

# UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

## 25407

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:  
**G01N 3/48** (2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2013 - 27706**  
(22) Přihlášeno: **04.04.2013**  
(47) Zapsáno: **20.05.2013**

(73) Majitel:  
České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav materiálového  
inženýrství, Praha, CZ

(72) Původce:  
Anisimov Evgeniy Mgr. Ph.D., Praha, CZ  
Puchnin Maxim Mgr., Praha, CZ

(74) Zástupce:  
Ing. Václav Kratochvíl, Husníkova 2086/22, Praha 5, 15800

(54) Název užitého vzoru:  
**Systém instrumentovaného měření parametrů vtlačování indentoru**

**CZ 25407 U1**

## System instrumentovaného měření parametrů vtlačování indentoru

### Oblast techniky

Technické řešení se týká systému instrumentovaného měření parametrů vtlačování indentoru, obsahujícího zatěžovací mechanismus zkušebního vzorku a měřicí zařízení opatřené snímačem posuvu a snímačem zatížení.

### Dosavadní stav techniky

Klasické metody měření mechanických vlastností materiálů jsou časově náročné a drahé, vyžadují výrobu speciálních zkušebních vzorků. Nejrozšířenější mechanické zkoušky jsou zkouška tahem, zkouška rázem v ohybu a zkoušky tvrdosti. Obvyklým výstupem z těchto zkoušek jsou grafické závislosti mezi napětím a deformací zkoušeného materiálu. Existují nedestruktivní metody a zařízení pro provedení rychlého hodnocení vlastností materiálu s postačující přesností, které zahrnují metody automatizovaného vtlačování indentoru. Tyto metody se používají při vývoji nových materiálů a zařízení, hodnocení a včasný odhad možných odchylek jejich vlastností během provozu. Základními vlastnostmi, které jsou zjišťovány, jsou tvrdost, modul pružnosti, mez kluzu, mez pevnosti, a také energie elastické a plastické deformace, exponent zpevnění a velikost zrna.

Měření tvrdosti je založené na procesu indentace, kde indentor vniká do povrchu zkoumaného vzorku a číslo tvrdosti se následně určuje podle geometrických parametrů indentace, v závislosti na použitém zatížení. Základními geometrickými parametry jsou průměr vtisku - podle Brinella, diagonála - podle Vickerse, nebo hloubka vtisku - podle Rockwella. Techniky, které stanoví korelaci mezi číslem tvrdosti a základními mechanickými vlastnostmi, jsou dobře známé v inženýrské praxi a byly standardizovány, např. GOST 18835-73, GOST 22762-77. Teoretické a experimentální studie ukazují, že indentační zkouška poskytuje nejvíce objektivní výsledky stanovených mechanických vlastností materiálů a povlaků, použitím nejen jedné hodnoty tvrdosti při daném zatížení, ale průběžným zaznamenáváním parametrů procesu zatížení a odlehčení, tzv. křivka zatížení-hloubka [Anisimov Evgeniy, Puchnin Maxim: Reduction of Elastic modulus of Titanium Alloy Ti-6Al-4V by Quenching, in Book of Abstracts, Local Mechanical Properties, 2012, Slovak Republic, ISBN 978-80-553-1163-0, Puchnin Maxim, Anisimov Evgeniy: The Method of Accounting of Elastic Deformation Occur During the Automated Ball Indentation Test, in Conference Proceedings, COMAT, 2012, Czech Republic, ISBN 978-80-87294-34-5]. Tato metoda je nazývána instrumentovanou zkouškou materiálů vtlačováním indentoru. Křivka zatížení-hloubka potom popisuje charakteristické chování materiálu pod vlivem elastické, elasticko-plastické a plastické deformace [ASTM WK381, US 6,718,820 (Kwon) 13.04.2004].

Měřicí zařízení, používané pro zkoušení vtlačováním indentoru, obsahuje snímač zatížení, snímač posuvu [PCT/KR02/01351 (Lee) 18.07.2002, PCT/IB2005/002275 (Beghini) 01.08.2005, US 2009/0107221 A1 (Ernst) 30.04.2009]. Existují různé metody zatížení indentoru, jako hydraulické [US 4 059 990 (Glover) 29.11.1977], pneumatické [US 4 182 164 (Fohey) 08.01.1980, US 2 839 917 (Webster) 24.06.1958, US 4 534 212 (Targosz) 13.08.1985], elektromechanické [US 4 611 487 (Krenn) 16.09.1986, US 6 718 820 (Kwon) 13.04.2004, PCT/IB2005/002275 (Beghini) 01.08.2005, US 7 066 013 B2 (Wu) 27.06.2006, US 2011/0132078 A1 (Wu) 09.06.2011] s použitím elektrických motorů se zubovou převodovkou [US 4 635 471 (Rogers) 13.01.1987] nebo s řemenovým převodem [US 5 616 857 (Merck) 01.04.1997], elektromagneticky anebo piezoelektrickými prvky [US 4 304 123 (Ashinger) 08.12.1981, US 6 026 677 (Bonin) 22.02.2000], mechanické s použitím závaží [US 3 367 174 (Affri) 06.02.1968, US 4 103 538 (Stöferle) 01.08.1978], klikových a pákových mechanismů [US 4 435 976 (Edward) 13.03.1984, US 4 535 623 (Gilberto) 20.08.1985, US 4 182 164 (Fohey) 08.01.1980, US 2009/0107221 A1 (Ernst) 30.04.2009, EP 2 345 884 A2 (Sawa) 06.01.2011]. Hydraulické [US 4 059 990 (Glover) 29.11.1977] a pružinové [US 4 312 220 (Borgersen) 26.01.1982] měřiče zatížení, piezoelektrické prvky [US 6 026 677 (Bonin) 22.02.2000], kapacitní [US 7 066 013 B2 (Wu) 27.06.2006, US 2011/0132078 A1 (Wu) 09.06.2011] a tenzometrické snímače [US 3 934 463 (Vanderjagt)

27.01.1976, US 4 304 123 (Ashinger) 08.12.1981, US 4 611 487 (Krenn) 16.09.1986, US 6 718 820 (Kwon) 13.04.2004, US 2011/0132078 A1 (Wu) 09.06.2011] jsou používány pro měření hodnoty zatížení. Metody založené na laserové optice [US 5 616 857 (Merck) 01.04.1997, US 6 026 677 (Bonin) 22.02.2000, PCT/KR02/01351 (Lee) 18.07.2002, PCT/IB2005/002275 (Beghini) 01.08.2005, US 6 755 075 B2 (Nagashima) 29.01.2004] a elektro-optické mechanice [US 4 312 220 (Borgersen) 26.01.1982], kapacitní [US 7 066 013 B2 (Wu) 27.06.2006, US 2011/0132078 A1 (Wu) 09.06.2011], potenciometrické [EP 2 390 649 A1 (Sakuma) 18.01.2010] elektromagnetické [US 4 159 640 (Lévêque) 3.07.1979, US 4 182 164 (Fohey) 08.01.1980, US 4 435 976 (Edward) 13.03.1984, US 4 534 212 (Targosz) 13.08.1985, US 6 718 820 (Kwon) 13.04.2004, US 4 034 603 (Leeb) 12.07.1977], piezoelektrické [US 6 026 677 (Bonin) 22.02.2000] a tenzometrické snímače [Degtyarev V.I., Lagveshkin V.Ya. Perenosnaya tenzometricheskaya golovka dlya opredeleniya mehanicheskikh svoystv metallov vдавlivaniem, Izmeritelnaya tehnika, 1982, nomer 5, SSSR, ISSN 0368-1025] jsou často využívány pro záznam hloubky vníkaní, neboli aktuálního lineárního posuvu indentoru během indentační zkoušky, neboli aktuálního lineárního posuvu indentoru během indentační zkoušky.

Přesnost měření celkového lineárního posuvu indentoru závisí na citlivosti snímače indentační hloubky, jež má svoje rozlišení a umožňuje záznam určitého konečného počtu hodnot při daném posuvu. Problematika přesnosti záznamu malých posuvů indentoru se řeší obvykle pomocí laserové optiky nebo elektromagnetických systémů. Přesnost měření závisí nejen na diskrétnosti zaznamenávané hodnoty, ale také na vzdálenosti snímače od indentoru. Větší počet prvků mezi snímačem a indentorem zvyšuje chybu měření, protože samotné měření je potom ovlivněno napětově-deformačními stavy těchto prvků v závislosti na zatěžovacích podmínkách, počtu cyklů a na atmosférických parametrech, zejména tlaku a teplotě. Snímač posuvu je často součástí zatěžovacího mechanismu a během indentace se tak komplikuje proces korektní interpretace výsledků [US 2 839 917 (Webster) 24.06.1958, US 4 159 640 (Lévêque) 3.07.1979, US 4 435 976 (Edward) 13.03.1984, US 3 367 174 (Affri) 06. 02. 1968, US 4 245 496 (Napetschnig) 20.01.1981, US 4 312 220 (Borgersen) 26.01.1982, US 4 534 212 (Targosz) 13.08.1985, US 6 755 075 B2 (Nagashima) 29.01.2004, US 7 066 013 B2 (Wu) 27.06.2006]. Existující zařízení, která realizují instrumentovanou indentační metodu s vysokou přesností a opakovatelností procesu měření, mají větší rozměry [US 5 616 857 (Merck) 01.04.1997, US 2011/0132078 A1 (Wu) 09.06.2011], jsou často omezené rozsahem používaného zatížení [US 4 159 640 (Lévêque) 3.07.1979, US 4 304 123 (Ashinger) 08.12.1981, US 4 611 487 (Krenn) 16.09.1986, US 6 026 677 (Bonin) 22.02.2000, PCT/KR02/01351 (Lee) 18.07.2002, US 6 718 820 (Kwon) 13. 04. 2004, US 2009/0107221 A1 (Ernst) 30.04.2009] anebo rozměrem indentoru [US 4 534 212 (Targosz) 13.08.1985, US 4 535 623 (Gilberto) 20.08.1985, PCT/KR02/01351 (Lee) 18.07.2002, US 6 755 075 B2 (Nagashima) 29.01.2004], měří celkový lineární posuv indentoru. Jsou také známy potíže s identifikací parametrů iniciace porušení ze závislosti zatížení-hloubka a napětí-deformace při měření vlastností povlaků [PCT/US00/09940 (White) 13. 04. 1999, N.H. Faisal, J.A. Steel The Use of Acoustic Emission to Characterize Fracture Behavior During Vickers Indentation of HVOF Thermally Sprayed WC-Co Coatings, Journal of Thermal Spray Technology, Vol. 18(4), p. 525-535, (2009), Markus G. R. Sause, Daniel Schultheiß. Acoustic emission investigation of coating fracture and delamination in hybrid carbon fiber reinforced plastic structures, Journal of Acoustic Emission, 26, p. 1-13, (2008)], které se řeší pomocí snímačů akustické emise [US 4 856 326 (Tsukamoto) 15.08.1989].

Ashinger [US 4 304 123 (Ashinger) 08.12.1981] popisuje možnost využití tenzometrických snímačů, které jsou připojeny k pružnému ramenu, pro registraci nízkých hodnot zatížení a posuvů indentoru. Měření vyšších hodnot parametru indentace popisuje [Degtyarev V.I., Lagveshkin V.Ya. Perenosnaya tenzometricheskaya golovka dlya opredeleniya mehanicheskikh svoystv metallov vдавlivaniem, Izmeritelnaya tehnika, 1982, nomer 5, SSSR, ISSN 0368-1025]. Napetschnig [US 4 245 496 (Napetschnig) 20.01.1981] navrhuje vertikální umístění pružného ramena. V zařízení Fohey [US 4 182 164 (Fohey) 08.01.1980] je realizován krátký měřicí obvod měření posuvu, kde je zatěžován pouze držák indentoru a indentor, což je nejnižší nalezený počet prvků mezi snímačem a indentorem, které se deformují. Borgersen [US 4 312 220 (Borgersen) 26.01.1982] realizuje pákovým mechanismem odečet parametru zatížení.

Podstata technického řešení

- Výše uvedené nedostatky jsou do značné míry odstraněny systémem instrumentovaného měření parametrů vtlačování indentoru, obsahujícím zatěžovací mechanismus zkušební vzorku a měřicí zařízení opatřené snímačem posuvu a snímačem zatížení, podle tohoto technického řešení.
- 5 Jeho podstatou je to, že měřicí zařízení obsahuje pouzdro ve kterém je umístěn adaptér s pružinou a snímač posuvu a snímač zatížení opatřený válcem a tyčí, procházející od indentoru umístěného v držáku k snímači posuvu, přičemž snímač zatížení je tvořen vyměnitelným dynamometrem s pohybovým válcem s tenzometrickými snímači a tenzometrické snímače jsou propojeny se zesilovačem analogového signálu a počítačem.
- 10 Zatěžovací mechanismus může být tvořen tvrdoměrem podle Brinella, Vickerse, Rockwella, univerzálním trhacím strojem, pákovým mechanismem se svým vlastním zdrojem zatížení nebo piezoelektrickým elementem.

- Měřicí systém je založen na automatickém vtlačování indentoru při zatížení, který má spolehlivý, snadno vyrobitelný a provozovatelný adaptér pro měření hlavních parametrů indentace, jako zatížení (P) a hloubka (h). Měřicí zařízení, díky svému designu, nezatěžuje snímač posuvu, určený pro záznam indentační hloubky (h) při vtlačování indentoru a umožňuje záznam parametrů indentace (mV) s větší přesností, ve srovnání se zařízeními, které mají delší měřicí obvod. Měřicí
- 15 zařízení je kompaktní a může být použité spolu s různými měřicími systémy, jako trhací stroj a tvrdoměr, čímž rozšiřuje jejich možnosti a optimalizuje proces indentace. Určení mechanických vlastností se provádí na základě parametrů indentace. K dispozici je možnost používání různých indentorů, jako např. Brinell, Vickers, Knoop, Berkovich, Rockwell. Grafická závislost zatížení-hloubka ukazuje na deformační chování materiálu během cyklu zatížení.
- 20

- Měřicí systém umožňuje nepřetržité měření elektrických signálů (mV), které odpovídá změnám měřených parametrů hloubky vtisku (h) a aplikovaného zatížení (P) během indentace, kde podle
- 25 závislosti zatížení-hloubka a napětí-deformace získaných z registrovaných signálů, je vyhodnoceno číslo tvrdosti a další mechanické vlastnosti jako modul pružnosti, mez kluzu, mez pevnosti, a také energie elastické a plastické deformace, exponent zpevnění, velikost zrna.

Objasnění obrázků na výkresech

- Technické řešení bude podrobněji popsáno na konkrétním příkladu provedení s pomocí příložených výkresů. Na Obr. 1 je znázorněn v nárysu příkladný instrumentovaný měřicí systém. Na
- 30 Obr. 2 je znázorněno příkladné měřicí zařízení. Na Obr. 3 je dynamometr válcového typu. Obr. 4(a) ilustruje variantu zatížení měřicího zařízení pomocí tvrdoměru. Obr. 4(b) ilustruje variantu zatížení měřicího zařízení pomocí trhacího stroje. Obr. 4(c) ilustruje variantu zatížení měřicího zařízení pomocí piezoelektrického prvku. Obr. 4(d) ilustruje variantu zatížení měřicího zařízení pomocí zatěžovacího mechanismu s pákovým přenosem. Obr. 5 ilustruje typickou indentační křivku zatížení-hloubka, která obsahuje hodnoty zatížení (N) a hloubky (mm).
- 35

Příklady uskutečnění technického řešení

Cíle a výhody předkládaného technického řešení jsou detailně popsány v následujícím textu a doplněny o obrazovou dokumentaci.

- 40 Instrumentovaný měřicí systém obsahuje počítač 1, zesilovač 2 analogového signálu, zkušební vzorek 3, měřicí zařízení 4 a zatěžovací mechanismus 5. Měřicí zařízení obsahuje pouzdro 6, adaptér 7, pružinu 8, kapsle 9, tenzometrické snímače 10, deformační pásek 11, páku 12, dynamometr 13, deformační pásek 14, válec 15, tyč 16, držák 17 indentoru, indentor 18, víko 19 pouzdra, snímač 20 akustické emise, zkušební vzorek 21.
- 45 Na Obr. 3 je dynamometr 13 válcového typu pro měření použitého zatížení, který obsahuje tenzometrické snímače 10.

Na Obr. 4(a)-(d) jsou znázorněny různé varianty zatížení měřicího zařízení 4 pomocí tvrdoměru 26, trhacího stroje 27, piezoelektrického prvku 28 a pomocí zatěžovacího mechanismu 30 s pákovým přenosem 29.

5 Na Obr. 5 je znázorněna typická indentační křivka zatížení-hloubka, která obsahuje hodnoty zatížení (N) a hloubky (mm).

Jak znázorňuje Obr. 1, měřicí systém je určen k provedení indentační zkoušky a obsahuje zkušební vzorek 3, testovaný pomocí měřicího zařízení 4, které generuje signály během procesu indentace při zatížení vytvořeném zatěžujícím mechanismem 5, registrované zesilovačem 2 analogového signálu a ukládány do počítače 1.

10 Jak dokumentuje Obr. 2, při přiložení zatížení k adaptéru 7 zatěžujícím mechanismem 5 se adaptér 7 začíná pohybovat v pouzdru 6 měřicího zařízení 4. Pouzdro 6 je přitlačováno ke zkoumanému vzorku 21 pomocí víka 19 s pružinou 8. Zatížení je dále přenášeno z adaptéru 7 na dynamometr 13, který přes držák 17 indentoru vtlačuje indentor 18 do povrchu testovaného vzorku 21. Tyč 16 se pohybuje spolu s indentorem 18 a způsobuje snížení průhybu deformačního pásku 11 pomocí páky 12 násobiče. V počáteční pozici, kdy indentor 18 leží na povrchu vzorku 21, je tyč 16 přitlačena k indentoru 18 pomocí deformačního pásku 11 přes páku 12 násobiče. Páka 12 má ve své spodní části kulovou miskou 22 sloužící k vycentrování tyče 16. Tyč 16 je opatřena vodícím lemem, který omezuje její axiální pohyb, čímž chrání obsah kapsle 9 a zabraňuje vypadnutí tyče 16 během výměny indentoru 18.

20 Na začátku indentačního procesu, v oblasti nízkých hodnot zatížení se deformační páska 14 dynamometru 13 deformují elasticky jako první, dále se elastická deformace přenáší na tužší prvek dynamometru 13 - válec 15. Větší zatížení jsou potom registrovány tenzometrickými snímači 10 válce 15. Signál generovaný tenzometrickými snímači 10 se zaznamenává zesilovačem 2 analogového signálu a ukládá se do počítače 1. Otvor v horní části dynamometru 13 slouží k polohování kapsle 9 a poskytuje potřebný prostor pro pohyb částí měřicího zařízení 4 během procesu indentace. Dynamometr 13 je válcového typu, má jednodušší provedení a je určen hlavně pro měření větších zatížení. Tenzometrické snímače 10 jsou v tomto případě umístěny na jeho vnějším povrchu.

30 Kapsle 9 snímače posuvu je určená nejen pro měření posuvu indentoru 18 a zabránění mechanickému poškození svého obsahu, ale také zachycuje dynamometr 13 i po odtížení měřicího zařízení 4 a během výměny indentoru 18. Kapsle 9 je samostatným prvkem měřicího zařízení 4, zabezpečuje snadný přístup ke svému obsahu, opravu nebo výměnu v případě poškození. Signál tenzometrických snímačů 10 připojených k deformační pásce 11 pákového typu je generován průhybem deformační pásky 11 působícím zatížením a je průběžně registrován zesilovačem 2 analogového signálu a ukládán do počítače 1.

40 Měřicí systém je používán společně se zatěžovacím mechanismem 5, který je připojen k měřicímu zařízení 4 pomocí adaptéru 7. Na Obr. 4(a) je znázorněná varianta použití tvrdoměru 26 jako zatěžovacího mechanismu 5. Na Obr. 4(b) je znázorněná varianta použití trhacího stroje 27 jako zatěžovacího mechanismu 5. Na Obr. 4(c) je znázorněná varianta použití piezoelektrického prvku 28 jako zatěžovacího mechanismu 5. Na Obr. 4(d) je znázorněná varianta zatěžovacího mechanismu 5 s pákovým přenosem 29. Jako vlastní mechanismus 30 zatížení může být použito např. elektromotoru.

#### Průmyslová využitelnost

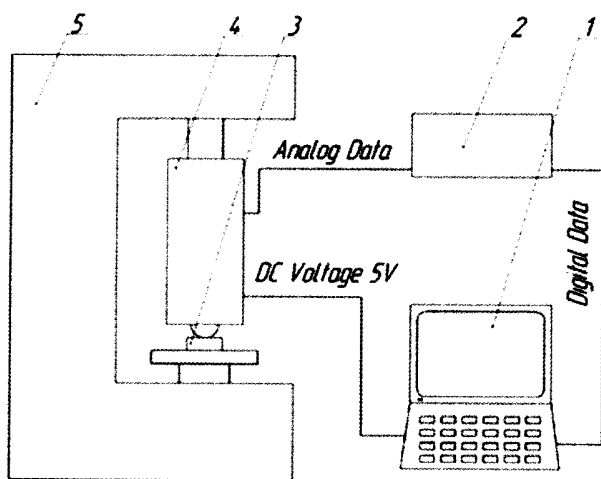
45 Měřicí systém pro nedestruktivní zkoušky vtlačováním indentoru podle tohoto technického řešení nalezne uplatnění ve zkušebnách, laboratořích a podobně.

## NÁROKY NA OCHRANU

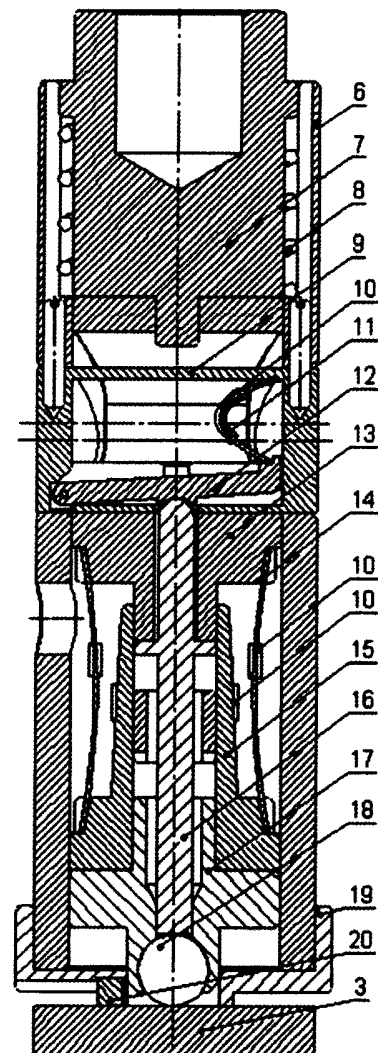
1. Měřicí systém pro nedestruktivní zkoušky vtláčováním indentoru, obsahující zatěžovací mechanismus (5) zkušebního vzorku (3) a měřicí zařízení (4) opatřené snímačem (9) posuvu a snímačem (13) zatížení, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že měřicí zařízení (4) obsahuje pouzdro (6) ve kterém je umístěn adaptér (7) s pružinou (8) a snímač (9) posuvu a snímač (13) zatížení opatřený válcem (15) a tyčí (16), procházející od indentoru (18) umístěného v držáku (17) k snímači (9) posuvu, přičemž snímač (13) zatížení je tvořen vyměnitelným dynamometrem (13) s pohybovým válcem (15) s tenzometrickými snímači (10), přičemž tenzometrické snímače (10) jsou propojeny se zesilovačem (2) analogového signálu a počítačem (1).
2. Měřicí systém podle nároku 1, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že zatěžovací mechanismus (5) je tvořen tvrdoměrem (26) podle Brinella, Vickerse, Rockwella, univerzálním trhacím strojem (27), pákovým mechanismem (29) se svým vlastním zdrojem zatížení nebo piezoelektrickým elementem (28).

15

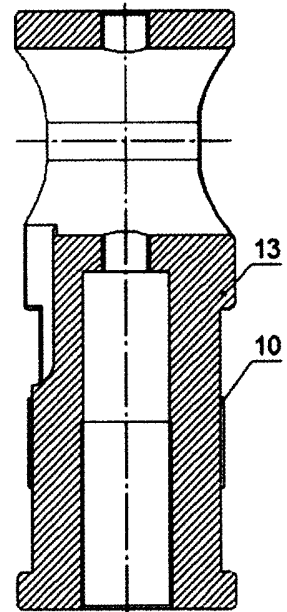
3 výkresy



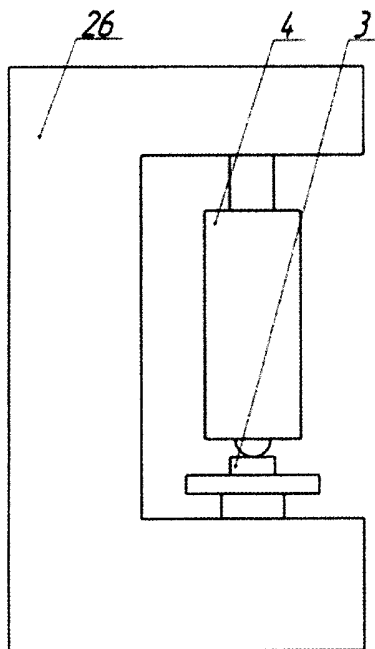
**Obr. 1**



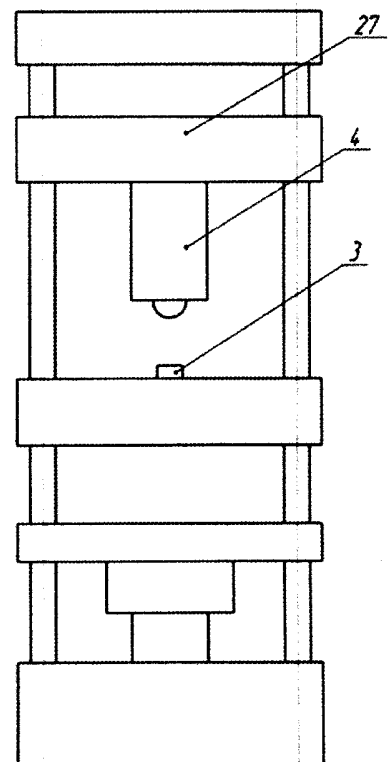
**Obr. 2**



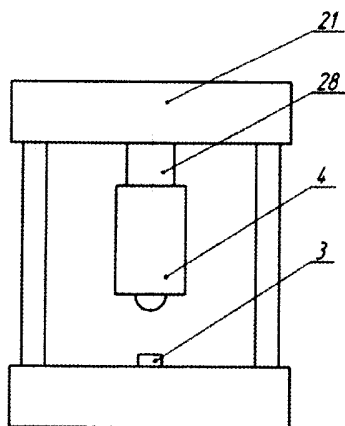
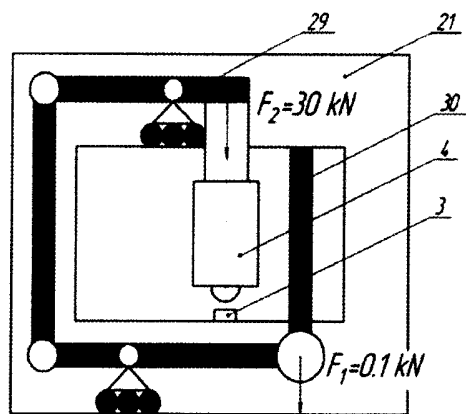
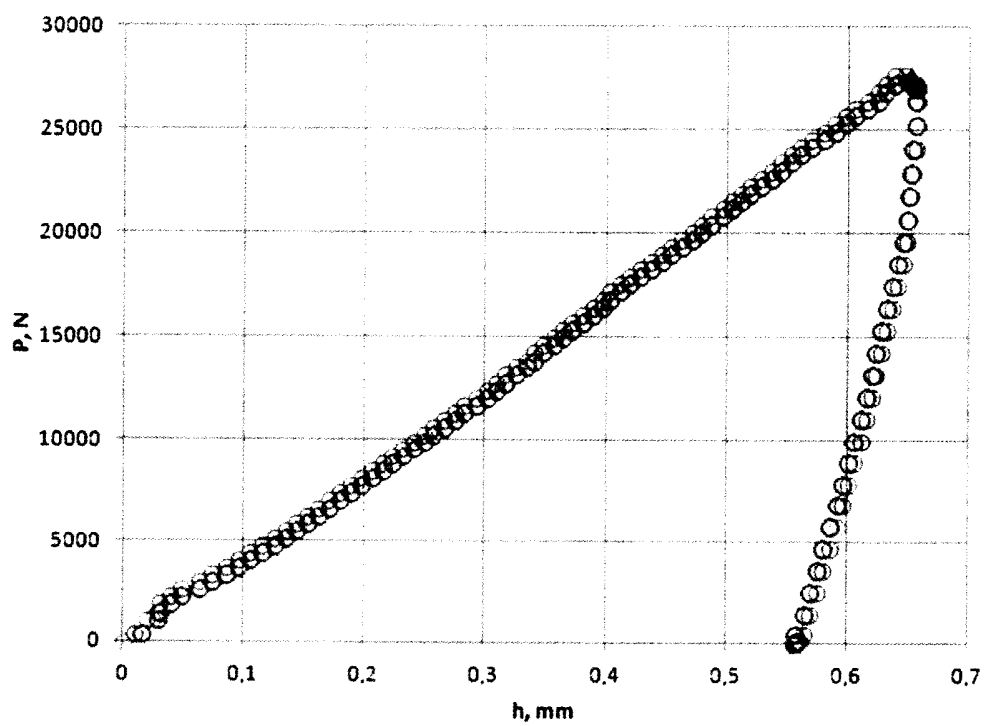
**Obr. 3**



**Obr. 4(a)**



**Obr. 4(b)**

**Obr. 4(c)****Obr. 4(d)****Obr. 5**


---

 Konec dokumentu
 

---