

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 243073 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **431255**

(22) Data zgłoszenia: **2019.09.24**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2021.04.06 BUP 07/2021**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.06.19 WUP 25/2023**

(51) MKP:

G01M 13/00 (2019.01)

-
- (73) Uprawniony z patentu:
**ZACHODNIOPOMORSKI UNIWERSYTET
TECHNOLOGICZNY W SZCZECINIE,
Szczecin, PL
ANDRYCHOWSKA FABRYKA MASZYN DEFUM
SPÓŁKA AKCYJNA, Andrychów, PL**
- (72) Twórca(-y) wynalazku:
**PIOTR PAWEŁKO, Wołczkowo, PL
DANIEL JASTRZĘBSKI, Wołczkowo, PL
JOANNA JASTRZĘBSKA, Wołczkowo, PL**
- (74) Pełnomocnik:
Monika Wielecka, Szczecin, PL
-

(54) Tytuł:

Urządzenie do doświadczalnego wyznaczania sztywności obrabiarek skrawających

PL 243073 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do doświadczalnego wyznaczania sztywności obrabiarek skrawających w hipotetycznym punkcie styku narzędzia skrawającego z przedmiotem obrabianym, dla ustalonych warunków symulacji procesu skrawania, z możliwością wyznaczenia badanej sztywności w przestrzeni obróbki, zwłaszcza do maszyn skrawających, a szczególnie frezarek oraz tokarek (centrów frezarskich, centrów tokarskich).

Sztywność maszyn technologicznych jest ważnym wskaźnikiem funkcjonalnym maszyny, jest to istotny czynnik wpływający bezpośrednio na dokładność obróbki. Sztywność maszyny rozumie się jako jej odporność na odkształcenia pod działaniem sił zewnętrznych oraz pochodzących z procesu technologicznego, który realizuje maszyna np. proces skrawania. W procesie projektowania obrabiarek do głównych kryteriów projektowych zaliczana jest sztywność statyczna oraz dynamiczna. Pomiar tych parametrów pomagają urealniać wirtualne modele obliczeniowe, testować prototypy, oceniać bieżący stan maszyn, poszukiwać słabych ogniw konstrukcji. Obecnie podstawową metodą badawczą jest doświadczalna analiza modalna. Ważnym ograniczeniem stosowania analizy modalnej jest założenie o ograniczonej liczbie stopni swobody badanego układu, z czym wiąże się wymiar macierzy mas, sztywności i tłumienia oraz liczba teoretycznych częstości własnych i postaci drgań. Pomiar sztywności jest w tej metodzie pomiarem pośrednim, przemieszczenia uzyskuje się z obróbki (całkowania) sygnałów pomiaru przyspieszeń. Wymuszenie siłowe ma postać sygnału zmiennego w czasie: impulsu, sygnału okresowo zmiennego, sygnału stochastycznego. Sztywność technologiczna maszyny jako układu OUPN (Obrabiarka-Uchwyt-Przedmiot Obrabiany-Narzędzie) wyznaczana jest w pozornym punkcie styku przedmiotu obrabianego z narzędziem w przestrzeni roboczej maszyny. Znane jest z opisu patentowego PL193917B1 stanowisko do wyznaczania sztywności statycznej obrabiarek, składające się z hydraulicznego generatora siły harmonicznego, kompletu czujników sejsmicznych (przyspieszeń) i urządzenia rejestrującego, znamienne tym, że generator siły harmonicznego o niskiej częstotliwości składa się z siłownika hydraulicznego i proporcjonalnego zaworu przelewowego, a sejsmiczne czujniki drgań o dużej czułości są mocowane na badanym obiekcie. Sztywność statyczna wyznaczana jest na kierunku działania generatora siły, a więc wyznaczenie sztywności maszyny w różnych kierunkach wymaga zmiany kierunku działania siły, czyli każdorazowo reorientacji siłownika hydraulicznego na stanowisku badawczym. Znane jest z opisu wynalazku CN103926094 urządzenie do testowania sztywności statycznej obrabiarki i metoda symulacji prawdziwych warunków pracy skrawania. Urządzenie składa się z układu wymuszenia siłowego w postaci trzech prostopadle umieszczonych siłowników jednostronnego działania, działających na element zastępujący narzędzie skrawające oraz z układu do pomiaru przemieszczeń punktów pomiarowych na kierunkach działania sił. Jako układ sterowania i przetwarzania i wyświetlania danych pomiarowych zastosowano komputer (urządzenie cyfrowe) oraz urządzenie analogowe do obróbki sygnałów. Urządzenie testujące jest instalowane w przestrzeni roboczej obrabiarki, siła trójkierunkowa jest wyliczana z teoretycznej siły skrawania, urządzenie symuluje chwilowe warunki pracy maszyny w trakcie obróbki, dzięki zastosowaniu siły trójkierunkowej na narzędziu do symulacji. Przyłożona siła trójkierunkowa jest monitorowana przez urządzenie kontrolujące siłę skrawania, przemieszczanie punktów pomiarowych różnych komponentów jest mierzone za pomocą czujników przemieszczenia, obliczana jest wypadkowa sztywność obrabiarki na dowolnym kierunku. Siły generowane są w trzech prostopadłych kierunkach, lecz nie w zwrotach. W celu pomiaru sztywności w kierunku osi „+”X i „-”X należy przestawić urządzenie odwracając kierunek działania siłownika w tej osi.

Nie znaleziono w zbiorach informacji o podobnym do przedmiotowego rozwiązaniu, w które umożliwia wyznaczenie sztywności statycznej i dynamicznej maszyny technologicznej w teoretycznym punkcie styku przedmiotu z uchwytem, w którym jest możliwość wygenerowania sił w trzech kierunkach, pięciu zwrotach, w dowolnej konfiguracji składowych jako siły o charakterze dynamicznym lub statycznym, przy jednoczesnym pomiarze przemieszczeń na trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach, z możliwością obliczenia wypadkowego przemieszczenia w przestrzeni roboczej maszyny.

Urządzenie do doświadczalnego wyznaczania sztywności obrabiarek skrawających, według wynalazku, zawierające korpus, system sterowania i akwizycji danych, siłownik hydrauliczny połączony z zasilaczem hydraulicznym (generator energii hydraulicznej), przetwornik ciśnienia, czujnik przemieszczenia, charakteryzuje się tym, że w korpusie ma osiowy, centralny otwór na wymienny trzpień narzędziowy dostosowany do różnych systemów mocowań narzędzi (np. VDI, ISO, HSK), pięć zintegrowanych pchających siłowników hydraulicznych jednostronnego działania oraz dwanaście bezdotykowych czujników pomiaru przemieszczenia. W kierunku osi Z centralnego otworu na trzpień narzędziowy jest zainstalowany jeden siłownik. W kierunkach X i Y wzajemnie prostopadłych do siebie, leżących na jednej płaszczyźnie oraz prostopadłych do

osi centralnego otworu na trzpień narzędziowy, pokrywającej się z osią Z, umieszczone są cztery siłowniki, po dwa na każdą oś. Cztery czujniki przemieszczenia rozmieszczone są w płaszczyźnie XZ przechodzącej przez osie siłowników i są umieszczone po dwa nad i pod siłownikami rozmieszczonymi w płaszczyźnie XZ. Kolejne cztery czujniki przemieszczenia rozmieszczone są w płaszczyźnie YZ, prostopadłej do płaszczyzny XZ, przechodzącej przez osie siłowników i są umieszczone po dwa nad i pod siłownikami rozmieszczonymi w płaszczyźnie YZ. Zastosowanie czterech czujników (w osi X albo Y) umożliwia wyznaczenie kąta obrotu osi trzpienia narzędziowego względem kierunku działania siły. Następne cztery czujniki przemieszczenia rozmieszczone są promieniowo wokół osi Z, zgodnej z osią siłownika działającego w osi Z (rozłożone symetrycznie wokół). Zastosowanie czterech czujników umożliwia wyznaczenie kąta obrotu osi trzpienia narzędziowego względem korpusu. W urządzeniu wykorzystuje się zintegrowane siłowniki hydrauliczne jednostronnego działania. Każda para siłowników jednostronnego działania na osi może wygenerować siłę zgodną i przeciwnie skierowaną do wektora osi. Do sterowania wartością siły w systemie pomiarowym użyte są trzy (po jednym na każdą z osi: X, Y, Z) proporcjonalne serwozawory regulacji ciśnienia (handlowo dostępne). Na każdym z trzech kierunków generowania siły (X, Y, Z) wymagany jest taki zawór. Pomiar wygenerowanej siły realizowany jest przez przetworniki ciśnienia. Umieszczone są na każdym przyłączy hydraulicznym do siłownika. System sterowania i akwizycji danych jest połączony z czujnikami pomiaru przemieszczenia, przetwornikami ciśnienia oraz z serwozaworami hydraulicznymi, które są połączone na wyjściach roboczych z siłownikami hydraulicznymi, a na wejściach z zasilaczem hydraulicznym.

Korzystnie otwór wyposażony jest w element do centrowania trzpienia narzędziowego.

Do przeprowadzenia pomiaru i wyznaczania sztywności statycznej oraz dynamicznej obrabiarek skrawających w hipotetycznym punkcie styku narzędzia skrawającego z przedmiotem obrabianym, należy wygenerować siłę oraz przeprowadzić pomiar przemieszczenia w tym kierunku. Realizować to można na kierunkach wzajemnie prostopadłych, zgodnych z osiami liniowymi maszyny. Pomiar przemieszczeń następuje wówczas na tych samych kierunkach, sztywność maszyny wyznaczana jest na rozpatrywanym kierunku działania siły.

Zaletą wynalazku jest to, że urządzenie do doświadczalnego wyznaczania sztywności statycznej i dynamicznej obrabiarek skrawających może być stosowane zarówno w warunkach przemysłowych jak i laboratoryjnych. Jego budowa pozwala przeprowadzić badania sztywności obrabiarek skrawających zwłaszcza tokarek i frezarek, bez ingerencji w strukturę maszyn, wykorzystując standardowe systemy mocowań narzędzi obróbczych i przedmiotów na obrabiarkach. Z jednego zamocowania możliwe jest przeprowadzenie pomiarów bezpośrednich w kierunkach osi translacyjnych maszyn – prostopadłych do siebie, oraz pośrednio z zastosowaniem zasady superpozycji na kierunkach wypadkowych. Efektem końcowym pomiarów są wprost otrzymane charakterystyki siły w funkcji wywołanego działaniem tej siły przemieszczenia uogólnionego translacyjnego. Z charakterystyk takich wyznaczone są współczynniki sztywności statycznej i dynamicznej na kierunkach zgodnych z kierunkami osi badanej obrabiarki. Możliwe jest wyznaczenie obliczeniowo współczynników sztywności statycznej i dynamicznej na pozostałych dowolnych kierunkach w przestrzeni. Urządzenie do doświadczalnego wyznaczania sztywności statycznej i dynamicznej obrabiarek skrawających może być stosowane do: prowadzenia badań porównawczych serii produkcyjnych obrabiarek, prowadząc testy odbiorcze na końcowym etapie produkcji, bez konieczności prowadzenia prób pracą, systematycznego monitorowania stanu obrabiarki w po określonych czasach pracy maszyn. Urządzenie pozwala na pomiar przemieszczeń translacyjnych i rotacyjnych na trzech ortogonalnych kierunkach ustalonych względem układu osi obrabiarki. Pomiar przemieszczenia jest zsynchronizowany czasowo z pomiarem siły wymuszającej. Maszyna technologiczna w czasie pomiarów nie wykonuje żadnych ruchów sterowanych (pomocniczych, posuwowych i głównych). Układ pomiarowy znajduje się między miejscem mocowania narzędzia skrawającego, a miejscem mocowania przedmiotu obrabianego.

Wynalazek jest bliżej przedstawiony w przykładach wykonania i na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia urządzenie pomiarowe w przekroju wzdłużnym z blokowym ujęciem system sterowania i akwizycji danych, zasilacz hydrauliczny, przetwornik ciśnienia i serwozawory ciśnienia, Fig. 2 przedstawia urządzenie z Fig. 1 z trzpieniem narzędziowym w widoku z boku, Fig. 3 przedstawia urządzenie z trzpieniem narzędziowym i trzpieniem montażowym przystosowanym do zamocowania w tokarkach w widoku z boku, Fig. 4 przedstawia urządzenie zamontowane we frezarce w widoku z boku, Fig. 5 przedstawia miejsce i kierunki działania sił wymuszających F , powstających na skutek działania ciśnienia p w liniach hydraulicznych oraz miejsce i sposób realizacji pomiaru przemieszczeń δ , na przykładzie osi poziomej X i pionowej Z w urządzeniu zamontowanym na frezarce.

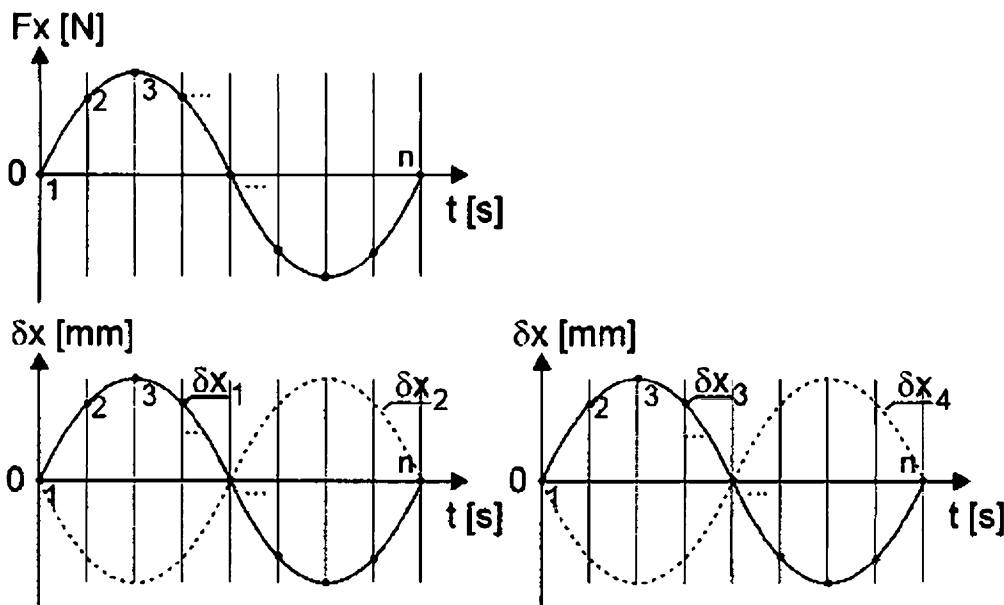
Urządzenie do doświadczalnego wyznaczania sztywności obrabiarek skrawających, zawiera korpus 1, system sterowania i akwizycji danych 2, pięć zintegrowanych siłowników hydraulicznych 3 jednostronnego

działania połączonych z zasilaczem hydraulicznym 4, pięć przetworników ciśnienia 5, dwanaście bezdotykowych czujników przemieszczenia 6. W korpusie 1 urządzenie ma osiowy, centralny otwór 7 na wymienny trzpień narzędziowy 8. System sterowania i akwizycji danych 2 połączony jest z trzema serwowaworami 9 i przetwornikami ciśnienia 5. W kierunku osi Z otworu 7 na trzpień narzędziowy 8 jest zainstalowany jeden siłownik 3, a w kierunkach X i Y wzajemnie prostopadłych do siebie, leżących na jednej płaszczyźnie oraz prostopadłych do osi otworu 7, umieszczone są cztery siłowniki 3, po dwa na każdą oś. W urządzeniu cztery czujniki przemieszczenia 6 rozmieszczone są w płaszczyźnie ZX przechodzącej przez oś siłowników 3 i są umieszczone nad i pod siłownikami 2 rozmieszczonymi w płaszczyźnie XY. Kolejne cztery czujniki przemieszczenia 6 rozmieszczone są w płaszczyźnie ZY przechodzącej przez oś siłowników 3 i są umieszczone nad i pod siłownikami 3 rozmieszczonymi w płaszczyźnie XY. Następne cztery czujniki przemieszczenia 6 rozmieszczone są w płaszczyźnie XY prostopadłej do osi siłownika 3 działającego w osi Z, rozmieszczone promieniowo względem tego siłownika 3.

Korpus 1 mocowany jest w strefie roboczej maszyny technologicznej. W przypadku centrów frezarskich montaż odbywa się do stołu roboczego 10, do tokarek przy użyciu dodatkowego trzpienia montażowego 11, bez ingerencji w konstrukcję maszyn, wykorzystując standardowe systemy mocowania. Trzpień narzędziowy 8 mocowany jest w otworze 7 urządzenia, który wyposażony jest w element 12 do centrowania trzpienia narzędziowego 8. Następnie trzpień narzędziowy 8 mocowany jest w uchwycie 13 narzędziowym maszyny. W czasie pracy urządzenia zasilacz hydrauliczny 4 umieszczony jest przy badanej maszynie, podłączenia hydrauliczne realizowane jest za pomocą przewodów elastycznych. Podczas pomiaru system sterowania i akwizycji danych 2 generuje zadaną wartość i kierunek działania siły, która przez serwowawór hydrauliczny 9 zamieniana jest na wartość ciśnienia hydraulicznego oddziaływującego na odpowiedni siłownik hydrauliczny 3. Jednocześnie następuje pomiar przemieszczenia na tym kierunku. Wartość siły mierzona jest pośrednio przez pomiar ciśnienia na linii zasilania siłownika hydraulicznego 3 przetwornikiem ciśnienia 5. System sterowania i akwizycji danych 2 rejestruje wartość wygenerowanej siły i odpowiadające mu na kierunku działania siły przemieszczenia. Obliczona sztywność jest ilorazem wypadkowej siły do przemieszczenia wypadkowego. Siła może być generowana jako obciążenie statyczne lub dynamiczne, generowane jako zmiana ciśnienia w serwowaworze hydraulicznym zasilającym siłowniki hydrauliczne w korpusie urządzenia. Dodatkowo można wygenerować siłowe obciążenie w wypadkowe jako składową trzech kierunków prostopadłych, wówczas pomiar przemieszczenia odbywa się przez dwanaście czujników przemieszczenia 6.

Wyznaczenie sztywności polega na zarejestrowaniu w cyklu pomiarowym równocześnie sił oraz występujących na ich kierunkach przemieszczeń. Dla przykładu zaprezentowano procedurę wyznaczenia sztywności na kierunku X.

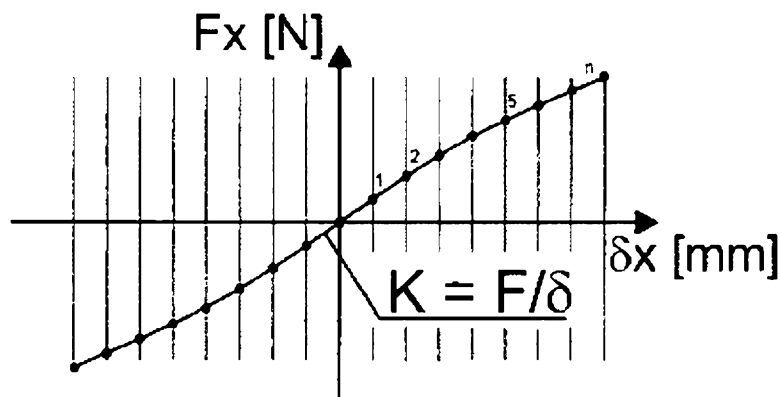
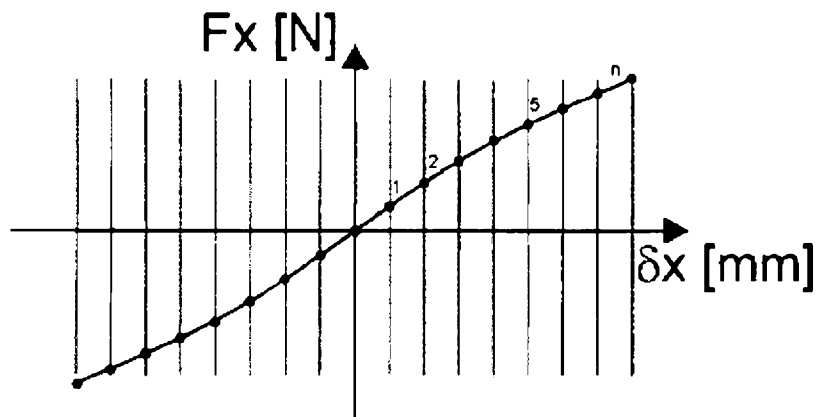
W czasie pomiarów uzyskuje się przebiegi czasowe siły oraz przemieszczeń.



Pierwszym warunkiem testowym jest porównanie wskazań pomiędzy parami czujników leżących w tej samej osi. Warunki $|\delta x_1| = |\delta x_2|$ oraz $|\delta x_3| = |\delta x_4|$ muszą być spełnione, aby przejść do dalszej części procedury.

Następnie dokonuje się zestawienia wartości siły F z wartością uzyskanego przemieszczenia δ dla n zarejestrowanych chwil czasowych (punktów pomiarowych), uzyskując zestawienie tabelaryczne z wyznaczeniem sztywności oraz wykres.

Nr pomiaru	Siła F [N]	przemieszczenie δ [mm]	Sztywność $K = F/\delta$ [N/mm]
1	250	0,0238	10 504
2	500	0,0430	11 627
...
n	2 500	0,0201	11 904



Procedurę powtarza się dla trzech osi niezależnie.

Zastrzeżenia patentowe

1. Urządzenie do doświadczalnego wyznaczania sztywności obrabiarek skrawających, zawierające korpus, system sterowania i akwizycji danych, siłownik hydrauliczny połączony z zasilaczem hydraulicznym, przetwornik ciśnienia, czujnik przemieszczenia, **znamiennie tym**, że w korpusie (1) ma osiowy, centralny otwór (7) na wymienny trzpień narzędziowy (8), pięć zintegrowanych pchających siłowników hydraulicznych (3) jednostronnego działania oraz dwanaście bezdotykowych czujników pomiaru przemieszczenia (6), przy czym w kierunku osi Z centralnego otworu (7) na trzpień narzędziowy (8) jest zainstalowany jeden siłownik (3), a w kierunkach X i Y wzajemnie prostopadłych do siebie, leżących na jednej płaszczyźnie oraz prostopadłych do osi centralnego otworu (7) pokrywającej się z osią Z, umieszczone są cztery siłowniki (3), po dwa na każdą oś, zaś cztery czujniki przemieszczenia (6) rozmieszczone są w płaszczyźnie XZ przechodzącej przez osie siłowników (3) i są umieszczone nad i pod siłownikami (3) rozmieszczonymi w płaszczyźnie XZ, kolejne cztery czujniki przemieszczenia (6) rozmieszczone są w płaszczyźnie YZ, prostopadłej do płaszczyzny XZ, przechodzącej przez oś siłowników (3) i są umieszczone nad i pod siłownikami (3) rozmieszczonymi w płaszczyźnie YZ, a następne cztery czujniki przemieszczenia (6) rozmieszczone są promieniowo wokół osi Z, zgodnej z osią siłownika (3) działającego w osi Z, zaś system sterowania i akwizycji danych (2) jest połączony z czujnikami pomiaru przemieszczenia (6), przetwornikami ciśnienia (5) oraz z serwowaworami hydraulicznymi (9), które są połączone na wyjściach roboczych z siłownikami hydraulicznymi (3) a na wejściach z zasilaczem hydraulicznym (2).
2. Urządzenie do doświadczalnego wyznaczania sztywności obrabiarek skrawających **znamiennie tym**, że centralny otwór (7) wyposażony jest w element (12) do centrowania trzpienia narzędziowego (8).

Rysunki

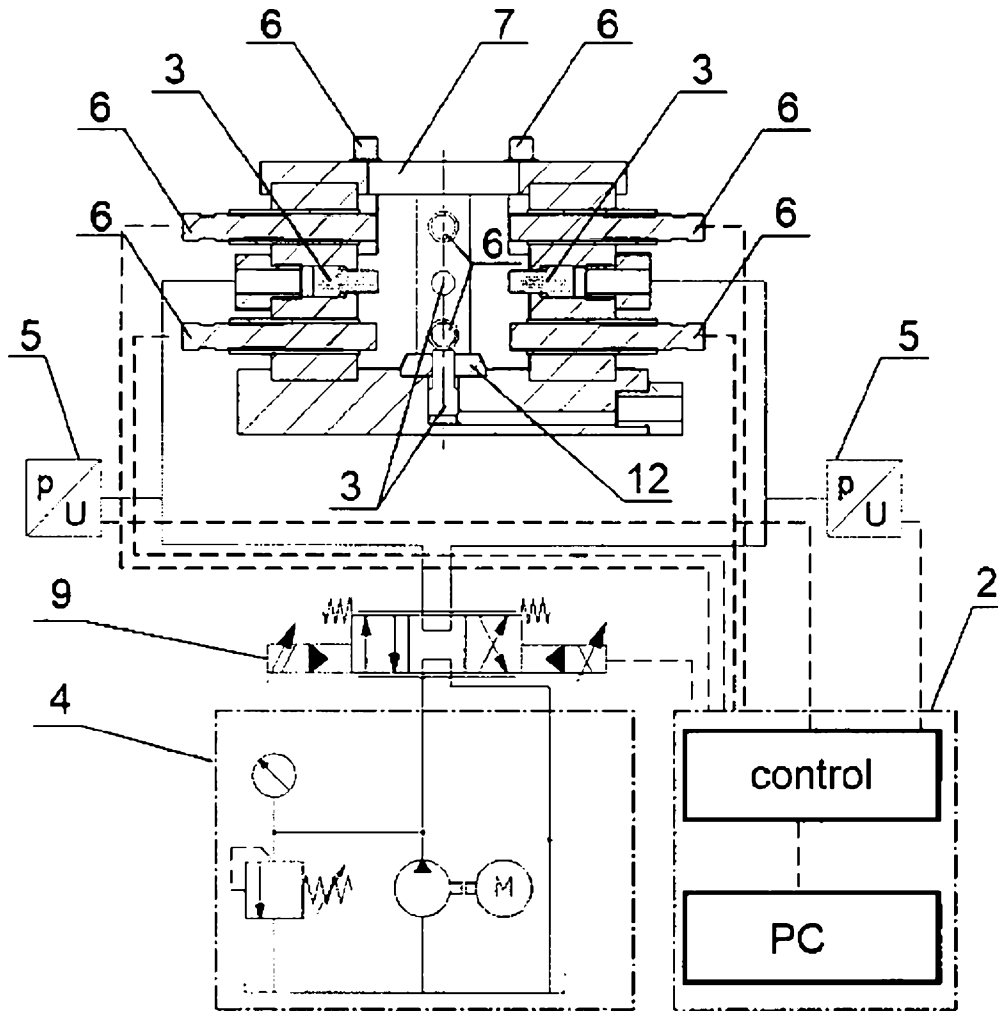


Fig. 1

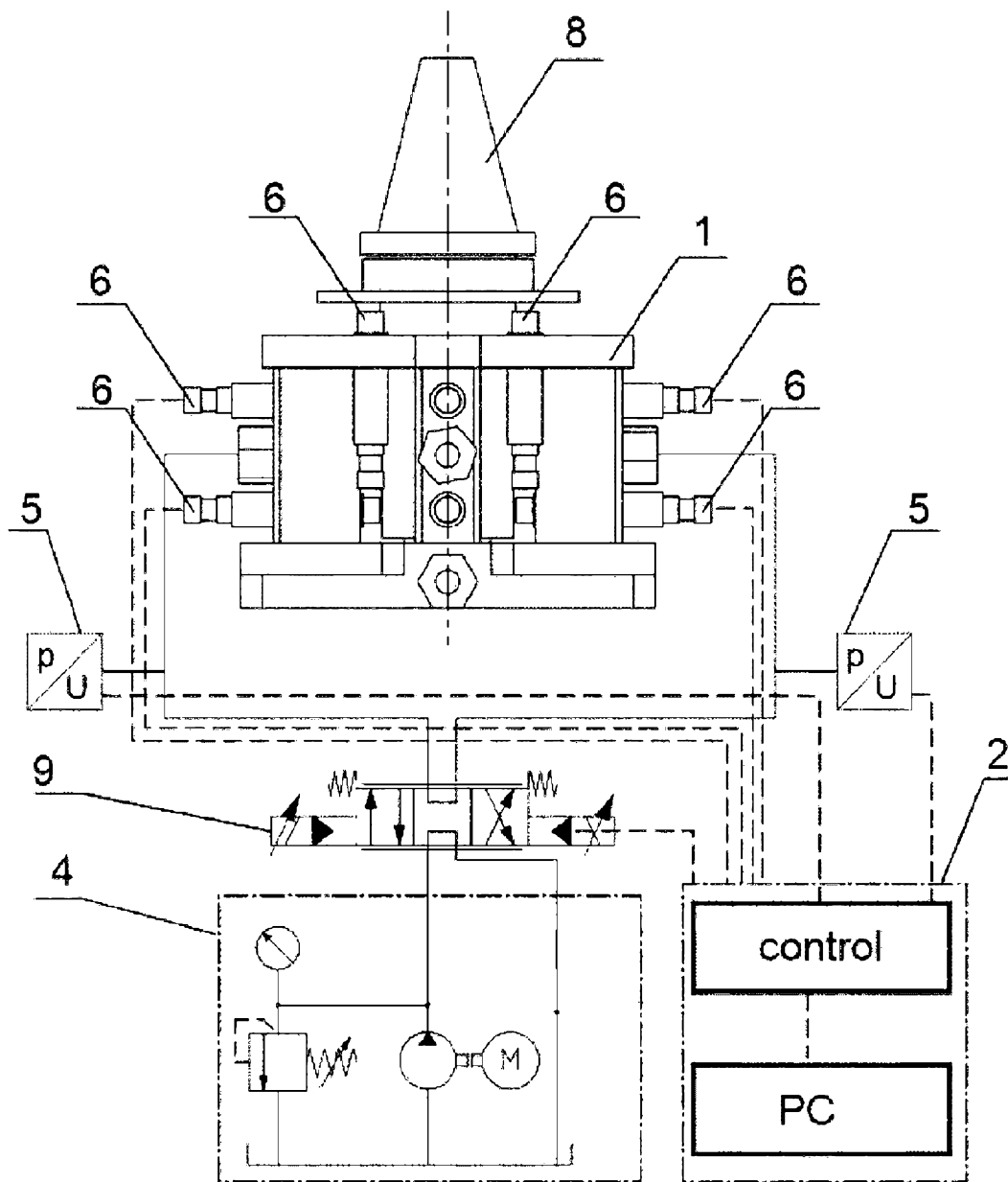


Fig. 2

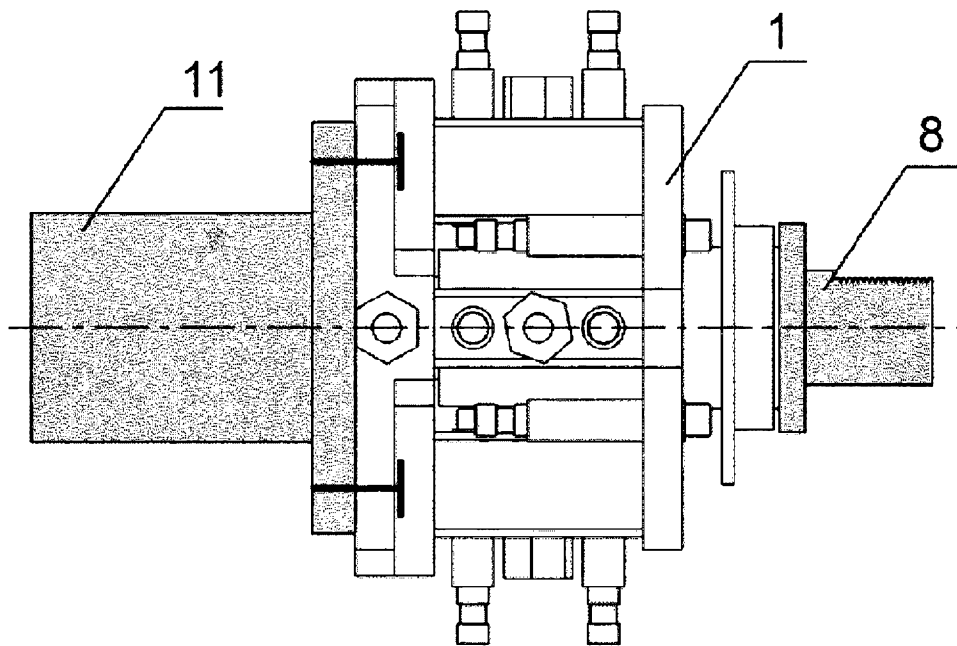


Fig. 3

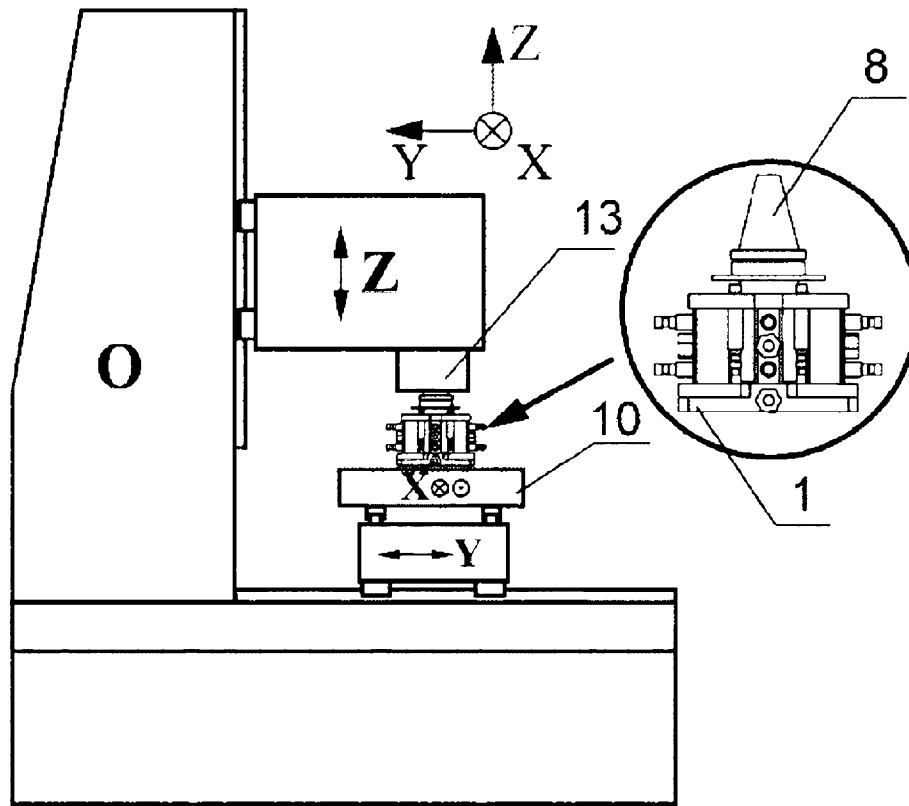


Fig. 4

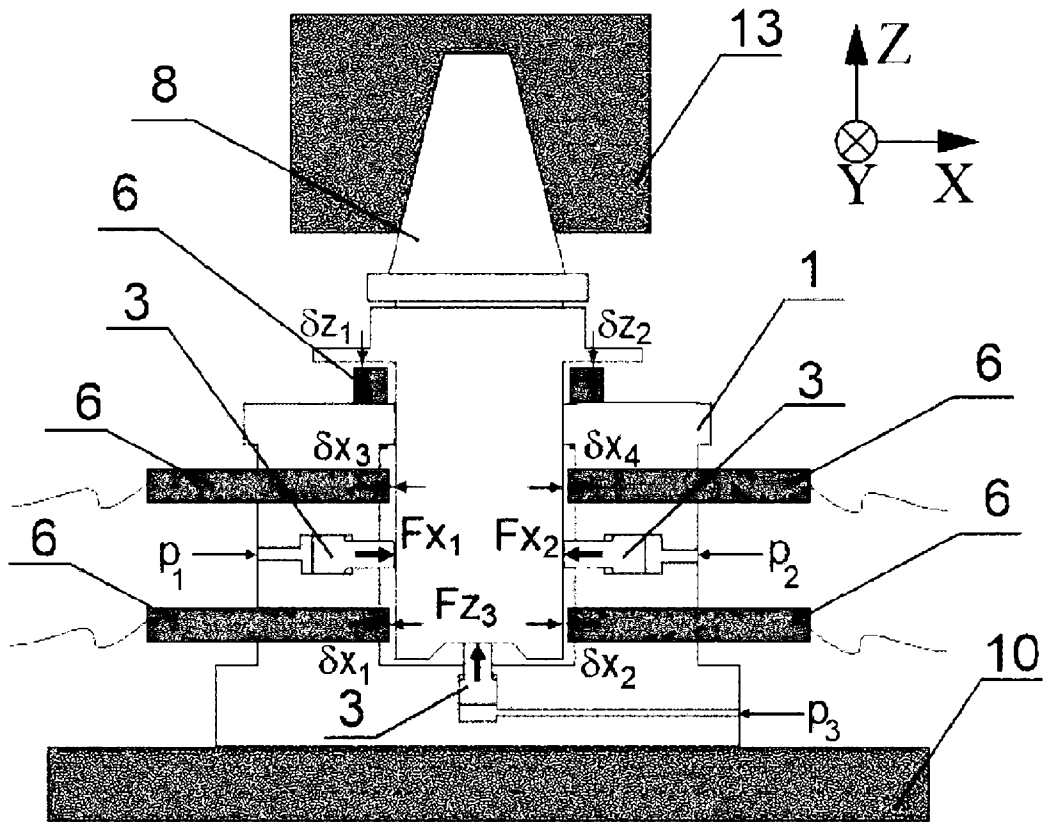


Fig. 5