

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

25629

(13) Druh dokumentu: **U1**

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

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2013 - 27713**
(22) Přihlášeno: **04.04.2013**
(47) Zapsáno: **08.07.2013**

(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
Horník Jakub Ing. Ph.D., Mníšek pod Brdy, CZ
Pešlová Františka prof. Ing. Ph.D., Praha, CZ
Cejp Jiří doc. Ing. CSc., Praha, CZ

(74) Zástupce:

Ing. Václav Kratochvíl, Husníkova 2086/22, Praha 5, 15800

(54) Název užitého vzoru:

Systém instrumentovaného měření parametrů vtlačování indentoru

CZ 25629 U1

Systém instrumentovaného měření parametrů vtláčování indentoru

Oblast techniky

Technické řešení se týká systému instrumentovaného měření parametrů vtláčování 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 náročně 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 vtláčování 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 vtláčováním 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 vtláčováním 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 vдавливаниem, Izmeritelnaya tehnik, 1982, nomer 5, SSSR, ISSN 0368-1025] jsou často využívány pro záznam hloubky vnikání, 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 zvětšuje 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 vдавливаниem, Izmeritelnaya tehnik, 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 vtláčování 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, opatřený tenzometrickým snímačem a deformačním páskem a snímač zatížení opatřený deformačními páskami, válcem a tyčí, procházející od indentoru umístěného v držáku k snímači posuvu, přičemž pouzdro je opatřeno víkem a snímačem akustické emise pro měření akustického signálu, který je registrován zesilovačem analogového signálu a ukládán do počítače.

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 vtláčování 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 vtláčování indentoru a umožňuje záznam parametrů indentace (mV) s větší přesností, ve srovnání se zařízeními, které mají delší měřicí obvod. Měřicí 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.

Snímač zatížení je vyměnitelný dynamometr, který obsahuje deformační pásky pro měření malých hodnot zatížení, větší hodnoty zatížení se měří tužším prvkem dynamometru, válcem. Zvýšením celkového měřeného rozsahu deformace snímačem zatížení pomocí deformačních pásek se zvyšuje úroveň deformace tenzometrických snímačů a tím přesnost detekce nízkých hodnot zatížení, což dovoluje zvýšit frekvenci záznamu registrovaného signálu (mV) při stejné citlivosti měřicích prvků, tenzometrických snímačů. Pro optimalizaci procesu měření hodnot zatížení během indentace byly vyvinuty snímače zatížení několika typů.

30 Měřicí systém umožňuje nepřetržité měření elektrických signálů (mV), které odpovídá změnám měřených parametrů hloubky vtisku (h) a aplikovaného zatížení (P) během indentace, kde podle 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.

35 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 Obr. 2 je znázorněno příkladné měřicí zařízení. Obr. 3 ilustruje umístění snímače akustické emise ve víku pouzdra. 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).

45 Příklady uskutečnění technického řešení

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

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.

Na Obr. 4 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.

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.

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.

Na začátku indentačního procesu, v oblasti nízkých hodnot zatížení se deformační pásky 14 dynamometru 13 deformují elasticky jako první, dále se elastická deformace přenáší na tužší prvek dynamometru 13 - válec 15. Deformační pásky 14 dynamometru 13 košíkového typu, které se nacházejí ve více deformovaném stavu než válec 15, zvyšují diskretnost signálu generovaného tenzometrickými snímači 10, čímž se dosahuje větší přesnosti měření malých zatížení. 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. Další modifikací dynamometru 13 je dynamometr válcového typu, který má jednodušší provedení a je určen hlavně pro měření větších zatížení. Tenzometrické snímače 10 jsou v tomto případě umístěny na jeho vnějším povrchu.

Kapsle 9 snímače posuvu je určena 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. Deformační páska 11 přitlačovaná pákou 12 k horní části kapsle 9 pomocí tyče 16 slouží ke zvětšení diskretnosti signálu generovaného tenzometrickými snímači 10, které jsou připojeny k deformační pásce 11. Kulová miska 22 na spodní straně páky 12 slouží k vycentrování tyče 16. Pomocí navrženého pákového systému kapsle 9 se zvětšuje přesnost měření malých posuvů indentoru 18 během probíhající zkoušky.

Měřicí zařízení také obsahuje snímač 20 akustické emise, čímž se rozšiřují jeho možnosti. Například, určení parametrů zatížení, které odpovídají mezním stavům a porušení materiálu, ne vždy možné při studiu vlastností systémů jako substrát/povlak. Tento problém řeší předložené řešení záznamem signálu akustické emise (mV) během indentace, který je generován testovaným materiálem 21 při dosažení mezních stavů a je registrován zesilovačem 2 analogového signálu a ukládán do počítače 1. Během indentace může být akustický signál generován porušením materiálu

nebo také v průběhu jeho fázových transformací. Snímač 20 akustické emise je umístěn na deformačním pásku 12 v kapsli 9 snímače posuvu přímo nad kulovou miskou 22. Snímač 20 akustické emise je umístěn ve víku 19 pouzdra měřicího zařízení 4 pro zvýšení jeho citlivosti na procesy probíhající pod indentorem 18 ve zkoumaném materiálu 21.

- 5 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
10 mechanismu 5 s pákovým přenosem 29. Jako vlastní mechanismus 30 zatížení může být použito např. elektromotoru.

Průmyslová využitelnost

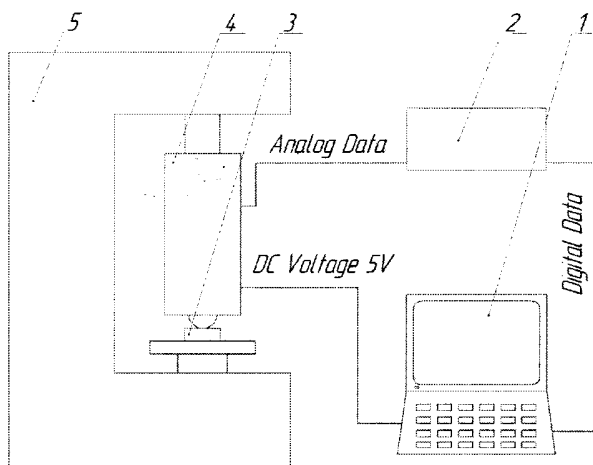
Měřicí systém pro nedestruktivní zkoušky vtačováním indentoru podle tohoto technického řešení nalezne uplatnění ve zkušebnách, laboratořích a podobně.

15 N Á R O K Y N A O C H R A N U

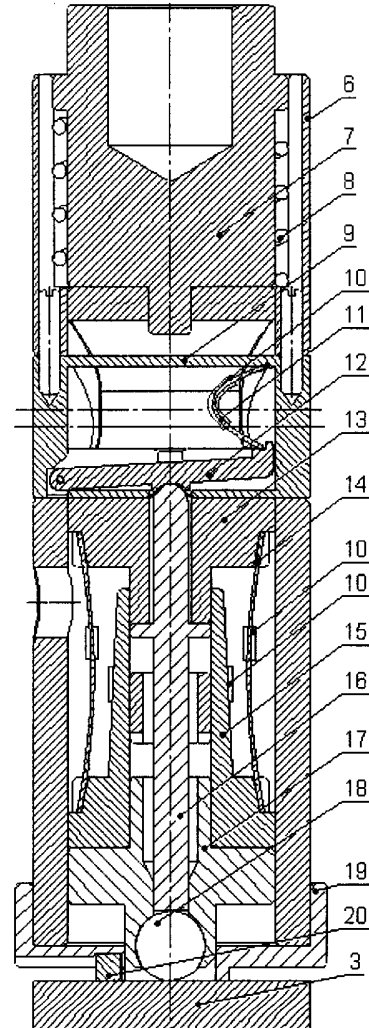
1. Měřicí systém pro nedestruktivní zkoušky vtačováním indentoru, obsahující zatěžovací mechanismus (5) zkušební vzorku (3) a měřicího zařízení (4) opatřené snímačem (9) posuvu a snímačem (13) zatížení, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že měřicího zařízení (4) obsahuje pouzdro (6) ve kterém je umístěn adaptér (7) s pružinou (8) a snímač (9) posuvu, opatřený tenzometrickým snímačem (10) a deformačním páskem (11) a snímač (13) zatížení opatřený deformačními
20 páskami (14), válcem (15) a tyčí (16), procházející od indentoru (18) umístěného v držáku (17) k snímači (9) posuvu, přičemž pouzdro je opatřeno víkem (19) a snímačem (20) akustické emise pro měření akustického signálu a pro jeho ukládání do počítače (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).
25

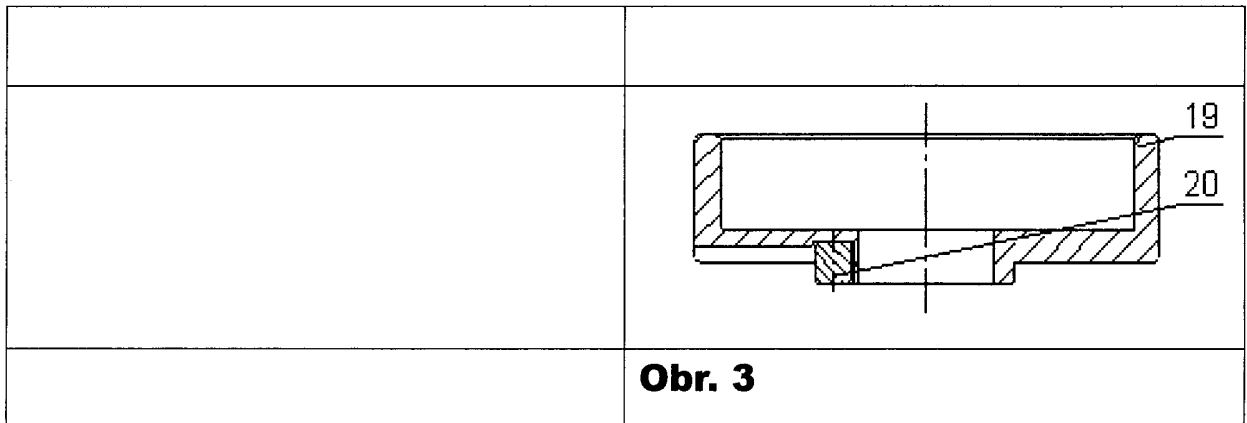
3 výkresy

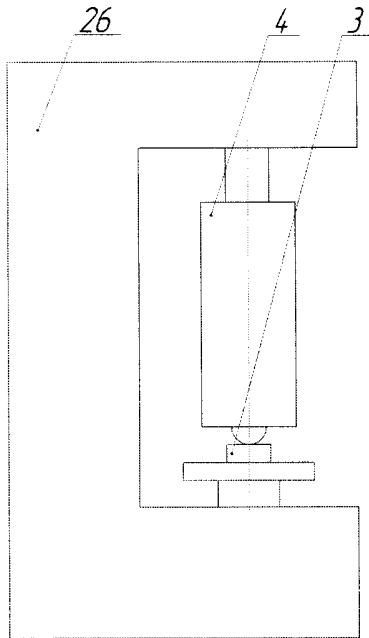


Obr. 1

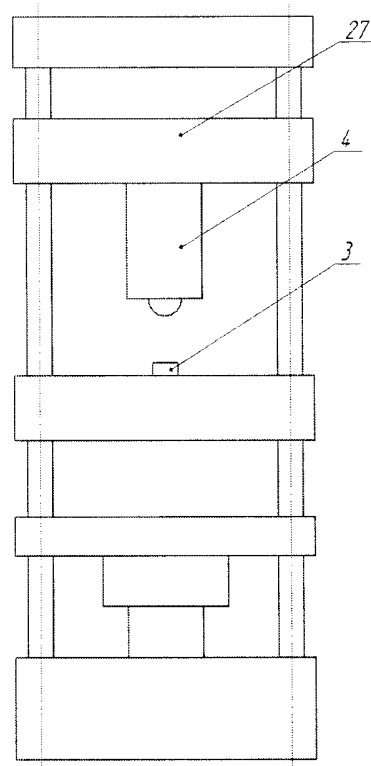


Obr. 2

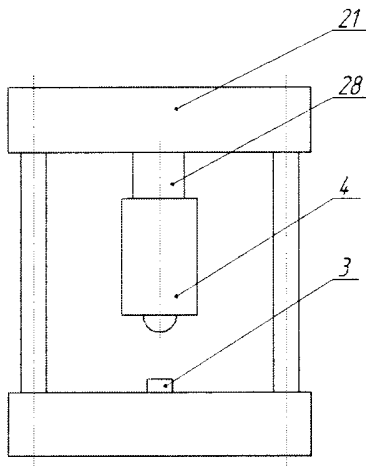




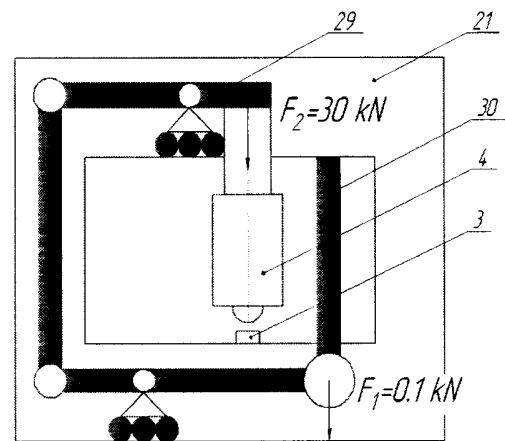
Obr. 4(a)



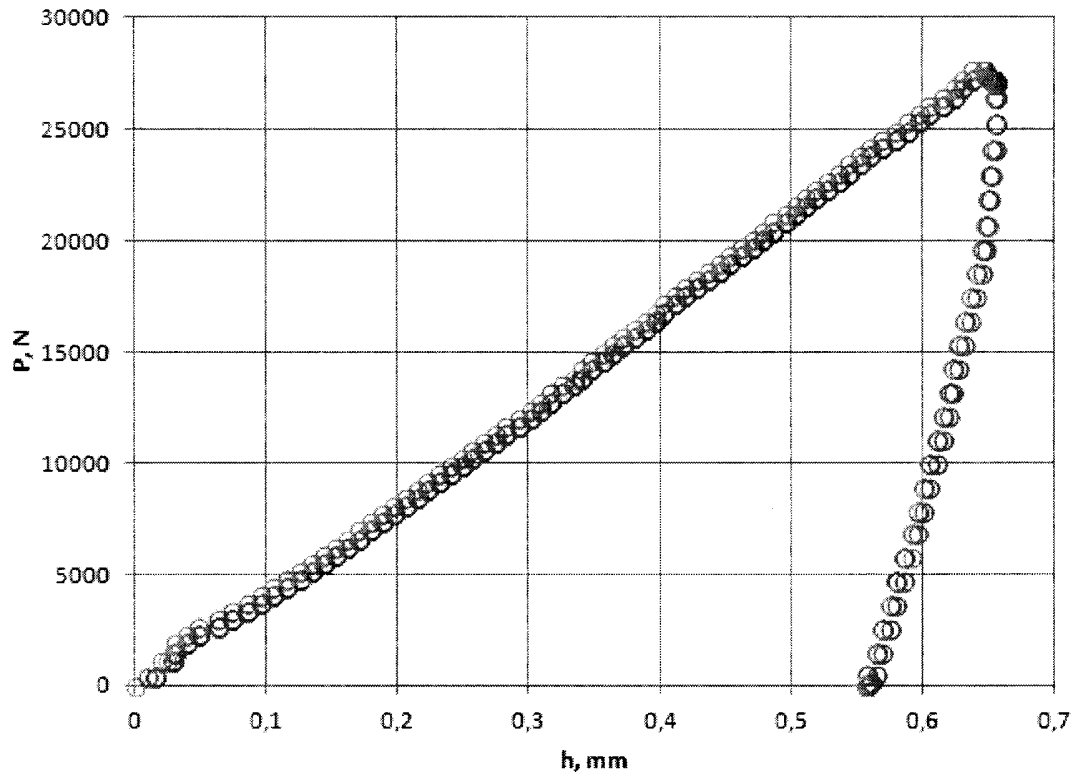
Obr. 4(b)



Obr. 4(c)



Obr. 4(d)



Obr. 5

Konec dokumentu