

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(21) Číslo dokumentu:

2020-103

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

B23P 9/04 (2006.01)
B23P 9/00 (2006.01)
C21D 10/00 (2006.01)
H05H 1/26 (2006.01)
B23H 9/00 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

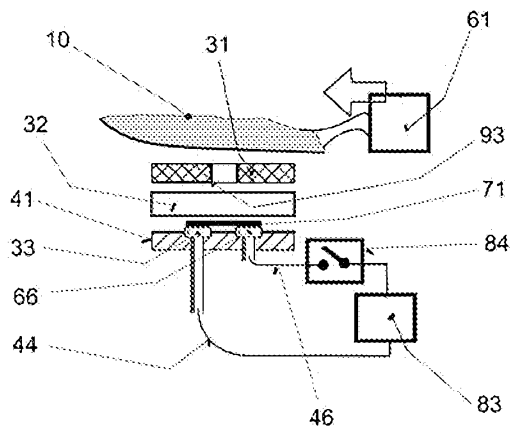
(22) Přihlášeno: **28.02.2020**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **08.09.2021**
(Věstník č. 36/2021)

- (71) Přihlašovatel:
Ústav termomechaniky AV ČR, v. v. i., Praha 8,
Libeň, CZ
- (72) Původce:
Ing. Jiří Šonský, Ph.D., Dýšina, Nová Hut', CZ
- (74) Zástupce:
VYNÁLEZ s.r.o., Vinohradská 403/17, 120 00
Praha 2, Vinohrady

- (54) Název přihlášky vynálezu:
**Zařízení ke zpevňování povrchu výrobků,
způsob a použití tohoto zařízení**

- (57) Anotace:
Způsob a zařízení ke zpevňování povrchu obrobků, zejména kovových, mechanickými účinky provázejícími dopad malých projektilů. Tyto projektily jsou vytvářeny z polymerního materiálu ve formě pásu (32) a urychlovány tlakem expandujícího plazmatu vzniklého odpařením můstku (34) z kovové folie (71) intenzivním impulzem elektrického proudu z připojeného kondenzátoru. Dopadem projektilu jsou v povrchové vrstvě obrobku vyvolány deformační vlny a jimi jsou vnesena zbytková mechanická napětí a jejich gradient ve směru hloubky pod povrchem. Tato napětí způsobují významné zlepšení funkčních mechanických vlastností finálního výrobku. Dosahuje se tak zvýšení mechanické, kavitační, adhezní a korozní odolnosti povrchu.



Způsob zpevňování povrchu obrobků a zařízení k provádění tohoto způsobu

Oblast techniky

5

Předmětem vynálezu je jednak způsob zpevňování povrchu obrobků, zejména kovových, mechanickými účinky provázejícími dopad malých projektilů a dále pak zařízení k provádění tohoto způsobu. Dopadem projektilu jsou v povrchové vrstvě obrobku vyvolány deformační vlny a jimi jsou vnesena zbytková mechanická napětí. Ta způsobují významné zlepšení funkčních mechanických vlastností finálního výrobku. Předpokládá se uplatnění ve všeobecném použití ve strojírenské výrobě, zejména v leteckém průmyslu a vůbec tam kde se zhotovují mechanicky značně namáhané součástky.

15

Dosavadní stav techniky

Je známa řada technologických postupů a metod pro zlepšení mechanických vlastností zhotovovaných výrobků působením na povrchové vrstvy zhotovovaných obrobků zejména zhotovených z kovových materiálů. Dosahuje se tak zvýšení mechanické, kavitační, adhezní a korozní odolnosti povrchu. Tyto metody jsou vesměs založeny na principu změny napjatosti v povrchových vrstvách vnesením vhodné úrovně tlakové zbytkové napjatosti a jejího gradientu ve směru hloubky pod povrchem.

25

Takovou metodou zpevnění povrchu je např. známé kuličkování, kde projektily dopadající na povrch obrobku jsou urychlené ocelové kuličky. Metoda je dosti běžně používána, avšak dosažitelné hodnoty zbytkových napětí a hloubka ovlivnění materiálu přitom nejsou veliké. Jsou proto dnes zaváděny pokročilejší metody, jako je například zpevňování povrchu působením svazku světelných paprsků generovaných výkonovým laserem, dopadajícího na povrch obrobku překrytý kapalinou. Krátkodobým dopadem tohoto světelného svazku o velkém příkonu se na povrchu obrobku generuje rázová deformační vlna a právě ta způsobí zpevnění materiálu. Takové nové technologie mají významný potenciál pro zvýšení životnosti kriticky namáhaných částí, např. leteckých a raketových motorů, kosmických struktur, lopatek parních turbín, oběžných kol vysokovýkonných pump, nádob jaderných reaktorů a mnohých dalších.

35

I když je zejména výše zmíněná pokročilá laserová technologie v průmyslu již využívána, jejímu širšímu použití brání velmi vysoké investiční i provozní náklady. Dokonce tyto náklady vynakládané na laserové zpevňování povrchu nezdědka činí značnou procentuální část ceny celého výrobku. Je přitom ještě nutné překonat řadu komplikací, jako je nutnost přímého optického přístupu k opracovávanému povrchu a také nutnost jeho překrytí vrstvou kapaliny.

40

Podstata vynálezu

Uvedené problémy u dosud známých technologií zlepšování mechanických vlastností obrobků působením na jejich povrch odstraňuje způsob zpevňování povrchu obrobků dopadem projektilů a s tím spojeným vnášením zbytkových napětí do povrchové vrstvy podle tohoto vynálezu

jehož podstatou je, že

50

se na povrch obrobku nasměruje a nechá dopadnout projektil vytvořený z polymerního materiálu, zejména tvarovaného jako polymerní pás, na jehož povrch se předtím nanese kovová fólie a do té se výbojem kondenzátoru zavede elektrický proudový impuls tak velký, že se jím kovová fólie roztaví, vypaří a následně se pak změní v expandující plazma které alespoň zčásti svým expanzním tlakem urychlí zmíněný projektil do směru proti povrchu opracovávaného obrobku.

55

Podle vynálezu je také účelné provádění způsobu podle vynálezu

jehož podstatou je, že

- 5 elektrickým proudovým pulsem vytvořené plazma se navíc k expanznímu tlaku urychluje také elektromagnetickou Lorentzovou silou vyvolanou průchodem elektrického proudu skrze toto plazma ve vytvořeném magnetickém poli.

Podle vynálezu je také účelné provádění způsobu podle vynálezu

10

jehož podstatou je, že

se do směru k povrchu obrobku se vede projektil kanálem uvnitř trysky.

- 15 Také je podle vynálezu účelné provádění způsobu podle vynálezu

jehož podstatou je, že

- 20 zpevňování povrchu obrobku se provádí v periodicky opakovaných funkčních cyklech, kde na počátku každého cyklu se polymerní objekt, zejména ve tvaru pásu, přemístí ve směru své délky o jednu vzdálenost rozteče mezi můstky, které se předtím vytvořily v kovové folii na polymerním pásu vytvořené jejím lokálním zúžením a poté se pohyb tohoto pásu po zbývajících částech cyklu zastaví, aby se provedla elektrickým výbojem tvorba plazmatu.

- 25 Zejména je účelné, aby provádění tohoto způsobu bylo použito zřízení podle vynálezu

jehož podstatou je, že

- 30 proti povrchu opracovávaného obrobku je povrch polymerního objektu, zejména ve tvaru polymerového pásu, na jehož povrchu na straně opačné než je povrch obrobku je kovová fólie s můstky a tato kovová fólie je v elektrickém kontaktu se dvěma elektrodami, jednak první elektrodou a vedle ní zejména ve směru délky polymerního pásu umístěnou druhou elektrodou mezi nimiž je můstek a každá z obou elektrod je elektrickým vodičem, první elektroda prvním vodičem a druhá elektroda druhým vodičem s jedním ze dvou kondenzátorových polepů které jsou
- 35 na opačných stranách dielektrika a tyto vodiče jsou napojeny, jedna z nich přes spínač na výstupy vysokonapětového zdroje.

Také je účelné, aby tento způsob byl prováděn v zřízení podle vynálezu

- 40 *jehož podstatou je, že*

- mezi povrchem opracovávaného obrobku a proti němu umístěné části kovové folie je tryska svým ústím směřovaná proti povrchu opracovávaného obrobku a svým vnitřním kanálem umístěná proti povrchu polymerního objektu jenž zejména má tvar polymerového pásu procházejícího aktivní
- 45 částí posouvacího ústrojí

Také je účelné, aby tento způsob byl prováděn v zřízení podle vynálezu

jehož podstatou je, že

50

že spínač obsahuje přívod jiskřiště, vývod jiskřiště a vzduchovou mezeru mezi nimi.

Také je účelné, aby tento způsob byl prováděn v zřízení podle vynálezu

- 55 *jehož podstatou je, že*

elektrické vodiče jsou plochého tvaru, s šířkou větší než tloušťkou.

- Pro vnesení požadovaných mechanických napětí do povrchové vrstvy kovových objektů je vytvářena rázová vlna dostatečně silná k tomu, aby v povrchu obrobku způsobila plastické přetvoření materiálu. K tomu je potřeba dosáhnout velmi vysokých působících tlakových sil. Energie k tomu potřebná je nejprve postupně akumulována v kondenzátoru, po jehož výboji je v čase několika desítek nanosekund předána plazmatu tvořeném ionizací z elektricky vodivého foliového můstku. Expandující plazma přemění dodanou energii na kinetickou energii projektilu. Ten je tím urychlen na vysokou rychlost několika kilometrů za sekundu proti obrobku, kterému podstatnou část této energie dále předá. Vesměs je požadováno opracování větších ploch a k tomu je nezbytné rychlé opakování velkého počtu dopadů projektilů v počítačem řízeném procesu.

15

Objasnění výkresů

- Na připojených jedenácti obrázcích jsou schematicky znázorněny čtyři alternativní příklady provedení generátoru rázových vln pro zpevňování povrchové vrstvy materiálů podle tohoto vynálezu. Navíc k nim je zde vysvětlující obrázek obr. 5. Ten vysvětluje, jakým směrem v prostoru působí Lorentzova síla využívaná ve vynálezu. První příklad provedení, zobrazený na obr. 1 zde slouží hlavně pro objasnění funkčního principu a jsou proto u něj pro zjednodušení vynechány některé detaily nepodstatné pro toto vysvětlování. Až na dalších ilustracích obr. 2, 3 a 4 je teprve prakticky použitelné uspořádání. Další přímo použitelná provedení jsou znázorněna jednak na obr. 6, 7 a 8, jednak na obr. 9, 10 a 11.

25

Příklady uskutečnění vynálezu

Provedení 1

30

- V tomto příkladu jednoduchého provedení podle obr. 1 je v horní části obrázku detailní část zpevňovaného obrobku 10 kdežto vlastní zařízení sloužící k vnesení požadovaných zbytkových napětí do povrchové vrstvy tohoto obrobku 10 je zobrazeno ve spodní části obrázku obr. 1. Trajektorie vystřelovaných projektilů 100 vedou tedy na tomto obrázku svisle vzhůru. Významné součástky zařízení mají v tomto příkladu provedení osově souměrný kruhový tvar. Jsou na obrázku nakresleny v řezu vedeném svislou rovinou, která prochází osou symetrie. Navzájem k sobě tyto součástky ve skutečnosti těsně přiléhají a v okamžiku probíhajícího zpevňování jsou spolu pevně spojeny. S ohledem na názornost zobrazení jsou však na obr. 1 tyto součástky nakresleny vůči sobě vertikálně posunuté, takže mezi nimi je na obrázku viditelná vzduchová mezera. Tyto součástky jsou odshora dolů nejprve (a) kruhový kotouč tělesa trysky 31 - která v zásadě není nezbytná, ale její použití zlepšuje funkční parametry zařízení. Pod tryskou 31 pak je vložený (b) polymerní pás 32, který může mít různé tvary, ale v tomto případě má také tvar kruhového kotouče v zásadě stejný jako má těleso trysky 31. Dole pak je (c) opěrné těleso 41 s výhodou také ve tvaru kruhového kotouče.

45

- Zesponu k polymernímu pásu 32 přiléhá kovová fólie 71. Ta se zesponu opírá o dvě elektrody, jednak první elektrodu 33, jednak o druhou elektrodu 66. Obě jsou upevněny v opěrném tělese 41. Pro směřování a urychlování vytvářených projektilů 100 má tryska 31 uprostřed ve směru své osy symetrie průchozí otvor. Ten je orientovaný svým horním koncem proti povrchu zpevňovaného obrobku 10. Na rozdíl od obvyklých jiných trysek, které mívají zaoblený vtok do svého průchozího otvoru, má zde tělo trysky 31 na vstupní spodní hraně do tohoto otvoru ostrý břit 93. Kovová fólie 71 může mít tvar plochého pásku o konstantní šířce a tloušťce, ale s výhodou má mezi oběma elektrodami 33 a 66 místní zúžení. Funkci celého zařízení zajišťuje elektrický obvod nakreslený v dolní pravé části tohoto obrázku obr. 1. Je tam zejména vysokonapěťový zdroj 83, provedený známými způsoby a také je tam spínač 84 který je také ve známém provedení jaká se zhotovují pro

55

spínání velkých proudů a napětí. Elektrický proud z vysokonapěťového zdroje 83 je veden do první elektrody 33 prvním vodičem 44. Naproti tomu ze spínače 84 je proud ze druhého vývodu vysokonapěťového zdroje 83 obdobně veden do druhé elektrody 66 druhým vodičem 46.

- 5 Sepnutím spínače 84 je mezi obě elektrody 33 a 66 zavedeno vysoké napětí. Přitom kovovou fólií 71 je ovšem obvod zkratován. Tím se způsobí, že obvodem krátkodobě prochází elektrický proud velké intenzity. Ohmickým ohřevem se kovová fólie 71 v extrémně krátkém časovém úseku nejprve roztaví a potom ihned vypaří. Následně se pak z těchto kovových par vytvoří plasma. To expanduje, a přitom velkou tlakovou silou působí na polymerní pás 32 směrem vzhůru, proti trysce 31. Středová část polymerního pásu 32 se přitom břitkem 93 vykrojí a jen ta postupuje nahoru. Do kruhu takto tvarovaná vykrojená část je tlačena průchozím otvorem v trysce 31. Z tohoto otvoru pak
- 10 nahore vylétne jako projektil 100, který dopadem na povrch obrobku 10 v něm vytvoří rázovou vlnu způsobující požadované přetvoření a zanechá zbytková napětí.

15

Provedení 2

- Jednoduché základní první provedení podle obr. 1 je určeno především pro výklad základního principu vytváření projektilů 100 v zařízení podle vynálezu. Pro uplatnění v praktické strojírenské výrobě je pro použití upraveno, a sice například tak, jak to naznačují obr. 2, 3 a 4.

- Stejně jako na obr. 1 je také nahore na obr. 2 část zpevňovaného obrobku 10, kdežto vlastní zařízení k vytvoření projektilů 100 je ve spodní části obrázku. Provádí v rychlém sledu periodicky opakovanou generaci a urychlení velkého počtu postupně vytvářených projektilů 100. U tohoto provedení je také vytvářen další silový účinek na urychlované plasma, kromě základní teplotní expanze. Konečně je také v tomto příkladu provedení elektrický obvod upraven tak, aby se dosáhlo při dané úrovni dodané elektrické energie mimořádně vysokého krátkodobého elektrického výkonu.

- 30 Vytvářené a urychlované projektily 100 jsou tedy u tohoto uspořádání opakovaně vystřelovány tak, že postupně opouštějí trysku 31 směrem vzhůru. Tryska 31 přitom není nezbytná, ale zlepšuje urychlení a směřování letícího projektilu 100 protože koncentruje nosiče elektrického náboje v plazmatu a zabraňuje jejich úniku do stran. Stejně jako na obr. 1, k tomuto vedení a urychlování projektilů 100 má tryska 31 uprostřed otvor pro průchod a akceleraci vystřelovaných projektilů 100. Pro rychle opakovanou generaci projektilu 100 do zařízení vstupuje směrem zleva polymerní pás 32 dodávající materiál pro projektily 100. Jeho horní strana, těsně přiléhá ke spodní straně trysky 31. Je zde také jako na obr. 1 tenká kovová fólie 71. Ta je v tomto případě pevně spojena se spodní stranou polymerového pásu 32. Je zde přímo vytvořená na spodní straně polymerového pásu 32 napařením, nalisováním nebo podobnou známou technikou. Vlastní polymerní pás 32 nakreslený na horní části obr. 3 má po celé své délce stálou šířku i tloušťku. Naproti tomu, jak ukazuje v dolní části obr. 3 pohled na kovovou fólii 71, tato kovová fólie 71 je v periodicky se opakujících délkových vzdálenostech lokálně zúžena do můstku 34. Může to být provedeno na polymerním pásu 32 například vakuovým napařením přes vhodně tvarovanou masku nebo odleptáním nežádoucích částí obrazce. Jak také ukazuje obr. 3, mezi jednotlivými můstky 34 je
- 45 ponechána kovová fólie 71 ve své plné šířce rovné zde šířce polymerního pásu 32 aby se tak zde vytvořily dosti velké dotykové plochy 27 na něž dosedá z jedné strany můstku 34 první elektroda 33 tak i vedle ní zejména ve směru dráhy pohybu polymerního pásu 32 dosedající druhá elektroda 66. Mechanicky ale nikoliv elektricky jsou obě elektrody spojeny s nehybným opěrným tělesem 41 takže také při funkci zařízení zůstávají nehybné. Vyčnívají poněkud nad horní povrch opěrného tělesa 41 a tím jsou v počátečním stavu funkčního cyklu v elektrickém kontaktu s kovovou fólií 71. Polymerní pás 32 je dlouhý, neboť musí obsahovat materiál na vytvoření velkého množství postupně vytvářených projektilů 100. Pro úsporu místa je proto tento polymerní pás 32 i s kovovou fólií 71 na něm vytvořenou svinut do spirály, jak je nakreslena v levé části obr. 2. Tato spirála se postupně během funkce zařízení otáčí a rozvíjí. K vyvolání tohoto pohybu slouží posouvací ústrojí 35 jímž polymerní pás 32 prochází. Je provedeno v některém z běžně známých uspořádání. Pod

55

přivedeným polymerním pásem 32 je i v tomto případě opěrné těleso 41, pevně spojené s nehybnými částmi celého ústrojí.

Polymerní pás 32 je zhotoven z elektricky nevodivého materiálu jako je např. bi-axiálně orientovaný PET (poly ethylen tereftalát) nebo polyimid (kapton). Spolu s připevněnou nebo přímo vytvořenou kovovou fólií 71 polymerní pás 32 postupně pohybuje ve směru délky pásu po krocích odpovídajících vzdálenosti mezi oběma elektrodami 33, 66. Do elektrod 33, 66 vedou na obr. 2 zakreslené elektrické vodiče 44, 46 procházející k tomu vytvořenými otvory v opěrném tělese 41. Jsou to první vodič 44 a druhý vodič 46, oba opatřeny velmi účinnou elektrickou izolací 85 neboť jsou zde kladeny mimořádně vysoké nároky. Musí jít o materiál s mimořádně vysokou dielektrickou pevností, neboť se jedná o vysoká napětí a velmi malé vzdálenosti mezi oběma vodiči 44, 46. Musí být zajištěno, že plazma se vytváří jen mezi dvojicí sousedících elektrod. Obě elektrody 33, 66 o něco málo vystupujícím nad horní povrch opěrného tělesa 41 aby se tím zajistil jejich elektrický kontakt s dotykovými plochami 27 přivedené kovové fólie 71. Na svém opačném konci tyto vodiče vedou k polepům 53 kondenzátoru 50. Ten zde slouží k tomu, aby v něm byla v každém z opakovaných funkčních cyklů krátkodobě ukládána elektrická energie využívaná na konci každého cyklu k vytvoření plazmatu a poté projektilu 100. K tomuto ukládání energie je kondenzátor 50 během počáteční fáze každého cyklu nabíjen z vysokonapětového zdroje 83. Vysokonapětový zdroj 83 je v tomto případě poměrně složitý, avšak všeobecně známý elektrický přístroj.

Významným požadavkem kladeným v tomto případě na elektrický obvod je extrémně malá indukčnost všech součástí obvodu. Čím je její hodnota nižší, tím kratší je trvání výboje z kondenzátoru 50 a tím vyšší je hodnota okamžitého maximálního elektrického příkonu přivedeného do můstku 34. Jedná se zejména o tři složky možné parazitní indukčnosti, která je zde konstrukčně potlačena. Je to jednak její část uplatňující se v kondenzátoru 50, neboť běžně na požadavek extrémně nízké indukčnosti kondenzátory 50 konstruovány nejsou. Dále je to složka indukčnosti přívodů k elektrodám 33 a 66. Je nutné, aby přívody byly co možná krátké a ploché s minimální vzdáleností mezi nimi. Konečně je to ještě složka uplatňující se v elektrickém spínači 84, který je ve výstupech z kondenzátoru 50 zapotřebí k tomu, aby startoval svým sepnutím proces exploze 90 s vytvářením plazmatu. Může být proto mimořádně účelné, aby jak kondenzátor 50, tak i vodiče 44, 46 k elektrodám 33 a 66 byly provedeny, pokud možno jako ploché, s co nejmenší tloušťkou dielektrika mezi nimi. Na obr. 2 je uspořádání kde je tento problém malé indukčnosti v procesu spínání řešen tak, že spínač 84 je vytvořen jako jiskřiště. Elektrický proud při nabíjení kondenzátoru z počátku tímto jiskřištěm vůbec neprochází. Obě jeho části, jak přívod jiskřiště 80 tak i vývod jiskřiště 81 jsou totiž od sebe vzájemně odděleny vzduchem, nebo jiným vhodným dielektrickým plynem. Teprve až když napětový rozdíl mezi přívodem jiskřiště 80 a vývodem jiskřiště 81 překročí hodnotu elektrické pevnosti vzduchu dojde k velmi krátkodobému elektrickému propojení a průchodu elektrického proudu. Jiskřiště tedy v podstatě funguje jako automaticky fungující spínač 84. Alternativně jiskřiště může být řízené pomocnou elektrodou, spínané vysokonapětovým pulzem.

Pokud jde o požadovanou mimořádně nízkou hodnotu indukčnosti kondenzátoru, je dosažena jeho neobvyklým uspořádáním. Je to rovinná tenká deska dielektrika 52 na obou stranách opatřená kondenzátorovými polepy 53.

Kovový materiál můstku 34 ze kterého se tvoří plazma může být měď, hliník nebo zlato, což vůbec není cenový problém vzhledem k jeho nepatrnému potřebnému množství. Je vhodné, aby plošná hustota můstku 34 byla srovnatelná s plošnou hustotou polymerního pásu 32, ze kterého je formován projektil 100. Tak je zajištěn efektivní přenos hybnosti.

Nezanedbatelnou roli má opěrné těleso 41, které může mít konkrétně charakter poměrně tenké desky. Slouží pro zachycení zpětného rázu a zabránění expanze plazmatu opačným směrem, než kde je obrobek 10. Přítomnost opěrného tělesa 41 zvyšuje účinnost přenosu energie do projektilu 100. Jelikož tloušťka foliového můstku 34 je malá, typicky v jednotkách až jen několika málo

desítkách mikrometrů, postranní štěrbina mezi povrchem opěrného tělesa 41 a polymerním pásem 32 je z hlediska úniku plazmatu zanedbatelná.

Tryska 31 může být též zhotovena z polymerních materiálů, ale její životnost je pak velmi nízká, a musí být často vyměňována – například může být po každém funkčním cyklu vložena do zařízení nová tryska 31 vytvořená spolu s můstkem 34 kovové folie 71 na přiváděném polymerním pásu 32. Má-li ovšem mít tryska 31 velkou životnost bez častého vyměňování, je nutno ji vyrobit z keramických materiálů s vysokou hustotou a houževnatostí. Vhodné jsou zejména materiály na bázi oxidu zirkoničitého. Je-li však kondenzátor 50 dobře přizpůsoben elektrické zátěži tvořené můstkem 34, což je ostatně žádoucí i z hlediska energetické účinnosti zařízení, je možné trysku 31 provést kovovou, protože výboj kondenzátoru 50 proběhne tak rychle, že nedojde k porušení polymerního pásu 32 před ukončením elektrického proudového pulzu. Vhodné materiály pro konstrukci kovové trysky 31 mají vysokou teplotu tání, vysokou hustotu a vysokou tvrdost. V úvahu přicházejí především wolfram a molybden. Pokud je zavedeno chlazení průtokem chladiva vnitřními chladivovými kanály, je žádoucí, aby materiál též měl vysokou tepelnou vodivost.

Aby byl obrobek 10 zlepšen ve svých vlastnostech na větších plochách povrchu, musí se mezi jednotlivými funkčními cykly pohybovat po malých krocích, a sice na počátku každého funkčního cyklu přemístěn traverzér 61. Nové zpevňované místo je vždy před ústím trysky 31 tak, aby z trysky 31 vylétnuvší projektily 100 dopadaly na postupně určená místa povrchu obrobku 10.

Pro vysvětlení probíhajícího děje vytváření projektilu a vyvození jeho pohybu je na obr. 4 ve velkém zvětšení obrázek ústřední části popisovaného zařízení ve které právě probíhá exploze 90. I tam, jako u předchozích obrázků, je nahoře zobrazena část zpevňovaného obrobku 10 kdežto vlastní zařízení k vnesení požadovaných napětí do povrchové vrstvy tohoto obrobku 10 je ve spodní části obrázku. Jsou tam zobrazeny elektrickou izolací 85 opatřené vodiče 44, 46 vedoucí k elektrodám 33 a 66.

Tento příklad provedení generátoru rázových vln pro zpevňování vrstvy na povrchu obrobku 10 podle vynálezu znázorněného na obr. 2, 3 a 4 pracuje na principu vyvolání mechanických napětí účinkem dopadu projektilů 100. Ty generuje a urychluje expanze plazmatu vytvořeného z můstku 34 jenž je zúženým místem kovové folie 71. Když těsně před koncem nebo na samém konci funkčního cyklu projde mezi přívodem jiskřiště 80 a vývodem jiskřiště 81 elektrický výboj z kondenzátoru, prochází tento elektrický proud i kovovou folií 71 v místech mezi oběma elektrodami 33 a 66. Vzhledem k malému elektrickému odporu můstku 34 a vysokém napětí na nabitém kondenzátoru 50 se jedná o proud s intenzitou řádu kiloampérů. Dojde k extrémnímu odporovému ohřevu až na teploty, kterými se můstek 34 nejen roztaví, ale okamžitě i vypaří. Nakonec se i ionizuje, když atomy par kovu ztrácí některé své elektrony.

To vše je vyvoláno působením silného krátkodobého impulsu elektrického proudu z kondenzátoru 50 procházejícího můstkem 34 připojeným do obvodu prostřednictvím elektrod 33, 66. Provádí se to opakovaně ve stejně dlouho trvajících periodicky opakovaných funkčních cyklech. Na počátku každého cyklu není mezi oběma kondenzátorovými polepy 53 na protilehlých stranách jeho dielektrika 52 žádné elektrické napětí. Posouvací ústrojí 35 reagující na výboj z předcházejícího cyklu začne posouvat polymerní pás 32 a postupně jej přemístí ve směru jeho délky o vzdálenost rovnou vzdálenosti mezi elektrodami 33, 66 a současně vzdálenostmi mezi můstkem 34. V této nové poloze jej pak znehybní. Musí jít o polohu v níž se můstek 34 nachází mezi první elektrodou 33 a druhou elektrodou 66, které jsou obě v elektricky vodivém dotyku s kovovou folií 71 na opačných koncích můstku 34. Spínač 84 je na počátku každého cyklu sepnut a protéká jím proud z vysokonapětového zdroje 83. Současně i traverzér 61 přemístí obrobek 10 do vhodné polohy, v níž po zbytek funkčního cyklu zůstává také nehybný. Elektrický proud ovšem elektrodami 33, 66 přitom neprochází, protože jejich obvod je přerušen vzduchovou mezerou mezi přívodem jiskřiště 80 a vývodem jiskřiště 81. Z vysokonapětového zdroje 83 je nabíjen kondenzátor 50 a to se projeví postupným růstem elektrického napětí mezi polepy 53 na protilehlých stranách jeho

dielektrika 52. Tato část funkčního cyklu skončí, když napěťový rozdíl na jiskřišti mezi přívodem jiskřiště 80 a vývodem jiskřiště 81 překročí hodnotu elektrické pevnosti vzduchu. Udává se o ní, že má hodnotu 3 MV/m. Znamená to tedy, že s mezerou 0.7 mm mezi přívodem jiskřiště 80 a vývodem jiskřiště 81 lze výboj očekávat asi při dosažení na kondenzátoru 50 napětí typicky 2 až 5 kV. Kondenzátor 50 může mít kapacitu v řádu jednotek μF , takže při výboji trvajícím kolem 50 ns může být do plazmatu předán výkon i řádu desítek MW, i když je dodávána energie jen řádu jednotek Joule.

V důsledku vysoké intenzity protékajícího elektrického proudu se v okolí vodičů 44, 46 vytváří silné magnetické pole. Jeho siločáry mají zhruba tvar kružnic obráceně navzájem orientovaných, jak jsou znázorněny v pravé spodní části obr. 4. Obdobné siločáry se vytváří také kolem elektrického oblouku 30 který se vytvoří mezi první elektrodou 33 a druhou elektrodou 66. Působí tím na elektrony ve vodičích velmi velká síla tak orientovaná, že se snaží vodiče navzájem od sebe oddálit.

Oba kovové vodiče 44, 46 jsou proto v zařízení upevněny s dostatečným pevným dimenzováním. Tato oddalující síla ovšem působí i na nosiče náboje v elektrickém oblouku 30 mezi oběma elektrodami 33, 66. Tyto nosiče náboje jsou touto na ně působící silou odtlačovány na vystříženou část polymerního pásu 32 který je tím – spolu s expanzí, již vyvolá exploze 90 – vtlačen do průchozího otvoru v trysce 31. Těmito silami vyvolaný pohyb je žádoucí, neboť uvnitř v trysce 31 jejím účinkem akceleruje projektil 100 směrem k povrchu obrobku 10.

Po každé explozi 90 je polymerní pás 32 posunut posouvacím ústrojím 35 tak, aby pod tryskou 31 byl vždy nový můstek 34. Celý děj je tak možné rychle opakovat, a tedy opracovat velký povrch obrobku 10 v krátkém čase. Pro vysoké opakovací rychlosti je pak nutno zajistit vhodné chlazení nejen trysky 31 ale též opěrného tělesa 41 a jiskřiště nebo jiného spínacího prvku, jakým může být také třeba kaskáda IGBT tranzistorů. Polymerní pásy 32 se dají vyrábět běžně dostupnou technologií výroby flexibilních plošných spojů. Část, z níž se vytvoří projektil 100, je i zde oddělena ustřížením břitem 93 vytvořeným na vstupní hraně otvoru v trysce 31. Okrajový zbytek polymerního materiálu je vysouván ze zařízení ven jako polymerový odpad 91, který může být recyklován.

Vysvětlující obrázek

Na obr. 5 je v podstatě nakresleno principiální schéma zařízení podle vynálezu, ale na rozdíl od příkladů provedení se zde na obr. 5 neusiluje o znázornění skutečných tvarů jednotlivých součástí zařízení. Cílem je zde názornost podávaného vysvětlení sil generovaných při funkci zařízení. Jde konkrétně o popis použitého principu generace Lorentzovy síly, která působí na plazma a urychluje jej k trysce 31. Pro zjednodušení zde není kreslena celá tryska 31, ale je zde nahoře na obr. 5 pouze kontura axiálního otvoru v trysce 31 – tedy otvoru sloužícího k vedení plazmatu k obrobku 10. Na pravé straně obr. 5 je naznačen kondenzátor 50 ve zcela plochém provedení. To je zvoleno pro extrémně nízkou indukčnost. Ve středu výšky obrázku obr. 5 jsou pak schematicky naznačeny první vodič 44 vedoucí od kondenzátoru 50 k první elektrodě 33 a také druhý vodič 46 vedoucí od kondenzátoru 50 ke druhé elektrodě 66. Nad oběma elektrodami 33, 66 prochází polymerní pás 32 opatřený zespodu kovovou fólií 71. Druhý vodič 46 je přerušen jiskřištěm sestávajícím z přívodu jiskřiště 80 a vývodu jiskřiště 81.

Kondenzátor 50 v použitém provedení je deska dielektrika 52 na svých obou plochých stranách – tedy na obr. 5 nahoře i dole – opatřená polepy 53. Oba vodiče, první vodič 44 i druhý vodič 46 jsou spojeny s těmito polepy 53 a sice každý s jedním. Jakmile dojde k elektrickému výboji z kondenzátoru přes jiskřiště, vytvoří se pohyb nosičů náboje nejen ve vodičích 44, 46 ale i v plazmatu vytvořeném z materiálu můstku 34. Tam nosiče náboje směřující od první elektrody 33 ke druhé elektrodě 66 vytvoří elektrický oblouk 30. Oba vodiče, 44 i 46, se navzájem od sebe velkou silou odpuzují a musí proto být upevněny, aby se zamezilo jejich pohybu od sebe. Pro další vysvětlení je na obr. 5 z tohoto oblouku 30 vybrán jeden bod, k němuž jsou pak na obr. 5 zakresleny vektory elektromagnetických efektů. Tečně k pohybu nosičů náboje v oblouku 30 je ve vybraném

bodě zakreslen vektor elektrického proudu 21. Podle Faradayových zákonů se kolem tohoto vektoru elektrického proudu 21 vytvoří magnetické pole. Indukční čára tohoto magnetického pole 23 má zde tvar blízký se ke kružnici. Intenzitu magnetického pole 22 ve sledovaném bodu udává jiný vektor, kolmý k vektoru elektrického proudu 21. Oba vzájemně kolmé vektory 21, 22 určují Lorentzovu sílu 20. Její vektor v daném bodě je kolmý k oběma předchozím a směřuje tedy na obr. 5 vzhůru. Znamená to, že Lorentzova síla 20 odpuzuje nosiče náboje v elektrickém oblouku 30 tímto směrem nahoru, tedy do trysky 31. Je to vzhledem k vysoké intenzitě proudu velmi podstatný silový příspěvek k celkové síle urychlující projektil 100.

10 Provedení 3

V předcházejících popisovaných ilustracích šlo především o znázornění a vysvětlování, neboť působící účinky představují prostorově komplikované, a proto na dvojrozměrných obrázcích obtížně

zobrazované vztahy. Bylo proto na těchto předchozích obrázcích nezbytně přikročeno k výrazným zjednodušením. Nicméně po těchto vysvětleních může nyní být popsán třetí příklad provedení, zobrazený na obr. 6, 7 a 8. Tento příklad popisuje v principu skutečně realizovaná nebo realizovatelná provedení. Vyznačují se tím, že nabízejí dobrou účinnost vytváření a vystřelení projektilů 100. K tomuto cíli je zapotřebí několik úprav, zejména takových, které vedou k dosažení naprosto minimální indukčnosti v elektrickém obvodu, čímž se zkracuje trvání výboje. To vede k maximálně dosažitelné hodnotě okamžitého elektrického výkonu. Zejména je k tomu žádoucí provést všechny vodiče jako ploché s minimální výškou dielektrika mezi nimi. Rovněž jsou současně žádoucí co možná nejkratší vodiče 44, 46 o minimální délce mezi na jedné straně kondenzátorem 50 a na straně druhé polymerním pásem 32 a aktivním můstkem 34. Tento druhý faktor malé vzdálenosti je v tomto případě nyní dosažen tím, že kondenzátor 50 je přímo integrální součástí generátoru projektilů 100.

Příklad provedení je na obr. 6 zobrazen v řezu svislou rovinou. Je zde stejná orientace součástí jako u předchozích příkladů provedení, tedy s obrobkem 10 nahoře, tryskou 31 pod ním a s opěrným tělesem 41 úplně dole. Pod tryskou 31 je štěrbina jíž prochází polymerní pás 32 s nanesenou kovovou folií 71. Polymerní pás 32 se však u tohoto uspořádání skrze tuto štěrbinu pohybuje jinak, a sice ve směru kolmém k nákresně obr. 5. Na dalším obrázku téhož provedení, obr. 7, jsou zobrazeny perspektivní pohledy na tři vodivé kovové součásti generátoru projektilů 100 se znázorněním směru a polohy pohybu polymerního pásu 32.

Konečně na obr. 8 je zobrazeno provedení polymerního pásu 32 s nanesenou kovovou folií 71. Polymerní pás 32 má v tomto příkladu provedení jinou, kolmou orientaci můstků 34 vytvořených zúžením kovové fólie 71. Není tam kresleno dielektrikum 52, kterým by se zobrazení celého zařízení velice zkomplikovalo vzhledem k jeho prostorově značně komplikovanému uspořádání.

Kondenzátor 50 jako součást generátoru projektilů 100 je podle obr. 6 tvořen deskou dielektrika 52 konstantní tloušťky, dosahující na levé straně obrázku nejen až pod otvor trysky 31 ale ještě více doleva až pod okraj nad opěrným tělesem 41. V základě má dielektrikum 52 obdélníkový půdorys, komplikovaný ale výstupkem, který tvoří přívod jiskřiště 80. Až tam dosahuje kovová fólie 71 na horní straně dielektrika 52. Proti tomuto výstupku, který tvoří přívod jiskřiště 80, je vzduchovou mezerou oddělený stejně široký krátký kovový výstupek. Je držen ve své poloze tvarovaným výběžkem desky dielektrika 52. I když u tohoto výběžku jde o pouze jedinou malou zhotovovanou součástku, má tento krátký výstupek dvě role. Jednak je to vývod jiskřiště 81 – a současně jeho část vzdálenější od kondenzátoru 50 má funkci druhé elektrody 66. Na spodní straně desky dielektrika 52 je také kovový polep 53, který zde má také více funkcí. Kromě jeho úlohy akumulace náboje v kondenzátoru 50 má též funkci prvního vodiče 44 vedoucího k první elektrodě 33. Polymerní pás 32 zasahuje nad dielektrikum 52 z obou stran nad obě elektrody 33, 66. Odpovídající místa tvoří na kovové folii 71 dotykové plochy 27 jak je ukazuje obr. 8. Vždy dvě dotykové plochy 27 spolu sousedící ve směru šířky polymerního pásu 32 jsou navzájem vodivě propojeny přes můstek 34.

- 5 Funkce generátoru a akcelérátoru projektilů 100 má jen tu odlišnost oproti provedení popsaném ve spojitosti s obr. 2 že zatímco polymerní pás 32 je posouván posouvacím ústrojím 35 ve směru jeho délky, elektrický oblouk 30 na konci každého funkčního cyklu vzplane ve směru šířky polymerního pásu 32 tedy napříč k jeho délce. Polymerní pás 32 proto ovšem musí značně široký, což může vést k určitým komplikacím.

Provedení 4

- 10 U tohoto posledního, čtvrtého popisovaného provedení, zobrazeného na obr. 9, 10 a 11 je dosažena menší šířka polymerního pásu 32 než jaká je nevyhnutelná v uspořádání z obr. 8. Užší rozměr se dosahuje diagonálním uspořádáním elementů kovové fólie 71, jak je zobrazuje obr. 9. Tyto
15 elementy, tedy dotykové plochy 27 propojené můstky 34 musí být tvarovány tak, aby kolem každého z můstků 34 byla dostatečná volná plocha 28, jak ji na obr. 9 zachycuje její okraj ve tvaru kružnice. Důvodem pro tuto volnou plochu 28 je intenzita tepla předávaného od můstku do okolí. Přitom ovšem musí zůstat dost velká dotyková plocha 27 nad každou z obou elektrod 33, 66.

- Následující obr. 10 a 11 pak ukazují uspořádání polepů 53 kondenzátoru 50, vodičů 44, 46 a
20 elektrod 33, 66 u tohoto diagonálního provedení částí kovové folie 71. Oba případy – na obr. 10 i na obr. 11 jsou v zásadě stejné, liší se od sebe jen jiným úhlem pohledu. Orientace obr. 10 je velmi podobná uspořádání z výše popsaného obr. 7. Také jako tam i zde není kresleno dielektrikum 52, jehož zobrazením by se obrázek celého zařízení velice zkomplikoval. Není zde ani kreslen polymerní pás 32 o menší šířce vedený ale stejně jako na obr. 7. Mezi první elektrodou 33 a druhou elektrodou 66 je na obr. 10 nakreslen procházející elektrický oblouk 30. Je tam přitom naznačeno
25 jak Lorentzova síla 20 nadzdvihuje elektrický oblouk 30 působením na jeho nosiče náboje silou která tyto nosiče odtlačuje od proudu elektronů v prvním vodiči 44, který je proto také uspořádán diagonálně.

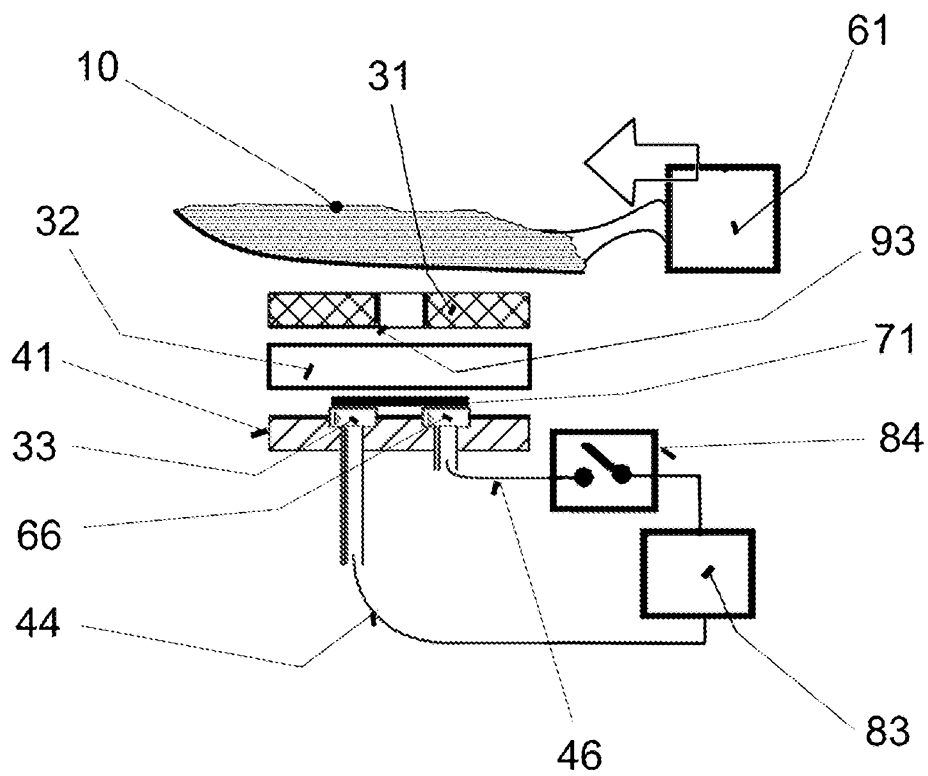
PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob zpevňování povrchu obrobků dopadem projektilů a s tím spojeným vnášením zbytkových napětí do povrchové vrstvy,
- vyznačující se tím, že
- se na povrch obrobku nasměruje a nechá dopadnout projektil vytvořený z polymerního materiálu, zejména tvarovaného jako polymerní pás, na jehož povrch se předtím nanese kovová fólie a do té se výbojem kondenzátoru zavede elektrický proudový impuls tak velký, že se jím kovová folie roztaví, vypaří a následně se pak změní v expandující plazma které alespoň zčásti svým expanzním tlakem urychlí zmíněný projektil do směru proti povrchu opracovávaného obrobku.
2. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že elektrickým proudovým pulsem vytvořené plazma se navíc k expanznímu tlaku urychluje ve směru k obrobku také elektromagnetickou Lorentzovou silou vyvolanou průchodem elektrického proudu skrze toto plazma ve vytvořeném magnetickém poli.
3. Způsob podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že se do směru k povrchu obrobku se vede projektil kanálem uvnitř trysky.
4. Způsob podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že zpevňování povrchu obrobku se provádí v periodicky opakovaných funkčních cyklech, kde na počátku každého cyklu se polymerní objekt, zejména ve tvaru pásu, přemístí ve směru své délky o jednu vzdálenost rozteče mezi můstky, které se předtím vytvořily v kovové folii na polymerním pásu vytvořené jejím lokálním zúžením a poté se pohyb tohoto pásu po zbývající část cyklu zastaví, aby se provedla elektrickým výbojem tvorba plazmatu.
5. Zařízení k provádění způsobu podle kteréhokoliv z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že proti povrchu opracovávaného obrobku (10) je povrch polymerního objektu, zejména ve tvaru polymerového pásu (32), na jehož povrchu na straně opačné než je povrch obrobku (10) je kovová fólie (71) s můstky (34) a tato kovová fólie (71) je v elektrickém kontaktu se dvěma elektrodami, jednak první elektrodou (33) a vedle ní zejména ve směru délky polymerního pásu (32) umístěnou druhou elektrodou (66) mezi nimiž je můstek (34) a každá z obou elektrod (33, 66) je elektrickým vodičem, první elektroda (33) prvním vodičem (44) a druhá elektroda (66) druhým vodičem (46) s jedním ze dvou kondenzátorových polepů (53) které jsou na opačných stranách dielektrika (52) a tyto vodiče (44, 46) jsou napojeny, jedna z nich přes spínač (84) na výstupy vysokonapěťového zdroje (83).
6. Zařízení podle nároku 5, **vyznačující se tím**, že spínač (84) obsahuje přívod jiskřiště (80), vývod jiskřiště (80) a vzduchovou mezeru mezi nimi.
7. Zařízení podle nároku 5, **vyznačující se tím**, že mezi povrchem opracovávaného obrobku (10) a proti němu umístěné části kovové folie (1) je tryska (31) svým ústím směřovaná proti povrchu opracovávaného obrobku (10) a svým vnitřním kanálem umístěná proti povrchu polymerního objektu jenž zejména má tvar polymerového pásu (32) procházejícího aktivní částí posouvacího ústrojí (32).
8. Zařízení podle nároku 5, **vyznačující se tím**, že elektrické vodiče (44, 46) jsou plochého tvaru, se šířkou větší než tloušťkou.

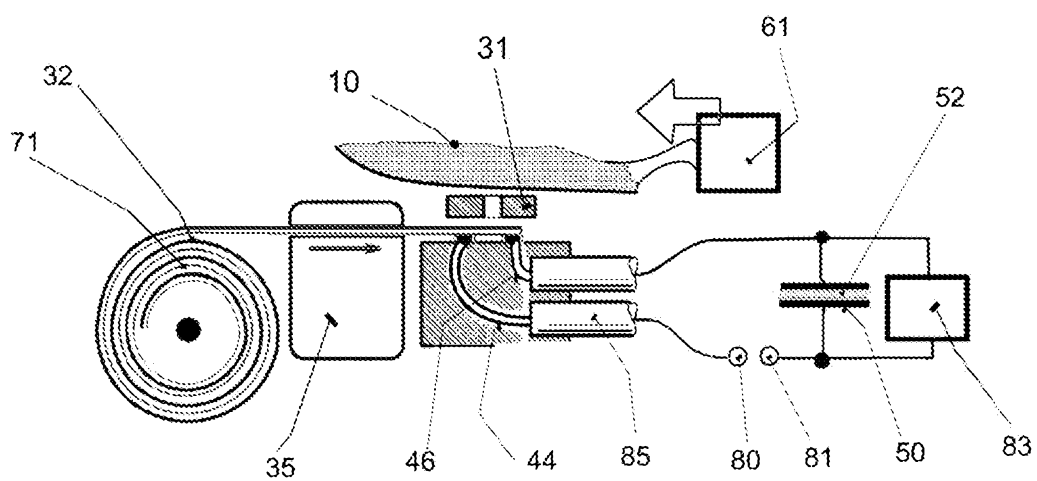
6 výkresů

Seznam vztahových značek

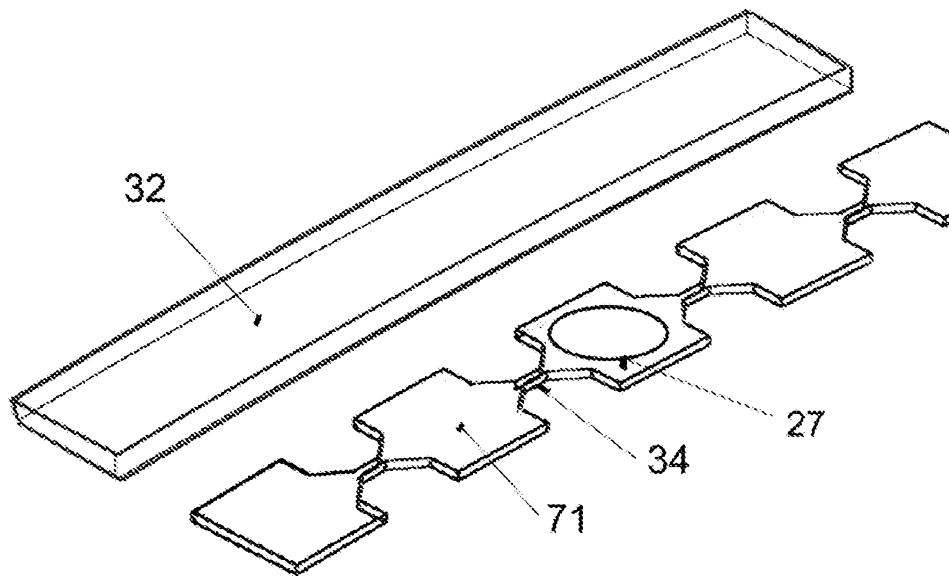
10	Obrobek
20	Lorentzova síla
21	Elektrický proud
22	Intenzita magnetického pole
23	Indukční čára magnetického pole
27	Dotyková plocha
28	Volná plocha
30	Elektrický oblouk
31	Tryska
32	Polymerní pás
33	První elektroda
34	Můstek
35	Posouvací ústrojí
41	Opěrné těleso
44	První vodič
46	Druhý vodič
50	Kondenzátor
52	Dielektrikum
53	Polep
61	Traverzér
66	Druhá elektroda
71	Kovová folie
80	Přívod jiskřiště
81	Vývod jiskřiště
82	Parazitní indukčnost
83	Vysokonapěťový zdroj
84	Spínač
85	Izolace
90	Exploze
91	Polymerový odpad
93	Břit
100	Projektil



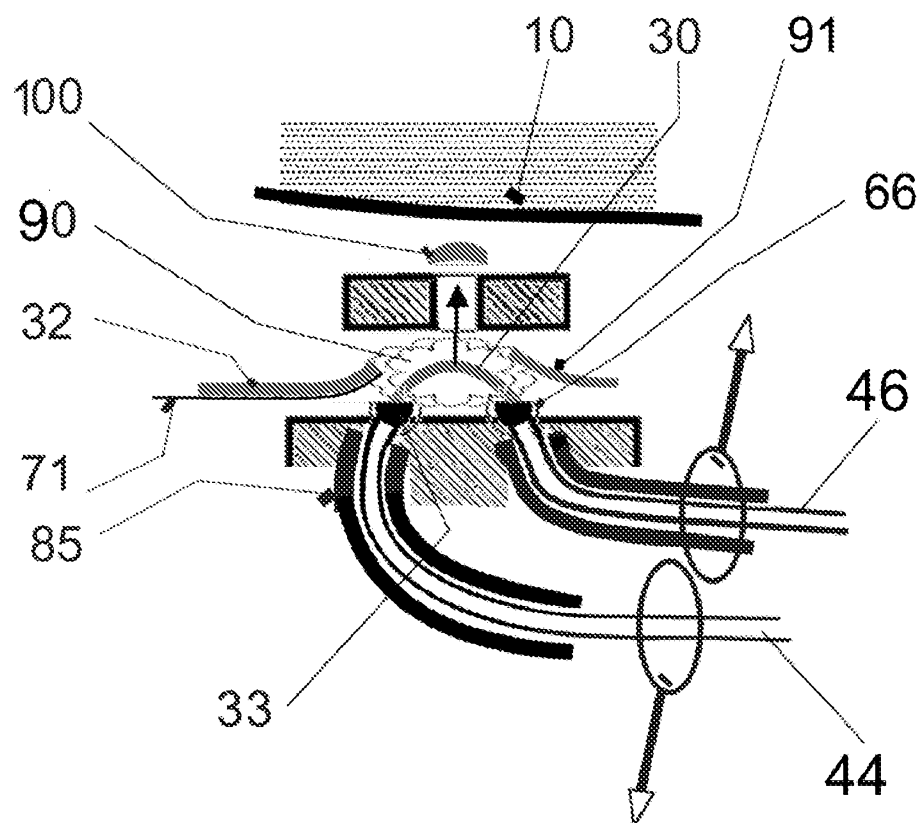
Obr. 1



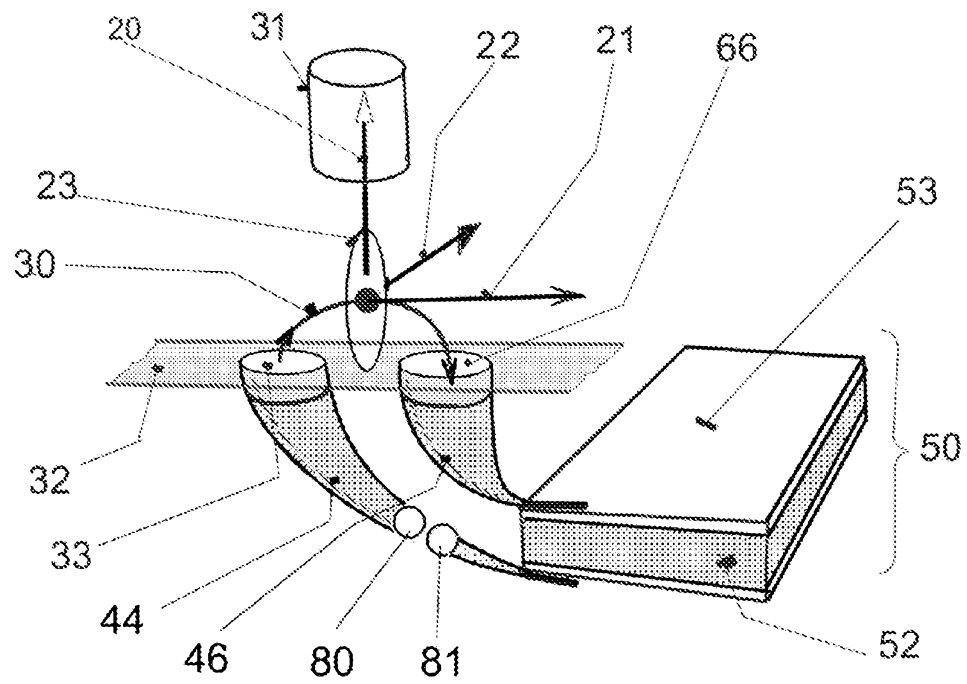
Obr. 2



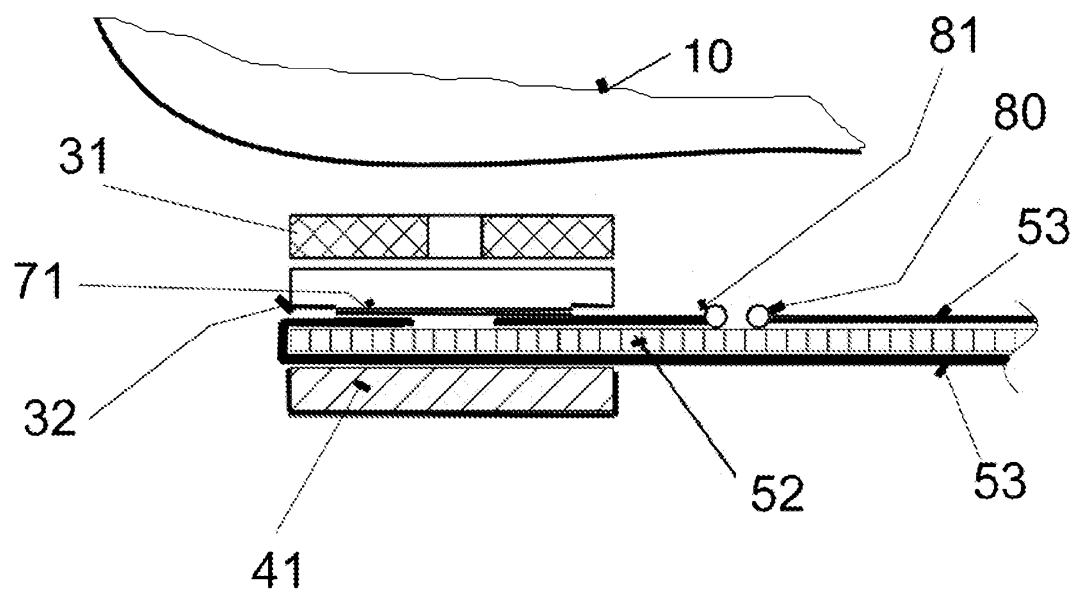
Obr. 3



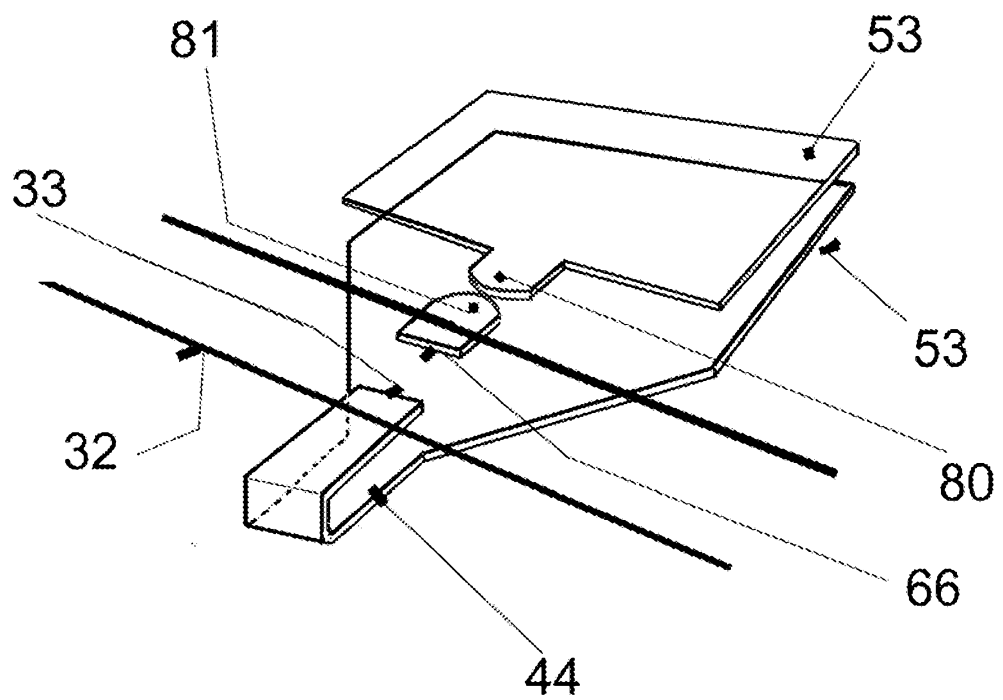
Obr. 4



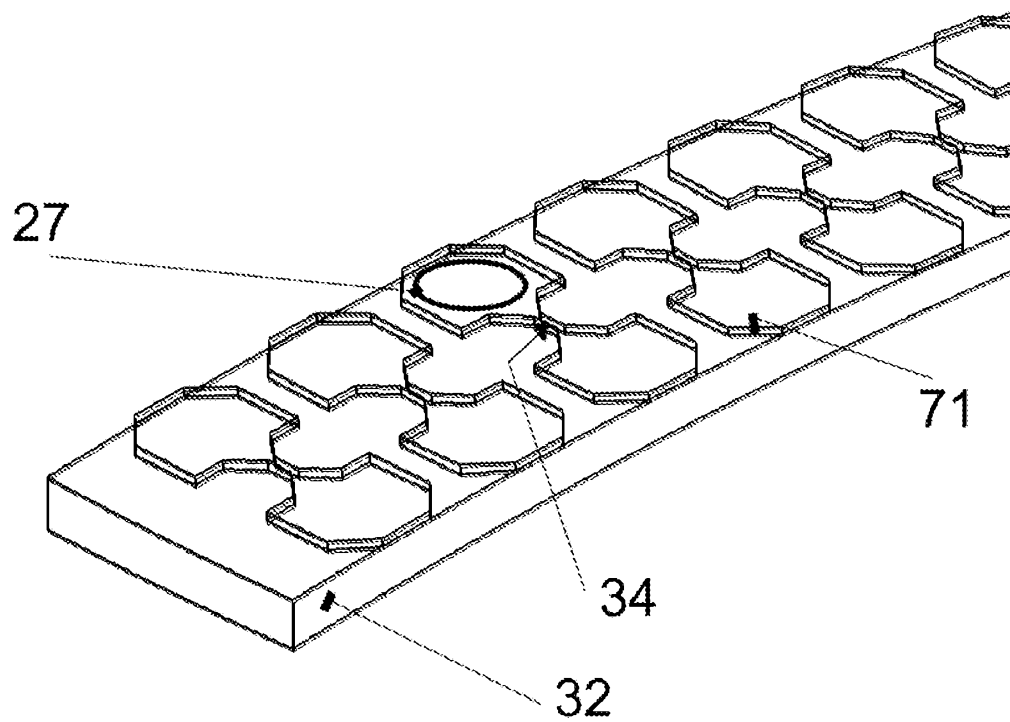
Obr. 5



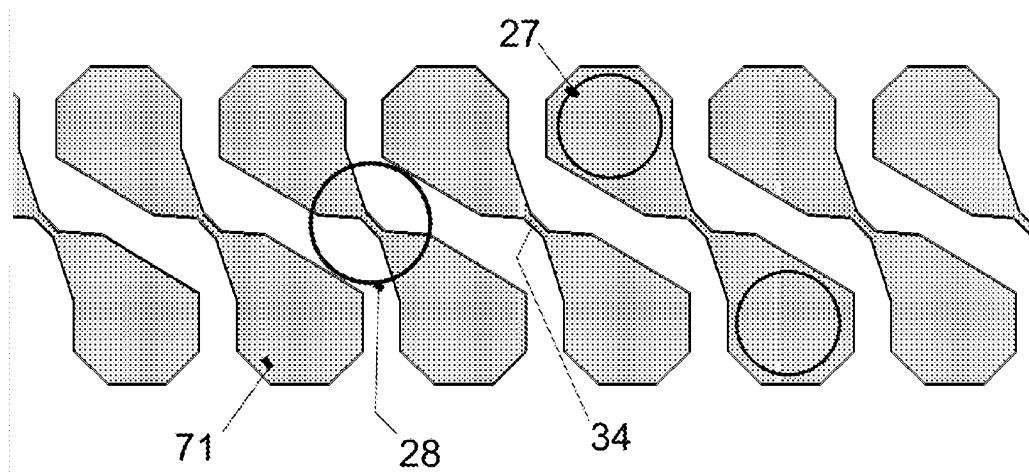
Obr. 6



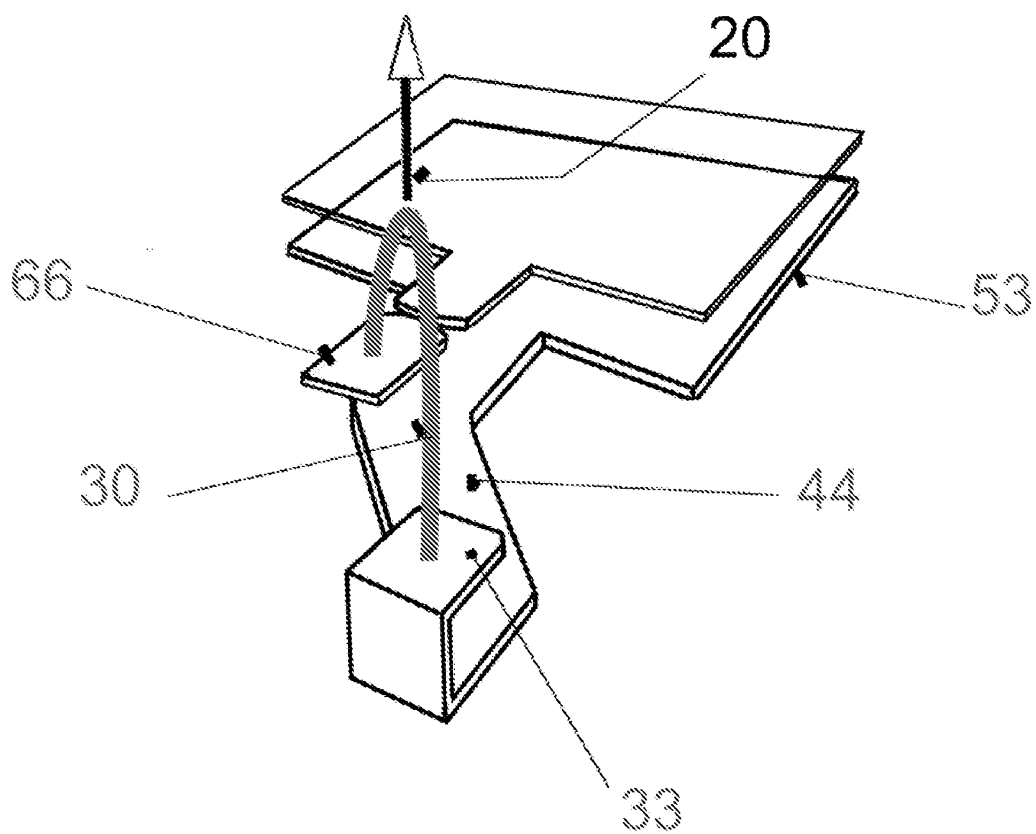
Obr. 7



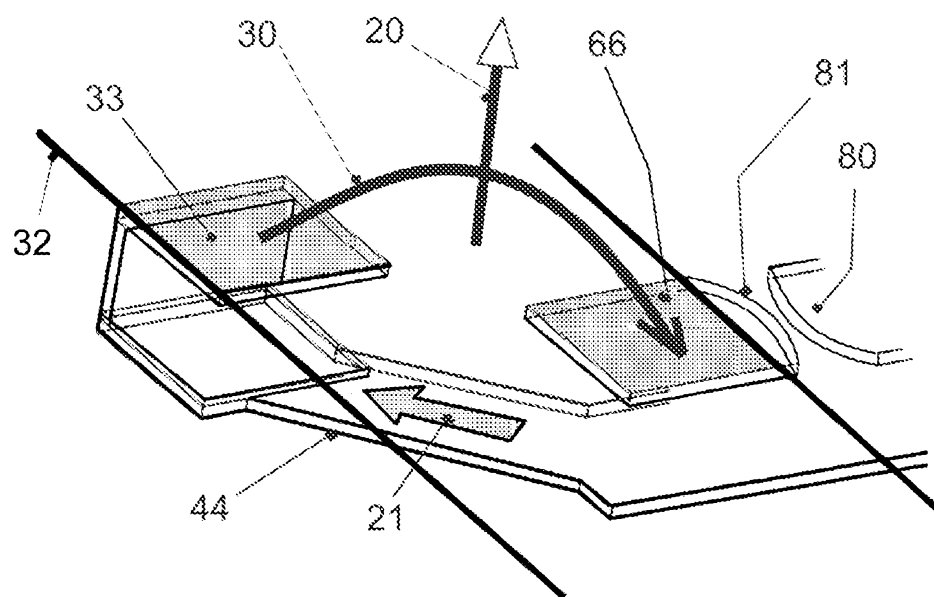
Obr. 8



Obr. 9



Obr. 10



Obr. 11