

G01N 3/303 (2006.01)
G01J 5/48 (2022.01)
G03B 39/00 (2021.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA

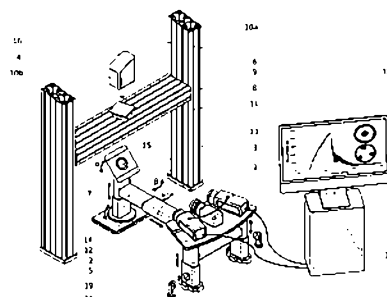


ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: 2021-486
(22) Přihlášeno: 21.10.2021
(40) Zveřejněno: 03.05.2023
(Věstník č. 18/2023)
(47) Uděleno: 21.06.2023
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: 02.08.2023
(Věstník č. 31/2023)

(56) Relevantní dokumenty:
CN 108593466 A; CN 106679814 A; CZ 305946 B6.

(73) Majitel patentu:
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín, CZ
(72) Původce:
doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc., Zlín, CZ
Ing. Pavel Stoklásek, Ph.D., Tečovice, CZ
Ing. Aleš Mizera, Ph.D., Rožnov pod Radhoštěm, CZ
Ing. Milan Navrátil, Ph.D., Zlín, CZ
Ing. Martin Pospíšilík, Ph.D., Pacetluky, CZ
(74) Zástupce:
Ing. Jan Görig, Korábová 98, 763 16 Fryšták, Horní Ves



(54) Název vynálezu:
Způsob synchronního snímání a vyhodnocování průběhu deformací a doprovodných teplotních jevů při destruktivních rázových zkouškách a zařízení k provádění tohoto způsobu

(57) Anotace:
Způsob a zařízení k provádění způsobu synchronního snímání a vyhodnocování průběhu deformací a doprovodných tepelných projevů spočívá v tom, že v průběhu rázové zkoušky je při deformaci zkušebního tělesa (4) účinkem padajícího tluku (16) snímán obraz zkušebního tělesa (4) vysokorychlostní kamerou (1) a současně rozložení teplotního pole zkušebního tělesa (4) vysokorychlostní termokamerou (2). Vyhodnocovací softwarový modul (18) řídicí jednotky (17) zaznamenává a vyhodnocuje obrazový záznam z vysokorychlostní kamery (1) i záznam rozložení teplotního pole vysokorychlostní termokamery (2), čímž umožňuje definovat na zkušebním tělese (4) počátek vzniku trhliny a rychlost jejího šíření a přiřadit k těmto veličinám v každém okamžiku příslušné teplotní změny.

Způsob synchronního snímání a vyhodnocování průběhu deformací a doprovodných teplotních jevů při destruktivních rázových zkouškách a zařízení k provádění tohoto způsobu

5

Oblast techniky

Vynález se týká způsobu synchronního snímání průběhu deformací a doprovodných teplotních jevů (teplotních změn) při destruktivních rázových zkouškách, kdy padající tluk či rázové kladivo dopadá na lícovou stranu zkušební tělesa. Deformace zkušební tělesa způsobená rázem vyvolá teplotní změny na jeho povrchu jako důsledek přeměny deformační energie na tepelnou. Vynález se dále týká zařízení k provádění tohoto způsobu.

Dosavadní stav techniky

Pro testování rázové odolnosti různých druhů konstrukčních materiálů se ve zkušebnictví velmi často využívají rázové testy. Jedná se o ráz kladiva otáčejícího se kolem osy rotace a dopadajícího na testovaný materiál z určité výšky definované výchozí polohou kladiva. Tyto testy se používají již dlouhou dobu a jsou známe pod označením testy Charpy nebo Izod.

Jsou známe také rázové testy, u kterých je rázové zatížení realizováno pomocí tluku padajícího na testované zkušební těleso deskovitého tvaru definovaných rozměrů a tloušťky. Zařízení pro provádění těchto testů se nazývají padostroje. Velikost dopadové energie byla odvozena z výšky/počáteční polohy tluku.

Donedávna byl výsledek rázových testů klasifikován pouhým konstatováním, zda testovaný materiál danému testu vyhovuje. Jinými slovy, bylo konstatováno, že materiál je/není schopen uvedenému rázovému zatížení odolat. Stav techniky neumožňoval získání dalších důležitých dat pro detailnější popis průběhu testu. Teprve s dalším rozvojem, zejména v oblasti čidel, byla konstruována zdokonalená zařízení, která umožňují zaznamenat průběh síly působící na testované zkušební těleso v průběhu zkoušky a rovněž průběh jeho deformace. Zkoušky, které uchovávají informaci o svém celém průběhu, se nazývají instrumentované. Instrumentované zkoušky přinesly nový, mnohem hlubší pohled na průběh zkoušky a rázové chování/rázovou odolnost testovaného konstrukčního materiálu. Přestože dojde po provedení testu k úplnému vykreslení zatěžující/rázové křivky vyjadřující závislost působící síly na deformaci, dá se z těchto výsledků lomová mechanika testovaného materiálu posuzovat pouze nepřímo.

Poznat a hodnotit zákonitosti a průběh deformací materiálu při rázových testech, případně posoudit druh lomu již v průběhu zkoušky umožnilo až přímé pozorování vlastního rázového testu. S ohledem na rychlost probíhajícího děje musí být v těchto případech použity vysokorychlostní kamery umožňující snímání rychlostí až desítek tisíců snímků za sekundu. Rázové testy jsou charakterizované absorpcí velkého množství energie v průběhu krátkého časového úseku. To přináší doprovodné jevy, mezi něž patří zejména zvýšení teploty v místě účinku rázového kladiva. Zvýšení teploty nad přípustnou mez, zejména z pohledu jeho dlouhodobého/opakujícího se účinku, může výrazně zhoršit celkovou únosnost navržené konstrukce. Znalost těchto doprovodných jevů může být z hlediska použití zvoleného konstrukčního materiálu velmi důležitá. Jejich měření však vyžaduje použití dalších bezkontaktních metod schopných tyto změny v průběhu testu zaznamenat, nejlépe současně se záznamem působící síly a deformacemi testovaného materiálu.

V technické praxi je v současné době známo několik způsobů řešení záznamů těchto rychlých dějů pomocí vysokorychlostních kamerových systémů. Např. japonské patentové přihlášky JPS 61155724 a JPS 6396536 řeší způsob pořízení záznamu lomu TV kamerou a jeho následného vyhodnocení. Řešení je zaměřené výhradně na vyhodnocení rázových testů Charpy a Izod.

55

Český patent CZ 305946 řeší způsob snímání průběhu deformací při rázových testech a zařízení k provádění způsobu. Řešení vychází ze stávajícího provedení zařízení pro rázové testy padajícími tluky. Jeho modifikace umožňuje vhodným uspořádáním se zrcátkem zabudovaným do měřicí hlavy snímání průběhu deformací v čase. Vlastní provedení je proto velmi složité, stejně jako je složité i jeho ustavení do pracovního režimu. Vzhledem k velmi omezenému prostoru je obtížné i přivedení dostatečného množství světla k osvětlení snímání scény, což je pro pořízení kvalitního záznamu velmi důležité. Tato konstrukce vyžaduje umístění světelných zdrojů v těsné blízkosti testovaného zkušebního tělesa, což může vést ke zkreslení výsledků (optickému či tepelnému). Řešení podle uvedeného českého patentu rovněž neumožňuje tzv. duální snímání průběhu testu realizované, např. dvěma rychlostními kamerami, ev. rychlostní kamerou a dalším typem snímacího zařízení.

Snímání teplot tělesa na jeho povrchu a současné snímání povrchových vad (poškození povrchu zkušebního tělesa zejména trhlinami a způsob šíření těchto trhlin ve zkušebním tělese) umožňuje řešení podle čínského patentu CN 108593466. Jedná se ale o snímání dat u relativně masivních dílů (zkušebních těles), kdy obraz je snímán na jedné straně zkušebního tělesa a teplotní stav tělesa na straně druhé. Teplotní čidlo snímá povrchovou teplotu zkušebního tělesa. S ohledem na princip způsobu snímání nemohou teplotní data reprezentovat stejná místa/místa na stejné ploše, jako ta, která jsou snímána optickým systémem. Vychází se pouze z předpokladu, že teplota bude v celém objemu tělesa stejná. To ale nemusí obecně platit a může tak dojít ke zkreslení výsledků měření a snížení vypovídací schopnosti z nich učiněných závěrů.

Podstata vynálezu

K odstranění těchto nevýhod do značné míry přispívá způsob synchronního snímání a vyhodnocování průběhu deformací a doprovodných teplotních jevů při rázových testech a zařízení k jeho provádění podle vynálezu.

Podstata způsobu snímání a vyhodnocování spočívá v tom, že v průběhu rázové zkoušky je při deformaci zkušebního tělesa účinkem padajícího tluku snímán obraz protější strany zkušebního tělesa vysokorychlostní kamerou a současně je na téže ploše snímáno rozložení teplotního pole zkušebního tělesa vysokorychlostní termokamerou. Vyhodnocovací softwarový modul řídící jednotky zaznamenává a vyhodnocuje obrazový záznam z vysokorychlostní kamery i záznam rozložení teplotního pole vysokorychlostní termokamery, čímž je na zkušebním tělese lokalizováno místo a stanoven okamžik vzniku trhliny a v libovolném okamžiku v průběhu testu je tak určena velikost a tvar vzniklé poruchy/trhliny a z takto zjištěných hodnot je určena i rychlost šíření poruchy v testovaném materiálu a k těmto veličinám jsou v každém okamžiku přiřazeny příslušné teplotní změny.

Současné snímání průběhu testu vysokorychlostní kamerou a vysokorychlostní termokamerou umožňuje získat informace o dvou doprovodných jevech rázového testu. Jedná se o průběh deformace, resp. destrukce zkušebního tělesa, a zároveň i zaznamenání tepelných projevů doprovázející účinek rázů, a to formou teplotních změn na povrchu testovaného tělesa. Získané informace umožňují mnohem komplexnější záznam a hodnocení průběhu rázového testu. K vyhodnocení záznamů z kamer lze s výhodou využít i záznamu z instrumentované zkoušky, tj. záznamu deformace na čase nebo na velikosti působící síly, zejména pro stanovení okamžiku vzniku první trhliny nebo rychlosti jejího šíření. Informace získané formou duálního záznamu umožňují mnohem detailnější pohled na rázovou odolnost testovaných materiálů než jakákoliv jiná doposud používaná metoda.

Zařízení k provádění způsobu podle vynálezu obsahuje ke stojinám fixovaný příčník, v němž je uloženo pouzdro sloužící k ustavení zkušebního tělesa s tím. Nad příčníkem je umístěn mechanismus padajícího tluku a pod příčníkem je pak v základně uložen nosič odrazové plochy a k němu připojený nosič vysokorychlostní kamery, vysokorychlostní termokamery a světelného

5 zdroje. Tato zařízení jsou na nosiči upevněna tak, aby optická osa světelného zdroje, optická osa vysokorychlostní kamery i optická osa vysokorychlostní termokamery byly ve stejné rovině a směřovaly v daném uspořádání do stejného místa na odrazové ploše. Vysokorychlostní kamera a vysokorychlostní termokamera jsou pak propojeny s řídicí jednotkou obsahující vyhodnocovací softwarový modul.

Nosič vysokorychlostní kamery, vysokorychlostní termokamery a světelného zdroje je otočný kolem svislé osy testovacího zařízení a výškově nastavitelný vůči rovině základny.

10 Sklon odrazové plochy ke svislé ose testovacího zařízení i rovině optických os jednotlivých kamer a světelného zdroje je neměnný, s výhodou 45°.

Opakovatelné prostorové ustavení nosiče vzhledem k rovině základny a svislé ose testovacího zařízení je s výhodou realizováno pomocí pevných dorazů nebo bezkontaktními snímači.

15 Značnou výhodou navrženého řešení podle vynálezu, obzvlášť pak v porovnání s řešením podle patentu CZ 305946 je výrazně jednodušší technické řešení a vlastní instalace měřicího systému včetně jednoduššího a zároveň účinnějšího způsobu osvětlení scény.

20 Poloha odrazové plochy je fixována na nosiči – je tedy pevně dána a není tedy vyžadováno její další seřizování před testem ani v průběhu testu. Odrazová plocha zároveň slouží k přenosu světelného paprsku externího osvětlení snímání scény. Odrazová plocha je umístěna v dostatečné vzdálenosti od místa kontaktu tluku či kladiva s povrchem zkušebního tělesa, a tak nehrozí nebezpečí ohrožení obsluhy, poškození vlastní odrazové plochy či snímacího zařízení případnými
25 úlomky, které mohou vzniknout při destrukci zkušebního tělesa.

Umístění světelného zdroje v dostatečné vzdálenosti od zkušebního tělesa zaručuje, že povrch zkušebního tělesa bude dostatečně osvětlen a zároveň nebude ani v nejmenším tímto zdrojem tepelně ovlivněn – nedojde tedy ke zkreslení vizuálních výsledků či tvorbě světelných map na
30 povrchu zkušebního tělesa (častá nevýhoda použití více světelných zdrojů), ani k ovlivnění výsledků získaných snímáním teplotních projevů rázového testu.

Nový způsob osvětlení snímání scény navíc umožňuje využití podstatně vyšší intenzity osvětlení, což se výrazně projevuje na kvalitě záznamu vysokorychlostní kamerou. Uložení snímacího
35 zařízení/snímání kamer v dostatečné vzdálenosti od snímání plochy umožňuje významně eliminovat míru zkreslení obrazu. K ustavení kamerového systému do optické osy měření není třeba zvláštního rektifikačního systému. Jako nejvýhodnější nastavení polohy se jeví fixace snímacích kamer a světelného zdroje do předem definované polohy na upínací desce s možností dodatečné korektury otáčením a naklápěním této desky.

40 Vzhledem k charakteru a sériovosti rázových testů se předpokládá, že snímání zařízení nebude trvalou součástí přístroje pro rázové zkoušky. Navržené řešení však umožňuje rychlé a opakovatelné umístění snímacího zařízení do definované polohy. Poloha snímacího zařízení může být realizovaná jak pomocí pevných dorazů, tak pomocí bezkontaktních snímačů.

45 Navržený způsob vyhodnocování výsledků měření využívá originální softwarový modul, který umožňuje definovat velikost síly/energie potřebné ke vzniku a následnému šíření trhliny a zároveň definuje teplotní projevy doprovázejí deformaci a destrukci testovaného materiálu.

50

Objasnění výkresů

K bližšímu objasnění podstaty vynálezů slouží přiložené výkresy a další obrázky, kde představuje:

Obr. 1 – celkové konstrukční uspořádání zařízení k synchronnímu snímání a vyhodnocování průběhu deformací a doprovodných teplotních jevů při rázových testech.

Obr. 2 – záznam vývoje trhlin v různých fázích rázové zkoušky.

Obr. 3 – záznam vývoje teplotního pole na povrchu zkušební tělesa v různých fázích rázové zkoušky.

Obr. 4 – záznam instrumentované rázové zkoušky.

Obr. 5 – propojení záznamu instrumentované zkoušky a vizualizace testu.

Příklad uskutečnění vynálezu

Způsob synchronního snímání a vyhodnocování průběhu deformací a doprovodných tepelných projevů při destruktivní rázové zkoušce v příkladném provedení spočívá tom, že v průběhu rázové zkoušky, prováděné na zařízení podle obr. 1, je při deformaci zkušební tělesa 4 účinkem padajícího tluku 16 snímán obraz zkušební tělesa 4 vysokorychlostní kamerou 1 a současně rozložení teplotního pole zkušební tělesa 4 vysokorychlostní termokamerou 2. Vyhodnocovací softwarový modul 18 řídící jednotky 17 zaznamenává a vyhodnocuje obrazový záznam z vysokorychlostní kamery 1 (zkrácený záznam vývoje trhlin v různých fázích, fáze rázového testu je znázorněna na obr. 2) i záznam rozložení teplotního pole vysokorychlostní termokamery 2 (zkrácený záznam vývoje teplotního pole na povrchu zkušební tělesa v různých fázích rázové zkoušky je znázorněn na obr. 3). To umožňuje definovat na zkušebním tělese 4 počátek vzniku trhliny a rychlost jejího šíření a přiřadit k těmto veličinám v každém okamžiku příslušné teplotní změny.

Při zpracování výsledků zkoušky je pak možné vyhodnotit každý záznam (tzn. deformace – síla, deformace v čase, optická vizualizace, termokamera) zvlášť (viz obr. 2, 3, 4) nebo i ve vzájemné kombinaci. Průnik jednotlivých záznamů zkoušky – tzn. záznamu instrumentované rázové zkoušky se synchronizovaným obrazovým a termografickým záznamem je znázorněn na obr. 5. Takový komplexní záznam zkoušky umožňuje další rozšíření popisu průběhu zkoušky a detailnější popis rázové odolnosti testovaného materiálu. Jde například i o sledování počátku vzniku trhlin v materiálu, rychlost jejich šíření či sledování vývoje teploty materiálu v průběhu zkoušky.

Příkladné provedení zařízení ke snímání průběhu deformací a teplotních změn na povrchu testovaného tělesa vysokorychlostní kamerou a rychlostní termokamerou je znázorněno na obr. 1.

Zkušební těleso 4 je umístěno na horní ploše pouzdra 8 zabudovaného v příčniku 9. Příčnik 9 je fixován ke stojinám 10a a 10b vlastního přístroje pro rázové zkoušky. Pod příčníkem 9 je umístěn nosič odrazové plochy 11. Rovina odrazové plochy svírá s vodorovnou plochou úhel α , s výhodou 45°. Světelný paprsek vycházející ze světelného zdroje 3 je odrážen odrazovou plochou 11 a osvětluje povrch zkušební tělesa 4.

Vysokorychlostní kamera 1 je určena k záznamu průběhu deformací zkušební tělesa 4 účinkem padajícího tluku 16. Osvětlení snímání scény zabezpečuje světelný zdroj 3. Vysokorychlostní termokamera 2 je určena ke snímání teplotních změn na povrchu zkušební tělesa 4 v průběhu zkoušky.

Vysokorychlostní kamera 1, vysokorychlostní termokamera 2 i světelný zdroj 3 jsou umístěny na nosiči 5, jehož upínací plocha je upravena podle typu použitého snímacího a osvětlovacího zařízení tak, aby optická osa 12 světelného zdroje 3, optická osa 13 vysokorychlostní kamery 1 i optická osa 14 vysokorychlostní termokamery 2 byly ve stejné výši při ustavení měřicího systému do

5 výchozí polohy směřovaly všechny tyto optické osy do stejného místa 15 na odrazové ploše 11. S výhodou lze využít shodného vyosení optických os obou kamer o úhel $\beta/2$ vůči optické ose 12 světelného zdroje 3. Nosič 5 je otočný kolem svislé osy 6 testovacího zařízení a výškově nastavitelný vůči rovině základny 7. Výškové nastavení nosiče 5 umožňuje dodatečné seřízení polohy snímacích kamer 1, 2 a světelného zdroje 3.

10 Ke snadnému ustavení celého systému snímání a osvětlovacího zařízení do výchozí polohy jsou určeny pevné mechanické dorazy 19 nebo bezkontaktní snímače 20 umístěné na rámu zařízení a v základně 7 definující správné a opakovatelné ustavení snímání zařízení k duálnímu snímání průběhu rázové zkoušky vzhledem k přístroji pro rázové zkoušky.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob synchronního snímání a vyhodnocování průběhu deformací a doprovodných tepelných projevů při destruktivních rázových zkouškách plošných útvarů, **vyznačující se tím**, že v průběhu rázové zkoušky je při deformaci zkušebního tělesa (4) účinkem padajícího tluku (16) snímán obraz protější strany zkušebního tělesa (4) vysokorychlostní kamerou (1) a současně je na téže ploše snímáno rozložení teplotního pole zkušebního tělesa (4) vysokorychlostní termokamerou (2) s tím, že vyhodnocovací softwarový modul (18) řídicí jednotky (17) zaznamenává a vyhodnocuje obrazový záznam z vysokorychlostní kamery (1) i záznam rozložení teplotního pole vysokorychlostní termokamery (2), čímž je na zkušebním tělese (4) lokalizováno místo a stanoven okamžik vzniku trhliny a v libovolném okamžiku v průběhu testu je tak určena velikost a tvar vzniklé poruchy/trhliny a z takto zjištěných hodnot je určena i rychlost šíření poruchy v testovaném materiálu a k těmto veličinám jsou v každém okamžiku přiřazeny příslušné teplotní změny.

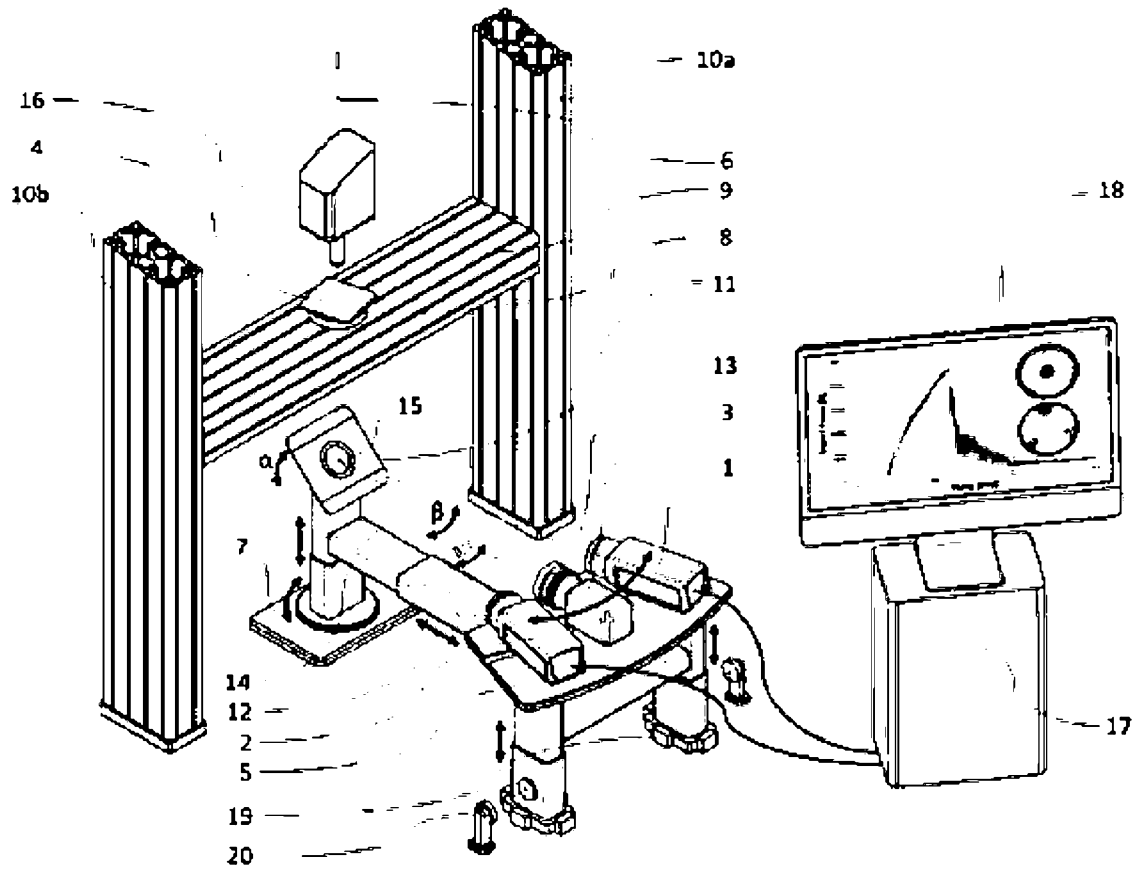
2. Zařízení k provádění způsobu podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že obsahuje ke stojinám (10a, 10b) fixovaný příčník (9), v němž je uloženo pouzdro (8) pro ustavení zkušebního tělesa s tím, že nad příčníkem (9) je umístěn mechanismus padajícího tluku (16) a pod příčníkem (9) je pak v základně (7) uložen nosič odrazové plochy (11) a k němu připojený nosič (5) vysokorychlostní kamery (1), vysokorychlostní termokamery (2) a světelného zdroje (3), přičemž tato zařízení jsou na nosiči (5) upevněna tak, aby optická osa (12) světelného zdroje (3), optická osa (13) vysokorychlostní kamery (1) i optická osa (14) vysokorychlostní termokamery (2) byly ve stejné rovině a směřovaly v daném uspořádání do stejného místa (15) na odrazové ploše (11) a dále, že vysokorychlostní kamera (1) a vysokorychlostní termokamera (2) jsou propojeny s řídicí jednotkou (17) obsahující vyhodnocovací softwarový modul (18).

3. Zařízení podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že nosič (5) vysokorychlostní kamery (1), vysokorychlostní termokamery (2) a světelného zdroje (3) je otočný kolem svislé osy (6) testovacího zařízení a výškově nastavitelný vůči rovině základny (7).

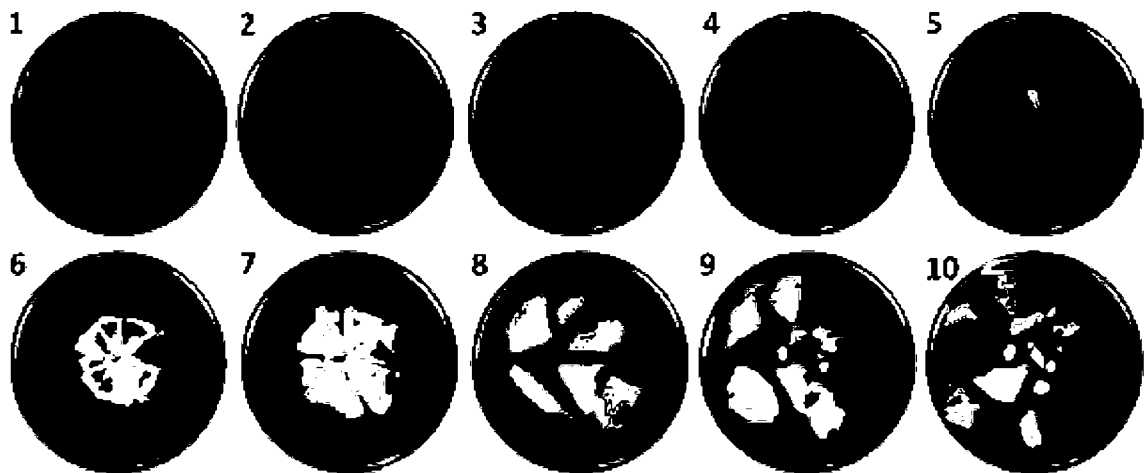
4. Zařízení podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že sklon (α) odrazové plochy (11) ke svislé ose testovacího zařízení (6) i rovině optických os (12, 13, 14) je neměnný, s výhodou 45° .

5. Zařízení podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že obsahuje pevné dorazy (19) nebo bezkontaktní snímače (20) pro opakovatelné prostorové ustavení nosiče (5) vzhledem k rovině základny (7) a svislé ose testovacího zařízení (6).

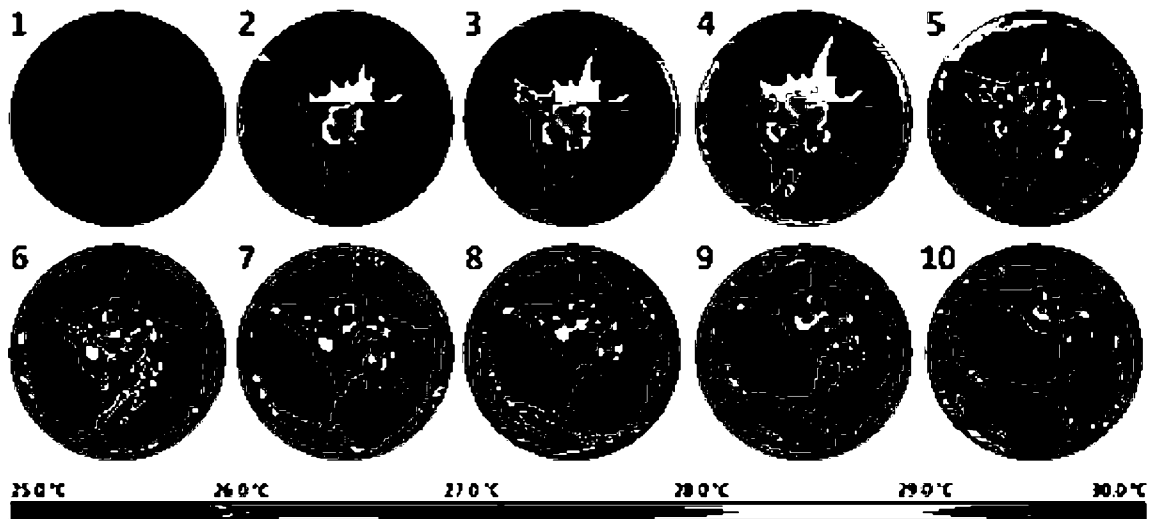
3 výkresy



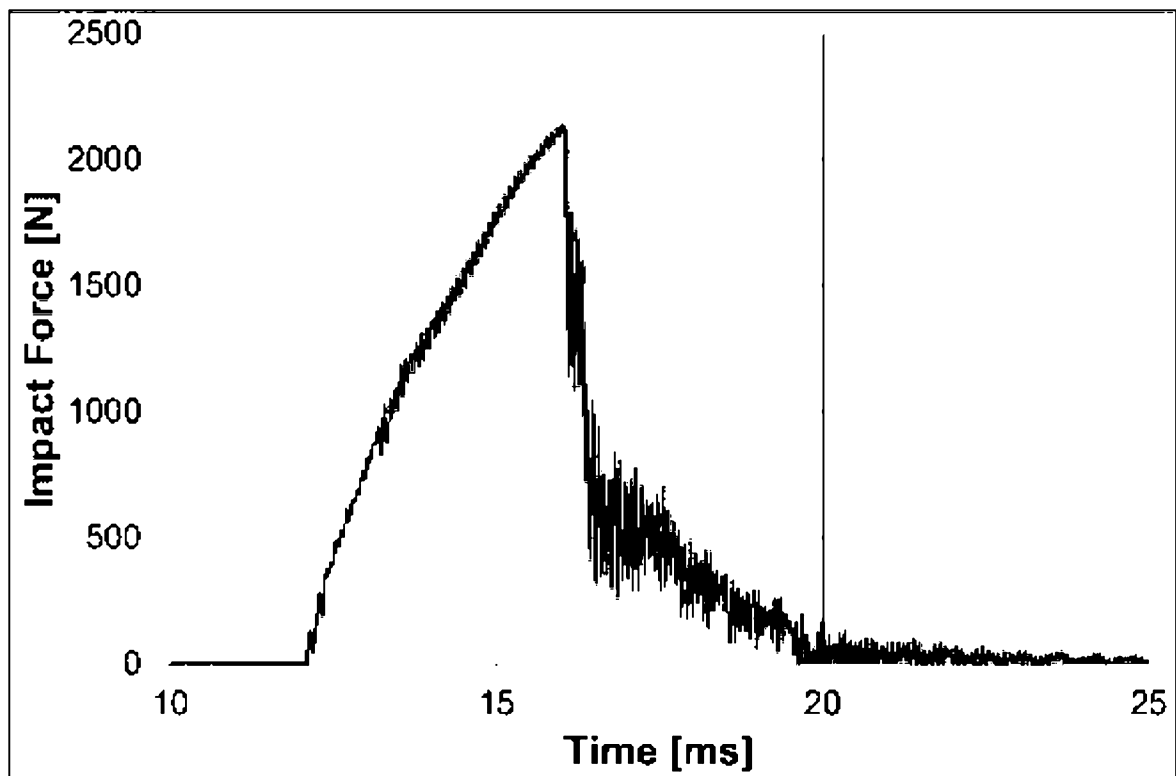
Obr. 1



Obr. 2

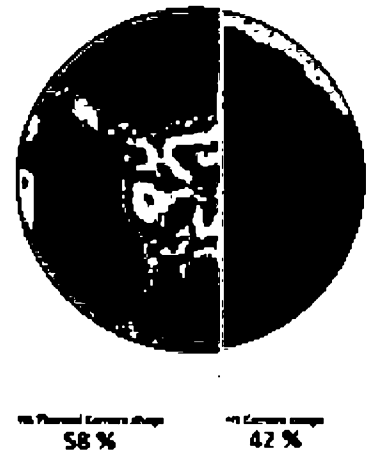
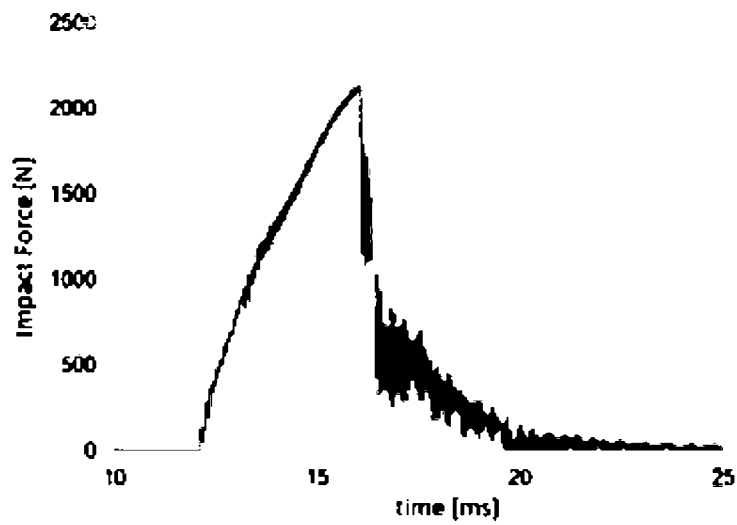


Obr. 3



Obr. 4

Tested material: Polystyrene (PS)
Initial Energy: 100 J



Manual Timing Control:



Set Time: 16.75 ms

Obr. 5