

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **234657**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **421696**

(22) Data zgłoszenia: **24.05.2017**

(51) Int.Cl.

**G01N 3/00 (2006.01)**

**G01N 3/04 (2006.01)**

**G01N 3/30 (2006.01)**

**G01N 3/313 (2006.01)**

**G01N 1/28 (2006.01)**

**G01M 7/04 (2006.01)**

(54) **Uchwyt pomiarowy do Dzielonego Pręta Hopkinsona oraz sposób pomiaru zachowania materiału, w którym stosuje się Dzielony Pręt Hopkinsona**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**03.12.2018 BUP 25/18**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**31.03.2020 WUP 03/20**

(73) Uprawniony z patentu:

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

(72) Twórca(y) wynalazku:

**LESZEK FRAŚ, Wola Zabierzowska, PL  
DOROTA KOŁBUK-KONIECZNY,  
Lewandów, PL  
AGNIESZKA MARLENA PRĘGOWSKA,  
Warszawa, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Mariusz Kondrat**

**PL 234657 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest uchwyt pomiarowy do Dzielonego Pręta Hopkinsona (ang. Split Hopkinson Pressure Bar, SPHB) oraz sposób pomiaru zachowania materiału, w którym stosuje się Dzielony Pręt Hopkinsona. Uchwyt oraz sposób pomiaru umożliwiają elastoplastyczny pomiar zachowania włókien i włókniń, przeznaczonych do zastosowań biomedycznych, przy wysokich prędkościach naprężeń.

Włókna i włókniń charakteryzują się znaczną długością i niewielkim przekrojem poprzecznym. Ich właściwości mechaniczne są anizotropowe, tzn. wytrzymałość na rozciąganie jest znacznie wyższa wzdłuż niż w poprzek włókna. Dodatkowo, właściwości mechaniczne włókien i włókniń, formowanych np. metodą elektroprzędzenia, są znacznie słabsze niż materiałów litych, co powoduje utrudnienia podczas pomiaru ich własności znormalizowanymi metodami, na przykład ISO 13934, ISO 2307, ISO 527, ISO 13935.

Istnieją uchwyty umożliwiające pomiary właściwości różnego rodzaju materiałów, np. kruchych kul – ujawnionych w dokumencie CN102128754A, zarówno polimerowych jak i kompozytowych piłek golfowych – dokumenty: JP002001137388A, JP002001061993A, US000006695719B1, US000006422952B1, JP002001137388A, JP002001061993A, US000006695719B1, US000006422952B1.

W odróżnieniu od wynalazku, rozwiązania przedstawione w opublikowanych dokumentach do pomiarów dynamicznych właściwości materiałów stosują Dzielony Pręt Hopkinsona na ścinanie. W tej powszechnie stosowanej metodzie pomiarowej rozpędzony pręt-pocisk uderza w pręt transmitujący, generując falę sprężystą, która propaguje się wzdłuż pręta. Kiedy fala dociera do czoła pręta, powoduje jego przemieszczenie odkształcające plastycznie badaną próbkę.

W zgłoszeniu CN000105043 895A przedstawiono rozwiązanie stosujące SPHB do pomiaru materiałów typu włókna na klasyczne ścinanie. Natomiast w zgłoszeniu CN000105043895A przedstawiono rozwiązanie stosujące SPHB do pomiaru materiałów typu włókna żelbetowe na wytrzymałość na zginanie.

Dzielony Pręt Hopkinsona na ścinanie jest powszechnie stosowanym urządzeniem laboratoryjnym przeznaczonym do prób dynamicznych. Włókna i włókniń w zastosowaniach biomedycznych mogą być formowane z materiałów rozpuszczalnych i nierozpuszczalnych w organizmie. Stosowane są one jako implanty: więzadeł, ścięgien, mięśni oraz jako nici chirurgiczne, materiały opatrunkowe. W wyżej wymienionych zastosowaniach włókna i włókniń pracują w warunkach rozciągania. Ze względu na złożoną geometrię włókien i włókniń, ich właściwości dynamiczne są trudne do zmierzenia dostępnymi metodami analizy właściwości mechanicznych.

Uchwyt i sposób według wynalazku pozwalają na stosowanie SPHB do pomiarów materiałów na rozciąganie, do pomiaru wielkości fizycznych, takich jak odkształcenia, przy pomocy metody rezystancyjnej. Rozwiązania według wynalazku rozszerzają możliwości pomiarowe SPHB o pomiary na rozciąganie materiałów o niskim współczynniku Younga i złożonej geometrii (typu włókniń). Umożliwiają one badanie pomiaru elastoplastycznego zachowania włókien i włókniń wytworzonych z materiałów rozpuszczalnych i nierozpuszczalnych w organizmie. Materiały te pracują przy wysokich prędkościach naprężeń, w zastosowaniach biomedycznych typu implanty: więzadeł, ścięgien, mięśni oraz nici chirurgiczne, materiały opatrunkowe. W celu scharakteryzowania uchwytu według wynalazku posłużono się pojęciem „płaszczyzna”, które zgodnie z definicją zaczerpniętą ze słownika języka polskiego PWN oznacza powierzchnię płaską, gładką.

Uchwyt pomiarowy według wynalazku do Dzielonego Pręta Hopkinsona, zawierającego pręt transmitujący napędzany pociskiem i pręt odbierający, umieszczony pomiędzy tymi prętami, do którego mocowany jest materiał poddawany badaniu, charakteryzuje się tym, że uchwyt składa się z dwóch elementów uchwytowych, pomiędzy którymi umieszcza się badaną próbkę materiału. Elementy uchwytowe są jednakowe i każdy z nich zawiera tuleję, a kraniec tulei elementu uchwytowego przeciwny do styku tulei z prętem transmitującym lub prętem odbierającym zawiera wysięgnik mający płaszczyznę równoległą do osi podłużnej tulei. Od powierzchni płaszczyzny wysięgnika w kierunku osi tulei odchodzą trzpień pierwszy i trzpień drugi, przy czym trzpień pierwszy i trzpień drugi są umieszczone po przeciwnych stronach płaszczyzny prostopadłej do płaszczyzny wysięgnika. Trzpień pierwszy jest umiejscowiony bliżej powierzchni bocznej tulei niż trzpień drugi.

Korzystnie, średnica wewnętrzna tulei elementu uchwytowego jest równa średnicy zewnętrznej pręta transmitującego i pręta odbierającego.

Korzystnie, tuleja ma z jednej strony ograniczony wylot.

Korzystnie, tuleja z jednej strony jest zaślepiona.

Korzystnie, tuleja ma stopniowaną średnicę wewnętrzną.

Korzystnie, jeden z elementów uchwytowych jest umieszczony na pręcie transmitującym Dzielonego Pręta Hopkinsona, a drugi z elementów uchwytowych jest umieszczony na pręcie odbierającym Dzielonego Pręta Hopkinsona tak, że trzpień pierwszy i trzpień drugi jednego z elementów uchwytowych skierowane są w stronę trzpienia pierwszego i drugiego trzpienia drugiego z elementów uchwytowych.

Korzystnie, średnica wysięgnika jest równa co najmniej  $3/5$  średnicy tulei.

Korzystnie, wysokość elementu uchwykowego jest równa  $3/5$  wysokości tulei.

Korzystnie, średnica trzpienia pierwszego i trzpienia drugiego jest równa  $1/6$  średnicy tulei, a ich długość wynosi ok. 3 mm lub więcej.

Korzystnie, odległość trzpienia pierwszego i trzpienia drugiego od osi symetrii przekroju poprzecznego odpowiednich elementów uchwytowych wynosi  $1/2$  średnicy prętów transmitującego i odbierającego.

Sposób pomiaru zachowania materiału według wynalazku, w którym stosuje się Dzielony Pręt Hopkinsona zawierający pręt transmitujący napędzany pociskiem i pręt odbierający, pomiędzy którymi umieszcza się uchwyt, do którego mocowany jest materiał poddawany badaniu, charakteryzuje się tym, że badany materiał w postaci podłużnego paska materiału formuje się w pierścień przy pomocy połączenia klejowego. Następnie badany materiał umieszcza się w uchwycie formując z niego ósemkę, tak że każdą z pętli tak uformowanego badanego materiału mocuje się na pierwszym trzpieniu oraz drugim trzpieniu jednego elementu uchwykowego, oraz na pierwszym trzpieniu oraz drugim trzpieniu drugiego elementu uchwykowego. Dalej uruchamia się pocisk, który uderza w pręt transmitujący a wytwarzana fala czołowa jest przenoszona poprzez uchwyt na pręt odbierający i badany materiał, powodując jego rozciągnięcie oraz wytworzenie naprężenia umożliwiającego pomiar wartości dynamicznych przez zespół pomiarowy Dzielonego Pręta Hopkinsona.

Korzystnie, sposób dodatkowo obejmuje etap oceny właściwości dynamicznych testowanego materiału, obejmujący porównanie różnicy amplitud fal między prętem transmitującym a prętem odbierającym w zestawieniu z takimi właściwościami jak gęstość i moduł Younga.

Korzystnie, w etapie mocowania pętli materiału na trzpieniach uzyskiwana powierzchnia styku trzpieni z badanym materiałem jest równa co najmniej powierzchni czujnika badającego pole odkształcenia prętów transmitującego i odbierającego.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania jest widoczny na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia przekrój przez jeden element uchwytowy zamontowany na jednym z prętów SPHB, fig. 2 – widok z boku jednego z elementów uchwytowych, fig. 3 – widok z przodu jednego z elementów uchwytowych, fig. 4 – widok z góry jednego z elementów uchwytowych, fig. 5 – widok jednego z elementów uchwytowych od strony SPHB, fig. 6 – rzut jednego z elementów uchwytowych, fig. 7 – sposób formowania badanego materiału, fig. 8 – sposób mocowania badanego materiału na uchwycie, fig. 9 – Dzielony Pręt Hopkinsona na ściskanie z uchwycem według wynalazku, fig. 10 – wyniki pochodzące z pomiarów badanego materiału z zastosowaniem uchwytu i sposobu według wynalazku.

Dzielony Pręt Hopkinsona na ścinanie składa się z pocisku (ang. striker) 1, pręta transmitującego 2 i pręta odbierającego 3.

Uchwyt pomiarowy 4 umieszczony jest pomiędzy prętem transmitującym 2, napędzanym pociskiem 1 i prętem odbierającym 3 Dzielonego Pręta Hopkinsona. Uchwyt 4 składa się z dwóch jednakowych elementów uchwytowych 5, pomiędzy którymi umieszcza się badaną próbkę materiału 10 wraz z jej wstępnym naprężeniem. Jeden z elementów uchwytowych 5 jest umieszczony na pręcie transmitującym 2 Dzielonego Pręta Hopkinsona, a drugi z elementów uchwytowych 5 jest umieszczony na pręcie odbierającym 3 Dzielonego Pręta Hopkinsona. Każdy z elementów uchwytowych 5 zawiera tuleję 6. Średnica wewnętrzna tulei 6 elementu uchwykowego 5 jest równa średnicy zewnętrznej pręta transmitującego 2 i pręta odbierającego 3. Kraniec tulei 6 elementu uchwykowego 5 przeciwny do styku tulei 6 z prętem transmitującym 2 lub prętem odbierającym 3 zawiera wysięgnik 7 mający płaszczyznę  $\alpha$  równoległą do osi podłużnej tulei 6. Od powierzchni płaszczyzny  $\alpha$  wysięgnika 7 odchodzą w kierunku osi tulei 6 trzpień pierwszy 8 oraz trzpień drugi 9. Trzpień pierwszy 8 i trzpień drugi 9 są umieszczone po przeciwnych stronach płaszczyzny prostopadłej do płaszczyzny  $\alpha$  wysięgnika 7. Dodatkowo trzpień pierwszy 8 jest umiejscowiony bliżej powierzchni bocznej tulei 6 niż trzpień drugi 9. Trzpień pierwszy 8 i trzpień drugi 9 jednego z elementów uchwytowych 5 skierowane są w stronę trzpienia pierwszego 8 i trzpienia drugiego 9 drugiego z elementów uchwytowych 5.

W jednym przykładzie wykonania tuleja 6 ma z jednej strony ograniczony wylot. W następnym przykładzie wykonania tuleja 6 z jednej strony jest zaślepiona, a w jeszcze innym przykładzie wykonania tuleja 6 ma stopniowaną średnicę wewnętrzną.

W przykładzie wykonania średnica wysięgnika 7 jest równa co najmniej  $\frac{3}{5}$  średnicy tulei 6.

W przykładzie wykonania wysokość elementu uchwytnego 5 jest równa  $\frac{3}{5}$  wysokości tulei 6.

W przykładzie wykonania średnica trzpienia pierwszego 8 i trzpienia drugiego 9 jest równa  $\frac{1}{6}$  średnicy tulei 6, a ich długość wynosi ok. 3 mm. W innym przykładzie wykonania długość trzpienia pierwszego 8 i trzpienia drugiego 9 jest większa niż 3 mm.

W przykładzie wykonania odległość trzpienia pierwszego 8 i trzpienia drugiego 9 od osi symetrii przekroju poprzecznego odpowiednich elementów uchwytnych 5 wynosi  $\frac{1}{2}$  średnicy prętów transmitującego 2 i odbierającego 3.

W przykładzie wykonania uchwyt 4, tak jak i pręty transmitujący 2 oraz pręt odbierający 3 są wykonane z nylonu lub innego materiału o impedancji falowej adekwatnej do impedancji falowej badanego materiału 10.

W przykładzie wykonania powierzchnia styku trzpienia pierwszego 8 i trzpienia drugiego 9 z badanym materiałem 10, tj. włóknem lub włókniną, musi być co najmniej równa powierzchni czujnika badającego pole odkształcenia prętów transmisyjnego 2 i odbierającego 3.

W sposobie pomiaru zachowania materiału według wynalazku stosuje się Dzielony Pręt Hopkinsona zawierający pręt transmitujący 2 napędzany pociskiem 1 i pręt odbierający 3, oraz uchwyt 4 opisany powyżej. Badany materiał 10 formuluje się tak, aby w stanie wstępnym był w formie podłużnego paska materiału tj. włókna lub włókniny.

W przykładzie wykonania grubość paska badanego materiału 10 jest mniejsza niż  $\frac{1}{4}$  średnicy prętów transmitującego 2 i odbierającego 3, przykładowo powyżej 400 nm. Szerokość paska badanego materiału 10 jest mniejsza niż długość trzpienia pierwszego 8 i trzpienia drugiego 9 uchwytu 4 a jego długość nie większa niż pięciokrotność średnicy prętów transmisyjnego 2 i odbierającego 3, przykładowo równa pięciokrotności średnicy tych prętów. Dodatkowo w przykładzie wykonania, włókno lub włóknina ma przekrój poprzeczny nie mniejszy niż  $0,15 \mu\text{m}^2$ .

W przykładzie wykonania powierzchnia styku trzpieni 8 i 9 z badanym materiałem 10 w przykładzie wykonania jest co najmniej równa powierzchni czujnika badającego pole odkształcenia prętów transmitującego 2 i odbierającego 3.

Przed zamocowaniem badanego materiału 10 w uchwycie 4 formuje się go w pierścień przy pomocy połączenia klejowego 11 o wytrzymałości większej niż wytrzymałość badanego włókna lub włókniny.

Następnie badany materiał 10 umieszcza się w uchwycie 4 formując z niego ósemkę, tak aby każdą z pętli tak uformowanego włókna lub włókniny zamocować na pierwszym trzpieniu 8 oraz drugim trzpieniu 9 jednego elementu uchwytnego 5, oraz na pierwszym trzpieniu 8 oraz drugim trzpieniu 9 drugiego elementu uchwytnego 5.

Dalej uruchamia się pocisk (ang. striker) 1, który uderza w pręt transmitujący (ang. incident bar) 2 i wytwarza falę czołową. Fala ta przenoszona jest przez uchwyt 4, w którym umiejscowiony jest badany materiał 10 (ang. grip with specimen) na pręcie odbierający 3 (ang. transmitted bar). W wyniku uderzenia prętem transmitującym 2 fala czołowa przejdzie na zamocowaną w uchwycie 4 próbkę 10 powodując jej rozciągnięcie oraz wytworzy naprężenia umożliwiające pomiar wartości dynamicznych.

Porównując różnicę amplitud fal między prętem transmitującym 2 a prętem odbierającym 3 oraz korzystając z właściwości, takich jak gęstość i moduł Younga testowanego materiału, określa się właściwości dynamiczne badanego materiału 10. Przykładowy wynik zastosowania sposobu został przedstawiony na fig. 10. W wyniku wytworzenia w pręcie transmitującym 2 fali czołowej zmierzonej za pomocą tensometru oporowego, przez proponowany uchwyt 4 i badany materiał 10 fala przeszła na pręt odbierający 3.

Przykłady wykonania podane są tu jedynie w charakterze nieograniczających wskazań dotyczących wynalazku i nie mogą w żaden sposób ograniczać zakresu ochrony, który jest określony przez zastrzeżenia patentowe.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Uchwyt pomiarowy (4) do Dzielonego Pręta Hopkinsona, zawierającego pręt transmitujący (2) napędzany pociskiem (1) i pręt odbierający (3), umieszczony pomiędzy tymi prętami (2 i 3), do którego mocowany jest materiał poddawany badaniu, **znamienny tym**, że uchwyt (4) składa się z dwóch elementów uchwytowych (5), pomiędzy którymi umieszcza się badaną próbkę materiału, przy czym elementy uchwytowe (5) są jednakowe i każdy z nich zawiera tuleję (6), a kraniec tulei (6) elementu uchwykowego (5) przeciwległy do styku tulei (6) z prętem transmitującym (2) lub prętem odbierającym (3) zawiera wysięgnik (7) mający płaszczyznę ( $\alpha$ ) równoległą do osi podłużnej tulei (6), przy czym od powierzchni płaszczyzny ( $\alpha$ ) od ściany wysięgnika (7) odchodzą w kierunku osi tulei (6) trzpień pierwszy (8) i trzpień drugi (9), przy czym trzpień pierwszy (8) i trzpień drugi (9) są umieszczone po przeciwnych stronach płaszczyzny prostopadłej do płaszczyzny ( $\alpha$ ) na ścianie wysięgnika (7), przy czym trzpień pierwszy (8) jest umiejscowiony bliżej powierzchni bocznej tulei (6) niż trzpień drugi (9).
2. Uchwyt według zastrz. 1, **znamienny tym**, że średnica wewnętrzna tulei (6) elementu uchwykowego (5) jest równa średnicy zewnętrznej pręta transmitującego (2) i pręta odbierającego (3).
3. Uchwyt według zastrz. 1, **znamienny tym**, że tuleja (6) ma z jednej strony ograniczony wylot.
4. Uchwyt według zastrz. 3, **znamienny tym**, że tuleja (6) z jednej strony jest zaślepiona.
5. Uchwyt według zastrz. 3, **znamienny tym**, że tuleja (6) ma stopniowaną średnicę wewnętrzną.
6. Uchwyt według zastrz. 1, **znamienny tym**, że jeden z elementów uchwytowych (5) jest umieszczony na pręcie transmitującym (2) Dzielonego Pręta Hopkinsona, a drugi z elementów uchwytowych jest umieszczony na pręcie odbierającym (3) Dzielonego Pręta Hopkinsona tak, że trzpień pierwszy (8) i trzpień drugi (9) jednego z elementów uchwytowych (5) skierowane są w stronę trzpienia pierwszego (8) i trzpienia drugiego (9) drugiego z elementów uchwytowych (5).
7. Uchwyt według zastrz. 1, **znamienny tym**, że średnica wysięgnika (7) jest równa co najmniej  $3/5$  średnicy tulei (6).
8. Uchwyt według zastrz. 1, **znamienny tym**, że wysokość elementu uchwykowego (5) jest równa  $3/5$  wysokości tulei (6).
9. Uchwyt według zastrz. 1, **znamienny tym**, że średnica trzpienia pierwszego (8) i trzpienia drugiego (9) jest równa  $1/6$  średnicy tulei (6), a ich długość wynosi ok. 3 mm lub więcej.
10. Uchwyt według zastrz. 1, **znamienny tym**, że odległość trzpienia pierwszego (8) i trzpienia drugiego (9) od osi symetrii przekroju poprzecznego odpowiednich elementów uchwytowych (5) wynosi  $1/2$  średnicy prętów transmitującego (2) i odbierającego (3).
11. Sposób pomiaru zachowania materiału, w którym stosuje się Dzielony Pręt Hopkinsona zawierający pręt transmitujący (2) napędzany pociskiem (1) i pręt odbierający (3), pomiędzy którymi umieszcza się uchwyt (4), do którego mocowany jest materiał poddawany badaniu, **znamienny tym**, że badany materiał (10) w postaci podłużnego paska materiału formuje się w pierścień przy pomocy połączenia klejowego (12), następnie badany materiał (10) umieszcza się w uchwycie (4) formując z niego ósemkę, tak że każdą z pętli tak uformowanego badanego materiału (10) mocuje się na pierwszym trzpieniu (8) oraz drugim trzpieniu (9) jednego elementu uchwykowego (5), oraz na pierwszym trzpieniu (8) oraz drugim trzpieniu (9) drugiego elementu uchwykowego (5), dalej uruchamia się pocisk (1), który uderza w pręt transmitujący (2) a wytwarzana fala czołowa jest przenoszona poprzez uchwyt (4) na pręt odbierający (3) i badany materiał (10), powodując jego rozciągnięcie oraz wytworzenie naprężenia umożliwiającego pomiar wartości dynamicznych przez podzespół pomiarowy Dzielonego Pręta Hopkinsona.
12. Sposób według zastrz. 11, **znamienny tym**, że dodatkowo obejmuje etap oceny właściwości dynamicznych testowanego materiału (10), obejmujący porównanie różnicy amplitud fal między prętem transmitującym (2) a prętem odbierającym (3) w zestawieniu z takimi właściwościami jak gęstość i moduł Younga.
13. Sposób według zastrz. 11, **znamienny tym**, że w etapie mocowania pętli materiału (10) na trzpieniach (9, 10) uzyskiwana jest powierzchnia styku trzpieni (8 i 9) z badanym materiałem (10) równa co najmniej powierzchni czujnika badającego pole odkształcenia prętów transmitującego (2) i odbierającego (3).

## Rysunki

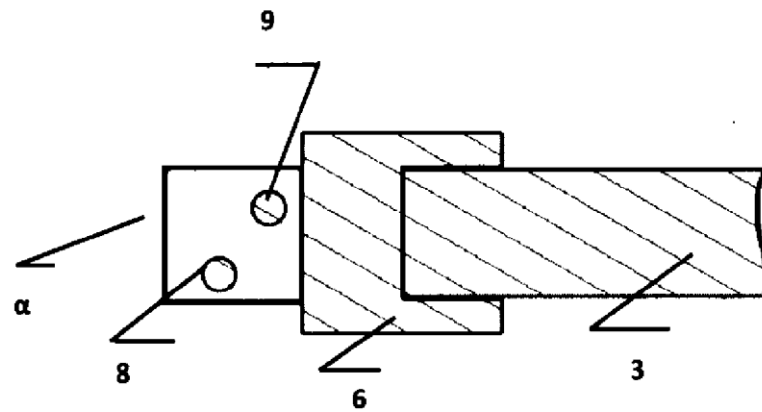


Fig. 1

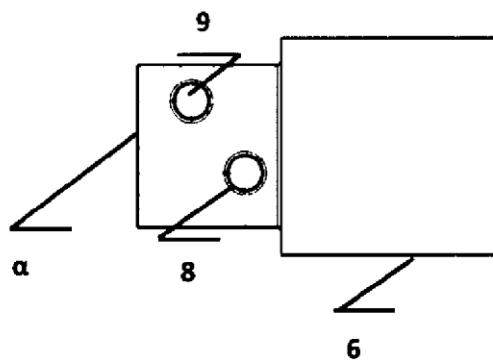


Fig. 2

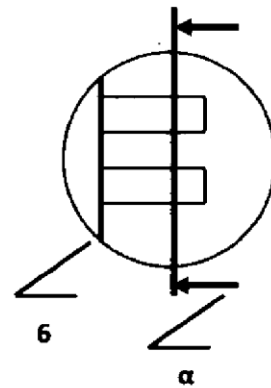


Fig. 3

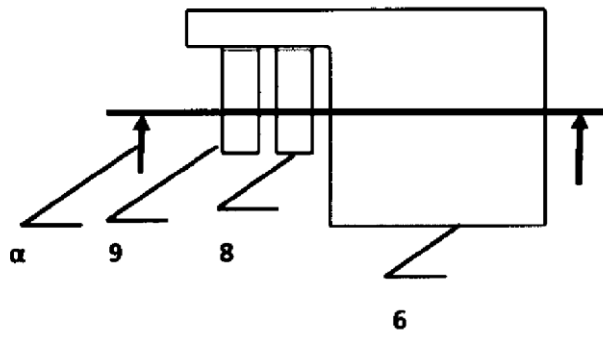


Fig. 4

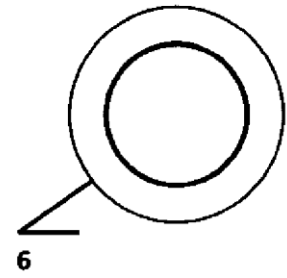


Fig. 5

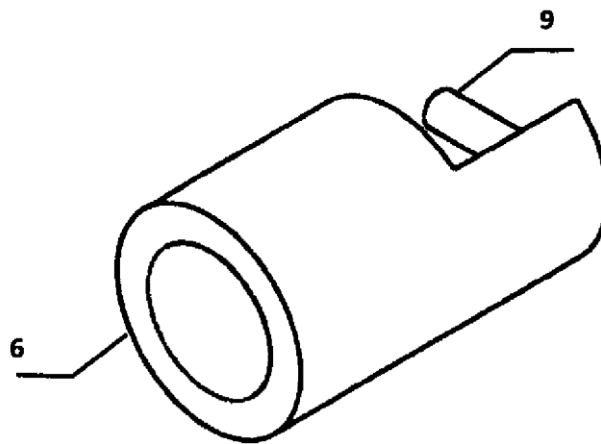


Fig. 6

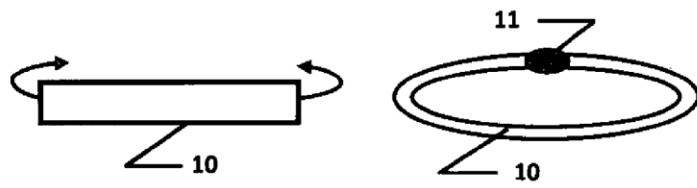


Fig. 7

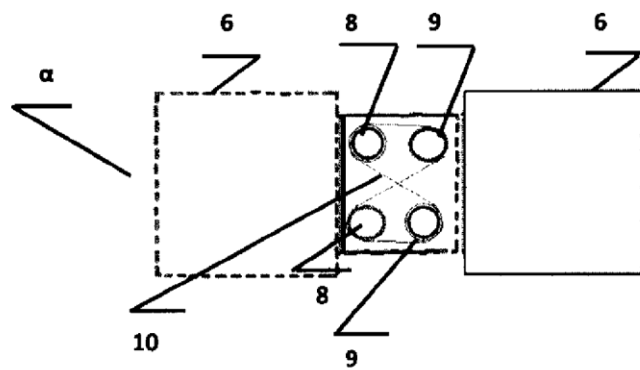


Fig. 8

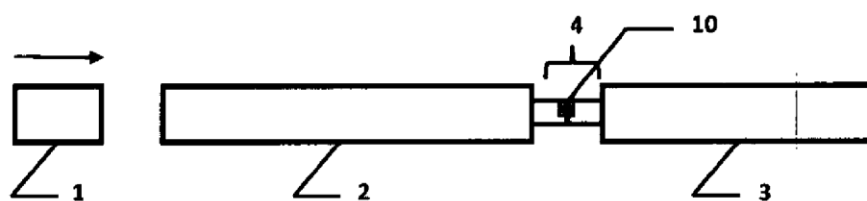


Fig. 9



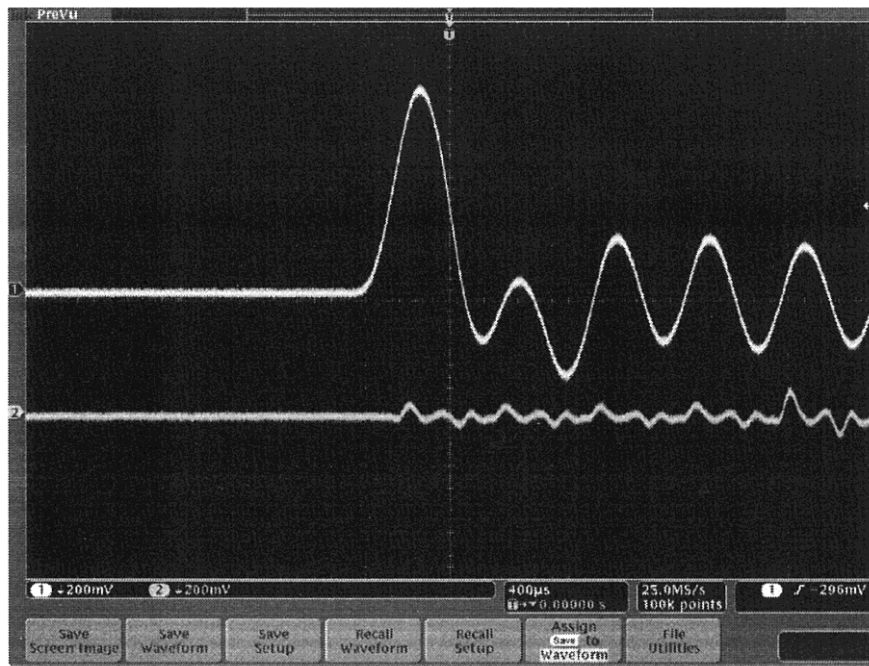


Fig. 10