

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

zveřejněná podle § 31 zákona č. 527/1990 Sb.

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **20.06.2005**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **07.03.2007**
(Věstník č. 10/2007)

(21) Číslo dokumentu:

2005-403

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

G01N 21/87

(2006.01)

(71) Přihlašovatel:

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta
elektrotechnická, Praha, CZ

(72) Původce:

Smutný Vladimír Ing., Praha, CZ
Bodlák Igor, Brandýs nad Labem, CZ

(74) Zástupce:

Ing. Hana Dušková, patentový zástupce, Travná 1285,
Praha 14 - Kyje, 19800

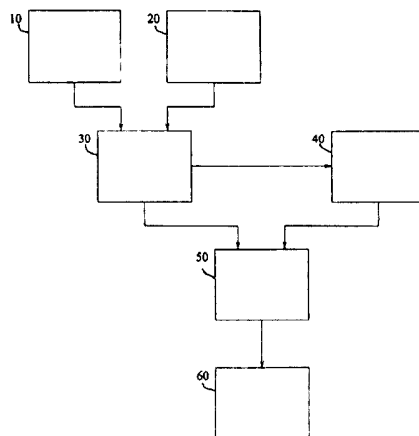
(54) Název přihlášky vynálezu:

**Způsob měření tvaru transparentních
objektů, zejména broušených kamenů a
zařízení k jeho provádění**

(57) Anotace:

Nejprve se měřený objekt popíše tak, že se specifikují tvary jeho plošek a jejich vzájemné polohy, parametrizují se jejich charakteristické rozměry a úhly a ty se změří. Z hodnot parametrů plošek se sestaví počítačový model měřeného objektu a poté se simuluje průchod svazků paprsků ze simulovaného světelného zdroje. Určují se místa a úhly vstupu a výstupu jednotlivých svazků paprsků, čímž se získá jejich geometrie. Pak se provede měření na daném objektu tak, že se objekt prosvětluje světelným zdrojem se stejnými parametry, ve stejných místech a pod stejnými úhly jako při simulovaném měření, zaznamenávají se místa a úhly skutečného výstupu jednotlivých svazků paprsků, čemuž odpovídá geometrie skutečných výstupních svazků paprsků. Určí se vzdálenost geometrie zjištěných skutečných a simulovaných výstupních svazků paprsků ve zvolené metrice a zvolí se optimalizační metoda optimalizující tuto vzdálenost za pomoci úprav hodnot parametrů simulovaného modelu objektu. Provádějí se nové simulace při těchto upravených hodnotách s cílem minimalizovat vzdálenost měřených a simulovaných výstupních svazků paprsků. Výsledné parametry změřeného kamene jsou hodnoty optimalizovaných parametrů kamene po optimalizaci. Zařízení sestává z bloku (10) vložení údajů o tvaru a rozměrech proměřovaného objektu, jehož výstup je propojen s jedním vstupem bloku (30) simulace výstupních svazků paprsků modelu, jehož druhý vstup je propojen s blokem (20) vložení údajů o parametrech zdroje světla a jehož jeden výstup je propojen s jedním vstupem bloku (50) optimalizace, jehož druhý vstup je propojen s výstupem

měřicího bloku (40) výstupních svazků paprsků proměřovaného objektu, který má vstup spojen s druhým výstupem bloku (30) simulace. Výstup bloku optimalizace (50) je spojen s blokem výstupu (60) naměřených údajů.



Způsob měření tvaru transparentních objektů, zejména broušených kamenů a zařízení k jeho provádění

Oblast techniky

Předkládané řešení se týká způsobu a zařízení, které umožňují velmi přesně změřit tvar transparentních objektů, zejména pak broušených kamenů.

Dosavadní stav techniky

Existuje řada transparentních předmětů od jednoduchých po složitější tvary, kdy je žádoucí znát přesně jejich rozměry. Typickou oblastí je šperkařský a bižuterní průmysl, kde se vyrábí broušené kameny ať již ze skla, křišťálu, kubické zirkonie či přímo z drahých kamenů. Povrch těchto kamenů je pak tvořen rovinnými ploškami a výsledný broušený kámen je konvexní mnohostěn. Během výroby, ale i po jejím skončení, je nutné měřit tvar kamenů, aby bylo možné nastavovat či měnit výrobní parametry kamenů.

Tvar kamenů je často obtížné měřit přímo, protože jsou velmi malé či jsou malé jednotlivé plošky. Jednou z možností je proměřovat dané transparentní objekty po částech profilprojektorem, což je velmi zdlouhavé, neboť je nutné nasnímat jejich profily z mnoha směrů. Existují způsoby a zařízení, kterými je možné kámen jednoznačně popsat, nikoli ho ale přesně proměřit. Tyto způsoby a zařízení, uvedené např. v GB 1416568 jsou v podstatě založeny na tom, že se na proměřovaný kámen vyšle svazek světla, který po několika odrazech a lomech v kameni vyjde ven z kamene jako množina svazků světla. Poloha vystoupivších paprsků se zaznamená a uloží. Tyto uložené údaje pak slouží pro použití při identifikaci například broušeného kamene po jeho vrácení z výstavy, při krádeži a podobně. Jedná se tedy vlastně o způsoby umožňující identifikaci konkrétního objektu, zejména pak drahých kamenů. Existuje také dokument WO2004028288, kde je uvedena zmínka o možnosti získat třírozměrný obraz drahokamu, ale nespecifikuje blíže jak. Principiálně systém popsaný v tomto patentu spadá do kategorie profilprojektor.

Podstata vynálezu

Výše uvedené nedostatky odstraňuje způsob měření tvaru transparentních objektů, zejména broušených kamenů, a zařízení pro jeho realizaci. Podstatou nového způsobu je, že se optimalizuje tvar počítačového modelu objektu tak, aby průchod světla skutečným objektem souhlasil s průchodem světla počítačovým modelem tohoto objektu. Měřený objekt se nejdříve popíše tak, že se specifikují tvary jednotlivých jeho plošek a jejich vzájemné polohy, parametrizují se jejich charakteristické rozměry a úhly a ty se změří. Na základě takto získaných hodnot parametrů plošek se sestaví počítačový model měřeného objektu. V dalším kroku se simuluje průchod svazků paprsků ze simulovaného světelného zdroje a určují se místa a úhly vstupu a výstupu jednotlivých svazků paprsků. Tím se získá geometrie simulovaných výstupních svazků paprsků. Následně se provede měření na daném objektu tak, že se tento objekt prosvětluje světelným zdrojem se stejnými parametry a ve stejných místech a pod stejnými úhly jako při simulovaném měření. Místa a úhly skutečného výstupu jednotlivých svazků paprsků se zaznamenávají a výsledkem je geometrie skutečných výstupních svazků paprsků. Nyní se určí vzdálenost geometrie zjištěných skutečných a simulovaných výstupních svazků paprsků ve zvolené metrice. V dalším kroku se zvolí optimalizační metoda, která mění hodnoty parametrů simulovaného modelu měřeného objektu tak, aby minimalizoval tuto vzdálenost. S každou změnou hodnot parametrů se samozřejmě určí nové geometrie výstupních svazků a určí nová hodnota vzdálenosti. Výsledek optimalizace jsou změřené parametry daného transparentního objektu, například kamene.

Při použití svazku světla o velkém průměru a objektu s mnoha ploškami je množství vystoupivších svazků velké a je velmi obtížné identifikovat, který výstupní svazek odpovídá kterému simulovanému svazku. Tento problém je řešen postupem, kdy se nejdříve simuluje průchod světla kamenem, a pak se nejlépe pro každý výstupní svazek zvlášť při reálném měření vpustí vstupní svazek jen v tom směru a jen do toho místa na povrchu objektu, které předpověděla simulace, aby vystoupil jen jeden výstupní paprsek nebo několik málo snadno rozlišitelných paprsků

Jestliže je nutné měřit jen polohu pouze jedné či několika plošek celého objektu, je možné při simulaci identifikovat svazky výstupních paprsků, které se od těchto

plošek odrážejí nebo se na nich lámou a pro měření a simulace použít pouze tyto výstupní paprsky.

Podstatou zařízení k provádění uvedeného způsobu měření transparentních objektů je, že se sestává z bloku vložení údajů o tvaru a rozměrech proměřovaného objektu, jehož výstup je propojen s jedním vstupem bloku simulace výstupních svazků paprsků modelu. Druhý vstup bloku simulace výstupních svazků paprsků modelu je propojen s blokem vložení údajů o parametrech zdroje světla a první výstup bloku simulace je propojen s jedním vstupem bloku optimalizace. Druhý vstup bloku optimalizace je propojen s výstupem měřicího bloku výstupních svazků paprsků proměřovaného objektu, jehož vstup je propojen s druhým výstupem bloku simulace výstupních svazků paprsků modelu. Výstup bloku optimalizace je spojen s blokem výstupu naměřených hodnot.

Výhodou uvedeného způsobu a zařízení pro měření tvaru transparentních objektů je, že umožňuje měřit přesně především úhly jednotlivých plošek, a to oproti profilprojektorům téměř bez ohledu na jejich velikost, dále umožňuje měřit zakřivení jednotlivých plošek, což je pro malé plošky na profilprojektoru téměř nemožné a další metody, např. interferometrické, jsou zase velice zdlouhavé a finančně náročné. Uvedená metoda je velice vhodná pro rutinní přeměřování výrobků ve výrobě, kdy umožňuje nejen rychle zhodnotit shodnost či neshodnost výrobku, ale i poskytnout informace nutné k regulačnímu zásahu do výroby.

Přehled obrázků na výkresech

Předkládané řešení bude blíže popsáno pomocí přiložených výkresů, kde je na obr.1 znázorněno schéma zařízení a na obr.2 je uveden příklad provedení bloku měření výstupních svazků transparentního objektu.

Příklady provedení vynálezu

Předmětem uvedeného řešení je přístroj a metoda pro určení tvaru transparentního objektu, zejména broušeného kamene, z geometrického rozložení světelných svazků, které jím projdou. Pro jednoduchost bude příklad popisován

právě pro broušený kámen. Jestliže se vpustí svazek světla do kamene, po několika odrazech a lomech v kameni vyjde ven z kamene množina svazků světla. Geometrické parametry těchto svazků, tedy jejich poloha v prostoru, jsou velmi citlivé na tvar kamene, především na sklon plošek kamene, z čehož nový způsob vychází. Za určitých podmínek, pokud je znám kvalitativní model kamene, tedy počet a sousednost plošek a přibližný tvar kamene, je možné určit přesný tvar kamene ze změřených parametrů těchto svazků.

Při provádění měření se nejprve provede kvalitativní popis daného kamene, což znamená, že se specifikují tvary jednotlivých jeho plošek a jejich vzájemné polohy. U kamenů se tedy vlastně určí jeho typ, zda se jedná o diamant, brilliant a podobně. Poté se parametrizují jejich charakteristické rozměry a úhly a ty se změří některou ze známých metod. Ke zjišťování všech těchto údajů lze často využít výkresovou dokumentaci nebo je možné objekt kvalitativně popsat pozorováním pod lupou a přibližné rozměry změřit například měřicím mikroskopem nebo profilprojektorem. Jakmile je tento krok dokončen, sestaví se na základě získaných hodnot parametrů plošek počítačový model kamene. Nyní se simuluje průchod svazků paprsků ze simulovaného světelného zdroje až po jejich výstup ze simulovaného modelu. V dalším kroku se vypočítávají místa a úhly vstupu a výstupu jednotlivých svazků paprsků. Tím se získá geometrie simulovaných výstupních svazků paprsků, která jednoznačně určuje polohu svazku v prostoru. Nyní se provede měření na skutečném kameni. Kámen se prosvětluje světelným zdrojem, například laserem, se stejnými parametry, ve stejných místech a pod stejnými úhly jako při simulovaném měření. Vystupující svazky paprsků se nechají dopadnout na stínítko a polohu dopadlých stop lze s výhodou změřit kamerou. Pro malé kameny buď stačí měřit sklony plošek, pak výstupní geometrii svazků paprsků určuje střed kamene a stopa na stínítku, tam kde nás zajímá i rozměr kamene lze postupně vložit paprskům do cesty dvě stínítka ve dvou různých místech, jak je čárkovane naznačeno na obr.2, sejmut kamerou dva různé obrazy stop a ze stop zjistit úplnou polohu svazků. V dalším kroku se určí vzdálenost geometrie zjištěných skutečných a simulovaných svazků paprsků ve vhodně zvolené metrice, například vážený součet čtverců odchylek úhlů svazků. Pomocí zvolené optimalizační metody se mění hodnoty parametrů simulovaného modelu kamene a přitom samozřejmě výpočtem určují nové simulace průchodu jednotlivých svazků paprsků ze simulovaného

světelného zdroje při těchto změněných hodnotách, s cílem minimalizovat vzdálenost měřených a simulovaných výstupních svazků paprsků. Výsledkem jsou pak údaje o tvaru a velikosti proměřované kamene nebo jiného transparentního objektu.

Popsaný způsob měření transparentních objektů lze realizovat speciálně k tomu účelu vytvořeným zařízením. Toto zařízení je blokově uvedeno na obr.1. Sestává z bloku 10 vložení údajů o tvaru a rozměrech proměřovaného objektu, jehož výstup je propojen s jedním vstupem bloku 30 simulace výstupních svazků paprsků modelu. Druhý vstup bloku 30 simulace výstupních svazků paprsků je propojen s blokem 20 vložení údajů o parametrech zdroje světla a jeho jeden výstup je propojen s jedním vstupem bloku 50 optimalizace. Druhý vstup bloku 50 optimalizace je propojen s výstupem měřicího bloku 40 výstupních svazků paprsků proměřovaného objektu, jehož vstup je spojen s druhým výstupem bloku 30 simulace výstupních svazků paprsků. Výstup bloku 50 optimalizace je spojen s blokem 60 výstupů naměřených údajů.

Nejjednodušší případ realizace měřicího bloku 40 výstupních svazků paprsků proměřovaného objektu je zobrazen na obr.2. Zdroj světla 1, například laser, kolimátor nebo obecný zdroj světla, vysílá svazek 2 rovnoběžných paprsků do kamene 3, kterým je jakýkoli průhledný mnohostěn, například šperkařský či bižuterní kámen broušený například do tvaru briliantu. Svazek paprsků 2 se při vstupu lomí, při dopadu na různé plošky se rozbije na několik svazků paprsků, které se šíří v kameni 3. Poté se každý svazek může několikrát odrážet uvnitř kamene 3, přičemž se rozpadá na další a další svazky. Ty pak opět lomem vystupují z kamene 3 ve vystupujícím svazku a dopadají na stínítko 6, kde vytvoří stopu 5. Kamera nebo jiné registrační zařízení 4 jako je například goniometr, mikroskop s odečítáním polohy a podobně, určí polohu jednotlivých stop 5 na stínítku 6. Jednou z nejpohodlnějších variant je použití kamery připojené na počítač. Stínítko 6 může být rovinné, kdy je snazší kalibrace, nebo konkávní část polokulového stínítka. Orientace stínítka 6 a registračního zařízení 4 vůči kameni 3 může být jakákoli. Poloha stop 5 na stínítku 6 nebo obecně poloha vystupujících svazků v sobě nese informaci nejen o úhlech jednotlivých plošek, polohách plošek v prostoru, ale i o indexu lomu materiálu kamene 3 a v případě, že plošky nejsou rovinné, ať již jako produkt broušení na nerovinném brusu nebo jako výsledek nedokonalosti broušení, také o tvaru plošek.

Jiné vytvoření bloku 40 používá pro měření geometrie jednotlivého výstupního svazku detektor, který se pohybuje například v souřadnicích azimut-elevace okolo měřeného objektu. Tento způsob měření je pomalejší, ale umožňuje získat vysokou přesnost určení polohy výstupních paprsků a tím vysokou přesnost změření tvaru objektu.

Toto zařízení pracuje následujícím způsobem. Do bloku 10 vložení údajů o tvaru a rozměrech proměřovaného objektu se vloží model kamene z výrobní dokumentace nebo z pozorování mikroskopem a měření nezávislou metodou. V bloku 20 vložení údajů o parametrech zdroje světla se vloží parametry světelného zdroje a jeho geometrické vlastnosti. V bloku 30 simulace výstupních svazků modelu se na základě informací vložených v bloku 10 vložení údajů o tvaru a rozměrech proměřovaného objektu a v bloku 20 vložení údajů o parametrech zdroje světla provede první simulace výstupních paprsků. Na základě výsledku této simulace se v měřicím bloku 40 výstupních svazků proměřovaného objektu provede změření geometrie skutečných výstupních svazků paprsků. Výsledky změření geometrie výstupních svazků paprsků a výsledky bloku 30 simulace se vloží do bloku 50 optimalizace vzdálenosti mezi geometrií simulovaných a změřených výstupních svazků paprsků, který mění parametry simulovaného modelu.

Na základě přibližného tvaru kamene se vytvoří v bloku 10 vložení údajů o tvaru a rozměrech proměřovaného objektu matematický-počítačový model kamene. Průchod svazku paprsků tímto modelem je možné modelovat. Svazek se při dopadu na kámen a každou další plošku kamene odráží a lomí podle zákonů geometrické optiky (zákon odrazu, lomu, Fresnelovy zákony). Modelováním průchodu svazku kamenem na základě těchto zákonů vznikne model geometrie svazků procházejících kamenem. Tento model geometrie svazků je závislý na parametrech modelu kamene. Geometrie modelu vystupujících paprsků je porovnávána s naměřenou geometrií paprsků skutečného kamene, která se získá v měřicím bloku 40 výstupních svazků modelu. Rozdíly mezi naměřenými a namodelovanými hodnotami se použijí při výpočtu kriteria, které hodnotí jestli rozdíl mezi modelem a naměřenými hodnotami je malý nebo velký. Tento krok se provádí v bloku 50 optimalizace. Hodnota kriteria závisí na parametrech modelu kamene, protože geometrie modelu

vystupujících paprsků závisí na parametrech modelu kamene. Metodami matematické optimalizace se v bloku 60 výstupů naměřených údajů mění parametry modelu kamene tak, aby kritérium rozdílu mezi geometrií modelu vystupujících paprsků a naměřenou geometrií vystupujících paprsků bylo co nejmenší. Jednoduše lze tedy říci, že se jednou naměří na kameni geometrie výstupních paprsků na reálném kameni a pak se neustále generují různé parametry modelu kamene, z nich se počítají různé geometrie modelu vystupujících paprsků, a to se opakuje tak dlouho, dokud naměřená a spočítaná geometrie se dostatečně neshodují. Tento postup se realizuje za pomoci matematických optimalizačních metod.

Matematický model kamene poskytuje řadu informací o očekávaném průchodu svazků světla kamenem. Lze tak předpovědět nejen polohu vystupujícího svazku z kamene, ale i kterou ploškou a kterou její částí do kamene vstoupil, od kterých plošek a kterých jejich míst se odrazil a kterou ploškou a kterou její částí vystoupil.

Protože svazek paprsků, který zasahuje větší část kamene, vyrobí velké množství vystupujících svazků, je možné pro identifikaci, který vystupující svazek zachycený na stínítku odpovídá kterému vystupujícímu svazku modelu použít velice úzkých svazků, které se zamíří přímo na místa, kudy vstupuje modelovaný svazek. Tím se docílí, že vystupující svazek je jen jeden, případně málo svazků, mezi kterými je možné již určit svazek odpovídající vystupujícímu modelovanému svazku.

Průmyslová využitelnost

Způsob a zařízení pro měření tvaru transparentních objektů podle předkládaného vynálezu lze využít zejména ve šperkařském a bižuterním průmyslu, kde je nejen během výroby, ale i po jejím skončení nutné měřit tvar kamenů, aby bylo možné nastavovat nebo měnit jejich výrobní parametry.

PATENTOVÉ NÁROKY

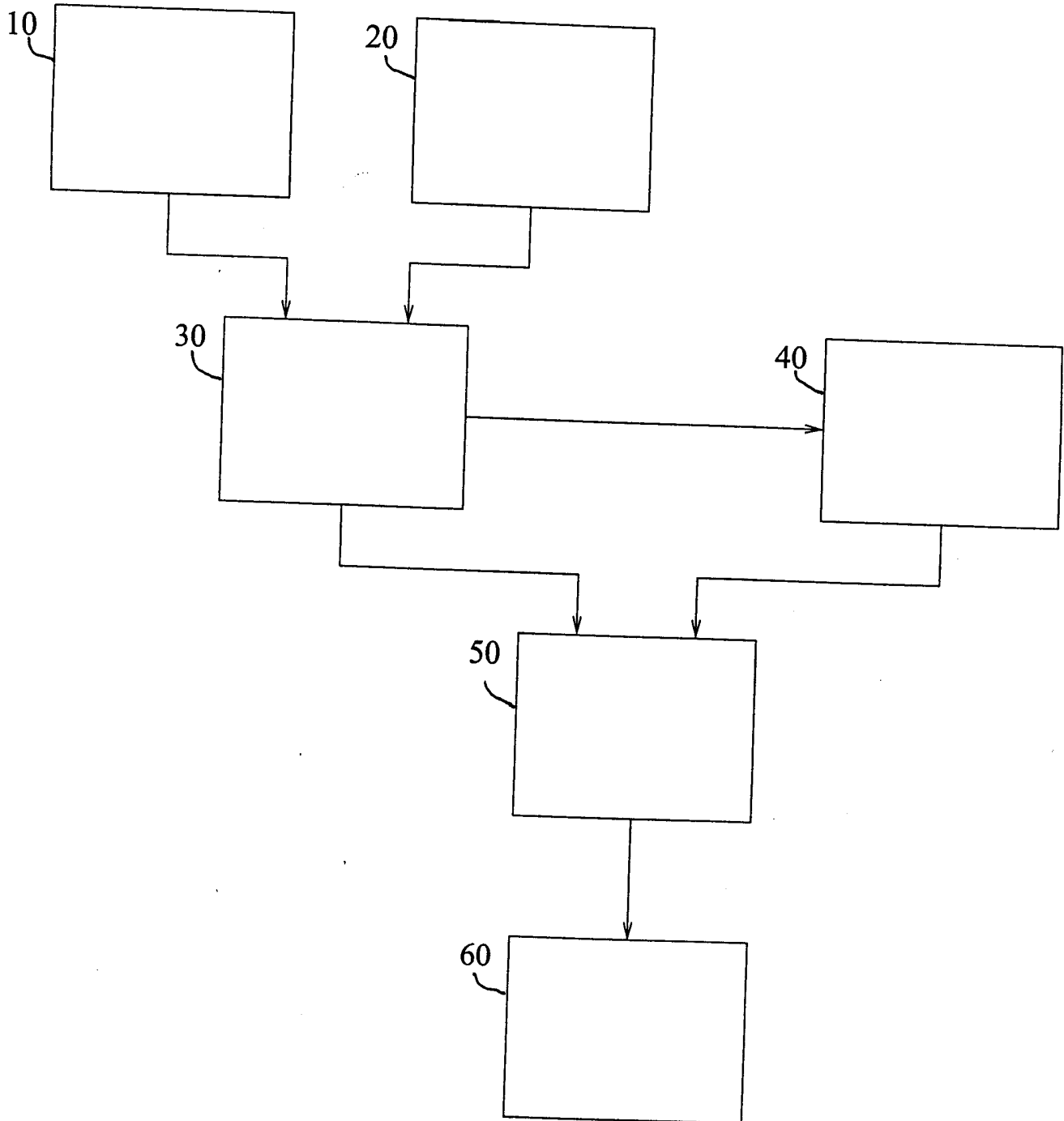
1. Způsob měření tvaru transparentních objektů, zejména broušených kamenů, **vyznačující se tím, že** nejprve se měřený objekt popíše tak, že se specifikují tvary jednotlivých jeho plošek a jejich vzájemné polohy, parametrizují se jejich charakteristické rozměry a úhly a ty se změří, na základě takto získaných hodnot parametrů plošek se sestaví počítačový model měřeného objektu a poté se simuluje průchod svazků paprsků ze simulovaného světelného zdroje, a určují se místa a úhly vstupu a výstupu jednotlivých svazků paprsků, čímž se získá geometrie simulovaných výstupních svazků paprsků, následně se provede měření na daném objektu tak, že se tento objekt prosvětluje světelným zdrojem se stejnými parametry a ve stejných místech a pod stejnými úhly jako při simulovaném měření, zaznamenávají se místa a úhly skutečného výstupu jednotlivých svazků paprsků, čemuž odpovídá geometrie skutečných výstupních svazků paprsků, určí se vzdálenost geometrie zjištěných skutečných a simulovaných výstupních svazků paprsků ve zvolené metrice, zvolí se optimalizační metoda optimalizující vzdálenost mezi skutečnými a simulovanými výstupními svazky paprsků za pomoci úprav hodnot parametrů simulovaného modelu daného objektu, přičemž se provádějí nové simulace průchodu jednotlivých svazků paprsků ze simulovaného světelného zdroje při těchto upravených hodnotách s cílem minimalizovat vzdálenost měřených a simulovaných výstupních svazků paprsků, kde výsledné parametry změřeného kamene jsou hodnoty optimalizovaných parametrů kamene po optimalizaci.
2. Způsob podle nároku 1 **vyznačující se tím, že** po simulaci průchodu světla daným objektem se pro každý výstupní svazek paprsků zvlášť při reálném měření objektu vpustí vstupní svazek paprsků jen v tom směru a do toho místa na povrch objektu, které předpověděla simulace, aby vystoupil jen jeden výstupní svazek paprsků nebo několik málo snadno rozlišitelných svazků paprsků.

3. Způsob podle nároku 1 nebo 2 **vyznačující se tím, že** při měření pouze polohy jedné nebo několika plošek daného objektu se při simulaci průchodu světla tímto objektem identifikují výstupní svazky paprsků, které se od těchto plošek odrážejí nebo se na nich lámou a pro měření a simulace se použijí pouze tyto výstupní paprsky.
4. Zařízení k provádění způsobu podle nároku 1 a kteréhokoli z nároků 2 až 3 **vyznačující se tím, že** sestává z bloku (10) vložení údajů o tvaru a rozměrech proměřovaného objektu, jehož výstup je propojen s jedním vstupem bloku (30) simulace výstupních svazků paprsků modelu, jehož druhý vstup je propojen s blokem (20) vložení údajů o parametrech zdroje světla a jehož jeden výstup je propojen s jedním vstupem bloku (50) optimalizace, jehož druhý vstup je propojen s výstupem měřicího bloku (40) výstupních svazků paprsků proměřovaného objektu, jehož vstup je spojen s druhým výstupem bloku (30) simulace výstupních svazků paprsků a kde výstup bloku optimalizace (50) je spojen s blokem (60) výstupu naměřených údajů.

1/2 D&H

21.06.05

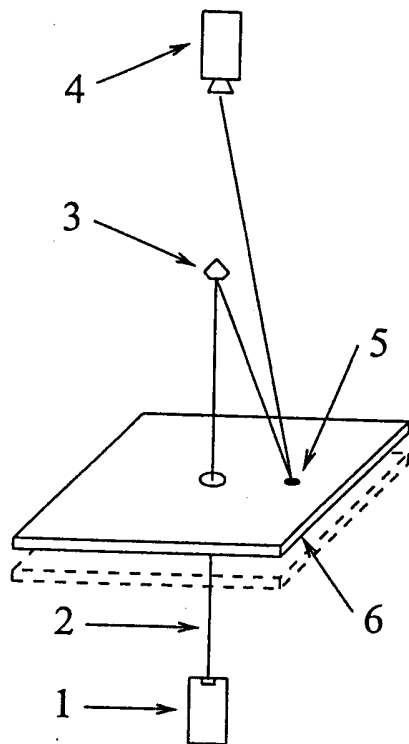
9/2005-40



Obr. 1

2/2

21.08.05



Obr. 2