



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

248 804

(11) (B1)

(61)

(23) Výstavní priorita
(22) Přihlášeno 03 10 84
(21) PV 7499-84

(51) Int. Cl.⁴

C 23 C 14/34

(40) Zveřejněno 13 02 86

(45) Vydáno 01 09 88

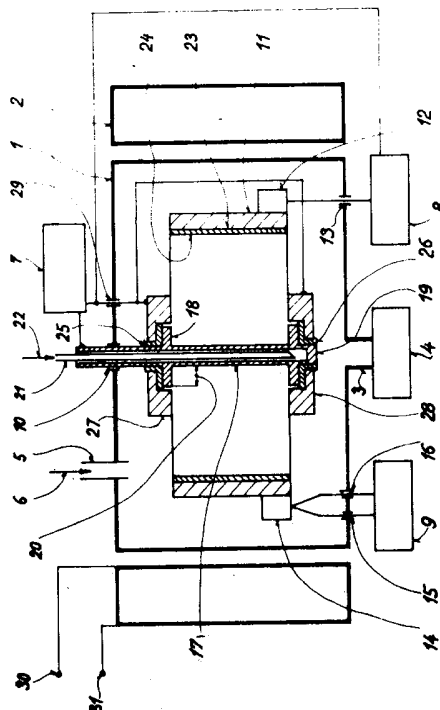
(75)
Autor vynálezu

MUSIL JINDŘICH ing. DrSc., ŘEVNICE,
BÁRDOŠ LADISLAV ing. CSc., PRAHA,
HAVEL JOSEF,
HORTLÍK FRANTIŠEK ing., ÚSTÍ NAD ORLICÍ,
ŠTĚPÁN VLADIMÍR, LETOHRAD

(54)

Způsob vytváření tenkého nemagnetického povlaku na vnitřním povrchu dutého tělesa magnetronovým rozprašováním a zařízení k provádění tohoto způsobu

Řešení se týká oboru techniky plazmatu a jejího využití v technologii vytváření tenkého nemagnetického povlaku na vnitřním povrchu dutého tělesa malých rozměrů magnetronovým rozprašováním pevného terče, při němž se těleso s nastavitelnou teplotou, s dutinou pro povlak, umístí do odčerpávané nádoby. Do dutiny se umístí pevný válcový terč pro povlak a rozprašuje se při výbojovém napětí do 500 V ve skříženém elektrickém a magnetickém poli za sníženého tlaku v inertním plynu nebo v jeho směsi s reaktivním plynem. Potenciál tělesa se udržuje nejméně o 5 V vyšší než potenciál anody rozprašovacího zařízení. Zařízení pro provádění způsobu je vytvořeno z reakční nádoby s čerpacím výstupem a přívodem pracovního plynu; uvnitř nádoby je vlastní rozprašovací magnetronový systém, napájený z elektrického zdroje vně nádoby, jež je uvnitř cívky elektromagnetu. Zařízení je doplněno měřičem teploty povlakového tělesa a zdrojem předpětí. Hlavní částí rozprašovacího systému je pevný válcový terč (katoda) se dvěma disky a dvě diskové anody izolované upevněné na terči. Způsob je využitelný v metalurgii, ve strojírenství, v automobilovém, leteckém a elektronickém průmyslu.



Vynález se týká způsobu a zařízení pro vytváření tenkého nemagnetického povlaku na vnitřním povrchu dutého tělesa magnetronovým rozprašováním pevného terče. Vytváření tenkého povlaku se provádí při teplotách pod 500 °C a je vhodné zejména pro strojní součásti malých rozměrů, například pro spřádací rotory bezvřetenových doprřadacích strojů z lehkých slitin, jejichž vnitřní plochy jsou vystaveny abrazívnímu otěru. Trvanlivost těchto součástí i strojů jako celku je při takovém namáhání velmi nízká, ovlivňuje činnost strojů, a tím jakost výrobků. Vynálezu však lze využít také u jiných strojních součástí ve tvaru dutých těles.

Rozprašování pevných terčů za sníženého tlaku se obvykle provádí v diodových nebo magnetronových systémech. Diodové rozprašování se provádí při poměrně vysokém napětí, to znamená několik kilovoltů, bez magnetického pole, přičemž předmět, na němž se vytváří povlak, je v přímém styku s plazmatem. Magnetronový systém rozprašování pracuje při relativně nízkém napětí do 500 V a předmět, na němž se vytváří povlak, se umísťuje mimo výboj. Pro povlakování vnitřních ploch dutých těles o malých rozměrech, s dostatečnou rychlostí růstu vrstev, nelze použít žádnou z uvedených metod v běžně známém provedení.

Jeden ze známých způsobů zvýšení trvanlivosti součástí strojů, zejména součástí z hliníkových slitin pro textilní

stroje, ochrannou vrstvou na jejich povrchu, vytvořenou z otěruvzdorných a mechanicky odolných látek, je předmětem vynálezu podle autorského osvědčení č. 233 355.

Podle tohoto vynálezu se tyto otěruvzdorné a mechanicky odolné látky vytvářejí v reaktoru z plynné pracovní směsi působením izotropního nebo magnetoaktivního plazmatického výboje na plynou směs za sníženého tlaku a při teplotách nižších, než je teplota tání materiálu součásti, přičemž se podle potřeby řídí poloha a teplota součástí umístěných v reaktoru a aktivovaná i neutrální složka plyné pracovní směsi se podle potřeby směřuje vzhledem k součástem. Plyná pracovní směs se v první alternativě v reaktoru vytvoří z inertního a/nebo reaktivního plynu a z částic alespoň jednoho pevného terče jeho rozprašováním magnetronovým systémem. - Ve druhé alternativě se plyná pracovní směs vytvoří promícháním alespoň jednoho neutrálního plynu s alespoň jedním plynem aktivovaným izotropním nebo magnetoaktivním plazmatickým výbojem.

Podle amerického patentu USP 4 013 532 je chráněn způsob a zařízení pro povlakování substrátu vrstvou polymerovaného materiálu při současné polymeraci výbojem a rozprašováním. V komoře, již lze evakuovat, je umístěn substrát a dvě elektrody. Do komory se vhání příslušný plyn, který může vytvořit polymer, a vytvoří se v plynu výboj. Molekuly plynu a reakční zplodiny vzniklé ve výboji se ukládají na elektrody a na substrát. Materiál uložený alespoň na jedné z obou elektrod je naprašován na substrát vlivem elektrického pole, s výhodou stejnosměrného, mezi elektrodami. Výboj je s výhodou omezen na oblast blízkou elektrodě, jež se rozprašuje. Toto vymezení může být doplněno použitím rozprašované elektrody planárního magnetronu. Tento způsob a zařízení umožňují rychlé povlakování vysoce kvalitním polymerem při nízkých tlacích plynu.

Podle amerického patentu USP 4.026 787 je chráněn způsob a zařízení pro povlakování tenkou vrstvou, filmem, substrátu v tlakové nádobě s využitím plazmatického rozprašování. Substráty jsou uspořádány vně válcového rotujícího bubnu, přičemž během rotace je konvexní povrch bubnu vystaven plazmatu, ve kterém se rozprašují terčové segmenty. Soubor více na povrchu umístěných obloukových terčových segmentů tvoří v podstatě válec a je uspořádán souose a teleskopicky vzhledem k bubnu. Terčové segmenty jsou katodou vysokonapěťového elektrického obvodu a buben jeho anodou.

Plocha terčové jednotky je větší než plocha vystavených substrátů, což umožňuje při radiálním šíření plynného plazmatu vysokou rovnoměrnost povlaku.

Podle amerického patentu USP 4,013 539 je chráněn způsob a zařízení pro depozici tenkého filmu na substrát, který - například ohebný plastický film - je transportován po stočené dráze v tlakové nádobě, v níž je podroben depozičním účinkům, které například jsou vytvořeny naprašováním ve vysokofrekvenčně generovaném plazmatu. Šroubovicová dráha je upravena tak, že substrát je vystaven depozičním účinkům vícekrát, při rychlostech depozice, které jsou mnohem vyšší než dosud známé. Účinné chlazení je dosaženo magnetickým rozmitáním elektronů od substrátu.

Podle amerického patentu USP 4 046 659 je chráněn způsob a zařízení pro povlakování substrátu, při němž se vytváří izolační vrstva na jedné části vodivého terče a druhá část terče se udržuje bez izolační vrstvy iontovým bombardováním. Vodivý terč je na střídavém elektrickém potenciálu dostatečně vysokého kmitočtu, aby se vyloučilo tvoření oblouků, avšak ne tak vysokého, aby bylo nutno užít impendančně přizpůsobovací techniky; kmitočet je tedy v rozsahu od 400 Hz do 60 000 Hz. Zařízení sestává z evakuované komory, v níž je anoda, terč z vodivého materiálu a substrát; v komoře je předepsaný parciální tlak reakčního plynu, který tvoří izolační složku pro reakci s terčem. Dále obsahuje katodu magnetronového zařízení,

kteřé vytváří erozní oblast pouze na části terče a zdroj elektrického střídavého napětí o kmitočtu 400 Hz až 60 000 Hz, který je spojen s anodou a terčem pro rozprašování materiálu z terče. Terč je planární a zařízení je taktéž magnetronové planární katodové zařízení.

Podle amerického patentu USP 4 116 791 je chráněn způsob a zařízení pro vytvoření povlaku iontovým plátováním s použitím magnetronového katodového terče jako zdroje povlakového materiálu. Substrát k povlakování technikou iontového plátování se umístí v blízkosti nebo na první katodě proti druhé katodě v prostoru obsahujícím vzácný plyn, přičemž druhá katoda tvoří terč z povlakovaného materiálu. Je použito relativně vysokého záporného předpětí vůči katodě, vzhledem k uzemněné komoře, které generuje obloukový výboj pro iontové čištění substrátu. Rozprašování je zesíleno toroidálním magnetem na odvrácené straně druhé katody od první katody, jejíž siločáry pronikají terčem a uzavírají se v mezikatodovém prostoru a tvoří nekonečnou dráhu cirkulujících elektronů. Během čištění je substrát chráněn proti předčasnému ukládání částic současným umístěním přepážky, clony, mezi substrát a terč nebo přemístěním substrátu dále od aktivní části druhé katody. Elektrickým vybuzením druhé katody se vytvoří povlak z materiálu terče na vyčištěném substrátu.

Podle amerického patentu USP 4 066 037 je chráněno zařízení pro deponování dielektrických filmů s použitím doutnavého výboje. Zařízení vytváří hustý a těsně přiléhavý dielektrický film na povrchu vodičů, polovodičů a izolátorů. Zařízení je sestaveno z reakční komory, do níž se napouští dispergovaný plyn a vybudí se vysokofrekvenčním polem, aby vznikla vysocí zářivá zona doutnavého výboje mezi stěnami komory. Separátně se napustí jiný plyn, který je dispergován po proudu ze zóny doutnavého výboje ihned po vytvoření povlaku na substrátu.

Podle německého patentového spisu DOS 2 656 821 je chrá-

něno zařízení a způsob nanášení filmu na substrát. Zařízení je vytvořeno z reakční komory, čerpacího zařízení, držáku substrátu v reakční komoře, prostředků pro přívod jednoho prvního a jednoho druhého plynu do reakční komory a konečně ze zařízení, které obklopuje reakční komoru a je určeno pro ionizaci plynu a vznik vysokofrekvenční výbojové zóny v reakční komoře.

Podle tohoto patentu je první plyn vhodným zařízením do reakční komory rozveden a vybuzen budícím zařízením do vysokofrekvenčního výboje; držák substrátu je upraven pod výbojovou zónou a vhodné zařízení nad držákem substrátu a pod výbojovou zónou rozděluje druhý plyn uvnitř reakční komory takovým způsobem, že vybuzený první plyn a druhý plyn reagují v blízkosti nosiče substrátu a na substrát je takto nanesen film. Držák substrátu je opatřen kovovou deskou pro upevnění substrátu a žhavicí zařízení pro udržení teploty kovové desky nad 200°C . Zařízení pro vybuzení plynu je vytvořeno z cívky navinuté na část reakční komory. Zařízení pro rozdělení obou plynů v reakční komoře jsou dvě, jsou cylindrické a opatřené otvory.

Způsob podle uvedeného patentu se týká nanášení filmu na substrát, který je umístěn v reakční komoře, v níž je nízký tlak, a do níž se přivádějí plyny a je zavedeno vysokofrekvenční pole, aby se vytvořila uvnitř reakční komory výbojová zóna. První plyn je vybuzen výbojovou zónou a druhý plyn se rozvádí v reakční komoře pod výbojovou zónou a bezprostředně nad substrátem, kde reaguje s vybuzenými částicemi prvního plynu a tím se vytváří film. Substrát je přitom ohříván na teplotu nad 200°C . Prvním plynem je dusík nebo argon. Druhým plynem je binární směs silanu a vzácného plynu, argonu nebo helia. Podle patentu je dále prvním plynem dusík a druhým plynem binární směs 1,5 % objemu silanu v argonu nebo 3 % objemu silanu v argonu nebo 1,5 % objemu silanu v heliu.

Podle německého patentového spisu DOS2736514 je chráněn způsob a zařízení pro nanášení uhlíkatého materiálu na jeden povrch. Způsob je vyznačen tím, že se povrch substrátu vystaví ionizované plynné atmosféře vytvořené v plynu, obsahující uhlík a vodík, přičemž na povrch substrátu je přiloženo elektrické napětí pomocí kapacitního zařízení a polarita tohoto napětí se mění v intervalech od 5×10^{-9} sekundy do 10^{-6} sekundy. Ve druhé alternativě je chráněn způsob nanášení uhlíkatého materiálu, který je vyznačen tím, že povrch je spojen kapacitním zařízením a jednou svorkou zdroje elektromagnetického pole o kmitočtu od 0,5 do 100 MHz, zatímco druhá svorka tohoto zdroje je spojena s elektrodou umístěnou v odstupu od povrchu a do blízkosti tohoto povrchu se přivádí plyn obsahující uhlík a vodík při tlaku nižším než atmosférickém, čímž se vytváří v blízkosti povrchu ionizovaná plynná atmosféra. Při třetí alternativě způsobu podle patentu je chráněn způsob nanášení uhlíkatého materiálu na dva od sebe vzdálené povrchy. Tento způsob je vyznačen tím, že každý povrch je spojen příslušným kapacitním zařízením s odpovídající svorkou zdroje elektromagnetického pole o kmitočtu od 0,5 do 100 MHz a do blízkosti povrchu se přivádí opět plyn obsahující uhlík a vodík při tlaku nižším nežli atmosférickém, čímž se vytváří v blízkosti obou povrchů atmosféra ionizovaného plynu. Při čtvrté alternativě způsobu podle patentu je chráněn způsob podle první a druhé alternativy s tím rozdílem, že povrch je kapacitním zařízením spojen s jednou svorkou prvního zdroje elektromagnetického pole, jehož druhá svorka je spojena s elektrodou a v plynu je vytvářena ionizovaná plynná atmosféra cívkou, jež obepíná povrch; tato cívka je připojena ke druhému vysokofrekvenčnímu zdroji. Při páté alternativě způsobu podle patentu je chráněn způsob podle první a druhé alternativy s tím rozdílem, že ionizace plynné atmosféry se dociluje rozežhaveným drátem nebo vláknem a další elektrodou vzdáleně umístěnou. Při šesté

alternativě je použito jako plynu uhlovodíku. Při sedmé alternativě způsobu podle patentu je jako uhlovodíku použito butanu. Při osmé alternativě způsobu podle patentu je chráněn způsob podle šesté alternativy, při němž je povrch udržován na pokojové teplotě a jednotka rozsahu terčového zařízení, připadající na jednotku sníženého tlaku zavedeného vstupního výkonu je menší než $20 \text{ W.cm}^{-2}.\text{Torr}^{-1}$. Při deváté alternativě způsobu je chráněn způsob podle šesté alternativy, při němž je povrch udržován na teplotě místnosti a vstupní výkon, který je přiváděn na jednotku terčového rozsahu, připadající na jednotku redukováného tlaku, je mezi 20 a $200 \text{ W.cm}^{-2}.\text{Torr}^{-1}$. Při desáté alternativě způsobu podle patentu je chráněn způsob podle šesté alternativy, při němž vstupní výkon na jednotku redukováného tlaku přiváděný jednotkovému rozsahu terče je větší než $200 \text{ W.cm}^{-2}.\text{Torr}^{-1}$.

Zařízení pro provádění uvedeného způsobu podle patentového spisu DOS 27 36 514 je vyznačeno tím, že je vytvořeno držákem k upevnění substrátu, na jehož povrch má být nanesen uhlikatý materiál, dále zdrojem elektrického napětí spojeným s držákem substrátu, přičemž toto napětí mění polaritu v intervalech od 5×10^{-9} do 10^{-6} sekundy, a konečně zařízením pro vytvoření ionizované plyné atmosféry v okolí povrchu substrátu.

Podle německého patentového spisu DOS 29 19 191 je chráněn způsob nanášení otěruvzdorného materiálu na trubice, zejména na trubičky psacích trubičkových per. Způsob je vyznačen tím, že se trubička po očištění povrchu vloží do vakua a podrobí otáčivému pohybu; povlakový materiál ve tvaru terče planárního rozprašovacího magnetronového systému se umístí v blízkosti trubičky ve vakuu s připojením elektrického napětí se rozprašuje. Otěruvzdorný materiál se usadí na trubičkách a vytvoří vrstvu. Terč je připojen k magnetronu vysokofrekvenčnímu nebo stejnosměrnému. Povlakovým materiálem je karbid křemíku SiC, kysličník hliníku

Al_2O_3 , karbid wolframu WC, chrom Cr, kobalt Co - chrom Cr nebo Ruthenium Ru - chrom Cr. Povlakování se děje rychlostí 150 Å za minutu. Po dobu otáčivého pohybu trubiček je na ně přiloženo elektrické předpětí -25 V až -100 V. Do evakuovaného prostoru se napouští vodík, dusík, kyslík, argon a/nebo acetylen, přičemž se napouští alespoň dva plyny. Trubičky jsou uloženy v otáčivém bubnu, jehož teplota se řídí vodním chlazením. Čištění trubiček se provádí v kyslíkovém plazmatu, přičemž toto čištění pokračuje až do výrazného snížení obsahu vodíku H_2 -, uhlíku C-, dusíku N_2 -, hydroxydu OH- a vody H_2O -, což se projeví zmizením píků v záznamu analýzy jejich přítomnosti.

Nevýhody a nedostatky dosud známých způsobů a zařízení jsou ve velké míře zmírněny nebo zcela odstraněny vynálezem způsobu a zařízení pro vytváření tenkého nemagnetického povlaku o tloušťce řádu mikrometru na vnitřním povrchu dutého tělesa magnetronovým rozprašováním pevného terče uvnitř tělesa.

Podstatou způsobu podle vynálezu je, že se těleso, jehož teplotu lze řídit, s dutinou určenou k povlaku, umístí do odčerpávané nádoby, do níž se přivádějí pracovní plyny, a v dutině tělesa se umístí katoda magnetronového rozprašovacího systému ve tvaru pevného terče, který se rozprašuje ve výboji za sníženého tlaku od 10^{-3} Pa do 10^2 Pa v inertním plynu nebo ve směsi inertního a reaktivního plynu, přičemž těleso je v kontaktu s výbojem a jeho potenciál se udržuje kladnější nejméně o 5 V vzhledem k potenciálu anody nasazené přes izolační podložky na katodu rozprašovacího magnetronového systému.

Podstatou zařízení pro provádění způsobu podle vynálezu je reakční nádoba opatřená jednak čerpacím výstupem, k němuž je připojeno čerpací zařízení, jednak přívodem pracovního plynu. Podle vynálezu je reakční nádoba umístěna uvnitř cívky elektromagnetu, jejíž svorky jsou připojeny k elektrickému zdroji. Uvnitř reakční nádoby je upevněno těleso s dutinou, v níž je umístěn rozprašovací magnetronový systém upevněný

v první vakuové těsné průchodce v horní stěně reakční nádoby. Ve spodní stěně reakční nádoby je upravena jednak druhá vakuově těsná průchodka pro přívod ke kladné svorce zdroje předpětí k tělesu s dutinou, jednak třetí vakuově těsná průchodka a čtvrtá vakuově těsná průchodka pro přívody měřiče teploty k termočládku připojenému k tělesu s dutinou. Kladná svorka elektrického napájecího zdroje je spojena se zápornou svorkou zdroje předpětí a zároveň s přívodem k anodám rozprašovacího magnetronového systému, provlečeným pátou vakuově těsnou průchodkou v horní stěně reakční nádoby. Záporná svorka elektrického napájecího zdroje je spojena zvenčí přímo s katodou rozprašovacího magnetronového systému.

Podle vynálezu sestává rozprašovací magnetronový systém z katody ve tvaru pevného válcového terče, opatřeného prvním katodovým diskem v úrovni horního okraje tělesa s dutinou a druhým katodovým diskem v úrovni dolního okraje tělesa s dutinou, a z alespoň jedné první diskové anody nasazené přes první dielektrickou vložku nad prvním katodovým diskem na pevný válcový terč a/nebo z alespoň jedné druhé diskové anody nasazené přes druhou dielektrickou vložku pod druhým katodovým diskem na spodní konec pevného válcového terče.

Podle vynálezu je šířka mezikruží katodových disků rovná nejméně trojnásobku Larmorovského poloměru elektronů, tedy hodnotě $3 \times 34 \sqrt{W/H}$ v milimetrech, přičemž W je energie elektronů v elektronvoltech a H je intenzita magnetického pole v Oerstedech na povrchu katody rozprašovacího magnetronového systému.

Způsob a zařízení podle vynálezu pro vytváření tenkého nemagnetického povlaku na vnitřním povrchu dutého tělesa magnetronovým rozprašováním představují nové řešení, které lze označit jako modifikovanou magnetronovou depozi-

ci vrstev. Tento nový způsob a zařízení pro jeho provádění přinášejí více předností a výhod: vrstvy lze vytvářet v poměrně malých dutinách, jejichž rozměr je omezen pouze rozměry magnetronového rozprašovacího systému, vytvořené vrstvy mají tloušťku řádu mikrometrů, dokonale kopírují povrch uvnitř dutiny, přičemž vytvořený povlak prakticky nemění rozměry součástky. Vlivem toho není zapotřebí na takové součástce provádět žádné další povrchové úpravy. Vytvoření povlaku je tudíž konečnou, poslední operací při výrobě součástky. Při rozprašování terče v inertaí atmosféře se vytvářejí vrstvy, které mají totéž složení, jako má terč. Při rozprašování terče ve směsi inertaího a reaktivního plynu je možno vytvářet vrstvy, které jsou sloučeninami prvků obsažených v rozprašovaném terči, například nitridy, oxidy, karbidy, boridy, oxinitridy a další sloučeniny. Vlastnosti takových vrstev a jejich stechiometrií lze měnit v širokém rozsahu jednoduchou změnou podmínek při jejich vytváření, tedy například změnou teploty, změnou předpětí povlakované součástky, dále změnou druhu reaktivního plynu, parciálního tlaku reaktivního plynu, změnou výbojového proudu a podobně. Další velkou předností je možnost vytváření vrstev při teplotách nižších nežli 300 °C. Obecně je možno povlakovanou součástku během vytváření vrstev buď ochlazovat, nebo naopak ohřívat a její teplotu udržovat na předem zvolené hodnotě. Změnou podmínek, to je parametrů při vytváření vrstev, lze snadno vytvářet vrstvy s plynule nebo skokem proměnnými vlastnostmi a parametry.

Při změně druhu reaktivního plynu skokem je možno na součástce vytvořit vícevrstvý povlak, například složený z vrstvy karbidu titanu TiC a z vrstvy nitridu titanu TiN . Tento dvouvrstvý povlak se vytvoří v rozprašovacím systému, v němž je pevný terč z titanu Ti , prostou záměnou acetylenu C_2H_2 dusíkem N_2 ve směsi pracovního plynu. Kombinace různých

vrstev v povlaku nachází v poslední době značného využití zejména v aplikacích za účelem snížení abrazivního otěru; kombinace vrstev různého složení umožňuje vytvářet povlaky, které plní různé požadavky na mechanické, chemické a fyzikální vlastnosti součástky.

Jistým omezením způsobu a zařízení pro jeho provádění podle vynálezu je skutečnost, že lze provádět povlaky pouze z nemagnetických materiálů.

Podstata vynálezu je dále objasněna pomocí výkresu, na němž je znázorněno zařízení pro vytváření tenkého nemagnetického povlaku o tloušťce jednotek mikrometru na vnitřním povrchu dutého tělesa malých rozměrů magnetronovým rozprašováním pevného terče. Toto zařízení sestává z reakční nádoby 1, umístěné v dutině cívky 2 elektromagnetu a opatřené jednak čerpacím výstupem 3, připojeným k čerpacímu zařízení 4, jednak přívodem 5 pracovního plynu 6. K zařízení přísluší elektrický napájecí zdroj 7, elektrický zdroj 8 předpětí a měřič 9 teploty. Uvnitř reakční nádoby 1 je umístěn rozprašovací systém, který je do ní zaveden první vakuově těsnou průchodkou 10 v horní čelní stěně. Těleso 11 s dutinou, které je umístěno uvnitř reakční nádoby 1, je opatřeno jednak přívodem 12 k elektrickému zdroji 8 předpětí procházejícím druhou vakuově těsnou průchodkou 13, jednak termočlánkem 14, jehož dva přívody jsou provlečeny třetí a čtvrtou vakuově těsnými průchodkami 15, 16. Do první vakuově těsné průchodky 10 je vložena katoda, to znamená pevný válcový terč 17, tvořený trubicí vodivě spojenou se dvěma katodovými disky 18, 19. První katodový disk 18 a druhý katodový disk 19 jsou tvořeny mezikružím o šířce 20 rovné alespoň trojnásobku larmorovského poloměru elektronů.

Uvedený larmorovský poloměr r_e elektronů v milimetrech je určen vztahem $r_e = 34 \sqrt{W/H}$, přičemž W je energie elektronů v elektronvoltech a H je intenzita magnetického pole v Oerstedech na povrchu terče. V typických podmínkách je hodnota W energie elektronů v rozsahu od 0,1 do 10 eV,

hodnota H intenzity magnetického pole v rozsahu 100 až 1000 Oe, a proto hodnota r_e bývá 10^{-2} až 1,0 mm. Šířka mezikruží je tedy obvykle dostatečná a činí cca 3 mm. Průměr vlastního terče je dán možnostmi konstrukce intenzivního chlazení z důvodu proudové zatížitelnosti terče a je běžně větší než cca 5 mm. Celkový průměr katody v místě disku je tedy minimálně 11 mm a při uvážení diskové anody je celkový minimální průměr magnetronového rozprašovacího systému cca 15 mm, což je rovněž přibližně průměr dutiny, kterou lze povlakovat.

Do válcového terče 17 je vložena trubice 21 pro chladící médium 22, například vodu. Oba katodové disky jsou od sebe vzdáleny v míře odpovídající svislému rozměru tělesa 11, vloženého do reakční nádoby 1 a určeného k povlaku vnitřního povrchu 23, to znamená povrchu jeho dutiny. Na katodové disky 18, 19 jsou přes dvě dielektrické kotoučové vložky 25, 26, nasazeny dvě diskové anody 27, 28. V případě uzavřených dutin je však možno použít systému pouze s jednou anodou. Záporná svorka elektrického napájecího zdroje 7 je připojena k pevnému válcovému terči 17 a kladná svorka zdroje 7 je přívodem skrz pátou vakuově těsnou průchodku 29 v horní čelní stěně reakční nádoby 1 spojena s oběma diskovými anodami 27, 28. Cívka 2 elektromagnetu je připojena k vlastnímu elektrickému zdroji přívody a svorkami 30, 31.

Způsob vytváření tenkého nemagnetického povlaku podle vynálezu spočívá v modifikaci magnetronového rozprašování, kdy pevný terč, tj. katoda ve tvaru válce malého průměru, to znamená do průměru cca 10 mm, se magnetronovým způsobem rozprašuje při výbojovém napětí cca 500 V přímo uvnitř povlakovaného tělesa, například strojní součásti. Depozice vrstvy se však provádí v těsné blízkosti rozprašovaného terče, tedy přímo v oblasti výboje. Při takovém uspořádání dochází i k silnému rozprašování vytvářené vrstvy iontovým bombardem, protože součásti se při vytváření vrstvy nabíjejí na záporný potenciál vzhledem k plazmatu, a to je důvodem

přitahování kladných iontů a rozprašování vytvářené vrstvy. Rozprašování vrstev lze zabránit přiložením kladného předpětí na kovovou součást vzhledem k anodě rozprašovacího systému, která bývá obvykle uzeměna. Experimentálně se zjistilo, že při kladném předpětí okolo +5 V nebo větším, lze na vnitřním povrchu, tedy v dutinách kovových předmětů vytvářet kvalitní tenké dielektrické vrstvy s dobrou adhezí. Rozprašování pevného válcového terče se děje za sníženého tlaku 10^{-3} až 10^{-2} Pa v inertním plynu nebo ve směsi inertního a reaktivního plynu. Vytvořené vrstvy jsou tenké, tloušťka činí několik mikrometrů; vrstvy dokonale kopírují povlakovaný povrch součásti. Vlivem toho povlak nemění prakticky rozměry součástí, a proto není zapotřebí provádět další povrchovou úpravu. Vytvoření povlaku je finální operací při výrobě součástí.

Způsob vytváření vrstev je založen na rozprašování pevného terče v plazmatu a kondenzaci směsi neutrálních atomů a iontů materiálu terče na povrchu povlakované součásti, případně reakci těchto částic s reakčním plynem před kondenzací a během kondenzace na povrchu součásti. Při rozprašování terče v inertní atmosféře se vytvářejí vrstvy stejného složení jako má pevný terč. Při rozprašování terče ve směsi inertního a reaktivního plynu lze vytvářet vrstvy, jež jsou sloučeninami prvků obsažených v rozprašovaném terči, například nitridy, oxidy, karbidy, boridy, oxinitridy a další sloučeniny. Vlastnosti vrstev a jejich stehionatrií lze v širokém rozsahu měnit jednoduchou změnou depozičních podmínek jako například teplotou nebo předpětím na povlakované součásti, druhem reaktivního plynu, parciálním tlakem reaktivního plynu, výbojovým proudem a tak podobně.

Činnost zařízení podle vynálezu: rozprašovací systém je vytvořen z katody, sestávající z pevného válcového terče 17, prvního katodového disku 18 a druhého katodového disku 19. Pevný válcový terč 17 je vytvořen z trubice, do níž je vložena druhá trubice 21 pro chladicí médium 22. Po vyčerpání re-

akční nádoby 1 čerpacím zařízením 4 na vakuum řádu alespoň 10^{-4} . Pa se do ní za stálého čerpání přívodem 5 napouští pracovní plyn, jímž je buď čistý inertní plyn, nebo jeho směs s reaktivním plynem. Zapnutím elektrického napájecího zdroje 7 se přivedou na jednu nebo dvě diskové anody 27, 28 a na katodu 17, 18, 19 odpovídající napětí. Zapnutím elektrického zdroje 8 předpětí se těleso 11 s dutinou uvede na potenciál vyšší, než je potenciál anody, asi o 5 V, přitom záporná svorka zdroje 8 je spojena s kladnou svorkou zdroje 7. Po zapnutí zdroje proudu cívky 2 elektromagnetu se vytvoří magnetické pole, jehož siločáry jsou rovnoběžné s povrchem pevného válcového terče 17, tedy katody; toto magnetické pole je zkříženo s elektrickým polem mezi oběma diskovými anodami 27, 28 a katodou 17, 18, 19. V pracovním plynu se po zapnutí zdroje 7 vytvoří výboj, jehož kladné ionty bombardují a rozprašují pevný válcový terč 17. Částice materiálu rozprášeného terče reagují s reaktivním plynem, kondenzují na vnitřním povrchu 23 tělesa 11 s dutinou a vytvářejí tenkou vrstvu povlaku 24.

Činnost zařízení byla vyzkoušena při povlakování vnitřních ploch duralových trubek tenkou vrstvou nitridu titanu TiN, přičemž pracovním plynem byla směs argonu a dusíku. Vytvořené vrstvy měly dobrou adhezi, tloušťku cca 1 mikrometr a byly deponovány při teplotách 100 až 200 °C rychlostí cca 50 nanometrů za 1 minutu. Povlakované těleso 11 s dutinou lze během depozice ochlazovat i ohřívat a jeho teplotu lze udržovat na předem zvolené hodnotě. K tomu účelu je zařízení vybaveno termočlánkem 14, připojeným k měřiči 9 teploty. Zařízení umožňuje v širokém rozsahu měnit vlastnosti vytvářených vrstev regulací velikosti předpětí povlakovaného tělesa 11 s dutinou, dále velikostí výbojového proudu, parciálním tlakem reaktivního plynu a jeho druhem.

Změnou uvedených parametrů během depozice lze snadno vytvářet vrstvy s plynule nebo skokem proměnnými parametry a vlastnostmi. Při změně druhu reaktivního plynu skokem lze na tělese, na součásti vytvořit vícevrstvé povlaky, například

povlak z vrstev karbidu titanu TiC a nitridu titanu TiN . Takový povlak lze vytvořit rozprašovacím systémem s titanovou katodou prostou záměnou acetylenu C_2H_2 dusíkem N_2 ve směsi pracovního plynu. Povlaky tohoto typu jsou výhodné v aplikacích vyžadujících snížení abrazivního otěru.

Možnosti využití vynálezu jsou široké, neboť vynález pomáhá odstraňovat nízkou odolnost extrémně namáhaných vnitřních ploch strojních součástek, vyrobených z měkkých, většinou hliníkových slitin, pokrýváním namáhaných ploch otěruvzdornými, mechanicky a/nebo tepelně odolnými, samomaznými nebo jinými tenkými povlaky. Přitom je možné tyto tenké povlaky účinně vytvářet způsobem a zařízením podle vynálezu jak v dutinách těles, tak také na vnějším povrchu těles. Důležitá výhoda vynálezu, to je možnost vytváření povlaků složených z více vrstev, jež jsou různého složení a druhu, ještě více rozšiřuje rozsah využití vynálezu, neboť je možno vytvářet povlaky, které splňují velmi různé požadavky na mechanické, chemické a fyzikální vlastnosti strojní součástky. Je tedy vynález využitelný jak ve všeobecném strojírenství, tak zejména v textilních strojích, v chemickém průmyslu, v elektrotechnickém průmyslu, v jaderné technice, v potravinářství, ve zdravotnictví a podobně.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Způsob vytváření tenkého nemagnetického povlaku 248 804
na vnitřním povrchu dutého tělesa magnetronovým rozprašováním pevného terče uvnitř tělesa, vyznačený tím, že se těleso, jehož teplotu lze řídit, s dutinou určenou k povlaku, umístí do odčerpávané nádoby, do níž se přivádějí pracovní plyny, a v dutině tělesa se umístí katoda magnetronového rozprašovacího systému ve tvaru pevného terče, který se rozprašuje ve výboji za sníženého tlaku od 10^{-3} Pa do 10^2 Pa v inertním plynu nebo ve směsi inertního a reaktivního plynu, přičemž těleso je v kontaktu s výbojem a jeho potenciál se udržuje kladnější nejméně o 5 V vzhledem k potenciálu anody nasazené přes izolační podložky na katodu rozprašovacího magnetronového systému.
2. Zařízení pro provádění způsobu podle bodu 1, vytvořené z reakční nádoby opatřené jednak čerpacím výstupem, k němuž je připojeno čerpací zařízení, jednak přívodem pracovního plynu, vyznačené tím, že reakční nádoba je umístěna uvnitř cívky /2/ elektromagnetu, jejíž svorky /30,31/ jsou připojeny k elektrickému zdroji, přičemž uvnitř reakční nádoby /1/ je upevněno těleso /11/ s dutinou, v níž je umístěn rozprašovací magnetronový systém upevněný v první vakuově těsné průchodce /10/ v horní stěně reakční nádoby /1/, zatímco ve spodní stěně reakční nádoby /1/ je upravena jednak druhá vakuově těsná průchodka /13/ pro přívod ke kladné svorce zdroje /8/ předpětí k tělesu /11/ s dutinou, jednak třetí vakuově těsná průchodka /15/ a čtvrtá vakuově těsná průchodka /16/ pro přívody měřiče /9/ teploty k termočlánku /14/ připojeném k tělesu /11/ s dutinou, kladná svorka elektrického napájecího zdroje /7/ je spojena se zápornou svorkou zdroje /8/ předpětí a zároveň s přívodem k anodám rozprašovacího magnetronového systému, provlečeným pátou

vakuově těsnou průchodkou (29) v horní stěně reakční nádoby (1), a konečně záporná svorka elektrického napájecího zdroje (7) je spojena zvenčí přímo s katodou rozprašovacího magnetronového systému.

3. Zařízení podle bodu 2, vyznačené tím, že rozprašovací magnetronový systém sestává z katody ve tvaru pevného válcového terče (17), opatřeného prvním katodovým diskem (18) v úrovni horního okraje tělesa (11) s dutinou a druhým katodovým diskem (19) v úrovni dolního okraje tělesa (11) s dutinou, a z alespoň jedné první diskové anody (27) nasazené přes první dielektrickou vložku (25) nad prvním katodovým diskem (18) na pevný válcový terč (17) a/nebo z alespoň jedné druhé diskové anody (28) nasazené přes druhou dielektrickou vložku (26) pod druhým katodovým diskem (19) na spodní konec pevného válcového terče (17).
4. Zařízení podle bodů 2 a 3, vyznačené tím, že šířka (20) mezikruží katodových disků (18, 19) je rovna nejméně trojnásobku Larmorovského poloměru elektronů, tedy hodnotě $3 \times 34 \sqrt{W/H}$ v milimetrech, přičemž W je energie elektronů v elektronvoltech a H je intenzita magnetického pole v Oerstedech na povrchu katody rozprašovacího magnetronového systému.

1 výkres

