

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

27 173

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

H05H 1/34

(2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2014-29510**
(22) Přihlášeno: **29.04.2014**
(47) Zapsáno: **14.07.2014**

(73) Majitel:
Vysoké učení technické v Brně, Brno, CZ

(72) Původce:
doc. RNDr. František Krčma, Ph.D., Brno-
Žabovřesky, CZ

(54) Název užitného vzoru:
**Systém trysky pro generování plazmatu v
kapalinách**

CZ 27173 U1

Systém trysky pro generování plazmatu v kapalinách

Oblast techniky

Technické řešení se týká systému trysky pro generování plazmatu v kapalinách.

Dosavadní stav techniky

5 V současné době existuje celá řada systémů pro generování plazmatu za nejrůznějších podmínek. Vzhledem k jednoduchosti a s tím souvisejícímu aplikačnímu potenciálu jsou velmi významnou
oblastí elektrické výboje realizované za atmosférického tlaku. Těchto výbojů existuje dnes celá
řada a liší se jak svým principem, tak i konfigurací elektrod a možnostmi napájení. Mezi těmito
výboji hrají velmi významnou roli i nejrůznější plazmové trysky, v nichž je plazma vyfukováno
10 zpravidla z modifikované kapiláry do okolního, zpravidla plynného, prostředí. Obvykle je jako
plyn, v němž je generováno plazma, využíván argon, případně helium, s nejrůznějšími příměsemi
reaktivních plynů (dusík, kyslík, organické těkavé prekurzory, atd.). Specifická situace nastává,
je-li plazma elektrického výboje v kontaktu s kapalinou, neboť vysoce energetické aktivní částice
15 přítomné v plazmatu (elektrony, ionty, atomy, radikály, atd.) mohou iniciovat celou řadu che-
mických procesů v kapalně fázi s v současnosti jen obtížně předvídatelnými výsledky a důsledky.

V posledních několika letech se kromě elektrických výbojů generovaných v plynech dostávají do
popředí zájmu i systémy, v nichž je plazma generováno přímo v kapalně fázi. Zde, s ohledem na
podstatně vyšší hustotu prostředí a odlišné elektrické vlastnosti kapalin, je zpravidla nezbytné
využívat silně nehomogenní elektrické pole. Typickými konfiguracemi elektrod jsou proto hrot-
20 rovina, případně koaxiální konfigurace, a to v obou polaritách. Méně typická, nicméně použi-
telná, je i konfigurace pin-hole, kdy jsou elektrodové prostory odděleny dielektrickou přepážkou
z vhodného materiálu, v níž je malý otvor. Podle poměru jeho délky k průměru pak rozlišujeme
diafragmový, kdy poměr je přibližně jedna a kapilární výboj, kdy délka je podstatně větší, nežli
činí průměr otvoru. Elektrické výboje generované pod hladinou kapaliny (zpravidla tvořené různými
25 částečně vodivými vodnými roztoky) jsou zpravidla napájeny pulzně, a to jak stejno-
směrně, tak i střídavě až po oblast mikrovln.

Princip generování vlastního elektrického výboje v kapalně fázi není dosud zcela uspokojivě
vysvětlen. Existují dvě základní teorie. První z nich, tzv. elektronová teorie, předpokládá, že
k průrazu (a tedy vzniku výboje) dochází stejným principem jako v plynech, tedy generováním
30 laviny elektronů. Struktura výboje je pak obdobná jako u koronového výboje generovaného
v plynech. Druhá, tzv. tepelná teorie, je založena na předpokladu, že kapalina je v místech s vy-
sokou intenzitou elektrického pole (a tedy i vysokou hustotou elektrického proudu) lokálně
přehřívána, vznikají mikrobubliny a v nich pak dochází k elektrickému průrazu a vzniku výboje.
Ten pak má za následek expanzi mikrobubliny. Poslední výsledky ukazují, že snad s výjimkou
35 velmi krátkých nanosekundových pulzních výbojů je primární generování mikrobublin, ovšem na
druhé straně jsou známy výsledky, kdy plazma generované v bublinách propaguje do okolní
kapaliny spíše ve shodě s elektronovou teorií. Bez ohledu na vlastní detailní princip elektrického
průrazu v kapalině lze konstatovat, že plazma lze v kapalinách generovat s užitím různých
elektrodových konfigurací i způsobů elektrického napájení.

40 V současné době existuje celá řada různých laboratorních uspořádání pro generování plazmatu
v kapalinách. Jediným známým komerčně dostupným zařízením je Arthrocare. Zkušenosti při
práci s tímto zařízením však ukazují poměrně malou životnost vlastní hlavy, v níž je plazma
generováno, a rovněž poměrně malý výkon (jednotky watů), který nemusí být vždy dostačující
pro aplikace.

45 Podstata technického řešení

Výše uvedené nedostatky řeší systém trysky pro použití ke generování plazmatu v kapalinách
podle vynálezu, sestávající z dielektrické válcové tyče o vnějším průměru nejméně 1 mm na jed-

nom konci volitelně kónicky zkosené, v jejíž podélné ose je vytvořen po celé její délce otvor, do něž je vsunuta z nekónického konce kovová elektroda tak, že mezi jejím koncem a druhým koncem dielektrické válcové tyče je vytvořen volný prostor. Keramická válcová tyč je z části volitelně opatřena teflonovým pouzdrům a dále sestává z druhé elektrody, která může být koaxiálně upevněná na keramické válcové tyči, přičemž jedna z elektrod je uzemněná a válcová tyč i obě elektrody jsou ponořeny do kapaliny o vodivosti 10 až 15 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Válcová tyč je výhodně vyrobena z keramiky nebo křemenného skla. Otvor ve válcové tyči může být válcový, kónický nebo jiného tvaru, nejlépe průměru 0,1 až 2 mm.

Kapalinou, do které je ponořena válcová tyč s elektrodami, je voda, vodný roztok anorganické soli, organický roztok nebo směs vody s organickou kapalinou.

Na jednu z elektrod se přiloží napětí nejméně 700 V. Protože veškerý proud musí procházet kapalinou v otvoru válcové tyče, ve volném prostoru mezi jejím koncem a koncem elektrody v ní umístěné, dochází k rychlému lokálnímu přehřátí kapaliny a ve volném prostoru mezi zkoseným koncem tyče a koncem elektrody v ní umístěné vznikají mikrobubliny.

V závislosti na geometrických rozměrech a vodivosti kapaliny pak dochází k zapálení elektrického výboje při amplitudě použitého napětí na elektrodě, zpravidla 700 až 1300 V za vzniku plazmatu uvnitř mikrobublin. Ty jsou dále intenzivně zahřívány plazmatem, a protože jsou prostorově omezeny rozměry tyče, expandují otvorem v tyči směrem ven do kapaliny. Tím vzniká vlastní plazmový výboj emitující elektromagnetické záření s maximální vlnovou délkou 1100 nm. Předpokládá se, že vzniklé elektromagnetické záření má spodní hranici vlnové délky již od 90 nm.

K napájení je možné využít jak stejnosměrné napětí (v obou polaritách, stabilizované nebo nestabilizované), tak i střídavé až do frekvencí v oblasti mikrovln (50 Hz až 2450 MHz), přičemž režim napájení může být pulzní nebo kontinuální.

V závislosti na napájení se pak dále liší vlastnosti generovaného plazmatu a tím i následné procesy jím iniciované v kapalině. Vlastní plazma generované popsáním kombinuje celou řadu efektů, které následně ovlivňují procesy v kapalině. Aktivní částice vzniklé v elektrickém výboji (v případě vodných roztoků zejména elektrony, atomární vodík a kyslík. OH radikály) indukují komplikovanou chemii jak plazmatu, tak i vlastní kapaliny. Na chemických procesech se podílí i vliv elektrochemických jevů, z nichž zásadní je elektrolyza v případě stejnosměrného napájení. Mimo to ale synergicky působí i celá řada fyzikálních jevů generovaných výbojem. Sem patří vliv silného nehomogenního elektrického pole u ústí trysky, elektromagnetické záření, včetně složek v UV oblasti (záření radikálu OH s maximem 305315 nm) i VUV oblasti (až 91 až 121 nm od atomárního vodíku), proudění urychlených bublin kapalinou od trysky do prostoru (rychlost až m/s) a rázových vln vznikajících kavitací bublin při zániku výboje.

Systém trysky podle vynálezu je velmi jednoduchý, snadno vyrobitelný a tedy i levný. Má dlouhou životnost a vysoký výkon. Vlastní trysku lze snadno a rychle vyměnit, což umožňuje dlouhodobé používání celého systému s minimálními provozními náklady. Nevyžaduje na rozdíl od plazmových trysek generovaných v plynech žádné systémy pro regulaci průtoku plynů. Rovněž šíře možností napájení je extrémně vysoká a se stejnou tryskou tak lze použít nejrůznější zdroje a módy elektrického napájení. To poskytuje širokou škálu možností pro nejrůznější aplikace.

Objasnění výkresu

Obr. 1. Schematický obrázek plazmové trysky s kónickým koncem a elektrodou koaxiálně připevněnou k dielektrické válcové tyči pro generování plazmatu v kapalinách.

Příklad uskutečnění technického řešení

Příklad 1

Tryska pro generování plazmatu v kapalinách byla podle obrázku 1 tvořena dielektrickou keramickou válcovou tyčí 1 vnějšího průměru 2 mm, která byla na jednom konci kónicky zkosená. V její podélné ose byl po celé délce vytvořen válcový otvor, do něž byla vsunuta a zatěsněna kovová elektroda 2 tak, že mezi jejím koncem a kónickým koncem keramické tyče 1 byl vytvořen volný prostor 3. Průměry otvoru v tyči 1 a tedy i elektrody 2 byly v rozmezí 0,2 až 1 mm.

Druhá elektroda systému 4 byla umístěna koaxiálně na keramické válcové tyči 1 a s ohledem na bezpečnost práce byla uzemněná. Keramická válcová tyč i obě elektrody byly ponořeny do vodného roztoku anorganické soli (NaCl, KCl, Na₂SO₄) s použitím destilované vody; vodivost roztoků se pohybovala v rozmezí 10 až 15 000 μS/cm. Pro příjemnější a bezpečnější práci byla část válcové tyče 1 určená pro uchopení do ruky opatřena teflonovým pouzdrem 5 (obr. 1).

Po přiložení vysokého napětí na elektrodu 2 došlo k průchodu elektrického proudu kapalinou. Protože veškerý proud musí procházet kapalinou ve volném prostoru 3 otvoru v keramické válcové tyči 1, došlo zde k rychlému lokálnímu přehřátí kapaliny a vzniku mikrobublin. Při testovaném napětí 1 až 5 kV v závislosti na výše uvedených podmínkách došlo k zapálení elektrického výboje uvnitř mikrobublin. Ty byly dále intenzivně zahřívány plazmatem, a protože byly mikrobubliny prostorově omezeny otvorem keramiky, expandovaly směrem ven z otvoru keramické válcové tyče 1 do kapaliny. Tím vznikal vlastní plazmový výboj (jet), který vystupoval ven do kapaliny, kde dále inicioval chemické i fyzikální procesy.

Bylo použito napájení pomocí stabilizovaného stejnosměrného napětí, přičemž elektroda 2 byla buď kladná, nebo záporná, nestabilizovaného (jednocestně usměrněného) stejnosměrného napětí (opět v obou polaritách), střídavého (50 Hz), vysokofrekvenčního (1 až 100 kHz) a radiofrekvenčního (13,56 MHz) napětí. Ve všech případech došlo k zapálení výboje při amplitudách použitého napětí a stabilnímu hoření výboje po dobu minimálně 5 minut.

Podmínky zapálení výboje a jeho energetická charakterizace byly realizovány pomocí měření časových průběhů napětí a proudu systémem. Spektrometricky bylo pozorováno elektromagnetické záření emitované výbojem v oblasti 200 až 1100 nm, předpokládá se však elektromagnetické záření již v oblasti od 90 nm. Vznik bublin a jejich rychlost byly stanoveny pomocí mikrofotografie na základě známé expoziční doby a délky dráhy mikrobublin. Vznik rázových vln byl pozorován jednak sluchem a dále byl zaznamenán i pomocí piezomikrofonu umístěnému pod kádinkou s roztokem, v němž byla tryska umístěna. Přítomnost chemicky aktivních částic (atomární vodík a kyslík, OH radikál) byla potvrzena spektrometrickými měřeními, jako stabilní chemicky aktivní sloučenina byl kolorimetricky stanovován peroxid vodíku metodou s využitím peroxytitanového iontu. Účinek plazmatu generovaného systémem trysky podle vynálezu byl prověřen za vybraných podmínek degradace organických barviv, kde byly výsledky v dobré shodě s výsledkem dříve naměřeným v klasickém diafragmovém výboji.

Průmyslová využitelnost

Systém trysky generující plazma v kapalinách může být přímo využit pro odstraňování korozních vrstev z archeologických předmětů zhotovených zejména ze skla a keramiky. Díky jejím rozměrům je možné poměrně snadno, případně s modifikací v podobě bočního výstupu, ošetřovat i poměrně členité povrchy předmětů. Další aplikace se pak nabízejí v oblasti odstraňování organických sloučenin z vodných roztoků, zejména v oblastech speciálních výrob. Další oblastí využití je povrchová úprava materiálů ve vodných i organických roztocích, včetně nanomateriálů. Zcela otevřené jsou potenciální aplikace v oblasti organických kapalin, kdy může docházet k syntéze nových sloučenin se zcela unikátními vlastnostmi. Mimo oblast techniky je pak tryska využitelná v oblasti biomedicíny, v chirurgii nebo biologické dekontaminaci.

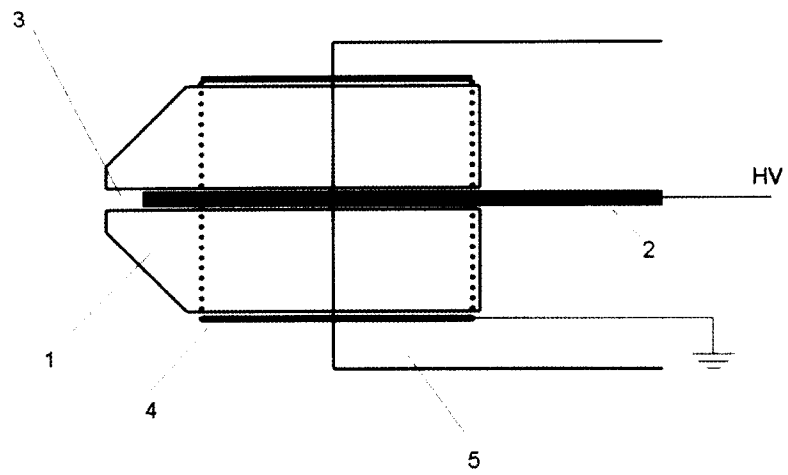
NÁROKY NA OCHRANU

1. Systém trysky pro generování plazmatu v kapalinách, **vyznačující se tím**, že sestává z dielektrické válcové tyče (1) o vnějším průměru nejméně 1 mm na jednom konci volitelně kónicky zkosené, v jejíž podélné ose je v celé její délce vytvořen otvor, do něž je vsunuta z nekónického konce kovová elektroda (2) tak, že mezi koncem elektrody (2) a kónickým koncem válcové tyče (1) je vytvořen volný prostor (3), kde válcová tyč (1) je z části volitelně opatřena teflonovým pouzdem (5) a dále systém sestává z druhé elektrody (4) volitelně koaxiálně upevněné na dielektrické válcové tyči (1), přičemž jedna z elektrod (2) nebo (4) je uzemněná a dielektrická válcová tyč (1) i obě elektrody (2) a (4) jsou ponořeny do kapaliny o vodivosti 10 až 15 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
2. Systém trysky podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že dielektrická válcová tyč (1) je vyrobena z keramiky nebo křemenného skla.
3. Systém trysky podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že otvor ve válcové tyči (1) je válcový nebo kónický.
4. Systém trysky podle některého z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že kapalinou je voda, vodný roztok anorganické soli, roztok organické látky nebo směs vody s organickou kapalinou.

1 výkres

Seznam vztahových značek:

- 1 - válcová tyč
2 - kovová elektroda
3 - volný prostor
4 - druhá elektroda systému
5 - teflonové pouzdro.



Obr. 1

Konec dokumentu