

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

2123389

DIPLOMOVÁ PRÁCA

2010

Bc. Dávid Hudec

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

**TRIBOLOGICKÉ VLASTNOSTI DVOJVRSTVOVÝCH
PRÁŠKOVÝCH TVRDONÁVAROV**

Diplomová práca

Študijný program:	Spoľahlivosť a bezpečnosť technických systémov
Študijný odbor:	5. 2. 57 Kvalita produkcie
Školiace pracovisko:	Katedra kvality a strojárskych technológií
Školiteľ:	Rastislav Mikuš, Ing.
Konzultant:	

Nitra, 2010

Bc. Dávid Hudec

Čestné vyhlásenie

Podpísaný Bc. Dávid Hudec vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Tribologické vlastnosti dvojvrstvových práškových tvrdonávarov“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 30. apríla 2010

Bc. Dávid Hudec

Touto cestou si dovoľujem poďakovať vedúcemu mojej diplomovej práce Ing. Rastislavovi Mikušovi za jeho vecné pripomienky a odborné vedenie pri vypracovaní diplomovej práce.

Abstrakt (v štátnom jazyku)

Diplomová práca sa zaoberá určovaním tribologických vlastností dvojvrstvových povlakov vytvorených práškovými tvrdonávarovými zliatinami. V experimente boli použité práškové tvrdonávarové materiály na báze NiCrBSi s rôznym chemických zložením. Základné práškové materiály NP 52, NP 58 a NP 62 boli kombinované s materiálom NP 60 WC 20, ktorý obsahuje 20 % WC. Merania boli vykonané na zariadení pre skúšky odolnosti materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu na brúsnom plátne podľa normy STN 015084. U materiálov NP 52 a NP 58 došlo k zvýšeniu odolnosti proti opotrebeniu o 19 %, ak druhá vrstva bola tvorená materiálom NP 60 WC 20. Najvyššiu odolnosť proti opotrebeniu dosiahla dvojvrstva NP 62+NP 62. Nárast oproti predchádzajúcim dvom variantom je viac než štvornásobný. V tomto prípade však nenastal nárast odolnosti proti opotrebeniu pri dvojvrstve NP 62+NP60 WC 20. Naopak došlo k poklesu odolnosti proti opotrebeniu o 30 %.

Kľúčové slová: tribologické vlastnosti, odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu, skúšky opotrebenia, práškové tvrdonávarové materiály

Abstrakt (v cudzom jazyku)

Abstract

Diploma work deals with determination of tribological properties of double layered coatings created by hardfacing powder filler materials. There were self-fluxing powder filler materials on NiCrBSi basis with different chemical composition used in experiment. Basic powder materials NP 52, NP 58 a NP 62 were combined with material NP 60 WC 20 with 20 % WC content. Measurements were performed on device for tests of metal materials against wear by abrasive cloth according to standard STN 015084. Materials NP 52 and NP 58 achieved increasing in relative resistance against abrasive wear about 19 % if the second layer was performed by material NP 60 WC 20. The highest value of relative resistance against abrasive wear was achieved by double layer NP 62+NP 62. Increasing in relation to previous two versions was more than four times. There was no increasing of relative resistance against abrasive wear by performing NP 60 WC 20 second layer based on NP 62 basis observed. There was 30 % decrease measured in this case.

Key words: tribological properties, resistance against abrasive wear, wear tests, powder filler hardfacing materials

Obsah

Obsah	7
Zoznam skratiek a značiek.....	9
Úvod	10
1 Súčasný stav riešenej problematiky doma a v zahraničí.....	11
1.1 Opatrenie	11
1.1.1 Mechanizmy opotrebenia.....	11
1.1.2 Druhy opotrebenia	11
1.1.3 Poškodenie súčiastok abrazívnym opotrebením	12
1.2 Materiály pre tvorbu povlakov	13
1.2.1 Rozdelenie materiálov pre tvorbu vrstiev podľa tvaru	14
1.2.2 Rozdelenie materiálov pre tvorbu vrstiev podľa chemického zloženia.....	15
1.2.3 Odolnosť materiálov pre tvorbu povlakov proti opotrebeniu	16
1.2.4 Hodnotenie odolnosti materiálov pre tvorbu povlakov proti opotrebeniu	17
1.3 Technológie pre tvorbu povlakov.....	18
1.3.1 Plameňopráškové striekanie.....	19
2 Cieľ práce.....	21
3 Metodika práce.....	22
3.1 Charakteristika skúšaných materiálov	22
3.2 Postup pri príprave vzoriek	22
3.3 Postup merania a vyhodnocovania zisťovaných veličín.....	24
3.3.1 Meranie a vyhodnocovanie odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu.....	24
3.3.2 Meranie tvrdosti	26
4 Výsledky práce	28
4.1 Stanovenie mernej hmotnosti skúšaných materiálov	28
4.1.1 Stanovenie mernej hmotnosti etalónového materiálu	28
4.1.2 Stanovenie mernej hmotnosti práškových materiálov	28
4.2 Vyhodnotenie skúšky odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu na brúsnom plátne	30
4.3 Vyhodnotenie skúšky tvrdosti	35
5 Diskusia	37
6 Návrh na využitie výsledkov	38

7	Záver.....	39
8	Použitá literatúra	41
9	Zoznam príloh	43

Zoznam skratiek a značiek

m	hmotnosť skúšobnej vzorky (g)
m_0	hmotnosť skúšobnej vzorky pred skúškou (g)
m_1	hmotnosť skúšobnej vzorky po skúške
HRC	tvrdosť podľa Rockwellovej stupnice C
HV	tvrdosť podľa Vickersa
ΔV	priemerný objemový úbytok skúšobných telies zo skúšaného materiálu (g)
ΔV_E	priemerný objemový úbytok etalónových skúšobných telies (g)
ρ	merná hmotnosť skúšaného materiálu ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
ρ_E	merná hmotnosť etalónového materiálu ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
$\bar{\rho}$	priemerná hodnota mernej hmotnosti ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
σ	smerodajná odchýlka ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$; g)
ψ_{abr}	pomerná odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu
$\Delta \bar{m}$	priemerný hmotnostný úbytok navarených skúšobných telies (g)
$\Delta \bar{m}_E$	priemerný hmotnostný úbytok etalónových skúšobných telies (g)

Úvod

Dosiahnutie optimálnej životnosti strojov a zariadení je dôležité z hľadiska ekonomiky ich prevádzky. Okrem toho je dosiahnutie optimálnej životnosti dôležité aj z hľadiska spotreby materiálov, najmä kovov a kovových zliatin.

Súčiastky, ktoré tvoria funkčné časti strojov a zariadení, podliehajú v prevádzke opotrebeniu. Opotrebenie je vždy spojené s degradáciou a odstraňovaním materiálov, z ktorých sú súčiastky vyrobené. Tým súčiastky strácajú svoje pôvodné tvary a rozmery, na ktoré boli dimenzované a postupne strácajú aj schopnosť plniť požadované funkcie.

Na obnovenie funkčnosti súčiastok, teda na doplnenie opotrebeného materiálu do pôvodných rozmerov a tvaru, sa používajú rôzne renovačné metódy. Jednou z týchto renovačných metód je nanášanie tvrdonávarov vo forme práškov na opotrebené funkčné plochy súčiastok pomocou technológií žiarového striekania. Tým sa, okrem obnovenia pôvodných tvarov a rozmerov súčiastok, dávajú súčiastkam nové vlastnosti, často lepšie, ako mali pôvodne.

Aby bolo možné určiť vhodný materiál pre konkrétnu aplikáciu, je potrebné poznať vlastnosti tohto materiálu, ktoré popisujú jeho správanie sa pri danom druhu opotrebenia. Pretože prevládajúcim druhom opotrebenia pri aplikáciách tvrdých povlakov je abrazívne opotrebenie, je potrebné zisťovať odolnosť návarových materiálov proti tomuto druhu opotrebenia.

1 Súčasný stav riešenej problematiky doma a v zahraničí

1.1 Opotrebenie

Podľa normy STN 01 5050 možno opotrebenie definovať ako nežiaducu zmenu povrchu alebo rozmerov tuhých telies, spôsobenú buď vzájomným pôsobením funkčných povrchov alebo funkčného povrchu a nejakého média, ktoré opotrebenie vyvoláva pri ich vzájomnom relatívnom pohybe. Prejavuje sa ako odstraňovanie alebo premiestňovanie častíc hmoty z funkčného povrchu mechanickými účinkami, prípadne sprevádzanými inými vplyvmi (chemickými, elektrochemickými a pod.).

1.1.1 Mechanizmy opotrebenia

Počas opotrebenia prebiehajú tri procesy (Balla, 1989):

- vzájomné pôsobenie povrchov pri trení,
- zmeny, ktoré prebiehajú v povrchovej vrstve trecej dvojice,
- porušenie povrchov.

Tieto javy nenasledujú za sebou, ale sa vzájomne prekrývajú. Porušenie povrchov obyčajne nie je viazané na celý pracovný povrch trecej dvojice, ale iba na funkčné časti. Ostatná časť povrchov prekonáva iba fyzikálno-chemické zmeny.

Podľa Blaškoviča, Ballu a Dzimka (1990) existujú dva základné mechanizmy opotrebenia:

- mechanické,
- chemické.

Mechanické opotrebenie zahŕňa procesy, ktoré spôsobuje trenie, abrázia, erózia a únava. Chemické opotrebenie je založené na atakovaní povrchu reaktívnymi zložkami a na príslušnom zadieraní alebo oddeľovaní splodín opotrebenia mechanickým pôsobením.

1.1.2 Druhy opotrebenia

Podľa STN 01 5050 existujú nasledujúce druhy opotrebenia:

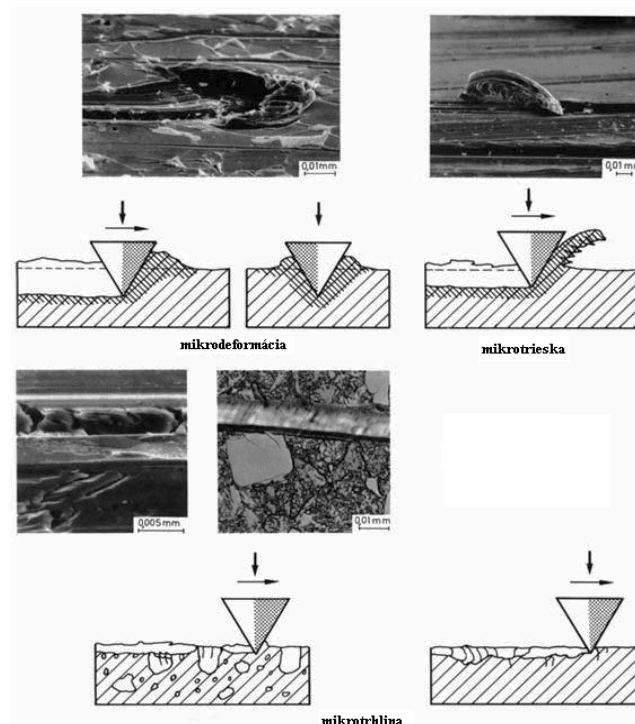
- adhezívne opotrebenie,
- abrazívne opotrebenie,
- erozívne opotrebenie,
- kavitačné opotrebenie,
- únavové opotrebenie,
- vibračné opotrebenie.

Opotrebenie strojových súčastí sa klasifikuje podľa prevládajúceho charakteru celého procesu. Tento proces je ovplyvňovaný druhom opotrebovaných a opotrebovávajúcich telies, vlastnosťami dotkových povrchov a podpovrchových vrstiev, druhom relatívneho pohybu povrchov, zaťažením a vlastnosťami prostredia (Matuszek, Rubeš, Vrabec, 1974).

1.1.3 Poškodenie súčastok abrazívnym opotrebením

Oddeľovanie častíc a poškodzovanie funkčných povrchov ryhovaním a rezaním tvrdými časticami, ktoré sú voľné alebo viazané v protikuse, prípadne ryhovaním a rezaním tvrdým a drsným povrchom druhého telesa, sú dva základné varianty abrazívneho opotrebenia (Puškár, 1989).

Abrazívne opotrebenie materiálov pri trení o abrazívny povrch možno popísať ako ryhovanie materiálu množstvom tvrdých abrazívnych zrn, ktorých väčšina tvorí plastickú stopu tlačением do materiálu a len niektoré zo zrn s vhodnou polohou hrán odoberajú triesku (obr.1).

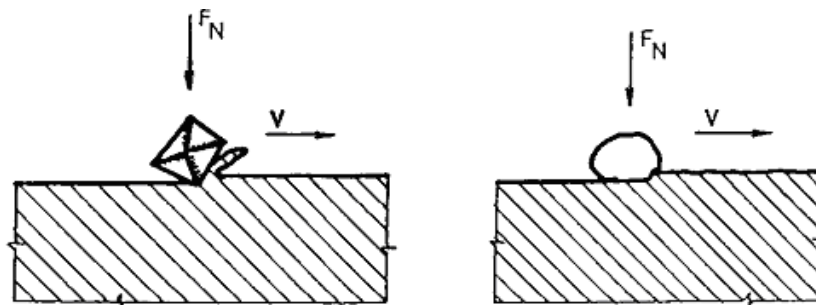


Obr. 1 Vznik abrazívneho opotrebenia (Kovaříková, Blaškoviš, 2007)

Keď sa pohybujú abrazívne častice medzi dvoma funkčnými povrchmi, potom 90 % z nich sa odvaľuje a nevyvoláva opotrebenie a len zvyšok ryhuje povrch.

Zníženie abrazívneho opotrebenia sa dosiahne, keď má použitý materiál tvrdosť blízku tvrdosti pôsobiacich častíc. Vhodné sú materiály heterogénne, ktoré obsahujú tvrdé štruktúrne častice v húževnatej základnej hmote.

Abrazívne častice môžu mať pôvod minerálny (piesok, hlina, ruda), môžu byť výsledkom oddeľovania materiálu pri abrázii, prípadne sú to tvrdé a krehké fázy z materiálov, ktoré sú v kontakte. Tvrdé častice môžu mať rozdielny tvar, s rozličnými hranami alebo rebrami, z ktorých len niektoré odoberajú triesku a iné protikus deformujú. Materiál vyhrnutý časticami sa vysoko deformuje a v priebehu pokračovania abrázie sa oddeľuje a zostáva medzi kontaktujúcimi plochami (Puškár, 1989).



Obr. 2 Formy abrazívneho opotrebenia (Balla, 1989)

a – mechanická, b – mechanicko-chemická

Existujú dve základné formy prejavu abrazívneho procesu, ktoré sa od seba líšia charakterom vzájomného pôsobenia častíc a povrchu kovu (Balla, 1989):

- a) s prevládajúcim mechanickým rozrušovaním povrchových vrstiev kovu (obr.1a);
- b) s prevládajúcim mechanicko-chemickým rozrušovaním – plastická deformácia povrchových mikroobjemov, tvorba chemických zlúčenín a následné rozrušovanie tvoriacich sa vrstvičiek (obr.1b).

1.2 Materiály pre tvorbu povlakov

Pre naváranie sa používajú prídavné materiály ako pre ručné spôsoby zhotovenia návarových vrstiev, tak pre mechanizované a automatizované naváracie technológie. V opravárensko a údržbárskej praxi však sú stále najpoužívanejšie ručné technológie navárania, ako kyslíkovo-acetylenovým plameňom, tak elektrickým oblúkom obalenou elektródou a technológiami MIG, MAG, WIG.

1.2.1 Rozdelenie materiálov pre tvorbu vrstiev podľa tvaru

Podľa Bajdu (2007) možno materiály pre tvorbu vrstiev podľa tvaru a spôsobu výroby rozdeliť na drôty, obalené elektródy, tyčinky, plnené elektródy (trubičkové drôty), plnené pásy, kordy, pásy, pasty a prášky.

Drôty sa vyrábajú valcovaním a ťahaním. Majú kruhový prierez. Sú vyrábané v priemeroch od 0,5 mm až do 8 mm. Podľa technologických požiadaviek sú tiež povrchovo upravované.

Obalené elektródy pre naváranie sa používajú s plným jadrom, ktorým je prevažne ťahaný drôt, ale pre špeciálne navarovacie elektródy sú tiež používané liate tyčinky. Tie sú vyrábané jednak kontinuálnym liatím a tiež vákuovým nasávaním do foriem. Niektorí výrobcovia používajú tiež jadro z trubičkového plneného drôtu. Obalové hmoty sú potom z látok ochranných, stabilizačných, dezoxidačných a troskotvorných, ale prevažné množstvo vyrábaných návarových elektród je s obalom obsahujúcim legujúce prvky.

Tyčinky sú vyrábané z ťahaných drôtov, odlievaním a ako kompozity. Ťahané drôty sú povrchovo upravované, strihané a rovnané na špeciálnom zariadení. Liate tyčinky sa vyrábajú zo zliatinových materiálov, ktoré nie sú spracovateľné ťahaním. Odlievajú sa do pieskových foriem, kokíl, kontinuálnym odlievaním a vákuovým nasávaním do špeciálnych foriem.

Plnené elektródy sa vyrábajú s rôznym zložením náplne od látok ionizačných, dezoxidačných a troskotvorných až po náplne stredne a vysoko legované. Vyrábajú sa zbaľovaním zliatinovej pásy s požadovanou náplňou. Mnohí výrobcovia už plnia požadovanou náplňou bezošvové trubičky. Tieto plnené trubičky majú rad výhod, najmä kompaktnosť a odolnosť proti vlhku. Vyrábajú sa v priemeroch od 1 mm do 8 mm.

Plnené pásy sú vyrábané zbalením ocelevej pásy, ktorá má pred zbalením tvar žliabku. Do nej sú dávkované legujúce zložky v práškovej, či zrnitej forme. Po zbalení do tvaru pásy je tento zatvorený a pretiahnutý cez formovacie kladky.

Výrobný proces kordov spočíva v zmiešaní kovových a zliatinových práškov alebo ich zmesi (vrátane karbidov) a potrebných zložiek s organickým plastifikátorom. Z takto vzniknutej pasty sa cez prievlak vytláča kord (flexodrôt) žiadaného priemeru.

Pásy sa vyrábajú z kovov a zliatin valcovaním, obvykle v šírkach od 20 do 60 mm a hrúbkach od 0,2 do 0,8 mm. Používajú sa pre naváranie pod tavivom.

Pasty sú zmesou práškových kovov, zliatin, ferozliatin a dezoxidačných, ionizačných, troskotvorných a spojovacích zložiek.

Prášky sa vyrábajú rozstrekcom zliatinovej taveniny v atmosfére inertného plynu alebo dusíka s následnou separáciou na požadovaný rozmer zrna. Práškové zliatiny pre tvorbu povlakov, ktoré sú v technickej terminológii pomenované ako samotroskotvorné zliatiny, sú vyrábané na dvoch základných bázach. Sú to práškové zliatiny na báze niklu a práškové zliatiny na báze kobaltu, ktoré sú používané pre špeciálne účely. Pre práškové zliatiny má popri granulometrii, morfológii a tvare zrna zásadný význam ich chemické zloženie, pretože určuje vlastnosti nimi zhotovených navarených povrchov.

U zliatin na niklovej báze to sú predovšetkým bór, kremík, uhlík, chróm, molybdén, volfrám a meď. Ide vtedy o komplexne legované zliatiny, kde hlavný vplyv majú bór a kremík. Oba tieto prvky výrazne znižujú teplotu tavenia, ovplyvňujú tekutosť kúpeľa, povrchové napätie roztavenej zliatiny a spolu s uhlíkom a ostatnými karbidotvornými prvkami i tvrdosť návaru. Bór taktiež zvyšuje zmačavosť základného materiálu a spolu s kremíkom vytvára tenkú vrstvu nízkotavitelnej trosky, označovanej tiež ako bór-kremíkové sklo. Táto zabraňuje oxidácii naváraného povrchu. Rastúci obsah bóru a kremíka však zvyšuje krehkosť.

1.2.2 Rozdelenie materiálov pre tvorbu vrstiev podľa chemického zloženia

Pri naváraní menej namáhaných plôch možno použiť lacnejší materiál konštrukčných elektród. Materiál odolnejší je vhodné navárať na funkčné plochy súčiastok, ktoré podliehajú intenzívnejšiemu opotrebeniu.

Používané návarové zliatiny možno rozdeliť na (Marko, Balla, 1986):

- materiály typu martenzitickej ocele,
- materiály typu austenitickej ocele,
- materiály ledeburitické,
- materiály neželezné,
- karbidy.

Na vytváranie povlakov odolných proti opotrebeniu sa používajú tri druhy kovových materiálov. Sú to materiály na báze železa, niklu a kobaltu. Základné kovy vytvárajú maticu, v ktorej sú viazané ďalšie kovové alebo nekovové prvky.

Na dosiahnutie vysokej tvrdosti a odolnosti proti opotrebeniu sa do zliatin na báze Fe, Co alebo Ni pridáva uhlík, kremík a bór. Tým dochádza ku vzniku tvrdých fáz (karbidov, boridov) (Knotek, 2001).

Návary tvoria významnú skupinu materiálov odolných voči opotrebeniu. Štúdiom získaných poznatkov rozloženia rôznych prvkov medzi fázami a vrstvami navareného kovu, je možné spresniť racionálne legovanie návarových vrstiev. Veľmi významným sa javí v návarových materiáloch chróm. Dôležitým prvkom v návarových materiáloch je tiež bór, ktorý spôsobuje tvorbu voľných karbidov a karboboridov, znižuje difúziu chrómu a mangánu do základného kovu. Jeho prítomnosťou sa zvyšuje mikrotvrdosť karbidov chrómu i matrice a rastie krehkosť (Hrivňák, 1989).

1.2.3 Odolnosť materiálov pre tvorbu povlakov proti opotrebeniu

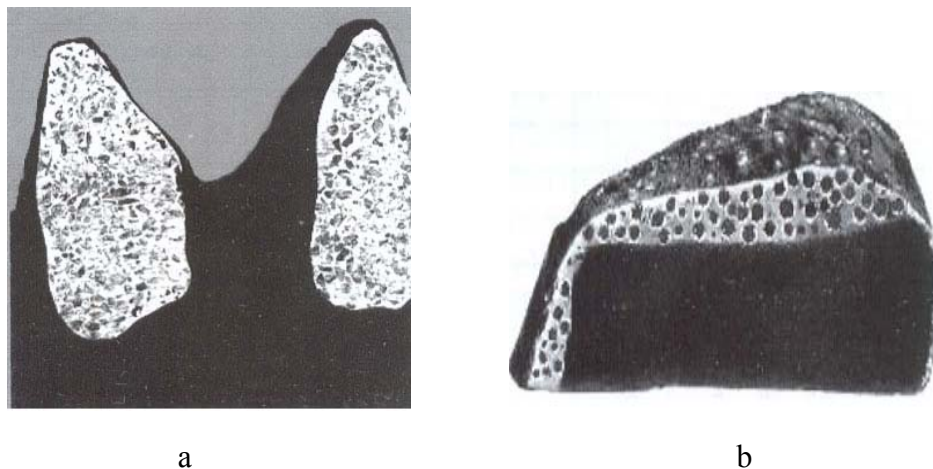
Pre podmienky práce v prostredí za vysokých merných tlakov s prítomnosťou rázov vyhovujú najlepšie materiály na báze austeniticko-karbidickej, kým pre podmienky nízkonapäťovej abrázie najlepšie vyhovuje martenziticko-karbidická štruktúra. Parametre mriežok austenitu a karbidov sú bližšie ako parametre martenzitu a karbidov, podobne je vyššia aj pevnosť hraníc medzi austenitom a karbidom. Preto abrazívne zrno nemôže tak ľahko vylúpiť karbid z matrice. Dôležitým faktorom v odpore proti abrázii je orientácia karbidov v matrici a veľkosť častíc. Veľké karbidy sa pri abrazívnom opotrebení ľahšie porušujú a vylamujú z matrice. Ďalším významným faktorom proti opotrebeniu je použitie dvojvrstvého komplexu karbidov, ktorý má väčšiu odolnosť proti opotrebeniu ako jednovrstvový komplex (Chotěborský, 2008).

Pri legovaní návaru nie je dôležitý absolútny obsah legujúcich prvkov, ale pomer M/C, ktorý charakterizuje jeho rozdelenie medzi fázami. Dosiahnuté výsledky ukázali, že pomer Cr/C od 1,8 do 5 a W/C od 0,4 do 1,6 je neúčelný (Balla, 1989).

Podľa Hermana (2006) sú najlepšími materiálmi odolnými proti všetkým druhom opotrebenia na báze WC, ktoré svojou štruktúrou nespádajú medzi zliatiny kovov, ale medzi keramiku. Medzi keramiku sú zaradené z dôvodu, že sa aktívne nepodieľajú na tvorbe štruktúry tuhého roztoku, ktorý tvorí zliatinu matrice. Ďalej uvádza, že bola vykonaná prevádzková skúška tohto materiálu na lopatke miešača zliavarenského piesku. Zliavarenský piesok má vysokú tvrdosť (1000 HV) a v kombinácii s vlhkým prostredím pôsobí vysoko abrazívne. Pre navarenie lopatiek bola použitá elektróda EB 518 (C = 3,4%, Cr = 29%, tvrdosť návaru 58 HRC). Touto elektródou navarená lopatka mala po 24 hodinách prevádzky úbytok návaru približne 2,0 mm. Lopatka navarená elektródou

s karbidom volfrámu (Terradur U, trubičková elektróda pre ručné naváranie plnená WC) mala po 120 hodinách prevádzky povrch iba vyleštený a úbytok návaru bol nemerateľný.

Pri výrobe karbidov volfrámu vznikajú dva druhy väzieb, a to WC a W_2C . Tieto dva druhy majú rozdielne vlastnosti a sú jedným z určujúcich parametrov zrn. Zrná môžu byť dvoch typov a to drvený karbid volfrámu FTC (Fused Tungsten Carbide) s nerovnomerným a ihlicovitým tvarom zrn alebo sférický karbid volfrámu SFTC (Spherical Fused Tungsten Carbide) s rovnomerným guľatým tvarom zrn. Matrice pre naváranie karbidov volfrámu sú buď na báze niklu alebo na báze železa (obr. 3).



Obr. 3 Princíp viazania volfrámkarbidových častíc s matricou (Herman, 2006)
a - matrica na báze Ni + drvené zrno, b - matrica na báze Fe + sférické zrno

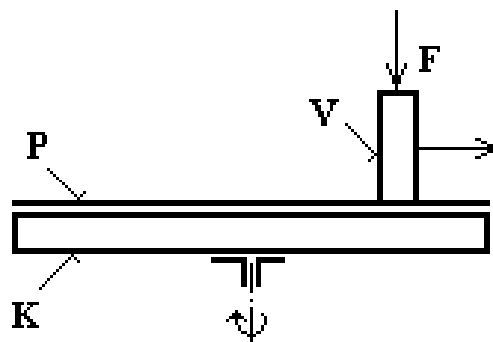
1.2.4 Hodnotenie odolnosti materiálov pre tvorbu povlakov proti opotrebeniu

Pre stanovenie odolnosti kovových materiálov proti jednotlivým druhom opotrebenia sa používajú skúšky prevádzkové, poloprevádzkové alebo laboratórne. Prevádzkové skúšky prebiehajú v reálnom pracovnom prostredí. Umožňujú študovať a hodnotiť opotrebenie priamo na strojnej súčiastke alebo konštrukčnom uzle. Ich výsledky sú však značne ovplyvnené premenlivosťou prevádzkových parametrov. Preto majú prevádzkové skúšky význam len pre konkrétne výrobné zariadenie alebo pre zariadenie pracujúce v podobných podmienkach. Sledovanie opotrebenia súčiastok v prevádzke býva podstatne drahšie ako vykonanie laboratórnych skúšok. Na základe štatisticky spracovaných výsledkov prevádzkových skúšok je možné prognózovať životnosť jednotlivých súčiastí, konštrukčných uzlov alebo celých strojových zariadení.

Laboratórne skúšky obvykle umožňujú študovať len niektoré parametre procesu opotrebenia, preto ich výsledky je možné do praxe aplikovať až po dôkladnej analýze

skutočných prevádzkových podmienok. Pri skúškach na laboratórnych prístrojoch možno detailne sledovať vplyv jednotlivých faktorov na charakter a intenzitu opotrebenia. Ich výhodou je obvykle nižšia cena a taktiež dobrá opakovateľnosť. Každý z uvedených prístupov ku skúšaniam má svoje výhody, ale i nevýhody. Metodiku skúšania odolnosti proti rôznym typom opotrebenia je nutné voliť so zreteľom na prevládajúce podmienky procesu opotrebenia v skutočnej prevádzke, aby boli výsledky hodnoverné (Balla, 1989).

V domácej i zahraničnej literatúre sú publikované principiálne schémy mnohých typov prístrojov pre laboratórne skúšky odolnosti materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu. V zásade sa jedná o prístroje s viazanými časticami a prístroje s voľnými časticami. V praxi sa najčastejšie používajú prístroje s brúsnym plátnom, ktorého principiálna schéma je uvedená na obr. 4. Ich výhodou je jednoduchá konštrukcia, spoľahlivosť v prevádzke a relatívne malý rozptyl výsledkov skúšok. Nevýhodou je však premenlivá kvalita používaného brúsneho plátna (MM Průmyslové spektrum, 2003).



Obr. 4 Princíp skúšky na brúsnom plátne (Veles, 1989)

1.3 Technológie pre tvorbu povlakov

Technológie tvorby povlakov sa používajú ako renovačná metóda, pri ktorej sa na opotrebenej ploche návarom dopĺňa chýbajúci materiál. Existuje celý rad rôznych technológií, ktoré umožňujú vytvárať povlaky s rôznymi parametrami. Stále častejšie sa vytvárajú povlaky pri výrobe nových výrobkov, kde sa tvrdonávarom zvyšuje odolnosť povrchu proti opotrebeniu. V oboch uvedených prípadoch môže vhodne použitý povlak priniesť významné ekonomické efekty.

Čoraz väčší význam nadobúdajú technológie žiarového striekania, ktoré umožňujú vytváranie povlakov z rôznych materiálov a z rôznymi vlastnosťami. Jednou z najpoužívanejších technológií žiarového striekania je plameňopráškové striekanie.

1.3.1 Plameňopráškové striekanie

Práškové naváranie kyslíkovo-acetylénovým plameňom je veľmi využívaná metóda najmä pri kusovej renovácii, pri naváraní nepravidelných plôch a hrán. Používa sa k vytvoreniu návarov odolných proti opotrebeniu a návarov koróziivzdorných. Touto metódou je možné vytvárať návary veľmi tenké (0,05 mm) až po návary hrubé niekoľko milimetrov. Výhodou tejto technológie je skutočnosť, že premiešanie návarového kovu so základným materiálom je minimálne a vzhľad navarenej plochy je veľmi hladký a nevyžaduje ďalšie opracovanie. Naproti tomu vysoká cena práškov a veľké straty prášku roztrekom pri naváraní malých plôch môžu túto technológiu z ekonomického hľadiska urobiť problematickou.

Táto technológia spočíva v nanášaní kovových práškov špeciálnym horákom. Horáky pre kyslíko-acetylénové naváranie pracujú na princípe dvojstupňového premiešania kovového prášku s horľavou zmesou. V prvom stupni dochádza k prisávaniu prášku z násypky a miešanie s kyslíkom. V druhom stupni prebieha zmiešavanie už vytvorenej zmesi s acetylénom. Zmiešavací pomer kyslíka a acetylénu býva 1:1. Rozptyl prášku pri naváraní rovinných plôch je 15 až 20 % celkovej spotreby prášku (Balog, Čičo, 2005).

Technika navárania je podobná klasickému naváraníu plameňom s tým rozdielom, že po nahriatí povrchu naváraného materiálu sa otvorí práškový uzáver a predohriaty prášok sa dostáva na predohriatu plochu, kde sa teplotou plameňa roztavuje. Pohyb horáka závisí od veľkosti naváranej plochy, jej geometrie a hrúbky naváranej vrstvy. Naváranie sa robí buď na celej ploche, alebo v pásoch šírky 10 až 15 mm. Používa sa kyslíkovo-acetylénový neutrálny plameň (Adamka, 1983).

Naváranie kovovými práškami sa robí bez predhrevu, alebo s predhrevom. Teplota predhrevu závisí od chemického zloženia naváraného materiálu. Pre uhlíkové ocele je to zvyčajne 200 až 250°C, pre nízkoalegované a vysokoalegované ocele a liatiny je to 300 až 400°C. Predhrievať sa musí tak, aby na naváranej ploche nevzniklo miestne prehriatie a oxidy, ktoré znemožňujú difúzne spojenie nanášaného práškového materiálu.

Pri jednovrstvových návaroch sa na predohriaty materiál rovnomerne naniesie prášok v hrúbke asi 0,5 mm, aby nedošlo k jeho nataveniu. Tento postup sa nazýva predpráškovanie. Účelom predpráškovania je ochrana naváraného materiálu pred oxidáciou pri tavení prášku. Po nanesení prášku t.j. po predpráškovaní sa nanosená vrstva postupne natavuje bez pridania ďalšieho prášku (Adamka, 1983).

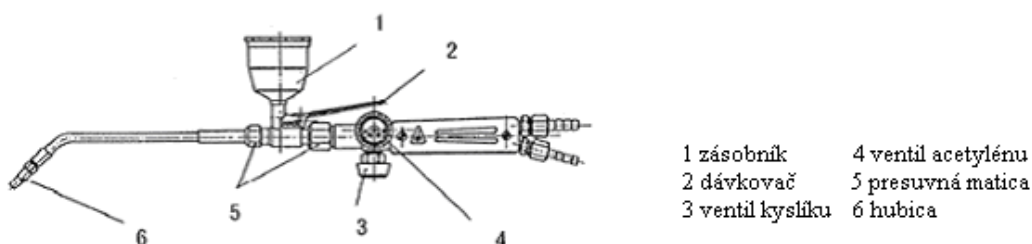
Podľa Matuszeka, Rubeša a Vrabca (1974) má táto technológia dve hlavné zásady a to:

- a) Ohrev naváranej súčiastky na teplotu 300 až 400°C a okamžitý nástrek tzv. protioxidačnej vrstvy. Vzďialenosť horáku od naváraného povrchu 30 až 50 mm.
- b) Natavenie protioxidačnej vrstvy a súčasné dávkovanie prášku a jeho pretavenie.

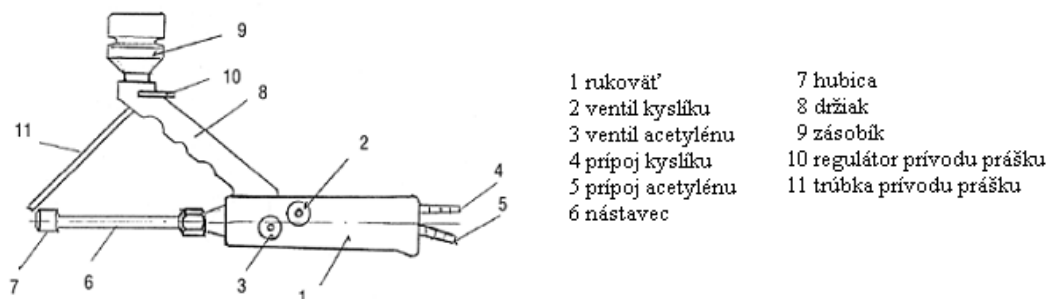
Pri viacvrstvových návaroch sa prvá vrstva postupne natavuje za súčasného pridávania a tavenia ďalšieho prášku. Maximálna hrúbka, ktorá sa týmto spôsobom môže naniesť, je 2mm. Po naváraní práškov, ktoré majú väčšiu tvrdosť (50 – 60 HRC) treba zabezpečiť, aby navarené vrstvy chladli pomaly. Rýchle chladnutie spôsobuje vznik mikrotrhlín a makrotrhlín.

Naváracie horáky možno rozdeliť do dvoch skupín:

- a) horáky s podávaním prášku cez trubicu horáka, kde injekčným účinkom kyslíka je prášok nesený cez plameň na renovovanú plochu (obr. 5).
- b) horáky s pridávaním prášku z vonkajšej strany, kde je prášok podávaný samospádom do oblasti najvyššej teploty plameňa (obr. 6).



Obr. 5 Plameňovopráškový horák NPK 1 s podávaním prášku cez hubicu horáka (Bajda, 2006)



Obr. 6 Plameňovopráškový horák s podávaním prášku pred hubicu horáka (Bajda, 2006)

2 Cieľ práce

Základným parametrom, ktorý vplýva na výsledné vlastnosti a tým aj na použitie tvrdonávarových materiálov, je ich chemické zloženie. Z ponuky rôznych výrobcov vyplýva široký rozsah tvrdonávarových materiálov s rôznym chemickým zložením. Každý z tých materiálov má príslušné vlastnosti.

Kombináciou materiálov z rôznym chemickým zložením pri tvorbe tvrdých povlakov je možné s výhodou využiť ich vlastnosti na vytvorenie povlakov s úplne novými parametrami. Takéto povlaky môžu mať úplne nové možnosti použitia v konkrétnych podmienkach. Na to, aby bolo možné takéto aplikácie uskutočniť, je potrebné vybrať vhodné kombinácie materiálov a odskúšať ich vlastnosti.

Preto cieľom diplomovej práce je posúdiť možnosti ovplyvňovania výsledných vlastností povlakov vytvorených kombináciou viacerých práškových tvrdonávarových materiálov nanesených v jednom povlaku vo viacerých vrstvách. Vrchnú vrstvu bude tvoriť materiál s vysokou tvrdosťou. Kombinácia rôznych vlastností materiálov tvoriacich povlak môže priniesť zlepšenie výsledných vlastností povlaku. Vzhľadom na to, že tvrdonávary sú vo väčšine prípadov aplikované pri požiadavke odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu, budú v práci skúšané a vyhodnocované tribologické vlastnosti, konkrétne odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu na brúsnom plátne, povlakov získaných uvedeným spôsobom.

3 Metodika práce

3.1 Charakteristika skúšaných materiálov

Skúšanie tribologických vlastností tvrdonávarov bude realizované na povlakoch vytvorených práškovými prídavnými materiálmi na báze NiCrBSi. Tieto materiály umožňujú jednoduchým spôsobom realizovať zámer vytvárania dvojvrstvových tvrdonávarov z dvoch rôznych materiálov. Navyše na Katedre kvality a strojárskych technológií sú technologické možnosti na vytváranie takýchto povlakov.

Pre experimenty boli vybrané tri práškové zliatiny na báze NiCrBSi, a to NP 52, NP 58 a NP 62, ktoré budú plniť funkciu prvej (podkladovej) vrstvy. Druhá vrstva bude tvorená v prvom prípade tým istým materiálom ako vrstva podkladová, v druhom prípade bude druhá vrstva tvorená práškovým materiálom NP 60 WC 20. Tieto samotroskotvorné práškové prídavné materiály sú vyrábané vo Výskumnom ústave zvaračskom – Priemyselnom inštitúte SR v Bratislave. Je možné ich nanášať plameňom a plazmou.

Podľa výrobcu sa uvedené materiály používajú na tvorbu povlakov odolných proti opotrebeniu, korózii a oxidácii. Sú vhodné na nanášanie zakrivených plôch a hrubých stien a používajú sa na nanášanie funkčných plôch hriadel'ov, puzdier a pri stavbe strojov a zariadení, kde sa vyžaduje extrémna odolnosť proti opotrebeniu, korózii a teplote (www.vuz.sk, 2009). Základné parametre skúšaných materiálov sú uvedené v tab. 1.

Jednotlivé skúmané materiály sa od seba odlišujú svojím chemickým zložením. Materiály NP 52 a NP 62 sú z hľadiska obsiahnutých prvkov podobné, pričom materiál NP 62 má vyšší obsah uhlíka a chrómu. Materiál NP 58 obsahuje všetky prvky ako predchádzajúce dva materiály, ale navyše obsahuje aj Cu, W a Mo. Materiál NP 60 WC 20 obsahuje navyše častice karbidu volfrámu v množstve 20 %. Použité materiály majú rôzne tvrdosti (pozri tab. 1).

3.2 Postup pri príprave vzoriek

Ako už bolo uvedené v predchádzajúcej kapitole, budú skúšané dva varianty dvojvrstiev. Pre každú kombináciu materiálov v oboch variantoch bude vyrobených 5 vzoriek podľa normy STN 015084. Návary budú nanášané na nosič v tvare valca s priemerom 10 mm, ktorý bude vyrobený z ocele 11 373.

**Tab. 1 Parametre naváracích práškov typu NiCrBSi od VÚZ-PI, a. s. Bratislava
(www.vuz.sk, 2009)**

Materiál	Smerné chemické zloženie (hmot. %)									Tvrdosť HRC
	C	Si	B	Fe	Cu	Cr	W	Mo	Ni	
NP 52	max. 0,5	max. 5,0	max. 3,5	max. 5,0	-	8,0 14,0	-	-	zv.	48 - 54
NP 58	max. 0,6	max. 4,5	max. 4,0	max. 10,0	max. 2,5	max. 15,0	max. 2,5	max. 2,5	zv.	54 - 59
NP 62	max. 0,9	max. 5,5	max. 4,0	max. 5,0		max. 20,0	-	-	zv.	58 - 65
NP 60 WC 20	max. 0,6	max. 5,0	max. 3,9	max. 5,0	-	max. 16,0	20 % WC	-	zv.	75 - 82

Príprava vzoriek prebehne v prípravku na naváranie vzoriek pre skúšku odolnosti proti opotrebeniu na brúsnom plátne, ktorý bol vyrobený na Katedre kvality a strojárskych technológií TF SPU v Nitre (obr. 7). Naváraním všetkých vzoriek naraz v prípravku sa dosiahnu rovnomerné vlastnosti návarov na všetkých vzorkách .



Obr. 7 Prípravok na naváranie vzoriek pre skúšku na brúsnom plátne

Nanášanie jednotlivých vrstiev bude realizované na šablónu umiestnenú v prípravku. Šablóna bude vyrobená z ocelevej pásoviny. V nej budú vyvrtané otvory s priemerom 10 mm, v ktorých budú umiestnené nosiče návarov. Návar bude mať šírku minimálne 20 mm. Po vytvorení návarov sa šablóna nareže tak, že sa jednotlivé vzorky od seba oddelia. Oddelené vzorky sa potom na brúske vybrúsia do valcovitého tvaru s priemerom 10 mm. Navarené konce skúšobných vzoriek sa obrúsia na rovinatej brúske do roviny.

Etalónové skúšobné telesá budú vyrobené z ocele 12 014.2 s tvrdosťou 95 – 105 HV, pričom tvary a rozmery budú rovnaké ako u skúšobných vzoriek s tvrdonávarmi. Na nanášanie práškových materiálov bude použitý kyslíkovo-acetylenový plameň horákom NPK 1 (obr. 5).

Pri výrobe vzoriek s tvrdonávarmi budú použité dva režimy. V prvom režime budú nanesené na seba dve vrstvy toho istého práškového materiálu. V druhom režime bude spodná vrstva vytvorená jedným z troch podkladových materiálov (NP 52, NP 58, NP 62) a druhá vrstva bude vytvorená materiálom NP 60 WC 20.

3.3 Postup merania a vyhodnocovania zisťovaných veličín

3.3.1 Meranie a vyhodnocovanie odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu

Na zisťovanie odolnosti dvojvrstvových návarov z vybraných práškových materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu bude použitá skúška pomernej odolnosti materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu na brúsne plátne, ktorá je normalizovaná podľa STN 01 5084. Takéto zariadenie je k dispozícii na Katedre kvality a strojárskych technológií TF SPU v Nitre (obr. 8). Brúsne plátno má tvar kruhu s priemerom 480 mm, čím je dosiahnutá dĺžka tretej dráhy 50 m. Rýchlosť pohybu skúšobného telesa je $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Pred upnutím skúšobnej vzorky do držiaka je potrebné odmerať hmotnosti m_0 všetkých skúšobných vzoriek. Meranie hmotnosti bude uskutočnené na váhe Precisa 205 A s presnosťou na 10^{-4} g.. Zistené hodnoty sa zapíšu do tabuľky.

Na zabezpečenie rovnakých podmienok opotrebenia pre každú vzorku je potrebné vždy použiť nové brúsne plátno, ktoré sa namontuje na hnanú kruhovú platňu. Držiak so skúšobnou vzorkou sa vloží do unášača a zaťaží sa závažím tak, aby na vzorku pôsobilo zaťaženie $0,32 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ prierezu vzorky. Zariadenie sa uvedie do chodu, pričom po prejdení príslušnej dráhy koncový vypínač automaticky vypne chod zariadenia.



Obr. 8 Zariadenie na skúšanie odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu na brúsnom plátne

Následne sa vzorka vyberie z držiaka a odmeria sa jej hmotnosť po skúške m_1 . Zistené hodnoty hmotnosti vzoriek po skúške sa zapíšu do tabuľky.

Z nameraných hodnôt hmotností skúšobných vzoriek pred skúškou a po skúške sa určia hmotnostné úbytky Δm a vypočítajú sa priemerné hodnoty hmotnostných úbytkov pre jednotlivé skúšané materiály. Získané hodnoty sa zapíšu do tabuľky.

Hodnota pomernej odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu sa vypočíta podľa vzorca:

$$\psi_{abr} = \frac{\Delta V_E}{\Delta V} = \frac{\Delta \bar{m}_E}{\Delta \bar{m}} \cdot \frac{\rho}{\rho_E} \quad (1)$$

kde:

ψ_{abr} – pomerná odolnosť proti opotrebeniu (-),

ΔV_E – priemerný objemový úbytok etalónových skúšobných telies (mm^3),

ΔV – priem. objemový úbytok skúšobných telies zo skúšaného materiálu (mm^3),

$\Delta \bar{m}_E$ – priemerný hmotnostný úbytok etalónových skúšobných telies (g),

$\Delta \bar{m}$ – priemerný hmotnostný úbytok skúšobných telies skúšaného materiálu (g),

ρ_E - merná hmotnosť etalónového materiálu ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$),

ρ - merná hmotnosť skúšaného materiálu ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

Zistené hodnoty pomernej odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu sa zapíšu do tabuľky a vypočítajú sa priemerné hodnoty pre jednotlivé skúšané materiály.

Zo vzorca (1) vyplýva, že pri výpočte hodnôt pomernej odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu je potrebné poznať hodnoty merných hmotností jednotlivých skúšaných materiálov a etalónu. Hodnota mernej hmotnosti sa počíta podľa vzorca:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

kde:

ρ – merná hmotnosť materiálu ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$),

m – hmotnosť vzorky materiálu (g),

V – objem vzorky materiálu (cm^3).

Na určenie mernej hmotnosti materiálov budú vyrobené špeciálne vzorky. Preto sa pri výrobe vzoriek pre skúšku na brúsnom plátne v šablóne (kap. 3.2) vytvorí dlhší návar, z ktorého sa po rozrezaní šablóny vybrúsia vzorky v tvare hranola s rozmermi $10 \times 10 \times 3$ mm. Uvedeným spôsobom budú vyrobené 3 vzorky. Potom sa tieto vzorky odvážia na váhe Precisa 205 A s presnosťou na 10^{-4} g, odmerajú sa ich rozmery mikrometrom s presnosťou 0,01 mm a podľa vzorca (2) budú vypočítané hodnoty mernej hmotnosti skúmaných tvrdonávarových materiálov.

Merná hmotnosť etalónového materiálu bude určená zo vzoriek určených pre skúšku na brúsnom plátne.

3.3.2 Meranie tvrdosti

Ako doplňujúca informácia o tvrdonávarových materiáloch sa bude merať aj ich tvrdosť. Pretože ide o veľmi tvrdé materiály, na meranie ich tvrdosti bude použitá metóda merania tvrdosti podľa Rockwella stupnica C (HRC) podľa normy STN ISO 6508-1. Skúška bude vykonaná na prístroji Lucznik, ktorý je k dispozícii na Katedre kvality a strojárskych technológií TF SPU v Nitre (obr. 9). Tvrdosť etalónového materiálu bude,

vzhľadom na jej nízku hodnotu, meraná Vickersovou metódou podľa normy STN ISO 6507-1.



Obr. 9 Tvrdomer Lucznik pre Rockwellovu metódu

4 Výsledky práce

4.1 Stanovenie mernej hmotnosti skúšaných materiálov

4.1.1 Stanovenie mernej hmotnosti etalónového materiálu

Merná hmotnosť ocele 12014.2 (etalónového materiálu) bola určená pomocou vzoriek pre skúšku na brúsnom plátne. Tieto vzorky mali tvar valca s priemerom 10 mm. Hodnoty priemerov a dĺžok etalónových vzoriek boli odmerané mikrometrom s presnosťou 0,01 mm.

Hmotnosť jednotlivých vzoriek etalónového materiálu bola odmeraná pomocou váhy Precisa 205 A s presnosťou 10^{-4} g. Hodnoty rozmerov, vypočítané hodnoty objemu a namerané hodnoty hmotnosti jednotlivých vzoriek etalónového materiálu sú uvedené v tab. 2.

Tab. 2 Hmotnosť, objem a merná hmotnosť etalónového materiálu

Por. číslo vzorky	Hmotnosť vzorky m (g)	Rozmery vzorky		Objem vzorky V (mm ³)	Merná hmotnosť vzorky ρ (g.cm ⁻³)
		Priemer d (mm)	Výška c (mm)		
1	34,2689	10,00	55,08	4325,973	7,9216
2	34,3371	10,03	55,02	4347,227	7,8986
3	34,3108	9,98	55,02	4303,993	7,9719
Priemerná hodnota mernej hmotnosti etalónového materiálu $\bar{\rho}_E$ (g.cm ⁻³)					7,9307
Smerodajná odchýlka mernej hmotnosti etalónového materiálu σ_E (g.cm ⁻³)					0,0306

4.1.2 Stanovenie mernej hmotnosti práškových materiálov

Merné hmotnosti práškových tvrdonávarových materiálov boli zisťované zo vzoriek odobratých zo šablóny po navarení vzoriek pre skúšku na brúsnom plátne. Z každej šablóny sa podarilo odobrať dve vzorky s rozmermi 10 mm x 5 mm x 3 mm. Na dané rozmery boli vzorky vybrúsené na rovinnej brúske. Na odmeranie rozmerov vzoriek bol použitý mikrometer s presnosťou 0,01 mm.

Hmotnosti jednotlivých vzoriek boli odmerané pomocou váhy Precisa 205 A s presnosťou 10^{-4} g. Namerané rozmery vzoriek, vypočítané objemy a odmerané hmotnosti pre jednotlivé tvrdonávarové materiály sú uvedené v tab. 3 – 6.

Hodnoty merných hmotností pre jednotlivé vzorky boli vypočítané podľa vzorca (2). Následne boli vypočítané priemerné hodnoty merných hmotností skúmaných materiálov. Ich vypočítané hodnoty pre jednotlivé materiály sú uvedené v tab. 3 – 6.

Tab. 3 Hmotnosť, objem a merná hmotnosť materiálu NP 52

Por. čís. vzorky	Hmotnosť vzorky m (g)	Rozmery vzorky			Objem vzorky V (mm ³)	Merná hmotnosť vzorky ρ (g.cm ⁻³)
		Dĺžka a (mm)	Šírka b (mm)	Výška c (mm)		
1	1,0521	10,05	4,92	2,92	144,3823	7,2869
2	1,1058	10,03	5,01	2,97	149,2434	7,4094
Priemerná hodnota mernej hmotnosti materiálu NP 52 $\bar{\rho}_{NP52}$ (g.cm ⁻³)						7,3481
Smerodajná odchýlka mernej hmotnosti materiálu NP 52 σ_{NP52} (g.cm ⁻³)						0,0612

Tab. 4 Hmotnosť, objem a merná hmotnosť materiálu NP 58

Por. čís. vzorky	Hmotnosť vzorky m (g)	Rozmery vzorky			Objem vzorky V (mm ³)	Merná hmotnosť vzorky ρ (g.cm ⁻³)
		Dĺžka a (mm)	Šírka b (mm)	Výška c (mm)		
1	1,500	10,01	5,10	3,02	154,1740	7,4591
2	1,2477	10,08	5,02	3,08	155,8529	8,0056
Priemerná hodnota mernej hmotnosti materiálu NP 58 $\bar{\rho}_{NP58}$ (g.cm ⁻³)						7,7324
Smerodajná odchýlka mernej hmotnosti materiálu NP 58 σ_{NP58} (g.cm ⁻³)						0,2733

Tab. 5 Hmotnosť, objem a merná hmotnosť materiálu NP 62

Por. čís. vzorky	Hmotnosť vzorky m (g)	Rozmery vzorky			Objem vzorky V (mm ³)	Merná hmotnosť vzorky ρ (g.cm ⁻³)
		Dĺžka a (mm)	Šírka b (mm)	Výška c (mm)		
1	1,2145	9,95	5,13	3,01	153,6409	7,9048
2	1,1896	10,08	5,05	3,01	153,2210	7,7640
Priemerná hodnota mernej hmotnosti materiálu NP 62 $\bar{\rho}_{NP62}$ (g.cm ⁻³)						7,8344
Smerodajná odchýlka mernej hmotnosti materiálu NP 62 σ_{NP62} (g.cm ⁻³)						0,0704

Tab. 6 Hmotnosť, objem a merná hmotnosť materiálu NP 60 WC 20

Por. čís. vzorky	Hmotnosť vzorky m (g)	Rozmery vzorky			Objem vzorky V (mm ³)	Merná hmotnosť vzorky ρ (g.cm ⁻³)
		Dĺžka a (mm)	Šírka b (mm)	Výška c (mm)		
1	1,2186	9,99	5,00	3,01	150,3495	8,1051
2	1,2096	10,05	5,05	3,02	153,2726	7,8918
Priemerná hodnota mernej hmotnosti materiálu NP 60 WC 20 $\bar{\rho}_{NP60WC20}$ (g.cm ⁻³)						7,9985
Smerodajná odchýlka mernej hmotnosti materiálu NP 60 WC 20 $\sigma_{NP60WC20}$ (g.cm ⁻³)						0,1065

Hodnoty merných hmotností skúmaných materiálov majú podobné veľkosti. Rozpätie ich priemerných hodnôt dosahuje hodnotu 0,6504 g.cm⁻³. Takéto podobné hodnoty sú dôsledkom malých rozdielov v chemickom zložení skúmaných materiálov. Rozhodujúcim je obsah chrómu a volfrámu v štruktúre týchto materiálov.

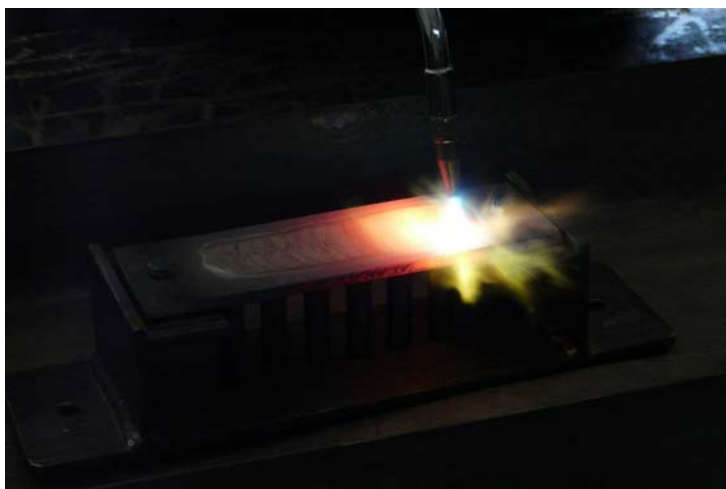
4.2 Vyhodnotenie skúšky odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu na brúsnom plátne

Vzorky boli pripravené podľa postupu uvedeného v kap. 3.2. Vzorky jednotlivých práškových tvrdonávarov boli navárané v šablónach (obr. 10) tak, že každý materiál mal vlastnú šablónu. Šablóna bola po vychladnutí rozrezaná na kusy pásovou pilou a obrúsená na brúske do tvaru valca. Pritom bol dodržaný priemer vzorky 10 mm. Návary na skúšobných vzorkách boli zabrúsené do roviny tak, aby vrstva tvrdonávaru bola minimálne 3 mm. Pre každý skúšaný materiál boli vytvorené tri vzorky.

Skúšky odolnosti daných materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu na brúsnom plátne boli vykonané podľa postupu uvedeného v kap. 3.3.1. Skúšky prebehli na korundovom brúsnom plátne so zrnitosťou 120, pričom na každú skúšobnú vzorku bolo použité nové plátne.

Pred skúškou boli určené hmotnosti všetkých skúšobných vzoriek. Po zistení hmotnosti boli jednotlivé skúšobné vzorky postupne upínané do držiaka a bola na nich vykonaná skúška na brúsnom plátne. Po skúške na brúsnom plátne boli následne zisťované hmotnosti jednotlivých skúšobných vzoriek po skúške takým istým postupom ako pred

skúškou. Hodnoty hmotností skúšobných vzoriek pred skúškou a po skúške sú uvedené v tab. 7 – 13.



Obr. 10 Naváranie vzoriek v prípravku

Následne boli vypočítané hmotnostné úbytky a ich priemerné hodnoty pre jednotlivé skúšobné vzorky. Zistené hodnoty sú uvedené v tab. 7 – 13.

Z priemerných hodnôt hmotnostných úbytkov a pomerných hmotností jednotlivých materiálov boli vypočítané hodnoty pomernej odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu podľa vzorca (1). Tieto hodnoty sú uvedené v tab. 7 – 13. Hodnoty pomernej odolnosti jednotlivých materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu sú znázornené na obr. 11.

Tab. 7 Hmotnostné úbytky, tvrdosti a pomerná odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu etalónového materiálu

Por. číslo vzorky	Tvrdosť vzorky HV 30	Hmotnosť vzorky pred skúškou m_0 (g)	Hmotnosť vzorky po skúške m_1 (g)	Hmotnostný úbytok Δm (g)
1	110	32,9382	32,5727	0,3655
2	105	31,8469	31,4948	0,3521
3	104	31,1224	30,7547	0,3677
Priemerná hodnota hmotnostných úbytkov etalónového materiálu $\Delta \bar{m}_E$ (g.cm ⁻³)				0,3633
Smerodajná odchýlka hmotnostných úbytkov etalónového materiálu σ_E (g.cm ⁻³)				0,0103
Priemerná hodnota tvrdosti etalónového materiálu HV 30				106,33
Pomerná odolnosť etalónového materiálu proti abrazívnemu opotrebeniu ψ_E				1,00

Tab. 8 Hmotnostné úbytky, tvrdosti a pomerná odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu dvojvrstvého materiálu NP 52+NP 52

Por. číslo vzorky	Tvrdosť vzorky HRC	Hmotnosť vzorky pred skúškou m_0 (g)	Hmotnosť vzorky po skúške m_1 (g)	Hmotnostný úbytok Δm (g)
1	46,0	31,6624	31,4188	0,2436
2	56,0	31,2843	31,0922	0,1921
3	52,5	31,7758	31,5704	0,2054
Priemerná hodnota hmotnostných úbytkov dvojvrstvého materiálu NP 52 $\Delta \bar{m}_{NP52+NP52}$ (g.cm ⁻³)				0,2137
Smerodajná odchýlka hmotnostných úbytkov dvojvrstvého materiálu NP 52 $\sigma_{NP52+NP52}$ (g.cm ⁻³)				0,0219
Priemerná hodnota tvrdosti dvojvrstvého materiálu NP 52 HRC _{NP52+NP52}				51,50
Pomerná odolnosť dvojvrstvého materiálu NP 52 proti abrazívnemu opotrebeniu $\psi_{NP52+NP52}$				1,58

Tab. 9 Hmotnostné úbytky, tvrdosti a pomerná odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu dvojvrstvého materiálu NP 58+NP 58

Por. číslo vzorky	Tvrdosť vzorky HRC	Hmotnosť vzorky pred skúškou m_0 (g)	Hmotnosť vzorky po skúške m_1 (g)	Hmotnostný úbytok Δm (g)
1	53,0	32,5693	32,3725	0,1968
2	52,5	32,3624	32,1298	0,2326
3	55,0	32,4872	32,3047	0,1825
Priemerná hodnota hmotnostných úbytkov dvojvrstvého materiálu NP 58 $\Delta \bar{m}_{NP58+NP58}$ (g.cm ⁻³)				0,2040
Smerodajná odchýlka hmotnostných úbytkov dvojvrstvého materiálu NP 58 $\sigma_{NP58+NP58}$ (g.cm ⁻³)				0,0211
Priemerná hodnota tvrdosti dvojvrstvého materiálu NP 58 HRC _{NP58+NP58}				53,50
Pomerná odolnosť dvojvrstvého materiálu NP 58 proti abrazívnemu opotrebeniu $\psi_{NP58+NP58}$				1,87

Tab. 10 Hmotnostné úbytky, tvrdosti a pomerná odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu dvojvrstvého materiálu NP 62+NP 62

Por. číslo vzorky	Tvrdosť vzorky HRC	Hmotnosť vzorky pred skúškou m_0 (g)	Hmotnosť vzorky po skúške m_1 (g)	Hmotnostný úbytok Δm (g)
1	67,0	32,5348	32,4944	0,0404
2	65,0	32,5181	32,4699	0,0482
3	68,0	32,4483	32,4141	0,0342
Priemerná hodnota hmotnostných úbytkov dvojvrstvého materiálu NP 62 $\Delta \bar{m}_{NP62+NP62}$ (g.cm ⁻³)				0,0409
Smerodajná odchýlka hmotnostných úbytkov dvojvrstvého materiálu NP 62 $\sigma_{NP62+NP62}$ (g.cm ⁻³)				0,0057
Priemerná hodnota tvrdosti dvojvrstvého materiálu NP 62 HRC _{NP62+NP62}				66,67
Pomerná odolnosť dvojvrstvého materiálu NP 62 proti abrazívnemu opotrebeniu $\psi_{NP62+NP62}$				8,77

Tab. 11 Hmotnostné úbytky, tvrdosti a pomerná odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu dvojvrstvého materiálu NP 52 + NP 60 WC 20

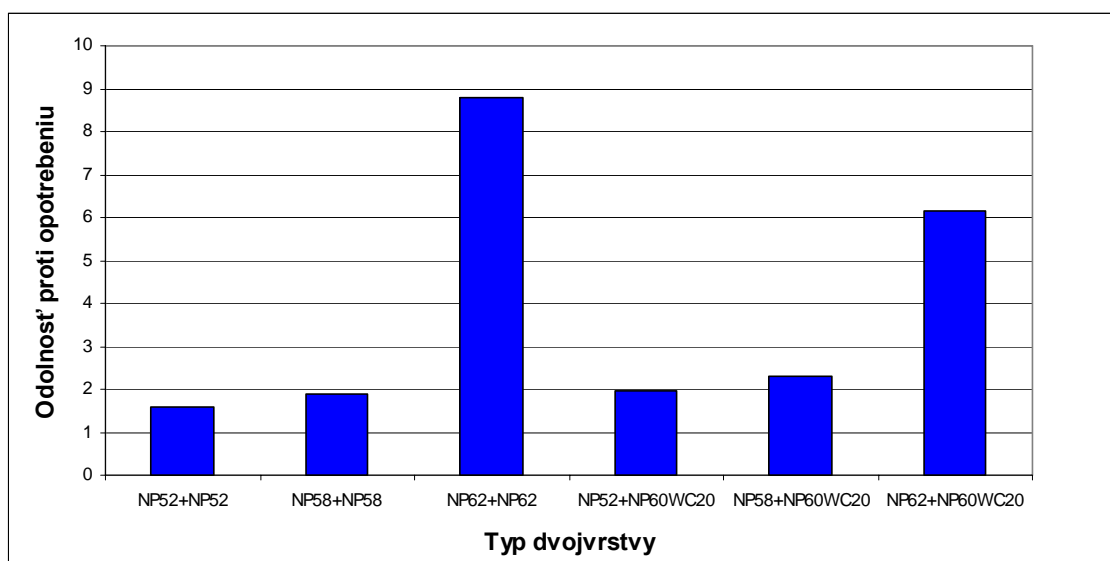
Por. číslo vzorky	Tvrdosť vzorky HRC	Hmotnosť vzorky pred skúškou m_0 (g)	Hmotnosť vzorky po skúške m_1 (g)	Hmotnostný úbytok Δm (g)
1	59	32,086	31,926	0,16
2	58	31,8518	31,6488	0,203
3	58	31,7981	31,6247	0,1734
Priemerná hodnota hmotnostných úbytkov dvojvrstvého materiálu NP 52+NP 60 WC 20 $\Delta \bar{m}_{NP52+NP60WC20}$ (g.cm ⁻³)				0,1788
Smerodajná odchýlka hmotnostných úbytkov dvojvrstvého materiálu NP 52+NP 60 WC 20 $\sigma_{NP52+NP60WC20}$ (g.cm ⁻³)				0,0180
Priemerná hodnota tvrdosti dvojvrstvého materiálu NP 52+NP 60 WC 20 HRC _{NP52+NP60WC20}				58,33
Pomerná odolnosť dvojvrstvého materiálu NP 52+NP 60 WC 20 proti abrazívnemu opotrebeniu $\psi_{NP52+NP60WC20}$				1,97

Tab. 12 Hmotnostné úbytky, tvrdosti a pomerná odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu dvojvrstvého materiálu NP 58 + NP 60 WC 20

Por. číslo vzorky	Tvrdosť vzorky HRC	Hmotnosť vzorky pred skúškou m_0 (g)	Hmotnosť vzorky po skúške m_1 (g)	Hmotnostný úbytok Δm (g)
1	61,0	32,8426	32,6841	0,1585
2	62,0	32,7241	32,5693	0,1548
3	60,0	32,8514	32,6945	0,1569
Priemerná hodnota hmotnostných úbytkov dvojvrstvého materiálu NP 58+NP 60 WC 20 $\Delta \bar{m}_{NP58+NP60WC20}$ (g.cm ⁻³)				0,1567
Smerodajná odchýlka hmotnostných úbytkov dvojvrstvého materiálu NP 58+NP 60 WC 20 $\sigma_{NP58+NP60WC20}$ (g.cm ⁻³)				0,0015
Priemerná hodnota tvrdosti dvojvrstvého materiálu NP 58+NP 60 WC 20 HRC _{NP58+NP60WC20}				61,00
Pomerná odolnosť dvojvrstvého materiálu NP 58+NP 60 WC 20 proti abrazívnemu opotrebeniu $\psi_{NP58+NP60WC20}$				2,30

Tab. 13 Hmotnostné úbytky, tvrdosti a pomerná odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu dvojvrstvého materiálu NP 62 + NP 60 WC 20

Por. číslo vzorky	Tvrdosť vzorky HRC	Hmotnosť vzorky pred skúškou m_0 (g)	Hmotnosť vzorky po skúške m_1 (g)	Hmotnostný úbytok Δm (g)
1	68	31,88	31,8264	0,0536
2	63	32,2946	32,2355	0,0591
3	67	32,8064	32,7421	0,0643
Priemerná hodnota hmotnostných úbytkov dvojvrstvého materiálu NP 62+NP 60 WC 20 $\Delta \bar{m}_{NP62+NP60WC20}$ (g.cm ⁻³)				0,0590
Smerodajná odchýlka hmotnostných úbytkov dvojvrstvého materiálu NP 62+NP 60 WC 20 $\sigma_{NP62+NP60WC20}$ (g.cm ⁻³)				0,0044
Priemerná hodnota tvrdosti dvojvrstvého materiálu NP 62+NP 60 WC 20 HRC _{NP62+NP60WC20}				66,00
Pomerná odolnosť dvojvrstvého materiálu NP 62+NP 60 WC 20 proti abrazívnemu opotrebeniu $\psi_{NP62+NP60WC20}$				6,15



Obr. 11 Hodnoty odolnosti proti opotrebeniu skúmaných dvojvrstiev

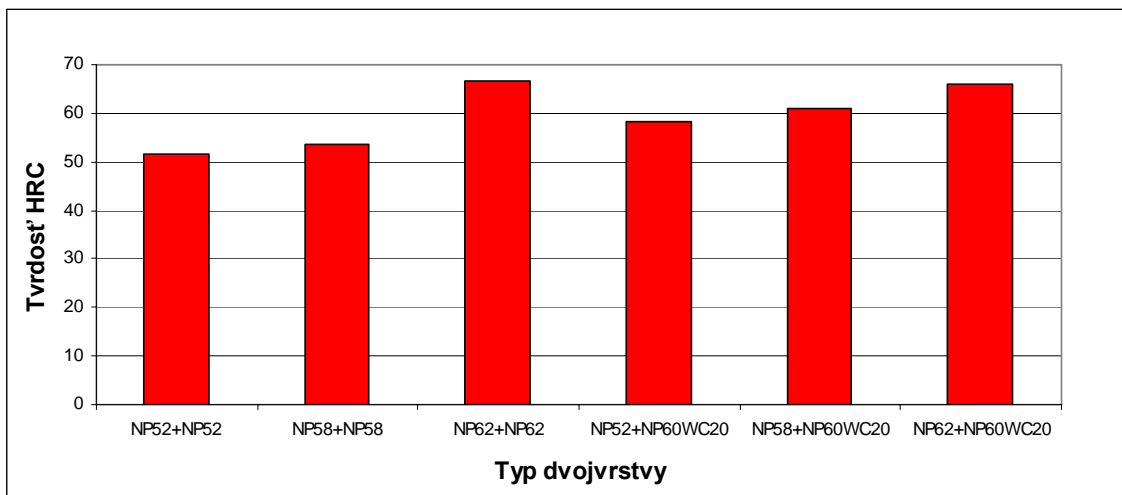
Z obr. 11 vyplýva, že dvojvrstvia NP 52+NP 52 dosiahla najnižšiu odolnosť proti opotrebeniu zo všetkých skúmaných variantov dvojvrstiev. Zároveň je možné pozorovať zvýšenie odolnosti proti opotrebeniu, ak je na materiál NP 52 nanosená vrstva NP 60 WC 20. Nárast predstavuje 19,8 %.

Podobný priebeh možno pozorovať aj u dvojvrstiev, u ktorých základ tvorí materiál NP 58. V tomto prípade už základný variant (NP 58+NP 58) má vyššiu odolnosť proti opotrebeniu než dvojvrstvia NP 52+NP 52 (o 15,5 %). Nárast odolnosti proti opotrebeniu pri dvojvrstve NP58+NP 60 WC 20 oproti základnému variantu predstavuje 19,0 %, čo je približne rovnako ako u dvojvrstiev s materiálom NP 52.

Najvyššiu odolnosť proti opotrebeniu dosiahla dvojvrstvia NP 62+NP 62. Nárast oproti predchádzajúcim dvom variantom je viac než štvornásobný. V tomto prípade však nenastal nárast odolnosti proti opotrebeniu pri dvojvrstve NP 62+NP60 WC 20. Naopak došlo k poklesu odolnosti proti opotrebeniu o 30 %.

4.3 Vyhodnotenie skúšok tvrdosti

Na každej skúšobnej vzorke bola odmeraná tvrdosť podľa Rockwella HRC podľa postupu uvedeného v kap. 3.3.2. Tvrdosť vzoriek etalónového materiálu bola meraná Vickersovou metódou HV 30. Namerané hodnoty tvrdostí a ich priemerné hodnoty pre jednotlivé kombinácie materiálov v dvojvrstvách sú uvedené v tab. 7 – 13. Priemerné hodnoty tvrdosti jednotlivých materiálov sú uvedené na obr. 12.



Obr. 12 Hodnoty tvrdosti skúmaných dvojrstiev

U tvrdostí je viditeľný rozdiel tvrdostí najmä u dvojrstiev z materiálu NP 62. U základných variantov dvojrstiev je tento rozdiel viac než 10 HRC. Z obr. 12 vyplýva nárast tvrdosti u variantov dvojrstiev s obsahom NP 60 WC 20. U dvojrstiev z materiálu NP 52 je to 13,3 % a u dvojrstiev z materiálu NP 58 je to 12,6 %. U dvojrstiev z materiálu NP 62 je tvrdosť u oboch variantov takmer rovnaká.

5 Diskusia

Vytváranie tvrdých povlakov, ktorých najdôležitejšou vlastnosťou je odolnosť proti opotrebeniu, ešte stále nie je uspokojujúco vyriešené. Nejde len o technologickú stránku vytvárania takýchto povlakov, ale najmä o materiálovú stránku. Na trhu je v súčasnosti v ponuke veľké množstvo rôznych prídavných materiálov od rôznych výrobcov. Tieto tvrdonávarové prídavné materiály sa od seba odlišujú chemickým zložením, ale aj cenou.

Jednou z možností ako dosiahnuť zlepšenie vlastností výsledného povlaku je aj kombinácia prídavných materiálov s rôznym chemickým a štruktúrnym zložením. Výsledkom je viacvrstvový povlak s vylepšenými vlastnosťami. Aj podľa Chotěborského (2008) prináša použitie dvojvrstvého komplexu karbidov vyššiu odolnosť proti opotrebeniu ako jednovrstvový komplex.

Herman (2006) tvrdí, že najlepšimi materiálmi odolnými proti všetkým druhom opotrebenia sú materiály na báze WC. Z tohto dôvodu bol aj v tomto experimente použitý na hornú vrstvu materiálu s určitým obsahom WC, a to materiál NP 60 WC 20. Tento materiál dával predpoklad na zvýšenie tvrdosti povlaku a aj jeho odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu. Tento predpoklad sa splnil u mäkkších základných tvrdonávarov NP 52 a NP 58. U týchto dvoch materiálov došlo v kombinácii s materiálom NP 60 WC 20 k zvýšeniu odolnosti proti opotrebeniu o približne 19 %. To môže v prevádzke viesť k výraznému predĺženiu životnosti navarených súčiastok. Uvedený predpoklad sa nepotvrdil u materiálu NP 62, ktorý je sám o sebe veľmi tvrdý a pri jeho zmiešaní s materiálom NP 60 WC 20 došlo k zníženiu aj jeho tvrdosti, aj odolnosti proti opotrebeniu.

6 Návrh na využitie výsledkov

Výsledky dosiahnuté v práci je možné využiť najmä v prevádzkovej praxi pri renováciách opotrebených funkčných plôch strojov a zariadení. Kombináciou rôznych materiálov je možné dosiahnuť určité zlepšenie odolnosti proti opotrebeniu nanesených povlakov pri veľmi malom náraste ceny. To znamená, že je možno zvýšiť efektívnosť prevádzky strojov a zariadení. Predĺžením životnosti súčiastok je taktiež možné znížiť prestoje, čím sa tiež prispieva k rentabilite prevádzky.

Uvedené postupy tvorby tvrdých povlakov a dosiahnuté výsledky je možné využiť aj vo vyučovacom procese v predmetoch, ktoré sa zaoberajú renováciou strojových súčiastok a zvyšovaním ich životnosti. Práca môže byť taktiež inšpiráciou pre ďalší výskum v tejto oblasti.

7 Záver

Abrazívne opotrebenie funkčných plôch súčiastok namontovaných v strojoch a zariadeniach spôsobuje každoročne veľké materiálne a ekonomicke straty v hospodárstve. Existuje viacero technológií, pomocou ktorých sa na funkčné plochy súčiastok vystavených abrazívnemu opotrebeniu nanášajú tvrdé a odolné materiály, prostredníctvom ktorých sa intenzita opotrebenia výrazne znižuje.

Jednou z takýchto technológií je aj nanášanie práškových zliatin žiarovým striekaním. Je to perspektívna a rýchlo sa rozvíjajúca technológia. Rôzne parametre nanášania touto technológiou však ešte stále nie sú uspokojivo vyriešené.

Rozhodujúcou vlastnosťou pri aplikácii žiarovo striekaných tvrdých povlakov v abrazívnom prostredí je ich odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu. Zmenu výsledných vlastností povlaku je možné dosiahnuť v prvom rade zmenou chemického zloženia materiálu. Tým sa zmení štruktúra a výsledné vlastnosti povlaku. Jednou z možností ako dosiahnuť ekonomicky výhodnú zmenu chemického zloženia je kombinácia viacerých materiálov vo viacerých vrstvách.

Preto cieľom tejto diplomovej práce bolo zistiť hodnoty pomernej odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu dvojvrstiev vytvorených kombináciou vybraných druhov práškových tvrdonávarových materiálov. V experimente boli použité práškové tvrdonávarové materiály na báze NiCrBSi s rôznym chemickým zložením. Základné práškové materiály NP 52, NP58 a NP 62 boli kombinované s materiálom NP 60 WC 20, ktorý obsahuje 20 % tvrdých častíc WC.

Skúšanie odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu prebehlo na zariadení pre skúšky odolnosti materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu na brúsnom plátne podľa normy STN 015084.

Východiskom pre určenie pomerných odolností proti opotrebeniu skúmaných materiálov bolo určenie ich merných hmotností. Merná hmotnosť ocele 12014.2 (etalónového materiálu) bola určená na skúšobných vzorkách pre skúšku odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu. Na určenie merných hmotností tvrdonávarových materiálov boli použité špeciálne vzorky odobraté z návaru pri príprave vzoriek pre skúšku na brúsnom plátne.

Najnižšiu odolnosť proti opotrebeniu zo skúmaných dvojvrstiev dosiahla dvojvrstva NP 52+NP 52. Pri kombinácii NP 52 s NP 60 WC 20 však už možno pozorovať zvýšenie odolnosti proti opotrebeniu o 19,8 %.

Podobný priebeh je aj u dvojvrstiev, ktorých základom je materiál NP 58. Tu už základný variant (NP 58+NP 58) má vyššiu odolnosť proti opotrebeniu než dvojvrstva NP 52+NP 52 (o 15,5 %). Nárast odolnosti proti opotrebeniu pri dvojvrstve NP58+NP 60 WC 20 oproti základnému variantu predstavuje 19,0 %.

Najvyššiu odolnosť proti opotrebeniu dosiahla dvojvrstva NP 62+NP 62. Nárast oproti predchádzajúcim dvom variantom je viac než štvornásobný. V tomto prípade však nenastal nárast odolnosti proti opotrebeniu pri dvojvrstve NP 62+NP60 WC 20. Naopak došlo k poklesu odolnosti proti opotrebeniu o 30 %.

Z dosiahnutých výsledkov vyplýva, že efekt dvojvrstvy s časticami WC sa prejavil iba u mäkších materiálov s tvrdosťou do 60 HRC. Ak základný materiál presahuje túto hodnotu tvrdosti nemá prítomnosť častíc WC podstatný vplyv.

8 Použitá literatúra

- ADAMKA, J. et al. 1983. *Základy zvarania, delenia a spájkovania kovov*. 1.vyd. Bratislava: ALFA, 1983. 539
- BAJDA, M. 2006. *Plamenopráškové stavované povlaky a jejich praktické využití*. [cit 2010-03-10]. Dostupné na internete: <<http://www.svarak.cz/c/cz/plamenopraskove-stavovane-povlaky-a-jejich-vyuziti-v-praxi.htm>>.
- BAJDA, M. 2007. *Navařování kovů* [cit 2010-01-03] Dostupné na internete: <http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Navařování_complete.pdf>.
- BALLA, J. 1989. *Tribológia a tribotechnika*. 3. nepr. vyd. Nitra : ES VŠP, 1989. 134 s. ISBN 80-85175-25-8
- BALOG, J. – ČIČO, P. 2005. *Spol'ahlivosť strojov I , 2*. 2. nez. vyd. Nitra : SPU, 2005 ISBN 80-8069-562-8
- BLAŠKOVIČ, P. - BALLA, J. - DZMKO, M. 1990. *Tribológia*. 1. vyd. Bratislava : ALFA, 1990. 360 s. ISBN 80-05-00 633-0
- HERMAN, P. 2006. *Materiály pro navařování a žárové nástřiky s obsahem wolframkarbidů*. [cit 2007-12-08]. Dostupné na internete: <http://www.svarak.cz/Svařák_cz_applications_and_development_in_the_spheres_of_spraying_welding_and_surfacing.htm>.
- HRIVŇÁK, I. 1989, *Teória zvariteľnosti kovov a zliatin*. Bratislava : VEDA, 1989, 343 s. ISBN 80-224-0016-5
- CHOTĚBORSKÝ, R. et al. 2008. *Abrasive wear of high chromium Fe-Cr-C hardfacing alloys*, [cit 2010-02-25]. Dostupné na internete: <<http://www.agriculturejournals.cz/uniqueFiles/02375.pdf>>.
- KNOTEK, O. 2001. Thermal Spraying and Detonation Gun Processes. In Bunshah, R. F. et al.: *Handbook of Hard Coatings. Deposition Technologies, Properties and Applications*. Park Ridge : Noyes Publications, 2001. 550 s. ISBN 0-8155-1438-7
- KOVAŘÍKOVÁ, K.- BLAŠKOVITŠ, P. 2007, *Abrazívne opotrebenie*. In *Strojárstvo EXTRA v tribológii a tribotechnike* [online]. 3/2007 [cit 2009-04-20] p.12-14. Dostupné na internete: <<http://www.strojarstvo.sk>>.
- MARKO, M. – BALLA, J. 1986. *Prevádzková spol'ahlivosť strojov III. Technológia a organizácia opráv*. 2. vyd. Bratislava : Príroda, 1986, 240 s.

-
- MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM 2003. Hodnocení odolnosti návarů proti abrazivnímu opotřebení. [cit 2009-02-20] Dostupné na internete: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/hodnoceni-odolnosti-navaru-proti-abrazivnimu-opotrebeni>>.
- PUŠKÁR, A. 1989. *Medzné stavy materiálov a súčastí*. 1. vyd. Bratislava : VEDA, 1989. 304 s. ISBN 80-224-0020-3.
- MATUSZEK, J. - RUBEŠ, L. – VRABEC, V. 1974. *Technologie oprav II*. Praha : Státní zemědělské nakladatelství, 1974. 243 s.
- STN 01 5050 Opotřebení materiálu (Názvosloví).
- STN 01 5084 Stanovení odolnosti kovových materiálů proti abrazivnímu opotřebení na brusném plátně.
- STN EN ISO 6507: 1997. Kovové materiály. Skúška tvrdosti podľa Vickersa. Časť 1: Skúšobná metóda.
- STN EN ISO 6508-1: 2000. Kovové materiály. Skúška tvrdosti podľa Rockwella. Časť 1: Skúšobná metóda (stupnice A, B, C, D, E, F, G, H, K, T, N).
- VELES, P. 1989. *Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov*. 2. vyd. Bratislava: ALFA, 1989. 408 s.
- WWW.VUZ.SK. 2010. *Kovové prášky na nanášanie za tepla*. [cit 2010-02-11] Dostupné na internete: <http://www.vuz.sk/vyroba_pm_3_7_3.html>.

9 Zoznam príloh

Príloha 1

CD médium – diplomová práca v elektronickej podobe