

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

305 180

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

G01B 11/24 (2006.01)
G01B 11/00 (2006.01)
G02B 6/36 (2006.01)
G03H 1/04 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2013-762**
 (22) Přihlášeno: **30.09.2013**
 (40) Zveřejněno: **03.06.2015**
(Věstník č. 22/2015)
 (47) Uděleno: **22.04.2015**
 (24) Oznámení o udělení ve věstníku: **03.06.2015**
(Věstník č. 22/2015)

(56) Relevantní dokumenty:

JP 2012122893 A; JP H0782514B B2; US 7347629 B2.

- (73) Majitel patentu:
Vysoká škola báňská - Technická univerzita
Ostrava, Ostrava Poruba, CZ
- (72) Původce:
Ing. David Fojtík, Ph.D., Markvartovice, CZ
Ing. Petr Čerňava, Havířov - Prostřední Suchá, CZ
- (74) Zástupce:
INPARTNERS GROUP, Ing. Ivan Lukšíček,
Lidická 51, 602 00 Brno

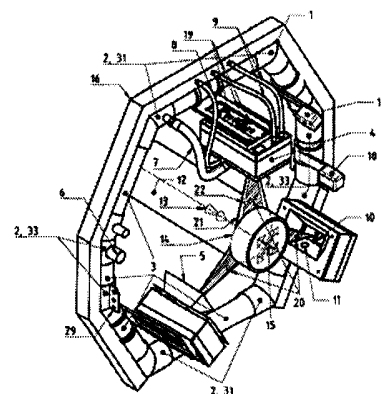
alespoň jedním skenerem a rozvodem elektrické kabeláže má tvar mnohoúhelníku, jehož vrcholy jsou tvořeny alespoň jedním spojovacím kolenem (2) a alespoň dvěma kotvicemi kolena (28). Spojovací kolena (2) a kotvicí kolena (28) jsou propojena spojovacími rameny. Na spojovacích ramenech jsou objímkami (30) přichycena ochranná pouzdra (4) s uloženými skenery. V modulárním rámu jsou uspořádány rozvody alespoň jednoho chladicího média.

(54) Název vynálezu:

Způsob bezkontaktního měření vnějších rozměrů průřezů tyčového hutního materiálu a modulární rám k provádění tohoto způsobu

(57) Anotace:

Způsob průběžného bezkontaktního měření vnějších rozměrů průřezů tyčového hutního materiálu spočívá v tom, že nejméně tři stejnosměrně rotující nebo oscilující laserové paprsky společně kalibrovaných a synchronizovaných skenerů souměrně obklopujících tyčový materiál tak, aby střední polohy paprsků směřovaly na osu tyčového materiálu, opakovaně měří vzdálenosti mezi počátkem souřadnicových systémů skenerů a povrchem snímaného tyčového materiálu. Skupina současně odměřených vzdáleností se poté přepočte na souřadnice bodů společného souřadnicového systému. Ze skupiny bodů společného souřadnicového systému se vypočtou průměry a těžiště řezu tyčového materiálu ve skenovací rovině. Na základě aproximace změn těžišť tyčového materiálu podle času je určena alespoň jedna funkce příčného pohybu tyčového materiálu během snímání profilu a prostřednictvím funkce/í příčných pohybů tyčového materiálu během jednoho cyklu vychylování paprsků jsou přepočítány souřadnice naměřených bodů odpovídajícího profilu pro eliminaci příčného pohybu a vyosení tyčového materiálu během jedné skenovací sekvence pro získání reálného profilu tyčového materiálu. Modulární rám osazený



Způsob bezkontaktního měření vnějších rozměrů průřezů tyčového hutního materiálu a modulární rám k provádění tohoto způsobu

5 Oblast techniky

Vynález se týká způsobu bezkontaktního měření vnějších rozměrů průřezů tyčového hutního materiálu, typicky ještě během výroby, a modulárního rámu k provádění tohoto způsobu.

10

Dosavadní stav techniky

Kvalita výroby tyčového hutního materiálu, zejména trubek, je posuzována na základě mnoha výrobních parametrů, mezi které patří vnější průřez (průměr) a ovalita, jež specifikuje také evropská norma EN 13 508. Tyto parametry jsou zásadní především u výroby bezešvých ocelových trub tvářením za tepla válcováním. Zde se díky výrobní technologii sleduje průměr a ovalita kontinuálně po celé délce trub a navíc se vyhledávají možné povrchové vady, které taktéž mohou indikovat poruchy válcovací stolice. Měření trubek je nutné provádět co nejdříve, ideálně bezprostředně za válcovací stolicí během jejich výroby tak, aby bylo možné včas odstranit poruchy a tím minimalizovat energetické a materiálové ztráty. To také vyžaduje provádět měření na teplých trubkách s teplotou určenou pro jejich tvářením (okolo 1 000 °C). Pro správnou indikaci příčiny poruchy obsluha, případně kontrolori, potřebují podrobný záznam trubky a nástroj, který jim umožní detailní analýzu zjištěné deformace. Často se také vyžaduje tyto záznamy uchovávat (minimálně po dobu záruky) pro analýzy kvality výroby v delším časovém horizontu nebo jako pod-
půrný prostředek při reklamaci.

K měření průměrů válcovaných trubek se používají kontaktní nebo bezkontaktní metody.

První skupinu tvoří metody založené na přiložení nebo sevření trubky kontaktními stavitelnými prvky mechanických měřidel, z nichž se přímo nebo přepočtem vyhodnotí průměr. Měření provádí obvykle pověřená osoba ručně. Výhodou je jednoduchost a nízká cena. Nevýhodou měření je velmi nízká rychlost a velice nízký počet provedených měření, což vylučuje kontinuální vyhodnocení ovality nebo vytvoření záznamu pro detailní analýzy. Taktéž je velice komplikované nebo zcela vyloučené měření teplých trub, z čehož plyne značné opoždění měření vůči výrobě. Obecně se tyto metody považují za zastaralé a nevyhovující.

Druhou skupinu tvoří metody bezkontaktního měření obvykle založené na optických metodách, které umožňují zcela automaticky provádět měření s vysokou rychlostí včetně pořízení záznamu.

Stínová metoda měření je založena na principu vyhodnocení stínu vrhaného osvětleným objektem (trubkou). U této metody jsou proti sobě umístěny Vysílač (transmitter) s paralelním světelným svazkem s rovinou vlnoplohou a Přijímač (receiver) vyhodnocující dopadající paprsky z vysílače. Mezi nimi je vložena měřená trubka tak, aby její osa byla kolmá k rovinné vlnoploše. Trubka zastíní část vysílacích paprsků na přijímači, který vyhodnocuje délku stínu představující měřený průměr trubky. Předností metody je vysoká přesnost, která v laboratorních podmínkách dosahuje až jednotky mikrometrů (u výroby tvářením je tato přesnost zcela bezpředmětná). Nevýhodou je změření pouze jednoho průměru v průsečíku roviny procházející osou trubky protínající kolmo rovinu světelného svazku vysílače. Tento nedostatek je eliminován tak, že se současně nasadí více měřicích jednotek, které obklopují trubku v rovině kolmé na její osu a tvoří tak prsteneček, kterým trubka prochází. V praxi se tak používá až šestice jednotek rozprostřených po 30 stupních, což umožňuje najednou změřit šest průměrů. Nepokrytá část se pak proměřuje otáčením nebo oscilací prstence. Nevýhodou takového řešení je prostorová náročnost, neschopnost odhalit hluboké podélné vrypy a také poměrně vysoká pořizovací cena a provozní náklady. Snížením počtu měřicích jednotek, případně vynecháním oscilace se cena snižuje na úkor menšího pokrytí

povrchu trubky a tím i možného snížení přesnosti výpočtu ovality nebo nedetekování povrchových vad. Metoda nedokáže odhalit ani velmi hluboké vrypy podél osy trub.

Metoda měření průměrů pomocí triangulačních laserových dálkoměrů spočívá v tom, že několik dvojic laserových triangulačních dálkoměrů je rovnoměrně rozmístěno po obvodu prstence obepínajícího měřenou trubku tak, že paprsek každého dálkoměru míří na osu trubky a společně tyto paprsky jsou v rovině kolmé na osu trubky. Při průchodu trub prstencem každý z dálkoměrů odměří vzdálenost od povrchu trubky a z dvojic proti sobě namířených a synchronizovaných dálkoměrů se vyhodnotí průměr. Počet najednou odměřených průměrů je závislý na počtu dvojic dálkoměrů. V praxi se používá až 36 dálkoměrů (LIMAB – TubeProfile), které jsou rozmístěny po deseti stupních. Nepokrytá část se pak proměřuje otáčením nebo oscilací prstence. Nevýhodou tohoto řešení je potřeba velmi stabilního vedení trubky tak, aby její osa byla neustále mezi dvojicemi laserových dálkoměrů. V případě vertikálního pohybu trubky se problém řeší tak, že celý prstenec s dálkoměry je dynamicky vychylován v měřicí rovině tak, aby se kopíroval vertikální pohyb trubky. Oproti navrhovanému řešení tato metoda nabízí výrazně nižší počet odměřených povrchových bodů spolu s vysokou pořizovací cenou a náklady na údržbu.

Další metodou je metoda měření pomocí triangulačních laserových skenerů vyhodnocováním naskenovaných ploch. U této metody jsou okolo trubky obvykle v prstenci rozmístěny laserové triangulační skenery, které difrakcí laserového paprsku promítají čáru na povrch trubky v rovině kolmé na její osu. Skenery jsou rozmístěny ve dvojicích tak, že promítané segmenty čar tvoří plně obepínající linku na měřené trubce. Dvojice skenerů jsou orientovány proti sobě a jsou synchronizovány. Současně každý skener snímá promítnutý obraz na trubce a z obrazu pak vyhodnocuje nasnímanou část povrchu trubky. Dvojice zaznamenaných obloučků se spojí do jednoho obrazu, ze kterého se vyhodnotí průměr. Každý skener tak nasnímá část trubky, kterou příslušný software spojí s ostatními do jednoho uceleného obrazu představujícího profil trubky v daném snímaném řezu. Z tohoto obrazu se vyhodnocují průměry a zjišťují deformace. Nevýhoda této metody je v principu snímání obrazu promítnuté čáry, kdy se obraz vyhodnocuje najednou, přičemž najednou získaný obraz má jinou kvalitu ve středu snímaného obrazu nežli na krajích. Důvodem je tvar trubky, kde se směrem od středu mění úhel dopadu laserového světla a tím i intenzita odraženého obrazu. Obraz má jiné vlastnosti uprostřed snímané čáry než na okrajích, což komplikuje vyhodnocování. Díky tomu je úhel pokrytí skeneru poměrně malý, což pro snímání celého obvodu trubky vede k potřebě většího počtu skenerů a tedy k vyšší ceně řešení. Určitým řešením je nahrazení skeneru promítajícího čáru skenerem, který skenuje bod po bodu odražený rozmítaný paprsek. Zde však nastává problém v případě vertikálního chvění trub, kdy do nasnímaného oblouku se promítá také pohyb trub. Princip řešení tak není možné uplatnit na trubky, kde je významný vertikální pohyb trub.

Pro uskutečnění výše uvedených bezkontaktních metod měření se používají mohutné nepřizpůsobivé rámy osazené světelnými zdroji, lasery nebo skenery, které jsou náročné na prostor. Rámy jsou v řadě případů instalovány na stávající pracovní linky a jejich instalace vyžaduje značné úsilí a dodatečné náklady k vlastním pořizovacím nákladům, neboť se neobejde bez odstávky pracovní linky. Většina měřicích metod vyžaduje k dokonalému měření, aby se rámy mohly otáčet kolem své osy, což dále zvyšuje složitost konstrukce rámu a jeho instalace a přináší s sebou vyšší náchylnost rámu k poruchám.

Podstata vynálezu

Úkolem vynálezu je proto navrhnout způsob bezkontaktního měření vnějších rozměrů průřezů tyčového hutního materiálu, který by odstranil výše uvedené nevýhody a umožnil spolehlivé měření požadovaných parametrů i v případě, kdy při měření materiálu dochází k jeho vertikálnímu chvění nebo pohybu. Dále je cílem vynálezu vytvořit zařízení, které by umožnilo provádění tohoto způsobu a bylo zároveň flexibilní a jednoduché na instalaci.

Způsob průběžného bezkontaktního měření vnějších rozměrů průřezů tyčového hutního materiálu spočívá v následujících krocích:

- nejméně tři stejnosměrně rotující nebo oscilující laserové paprsky společně kalibrovaných a synchronizovaných skenerů souměrně obklopujících tyčový materiál tak, aby střední polohy paprsků směřovaly na osu tyčového materiálu, opakovaně měří vzdálenosti mezi počátkem souřadnicových systémů skenerů a povrchem snímaného tyčového materiálu;
- skupina současně odměřených vzdáleností se přepočte na souřadnice bodů společného souřadnicového systému;
- ze skupiny bodů společného souřadnicového systému se vypočtou průměry a těžiště (střed) řezu tyčového materiálu ve skenovací rovině;
- na základě aproximace změn těžišť tyčového materiálu podle času je určena alespoň jedna funkce příčného pohybu tyčového materiálu během snímání profilu;
- prostřednictvím funkce/í příčných pohybů tyčového materiálu během jednoho cyklu vychylování paprsků jsou přepočítány souřadnice naměřených bodů odpovídajícího profilu pro eliminaci příčného pohybu a vyosení tyčového materiálu během jedné skenovací sekvence pro získání reálného profilu tyčového materiálu.

Na základě známé nebo změřené rychlosti posuvu tyčového materiálu může být s výhodou určena poloha naskenovaných profilů a také celková délka tyčového materiálu.

Pro eliminaci vlivu tepelné roztažnosti tyčového materiálu se s výhodou pro každý segment současně s měřením vzdálenosti mezi počátkem souřadnicových systémů skenerů a povrchem snímaného tyčového materiálu měří povrchová teplota tyčového materiálu, která je využita pro přepočet rozměrů tyčového materiálu z teplého na studený stav.

Vzdálenosti mezi počátkem souřadnicových systémů skenerů a povrchem snímaného tyčového materiálu se měří typicky triangulační metodou nebo vyhodnocením fázového posunu odraženého modulovaného signálu laserového paprsku.

Detailně je způsob popsán níže:

Podstatou vynálezu je způsob průběžného bezkontaktního měření vnějších rozměrů průměrů, ovality a nasnímání 3D modelu tyčového materiálu. Tento způsob, který je možné aplikovat přímo během výroby nebo i při dodatečné kontrole, je vhodný pro různé tyčové materiály, ale nejlepších výsledků dosahuje při měření tyčových materiálů oválného průřezu a dalšího hutního materiálu s osově souměrným profilem (typicky trubek nebo kulatiny), kdy je možné s vysokou přesností měřit jejich ovalitu. Tyčový materiál (v dalším textu pro jednoduchost také jen trubky nebo kulatiny) prochází ve směru své osy kolmo na skenovací rovinu, kterou tvoří nejméně tři stejnosměrně rotující nebo oscilující laserové paprsky společně kalibrovaných a synchronizovaných skenerů souměrně obklopujících měřený tyčový materiál tak, aby střední polohy paprsků směřovaly na jeho osu. Skenery jsou rovnoměrně rozprostřeny okolo obvodu tyčového materiálu tak, že jejich skenovací roviny společně tvoří rovinu kolmou na jeho osu a každý ze skenerů je natočen tak, aby snímal stanovenou část výseče profilu tyčového materiálu. Dohromady skenovací výseče snímají celkový nebo částečný profil tyčového materiálu. Skenery nemusejí být ve dvojicích mířeny proti sobě. Skenery, které jsou typicky uspořádány na pevném rámu obklopujícím měřený tyčový materiál a tvořeny rozmítaným laserem a senzorem, opakovaně snímají profily procházejícího tyčového materiálu ve skenovací rovině tím, že se v rámci jednoho vychylovacího cyklu paprsků synchronně provedou periodicky opakovaná měření vzdálenosti mezi počátkem souřadnicových systémů skenerů a povrchem snímaného tyčového materiálu triangulační metodou nebo vyhodnocením fázového posunu odraženého modulovaného signálu laserového paprsku.

Každé odměření vzdálenosti se provádí na všech skenerech synchronně, čímž se pro každou periodu získá skupina současně odměřených vzdáleností, které se přepočtou na souřadnice bodů spo-

lečného souřadnicového systému. Po aplikaci filtru se ze skupiny naměřených bodů vypočtou průměry a těžiště (středu) řezu tyčového materiálu ve skenovací rovině. Během jednoho vychylovacího cyklu laserových paprsků se takto získá ucelená sada skupin bodů, která reprezentuje celkový nasnímaný profil obvykle ještě zatížený příčným pohybem tyčového materiálu. Funkce příčného pohybu tyčového materiálu během snímání jednoho profilu se určuje samostatně na základě aproximace změn těžišť tyčového materiálu podle času.

Volitelně se pro stejný časový úsek vyhodnocuje pohyb podélně posunutého těžiště profilu v další jedné nebo více měřicích rovinách rovnoběžných s rovinou skenování posunutých o známou vzdálenost. Vyhodnocení těžiště v těchto rovinách se provádí synchronně s měřením ve skenovací rovině minimálně třemi skenery stejnou metodou jako ve skenovací rovině, nebo se nahrazují minimálně třemi společně kalibrovanými laserovými dálkoměry rozmístěnými po obvodu tyčového materiálu v měřicí rovině tak, aby jejich paprsky směřovaly do středu tyčového materiálu, a odměřovaly vzdálenosti mezi počátkem laserového dálkoměru a povrchem tyčového materiálu. Opět se získají skupiny nejméně trojic bodů profilu tyčového materiálu v měřicí rovině, ze kterých se vyhodnotí funkce změny těžiště na čase stejnou technikou jako ve skenovací rovině. Funkce změny posunutého těžiště na čase se může nahradit pevně definovaným bodem nacházejícím se na průsečíku osy tyčového materiálu s nejbližší položenou rovinou, ve které nedochází k příčnému pohybu díky pevnému vedení tyčového materiálu.

Prostřednictvím funkcí příčných pohybů měřeného tyčového materiálu během jednoho cyklu vychylování paprsků jsou přepočítány souřadnice naměřených bodů odpovídajícího profilu tak, aby se eliminoval příčný pohyb a vyosení tyčového materiálu během jedné skenovací sekvence, čímž se získá reálný profil tyčového materiálu ve skenovací rovině, která je ideálně kolmá na jeho osu.

Na základě známé nebo změřené rychlosti posuvu tyčového materiálu, (Dopplerovým laserem, nebo optickým pohybovým snímačem, nebo kamerovým systémem) se určuje poloha naskenovaných profilů a také celková délka tyčového materiálu. Současně se pro každý segment měří povrchová teplota tyčového materiálu, která pak vstupuje jako informace pro přepočet rozměrů tyčového materiálu z teplého na studený stav.

Ze všech naskenovaných profilů a znalostí jejich poloh se vytváří 3D model měřeného tyčového materiálu a grafy změny průměru, případně ovality a dalších vypočtených hodnot. Zaznamenané body mohou být archivovány do datového úložiště (databázového nebo souborového systému), odkud jsou pak speciální aplikací rekonstruovány a vizualizovány včetně 3D modelu tyčového materiálu, průběhu změn sledovaných hodnot, detailního pohledu na jednotlivé nasnímané profily, vyznačené průměry a zjištěné vady.

Hlavní výhodou tohoto vynálezu je schopnost detailního proměření vnějších rozměrů průřezů, případně ovality, tyčového materiálu podél jeho délky a podrobného nasnímaní celého povrchu umožňující odhalit různé povrchové defekty, a to přímo na výrobní lince, při dopravě či válcování tyčového materiálu za vysokých teplot (do 2400 °C), a chvění tyčového materiálu.

Velmi významnou předností je schopnost bezpečně měřit tyčový materiál, který během svého pohybu kmitá v příčných směrech za předpokladu, že frekvence kmitů není větší než je polovina frekvence rozmitání laserového paprsku skenerů a výchylka nepřekračuje snímané pole skenerů. Současně metoda dokáže eliminovat vyosení tyčového materiálu, kdy není skenovací rovina ideálně kolmá na osu tyčového materiálu.

V neposlední řadě výhodou řešení je schopnost naskenovat podrobný 3D model povrchu tyčového materiálu, který se archivuje a kdykoliv zpětně rekonstruuje v analytické aplikaci, kde je možné provádět detailní analýzy tvarové přesnosti povrchu tyčového materiálu.

Neméně významnou charakteristikou řešení je konstrukce modulárního rámu, kterým se zajišťuje požadovaná poloha jednotlivých skenerů při měření požadovaných parametrů.

Podstata modulárního rámu osazeného alespoň jedním skenerem a rozvodem elektrické kabeláže podle vynálezu spočívá v tom, že má tvar mnohoúhelníku, jeho vrcholy jsou tvořeny alespoň jedním spojovacím kolenem a alespoň dvěma kotvicími koleny, přičemž tato spojovací kolena a kotvicí kolena jsou propojena spojovacími rameny, kdy na spojovacích ramenech jsou objímkami přichycena ochranná pouzdra s uloženými skenery, a v modulárním rámu jsou uspořádány rozvody alespoň jednoho chladicího média. Kotvicí kolena mají kromě spojovací funkce také specifickou funkci zajišťující pevné ukotvení modulárního rámu. S výhodou se tato kotvicí kolena v modulárním rámu umísťují vždy tak, aby jejich delší strany (ramena) byly orientovány svisle. Na delších stranách kotvicích kolien jsou pro ukotvení modulárního rámu navařeny kotvicí konzoly. Rám vytvářející uzavřený prstenec ve tvaru mnohoúhelníku (nejčastěji nepravidelný osmiúhelník) může být jednoduché nebo dvojité konstrukce. Volbou spojovacích a kotvicích kolien (jejich úhlů) a délek spojovacích ramen, které jsou propojeny rozebíratelným, nejčastěji svěrným (případně vzpěrným) spojem, nebo nerozebíratelným spojem (svařovaným, lepeným nebo pájeným), je možné sestavit modulární rám, který umožňuje libovolné symetrické anebo asymetrické rozmístění skenerů. Změnou délek spojovacích ramen a typů přechodových dílů (spojovacích kolien) se mění velikost a tvar rámu, čímž se přizpůsobuje libovolnému prostředí výrobní linky. Díky výše uvedenému a možnosti volit dle potřeby příslušný počet skenerů je možné snímat libovolné segmenty měřené trubky. Nejčastěji používané jsou u typizovaných spojovacích kolien úhly 120° , 135° , 150° a 144° . Měřená trubka pak prochází modulárním rámem ve směru její osy kolmo na skenovací rovinu, kterou tvoří rozmítané paprsky nejméně tři skenerů.

Uvnitř modulárního rámu s výhodou koluje alespoň jedno chladicí médium, které udržuje rám v přijatelných rozmezích teplot. Přívod chladicího média do modulárního rámu je zajištěn prostřednictvím vstupu chladicího média, který je s výhodou uspořádán na kotvicím kolenu. Chladicím médiem může být vzduch a/nebo chladicí kapalina. V prostředí s vysokými teplotami okolí se navíc výhodně modulární rám, který je vyroben z pevnostní oceli s nízkou tepelnou roztažností, ochraňuje teplotně izolačním materiálem, takže spolu s chlazením je modulární rám udržován v přípustném rozmezí teplot, při kterých lze tepelnou roztažnost modulárního rámu ignorovat. Výstupy chladicího média rozvádějící chladicí médium do ochranných pouzder skenů jsou s výhodou uspořádány na spojovacích kolenech. Chlazení skeneru v pouzdru zajišťuje s výhodou kapalinový chladič napojený na rozvod média kapalinového chlazení a/nebo proudy vzduchů. Proudů vzduchu navíc zabírají znečištění optické části skeneru. Rozvody, tj. rozvody vzduchu, rozvod kapalinového média a/nebo rozvody elektrické kabeláže jsou s výhodou vedeny na vnějším okraji modulárního rámu, nebo ještě lépe uvnitř modulárního rámu. Ještě výhodněji jsou chráněny robustní ochrannou lištou, která je přichycena rozebíratelným způsobem k modulárnímu rámu.

Ochranné pouzdro chrání každý skener před mechanickým poškozením, zašpiněním optické části skeneru a vnějším teplem. Ochranná pouzdra jsou k robustnímu jednoduchému nebo dvojitému rámu modulární konstrukce přichycena robustními objímkami s držáky, čímž se zajišťuje polohovitost a natáčení podél a okolo stran rámu. Objímka umožňuje snadno skenery uchytit kdekoliv na obvodu rámu, tím je možné kdykoliv systém upravit pro systém s různým počtem skenerů. Mezi objímkou a pouzdrem se podle potřeb vkládá stavitelný díl, který umožňuje ochranné pouzdro se skenerem natáčet v rovině skenování okolo středu skenovací výseče skeneru a polohovat vůči ose tyčovitěho materiálu. Ochranné pouzdro s výhodou dále obsahuje jemné seřizovací prvky, kterými je možné velice precizně v omezeném rozsahu natáčet a polohovat skenery ve všech třech osách. Takto je pak zajištěna požadovaná poloha skenerů vůči měřené trubce. Skener je v ochranném pouzdru ochlazován vodním chlazením a optická část je ochlazována dvěma nezávislými proudy vzduchu, které navíc ochraňují optickou část před zašpiněním.

S výhodou může být na modulárním rámu umístěn alespoň jeden pyrometr, který měří povrchovou teplotu tyčovitěho materiálu. Dále může být modulární rám navíc vybaven snímačem rychlosti

posuvu trubky, který se používá v případě, když rychlost trubky kolísá, nebo není možné rychlost zjistit jinak. Je-li rychlost posuvu měřené trubky konstantní a známá, měření rychlosti odpadá a definuje se jako vstupní hodnota (proměnná) vyhodnocovacího software.

- 5 Rám současně slouží k distribuci chladicího média, kterým je buď vzduch, nebo chladicí kapalina. V prostředí s vysokou teplotami okolí se navíc ochraňuje teplotně izolačním materiálem, takže spolu s chlazením je rám udržován v přípustném rozmezí teplot, při kterých lze tepelnou roztažnost rámu ignorovat.
- 10 Jedna z výhod nárokováného zařízení spočívá v kombinaci poměrně nízké ceny a vysoké modularity v závislosti na požadované přesnosti měření, podrobnosti skenování. Modulární rám je z důvodu jednoduché výroby a montáže vytvořen jako mnohoúhelník s přímými rameny, které jsou s výhodou tvořeny trubkami (mají kruhový průřez). Ramena v podobě trubek jsou vhodná při montáži, neboť je možné je při spojování libovolně otáčet. Trubky jsou také dostupné v různých provedeních a jednoduché na výrobu, takže jejich použití snižuje celkové náklady na modulární rám. Kdykoliv je možné systém rozšiřovat o další skenery a tím zvyšovat přesnost a detailnost měření s minimálními dodatečnými náklady. Modulární trubková konstrukce rámu umožňuje souměrné i nesouměrné rozprostření požadovaného počtu skenerů (obvykle od 3 do 12) v závislosti na rozsazích průměrů měřených trub a prostorových možnostech.
- 20 Další významnou předností je robustnost řešení, kdy je zde minimum pohyblivých částí, přičemž si systém zachovává funkčnost již od tří skenerů, tzn. je možné systém provozovat v omezené míře při poruchách skenerů, pokud jsou v provozu minimálně tři skenery.
- 25 Další přednostní řešení je odolnost vůči vysokým teplotám válcovaného materiálu (až 2400 °C) a znečištění blízkého okolí způsobené výrobním prostředím efektivním chlazením skenerů a rámu a modelování proudu vzduchu, který zabraňuje znečišťování průhledů optické části skenerů.
- 30 Významnou výhodou také je nízká náročnost na prostor a modulární řešení rámu, které umožňuje přizpůsobovat rám aktuálnímu prostředí, čímž se snižují náklady na úpravy stávajících výrobních linek.
- 35 Na držák se připevňuje robustní ochranné pouzdro s kapalinovým chladičem skeneru. Současně pouzdro přivádí a tvaruje dva nezávislé proudy vzduchu, které vhodně ofukují hledí skenerů, tím je ochlazuje a chrání před znečištěním. Pouzdro také obsahuje mechanicky stavitelné uchycení skenerů s aretací, se kterým je možné velice přesně v omezeném rozsahu natáčet skenery ve všech směrech. Kabeláž, rozvod vzduchu a vody jsou uvedeny buď uvnitř rámu nebo po obvodu rámu chráněné robustními lištami. Samotný modulární rám tvoří potrubní vedení chladicího plynového nebo kapalinového média. V prostředí s vysokou teplotami okolí se navíc ochraňuje
- 40 teplotně izolačním materiálem, který spolu s chlazením udržuje rám v přípustném rozmezí teplot, při kterých lze vliv tepelné roztažnosti rámu na přesnost měření ignorovat.
- 45 Dva zdroje vzduchu a jeden zdroj chladicí kapaliny se nachází v dostupné vzdálenosti k rámu. Chladicí kapalina proudí potrubím od klimatizačního systému k rámu, odkud prochází skrz chladiče skenerů umístěné v pouzdrech a proudí zpět v uzavřené smyčce k chladicímu systému.

Objasnění výkresů

- 50 Vynález je podrobněji popsán na konkrétních příkladech provedení s pomocí přiložených obrázků. Na obr. 1 je znázorněno provedení modulárního rámu v základní třískenerové variantě s ochrannou lištou po obvodu rámu, na obr. 2 je znázorněno provedení rámu v pětískenerové variantě s naznačením sady válců válcovací stolice a na obr. 3 je pak znázorněno provedení rámu v šestískenerové variantě opatřené dalšími třemi laserovými skenery ve druhé měřicí rovině. Na
- 55 obr. 4 je pak znázorněno určení hodnoty filtru tečných bodů, na obr. 5 odfiltrované body

v případě chybně odměřeného osamělého bodu, na obr. 6 odfiltrované body v případě chybně naskenovaného většího objektu, na obr. 7 sada skupin bodů získaných během jednoho vychylovacího cyklu laserových paprsků ovlivněná příčným pohybem měřené trubky, na obr. 8 a 9 eliminace příčného pohybu postupným výpočtem těžišť ze skupin najednou odměřených bodů (obr. 8) a přesunem těchto skupin do společného těžiště (obr. 9) a na obr. 10 princip eliminace šikmého navádění trub do skenovací roviny.

Příklady uskutečnění vynálezu

Všechna provedení vynálezu níže využívají modulární koncepci trubkového rámu 1, zajišťující požadovanou polohu skenerů vůči měřené trubce 12. Trubkový rám 1 je vyroben z pevnostní oceli s nízkou tepelnou roztažností, je opatřen izolací a je chlazen vzduchem nebo vodou. Uvnitř rámu koluje chladicí médium, které udržuje rám v přijatelných rozmezích teplot tak, aby vliv tepelné roztažnosti materiálu rámu mohl být zanedbán. Měřená trubka 12 prochází trubkovým rámem 1 ve směru 13 její osy kolmo na skenovací rovinu 14, kterou tvoří rozmítané paprsky nejméně tří skenerů. Konstrukce rámu vytváří uzavřený prstenec tvaru mnohoúhelníku (v praxi nejčastěji nepravidelného osmiúhelníku), jehož strany tvoří spojovací trubky 3 vzájemně propojené spojovacími koleny 2 (úhlovými spojkami). Volbou spojovacích kolen 2 a délek spojovacích trubek 3 je možné sestavit trubkový rám 1, který umožňuje libovolné symetrické nebo asymetrické rozmístění skenerů, čímž je možné snímat libovolné segmenty měřené trubky 12. Spojovací kolena 2 jsou typicky prefabrikována a propojují spojovací trubky 3, tvořící strany rámu, pod specifikovanými úhly (základem jsou úhly 120°, 135°, 150° a 144°) tak, že spojovací kolena 2 tvoří hrdla, do kterých se zasouvají přesahující konce spojovacích trubek 3. Spojení se realizuje buď rozebíratelným nejčastěji svěrným (případně vzpěrným) spojením, nebo nerozebíratelným (svařovaným, lepeným nebo pájeným) spojením. Alespoň dvě kotvicí kolena 28 mají kromě spojovací funkce také specifickou funkci zajišťující pevné ukotvení trubkového rámu 1 a přívod chladicího média do trubkového rámu 1. Tato kotvicí kolena 28 se v trubkovém rámu 1 umísťují vždy tak, aby jejich delší strany byly orientovány svisle. Na delších stranách kotvicích kolen 28 jsou navařeny kotvicí konzoly 29 a přiveden vstup 6 chladicího média (vzduchu). Ostatní spojovací kolena mohou být vybavena výstupem 7 chladicího média (vzduchu) rozvádějícím chladicí médium do ochranných pouzder 4 skenerů. Ochranné pouzdro 4 chrání každý skener před mechanickým poškozením, zašpiněním optické části skeneru a vnějším teplem nejčastěji od válcovaných trub. K trubkovému rámu 1 jsou ochranná pouzdra 4 přichycena prostřednictvím držáků s objímkami 30, a to přímo ke stranám trubkového rámu nebo přes stavitelný díl 25 umožňující základní natáčení skeneru v rovině skenování. Ochranné pouzdro 4 obsahuje jemné seřizovací prvky 19 precizního polohování skeneru s aretací, kterými je možné velice přesně v omezeném rozsahu natáčet skenery ve všech třech osách a tím přesně skener polohovat.

Chlazení skeneru v pouzdru zajišťuje kapalinový chladič napojený na rozvod 9 média kapalinového chlazení a dva proudy nezávislých vzduchů, které kromě chlazení navíc zabraňují znečištění optické části skeneru. První proud je filtrovaný a ve formě modelovaného proudění z ofukovací trysky 10 optické části skeneru přímo ofukuje průhledy optické části skenerů. Druhý nefiltrovaný modelovaný proud vzduchu z chladicí trysky 11 skeneru ofukuje a ochlazuje tepelný a stínící štít 5 a zvyšuje účinnost ochrany skenerů před zašpiněním. Rozvodem druhého vzduchu je samotný trubkový rám 1 napojený na jedné straně na vstup 6 chladicího média (vzduchu) a na druhé straně na výstup 7 chladicího média (vzduchu), přičemž samotný trubkový rám 1 je tímto vzduchem současně ochlazován. Ostatní rozvody, tj. rozvod 8 přístrojového (filtrovaného) vzduchu a rozvod 9 média kapalinového chlazení, jsou vedeny spolu s rozvody elektrické kabeláže na vnějším okraji trubkového rámu 1 a chráněny robustní ochrannou lištou 16. Ochranná lišta 16 je typicky ve tvaru obráceného U a je přichycena rozebíratelným způsobem k trubkovému rámu 1, např. pomocí provlečených kovových pásek obepínajících spojovací trubky 3 trubkového rámu 1, nebo šroubovým spojením ke spojovacím nebo kotvicím kolům 2, 28.

Součástí všech variant je také alespoň jeden na trubkovém rámu 1 umístěný pyrometr 17, který měří povrchovou teplotu trubek. Všechna variantní provedení mohou být navíc vybavena snímačem 18 rychlosti posuvu trubky, který se používá v případě, když rychlost trubky kolísá, nebo není možné rychlost zjistit jinak. Je-li rychlost posuvu měřené trubky 12 konstantní a známá, měření rychlosti odpadá a definuje se jako vstupní hodnota (proměnná) vyhodnocovacího softwa-

V následujícím popisu příkladných provedení uváděné hodnoty platí při použití skenerů s měřícím rozsahem skenovacího paprsku 200 až 700 mm a maximální úhlem skenovací výseče 50° , se zaručenou přesností do $\pm 0,1$ mm a rozlišením 0,1 mm při snímání ploch, které jsou vůči paprsku maximálně nakloněny pod úhlem 45° a se sníženou přesností $\pm 0,15$ mm při snímání ploch, které jsou vůči paprsku maximálně nakloněny pod úhlem 40° . Hustota nasnímaných bodů (rozteče mezi body) po obvodu profilu kolmo na osu trubky platí pro skenery s měřicí frekvencí 2 kHz a skenovací frekvencí 10 Hz. Minimální hustota bodů podél trubky dx závisí na rychlosti posuvu trubky a na skenovací frekvenci skenerů. Například při rychlosti posuvu trubky $0,5 \text{ ms}^{-1}$ a skenovací frekvenci 10 Hz je podélná rozteč mezi body 50 mm, nebo při rychlosti posuvu trubky $0,3 \text{ ms}^{-1}$ a skenovací frekvenci 30 Hz je podélná rozteč mezi body 10 mm.

První příkladné provedení je představováno trubkovým rámem 1 v základní třískenerové variantě znázorněným na obrázku 1, s graficky znázorněnou ochrannou lištou 16 po obvodu trubkového rámu 1. Jedná se o nejlevnější variantu vhodnou pro základní skenování a měření průměrů měřených trubek 12, u kterých není potřeba detailně proměřovat a skenovat celý profil, ale maximálně ve třech měřených výsečích 22 (sledování vad v místech po meziprostoru mezi válci válcovací stolice, sledování svarů apod.). Skenování mimo měřené výseče 22, tj. ve výseči 19 oscilujících nebo rotujících laserových paprsků skeneru, nebo skenovací výseči 20, se nepoužívá k měření průměrů a výpočtu ovality, ale pouze k vizualizaci, neboť je zatížené chybou, která roste s úhlem výseče. Varianta také není schopna současně eliminovat šikmé vedení 23 trubek s tvarovou nepřesností a vertikálním pohybem 15 trubek, které mohou vykonávat nežádoucí vertikální pohyby 15 (chvění), případně se odchylovat od osy, a tím vstupovat šikmo do skenovací roviny. Trubka musí být v tomto případě buď vedena tak, že vertikální pohyb a šikmé vedení je možné zanedbat, nebo samotná výrobní technologie musí zaručovat ovalitu pod jedno procento. Pro přesné měření průměru s přesností $\pm 0,2$ mm a pokrytí 50 % povrchu profilu rozděleného do tří výsečí dokáže tato varianta měřit průměry trubky až do 470 mm. Rám je ve tvaru nepravidelného osmiúhelníku symetrického okolo vertikální osy, kdy dvojice horních a dvojice dolních spojovacích kolen 31 svírají úhel 120° a ostatní dvě dvojice spojovacích kolen 33 svírají úhel 150° . Tři skenery jsou rozmístěny tak, že tvoří vrcholy rovnoramenného trojúhelníka, jehož dolní rameno je vodorovné. Díky tomuto rozmístění může být dolní polovina výšky rámu (od osy měřené trubky) až o třetinu nižší než horní polovina. U tohoto příkladného provedení je polovina šířky rámu (od osy měřené trubky k ose trubky tvořící svislou stranu rámu) a horní polovina výšky (od osy měřené trubky k ose trubky tvořící horní stranu rámu) rovna 904 mm, kdežto dolní polovina rámu (od osy měřené trubky k ose trubky tvořící dolní stranu rámu) může mít rozměr v rozsahu 610 až 904 mm v závislosti na existujícím prostoru. Tloušťka rámu je dána vnějším průměrem kolen, nejčastěji 140 mm. V místě skeneru je tloušťka daná velikostí pouzder skenerů (přibližně 450 mm). Poloviny šířek a horní polovina výšky rámu mohou být sníženy o 250 mm za předpokladu, že se skenery umístí po stranách rámu a ne jak je na obrázku 1, kdy jsou skenery umístěny na vnitřní straně rámu. V takovémto případě tloušťka rámu v místě skenerů naroste na 700 mm. Další možností je rám otočit o 90° , kdy skenery tvoří vrcholy rovnostranného trojúhelníku s jednou stranou svislou. Případně je možné volit rám ve tvaru pravidelného šestiúhelníku, kdy každé spojovací koleno svírá úhel 120° , pak u rovnostranné verze je polovina šířky rámu 904 mm a polovina výšky je 1044. Dalším možným tvarem rámu je pravidelný dvanáctiúhelník, kdy všechny kolena svírají úhel 150° a u rovnostranné verze jsou poloviny výšky a šířky rámu rovny 904 mm.

Další příkladné provedení je představováno trubkovým rámem 1 v čtyřskenerové variantě. Oproti třískenerové variantě již dokáže toto provedení společně eliminovat vertikální pohyb měřené trubky 12 s její tvarovou deformací. Současně dokáže v omezené míře fungovat i při výpadku

jednoho skeneru, kdy se měření automaticky převádí na třískenerovou variantu. Pro přesné měření průměru s přesností $\pm 0,2$ mm a 50% pokrytí povrchu rozděleného do čtyř výsečí dokáže tato varianta měřit průměry měřené trubky 12 až do 645 mm. U trubky 12 do průměru 280 mm dokáže pokrýt profil více než z 82 %. Pro toto provedení je rám nejčastěji ve tvaru pravidelného rovnonostranného osmiúhelníku, kdy všechna spojovací kolena 35 svírají úhel 135° , polovina šířky a výška je pak stejná 940 mm. Skenery jsou rozmístěny tak, že tvoří vrcholy čtverce. Poloviny šířek a výšek rámu mohou být sníženy o 250 mm za předpokladu, že se skenery umístí po stranách rámu. Polovina šířky a výšky rámu lze také měnit plynule v rozpětí přibližně 800 až 940 mm volbou různých délek stran osmiúhelníku.

Třetí příkladné provedení znázorněné na obrázku 2 s naznačením sady válců válcovací stolice je představováno trubkovým rámem 1 v pětiskenerové variantě. Jedná se o variantní provedení, které dokáže již v plném rozsahu s maximální přesností $\pm 0,2$ mm proměřit trubky 12 do průměru 305 mm (paprsek vůči tečně dopadá k povrchu trubky maximálně pod úhlem 45°). Trubky 12 o průměru do 435 mm dokáže plně naskenovat a proměřit s přesností $\pm 0,3$ mm (paprsek vůči tečně dopadá k povrchu trubky maximálně pod úhlem 40°). Rozteč mezi jednotlivými body po obvodu profilu kolmo na její osu je $dy = 1,75$ mm. Je-li známo místo středu 24 nejbližšího pevného vedení trubky (například střed nejbližší sady válců válcovací stolice), je možné eliminovat také vliv šikmého vedení 23 trubek. Konstrukce trubkového rámu 1 tvaru osmiúhelníku zajišťuje souměrné rozprostření skenerů s využitím stavitelného dílu 25, který umožňuje natáčet skenery ve skenovací rovině. Pro měření trubek do průměru 305 mm je rám ve tvaru nepravidelného osmiúhelníku, symetrického okolo vertikální osy, kdy dvojice kolen směrem od shora dolů 31, 33, 32 postupně svírají úhly 120° , 150° , 135° a znovu 135° . Pětice skenerů jsou rozmístěny tak, že tvoří vrcholy pěticípé hvězdy. Toho je dosaženo použitím speciálního stavitelného dílu 25 tvaru L, který umožňuje skenery naklánět tak, aby střed skenovací výseče každého skeneru byl zaměřen na osu měřené trubky. Díky tomuto rozmístění může být dolní polovina výšky rámu (od osy měřené trubky) v rozsahu 847 až 926 mm. U tohoto příkladného provedení je polovina šířky rámu (od osy měřené trubky k ose trubky tvořící svislou stranu rámu) rovna 989 mm a horní polovina výšky (od osy měřené trubky k ose trubky tvořící horní stranu rámu) rovna 926 mm.

Další příkladné provedení je znázorněno na obrázku 3. Jedná se o šestiskenerové provedení opatřené druhou sadou laserových skenerů ve druhé měřicí rovině. Tato doporučovaná varianta zajišťuje měření trub 12 s přesností $\pm 0,2$ mm do průměru 495 mm (paprsek vůči tečně dopadá k povrchu trubky maximálně pod úhlem 45°). Rozteč mezi jednotlivými body po obvodu profilu měřené trubky 12 kolmo na její osu je $dy = 2$ mm. Trubky do průměru 585 mm dokáže plně naskenovat a proměřit se sníženou přesností $\pm 0,3$ mm (paprsek vůči tečně dopadá k povrchu trubky maximálně pod úhlem 40°). Tato varianta dokáže plně eliminovat vertikální pohyby trubky a šikmé vedení trub (vyosení). Pro eliminaci šikmého navádění je nezbytné znát nejbližší místo středu 24 pevného vedení trubky (například střed nejbližší sady válců válcovací stolice), nebo musí být sestava doplněna druhou měřicí/skenovací rovinou 27 o alespoň třech skenerech, která je rovnoběžná s primární rovinou a posunutá o známou vzdálenost (ideálně vzdálenost je rovný maximálnímu měřenému průměru trubky). Skenery 26 druhé skenovací roviny mohou být nahrazeny laserovými dálkoměry, které pevně měří vzdálenost od pozice dálkoměru k ideálnímu středu trubky. Na základě odchylek vzájemně kalibrovaných dálkoměrů se synchronně vyhodnocuje vyosení trubky ve druhé rovině a porovnává s měřeným těžištěm skenovací roviny. Trubkový rám 1 nepravidelného osmiúhelníku umožňuje souměrné rozprostření skenerů při minimalizaci výšky rámu. Rám je symetrický okolo vertikální osy, kdy dvojice horních a dvojice dolních spojovacích kolen 31 svírají úhel 120° a ostatní dvě dvojice kolen 33 svírají úhel 150° . Šest skenerů je rozmístěno tak, že tvoří vrcholy rovnoramenného pravidelného šestiúhelníku, jehož horní a spodní strany jsou vodorovné. Pro měření trub do průměru 495 je polovina šířky (od osy měřené trubky k ose trubky tvořící svislou stranu rámu) rovna 926 mm a polovina výšky (od osy měřené trubky k ose trubky tvořící horní/spodní stranu rámu) je v rozpětí 890 – 926 mm. Uvedené provedení disponuje druhou měřicí rovinou, kdy na stejném rámu jsou další tři skenery. V principu je každý druhý skener zdvojen tak, že přidáný skener měří v posunuté rovině. Druhá měřicí rovina výrazně mění tloušťku rámu v místě pouzder skenerů a to v závislosti na velikosti posunutí

druhé roviny. Pro uvedený případ je šířka 920 mm při vzdálenosti rovin 520 mm. Variantou je také možnost realizovat druhou rovinu pomocí samostatného rámu.

Další příkladná provedení z hlediska počtu použitých skenerů mohou být:

5

Sedmiskenerová varianta zaručuje maximální přesnost $\pm 0,2$ mm pro trubky 12 do průměru 620 mm při rozteči mezi jednotlivými body po obvodu profilu kolmo na její osu $dy = 2,3$ mm. Dosa-

10

hovaná přesnost je $\pm 0,3$ mm do průměru 685 mm. U této varianty se používá rám nejčastěji tvaru nerovnoramenného pravidelného osmiúhelníku o spojovacích kolenech svírajících úhel 135° . Skenery jsou upevněny k rámu přes stavitelný díl 25 ve tvaru L., kterým se skenery naklápí. Tak-

15

to je možné skenery souměrně rozmístit po obvodu rámu tak, aby tvořily vrcholy pravidelného rovnoramenného sedmiúhelníku se spodní vodorovnou stranou. Polovina výšky a šířky rámu je

20

přibližně 910 mm.

Osmiskenerová varianta zaručuje maximální přesnost $\pm 0,2$ mm pro trubky 12 do průměru 700 mm při rozteči mezi jednotlivými body po obvodu profilu kolmo na její osu $dy = 2,5$ mm. Pro tuto variantu se používá rám nejčastěji tvaru rovnoramenného pravidelného osmiúhelníku o spojovacích kolenech svírajících úhel 135° . Skenery jsou uchyceny v polovinách stran ramen. Polovina šířky rámu (od osy měřené trubky k ose trubky tvořící svislou stranu rámu) a polovina

25

výšky (od osy měřené trubky k ose trubky tvořící horní/spodní stranu rámu) je rovna 897 mm.

Pro měření větších průměrů nebo k dosažení menšího počtu skenerů je možné navrhovat další provedení, u kterých se specifikuje dolní nejmenší měřený průměr trubky. Jiné varianty vznikají při použití jiných dosahů paprsků skenerů, které pak dosahují jiných přesností. Je tak možné rea-

Minimální měřený průměr [mm]	Maximální měřený průměr [mm]	Rozsah paprsku skeneru [mm]	Počet skenerů	Přesnost měření průměrů [mm]	Minimální rozteč mezi body po obvodu kolmo na osu trubky dy [mm]	Maximální rozteč mezi body po obvodu kolmo na osu trubky dy [mm]
6	130	200 až 300	5	±0,2	0,16	0,66
50	310	200 až 450	6	±0,3	0,33	1,32
100	500	200 až 700	6	±0,4	0,54	2,15
100	650	200 až 700	7	±0,4	0,58	2,36
300	740	200 až 700	7	±0,4	0,67	2,67
600	1000	200 až 700	8	±0,4	0,79	3,14
880	1300	200 až 700	10	±0,4	0,87	3,48
1220	1600	200 až 700	12	±0,4	0,98	3,91

- Z hlediska tvaru přichází v úvahu některé typické varianty trubkového rámu 1, kterých je možné docílit různou kombinací spojovacích kolen 2 a spojovacích trubek 3. Tvar a rozměry trubkového rámu 1 jsou závislé na měřených rozsazích průměrů a počtu použitých skenerů. Pro variantu tří nebo šesti skenerů je možné použít pravidelný šestiúhelník za použití spojovacích kolen 2 (úhlových spojek) s úhlem 120°, nebo lépe vytvořením nepravidelného osmiúhelníku použitím kombinací čtyř spojovacích kolen 2 s úhlem 150° a čtyř spojovacích kolen s úhlem 120°, přičemž pootočením trubkového rámu o 90° se pokryjí jiné části měřených trubek 12. Pro čtyř nebo osmiskenerovou variantu, je ideální trubkový rám 1 tvaru pravidelného osmiúhelníku se spojovacími koleny s úhlem 135°. Pro pětiskenerovou variantu se použije trubkový rám 1 nepravidelného osmiúhelníku s dvěma spojovacími koleny pod úhlem 150°, dvěma spojovacími koleny pod úhlem 120° a čtyřmi spojovacími koleny pod úhlem 135°. V tomto případě se skenery ve skenovací rovině natáčejí tak, aby střed skenovací výseče každého skeneru byl zaměřen na osu měřené trubky 12. Toho se dosahuje jednoduchým stavitelným dílem 25 ve tvaru L. Pro desetiskenerovou variantu se používá rám tvaru pravidelného desetiúhelníku s koleny svírající úhel 144°, nebo nepravidelného dvanáctiúhelníku, kdy dvojice horních a dolních kolen svírají úhel 162°, zbylá

kolena svírají úhel 144° . Pro dvanáctiskenerovou variantu se používá rám tvaru pravidelného dvanáctiúhelníku se spojovacími koleny svírajícími úhel 150° . Princip umožňuje realizaci rámu také s vyšším počtem skenerů, obvykle sudého počtu. V těchto případech je rám navrhován speciálně pro daný případ.

5

Podobně lze dosáhnout dalších variant rámu tvarů mnohoúhelníků.

Příkladný způsob měření vnějších rozměrů průřezů a skenování trub/kulatin využívá jejich dopředný pohyb během výroby nebo dopravy na výrobním dopravníku. Měření je realizované pomocí nejméně tří 2D skenerů s rozmítaným laserovým paprskem, které jsou rovnoměrně rozprostřeny okolo obvodu trubky tak, že jejich skenovací roviny společně tvoří rovinu kolmou na osu trubky a každý ze skenerů je natočen tak, aby snímal stanovenou část výseče profilu trubky/kulatin. Dohromady skenovací výseče snímají celkový nebo částečný profil trubky. Skenery nemusejí být ve dvojicích mířeny proti sobě. Skenery promítají rozmítané laserové paprsky na povrch trubky/kulatin a v jednotlivých časových okamžicích synchronně odměřují vzdálenosti mezi souřadnicovými systémy skenerů a promítanými body laserového paprsku na povrchu trubky/kulatin. Toto měření se v rámci jednoho vychylovacího cyklu paprsků synchronně opakuje, takže se bod po dobu nasnímá celý profil trubky/kulatin ve skenovací rovině. Cyklus vychylování se periodicky opakuje za současného pohybu trubky/kulatin ve směru její osy, čímž se postupně nasnímá celý povrch trubky/kulatin. Vyhodnocení průměrů a těžiště se provádí na základě v jednom okamžiku získaných bodů ze všech skenerů. Ze změny těžiště se po filtraci a aproximaci vyhodnocuje provedený vertikální pohyb profilu během jednoho vychylovacího cyklu. Na základě znalosti vertikálního pohybu měřeného profilu a případně dalšího měřeného pohybu těžiště v rovnoběžné rovině posunutě o známou vzdálenost se odměřené pozice bodů přepočítávají tak, aby se eliminoval vertikální pohyb a případné šikmé vedení trub/kulatin. Změna těžiště druhého profilu v rovnoběžné rovině se vyhodnocuje minimálně třemi skenery, nebo laserovými dálkoměry, nebo se měření nahrazuje pevně definovaným bodem, který zaručuje pevné vedení trubky v daném místě.

30 Konkrétní postup výpočtu a analýzy naměřených údajů je následující:

Každé odměření vzdálenosti se provádí na všech skenerech synchronně, čímž se pro každou periodu získá skupina současně odměřených vzdáleností, které se přepočtou na souřadnice bodů společného souřadnicového systému. Po aplikaci filtru se ze skupiny bodů vypočtou průměry a těžiště (středu) řezu trubky ve skenovací rovině.

V první řadě se pro každý skener aplikuje samostatně filtr tečných bodů (FTB). Tento filtr se aplikuje odděleně v jednotlivých souřadnicových systémech skenerů. Používají se pouze body, pro které platí že $|\Delta x/\Delta y| < \text{FTB}$, kde Δx a Δy jsou vzdálenosti mezi dvěma po sobě odměřenými body jednoho skenu v osách x a y . Ve své podstatě se tím určuje úhel pokrytí trubky jedním skenerem. Jak je znázorněno na obr. 4, matematicky $(\Delta x/\Delta y)$ vyjadřuje směrnici sečny procházející dvěma sousedními body. Pro velmi blízké body $(\Delta x/\Delta y \rightarrow 0)$ tato sečna přechází do tečny, kterou lze analyticky vyjádřit derivací funkce kružnice $\sin(\alpha)/\cos(\alpha) = \tan(\alpha) = \text{FTB}$. Pro požadovaný maximální úhel pokrytí trubky skenerem $\beta = 2 \cdot \alpha$ je pak snadné určit hodnotu filtru. Pro celkové pokrytí trubky čtyřmi skenery pootočenými o 90° (úhel pokrytí $\beta = 90^\circ$), je úhel $\alpha = 45^\circ$. Odtud je koeficient filtrace $\tan(45^\circ) = 1$.

Kromě filtrace bodů nacházejících se mimo úhel pokrytí, filtr také eliminuje chybně odměřené osamělé body. Je-li odměřený bod vůči předchozímu výrazně posunut ($|\Delta x/\Delta y| > \text{FTB}$), je automaticky odfiltrován, nicméně je použit pro následující porovnání. Byl-li tento bod osamělý (například náhodný odraz od prachové částice), bude i následující bod odfiltrován, neboť opět bude platit $|\Delta x/\Delta y| > \text{FTB}$. Pokud však nepůjde o náhodnou chybu a následující bod bude v blízkosti předchozího již odfiltrovaného bodu, pak jej filtr ponechá. Prakticky se odfiltrují osamělé body, které byly chybně naměřeny například z důvodu prolétající kapky vody, částčky prachu apod.,

viz obr. 5. Je-li však zjištěn větší objekt, viz obr. 6, na kterém se odměří minimálně dva body, bude odfiltrován pouze první z nich.

Filtr se také může rozšířit o skupinovou filtraci, kdy se určuje maximální počet bodů, které mohou být najednou odfiltrovány na základě vztahu $|\Delta x/\Delta y| > \text{FTB}$. U tohoto rozšíření se u prvního bodu, který nerovnice vyfiltruje, provede pouze označení (bod je označen jako podezřelý). U dalšího bodu v pořadí se kontroluje vztah $|\Delta x/\Delta y| > \text{FTB}$ nejen k předchozímu tedy již podezřelému bodu, ale také k poslednímu vyhovujícímu bodu $|\Delta x/\Delta y| > \text{FTB}$. Je-li nový bod nerovnicí $|\Delta x/\Delta y| > \text{FTB}$ také vyfiltrován k poslednímu vyhovujícímu bodu, ale není vyfiltrován ve vztahu k předchozímu bodu, pak je i tento bod označen za podezřelý. Takto se proces opakuje pro další odměřené body, dokud není počet za sebou podezřelých bodů větší, nežli je stanovený limit, nebo dokud filtr k poslednímu platnému bodu již nic nezachytí. V prvním případě se zpětně u celé skupiny nevyhovujících bodů označení zruší. V druhém případě označení zůstane a skupina těchto bodů se nepoužije k výpočtu těžiště. Je-li ve skupině pouze jediný podezřelý bod, pak se zahodí.

Po aplikaci filtru tečných bodů se pak aplikuje filtr měřeného rozsahu průměrů. Cílem tohoto filtru je odfiltrovat body používané pro výpočet těžiště, které neodpovídají reálně možnému odměření na povrchu měřeného objektu. Například se jedná o uvolněné okraje, nebo jiné cizí předměty, které během měření prolétly v zorném poli skenerů. Tyto body jsou zaznamenány a použity pro automatický výpočet ovality, avšak nejsou použity pro výpočet těžiště. O vyloučení těchto bodů také z měření průměrů a ovality musí rozhodnout až příslušný operátor uživatelským zásahem.

Filtr pracuje tak, že pro různé kombinace trojic bodů (trojice jsou u více než čtyřskenerové varianty vybírány tak, aby nikdy nebyly použity tři sousední body) proloží kružnice, u níž se vypočte průměr a určí střed. Je-li, průměr mimo stanovený interval, který je definován jako násobek výrobních tolerancí trubky, nebo je střed mimo toleranční pásmo pak se trojice bodů označí jako podezřelá. Body, které byly označeny za podezřelé při každém výpočtu, jsou nakonec takto označeny trvale a pro výpočet těžiště jsou odfiltrovány. Parametry filtru se stanovují individuálně v závislosti na měřeném průměru a maximálním možném odklonu trubky, který je dán výrobní linkou.

Vyhovují-li všechny společně odměřené body od všech skenerů, jsou pak tyto body proloženy uzavřenou interpolační křivkou nejčastěji kubického spline. Konkrétně je mezi body sousedních skenerů provedena interpolace křivkou $y = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D$ tak, aby přechod z jedné křivky na druhou ve změřených bodech byl plynulý (první i druhá derivace ve společném bodu je pro obě křivky totožná). Vzniklá uzavřená křivka ohraničuje plochu, u které se následně vypočítá její těžiště, které představuje střed oválného profilu (např. trubky, kulatiny).

Během jednoho vychylovacího cyklu laserových paprsků se takto získá ucelená sada skupin bodů spolu se souřadnicemi těžiště, která reprezentuje celkový nasnímaný profil obvykle ještě zatížený příčným pohybem trubky, viz obr. 7. Funkce příčného pohybu trubky během snímání jednoho profilu se určuje samostatně na základě aproximace změn těžišť trubky podle času.

Konkrétně jsou složky souřadnic těžiště x a y rozděleny do dvou samostatných řad, ze kterých se vytvoří dvě tabulky hodnot (zvlášť pro složku x a y) v závislosti na čase t , který reprezentuje čas, ve kterém byly body nasnímány. Tyto tabulkové hodnoty se podle zvolené funkce aproximují (přímkou nebo parabolou nebo hyperbolou) čímž se získají dvě funkce souřadnic těžiště na čase $f_x(t)$ a $f_y(t)$. Tyto funkce pak představují funkci příčného pohybu trubky během snímání jednoho profilu.

Eliminace příčného pohybu, jak je znázorněno na obr. 8 a 9, se realizuje posunutím jednotlivých složek souřadnic odměřených bodů v čase t tak, aby souřadnice těžiště $f_x(t)$ a $f_y(t)$ procházely

počátkem. Tím se získá sada bodů profilu zbaveného příčného pohybu s těžištěm v počátku souřadnicového systému.

Volitelně se pro stejný časový úsek vyhodnocuje pohyb podélně posunutého těžiště profilu trubky v další jedné nebo dvou měřicích rovinách rovnoběžných s rovinou skenování posunutých o známou vzdálenost l . Vyhodnocení těžiště v těchto rovinách se provádí synchronně s měřením ve skenovací rovině minimálně třemi skenery stejnou metodou jako ve skenovací rovině, nebo se nahrazují minimálně třemi společně kalibrovanými laserovými dálkoměry rozmístěnými po obvodu trubky v měřicí rovině tak, aby jejich paprsky směřovaly do středu trubky, a odměřovaly vzdálenosti mezi počátkem laserového dálkoměru a povrchem trubky. Opět se získají skupiny nejméně trojic bodů profilu trubky v měřicí rovině, ze kterých se vyhodnotí funkce změny těžiště na čase stejnou technikou jako ve skenovací rovině. Funkce změny posunutého těžiště na čase se může nahradit pevně definovaným bodem nacházejícím se na průsečíku osy trubky s nejbližší položenou rovinou, ve které nedochází k příčnému pohybu díky pevnému vedení trubky.

Prostřednictvím funkcí příčných pohybů trub během jednoho cyklu vychylování paprsků jsou přepočítány souřadnice naměřených bodů odpovídajícího profilu tak, aby se eliminoval příčný pohyb a vyosení trub během jedné skenovací sekvence, čímž se získá reálný profil trubky ve skenovací rovině, která je ideálně kolmá na osu trubky.

Eliminace šikmého navedení se taktéž provádí pro každou skupinu současně naměřených bodů samostatně. Nejprve se zjistí úhel β , který představuje odchylku osy trubky od ideální kolmice na měřenou rovinu. Pro výpočet tohoto úhlu se určí vzdálenost u mezi souřadnicemi bodů těžišť T_A a T_B po promítnutí do skenovací roviny, získaných ve stejném čase t ve skenovací rovině A a původně posunutě měřené rovině B díky funkcím $f_x(t)$, $f_y(t)$ a $f_{xp}(t)$, $f_{yp}(t)$. Pak se na základě znalosti kolmé vzdálenosti obou rovin l a vzdálenosti bodů u tangenciální větou vypočte úhel $\beta = \arctg(u/l)$. Je-li úhel β menší, nežli je hraniční limit, pak se tato odchylka považuje za zanedbatelnou a eliminace šikmého vedení se neaplikuje. V opačném případě se přesune a natočí souřadnicový systém tak, aby počátek nového souřadnicového systému procházel těžištěm T_A skenovací roviny a osa Y procházela těžištěm T_B vypočteným původně v posunuté rovině funkcí $f_{xp}(t)$, $f_{yp}(t)$. Do nového souřadnicového systému se současně transformují původní souřadnice odměřených bodů P s tím, že se na složku y navíc aplikuje přepočet $y_T = y \cdot \cos(\beta)$. Uvedený přepočet v podstatě realizuje promítnutí bodů do roviny kolmé na osu trubky, která protíná měřicí rovinu v ose X souřadnicového systému pod úhlem β a jako takový je možné jej realizovat i jinými vztahy. Nakonec se souřadnicový systém natočí do původní polohy a spolu s tím se přepočtou upravené souřadnice. Proces se opakuje pro každou sadu najednou odměřených bodů v čase t . Poté se body jednoho průchodu paprsků (jednoho profilu) přesunou do společného souřadnicového systému tak, aby dílčí těžiště definovaná funkcemi $f_x(t)$ a $f_y(t)$ procházela počátkem. Tím se získá sada bodů profilu zbaveného vlivu šikmého navádění měřeného objektu.

Z přepočtených bodů a znalosti středu (těžiště) profilu jednoho skenu se pak již snadno vypočtou průměry a určí požadovaná ovalita.

Průmyslová využitelnost

Způsob a zařízení podle vynálezu s odpovídajícím počtem skenerů se dá využít pro měření vnější tvarové přesnosti profilu nebo jeho části libovolného typu tyčového hutního materiálu produkovaného v železárnách nebo válcovnách, který se pohybuje ve směru osy a projde celým svým objemem rovinu kolmou na jeho osu a jeho vertikální pohyb a případné vyosení je možné zanedbat. Pro tyčový materiál, u kterého se nedá vertikální pohyb zanedbat, je možné měření uplatnit za předpokladu, že existuje konečný počet povrchových bodů, symetricky rozmístěných libovolně po povrchu profilu, ze kterých lze vždy jednoznačně určit těžiště profilu. Pro tento konečný počet bodů je pak potřeba použít stejný počet skenerů.

PATENTOVÉ NÁROKY

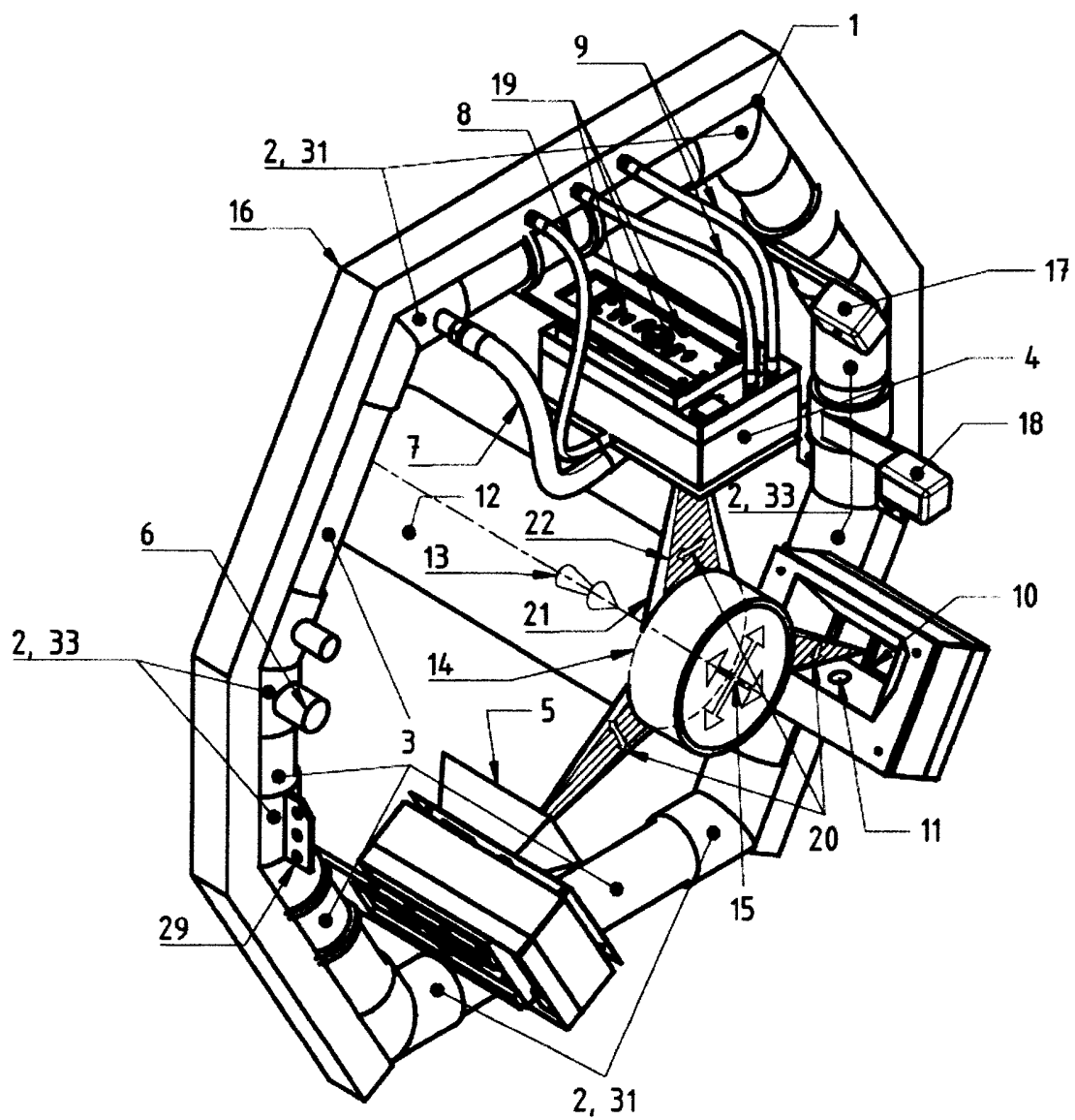
- 5 1. Způsob bezkontaktního měření vnějších rozměrů průřezů tyčového hutního materiálu, **vyznačující se tím**, že zahrnuje následující kroky:
- nejméně tři stejnosměrně rotující nebo oscilující laserové paprsky společně kalibrovaných a synchronizovaných skenerů souměrně obklopujících tyčový materiál tak, aby střední polohy paprsků směřovaly na osu tyčového materiálu, opakovaně měří vzdálenosti mezi počátkem
 - 10 souřadnicových systémů skenerů a povrchem snímaného tyčového materiálu;
 - skupina současně odměřených vzdáleností se přepočte na souřadnice bodů společného souřadnicového systému;
 - ze skupiny bodů společného souřadnicového systému se vypočtou průměry a těžiště řezu tyčového materiálu ve skenovací rovině;
 - 15 – na základě aproximace změn těžišť tyčového materiálu podle času je určena alespoň jedna funkce příčného pohybu tyčového materiálu během snímání profilu;
 - prostřednictvím funkce/í příčných pohybů tyčového materiálu během jednoho cyklu vychylování paprsků jsou přepočítány souřadnice naměřených bodů odpovídajícího profilu pro eliminaci příčného pohybu a vyosení tyčového materiálu během jedné skenovací sekvence pro získání reálného profilu tyčového materiálu.
 - 20
2. Způsob bezkontaktního měření vnějších rozměrů průřezů tyčového hutního materiálu podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že pro eliminaci vlivu tepelné roztažnosti tyčového materiálu se s výhodou pro každý segment současně s měřením vzdálenosti mezi počátkem souřadnicových systémů skenerů a povrchem snímaného tyčového materiálu měří povrchová teplota tyčového materiálu, která je využita pro přepočet rozměrů trub z teplého na studený stav.
- 25
3. Modulární rám osazený alespoň jedním skenerem a rozvodem elektrické kabeláže pro provádění způsobu podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že má tvar mnohoúhelníku, jehož vrcholy jsou tvořeny alespoň jedním spojovacím kolenem (2) a alespoň dvěma kotvicími kolena (28), přičemž tato spojovací kolena (2) a kotvicí kolena (28) jsou propojena spojovacími rameny, kdy na spojovacích ramenech jsou objímkami (30) přichycena ochranná pouzdra (4) s uloženými skenery.
- 30
4. Modulární rám podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že je opatřen rozvody alespoň jednoho chladicího média.
- 35
5. Modulární rám podle nároku 3 nebo 4, **vyznačující se tím**, že kotvicí kolena (28) mají své delší strany orientovány svisle a na těchto dalších stranách kotvicích kolena (28) jsou uspořádány kotvicí konzole (29).
- 40
6. Modulární rám podle některého z nároků 3 až 5, **vyznačující se tím**, že mezi objímkou (30) a ochranné pouzdro (4) je vložen stavitelný díl (25).

45

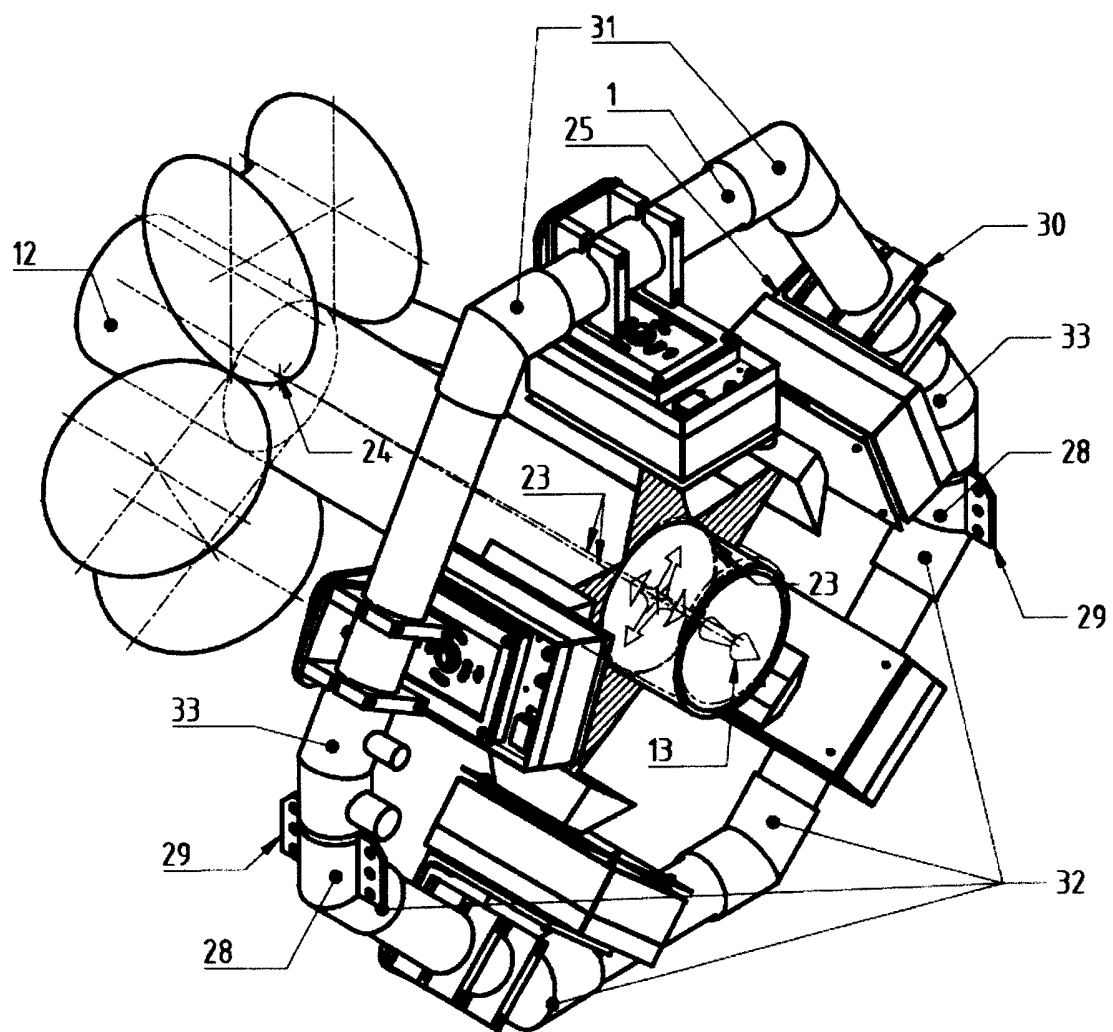
8 výkresů

Seznam vztahových značek:

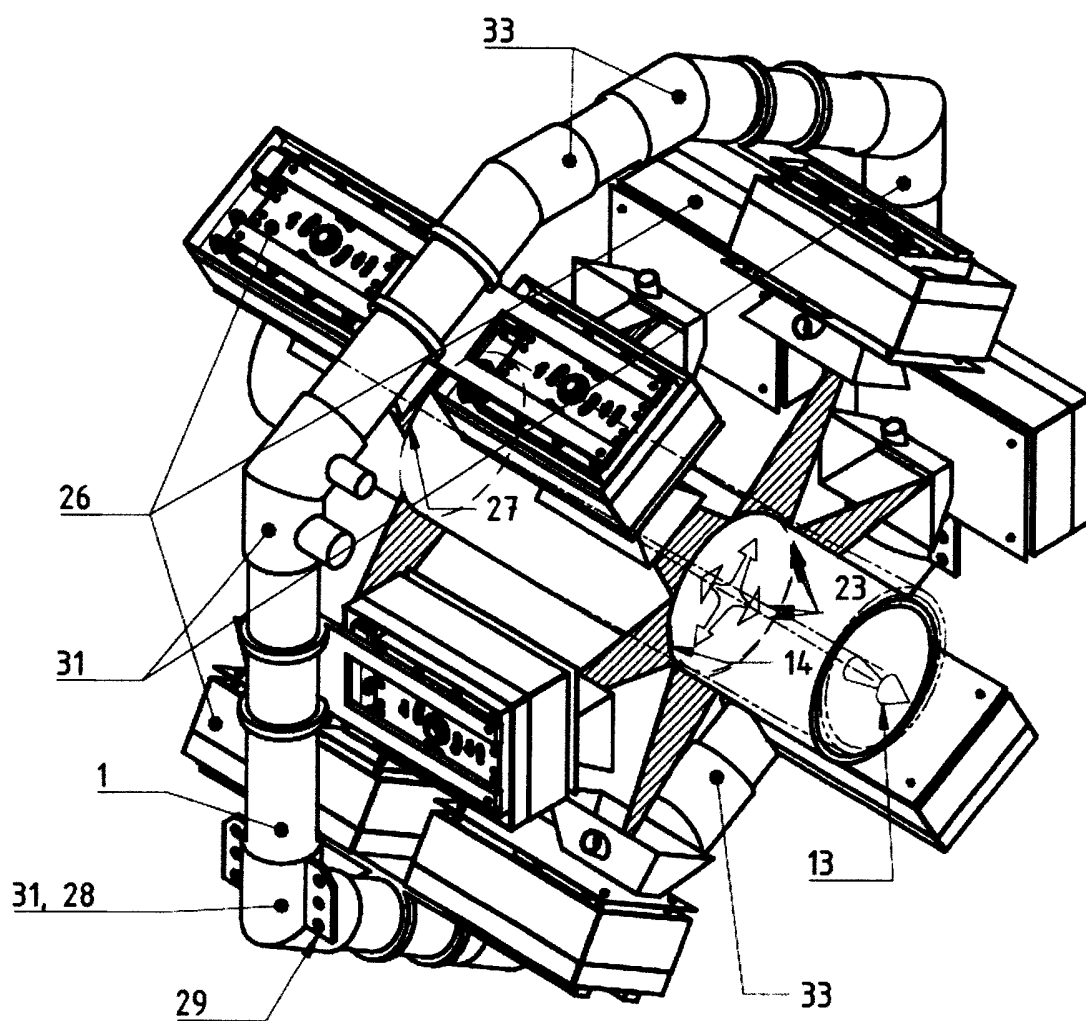
- | | | |
|----|-----|---|
| | 1. | Trubkový rám |
| | 2. | Spojovací kolena |
| 5 | 3. | Spojovací trubky |
| | 4. | Ochranné pouzdro s vodou chlazenými skenery s oscilujícím nebo rotujícím laserovým paprskem |
| | 5. | Tepelný a stínící štít |
| | 6. | Vstup chladicího média |
| 10 | 7. | Výstup chladicího média a napojení na ofukování a chlazení štítu pouzder skenerů |
| | 8. | Rozvod přístrojového vzduchu |
| | 9. | Rozvod média kapalinového chlazení |
| | 10. | Ofukovací tryska optické části skeneru |
| | 11. | Chladicí tryska skeneru |
| 15 | 12. | Měřená trubka |
| | 13. | Směr pohybu trubky |
| | 14. | Skenovací rovina |
| | 15. | Vertikální pohyby trubky |
| | 16. | Ochranná lišta |
| 20 | 17. | Pyrometr |
| | 18. | Snímač rychlosti posuvu trubky |
| | 19. | Seřizovací prvky |
| | 20. | Výseč oscilujících nebo rotujících laserových paprsků skeneru |
| | 21. | Skenovací výseč (hranice) |
| 25 | 22. | Měřená výseč (hranice) |
| | 23. | Šikmé vedení trubky |
| | 24. | Střed nejbližšího místa pevného vedení trub (střed nejbližší sady válců válcovací stolice) |
| | 25. | Stavitelný díl |
| | 26. | Skenery / Laserové dálkoměry druhé skenovací roviny (nejméně tři laserové dálkoměry) |
| 30 | 27. | Druhá skenovací rovina |
| | 28. | Kotvicí kolena |
| | 29. | Kotvicí konzoly |
| | 30. | Objímky |
| | 31. | Koleno se spojovacím úhlem 120° |
| 35 | 32. | Koleno se spojovacím úhlem 135° |
| | 33. | Koleno se spojovacím úhlem 150° |



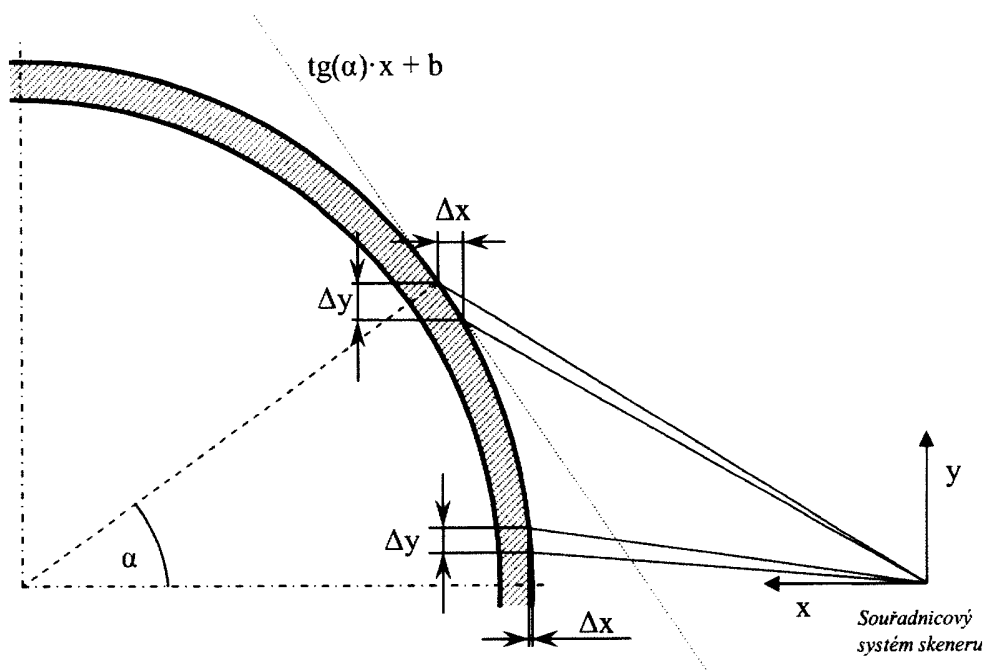
Obr. 1



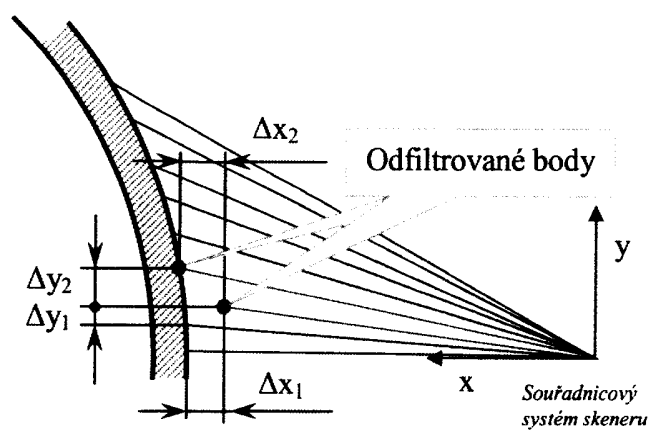
Obr. 2



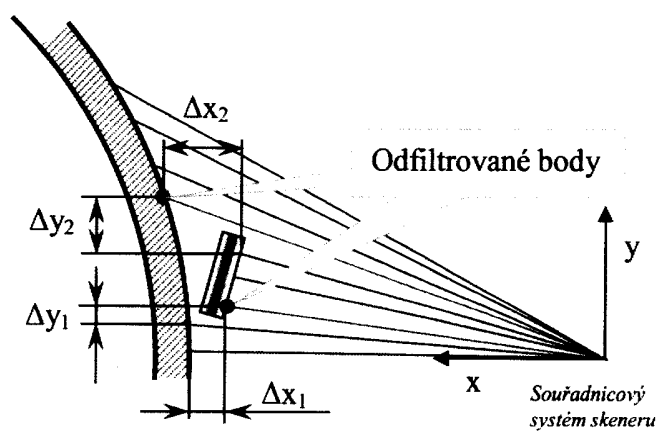
Obr. 3



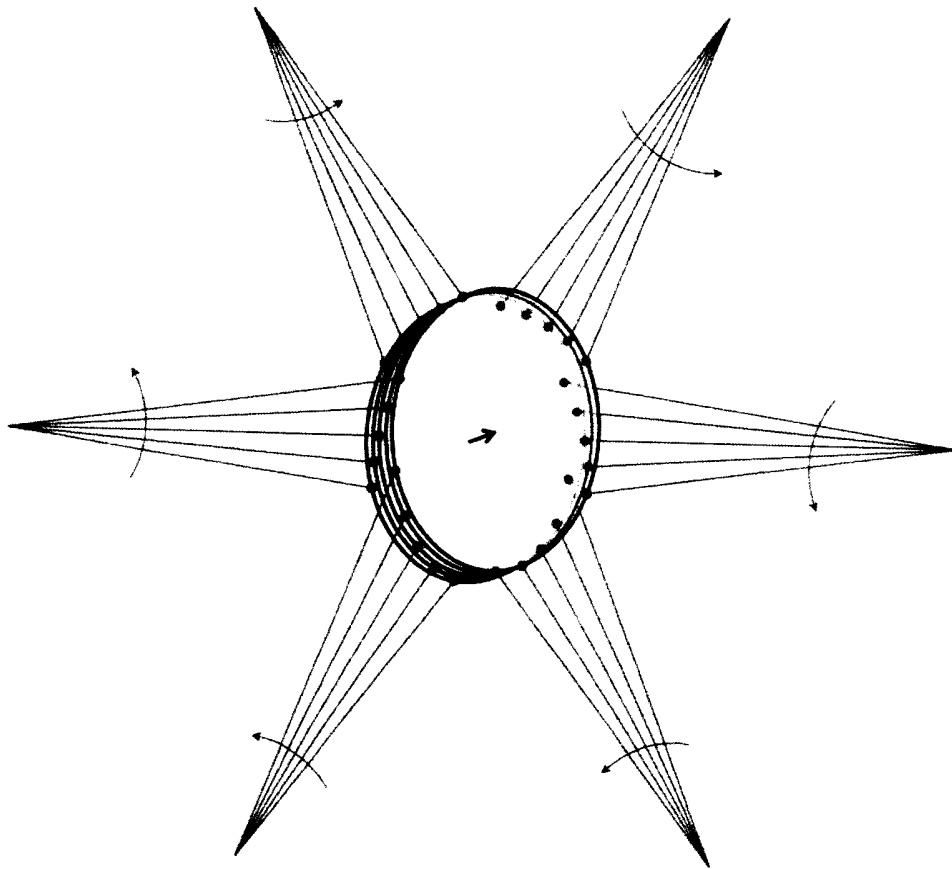
Obr. 4



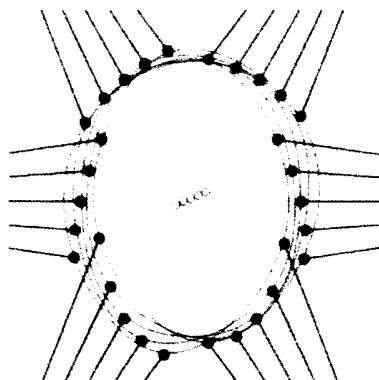
Obr. 5



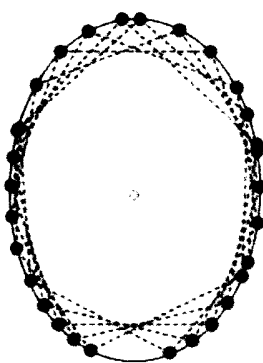
Obr. 6



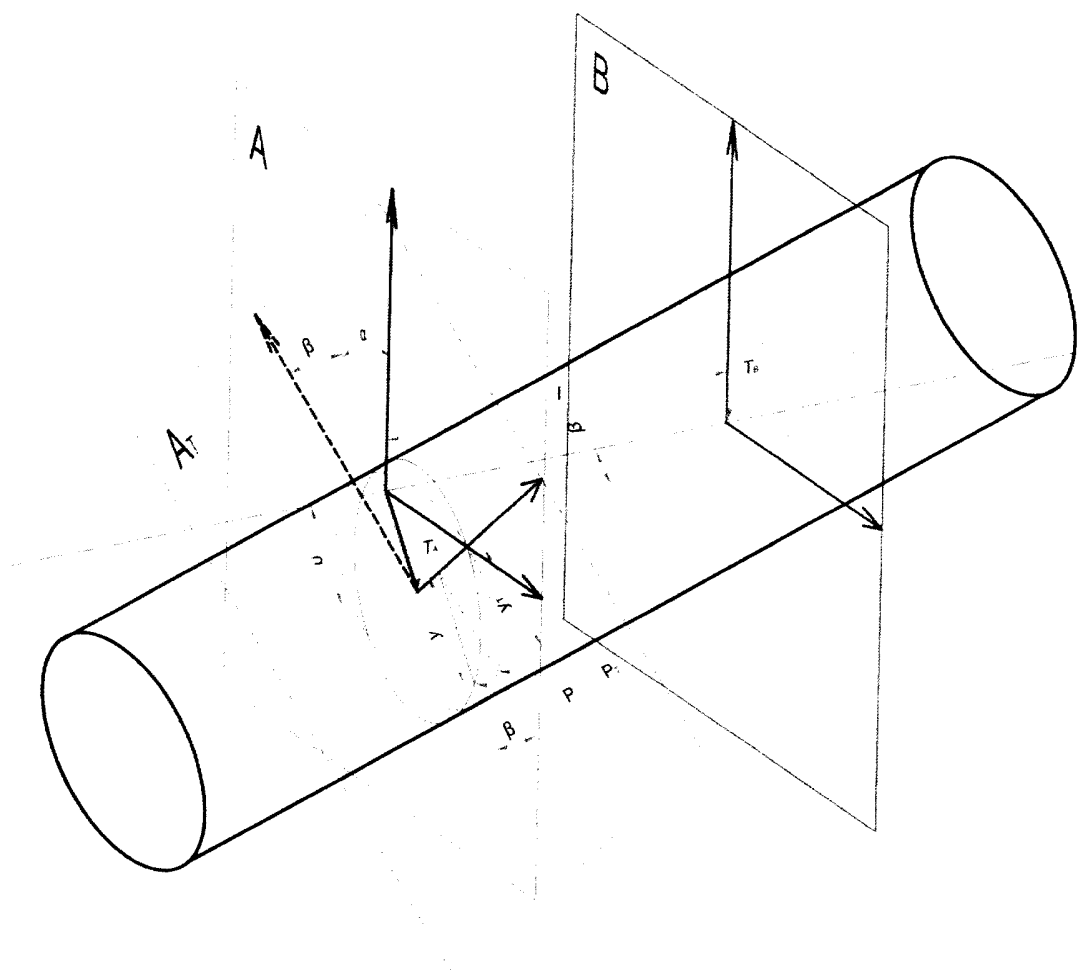
Obr. 7



Obr. 8



Obr. 9



Obr. 10

Konec dokumentu