

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: 04.12.2014

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: 25.11.2015
(Věstník č. 47/2015)

(21) Číslo dokumentu:

2014-855

(13) Druh dokumentu: A3

(51) Int. Cl.:

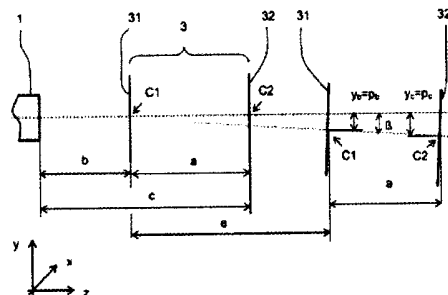
G01B 9/00 (2006.01)
G01M 13/00 (2006.01)
G01M 13/04 (2006.01)
G02B 5/12 (2006.01)

- (71) Přihlašovatel:
VÚTS, a.s., Liberec XI- Růžodol I, CZ
- (72) Původce:
Ing. Pavel Šidlof, CSc., Liberec 14, CZ
Ing. Petr Škop, CSc., Liberec, CZ
- (74) Zástupce:
Ing. Dobroslav Musil, patentová kancelář,
Zábrdovická 11, 615 00 Brno

- (54) Název přihlášky vynálezu:
Způsob stanovení nebo stanovování lineární a/nebo úhlové úchylky/úchylek dráhy nebo plochy obrobku nebo části stroje od osy rotace jeho vřeten, a snímací zařízení k jeho provádění

- (57) Anotace:
Způsob stanovení lineární úchylky (p) a/nebo (q) a/nebo úhlové úchylky (β) a/nebo (γ) dráhy a/nebo plochy obrobku a/nebo části stroje od osy rotace vřeten (1), u kterého se do vřeten (1) upne zdroj laserového paprsku (2) a alespoň ve dvou optických vzdálenostech (b), (c) od konce vřeten (1) se na dráze a/nebo ploše obrobku a/nebo části stroje postupně nebo současně zaznamenají, resp. zaznamenávají místa dopadu laserového paprsku (2) nebo jeho složek (21), (22), nebo laserovým paprskem (2) nebo jeho složkami (21), (22) opisované geometrické tvary, načež se tyto optické vzdálenosti (b), (c) posunem snímacího zařízení (3) a/nebo jeho elektronického optického snímače/snímáčů (31), (32) vůči konci vřeten (1) a/nebo posunem vřeteníků vůči snímacímu zařízení (3) změní o stejnou hodnotu (e) a v takto změněných optických vzdálenostech (b+e), (c+e) se postupně nebo současně zaznamenají, resp. zaznamenávají místa dopadu laserového paprsku (2) nebo jeho složek (21), (22), nebo laserovým paprskem (2) nebo jeho složkami (21), (22) opisované geometrické tvary. Lineární úchylka (p) nebo (q) a/nebo úhlová úchylka (β) a/nebo (γ) se pak stanoví, resp. stanovuje ze složek posunutí (y_b), (y_c), resp. (x_b), (x_c) těchto míst nebo středů opisovaných geometrických mezi těmito optickými vzdálenostmi (b+e) a (c+e) v příslušné ose kolmé na osu rotace vřeten (1), rozdílů

(a) optických vzdáleností (b+e) a (c+e), resp. (b) a (c), jedné z těchto optických vzdáleností (b), (b+e), (c), (c+e) od konce vřeten (1), změny (e) optických vzdáleností (b) a (c) od konce vřeten (1) a vzdáleností (u), ve které se úchylka/úchylky stanoví, resp. stanovuje od elektronického optického snímače (31). Kromě toho se vynález týká také snímacího zařízení (3) k provádění tohoto způsobu.



Způsob stanovení nebo stanovování lineární a/nebo úhlové úchylky/úchylek dráhy nebo plochy obrobku nebo části stroje od osy rotace jeho vřetena, a snímací zařízení k jeho provádění

5 Oblast techniky

Vynález se týká způsobu stanovení nebo stanovování lineární a/nebo úhlové úchylky/úchylek dráhy nebo plochy obrobku nebo části stroje od osy rotace jeho vřetena.

10 Kromě toho se vynález týká také snímacího zařízení k provádění tohoto způsobu.

Dosavadní stav techniky

Pro stanovení, resp. stanovování lineární a/nebo úhlové úchylky/úchylek dráhy nebo plochy obrobku nebo součásti stroje, např. upínacího stolu, suportu, 15 koníku, apod. od osy rotace vřetena (horizontálního, vertikálního nebo šikmého), se v současné době používá zejména způsob měření lineárních úchylek pomocí měřicího trnu, přičemž úhlové úchylky se z naměřených lineárních úchylek následně dopočítávají. Při tomto způsobu se do vřetena obráběcího stroje upne měřicí trn, a např. pomocí úchylkoměru se měří lineární 20 úchylky dráhy relativního pohybu dané části stroje nebo obrobku vůči válcové ploše měřicího trnu. Nevýhodou tohoto způsobu je však zejména omezená délka měřicího trnu a také to, že naměřené lineární úchylky jsou zkresleny vlivem výrobních nepřesností měřicího trnu, deformací měřicího trnu jeho vlastní vahou, jeho házením, a chybami vznikajícími tím, že úchylkoměr 25 nesleduje vždy přesně povrchu válcové plochy trnu, atd.

Jiným způsobem pro stanovení, resp. stanovování lineární a/nebo úhlové úchylky/úchylek dráhy nebo plochy obrobku nebo součásti stroje, který 30 odstraňuje nepřesnosti spojené s měřícím trnem, je použití zaměřovacího dalekohledu nebo autokolimátoru. Nevýhodou tohoto způsobu je však značně obtížné a zdlouhavé ustavení dalekohledu, resp. autokolimátoru, které by skutečně zaručilo měření úchylky/úchylek vůči rotační ose vřetena.

Stejnou nevýhodou trpí i způsob pro stanovení lineární a/nebo úhlové úchylky/úchylek dráhy nebo plochy obrobku nebo součásti stroje, který je založen na využití laserového interferometru. Jeho další nevýhodou je pak také nutnost použití drahého přístrojového vybavení a požadavek na značnou zkušenost obsluhy.

Cílem vynálezu je navrhnout způsob pro stanovení nebo stanovování lineární úchylky/úchylek a/nebo úhlové úchylky/úchylek dráhy nebo plochy obrobku nebo části stroje od osy rotace jeho vřetena, který by odstranil nevýhody stavu techniky tím, že by byl co nejjednodušší z hlediska obsluhy, a současně co nejpřesnější s minimem vlivů, které by zkreslovaly hodnoty úchylky/úchylek.

Cílem vynálezu je současně i navrhnout snímací zařízení k provádění tohoto způsobu.

Podstata vynálezu

Cíle vynálezu se dosáhne způsobem stanovení nebo stanovování lineární úchylky/úchylek a/nebo úhlové úchylky/úchylek dráhy nebo plochy obrobku nebo části stroje, zejména obráběcího stroje, od osy rotace jeho vřetena, jehož podstata spočívá v tom, že se do vřetena upne zdroj laserového paprsku, a alespoň ve dvou optických vzdálenostech od konce vřetena se na dráze nebo ploše obrobku nebo části stroje postupně nebo současně zaznamenají, resp. zaznamenávají místa dopadu laserového paprsku nebo jeho složek, nebo laserovým paprskem nebo jeho složkami opisované geometrické tvary. Poté se tyto optické vzdálenosti změní posunem snímacího zařízení a/nebo jeho elektronického optického snímače/snímačů vůči konci vřetena, a v takto změněných optických vzdálenostech se postupně nebo současně zaznamenají, resp. zaznamenávají místa dopadu laserového paprsku nebo jeho složek, nebo laserovým paprskem nebo jeho složkami opisované geometrické tvary. Lineární úchylka/úchylky dráhy nebo plochy obrobku nebo části stroje od osy rotace vřetena je/jsou pak přímo dána/dány posunem místa dopadu laserového paprsku nebo jeho složek nebo středu laserovým paprskem nebo jeho složkami opisovaného geometrického tvaru, ke kterému dojde při této

změně optické vzdálenosti/vzdáleností. Z takto zjištěné lineární úchylky/úchylek je pak možné vypočítat nebo průběžně vypočítávat úhlovou úchylka/úchylky v příslušné ose. Dle požadavků se přitom může stanovit, resp. stanovovat např. pouze lineární a/nebo úhlová úchylka ve směru jedné z os.

- 5 V závislosti na použitém snímacím zařízení se místa dopadu laserového paprsku nebo laserovým paprskem opisované geometrické tvary zaznamenají, resp. zaznamenávají na optické matici jednoho elektronického optického snímače uspořádaného proti konci vřetena, který se pohybuje mezi polohami v různých optických vzdálenostech od konce vřetena, nebo se postupně zaznamenávají na optických maticích dvou elektronických optických snímačů, které jsou upořádané za sebou proti konci vřetena v různých optických vzdálenostech od něj, přičemž elektronický optický snímač uspořádaný v menší optické vzdálenosti od konce vřetena se pro zaznamenání místa dopadu laserového paprsku nebo laserovým paprskem opisovaného geometrického tvaru na optické matici optického snímače uspořádaného ve větší optické vzdálenosti od konce vřetena přesune alespoň dočasně mimo dráhu laserového paprsku.

- 20 Při použití snímacího zařízení v jiné variantě provedení se laserový paprsek rozdělí, resp. rozděljuje na dvě složky, přičemž se zaznamenají, resp. zaznamenávají místa dopadu těchto složek, nebo těmito složkami opisované geometrické tvary na optických maticích dvou elektronických optických snímačů, přičemž každá z těchto složek dopadá, nebo opisuje geometrický tvar na optické matici elektronického optického snímače umístěného v jiné optické vzdálenosti od konce vřetena.

- 25 Pro zvýšení přesnosti stanovení, resp. stanovování je výhodné, pokud se alespoň jedna složka laserového paprsku před dopadem na optickou matici elektronického optického snímače alespoň jednou odrazí pomocným zrcadlem, čímž se prodlouží její dráha.

- 30 Ve všech variantách je dále výhodné, pokud se pro eliminaci případné nepřesnosti uložení zdroje laserového paprsku v ose rotace vřetena toto vřeteno při zaznamenávání míst dopadu laserového paprsku nebo jeho složek, nebo laserovým paprskem nebo jeho složkami opisovaných geometrických tvarů, otáčí vhodnou rychlostí.

Kromě toho se cíle vynálezu dosáhne také snímacím zařízením pro stanovení lineární a/nebo úhlové úchylky/úchylek dráhy nebo plochy obrobku nebo části stroje od osy rotace jeho vřetena, jehož podstata spočívá v tom, že obsahuje dráhu laserového paprsku a elektronický optický snímač, který je svou optickou maticí přestavitelný v dráze laserového paprsku mezi alespoň dvěma polohami v různých optických vzdálenostech od konce vřetena.

V jiné variantě toto snímací zařízení alespoň dva elektronické optické snímače, jejichž optické matrice jsou uspořádány za sebou v dráze laserového paprsku, přičemž elektronický optický snímač uspořádaný v menší optické vzdálenosti od konce vřetena je uložen s možností přesunutí své optické matrice mimo toto vedení.

V další variantě toto snímací zařízení obsahuje v dráze laserového paprsku uspořádaný dělič laserového paprsku, za kterým jsou uspořádány alespoň dva elektronické optické snímače – každý v dráze jedné složky laserového paprsku a v jiné optické vzdálenosti od konce vřetena. V této variantě je přitom výhodné, pokud je v dráze alespoň jedné složky laserového paprsku za děličem paprsku uspořádáno alespoň jedno pomocné zrcadlo.

Objasnění výkresů

Na přiložených výkresech je na obr. 1 schematicky znázorněn princip stanovení nebo stanovování lineární a/nebo úhlové úchylky/úchylek dráhy nebo plochy obrobku nebo části stroje od osy rotace jeho vřetena, a současně i princip první varianty snímacího zařízení k provádění tohoto způsobu podle vynálezu, na obr. 2a druhá varianta snímacího zařízení k provádění tohoto způsobu podle vynálezu a její princip, na obr. 2b třetí varianta takového snímacího zařízení a její princip, a na obr. 3 princip způsobu stanovení nebo stanovování lineární a/nebo úhlové úchylky/úchylek dráhy nebo plochy obrobku nebo části stroje od osy rotace jeho vřetena pro případ uložení zdroje laserového paprsku mimo osu rotace vřetena.

Příklady uskutečnění vynálezu

8 Způsob stanovení nebo stanovování lineární a/nebo úhlové úchylky/úchylek dráhy nebo plochy obrobku nebo části stroje (např. upínacího stolu, suportu, koníku, apod.) od osy rotace jeho vřetena 1 podle vynálezu bude s přihlédnutím k obr. 1 až obr. 3 vysvětlen na příkladu obráběcího stroje s horizontálním vřetenem 1, přičemž v případě jiné orientace vřetena 1 je tento způsob, jak je odborníkovi v oboru zřejmé, zcela analogický. V případě horizontálního vřetena 1 se stanoví nebo stanovují úchylky ve směru svislé osy y (lineární úchylka p a úhlová úchylka β) a/nebo úchylky ve směru vodorovné osy x (lineární úchylka q a úhlová úchylka γ); v případě vertikálního vřetena 1 se pak stejným způsobem stanová nebo stanovují úchylky ve dvou vzájemně kolmých vodorovných osách; v případě šikmého vřetena 1 ve dvou vhodných, vzájemně kolmých osách, které jsou současně kolmé k ose rotace vřetena 1.

15 Pro stanovení, resp. stanovování lineární úchylky p a/nebo q a/nebo úhlové úchylky β a/nebo γ dráhy nebo plochy obrobku nebo části stroje od osy rotace jeho vřetena 1 podle vynálezu, se do vřetena 1 v ose jeho rotace upne neznázorněný zdroj laserového paprsku 2 (např. laserová dioda), a na obrobek nebo část stroje, resp. do jejich dráhy nebo na jejich plochu, jejíž lineární úchylka p a/nebo q a/nebo úhlová úchylka β a/nebo γ se stanovuje/stanovují, se umístí snímací zařízení 3 podle vynálezu (viz obr. 1 až obr. 2b), jehož elektronický optický snímač/snímače 31, 32 je/jsou svými optickými maticemi uložené na ose rotace vřetena 1 nebo do ní zasahují.

25 V první variantě provedení obsahuje snímací zařízení 3 podle vynálezu (obráz. 1) dva elektronické optické snímače 31 a 32, jejichž optické matrice jsou uspořádány za sebou v optické vzdálenosti a v dráze laserového paprsku 2, přičemž elektronický optický snímač 31, který je uspořádaný v menší optické vzdálenosti b od konce vřetena 1 je uložený sklopně a/nebo otočně a/nebo posuvně, případně jinak pohyblivě, a je spřažen s neznázorněným pohonem nebo zařízením pro tento jeho pohyb. V okamžiku, kdy nastane potřeba dopadu laserového paprsku 2 na optickou matici elektronického optického snímače 32, který je uspořádaný za ním, ve větší optické vzdálenosti c od konce vřetena 1, se tak tento elektronický optický snímač 31 odstraní z dráhy laserového paprsku 2, nebo se naopak v případě, kdy nastane potřeba dopadu laserového

paprsku 2 na jeho optickou matici, přesune do dráhy tohoto paprsku 2. Uložení a pohon elektronického optického snímače 31 přitom s výhodou umožňují také jeho přesunutí zpět do výchozí polohy pro další zaznamenávání. Optickou vzdáleností se přitom rozumí celková délka dráhy laserového paprsku 2 (a/nebo jeho složky) mezi danými dvěma prvky.

Ve druhé variantě provedení obsahuje snímací zařízení 3 podle vynálezu (obr. 2a) dělič 4 paprsku (např. polopropustné zrcadlo, apod.), který je uspořádaný v dráze laserového paprsku 2, a dva elektronické optické snímače 31, 32, z nichž každý je svou optickou maticí uspořádán za děličem 4 paprsku v dráze jedné složky 21, 22 laserového paprsku 2. Dělič 4 paprsku pak rozděluje laserový paprsek 2, který na něj dopadá na dvě složky, přičemž složka 21 odražená děličem 4 paprsku dopadá na optickou matici elektronického optického snímače 31 uspořádaného mimo osu rotace vřetena 1 (ve znázorněné variantě provedení elektronický optický snímač 31 v menší optické vzdálenosti od konce vřetena 1), zatímco složka 22 procházející děličem 4 paprsku dopadá na optickou matici elektronického optického snímače 32 uspořádaného na ose rotace vřetena 1, nebo v její blízkosti (ve znázorněné variantě provedení elektronický optický snímač 32 ve větší optické vzdálenosti od konce vřetena 1). Optická vzdálenost a optických matic elektronických optických snímačů 31, 32 se přitom v tomto případě určí jako rozdíl jejich optických vzdáleností od děliče 4 paprsku. Optické vzdálenosti b a c příslušné optické matrice elektronického optického snímače 31, resp. 32, se pak určí jako součet optické vzdálenosti děliče 4 paprsku od konce vřetena 1 a optické vzdálenosti děliče 4 paprsku od optické matrice příslušného elektronického optického snímače 31, resp. 32.

V neznázorněné variantě provedení snímacího zařízení 3 podle vynálezu, která vychází z varianty znázorněné na obr. 2a, může být optická vzdálenost optické matrice elektronického optického snímače 31, který snímá odraženou složku 21 laserového paprsku 2 od děliče 4 paprsku větší, než optická vzdálenost optické matrice elektronického optického snímače 32, který snímá průchozí složku 22 laserového paprsku 2 od tohoto děliče 4 paprsku. V důsledku toho se při výpočtech změní matematické znaménko jejich optické vzdálenosti a.

V jiné neznázorněné variantě provedení může být složka 22 procházející děličem 4 paprsku vychýlena mimo osu rotace vřetena 1, takže i příslušný elektronický optický snímač 32 je uložen mimo tuto osu.

Snímací zařízení 3 podle vynálezu ve výše popsanych variantách provedení může být dále modifikováno doplněním alespoň jednoho neznázorněného pomocného zrcadla, které zvětšuje délku dráhy odražené složky 21 a/nebo průchozí složky 22 laserového paprsku 2, případně laserového paprsku 2, a tím i optickou vzdálenost optické matrice příslušného elektronického optického snímače 31 a/nebo 32 od konce vřetena 1, a optickou vzdálenost a mezi optickými maticemi elektronických optických snímačů 31 a 32. To umožňuje zmenšení snímacího zařízení 3 při zachování nebo dokonce zvýšení požadované přesnosti stanovení, resp. stanovování lineární úchyly p a/nebo q a/nebo úhlové úchyly β a/nebo γ. Variantně přitom může být optická vzdálenost optické matrice elektronického optického snímače 31, který snímá odraženou složku 21 laserového paprsku 2, od děliče 4 paprsku větší, než optická vzdálenost optické matrice elektronického optického snímače 32, který snímá průchozí složku 22 laserového paprsku 2, od tohoto děliče 4 paprsku, takže i v tomto případě dojde ve výpočtech ke změně matematického znaménka jejich optické vzdálenosti a. V další variantě provedení snímacího zařízení 3 mohou být oba elektronické optické snímače 31, 32 uspořádány svou optickou maticí mimo osu rotace vřetena 1.

V příkladné variantě provedení takto modifikovaného snímacího zařízení 3 znázorněné na obr. 2b, obsahuje toto snímací zařízení 3 dvě pomocná zrcadla 5 a 6, která prodlužují dráhu průchozí složky 22 laserového paprsku 2 před jejím dopadem na optickou matici příslušného elektronického optického snímače 32 uspořádaného ve znázorněné variantě provedení mimo osu rotace vřetena 1, čímž současně zvětšují optickou vzdálenost a mezi optickými maticemi elektronických optických snímačů 31, 32. Ta je přitom v tomto případě dána rozdílem optické vzdálenosti optických matic elektronických optických snímačů 31, 32 od děliče 4 paprsku. Optické vzdálenosti b a c konce vřetena 1 od optické matrice elektronického optického snímače 31, resp. 32 se pak určí jako součet optické vzdálenosti konce vřetena 1 od děliče 4 paprsku a

optické vzdálenosti děliče 4 paprsku od optické matrice příslušného elektronického optického snímače 31, resp. 32.

Optická vzdálenost a optických matric elektronických optických snímačů 31, 32 a optické vzdálenosti b a c optických matric elektronických optických snímačů 31 a 32 od konce vřetena 1 jsou přitom v těchto variantách jiné (větší), než jejich fyzické vzdálenosti.

V neznázorněné variantě provedení snímacího zařízení 3 podle vynálezu pak toto zařízení obsahuje pouze jeden elektronický optický snímač 31. Tento elektronický optický snímač 31 je přitom uložen na přesném vedení, svou optickou maticí přestavitelně mezi alespoň dvěma polohami v dráze laserového paprsku 2, a v případě potřeby je spřažen s pohonem pro tento jeho posuv. V okamžiku, kdy nastane potřeba dopadu laserového paprsku 2 na optickou matici uspořádanou v jiné optické vzdálenosti od konce vřetena 1, přesune se tento snímač 31 po svém vedení požadovaným způsobem alespoň jednou směrem k nebo od konce vřetena 1. Optická vzdálenost a je pak dána vzdáleností, o kterou se snímač 31, resp. jeho optická matrice přesunula, optická vzdálenost b libovolnou, např. nejmenší vzdáleností optické matrice tohoto elektronického optického snímače 31 od konce vřetena 1 a optická vzdálenost c libovolnou vzdáleností optické matrice od konce vřetena 1 jinou než optická vzdálenost b, např. největší vzdáleností optické matrice elektronického optického snímače 31 od konce vřetena 1, ve které došlo k zaznamenání místa dopadu laserového paprsku 2.

Snímací zařízení 3 ve variantách znázorněných na obr. 2a a 2b a jeho výše popsané varianty s děličem 4 paprsku umožňují, oproti variantě znázorněné na obr. 1, kontinuální snímání míst dopadu laserového paprsku 2 nebo jeho složek 21, 22, nebo laserovým paprskem nebo jeho složkami 21, 22 opisovaných geometrických tvarů.

Snímací zařízení 3 podle vynálezu je ve všech výše popsaných variantách provedení opatřeno, resp. jeho elektronický optický snímač/snímače 31, 32 jsou propojeny s vyhodnocovací jednotkou 7. Ta přitom může být buď jednoúčelová, nebo může být tvořena např. (přenosným) počítačem či jiným obdobným zařízením.

Alespoň optické prvky snímacího zařízení 3 podle vynálezu, tj. elektronické optické snímače 31, 32, případně dělič paprsku 4 a pomocná zrcadla 5, 6, jsou pro ochranu před nežádoucím zašpiněním uloženy v neznázorněném obalu opatřeném vstupem laserového paprsku 2.

~~5~~ Během stanovení nebo stanovování lineární úchylky p a/nebo q, a/nebo úhlové úchylky β a/nebo γ zůstává obvykle vřeteno 1 po celou dobu v pevné poloze (např. zcela zasunuto ve vřeteníku, nebo vysunutě z vřeteníku s předem daným vysunutím), přičemž snímací zařízení 3 nebo jeho elektronický optický snímač/snímače 31, 32 se alespoň jednou pohne, nebo se průběžně pohybuje vůči němu (směrem k němu a/nebo směrem od něj) v dráze nebo na ploše obrobku nebo části stroje, jejíž lineární úchylka p a/nebo q, a/nebo úhlová úchylka β a/nebo γ od osy rotace vřetena 1 se stanovuje/stanovují.

~~16~~ Přitom se alespoň ve dvou optických vzdálenostech b a c od konce vřetena 1 postupně nebo současně zaznamenají, resp. zaznamenávají místa dopadu laserového paprsku 2 nebo jeho složek 21, 22, nebo laserovým paprskem 2 nebo jeho složkami 21, 22 opisované geometrické tvary. Poté se tyto optické vzdálenosti b a c změní o stejnou hodnotu e, a to např. posunutím snímacího zařízení 3 po dráze nebo ploše obrobku nebo části stroje, na které je snímací zařízení 3 uloženo, nebo posunutím jeho elektronického optického snímače/snímačů 31, 32, případně kombinací těchto pohybů směrem k nebo od konce vřetena 1, a v takto změněných optických vzdálenostech b+e a c+e (kde e je záporné, pokud se snímací zařízení 3 nebo jeho elektronický optický snímač/snímače 31, 32 posunul/posunuly směrem ke konci vřetena 1) od konce vřetena 1 se znovu postupně nebo současně zaznamenají, resp. zaznamenávají místa dopadu laserového paprsku 2 nebo jeho složek 21, 22, nebo laserovým paprskem 2 nebo jeho složkami 21, 22 opisované geometrické tvary. Posunutí x_b, y_b, resp. x_c, y_c míst dopadu laserového paprsku 2 nebo jeho složek 21, 22 nebo středu laserovým paprskem 2 nebo jeho složkami 21, 22 opisovaného geometrického útvaru v ose x, resp. y na optické matici elektronického optického snímače/snímačů 31, 32 v optické vzdálenosti b+e, resp. c+e od konce vřetena 1 od jejich původní polohy C₁, C₂ (obr. 1) pak přímo představují lineární úchylky p (p_b, p_c) resp. q dané dráhy a/nebo plochy obrobku a/nebo části stroje v této/těchto optických vzdálenostech. Z těchto

posunutí x_b , y_b , resp. x_c , y_c je pak možné pro každou optickou vzdálenosti $b+e$ a $c+e$ od konce vřetena 1 dopočítat příslušnou úhlovou úchylku β , resp. γ v těchto optických vzdálenostech od konce vřetena 1, např. následovně:

$$\beta = \arctg\left(\frac{y_c - y_b}{a}\right), \quad \gamma = \arctg\left(\frac{x_c - x_b}{a}\right),$$

5 kde: y_c , x_c je složka posunutí místa dopadu laserového paprsku 2 nebo jeho složky 21, 22 nebo středu laserovým paprskem 2 nebo jeho složkou 21, 22 opisovaného geometrického tvaru zaznamenané elektronickým optickým snímačem 31 nebo 32 při změně optické vzdálenosti c tohoto snímače 31 nebo 32 od konce vřetena 1 na optickou vzdálenost $c+e$ od konce vřetena 1 v ose y , resp. x ,
10

y_b , x_b je složka posunutí místa dopadu laserového paprsku 2 nebo jeho složky 21, 22 nebo středu laserovým paprskem 2 nebo jeho složkou 21, 22 opisovaného geometrického tvaru zaznamenané elektronickým optickým snímačem 31 při změně optické vzdálenosti b tohoto snímače 31 od konce vřetena 1 na optickou vzdálenost $b+e$ od konce vřetena 1 v ose y , resp. x ,
15 a a je rozdíl optických vzdáleností b a c , resp. $b+e$ a $c+e$.

V případě, že je z jakéhokoli důvodu nutné stanovit nebo stanovovat lineární úchylku p a/nebo q , a/nebo úhlové úchylky β a/nebo γ dráhy nebo plochy obrobku nebo části stroje vůči libovolnému bodu na ose rotace vřetena 1 ve vzdálenosti u od optické matrice elektronického optického snímače 31 umístěného v optické vzdálenosti b od konce vřetena 1, např. v případě, kdy kvůli konstrukci stroje nelze do tohoto místa umístit snímací zařízení 3, resp. optickou matici některého z jeho elektronických optických snímačů 31, 32, se pak tato úchylka/tyto úchylky stanoví, resp. stanovuje/stanovují výpočtem ze složek posunutí y_b/x_b , y_c/x_c míst dopadu laserového paprsku 2 nebo jeho složek 21, 22 nebo středů laserovým paprskem 2 nebo jeho složkami 21, 22 opisovaných geometrických útvarů na optické matici elektronického optického snímače/snímačů 31, 32 v příslušné ose – např. v případě horizontálního vřetena 1 znázorněného na obr. 1 ve svislé ose y a v příčné ose x , např.
20
25
30 následovně:

$$p = y_b - \frac{(b - u)(y_c - y_b)}{a}$$

resp.:

$$q = x_b - \frac{(b - u)(x_c - x_b)}{a}$$

29 kde: y_b , x_b je složka posunutí místa dopadu laserového paprsku 2 nebo jeho složky 21, 22 nebo středu laserovým paprskem 2 nebo jeho složkou 21, 22 opisovaného geometrického tvaru zaznamenané elektronickým optickým snímačem 31 při změně optické vzdálenosti b tohoto snímače 31 od konce vřetena 1 na optickou vzdálenost c+e od konce vřetena 1 v ose y, resp. x,

30 u je vzdálenost bodu, pro který se úchylka/úchylky počítají od optické matrice elektronického optického snímače 31 (u je kladné, když je optická vzdálenost bodu, pro který se úchylka/úchylky počítají od konce vřetena 1 větší než optická vzdálenost b a záporné v opačném případě),

35 y_c , x_c je složka posunutí místa dopadu laserového paprsku 2 nebo jeho složky 21, 22 nebo středu laserovým paprskem 2 nebo jeho složkou 21, 22 opisovaného geometrického tvaru zaznamenané elektronickým optickým snímačem 31 nebo 32 při změně optické vzdálenosti c tohoto snímače 31 nebo 32 od konce vřetena 1 na optickou vzdálenost c+e od konce vřetena 1 v ose y, resp. x,

a a je rozdíl optických vzdáleností b a c, resp. b+e a c+e.

Dle požadavků se přitom může stanovit, resp. stanovovat pouze lineární úchylka p a/nebo q, a/nebo úhlová úchylka β a/nebo γ ve směru jedné z os x, y.

20 V případě potřeby stanovení lineární úchylky p a/nebo q, a/nebo úhlové úchylky β a/nebo γ dráhy a/nebo plochy obrobku a/nebo části stroje od obecného bodu mimo osu rotace vřetena 1 představovanou laserovým paprskem 2, je pak nutné použít vhodné prostorové transformační rovnice.

26 Ve variantě, kdy se použije snímací zařízení 3 s jedním elektronickým optickým snímačem 31, který se pohybuje mezi polohami v optických vzdálenostech b, b+e, c, c+e od konce vřetena 1 je pak výhodné, pokud se jednotlivé optické vzdálenosti nastaví tak, že optická vzdálenost c je rovná

optické vzdálenosti $b+e$, takže elektronický optický snímač 31 se tak může pohybovat (sám nebo v kombinaci s pohybem celého snímacího zařízení 3) v podstatě mezi pouze třemi polohami v optických vzdálenostech b , $b+e=c$ a $c+e$ od konce vřetena 1.

18 Stejný postup a výpočet se pak použijí i v dalších variantách stanovení nebo stanovování lineární úchytky p nebo q a/nebo úhlové úchytky β nebo γ dráhy a/nebo plochy obrobku a/nebo části stroje od osy rotace jeho vřetena 1 podle vynálezu, bez ohledu na to, v jakém pořadí se zaznamenávají místa dopadu laserového paprsku 2 na optických maticích jednotlivých elektronických optických snímačů 31 nebo 32, resp. optické matici jednoho elektronického optického snímače 31.

15 V případě potřeby se mohou alespoň jednou zaznamenat také místa dopadu laserového paprsku 2 na optických maticích elektronických optických snímačů 31, 32 resp. optické matici jednoho elektronického optického snímače 31 ve dvou různých optických vzdálenostech, mezi optickými vzdálenostmi b a $b+e$, resp. c a $c+e$, což umožňuje získat určitou představu o průběhu lineární úchytky p a/nebo q , a/nebo úhlové úchytky β , a/nebo γ po dráze a/nebo ploše obrobku a/nebo části stroje. Tento průběh a/nebo hodnota lineární úchytky p a/nebo q v určité vzdálenosti u od konce vřetena 1 přitom může být z takto zaznamenaných posunutí míst dopadu laserového paprsku 2 nebo jeho složek 21, 22 nebo středů laserovým paprskem 2 nebo jeho složkami 21, 22 opisovaných geometrických tvarů, např. aproximován vhodným matematickým modelem.

25 Hodnoty lineární úchytky p a/nebo q a/nebo úhlové úchytky β a/nebo γ se přitom s výhodou stanovují v reálném nebo téměř reálném čase ve vyhodnocovací jednotce 7, případně se i ukládají do její nebo jí přiřazené paměti, nebo se na této vyhodnocovací jednotce 7 nebo na jí přiřazeném zobrazovacím zařízení zobrazují, např. číselně a/nebo graficky.

30 Pro zvýšení přesnosti stanovení a zejména pro eliminaci případného nepřesného uložení zdroje laserového paprsku 2 mimo osu rotace vřetena 1 je výhodné, pokud se vřeteno 1 během stanovení, resp. stanovování lineární úchytky p a/nebo q , a/nebo úhlové úchytky β a/nebo γ otáčí rychlostí, která nezpůsobuje rozmazávání obrazů zachycených elektronickým optickým

snímačem/snímači 31, 32 a nevyvolává nadměrné vibrace stroje. Dle typu použitých elektronických optických snímačů 31, 32 a typu stroje se tato rychlost může pohybovat v rozsahu jednotek až tisíců otáček za minutu.

V případě uložení zdroje laserového paprsku 2 s určitou malou nepřesností mimo osu vřetena 1 (obr. 3) je pak laserový paprsek 2 obecně mimoběžný s osou rotace vřetena 1 a při rotaci vřetena 1 opisuje povrch pláště jednodílného rotačního hyperboloidu H. Optické matrice jednotlivých elektronických optických snímačů 31, 32, resp. jednoho elektronického optického snímače 31 ve dvou různých optických vzdálenostech b a c, resp. b+e a c+e od konce vřetena 1, pak zaznamenávají, resp. zaznamenává řezy S1, S2, S3 a S4 hyperboloidu H, které mají v případě, kdy je plocha optické matrice těchto optických snímačů 31, 32, resp. elektronického snímače 31 kolmá na osu hyperboloidu H tvar kružnice, a při jiném úhlu mezi plochou optické matrice a osou hyperboloidu H (např. vlivem úchytky) přecházejí na elipsy. Středů těchto řezů S1 až S4 pak určují osu rotace zdroje laserového paprsku 2, a tím také skutečnou osu rotace konce vřetena 1 obráběcího stroje, která je s ní shodná, přičemž lineární úchytky p a/nebo q a/nebo úhlové úchytky β a/nebo γ se stanoví výše popsáním způsobem z posunutí středů těchto geometrických tvarů na optických maticích elektronických optických snímačů 31, 32 při změně optické vzdálenosti b na optickou vzdálenost b+e a optické vzdálenosti c na optickou vzdálenost c+e.

Chyba, která přitom vzniká v důsledku toho, že středů řezů S1 až S4 hyperboloidu H vytvářeného laserovým paprskem 2, nejsou geometricky totožné s průsečíkem osy hyperboloidu H je přitom naprosto zanedbatelná (za podmínek obvyklých u stávajících obráběcích strojů nepřesáhne 0,1 μm). V případě potřeby je však možné ji vhodným matematickým postupem odhadnout a použít ke korekci výpočtu.

Zanedbatelná je také chyba, které vzniká při sklonění nebo posunutí souřadného systému v důsledku sklonění měřicího zařízení 3 během jeho posunu, neboť její velikost je u obráběcích strojů minimálně o 3 řády menší než posun měřicího zařízení 3. Také tuto chybu je však možné v případě potřeby vhodným matematickým postupem odhadnout nebo vypočítat a použít ke korekci.

Jako elektronické optické snímače 31, 32 lze použít v podstatě libovolné známé plošné optické snímače, a v jednoduchém provedení snímacího zařízení 3 i lineární optické snímače – např. snímače CCD nebo CMOS, které mohou být v tomto případě s výhodou černobílé. Výhodné je přitom také použití kamer, které umožní řízené snímání většího počtu snímků, a tím zpřesnění výsledků stanovení, resp., stanovování lineární úchylky p a/nebo q a/nebo úhlové úchylky β a/nebo γ, neboť během otáčení vřetena 1 umožňují sejmutí celé řady obrazů dopadajícího laserového paprsku 2. K vyhodnocení je možno použít známé metody a programy z teorie zpracování obrazů, které jsou snadno dostupné.

Pro řešení specifických úloh či modelování specifických situací může být upínací kužel vřetena 1 uzpůsoben pro uchycení závaží nebo jiného přípravku k zatížení vřetena 1.

Způsob stanovení nebo stanovování lineární úchylky p a/nebo q a/nebo úhlové úchylky β a/nebo γ dráhy a/nebo plochy obrobku a/nebo části stroje od osy rotace vřetena 1 je podle vynálezu použitelný v podstatě u všech strojů či zařízení s horizontálním, vertikálním nebo šikmým rotačním vřetenem 1, pevným i výsuvným, přičemž se s výhodou použije zejména u obráběcích strojů, např. soustruhů a frézovacích a vyvrtávacích strojů.

Výše popsaná snímací zařízení 3 stanovení nebo stanovování lineární úchylky p a/nebo q a/nebo úhlové úchylky β a/nebo γ dráhy nebo plochy obrobku nebo části stroje od osy rotace vřetena 1, však mohou být, kromě výše popsaných způsobů, bez další úpravy použita také pro stanovení, resp. stanovování svěšení a/nebo průběhu svěšování horizontálního nebo šikmého vřetena 1 a/nebo stanovení úhlu sklonění a/nebo průběhu sklánění horizontálního nebo šikmého vřetena 1, zejména horizontálního nebo šikmého vřetena 1 obráběcího stroje (např. vyvrtávacích a frézovacích strojů). V takovém případě se do vřetena 1 upne zdroj laserového paprsku 2 a v alespoň dvou různých optických vzdálenostech b, c od konce vřetena 1 se nepohyblivým snímacím zařízením 3 podle vynálezu při alespoň dvou různých vysunutích vřetena 1 z vřeteníku postupně nebo současně zaznamenají, resp. zaznamenávají místa dopadu laserového paprsku 2 nebo jeho složek 21, 22, nebo laserovým paprskem 2 nebo jeho složkami 21, 22 opisované geometrické

tvary, přičemž svěšení vřetena 1 a/nebo úhel sklonění vřetena 1 se stanoví nebo průběžně stanovuje, resp. průběh svěšování vřetena 1 a/nebo průběh sklánění vřetena 1 se stanoví nebo průběžně stanovuje, ze svislých nebo dolů orientovaných složek posunutí míst dopadu laserového paprsku 2 nebo jeho složek 21, 22, nebo středů laserovým paprskem 2 nebo jeho složkami 21, 22 opisovaných geometrických tvarů v těchto optických vzdálenostech b, c od konce vřetena 1, rozdílu a těchto optických vzdáleností b, c, jedné z těchto optických vzdáleností b nebo c od konce vřetena 1, a rozdílu vysunutí vřetena 1 z vřeteníku.

PATENTOVÉ NÁROKY

- 5 1. Způsob stanovení lineární úchylky (p) a/nebo (q) a/nebo úhlové úchylky (β) a/nebo (γ) dráhy nebo plochy obrobku nebo části stroje od osy rotace vřetena (1), **vyznačující se tím, že** do vřetena (1) se upne zdroj laserového paprsku (2) a alespoň ve dvou optických vzdálenostech (b), (c) od konce vřetena (1) se na dráze nebo ploše obrobku nebo části stroje postupně nebo současně zaznamenají, resp. zaznamenávají místa dopadu laserového paprsku (2) nebo jeho složek (21), (22), nebo laserovým paprskem (2) nebo 10 jeho složkami (21), (22) opisované geometrické tvary, načež se tyto optické vzdálenosti (b), (c) posunem snímacího zařízení (3) a/nebo jeho elektronického optického snímače/snímačů (31), (32) vůči konci vřetena (1) změni o stejnou hodnotu (e), a v takto změřených optických vzdálenostech ($b+e$), ($c+e$) se postupně nebo současně zaznamenají, resp. zaznamenávají místa dopadu 15 laserového paprsku (2) nebo jeho složek (21), (22), nebo laserovým paprskem (2) nebo jeho složkami (21), (22) opisované geometrické tvary, přičemž lineární úchylka (p_b), resp. (q_b) dráhy a/nebo plochy obrobku a/nebo části stroje od osy rotace vřetena (1) v optické vzdálenosti ($b+e$) od konce vřetena je přímo dána posunem (y_b), resp. (x_b) místa (C1) dopadu laserového paprsku (2) nebo jeho 20 složek (21), (22) nebo středu laserovým paprskem (2) nebo jeho složkami (21), (22) opisovaného geometrického tvaru, ke kterému dojde při změně optické vzdálenosti (b) na optickou vzdálenost ($b+e$), a lineární úchylka (p_c), resp. (q_c) dráhy a/nebo plochy obrobku a/nebo části stroje od osy rotace vřetena (1) v optické vzdálenosti ($c+e$) od konce vřetena (1) je přímo dána posunem (y_c), resp. (x_c) místa (C2) dopadu laserového paprsku (2) nebo jeho složek (21), (22) nebo středu laserovým paprskem (2) nebo jeho složkami (21), (22) 25 opisovaného geometrického tvaru, ke kterému dojde při změně optické vzdálenosti (b) na optickou vzdálenost ($b+e$), přičemž úhlová úchylka (β) a/nebo (γ) v optické vzdálenosti ($b+e$) a/nebo ($c+e$) se z takto zjištěných 30 lineárních úchylek (p), (q) vypočte nebo průběžně vypočítává.

2. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím, že** úhlová úchylka (β) a/nebo (γ) se z lineárních úchylek (p), (q) vypočte nebo průběžně vypočítává následovně:

$$\beta = \arctg \left(\frac{y_c - y_b}{a} \right),$$

resp.

~~18~~

$$\gamma = \arctg \left(\frac{x_c - x_b}{a} \right),$$

~~19~~ kde: (y_c), (x_c) je složka posunutí místa dopadu laserového paprsku (2) nebo jeho složky (21), (22) nebo středu laserovým paprskem (2) nebo jeho složkou (21), (22) opisovaného geometrického tvaru zaznamenané elektronickým optickým snímačem (31) nebo (32) při změně optické vzdálenosti (c) tohoto snímače (31) nebo (32) od konce vřetena (1) na optickou vzdálenost ($c+e$) od konce vřetena (1) v ose (y), resp. (x),

~~20~~ (y_b), (x_b) je složka posunutí místa dopadu laserového paprsku (2) nebo jeho složky (21), (22) nebo středu laserovým paprskem (2) nebo jeho složkou (21), (22) opisovaného geometrického tvaru zaznamenané elektronickým optickým snímačem (31) při změně optické vzdálenosti (b) tohoto snímače (31) od konce vřetena (1) na optickou vzdálenost ($b+e$) od konce vřetena (1) v ose (y), resp. (x),

a (a) je rozdíl optických vzdáleností (b) a (c), resp. ($b+e$) a ($c+e$).

~~21~~ 3. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím, že** lineární úchylka (p) a/nebo (q) dráhy a/nebo plochy obrobku a/nebo části stroje v bodě na rotační ose vřetena (1) ve vzdálenosti (u) od optické matrice elektronického optického snímače (31) uspořádaného v optické vzdálenosti (b) od konce vřetena (1) se stanoví nebo průběžně stanovuje jako:

$$p = y_b - \frac{(b-u)(y_c - y_b)}{a},$$

~~22~~ resp.

$$q = x_b - \frac{(b-u)(x_c - x_b)}{a},$$

kde: (y_b) , (x_b) je složka posunutí místa dopadu laserového paprsku (2) nebo jeho složky (21), (22) nebo středu laserovým paprskem (2) nebo jeho složkou (21), (22) opisovaného geometrického tvaru při změně optické vzdálenosti (b) tohoto snímače (31) od konce vřetena (1) na optickou vzdálenost $(b+e)$ v příslušné ose (y), (x),

(b) je optická vzdálenost optické matrice elektronického optického snímače (31) od konce vřetena (1),

(u) je vzdálenost bodu, pro který se lineární úchylka (p) a/nebo (q), stanovuje od optické matrice elektronického optického snímače (31) v optické vzdálenosti (b) od konce vřetena (1),

(y_c) , (x_c) je složka posunutí místa dopadu laserového paprsku (2) nebo jeho složky (21), (22) nebo středu laserovým paprskem (2) nebo jeho složkou (21), (22) opisovaného geometrického tvaru při změně optické vzdálenosti (c) tohoto snímače (31) nebo (32) od konce vřetena (1) na optickou vzdálenost $(b+e)$ v příslušné ose (y), (x),

a (a) je rozdíl optických vzdáleností (b) a (c), resp. $(b+e)$ a $(c+e)$.

4. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím, že** místa dopadu laserového paprsku (2) nebo laserovým paprskem (2) opisované geometrické tvary se zaznamenají, resp. zaznamenávají na optické matrici jednoho elektronického optického snímače (31) uspořádaného proti konci vřetena (1), který se pohybuje mezi polohami v optických vzdálenostech (b), $(b+e)$, (c), $(c+e)$ od konce vřetena (1).

5. Způsob podle nároku 4, **vyznačující se tím, že** optická vzdálenost (c) je rovná optické vzdálenosti $(b+e)$, přičemž elektronický optický snímač (31) se pohybuje mezi polohami v optických vzdálenostech (b), $(b+e=c)$ a $(c+e)$ od konce vřetena (1).

6. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím, že** místa dopadu laserového paprsku (2) nebo laserovým paprskem (2) opisované geometrické tvary se zaznamenají, resp. zaznamenávají postupně na optických maticích dvou elektronických optických snímačů (31), (32) uspořádaných za sebou proti

5/ konci vřetena (1) v optických vzdálenostech (b) a (c), resp. (b+e) a (c+e) od konce vřetena (1), přičemž elektronický optický snímač (31) uspořádaný v menší optické vzdálenosti (b), resp. (b+e) od konce vřetena (1) se pro zaznamenání místa dopadu laserového paprsku (2) nebo laserovým paprskem (2) opisovaného geometrického tvaru na optické matici optického snímače (32) uspořádaného ve větší optické vzdálenosti (c), resp. (c+e) od konce vřetena (1) přesune alespoň dočasně mimo dráhu laserového paprsku (2).

10/ 7. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím, že** místa dopadu složek (21), (22) laserového paprsku (2) nebo složkami (21), (22) laserového paprsku opisované geometrické tvary se zaznamenají, resp. zaznamenávají na optických maticích dvou elektronických optických snímačů (31), (32), přičemž každá ze složek (21), (22) laserového paprsku (2) dopadá nebo opisuje geometrický tvar na optické matici elektronického optického snímače (31), (32) umístěného v jiné optické vzdálenosti (b), resp. (b+e) a (c), resp. (c+e) od konce vřetena (1).

8. Způsob podle nároku 7, **vyznačující se tím, že** alespoň jedna složka (21), (22) laserového paprsku (2) se před dopadem na optickou matici elektronického optického snímače (31), (32) alespoň jednou odrazí pomocným zrcadlem (5).

20/ 9. Způsob podle libovolného z nároků 1 až 8, **vyznačující se tím, že** vřeteno (1) se spolu se zdrojem laserového paprsku (2) při zaznamenávání míst dopadu laserového paprsku (2) nebo jeho složek (21), (22), nebo laserovým paprskem (2) nebo jeho složkami (21), (22) opisovaných geometrických tvarů otáčí.

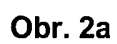
25/ 10. Snímací zařízení (3) pro stanovení lineární úchylky (p) a/nebo (q) a/nebo úhlové úchylky (β) a/nebo (γ) dráhy a/nebo plochy obrobku a/nebo části stroje, zejména obráběcího stroje, od bodu na ose rotace vřetena (1), **vyznačující se tím, že** obsahuje dráhu laserového paprsku a elektronický optický snímač (31), který je svou optickou maticí přestavitelný v dráze

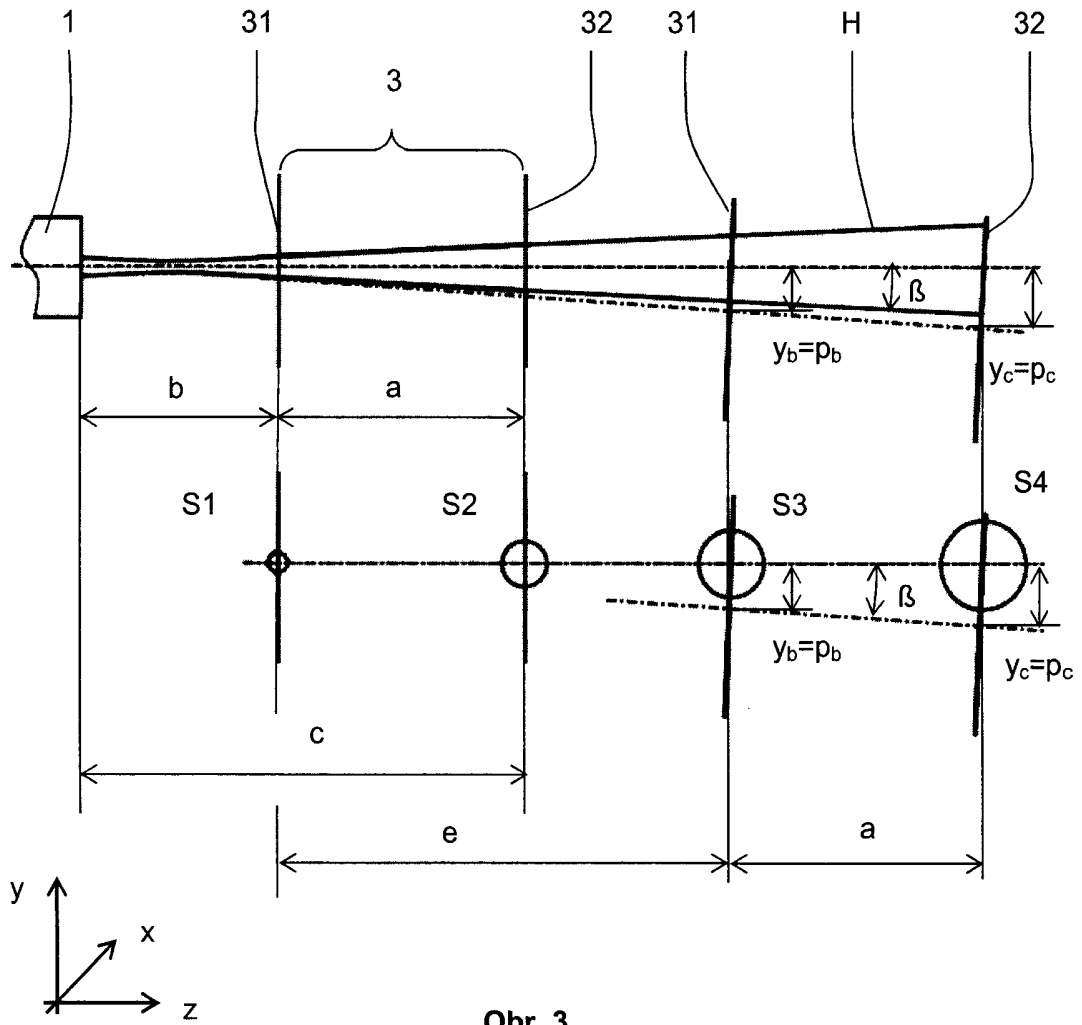
laserového paprsku (2) mezi alespoň dvěma polohami v optických vzdálenostech (b) a (c) od konce vřetena (1).

5 11. Snímací zařízení (3) pro stanovení lineární úchylky (p) a/nebo (q) a/nebo úhlové úchylky (β) a/nebo (γ) dráhy a/nebo plochy obrobku a/nebo části stroje, zejména obráběcího stroje, od bodu na ose rotace vřetena (1), **vyznačující se tím, že** obsahuje dráhu laserového paprsku (2) a alespoň dva elektronické optické snímače (31), (32), jejichž optické matrice jsou uspořádány za sebou v dráze laserového paprsku (2), přičemž elektronický optický snímač (31) uspořádaný v menší optické vzdálenosti (b), (c) od konce vřetena (1) je uložen s možností přesunutí své optické matrice mimo tuto dráhu.

10 12. Snímací zařízení (3) pro stanovení lineární úchylky (p) a/nebo (q) a/nebo úhlové úchylky (β) a/nebo (γ) dráhy a/nebo plochy obrobku a/nebo části stroje, zejména obráběcího stroje, od bodu na ose rotace vřetena (1), **vyznačující se tím, že** obsahuje dráhu laserového paprsku (2), dva elektronické optické snímače (31), (32) a dělič (4) paprsku, přičemž dělič (4) paprsku je uspořádaný v dráze laserového paprsku (2) a každý z elektronických optických snímačů (31), (32) je svou optickou maticí uspořádaný za děličem (4) paprsku v dráze jedné složky (21), (22) laserového paprsku (2) v jiné optické vzdálenosti (b), (c) od konce vřetena (1).

20 13. Snímací zařízení podle nároku 12, **vyznačující se tím, že** v dráze alespoň jedné složky (21), (22) laserového paprsku (2) je za děličem (4) paprsku uspořádáno alespoň jedno pomocné zrcadlo (5).





Obr. 3