

(19)



URZĄD  
PATENTOWY  
RZECZYPOSPOLITEJ  
POLSKIEJ

(10) **PL 242030 B1**

(12)

## Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **437074**

(22) Data zgłoszenia: **2021.02.22**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.08.29 BUP 35/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.01.09 WUP 02/2023**

(51) MKP:

**G01N 3/32** (2006.01)

**G01N 3/04** (2006.01)

**G01N 3/00** (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW  
TECHNIKI POLSKIEJ AKADEMII NAUK,  
Warszawa, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**ZBIGNIEW KOWALEWSKI, Zielonka, PL  
DOMINIK KUKŁA, Lipowo, PL  
MIROSŁAW WYSZKOWSKI, Warszawa, PL  
ADAM BRODECKI, Warszawa, PL  
MATEUSZ KOPEĆ, Ożarów Mazowiecki, PL**

(74) Pełnomocnik:

**Anna Grzelak, Warszawa, PL**

(54) Tytuł:

**Stanowisko do badania wytrzymałości łopatek turbin w warunkach wysokotemperaturowych obciążeń cyklicznych oraz złożonym stanie naprężenia oraz sposób montowania łopatek turbin w tym stanowisku**

**PL 242030 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest stanowisko do badania wytrzymałości łopatek turbin w warunkach wysokotemperaturowych obciążeń cyklicznych oraz złożonym stanie naprężenia mocowane w szczękach maszyny wytrzymałościowej oraz sposób montowania łopatek turbin w tym stanowisku.

Znane są metody oceny wytrzymałości zmęczeniowej łopatek turbin prezentowane w patentach międzynarodowych. W amerykańskim patencie US8631704B2 wynalazek przedstawia wzbudnicę zmęczeniową do łopat turbin wiatrowych mocowaną w środkowej części turbiny. Łopaty turbiny wiatrowej wymagają wzbudzenia na częstotliwości własnej lub zbliżonej do ich częstotliwości własnej, aby wywołać momenty zginające, które symulują obciążenia eksploatacyjne. Wynalazek przedstawia urządzenie i sposób, za pomocą którego sprzężenie zwrotne sterowane siłą jest wykorzystywane do znalezienia optymalnej częstotliwości wzbudzenia. Siłę tę zapewniono za pomocą cyfrowego generatora sygnału. Jednak urządzenie pozwala oszacować wytrzymałość zmęczeniową jedynie w temperaturze pokojowej. Podobne rozwiązanie przedstawiono również w patencie WO2016/102968, gdzie zostały użyte 3 zestawy wzbudnic zmęczeniowych, pozwalających monitorować propagację naprężenia w 3 różnych miejscach łopatki turbiny powietrznej.

W amerykańskim patencie US6718833B2 przedstawiony został wieloosiowy i wysokocyklowy system do testowania zginania, skręcania i rozciągania jednostki testowej, składający się z komponentów serwohydraulicznych, w tym maszyny wytrzymałościowej oraz dwóch małych siłowników wysokiej częstotliwości i jednego dużego siłownika głównego umiejscowionych prostopadle względem siebie oraz wzdłuż osi zadawania naprężenia. Duży, główny siłownik służy do przyłożenia promieniowej siły odśrodkowej, a dwa małe siłowniki służą do przyłożenia obciążenia wibracyjnego; dwa mniejsze siłowniki są przesunięte niezależnie od siebie, aby umożliwić maszynie przykładanie zarówno siły, jak i momentu obrotowego do jednostki testowej – łopatki turbiny silnika. Urządzenie pozwala oszacować wytrzymałość zmęczeniową jedynie w temperaturze pokojowej. Ponadto, system mocowania łopatki turbiny w górnej szczęce maszyny wytrzymałościowej nie zapewnia wysokiej sztywności układu w trakcie cyklicznego obciążenia.

Z opisu europejskiego patentu EP14729402 B1 znane jest stanowisko badawcze do badań zmęczeniowych przy obciążeniu niskocyklowym i ewentualnie przy obciążeniu wysokocyklowym, do odtworzenia oparcia części maszyny wirowej, takiego jak oparcie co najmniej jednej nóżki łopatki na powierzchni nośnej wgłębienia tarczy wirnika. Wspomniane stanowisko badawcze zawiera człon nośny przymocowany do ramy i wytyczający co najmniej jedną powierzchnię oporową, oraz część testowaną, która połączona jest ze środkami trakcyjnymi do dociskania części testowanej do powierzchni oporowej lub każdej z powierzchni oporowych członu; z tym, że powierzchnia lub każda z powierzchni oporowych umieszczona jest na elemencie, który zamontowany jest obrotowo wokół pierwszej osi (B) na członie nośnym, i że część testowana połączona jest ze środkami trakcyjnymi za pomocą połączeń przegubowych wokół drugiej osi (A) zasadniczo prostopadłej do pierwszej osi oraz, że zawiera ono ponadto środki do regulacji i blokowania elementu i części testowanej w określonych położeniach wokół wymienionych osi. Pomiar wykonywany jest w temperaturze pokojowej.

Z opisu patentowego PL161567 B1 znane jest urządzenie do badań przemian strukturalnych polimerów pod naprężeniem, posiadające statyw, na którym jest umieszczony zespół do mocowania próbki, mechanizm przekładni oraz zawierające układ pomiarowy i blok grzewczy do termostatowania badanej próbki, w którym mechanizm przekładniowy umożliwiający realizację różnych więzów mechanicznych zawiera zestaw krążków, stanowiących koła pasowe, osadzonych współosiowo na wałku ułożyskowanym na wspornikach pierwszym i drugim, zamocowanych w podstawie statywu, pod którą to podstawą znajduje się komora grzewcza bloku termostatu; ponadto na trzecim wsporniku, znajdującym się na statywie, umieszczone są szczotki potencjometru, połączone z zespołem rejestrującym zmiany długości badanej próbki zamocowanej za pomocą taśmy. Ujawnione rozwiązanie zapewnia ograniczoną stabilność próbki podczas przeprowadzania prób.

Z opisu chińskiego zgłoszenia patentowego CN109632285 A znany jest przyrząd do badania zmęczeniowego łopatki turbiny w wysokiej temperaturze, który zawiera górny uchwyt, podzielony wewnętrzny blok zaciskowy, górną płytę wsporczą, blok zaciskowy rynny, przegrodę i dolny uchwyt. Uchwyt górny i dolny są połączone odpowiednio z maszyną wytrzymałościową. Prostokątne bloki na dolnych końcach górnej płyty nośnej i blokada rynny są umieszczone w rowkach górnego i dolnego uchwytu i mogą przesuwac się wzdłuż rowków. Górna część korpusu łopatki turbiny jest połączona z dzielonym wewnętrznym blokiem zaciskowym, a następnie jest umieszczana w odwróconej trapezowej

wnęce pośrodku górnej płyty wsporczej. Wręg łopatki turbiny połączony jest z zaciskiem rynny. Przegroda mocowana jest do listwy zaciskowej rynny za pomocą śruby ograniczającej ruch felgi łopatki wzdłuż osi rynny. Dwa otwory na śruby znajdują się z przodu, z tyłu, po lewej i prawej stronie górnego i dolnego uchwytu. Podczas testu można zmienić położenie górnej płyty nośnej i zacisku rynny, kontrolując głębokość wkręcania śrub regulacyjnych, tak aby zmienić względne położenie linii środkowej łopatki turbiny i zmęczeniowe obciążenie osiowe maszyny. Urządzenie jest przeznaczone do przeprowadzania testów zmęczeniowych w wysokiej temperaturze w dokładnej symulacji złożonej sekcji oceny pola naprężeń na podstawie testów zmęczeniowych łopatek turbiny w wysokiej temperaturze (od 500°C do 1200°C). Ujawnione rozwiązanie zapewnia ograniczoną stabilność próbki podczas przeprowadzania prób.

Celem wynalazku było zapewnienie przyrządu do badania wytrzymałości łopatek turbin w warunkach wysokotemperaturowych obciążeń cyklicznych umożliwiającego bezpośredni montaż turbiny przy jednoczesnym uniemożliwieniu przemieszczania się łopatki w trakcie przeprowadzanej próby oraz zapewnienie sposobu montażu łopatki turbiny w tym stanowisku.

Istotą wynalazku jest stanowisko do badania wytrzymałości łopatek turbin w warunkach wysokotemperaturowych obciążeń cyklicznych oraz złożonym stanie naprężenia, mocowane w szczękach maszyny wytrzymałościowej zawierające zespół chwytakowy do mocowania łopatki, charakteryzujące się tym, że składa się z części górnej oraz części dolnej, gdzie górną część stanowi korpus z prostopadłościenną częścią mocującą przytwierdzającą od góry korpus do górnej szczęki maszyny wytrzymałościowej, a dolną część stanowiska montowaną w dolnej szczęce maszyny wytrzymałościowej stanowi popychacz, którym jest pręt zakończony sferycznie o zdefiniowanym promieniu; natomiast zespół chwytakowy korpusu składa się z adaptera montowanego w korpusie, w którym mocowana jest łopatka turbiny, płytek blokujących umocowanych po obu bokach korpusu na wysokości adaptera i skręconych śrubami, śruby bocznej dociskającej adapter od strony przeciwnej do mocowania łopatki turbiny, oraz śrub centrująco-mocujących zespołu chwytakowego zlokalizowanych na spodzie korpusu; przy czym korpus jest zasadniczo prostopadłościenny ze schodkowym wycięciem od strony montażu łopatki turbiny w adapterze.

Korzystnie płytki blokujące są zasadniczo prostokątne.

Korzystnie korpus wykonany jest ze stali żarowytrzymałościowej.

Korzystnie adapter jest wykonany ze stopu niklu.

Kolejną istotą wynalazku jest sposób montażu łopatki turbiny w stanowisku według wynalazku, charakteryzujący się tym, że obejmuje następujące etapy:

- a) montaż prostopadłościennej części mocującej korpusu w górnych szczękach maszyny wytrzymałościowej oraz popychacza w dolnych szczękach maszyn wytrzymałościowej;
- b) wprowadzenie łopatki turbiny do adaptera oraz jej montowanie z adapterem na zamek;
- c) blokada łopatki turbiny umieszczonej w adapterze płytkami blokującymi skręconymi śrubami poprzez jej unieruchomienie w osi z trójwymiarowego układu współrzędnych;
- d) unieruchomienie łopatki turbiny umieszczonej w adapterze w osi x trójwymiarowego układu współrzędnych poprzez dokręcenie śruby bocznej;
- e) unieruchomienie łopatki turbiny umieszczonej w adapterze w osi y trójwymiarowego układu współrzędnych poprzez dokręcenie śrub centrująco-mocujących;
- f) wprowadzenie zwojnicy na łopatkę turbiny;
- g) dosunięcie popychacza do powierzchni łopatki turbiny.

Wynalazek zapewnia następujące korzyści

- Budowa zespołu chwytowego stacji według wynalazku umożliwia bezpośredni montaż łopatki turbiny przy jednoczesnym zabezpieczeniu przed przemieszczaniem się łopatki we wszystkich osiach trójwymiarowego układu współrzędnych (x, y, z) w trakcie przeprowadzanej próby wytrzymałościowej;
- Przyrząd według wynalazku umożliwia przeprowadzenie wiarygodnych badań zmęczeniowych łopatki turbiny w temperaturze jej eksploatacji, zwłaszcza przy zastosowaniu siły osiowej ze względu na skuteczną likwidację niewspółosiowości między przyrządem a uchwytami przyrządu podczas wykonywania próby wytrzymałościowej;
- Budowa górnej części przyrządu montowanej w górnym zacisku maszyny wytrzymałościowej eliminuje moment skręcający oraz luz w kierunku głównej osi próbki.

- System płytek blokujących umożliwia dopasowanie się połączenia śrub do złożonego profilu geometrycznego łopatki, co zapewnia równomierne rozłożenie siły osiowej na całej długości łopatki, jak i koncentrację siły dokładnie w miejscu przyłożenia siły przez dolny popychacz.

Wynalazek przedstawiono w przykładzie wykonania oraz na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia w rzucie bocznym schemat uchwytu do łopatek turbin według wynalazku, umożliwiającą zadawanie obciążeń zginających z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej; fig. 2 przedstawia przykład kształtu adaptera.

### Przykład 1

Stanowisko do badania wytrzymałości łopatek turbin w warunkach wysokotemperaturowych obciążeń cyklicznych oraz złożonym stanie naprężenia według wynalazku przedstawiono na fig. 1, na której: **1** oznacza korpus; **2** oznacza śrubę boczną; **3** oznacza łopatkę turbiny; **4** oznacza adapter; **5** i **6** oznaczają płytki blokujące; **7** oznacza śruby; **8** oznacza śruby centrująco-mocujące; **9** oznacza popychacz; **10** oznacza zwojnicę; **11** oznacza prostopadłościenną część mocującą. Stanowisko według wynalazku jest przeznaczone do mocowania w szczękach standardowej maszyny wytrzymałościowej znanej ze stanu techniki.

Stanowisko według wynalazku składa się z części górnej oraz części dolnej. Wspomnianą górną część stanowi korpus **1** z prostopadłościenną częścią mocującą **11** przytwierdzającą od góry korpus **1** do górnej szczęki maszyny wytrzymałościowej, a dolną część stanowiska montowaną w dolnej szczęce maszyny wytrzymałościowej stanowi popychacz **9**, którym jest pręt zakończony sferycznie o zdefiniowanym promieniu. Przy czym, w tym nieograniczającym przykładzie wykonania popychacz **9** stanowi pręt o średnicy  $\varnothing$  10 mm, którego koniec został zaokrąglony w trakcie obróbki skrawaniem do zdefiniowanego promienia R10 mm.

Taka geometria popychacza **9**, tj. pręta obciążającego pióro łopatki turbiny zapewnia ograniczenie kontaktu do punktowego styku i redukuje tarcie, ponieważ podczas odkształcenia łopatki punkt kontaktu przesuwają się po krzywiznie kolistej powierzchni pręta. Stanowisko według wynalazku pozwala na ocenę wytrzymałości zmęczeniowej, poprzez zadanie obciążenia zginającego, co w połączeniu z punktem podparcia pozwala uzyskać złożony stan naprężenia, który może symulować mechaniczne obciążenia eksploatacyjne.

Korpus **1** jest wyposażony w zespół chwytakowy do mocowania i stabilizacji badanej próbki, tj. łopatki turbiny **3**. Wspomniany zespół chwytakowy korpusu **1** składa się z adaptera **4** montowanego w korpusie **1**, w którym na zamek mocowana jest łopaska turbiny **3**, płytek blokujących umocowanych po obu bokach korpusu **1** na wysokości adaptera **4** i skręcanych śrubami **7**, śruby bocznej **2** dociskającej adapter **4** od strony przeciwnej do mocowania łopatki turbiny **3**, oraz śrub centrująco-mocujących **8** zespołu chwytakowego zlokalizowanych na spodzie korpusu **1**.

W tym przykładzie wykonania płytki blokujące **5** i **6** są zasadniczo prostokątne, a każda z płytek blokujących **5** i **6** jest skręcana za pomocą czterech śrub **7**. Płytki blokujące **5** i **6** połączone z korpusem **1** stanowiska według wynalazku zapewniają osiowość siły zadawanej przez maszynę wytrzymałościową.

Płytki blokujące **5** i **6** skręcane za pomocą czterech śrub **7** umożliwiają unieruchomienie łopatki turbiny **3** w osi z. Dodatkowo śruba boczna **2** zapewnia unieruchomienie próbki w osi x, zaś śruby centrująco-mocujące **8** zapewniają unieruchomienie łopatki turbiny **3** w osi y.

Ponadto, jak wskazano na fig. 1, korpus **1** jest zasadniczo prostopadłościenny ze schodkowym wycięciem od strony montażu łopatki turbiny **3** w adapterze **4**. Taka budowa korpusu **1** pozwala na dodatkowe wprowadzenie zwojnicy **10** pozwalającej uzyskać temperaturę do 1000°C w trakcie wykonywanej próby wytrzymałościowej. Zwojnica **10** jest przymocowana do ramy maszyny wytrzymałościowej w sposób umożliwiający umiejscowienie łopatki turbiny **3** w środku uzwojenia.

W tym nieograniczającym przykładzie wykonania korpus **1** wykonany jest ze stali żarowytrzymałej, o geometrii pozwalającej montaż uchwytu w szczękach hydraulicznych lub mechanicznych standardowej maszyny wytrzymałościowej. Natomiast adapter **4** montowany w korpusie **1** jest wykonany ze stopu niklu i może być dedykowany do szerokiego zakresu łopatek montowanych na zamek.

### Przykład 2

Sposób montażu łopatki turbiny w stanowisku według wynalazku przed rozpoczęciem procedury badawczej obejmuje w pierwszej kolejności montaż prostopadłościennej części mocującej **11** korpusu **1** w górnych szczękach maszyny wytrzymałościowej oraz popychacza **9** w dolnych szczękach maszyn wytrzymałościowej. Następnie łopaska turbiny **3** jest wprowadzana do adaptera **4**, gdzie następuje jej

montowanie z adapterem 4 na zamek. Połączona łopatką turbiny 3 wraz z adapterem 4 umiejscowione są następnie w części roboczej przyrządu oraz zablokowane z wykorzystaniem płytek blokujących 5 i 6 skręconych czterema śrubami 7, co zapewnia unieruchomienie łopatki turbiny 3 w osi z trójwymiarowego układu współrzędnych (osie wskazano na fig. 1). Sztywność układu zostaje zapewniona poprzez dokręcenie śrub centrująco-mocujących 8 oraz śruby bocznej 2, co zapewnia unieruchomienie łopatki turbiny 3 odpowiednio w osiach x oraz y trójwymiarowego układu współrzędnych. Następnie badana łopatką 3 zostaje umiejscowiona w zwojnicy 10 pozwalającej na jej grzanie indukcyjne. Natomiast umieszczony w szczękach dolnych maszyny wytrzymałościowej popychacz 9, za pomocą sterowania przemieszczeniem dolnego tłoka maszyny wytrzymałościowej, zostaje dosunięty do powierzchni łopatki turbiny 3.

Po zadaniu określonej temperatury przez zwojnicę 10 i osiągnięciu zadanej temperatury przez łopatkę turbiny 3 monitorowanej za pomocą pirometru o wysokiej czułości zadawane zostaje cykliczne obciążenie z określoną częstotliwością (np. 20 Hz) i określonym zakresem temperatury (np. 1000°C). Zwojnica 10 jest przymocowana do ramy maszyny wytrzymałościowej w sposób umożliwiający umiejscowienie łopatki turbiny 3 w środku uzwojenia. Po przeciwnej stronie ramy maszyny wytrzymałościowej przymocowany jest pirometr pod kątem 45° i odległości 200 mm do powierzchni łopatki turbiny 3 zapewniający wiarygodny odczyt temperatury.

W zależności od zastosowanego adaptera 4, możliwe jest testowanie łopatek o różnej geometrii uzębienia zamka. Przykładowy kształt adaptera 4 przedstawiono na fig. 2. Jak wskazano na fig. 2, w tym nieograniczającym przykładzie wykonania adapter 4 na charakteryzuje się geometrią pozwalającą zarówno na jego łatwy montaż w korpusie 1, jak i otworem przelotowym, znajdującym się w jego części chwytowej mocowanej w korpusie 1, zapewniającym niewielki luz dający możliwość umieszczenia w adapterze 4 samej łopatki 3.

Przy czym, fig. 2 stanowi jedynie przykład realizacji adaptera 4. W zależności od geometrii uzębienia zamka łopatki 3 możliwe jest wykonanie adaptera 4 o dowolnej geometrii dającej możliwość stabilnego jej mocowania.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Stanowisko do badania wytrzymałości łopatek turbin w warunkach wysokotemperaturowych obciążeń cyklicznych oraz złożonym stanie naprężenia, mocowane w szczękach maszyny wytrzymałościowej zawierające zespół chwytakowy do mocowania łopatki, **znamiennie tym**, że składa się z części górnej oraz części dolnej, gdzie górną część stanowi korpus (1) z prostopadłościenną częścią mocującą (11) przytwierdzającą od góry korpus (1) do górnej szczęki maszyny wytrzymałościowej, a dolną część stanowiska montowaną w dolnej szczęce maszyny wytrzymałościowej stanowi popychacz (9), którym jest pręt zakończony sferycznie o zdefiniowanym promieniu; natomiast zespół chwytakowy korpusu (1) składa się z adaptera (4) montowanego w korpusie (1), w którym mocowana jest łopatką turbiny (3), płytek blokujących umocowanych po obu bokach korpusu (1) na wysokości adaptera (4) i skręcanych śrubami (7), śruby bocznej (2) dociskającej adapter (4) od strony przeciwnej do mocowania łopatki turbiny (3), oraz śrub centrująco-mocujących (8) zespołu chwytakowego zlokalizowanych na spodzie korpusu (1); przy czym korpus (1) jest zasadniczo prostopadłościenny ze schodkowym wycięciem od strony montażu łopatki turbiny (3) w adapterze (4).
2. Stanowisko według zastrz. 1, **znamiennie tym**, że płytki blokujące (5, 6) są zasadniczo prostopadłe.
3. Stanowisko według zastrz. 1 albo 2, **znamiennie tym**, że korpus (1) wykonany jest ze stali żarowytrzymałej.
4. Stanowisko według dowolnego z poprzednich zastrz. od 1 do 3, **znamiennie tym**, że adapter (4) jest wykonany ze stopu niklu.
5. Sposób montażu łopatki turbiny w stanowisku według dowolnego z poprzednich zastrzeżeń od 1 do 4, **znamiennie tym**, że obejmuje następujące etapy:
  - a) montaż prostopadłościenną część mocującą (11) korpusu (1) w górnych szczękach maszyny wytrzymałościowej oraz popychacza (9) w dolnych szczękach maszyn wytrzymałościowej;
  - b) wprowadzenie łopatki turbiny (3) do adaptera (4) oraz jej montowanie z adapterem (4) na zamek;

- c) blokada łopatki turbiny (3) umieszczonej w adapterze (4) płytkami blokującymi (5, 6) skręconymi śrubami (7) poprzez jej unieruchomienie w osi z trójwymiarowego układu współrzędnych;
- d) unieruchomienie łopatki turbiny (3) umieszczonej w adapterze (4) w osi x trójwymiarowego układu współrzędnych poprzez dokręcenie śruby bocznej (2);
- e) unieruchomienie łopatki turbiny (3) umieszczonej w adapterze (4) w osi y trójwymiarowego układu współrzędnych poprzez dokręcenie śrub centrująco-mocujących (8);
- f) wprowadzenie zwojnicy (10) na łopatkę turbiny (3);
- g) dosunięcie popychacza (9) do powierzchni łopatki turbiny (3).

### Rysunki

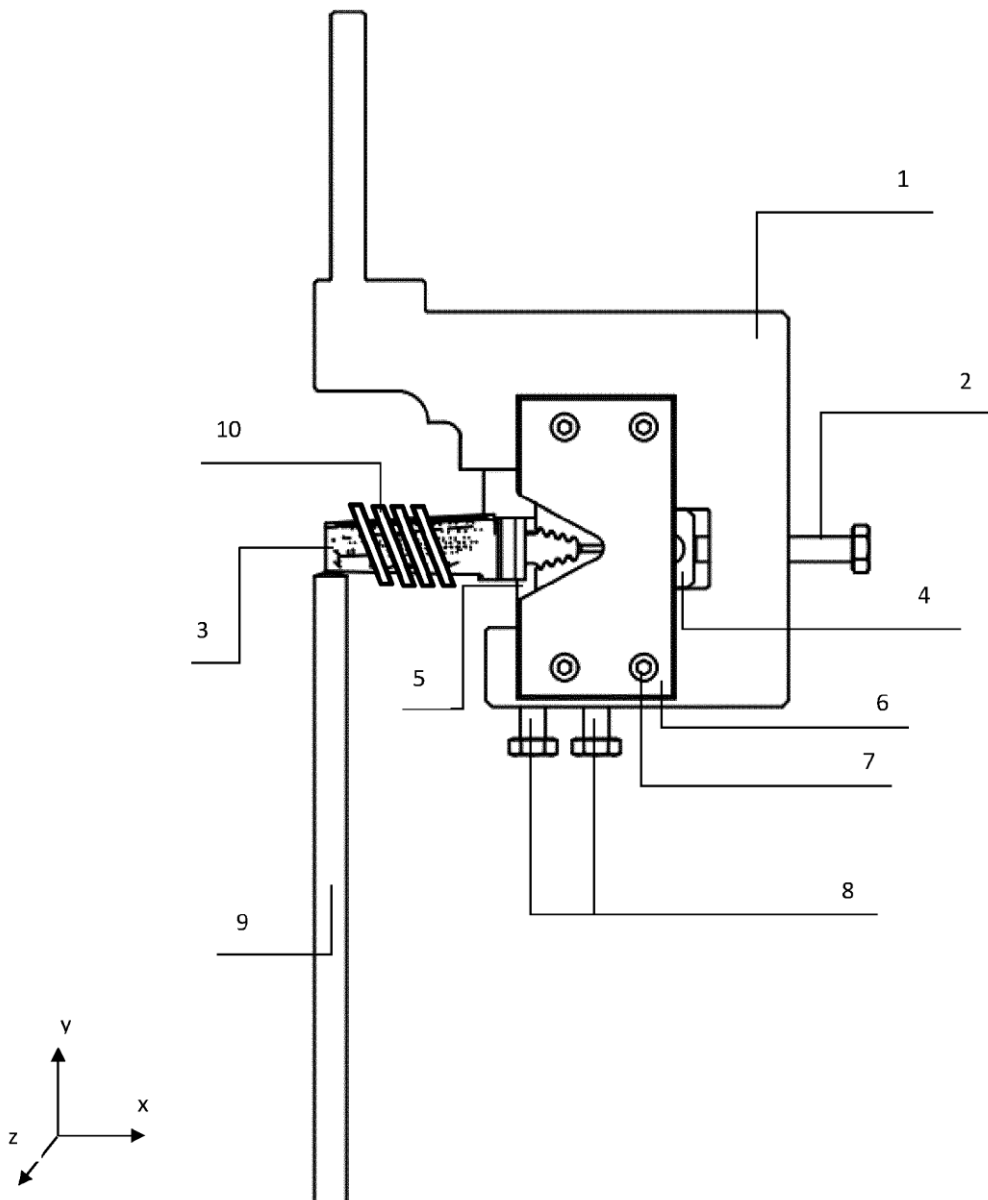


Fig. 1

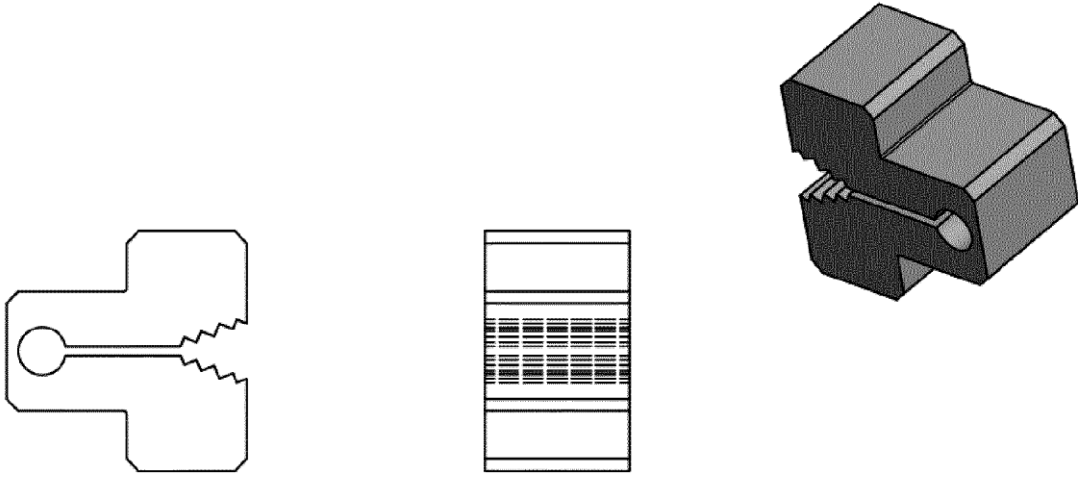


Fig.2