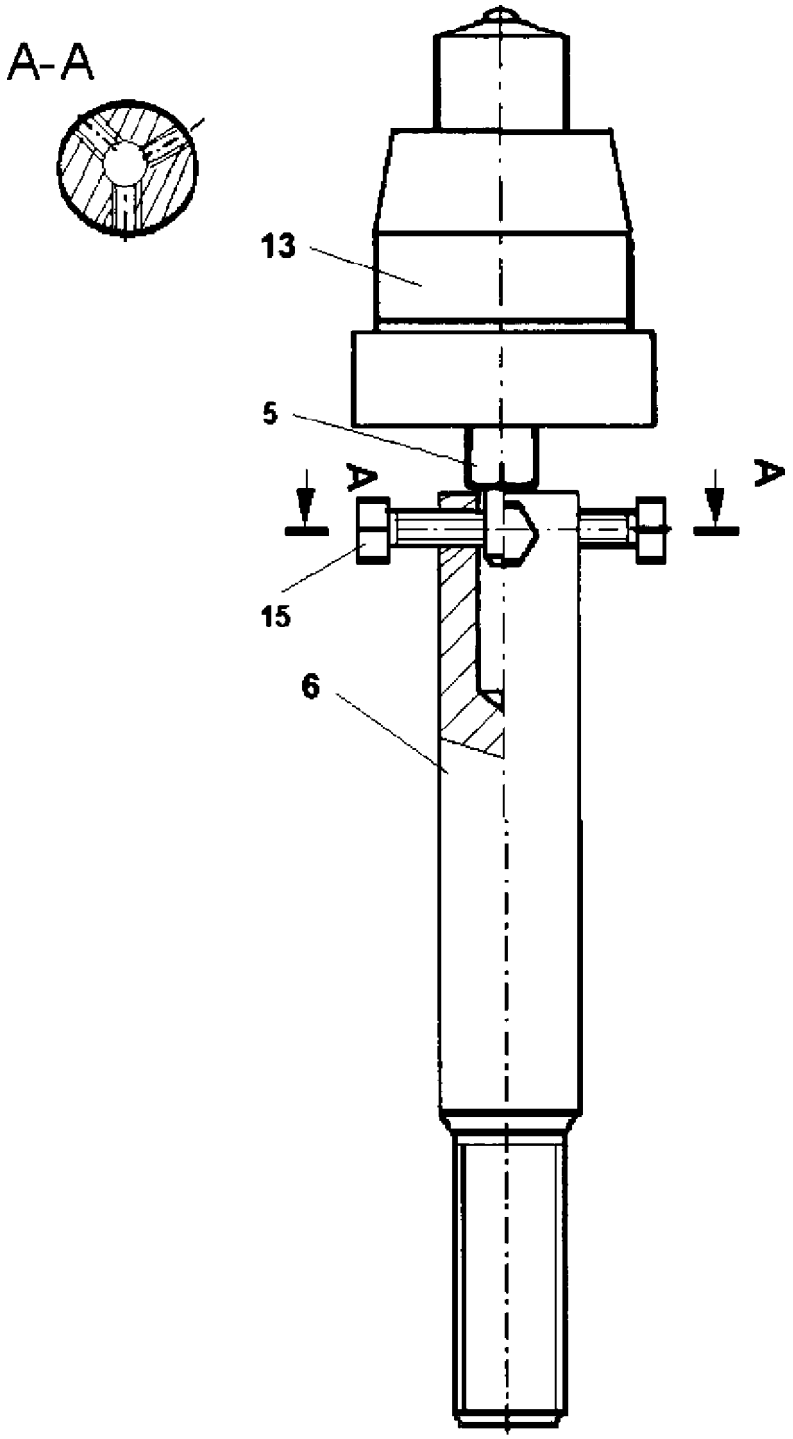

Fig. 3

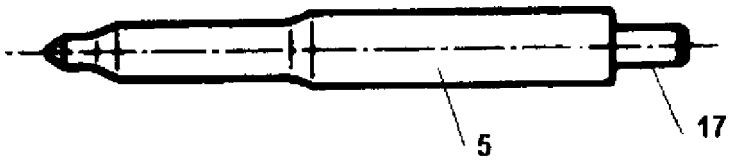

Fig. 4

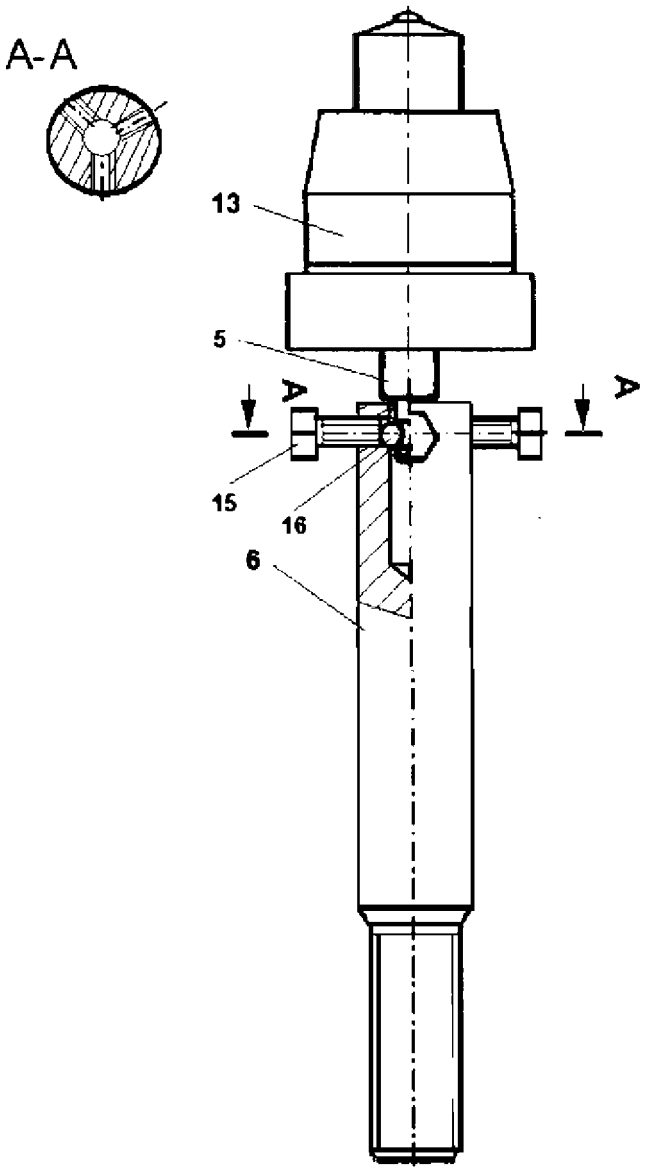

Fig. 5

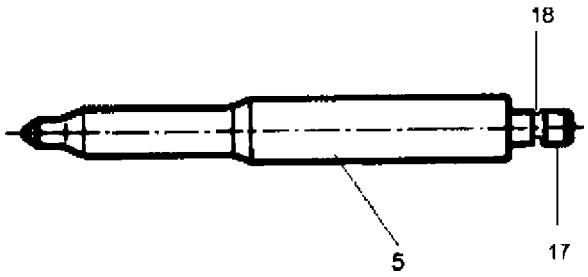

Fig. 6

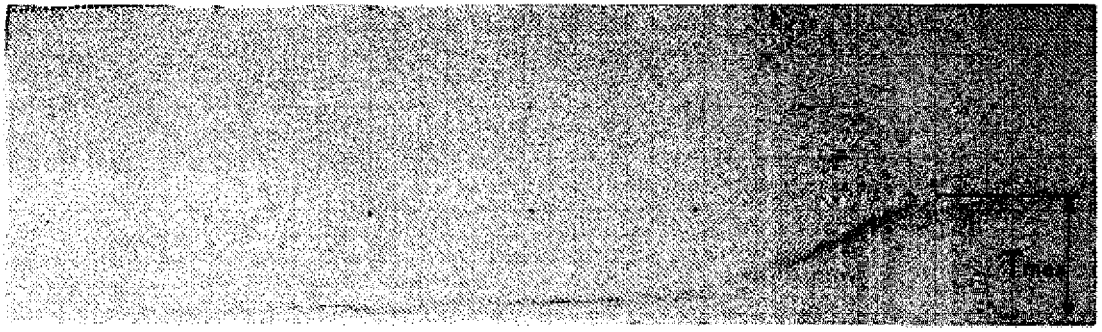

Fig. 7