

(11) Patento numeris: **6752** (51) Int. Cl. (2020.01): **G01M 7/00**

(21) Paraiškos numeris: **2018 570**

(22) Paraiškos padavimo data: **2018-12-11**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2020-06-25**

(45) Patento paskelbimo data: **2020-08-25**

(62) Paraiškos, iš kurios dokumentas išskirtas, numeris: —

(86) Tarptautinės paraiškos numeris: —

(86) Tarptautinės paraiškos padavimo data: —

(85) Nacionalinio PCT lygio procedūros pradžios data: —

(30) Prioritetas: —

(72) Išradėjas:

Vytautas MAKARSKAS, LT
Mindaugas JUREVIČIUS, LT
Artūras KILIKEVIČIUS, LT
Algimantas ROTMANAS, LT
Martynas KRIŠČIŪNAS, LT

(73) Patento savininkas:

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius, LT

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

Gediminas PRANEVIČIUS, Advokatų profesinė bendrija IP FORMA, Užupio g.30, LT-01203 Vilnius, LT

(54) Pavadinimas:

Krušos imitatorius saulės elementų testavimui ir jo veikimo būdas

(57) Referatas:

Išradimas skirtas krušos imitatoriui smūgių į saulės elemento paviršių testavimui ir jo veikimo būdui. Įrenginys susideda iš daugybės krušos ledo gabalėlius imituojančių kamuoliukų, lanksčia jungtimi pritvirtintų prie besisukančio veleno, sujungto su varikliu. Velenui sukantis, dėl išcentrinės jėgos lanksti jungtis įsitempia ir kamuoliukai juda apskritimine trajektorija tam tikru linijiniu greičiu. Kamuoliukui atsitrenkus į testuojamą paviršių, kamuoliuko greitis trumpame laiko intervale tampa beveik lygus nuliui, todėl susidaro smūgio sąlygos tuo momentu realizuojama maksimali smūgio jėga. Įrenginiai, veikiantys šiuo būdu, dirbtų ne pavieniais smūgiais, bet, panašiai kaip natūrali kruša, chaotiškų smūgių serijomis. Priklausomai nuo kamuoliukų medžiagos, formos, masės, skaičiaus, lanksčiųjų jungčių savybių ir geometrijos, velenų skaičiaus, jų išdėstymo ir sukimosi dinaminio parametro, gali būti realizuojami įvairaus dažnio, ritmingumo, stiprumo, atakos kampo smūgiai į saulės elemento paviršių, atkartojantys natūralią krušą. Išradimas gali būti taikomas srovinėje saulės elementų gamyboje, kai testuojami elementai nesustodami praslenka pro krušos imitatorių.

Technikos sritis

Išradimas skirtas krušos imitatoriui saulės elementų testavimui ir būdai imituoti atmosferinių kritulių (krušos) sukeltus smūgius į paviršių. Įrenginys ir būdas bus taikomi patikrinti saulės modulių atsparumą atmosferiniams krituliams, o taip pat gali būti taikomas ir kitiems tikslams, kur reikalinga imituoti panašias (ritmingas ar chaotiškas) smūgių serijas į paviršių.

Technikos lygis

Eksplotacijos metu saulės elementų paviršiai iš aplinkos patiria ne tik temperatūrinius svyravimus, bet ir įvairius mechaninius poveikius – žmonių bei gyvosios ir negyvosios gamtos sukeltas statines bei dinamines (smūgines) apkrovas. Vienas iš svarbiausių ir pavojingiausių poveikių saulės elementų paviršiams ir visai konstrukcijai – atmosferinių kritulių, o konkrečiai – krušos sukelta smūginė apkrova. Gamybos metu saulės elementams parenkamos skaidrios bet atsparios medžiagos ir projektuojama taip, kad atlaikytų visas galimas eksploatacijos metu atsirandančias apkrovas. Tačiau gamintojai turi būti tikri, kad patiekia vartotojui kokybišką produktą. Tuo tikslu gamybos etapo pabaigoje elementai yra testuojami. Šio išradimo tikslas – sukurti testavimo įrenginį, kuris ne tik leistų įmanomai tiksliau imituoti krušos ir/ar kitas smūgines mechanines apkrovas į saulės elemento paviršių, bet ir sudarytų galimybę testuoti gaminius, jiems judant nenutrūkstamu srautu srovinėje gamyboje.

Nėra publikuota daug būdų ir įrenginių, skirtų saulės elementų smūginio atsparumo testams. Yra standartizuotas testavimo būdas: Europos elektrotechnikos standartizacijos komiteto (CLC/TC 82) Europos standartas EN 61215:2005. Šis standartas, be kitų tikrinimo ir testavimo būdų reglamentuoja ir atsparumo krušai testavimo būdą, kai nustatyto svorio, formos ir temperatūros ledo kamuoliukas paleidžiamas tam tikru greičiu ir smūgiuoja į iš anksto numatytas saulės elemento paviršiaus vietas. Neaptikus pažeidimų, saulės elementai sertifikuojami ir konstatuojama, kad jie atitinka minėto standarto reikalavimus. Tačiau šiame standarte nėra reglamentuotas ledo kamuoliukų paleidimo įtaiso veikimo principas ir konstrukcija, tik reikalaujama, kad ledo kamuoliukams būtų suteikiamas reikiamas greitis. Trajektorija taip pat nėra griežtai reglamentuota.

Testavimo būdas, kai pneumopatranks ar kitokio įrenginio pagalba iššaukiamas ledo kamuoliukas į saulės elementą, yra priimtinas, sertifikuojant

gaminį, tačiau visiškai nepriimtinas gamintojui, jei jis ketina testuoti visus gaminius tiesiogiai srovinėje gamyboje.

Yra keletas patentuotų įrenginių, skirtų saulės elementų atsparumo krušos smūgiams testavimui. Pavyzdžiui, Kinijos patento paraiškoje CN106768778A aprašyti įrenginys ir būdas saulės elementų atsparumo krušos poveikiui testavimui. Įrenginys turi oro kompresorių, oro slėgio reguliavimo vožtuvą, elektromagnetinį vožtuvą, krušos akseleravimo kanalą, iššaunamos krušos greičio matuoklį, krušos greičio reguliavimo kanalą, krušos konteinerį, vandens purkštuvą.

Šiame įrenginyje kruša imituojama, suspausto oro pagalba iššaunant iš įrenginio iš anksto suformuotą, t.y. sušaldytą $-10^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ temperatūroje 45,00 mm skersmens ledo kamuoliuką į testuojamą saulės elemento paviršių.

Kitas krušos imitatorius saulės elementų atsparumui smūgiams testuoti aprašytas Kinijos patento paraiškoje CN201688960. Vėlgi, įrenginio veikimo principas pagrįstas pavienių ledo kamuoliukų iššovimu į testuojamą saulės elemento paviršių suspausto oro pagalba.

Yra žinoma JAV patento paraiška US5650019, kurioje, aprašant patentuojamos saulės elemento dangos testavimą, pateiktas bandymo aprašymas: smūgiuojama vieno colio (25,4 mm) ledo kamuoliukais. Šūvis atliktas iš pneumopatrankos 23,2 m/s greičiu, o po šūvio saulės elementui atlikta ne tik išorinė vizualinė patikra, bet saulės modulis buvo išardytas ir atlikta išsami kiekvieno sluoksnio vizualinė patikra.

Visais anksčiau išvardintais atvejais testavimo metu buvo daromi pavieniai šūviai ir atliekama tik vizualinė patikra. Visi aukščiau paminėti krušos imitavimo įrenginiai yra skirti pavienių saulės elementų testavimui ir yra nepriimtini srovinėje saulės elementų gamyboje.

Žinoma ir daugiau panašių išradimų, kur išradėjai patentuoja naujas apsaugines dangas ir aprašo jų atsparumo krušai testavimą. Pavyzdžiui, patento paraiškoje US20130199607 siūlomas stiklas, kuris atlaiko net iki 0,5 kg ledo kamuoliukų smūgius. Minėtoje patento paraiškoje testavimui naudojamų ledo kamuoliukų skersmenys yra nuo 1 cm iki 8 cm, o greičiai – nuo 32,4 km/h iki 172 km/h.

Reziumuojant galima daryti išvadą, kad visi bandytojai naudoja

pneumopatrakas ar analogiškus įrenginius, kurie atlieka tik pavienius ledo kamuoliukų šūvius. Šiuolaikinėje masinėje srovinėje gamyboje, kai yra santykinai didelis gamybos greitis ir atsiranda būtinybė tikrinti didesnio pasirinkto kiekio gaminių arba visų gaminių kokybę, akivaizdu, kad visiškai nepriimtina taikyti paskirų ledo kamuoliukų šaudymo būdą. Toks būdas reikalauja neproporcingai daug laiko, techninių, personalo, medžiagų ir energetinių sąnaudų, kurios neadekvačiai pabrangintų ir sulėtintų gamybą. Be to, galima teigti, kad standartuose ir anksčiau aprašytuose bibliografiniuose šaltiniuose numatyti testavimo būdai nėra būdai, tiksliai imituojantys natūralią gamtoje pasitaikančią krušą. Pavieniai smūgiai būdingi tik krušos pradžioje ir pabaigoje, tačiau, esant intensyviai krušai, laiko intervalai tarp smūgių santykinai maži, o ledo kamuoliukų formos, svoriai, greičiai ir intervalai tarp smūgių tokie skirtingi, kad gali sukelti pačias įvairiausias vibracijų formas ir modas smūgius patiriančiuose elementuose. Todėl, krušos metu vis naujiems smūgiams paveikiant chaotiškai virpantį nuo ankstesnių smūgių saulės elemento paviršių, galimas neprognozuojamas poveikis. Gamintojams labai svarbu turėti galimybę testuoti saulės elementus greitai, pigiai ir kiek įmanoma artimesnėmis natūraliai krušai sąlygomis.

Išradimo esmė

Šio išradimo tikslas yra sukurti saulės elementų ar kitų panašių gaminių testavimo įrenginį – krušos imitatorių – ir būdą, kai į paviršių sukuriama mechaninių smūgių serijos, artimos natūraliai krušai. Įrenginiai, veikiantys šiuo būdu, dirbtų ne pavieniais smūgiais, bet, panašiai kaip natūrali kruša, chaotiškų smūgių serijomis. Šie testavimo įrenginiai galėtų būti suderinami dažnesniems arba retesniems smūgiams, stipresniems arba silpnesniems, taip pat skirtingu kampu krentantiems į paviršių smūgiams. Šis būdas gali būti taikomas srovinėje gamyboje, kai saulės elementai praslenka nesustodami pro testavimo įrenginį. Tuo tikslu įrenginys gali būti papildomas vaizdo nuskaitymo įranga, kuri atpažįsta atsiradusius defektus ir juos fiksuoja bei informuoja ar siunčia signalus į kitus automatinės gamybos proceso vykdyklius, skirtus stabdyti konvejerį, brokuotą produktą nukreipti kitu srautu ar pan.

Patentuojamo krušos imitavimo būdo funkcinės savybės gaunamos, naudojant krušos ledo kamuoliukus imituojančius elementus, lanksčiai pritvirtintus prie besisukančio elemento: veleno, būgno, disko ar kt. Veleną sukantis pavaros mechanizmas, pavyzdžiui, reduktorius su elektros varikliu ar kitoks sukamojo judesio

generavimo mechanizmas, įgalina keisti sūkių dažnį, tuo pačiu keičiant smūgių jėgą ir intervalus tarp jų. Keičiant atstumą tarp veleno ir testuojamo saulės elemento paviršiaus, keičiamas smūgio jėgos vektoriaus kampas. Keičiant lanksčių jungčių, jungiančių kamuoliukus ir veleną, ilgį ir standumą, keičiamas smūgių stiprumo ir chaotiškumo pobūdis. Varijuojant aukščiau minėtais parametrais, o taip pat keičiant kamuoliukų skaičių, masę, formą ir medžiagą, įmanomas ne tik maksimalus pačių įvairiausių gamtoje pasitaikančių krušos variantų imitavimas, bet ir kitokio pobūdžio ritmingo ar chaotiško smūginio poveikio imitavimas.

Paveikslų aprašymas

1 pav. pateikti dviejų projekcijų krušos imitavimo įrenginio principinės schemos vaizdai;

2 pav. pateiktas vienas iš galimų įrenginio realizavimo variantų, kai panaudojami keli sukimo velenai;

3 pav. parodyta galimybė keisti smūgių kryptis, keičiant velenų sukimosi ašių kampus testuojamų elementų judėjimo krypties atžvilgiu;

4 pav. yra viena iš veikimo būdo variacijų, kai realizuota schema su keliais velenais, besisukančiais priešingomis kryptimis.

Išsamus išradimo aprašymas

1 pav. pavaizduotas šio išradimo krušos imitavimo įrenginys, kuriuo sukuriama smūgių serijos į testuojamą paviršių – saulės elemento ar kitą panašų paviršių 1, naudojant krušos ledo gabalėlius imituojančius elementus: plastiko ar kitos medžiagos kamuoliukus 2, lanksčiai pritvirtintus prie besisukančio elemento – veleno 3. Velenui sukamąjį judesį suteikia mechanizmas 4, kuris gali būti variklis su dažnių keitikliu, kurio pagalba galima keisti sūkių dažnį, tuo pačiu keičiant smūgių jėgą ir intervalus tarp jų. Lanksčių jungčių 5, jungiančių kamuoliukus 2 ir veleną 3, ilgis ir standumas parenkamas pagal testuojamus gaminius, nes nuo to taip pat priklauso smūgio kryptis ir jėga.

Keičiant atstumą a tarp veleno 3 ir testuojamo paviršiaus 1, keičiamas smūgio jėgos poveikio kampas λ . Varijuojant aukščiau minėtais parametrais, o taip pat keičiant kamuoliukų 2, lanksčiai pritvirtintų prie veleno 3, skaičių, jų išdėstymo tolygumą (ar netolygumą), masę, formą ir medžiagą, yra imituojami ne tik skirtingi

natūralios krušos variantai, bet ir kitokio pobūdžio smūgiai.

Velenui 3 sukantis, dėl išcentrinės jėgos lanksti jungtis 5 įsitempia ir kamuoliukai 2 juda apskritimine trajektorija tam tikru linijiniu greičiu. Eiliniam kamuoliukui atsitrenkus į testuojamą paviršių 1, kamuoliuko 2 greitis trumpame laiko intervale tampa beveik lygus nuliui, todėl susidaro smūgio sąlygos – tuo momentu realizuojama maksimali smūgio jėga.

Konstruojant šiuo patentuojamu būdu veikiančius saulės elementų ar kitų panašių paviršių testavimo įrenginius, įmanomas konstrukcinis išpildymas su vienu ar keliais velenais 3, kaip pavaizduota 2 pav. Velenai 3 slenkančių pro juos elementų 1 atžvilgiu gali būti orientuoti statmenai elementų 1 judėjimo kryptiai R (4 pav.) arba bet koku kitu kampu (3 pav.). Velenų sukimosi kryptys gali sutapti (4 pav.) arba būti priešingos (3 pav.).

Tokiais konstrukcinio realizavimo atvejais, kai naudojama keletas velenų 3, skirtingi velenai 3 gali turėti skirtingas modifikacijas ir funkcijas: skirtingi sukimosi dažniai ir kryptys, kamuoliukų medžiagos, svoriai ir kt. parametrai, todėl įmanomas dar įvairesnių ritmingų ir chaotiškų smūgių serijų modeliavimas į gamybos konvejeriu slenkančius testuojamus saulės elementų paviršius 1.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Krušos ir kitų smūginių apkrovų imitavimo įrenginys saulės elementų paviršiams testuoti, turintis prietaisą, generuojantį smūgines apkrovas į testuojamą paviršių, besiskiriantis tuo, kad įrenginys susideda iš daugybės krušos ledo gabalėlius imituojančių kamuoliukų (2), lanksčia jungtimi (5) pritvirtintų prie besisukančio veleno (3), sujungto su varikliu (5).

2. Įrenginys pagal 1 punktą, besiskiriantis tuo, kad besisukančių velenų (3) yra daugiau nei vienas.

3. Įrenginys pagal 1 arba 2 punktą, besiskiriantis tuo, kad besisukančių velenų (3) išilginės ašys yra nukreiptos statmenai testuojamų saulės elementų (1) judėjimo konvejeriu kryptiai (R).

4. Įrenginys pagal 3 punktą, besiskiriantis tuo, kad besisukančių velenų (3) išilginės ašys yra nukreiptos kampu (α) testuojamų saulės elementų (1) judėjimo konvejeriu kryptiai (R).

5. Krušos imitavimo įrenginys pagal 1 punktą, besiskiriantis tuo, kad variklis (4) yra keičiamo dažnio variklis.

6. Krušos imitavimo įrenginio saulės elementų paviršiams testuoti veikimo būdas, apimantis testuojamo saulės elemento paviršiaus veikimą smūgine apkrova, imituojančia krušą, besiskiriantis tuo, kad saulės elemento (1) paviršių smūgiuoja daugybe krušą imituojančių kamuoliukų (2), lanksčia jungtimi (5) pritvirtintų prie besisukančio veleno (3), sujungto su varikliu (5), judančių apskritimine trajektorija.

7. Būdas pagal 6 punktą, besiskiriantis tuo, kad saulės elemento (1) paviršių smūgiuoja daugybe krušą imituojančių kamuoliukų (2), pritvirtintų prie dviejų ir daugiau velenų (3), besisukančių ta pačia kryptimi.

8. Būdas pagal 7 punktą, besiskiriantis tuo, kad saulės elemento (1) paviršių smūgiuoja daugybe krušą imituojančių kamuoliukų (2), pritvirtintų prie dviejų ir daugiau velenų (3), besisukančių skirtingomis kryptimis.

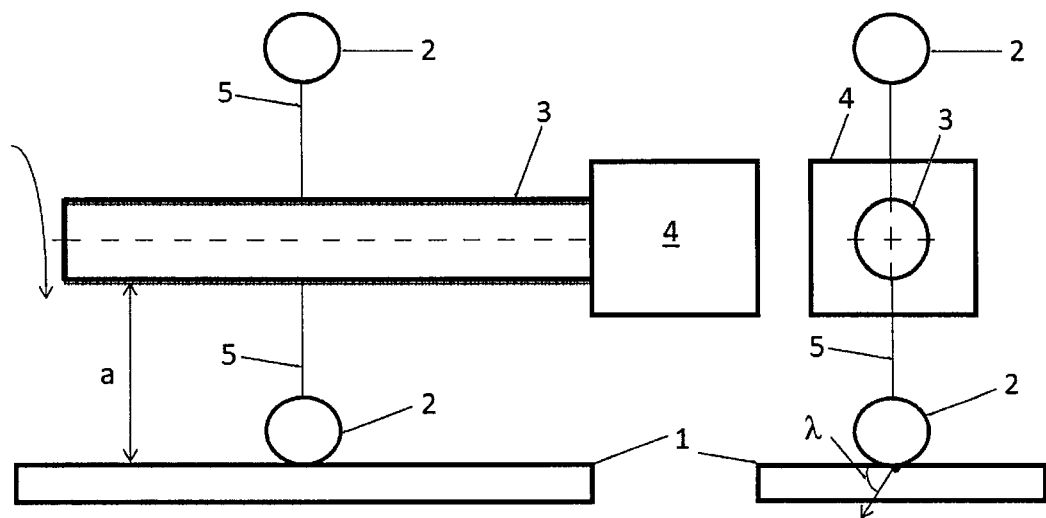
9. Būdas pagal bet kurį iš ankstesnių 6-8 punktų, besiskiriantis tuo, kad vienu metu naudoja daugybę skirtingos masės, medžiagų ir matmenų kamuoliukų (2).

10. Būdas pagal bet kurį iš ankstesnių 6-9 punktų, besiskiriantis tuo, kad, keičiant atstumą (a) tarp veleno (3) ir testuojamo saulės elemento (1), nustato smūginės apkrovos poveikį saulės elementui (1), esant skirtingiems smūgio jėgos poveikio kampams (λ).

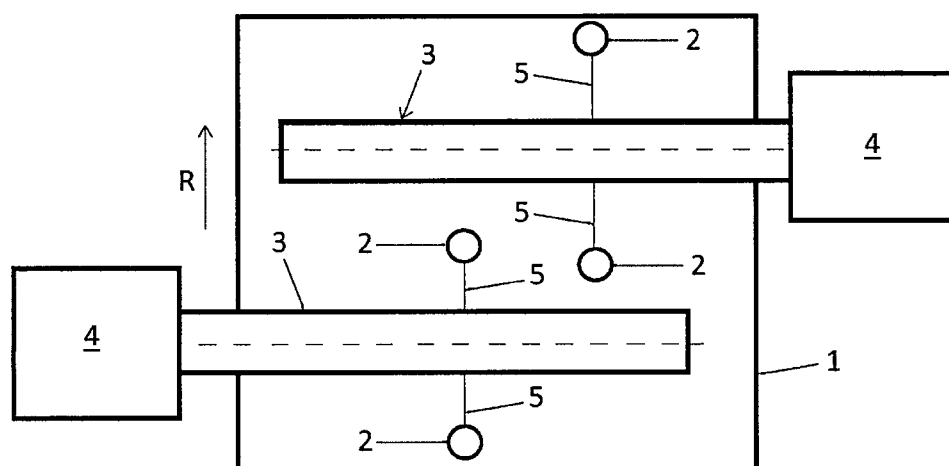
11. Būdas pagal bet kurį iš ankstesnių 6-10 punktų, besiskiriantis tuo, kad keičia variklio (5) dažnį ir velenų (3) išilginės ašies pasukimo kampą (α) saulės elementų (1) judėjimo krypties (R) atžvilgiu, tokiu būdu imituojant skirtingus natūralios krušos variantus.

12. Būdas pagal bet kurį iš ankstesnių 6-11 punktų, besiskiriantis tuo, kad taikomas srovinėje gamyboje, kai saulės elementai (1) praslenka nesustodami pro krušos testavimo įrenginį.

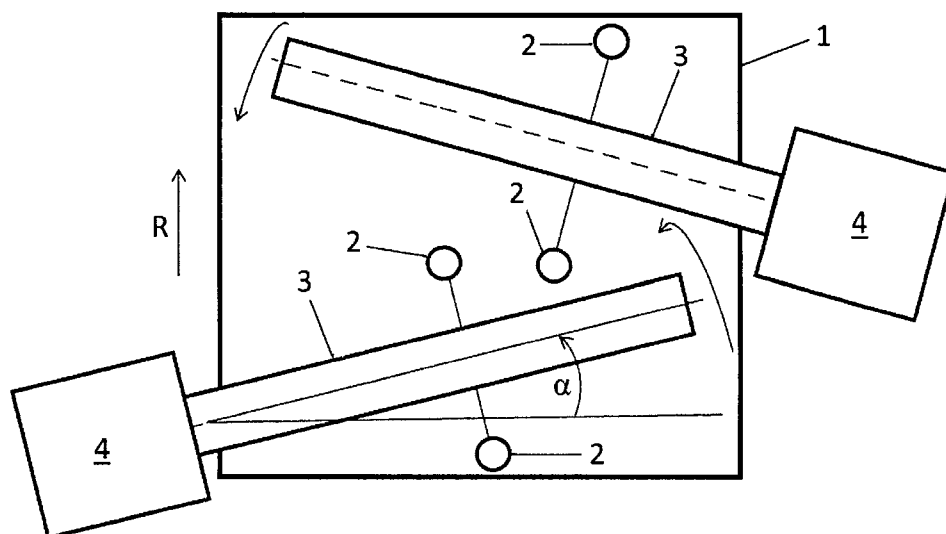
13. Būdas pagal bet kurį iš ankstesnių 6-12 punktų, besiskiriantis tuo, kad naudoja papildomą vaizdo nuskaitymo įrangą, kuri atpažįsta atsiradusius defektus ir juos fiksuoja bei informuoja ar siunčia signalus į kitus automatinės gamybos proceso vykdyklius, skirtus stabdyti konvejerį ar nukreipti brokuotą produktą kitu srautu.



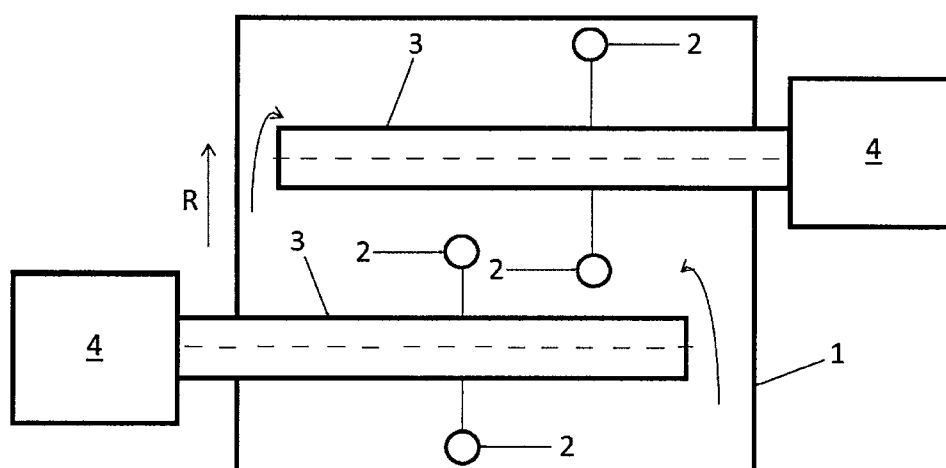
1 pav.



2 pav.



3 pav.



4 pav.