

# UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

## 36 033

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

*B32B 15/04* (2006.01)

*H01B 19/04* (2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2021-39490**  
(22) Přihlášeno: **17.12.2021**  
(47) Zapsáno: **24.05.2022**

- (73) Majitel:  
Technická univerzita v Liberci, Liberec, Liberec I-  
Staré Město, CZ
- (72) Původce:  
doc. Ing. Stanislav Petřík, CSc., Liberec, Liberec  
XV-Starý Harcov, CZ  
Ing. Karolína Voleská, Ph.D., Liberec, Liberec  
XIV-Ruprechtice, CZ  
RNDr. Michal Krejčík, Jablonec nad Nisou,  
Kokonín, CZ
- (74) Zástupce:  
Dobroslav Musil a partneři s.r.o., Zábrdovická  
917/11b, 615 00 Brno, Zábrdovice

- (54) Název užitého vzoru:  
**Systém tenkých vrstev na bázi uhlíku  
nanesených na kovovém substrátu**

CZ 36033 U1

## Systém tenkých vrstev na bázi uhlíku nanesených na kovovém substrátu

### Oblast techniky

5

Technické řešení se týká systému tenkých vrstev na bázi uhlíku nanesených na kovovém substrátu obsahujícího alespoň jednu adhezni vrstvu a na ní nanesené funkční vrstvy na bázi uhlíku.

### Dosavadní stav techniky

10

Tenké vrstvy se již řadu let používají k povrchovým úpravám různých substrátů, například v elektrotechnickém průmyslu, strojírenství, energetice, optice, biologii, pro dekorální účely atd. Například velmi tvrdé diamantové vrstvy se nanášejí na řezné nástroje (vrtáky, frézky, pilky), což až několiknásobně zvyšuje jejich životnost. Optické vrstvy se používají například k antireflexnímu pokrytí čoček, na interferenční filtry a k nanesení reflexních vrstev na zrcadla.

15

Tenká vrstva je materiál o tloušťce od desetin nanometrů (monoatomární vrstva) do několika mikrometrů, vytvořená na základním materiálu, tzv. substrátu. Vzhledem k tomu, že poměr povrchu k objemu tenké vrstvy je řádově vyšší než běžné objemové materiály, mohou být vlastnosti tenkých vrstev odlišné od běžných objemových materiálů díky ztrátě symetrie vazeb na povrchu.

20

Výroba tenkých vrstev probíhá nejčastěji depozicí ve vakuových komorách s využitím plazmatu. Pro přípravu tenkých vrstev bylo vypracováno mnoho technik, pro dále popsané vrstvy se jedná především o vrstvy připravené dopadem částic na povrch substrátu. Jedná se například o fyzikální metody, kdy se vrstva tvoří z částic materiálu v pevné fázi, například odpařováním nebo odprašováním pomocí magnetronu, laseru, obloukového vývoje apod. Dále jsou používány chemické metody, kdy se vrstva tvoří z tekuté fáze, kterou je plyn nebo roztok, někdy za asistence plazmatu. Používány jsou i kombinace obou výše uvedených metod.

25

30

Pro využití tenkých vrstev ve strojírenství jsou nejdůležitějšími vlastnostmi tvrdost  $H$ , která se zjišťuje zatlačováním hrotu indentoru do vrstvy. Dále jsou důležité elasticko-plastické vlastnosti, z nichž nejdůležitější je Youngův modul pružnosti  $E$ . Důležité je rovněž tribologické chování vrstev, tedy koeficient tření a rychlost otěru vrstvy.

35

Adheze vrstvy k substrátu a vrstev mezi sebou se zlepšuje pomocí adhezni vrstev, což je obvykle vícevrstvý systém s gradientními přechody, který absorbuje vnitřní pnutí vrstvy.

40

Uhlíkové vrstvy jsou důležitými vrstvami používanými především ve strojírenství pro své vynikající mechanické vlastnosti a velmi dobrou chemickou inertnost, neboť odolávají prakticky každému rozpouštědлу. Uhlíkové vrstvy jsou specifickým druhem materiálu, který bez ohledu na použitou výrobní metodu vždy obsahuje určitý podíl diamantové fáze a dalších forem uhlíku. Jedná se o amorfní vrstvy, ve kterých je uhlík mezi sebou vázán vazbami  $sp^2$  a  $sp^3$ . Uhlíkové vrstvy, připravované výše uvedenými postupy, se dají dle svých vlastností vyjádřit čtyřmi zónami v ternárním fázovém diagramu systému uhlík – vodík, jak je znázorněno na obr. 1.

45

Dvě z těchto zón na levé straně fázového diagramu neobsahují téměř žádný vodík. Jedná se o oblast s malým zastoupením vazeb  $sp^3$  označenou jako amorfní uhlík (a-C). Vrstvy a-C se připravují obvykle magnetronovým naprašováním. Oblast s vysokým zastoupením vazeb  $sp^3$  se označuje jako tetragonální uhlík (ta-C). Vrstvy ta-C jsou připravovány obvykle metodou obloukového naprašování. Další dvě zóny jsou s obsahem vodíku a označují se jako hydrogenovaný amorfní uhlík (a-C:H) a hydrogenovaný tetragonální uhlík (ta-C:H). Tyto vrstvy se připravují metodami PACVD (Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition) nebo naprašováním z grafitového targetu v uhlovodíkové atmosféře.

55

Vhodné tribologické chování pro předmět tohoto užitého vzoru, které vyvolává zejména nízký koeficient tření bez mazadel, mají především vrstvy hydrogenovaného amorfního uhlíku a-C:H. Tribologické chování vrstev a-C:H je možné dále vylepšit dopováním vhodnými lehkými prvky, například B, N, O, F, Si nebo kovy. Při dopování kovy pak mají odlišné vlastnosti vrstvy tvořící/netvořící karbid s dopantem. Vhodným obsahem dopantu se též může snížit vnitřní pnutí uhlíkové vrstvy.

V současnosti je popsáno a vyráběno mnoho druhů uhlíkových vrstev, které jsou připravovány výše uvedenými postupy a naladěny na specifické použití v různých oblastech techniky, biologie apod.

Jsou popsány a vyráběny vrstvy speciálně k potlačení nežádoucích účinků při obrábění barevných kovů, tj. především ulpívání těchto kovů na povrchu nástrojů, tzv. mazání, ale přihlašovatel ani původcům není známo, že by byla popsána nebo vyráběna vrstva, která je naladěna na smykové tření za sucha při vedení tyčoviny nebo drátů z mědi nebo hliníku vodicími členy příslušných zařízení, například manipulátorů, při střídání těchto vedených materiálů. Známé popsané nebo vyráběné vrstvy neměly vzhledem k otěru a zadírání drobných částic hliníku nebo mědi do povrchu vrstvy na vodicím členu, například kladce, požadovanou životnost.

Cílem technického řešení je vytvořit systém tenkých vrstev, který by odstraňoval výše uvedenou nevýhodu.

#### Podstata technického řešení

Podstata předkládaného technického řešení systému tenkých vrstev spočívá v tom, že funkční vrstvy na bázi uhlíku jsou tvořeny pravidelně se střídajícími vrstvami, z nichž jedna má velmi dobré tribologické chování vůči materiálům z mědi a druhá má velmi dobré tribologické chování vůči materiálům z hliníku. Tím se zvyšuje životnost substrátu vůči oběma materiálům.

Při tom je tenká vrstva s velmi dobrým chováním k materiálům z mědi tvořena hydrogenovaným amorfním uhlíkem s přídavkem titanu v koncentraci 0,5 až 15 at. % a o tloušťce 10 až 50 nm a tenká vrstva s velmi dobrým chováním k materiálům z hliníku je tvořena hydrogenovaným amorfním uhlíkem s přídavkem fluoru v koncentraci 5 až 25 at. % a o tloušťce 10 až 50 nm.

Celkový počet pravidelně se střídajících funkčních vrstev je 80 až 100, přičemž celková tloušťka systému vrstev je až 4  $\mu\text{m}$ .

#### Objasnění výkresů

Pro vysvětlení systému tenkých vrstev na bázi uhlíku nanesených na ocelovém substrátu slouží ternární fázový diagram vazeb u a-C:H, znázorněný na obr. 1.

#### Příklady uskutečnění technického řešení

Vícevrstvý systém na bázi uhlíkových vrstev podle předkládaného technického řešení obsahuje spodní adhezni vrstvu uloženou na substrátu, přechodové mezivrstvy a vrchní funkční vrstvy, které střídavě obsahují vrstvu s velmi dobrým tribologickým chováním vůči materiálům z mědi a vrstvu s velmi dobrým tribologickým chováním vůči materiálům z hliníku. Funkční vrstvy jsou hydrogenované amorfni uhlíkové vrstvy s vhodným dopantem pro ovlivnění tribologického chování. Jsou vytvořeny metodou PACVD (Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition) v uhlovodíkové atmosféře nebo magnetronovým naprašováním z grafitového targetu

v uhlovodíkové atmosféře. Vhodné dopanty jsou dodány metodou magnetronového naprašování nebo přimísením plynného prekursoru. Adhezní vrstva je vytvořena obvykle magnetronovým naprašováním z kovového, nebo polokovového targetu, kde kovový materiál je zvolen ze skupiny titan, zirkonium, chrom, křemík nebo jiný prvek s dobrou adhezí na substrát. Mezivrstvy jsou obvykle vytvořeny reaktivním naprašováním ze stejného targetu jako adhezní vrstva v dusíkové nebo uhlovodíkové atmosféře pro tvorbu nitridů, karbidů nebo karbonitridů. Mezivrstva bývá gradientní, tj. se vzrůstajícím poměrem karbidů nebo nitridů oproti čistému kovu.

Pro ověření uskutečnitelnosti složení a vlastností systému tenkých vrstev podle předkládaného technického řešení byly realizovány níže uvedené konkrétní příklady, které slouží k objasnění technického řešení, nikoliv k jeho omezení.

#### Příklad 1

Adhezní vrstva byla nanášena na kovové vodící kladky manipulátoru, tedy kovového substrátu a byla tvořena z titanu Ti a měla tloušťku 200 nm. Na ní byla nanášena přechodová vrstva karbidu titanu TiC tloušťky cca 100 nm. Následně byly nanášeny funkční vrstvy, které byly tvořeny takto: liché vrstvy v počtu 50 jsou hydrogenované amorfni uhlíkové vrstvy s koncentrací titanu Ti at. 5 %, přičemž at. je procentuální poměr počtu daných atomů k celkovému počtu atomů, o tloušťce 20 nm, sudé vrstvy v počtu 50 jsou hydrogenované amorfni uhlíkové vrstvy s koncentrací fluoru F at. 10 % o tloušťce 20 nm. Celková tloušťka systému vrstev je asi 2,3 μm. Koncentrace titanu v lichých hydrogenovaných amorfni uhlíkových vrstvách se v alternativních provedeních pohybovala v intervalu 0,5 až 15 at. %, přičemž jejich tloušťka byla v intervalu 10 až 40 nm. Koncentrace fluoru v sudých hydrogenovaných amorfni uhlíkových vrstvách se v alternativních provedeních pohybovala v intervalu 5 až 25 at. %, přičemž jejich tloušťka byla v intervalu 10 až 50 nm. Počet sudých ani lichých vrstev přitom není omezen a podle potřeb se může pohybovat v intervalu 20 až 200 vrstev. Přitom ve všech ověřovaných kombinacích bylo dosaženo požadovaného účinku, tedy zvýšení životnosti vodících kladek manipulátoru při vedení výrobků ve formě tyčí, drátů nebo lan z mědi nebo hliníku při střídání těchto materiálů s přibližně stejným zastoupením. Koeficient tření za sucha proti kuličce z mědi je 0,18 až 0,22, proti kuličce z hliníku 0,08 až 0,15. Adheze systému vrstev s rezervou splňuje průmyslové standardy.

#### Příklad 2

Pro stejné vodící kladky manipulátoru jako v příkladu 1 byla adhezní vrstva vytvořena z vrstev titanu Ti, titan nitridu TiN, titan karbonitridu TiCN při stejném poměru všech složek s celkovou tloušťkou 350 nm. V analogických příkladech byly nanášeny vrstvy jednotlivých sloučenin nebo titanu a rovněž i kombinace vždy dvou z nich. Funkční vrstvy byly střídavě vrstvami hydrogenovaného amorfni uhlíku s koncentrací titanu Ti at. 3 % tloušťky 20 nm a vrstvy hydrogenovaného amorfni uhlíku s koncentrací fluoru F at. 15 % o tloušťce 40 nm. Celkový počet funkčních vrstev byl 80. Takto připravený systém vrstev je vhodný na kovové substráty pro vedení výrobků ve formě tyčí, drátů nebo lan z mědi nebo hliníku s vyšším zastoupením hliníku.

#### Průmyslová využitelnost

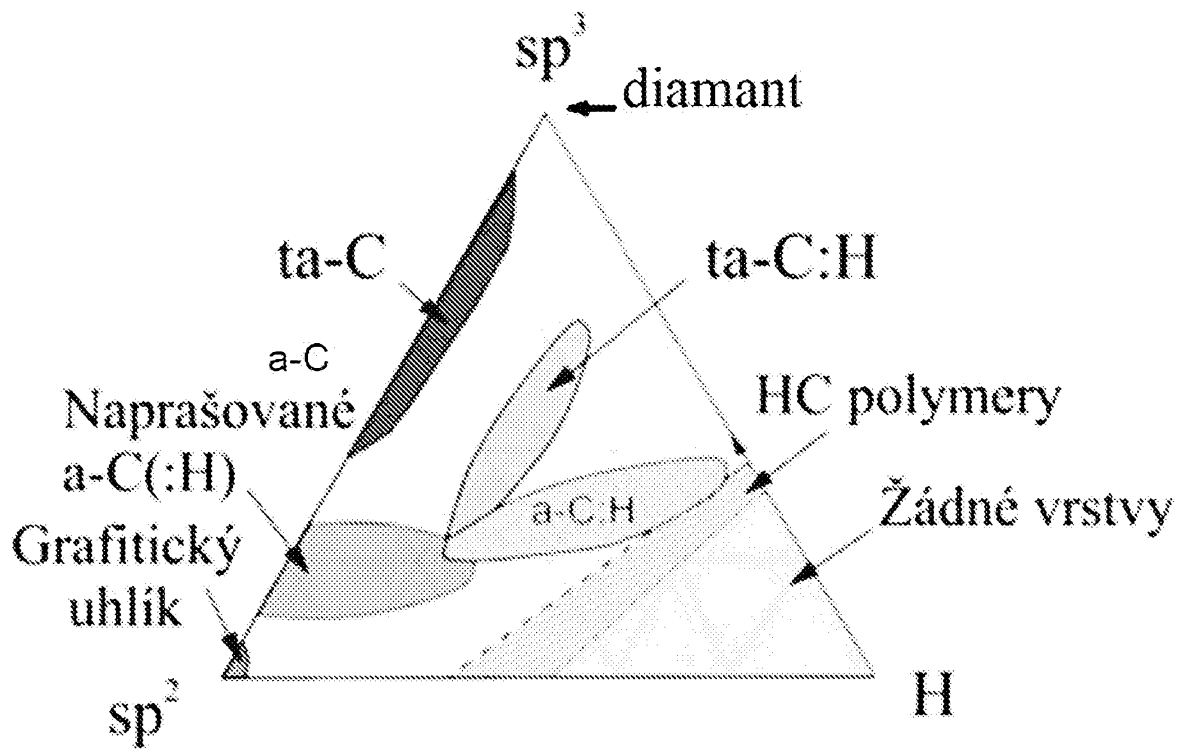
Systém tenkých vrstev na bázi uhlíku nanášených na kovovém substrátu je určen pro zvýšení životnosti vodících členů například pro vedení drátů při výrobě kabelů a podobně, kdy se na příslušném zařízení střídavě vyrábí kabely z hliníku a kabely z mědi. Princip tkví v tom, že se deponovaná vrstva při střídání vedeného materiálů obrousí o protikus a zůstane ta, která je pro daný materiál vhodnější.

**NÁROKY NA OCHRANU**

- 5 1. Systém tenkých vrstev na bázi uhlíku nanesených na kovovém substrátu, obsahující alespoň jednu adhezni vrstvu a na ní nanesené funkční vrstvy na bázi uhlíku, **vyznačující se tím**, že funkční vrstvy na bázi uhlíku jsou tvořeny pravidelně se střídajícími vrstvami, z nichž jedna má velmi dobré tribologické chování vůči materiálům z mědi a je tvořena hydrogenovaným amorfním uhlíkem s přídavkem titanu v koncentraci 0,5 až 15 at. % a o tloušťce 10 až 50 nm; a druhá má velmi dobré tribologické chování vůči materiálům z hliníku a je tvořena hydrogenovaným amorfním uhlíkem s přídavkem fluoru v koncentraci 5 až 25 at. % a o tloušťce 10 až 50 nm.
- 10 2. Systém tenkých vrstev podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že celkový počet pravidelně se střídajících funkčních vrstev je 20 až 200.
3. Systém tenkých vrstev podle nároků 1 a 2, **vyznačující se tím**, že celková tloušťka systému vrstev je až 4  $\mu\text{m}$ .

15

1 výkres



Obr. 1