

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V
NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

**NOVÉ SPÔSOBY APLIKÁCIE OTERUVZDORNÝCH
MATERIÁLOV
Diplomová práca**

Študijný program:	Kvalita produkcie
Študijný odbor:	2386800 Kvalita produkcie
Školiace pracovisko:	Katedra kvality a strojárskych technológií
Školiteľ:	Rastislav Bernát, Ing. PhD.

Nitra 2011

Maroš Masaryk, Bc.

Čestné vyhlásenie

Podpísaný Bc. Maroš Masaryk vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Nové spôsoby aplikácie oteruvzdorných materiálov“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

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

V Nitre 29. apríla 2011

Maroš Masaryk

POĎAKOVANIE

Touto cestou by som chcel vysloviť poďakovanie pánovi Ing. Rastislavovi Bernátovi, PhD. za pomoc, odborné vedenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovaní mojej diplomovej práce.

Ďalej by som chcel poďakovať pánovi Ing. Smetanovi z Výskumného ústavu zväračského za poskytnutie cenných prídavných materiálov. Chcem poďakovať Pánovi Doc. Danielovi Jankurovi za veľmi dobrú spoluprácu na pôde Technickej Univerzity v Košiciach v oblasti plazmového striekania.

A v neposlednom rade chcem poďakovať ostatným pracovníkom katedry za pomoc pri meraniach a príprave vzoriek.

Abstrakt

MASARYK, Maroš: Nové spôsoby aplikácie oteruvzdorných materiálov [Diplomová práca] - Slovenská Poľnohospodárska Univerzita v Nitre. Technická fakulta; Katedra kvality a strojárskych technológií. - Vedúci: Ing. Bernát PhD. Nitra; SPU, 2011, 57 s.

Diplomová práca ponúka celkový prehľad problematiky aplikácie oteruvzdorných povrchových vrstiev, stručne charakterizuje druhy vytvárania oteruvzdorných povrchových vrstiev. Zahŕňa podrobnejší popis moderných metód navárania a žiarového striekania pri vytváraní oteruvzdorných vrstiev povrchu súčiastok. Popisuje aplikáciu plazmového striekania a plameňo-práškového navárania vybraných druhov práškových materiálov v laboratórnych podmienkach. Jednotlivé vzorky sú podrobené skúškam kvality vybraných technológií prostredníctvom skúmania drsnosti, tvrdosti, príľnavosti, odolnosti voči abrazívnemu opotrebeniu a v zisťovaní samotnej hrúbky oteruvzdornej vrstvy. Cieľom mojej práce je porovnať príslušné metódy aplikácie tvrdonávarových vrstiev z pohľadu ich kvality a poskytnúť ucelený prehľad o možnostiach aplikácie daných tvrdonávarových práškov.

Kľúčové slová: Naváranie, Plazmový lúč, Renovácia, Priľnavosť, Kovové prášky

Abstract

MASARYK, Maroš: New ways of application of resistant materials [thesis] - Slovak Agricultural University in Nitra. Faculty of Engineering, Department of Quality and Strategic Technologies. - Head: Ing. Bernát PhD. Nitra, SPU, 2011, 57 p.

The thesis provides an overview of the issue of application of wear resistant coatings, briefly describes the kind of resistant surface layers. Includes detailed description of modern methods of thermal spraying and surfacing to create wear resistant surface layers of components. Describes the application of plasma spraying and flame-surfacing powder selected types of powdered materials in laboratory conditions. Individual samples are subjected to quality testing of selected technologies by examining the roughness, hardness, adhesion, resistance to abrasive wear and the survey itself thick abrasion-resistant layer. The aim of my work is to compare the method of application hardfacing layers in terms of their quality and provide a comprehensive overview of the scope of the application of hardfacing powders.

Keywords: Welding, Plasma beam, Renovation, Adhesion, Metal powders.

Obsah

Zoznam skratiek a značiek.....	7
Úvod.....	8
1 Prehľad poznatkov súčasného stavu.....	9
1.1 Moderné aplikácie povrchových úprav.....	9
1.2 Výber strojových častí na renováciu.....	9
1.2.1 Materiálové hľadiská.....	10
1.2.2 Namáhanie súčiastok po renovácií.....	10
1.2.3 Nevyhnutnosť predohrevu, dohrevu a tepelného spracovania.....	10
1.2.4 Nevyhnutnosť mechanického opracovania.....	10
1.3 Naváranie.....	11
1.3.1 Metalurgické procesy pri naváraní.....	13
1.3.2 Tepelne ovplyvnená oblasť.....	13
1.4 Naváranie kovových práškov pomocou plameňa.....	14
1.4.1 Príprava materiálu.....	15
1.5 Naváranie elektrónovým lúčom.....	16
1.6 Naváranie pomocou lasera.....	17
1.6.1 Vlastnosti laserového lúča.....	18
1.6.2 Laserové zariadenia.....	21
1.6.3 Príprava materiálov na naváranie.....	22
1.6.4 Naváranie CO ₂ laserovým lúčom.....	23
1.7 Naváranie pomocou plazmy.....	23
1.8 Striekanie práškov pomocou plazmy.....	24
1.9 Vysokorýchlostné striekanie - HVOF.....	28
1.9.1 Vysokorýchlostné striekanie plameňom s prídavným materiálom v tvare drôtu HVCW.....	30
1.9.2 Striekanie elektrickým oblúkom HVCW.....	30
2 Cieľ práce.....	40
3 Metodika práce.....	41
3.1 Popis základných materiálov.....	32
3.2 Charakteristika prídavných materiálov.....	33

3.3	Metodika prípravy základného materiálu pre plazmové striekanie.....	33
3.3.1	Tryskacie prostriedky.....	34
3.4	Tvorba povlaku plazmovým striekaním	35
3.5	Meranie hrúbky nanesej vrstvy.....	37
3.6	Meranie príľnavosti nanesej vrstvy	38
3.7	Príprava vzoriek na planeňo-práškové naváranie	40
3.8	Meranie odolnosti voči abrazívnemu opotrebeniu	41
3.9	Meranie tvrdosti podľa Rockwela.....	43
3.10	Meranie drsnosti povrchu vzoriek.....	45
4	Výsledky práce.....	46
4.1	Meranie hrúbky povlaku.....	46
4.2	Meranie príľnavosti povlaku	47
4.3	Meranie pomernej odolnosti abrazívneho opotrebenia	48
4.4	Meranie tvrdosti podľa Rockwela	51
4.5	Meranie drsnosti	52
5	Diskusia.....	54
6	Záver.....	55
7	Použitá literatúra.....	56

Zoznam skratiek a značiek

Pa	Pascal
P	Výkon lúča
I	Intenzita žiarenia lúča
S	plocha pričného rezu lúčom
E	energia pulzu
J	Joule, jednotka energie
τ	dĺžka pulzu
ms	milisekunda
μm	mikrometer
kW	kilowat
$\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$	Wat na centimeter štvorcový
$^{\circ}\text{C}$	stupeň celzia
V	Volt
$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	meter za sekundu
HRC	tvrdosť podľa Rockwella
A	Ampér

Úvod

V dnešnej dobe sa popri strojárskvej výrobe a vývoji technológií, kladie veľký dôraz na finančnú stránku vecí. Nové technológie sú vtedy úspešné, keď sú nielen prevratné, ale aj spĺňajú špecifické podmienky na ne kladené. Často krát sú tieto podmienky protichodné a je treba spraviť ten správny kompromis. Preto je veľmi dôležité použiť správnu technológiu, ktorá nám dokáže ušetriť financie a zefektívniť chod výroby.

Za pomoci moderných metód povrchových úprav dokážeme šetriť drahý materiál a vytvárať povrchové vrstvy požadovaných vlastností. Medzi tieto metódy napríklad patria chemicko-tepelné spracovanie povrchu, rôzne druhy kalenia, žiarové nástreky a rôzne metódy navárania. Odolnosť súčiastky sa však dá dosiahnuť aj po jej opotrebení. A to za pomoci renovácie súčiastok. Medzi renovačnými metódami sa postupom času dostali do popredia metódy navárania.

Nové technológie tvrdonávarov sa uplatňujú hlavne v oblasti renovácií strojov a súčiastok, kedy je treba dbať na kvalitu povrchu. Týmito prevratnými technológiami dokážeme renovovať súčiastku do pôvodného tvaru a kvality povrchu. Ale často krát vytvoríme súčiastku s oveľa lepšími vlastnosťami ako bola tá pôvodná. Toto sa využíva pri vytvorení vrstiev so špeciálnymi vlastnosťami, ktoré sú potom odolné voči opotrebeniu, žiaruvzdorné, žiarupevné, majú požadované tribologické charakteristiky a iné vlastnosti. Vlastnosti navarených vrstiev závisia od druhu použitého prídavného materiálu. Prídavné materiály vyberáme podľa druhu namáhania ktorému bude súčiastka vystavená a podľa druhu prostredia v ktorom bude pracovať.

Je veľmi dôležité rozvíjať takéto metódy, pretože správny chod zariadenia má veľký vplyv na zefektívnenie výroby a nové technológie nás dokážu posunúť ďalej.

1 Prehľad poznatkov súčasného stavu

1.1 Moderné aplikácie povrchových úprav

V strojárскеj výrobe sa kladie dôraz na kvalitu súčiastky, jej cenu a špecifické vlastnosti. Kvalita povrchu strojovej súčiastky je rozhodujúcim faktorom pri výbere prostredia v ktorom bude súčiastka pracovať a v konečnom dôsledku aj rozhodujúcim faktorom pri veľkosti jej opotrebenia. Moderné povrchové úpravy dávajú strojárskym súčiastkam radu vynikajúcich vlastností, ako sú :

- odolnosť voči opotrebeniu,
- odolnosť voči korózii,
- odolnosť voči zvýšeným teplotám,
- odolnosť voči chemikáliám,
- majú vysokú tvrdosť,
- dobrú elektrickú vodivosť a mnohé iné.

Tieto vlastnosti závisia od použitej technológie. Medzi moderné technológie povrchových úprav zaraďujeme :

- nové spôsoby navárania,
- žiarové striekanie,
- nasycovanie povrchu,
- chemicko-tepelné spracovanie,
- nové spôsoby kalenia a iné.

Modernými technológiami povrchových úprav robíme súčiastky odolnejšími pred vonkajšími vplyvmi ale súčiastky aj renovujeme. Na možnosť renovácie je treba myslieť už pri samotnom návrhu súčiastky, aby sme uľahčili prípadne zrýchlili proces renovácie a tým aj ušetrili materiál, čas a financie za súčiastku novú.

1.2 Výber strojových častí na renováciu

Podľa Blaškoviča 2006 „pri výbere strojových častí vhodných na renováciu je treba zohľadniť najmä tieto hľadiská:

- materiálové hľadiská,
- tvarovú zložitosť súčiastky (rovinná, rotačná),
- namáhanie súčiastok po renovácii,

- nevyhnutnosť predohrevu, dohrevu, tepelného spracovania,
- nevyhnutnosť mechanického opracovania.“

1.2.1 Materiálové hľadiská

Pri výbere súčiastok na renováciu musíme poznať chemické zloženie, tvarovú zložitosť a možné tepelné spracovanie pred renováciou. Obtiažnosť renovácie sa bude zvyšovať od ocelí nízkouhlíkových, cez ocele so zvyšujúcim sa obsahom uhlíka a vysokolegované ocele. Osobitnú pozornosť treba venovať súčiastkam z liatiny. Pri súčiastkach, ktoré boli povrchovo tepelne spracované sa snažíme túto povrchovú vrstvu pred renováciou odstrániť a doplniť ju vhodnými návarmi, resp. nástrekmi. Pri výbere je potrebné sa zaujímať aj o chemické zloženie povrchovej vrstvy, ktorá bude v priebehu pracovného cyklu odolávať opotrebeniu a ďalším vonkajším vplyvom. V praxi sa prídavné materiály vyberajú podľa odolnosti proti opotrebovaniu pracovnej plochy. Čiže chemické zloženie základného materiálu sa vo väčšine prípadov odlišuje od zloženia prídavného materiálu. Preto je veľmi dôležité starostlivo zvážiť rozdiely vo fyzikálnych vlastnostiach jednotlivých vrstiev, a tým aj voľbu režimu navárania (predohrev, dohrev) (Blaškoviš, 2006).

1.2.2 Namáhanie súčiastok po renovácií

Pred samotnou renováciou súčiastky je treba posúdiť jej budúce namáhanie po jej zrenovovaní. Vonkajšie účinky, ktoré pôsobia na zrenovovanú súčiastku sa superponujú s účinkami od technologického zásahu renovácie. Táto superpozícia dokáže zapríčiniť deštrukciu súčiastky, a to hlavne pri súčiastkach, ktoré sú dynamicky namáhané (Blaškoviš, 2006).

1.2.3 Nevyhnutnosť predohrevu, dohrevu a tepelného spracovania

Predchádzajúce hľadiská, najmä materiálové niekedy vyžadujú zvoliť špeciálny technologický postup renovácie, čiže súčiastku predhrievať pred renováciou, udržiavať požadovanú teplotu počas renovácie a zvoliť režim ochladzovania súčiastky. V niektorých prípadoch sa toto nedá uskutočniť, pretože to neumožňujú rozmery strojovej súčiastky, alebo nevyhnutnosť zachovať pôvodné tepelné spracovanie

detailov, ktoré nie sú ešte opotrebované a nevyžadujú renováciu. V takýchto prípadoch sa odporúča miestne tepelné ovplyvnenie (Blaškoviš, 2006).

1.2.4 Nevyhnutnosť mechanického opracovania

Pri renovácii súčiastok sa snažíme navrhnúť takú technológiu, ktorá by nám umožnila vytvoriť čo najkvalitnejší povrch, bez následného opracovania. Pokiaľ sa opracovanie súčiastky vyžaduje je potrebné zvoliť vhodný materiál, ktorý možno opracovať konvenčnými technológiami.

1.3 Naváranie

Podľa Blaškoviša 2006 ktorý cituje normu STN 05 0000 „je naváranie nanášanie kovu na povrch súčiastky pomocou tavného zvarovania. Tento pracovný postup nám umožňuje dosiahnuť na povrchu základového materiálu povlak vytvorený pomocou navárania, ktorý bude mať požadované vlastnosti.“

Týmito vlastnosťami sú napr. :

- odolnosť voči korózii,
- odolnosť voči mechanickému poškodeniu,
- oteruvzdornosť,
- nízky koeficient trenia,
- vysoká tvrdosť aj pri nízkych hrúbkach,
- žiaruvzdornosť.

Náklady na výmenu dielcov, opotrebených alebo poškodených počas prevádzky, viedli k vývoju širokého radu metód, pomocou ktorých sa súčiastky navracajú do pôvodného stavu. Medzi tieto metódy patrí aj naváranie. V mnohých prípadoch majú takéto renovácie dlhšiu životnosť ako samotný originálny diel. Je to z toho dôvodu, že pri naváraní sa použije ušľachtilejší materiál ako bol pôvodný a návar je odolnejší proti opotrebeniu ,abrázii, korózii, všetko závisí len na voľbe správneho materiálu a zvolenej technológie (Budáč, 2010).

V praxi sa naváranie využíva hlavne v oblasti renovácie súčiastok. Pri takejto renovácii je možné dosiahnuť veľmi dobrú kvalitu povrchu na požadovaný rozmer.

Často krát má sú renovovaná súčiastka lepšie vlastnosti ako pôvodná. Je to zároveň aj ekonomické z hľadiska času, energie ,použitého materiálu a v neposlednom rade aj hľadiska financií.

Pre dosiahnutie dobrých výsledkov pri naváraní je nutné vybrať vhodný materiál na naváranie a zvoliť správnu technológiu pre konkrétny druh materiálu ale aj súčiastky.

Podľa Bujnu 2005 pre zvolenie prídavného materiálu je nutné poznať:

- chemické zloženie naváranej súčiastky,
- druh opotrebenia styčnej plochy,
- spôsob namáhania súčiastky,
- technologické možnosti navárania,
- požiadavky na kvalitu navárania,
- technologické možnosti tepelného spracovania,
- vhodné spôsoby opracovania návaru.

Podľa Adamku a Turňu 1989 „je chemické zloženie návarovej súčiastky jedným z rozhodujúcich a limitujúcich faktorov pri voľbe technológie navárania a prídavného materiálu.“

Naváranie má ako každá technológia svoje výhody aj nevýhody. Medzi hlavné výhody patrí (Viskup, 2010):

- vysoká produktivita návarov už od niekoľkých gramov na plochu,
- možnosť navárať aj tvarovo zložitejšie súčiastky,
- možnosť nanosenia materiálov rôznych chemických zložení na rozličných základných materiáloch,
- možnosť mechanizovať a automatizovať túto technológiu,
- veľmi výhodná orientácia primárnych kryštálov vzhľadom k pracovnej ploche súčiastky,
- navárať možno aj veľmi malé hrúbky materiálov,
- Navarené plochy sú hladké , majú rovnomernú hrúbku a veľakrát ich už netreba ďalej opracovávať,
- dokážeme dosiahnuť minimálne premiešanie naváraného materiálu so základným materiálom.

Nedostatky navárania podľa Blaškoviša 2006:

- deformácie navárannej súčiastky vplyvom vysokej energie navárania,
- premiešaním návarového kovu so základným materiálom sa zhoršia vlastnosti návaru,
- ťažkosti pri naváraní súčiastok s malými rozmermi a tenkými stenami,
- pri legovaných návaroch na základných materiáloch sa vyžaduje predohrev poprípade špeciálne teplotné režimy navárania a teplotného spracovania po navarení,
- zložitosť mechanického opracovania.

1.3.1 Metalurgické procesy pri naváraní

Viskup vo svojej diplomovej práci uvádza zistenia Ballu 2003, „že počas navárania sa procesy vzájomného pôsobenia fáz odohrávajú za vysokej teploty. Pri týchto procesoch dochádza k prechodu prvkov medzi jednotlivými fázami. Medzi fázy radíme pri naváraní tuhý a tekutý kov, plyn a tekutú trosku.“

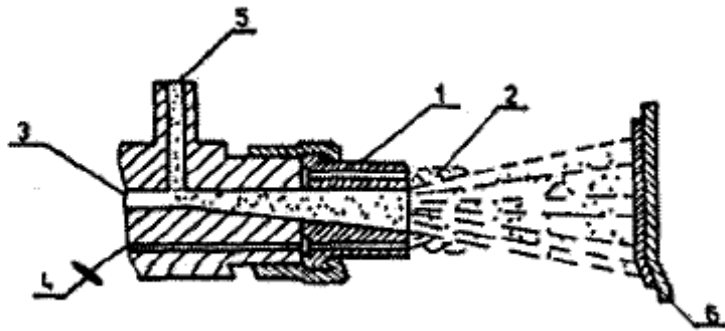
Tento proces však ovplyvňuje aj prítomnosť vodíka. Pri vzájomnom pôsobení plynov s tekutým kovom sa plyny môžu rozpúšťať alebo s ním reagujú a vytvárajú chemické väzby. Vodík sa v tekutých kovoch fyzikálne rozpúšťa, zatiaľ čo kyslík a dusík s ním prednostne vytvárajú chemické väzby. Rozpustnosť vodíka stúpa s rastúcou teplotou kovu. Pri tuhnutí kovu sa rozpustnosť znižuje, pričom unikanie plynu sprevádza tvorba pórov a trhlín. Tento jav nazývame vodíková krehkosť (Blaškoviš, 2006).

1.3.2 Tepelne ovplyvnená oblasť

Pri naváraní je na povrch nutné dodávať teplo ktoré nataví prídavný materiál na povrch základného materiálu. Toto teplo sa šíri aj do základného materiálu a podľa charakteru zdroja tepla pôsobí na základný materiál v určitej intenzite po určitý čas. Pri ohreve základného materiálu a následnom ochladení sa na tomto mieste zmení štruktúra tohto materiálu. Tým sa menia vlastnosti základného materiálu a v prípade viacvrstvého návaru, aj oblasti prechádzajúcich návarov. Teplota ovplyvnenej oblasti nie je rovnaká a závisí na vzdialenosti od miesta návaru. Pohybuje sa v rozmedzí teploty tavenia návarového kovu až po teplotu základného materiálu (Viskup, 2010).

1.4 Naváranie kovových práškov pomocou plameňa

Pri plameňo-práškovom naváraní je zdrojom tepla plameň, pri horení zmesi kyslík - horľavý plyn. Ako horľavý plyn sa využíva acetylén pre svoju vysokú teplotu plameňa, až 3150°C. Plameňo-práškové zariadenia rozdeľujeme na injektorové a násypné (Blaškovitš, 2006).



Obr. 1.1 Schéma horáka na plameňo-práškové striekanie (Blaškovitš, 2006)

Popis: 1 - teleso horáka, 2 - plameňová fľa, 3 - transportný plyn, 4 - kyslíkovo-acetylónová zmes, 5 - prívod prášku, 6 - základný materiál

Prášok pôsobením podtlaku v komore postupuje do horáka zo zásobníka cez regulovateľný otvor. Pohyb prášku uľahčuje aj vibrácia zásobníka. Je potrebná preto, aby sa otvor neupchal. Dopravený prášek strháva prúd plynu a unáša ho do spaľovacej zóny plameňa, ktorý obklopuje otvor dýzy horáka. Prášok je počas letu plameňom unášaný prúdom spálených plynov. Ak je transportný plyn kyslík, čiastočne sa horenia zúčastňuje, zvyšuje tým teplotu plameňa, a tým pádom aj teplotu a rýchlosť nastriekaných častíc. Pri násypných striekacích pištoliach sa prášek dopravuje priamo do redukčnej oblasti plameňa zo štrbinového zásobníka s uzávierkou samospádom. Pri tomto spôsobe je rýchlosť striekaných častíc nižšia, okolo 30 m.s^{-1} , podľa ich zrnitosti. Dnes sa tieto zariadenia používajú menej. Ich výhodou je ich jednoduchosť (Blaškovitš, 2006).

Naváranie pomocou kovových práškov, môžeme realizovať s predohrevom alebo bez predohrevu. Teplota predohrevu závisí hlavne od chemického zloženia naváraného materiálu. Pre uhlíkové ocele to býva zvyčajne 200 až 250 °C, pre nízkolegované a vysokolegované ocele a liatiny je to 300 až 400 °C (Puškeľ, 2009).

V praxi sa zvyčajne používajú na naváranie plameňom kovové prášky na báze Ni-B-Si, alebo Co-B-Si môžu byť legované chrómom prípadne inými prvkami. Samotné naváranie sa podobá klasickému naváraniu plameňom, iba že po zohriatí povrchu základného materiálu sa pootočí uzáver, ktorý vpustí prášok priamo do plameňa. Tam sa vplyvom vysokej teploty plameňa roztaví a dopadá na naváranú plochu. Pohyb horáka sa realizuje v závislosti od veľkosti naváranej plochy, jej tvaru a hrúbky naváranej vrstvy. Môžeme navárať po celej ploche základného materiálu, alebo v pásikoch o šírke 10 až 15 mm. Používa sa kyslíko-acetylénový, neutrálny plameň. Potreba predohrevu poprípade teplota predohrevu závisí predovšetkým od chemického zloženia materiálu (Moravec, 2006).

Naváranie prídavnými práškovými materiálmi má v porovnaní s naváraním pomocou tyčiniek nevýhody. Hlavná nevýhoda spočíva v rozstrekovaní materiálu i mimo návarovej plochy. Tieto straty spôsobuje posun prášku z horáku a jeho nedokonalá regulácia. Viac menej to závisí od veľkosti výtokového otvoru cez ktorý prášok prechádza. Dopadový kužeľ je možné meniť v závislosti od vzdialenosti naváranej plochy. Pri naváraní je nutné dodržať nasledujúce kroky (Dusza, 2010):

- príprava materiálu,
- predohrev (ak to materiál vyžaduje),
- vytvorenie protioxidačného nástreku,
- pretavenie protioxidačného nástreku,
- vytvorenie požadovanej vrstvy.

1.4.1 Príprava materiálu

Príprava materiálu spočíva v očistení a odmastení povrchu súčiastky. Pretože navárať je nutné len na kovovo čistý povrch vzhľadom na dosiahnutie čo najlepšej kvality návaru. Pred samotným naváraním plôch, ktoré prišli do styku s olejom je niekedy vhodné povrch vyhriať na 250 °C a mechanicky očistiť (Dusza, 2010).

1.4.1.1 Predohrev materiálu

Teplotu predohrevu volíme vzhľadom na chemické zloženie materiálu a vzhľadom na jeho veľkosť. Teplota predohrevu sa v praxi pohybuje v rozmedzí 200 až 500 °C (Dusza, 2010).

1.4.1.2 Vytvorenie protioxidačného nástreku

Účelom tejto vrstvy je pokryť celú navarovanú plochu materiálu. Táto vrstva chráni pri naváraní materiál pred oxidáciou (Dusza, 2010). Táto vrstva netvorí ešte metalurgický spoj zo základným materiálom je to čisto spoj len mechanický.

1.4.1.3 Pretavenie protioxidačného nástreku

Na vytvorenie metalurgického spoja s predchádzajúceho mechanického je potreba pretaviť nastriekaný materiál a tým vytvoriť na povrchu kompaktnú vrstvu. Táto vrstva môže dostatočne chrániť základný materiál pred oxidáciou aj za pôsobenia vyšších teplôt (Dusza, 2010).

1.4.1.4 Vytvorenie požadovanej vrstvy

Podľa hrúbky požadovanej vrstvy túto vrstvu vyhotovujeme naraz, alebo následným vrstvením naváraného materiálu na predchádzajúci návar. Návarový materiál volíme podľa požadovanej kvality povrchu, druhu namáhania a vplyvu prostredia v ktorom bude súčiastka pracovať.

1.5 Naváranie elektrónovým lúčom

Technológia elektrónového lúča je úzko spojená s technológiou elektrónovej optiky a vákuovej techniky. Postupným vývojom týchto dvoch technológií sa postupom času dokázala rozvinúť aj technológia elektrónového lúča akú ju poznáme dnes (Vasilko, 1990).

Pri tomto druhu navárania je zdrojom tepla elektrónový lúč, čo je vlastne sústredený zväzok elektrónov vznikajúci v elektrónovej tryske. Tento zväzok je sústredený pomocou elektrónovej optiky. Kinetická energia lúča sa v mieste dopadnutia na povrch materiálu mení na tepelnú energiu. Priemer stopy dopadajúceho lúča je 0,1 až 5 mm. Naváracia rýchlosť sa robí prostredníctvom pohybu materiálu, na ktorý sa aplikuje prášok. Samotný materiál sa pohybuje pomocou polohovadla (Dusza, 2010).

Rozlišujeme tri druhy ohrevu:

- čiarový,
- bodový,
- plošný.

Podľa Turňa 1988 „sa podľa veľkosti urýchlovacieho napätia zariadenia delia na:

- nízkonapäťové do 30 kV,
- strednonapäťové od 30 do 60 kV,
- vysokonapäťové od 60 kV.“

Jednou z najväčších nevýhod tejto metódy je že proces musí prebiehať vo vákuovej komore. Tým pádom sme značne obmedzený na veľkosť a tvar súčiastky ktorú chceme takýmto spôsobom navárať (Tolnai, 2007).

Priestor elektrónového dela sa vyčerpá na vákuum $1,33 \times 10^{-3}$ Pa. Od pracovnej komory je elektrónové delo oddelené uzáverom , ktorý sa otvára len vykonávaní činnosti v našom prípade naváraní. Pracovná komora sa tiež čerpá na vysoké vákuum tak ako je to u elektrónového dela (Turňa, 1988).

1.6 Naváranie pomocou lasera

Pod pojmom laser rozumieme zariadenie, ktoré mení dodávanú energiu (elektrickú, chemickú a pod.) na energiu elektromagnetického žiarenia . Toto žiarenie je monochromatické, koherentné s malou divergenciou výstupného zväzku. Takáto premena energie sa deje v aktívnom prostredí lasera, ktoré je schopné absorbovať privádzanú energiu a premieňať ju na energiu stimulovaného žiarenia (Turňa, 1988).

V praxi sa používajú na naváranie tak pevnolátkové lasery ako aj CO₂ lasery. Laser kvôli svojim špecifickým vlastnostiam ako sú hustota energie a možnosť zaostrenia ,je veľmi dobrý nástroj na naváranie (Dusza, 2010).

Technologické požiadavky na laser podľa Turňa, 1988:

- vysoká hustota výkonu,
- ekonomické parametre aktívneho prostredia (pracovná teplota, tlak, spotreba plynov),
- vyžadovaná veľkosť dopadovej plochy žiarenia (možnosť voľby dopadovej plochy žiarenia podľa technologických požiadaviek),
- presnosť a reprodukovateľnosť technologických parametrov.

1.6.1 Vlastnosti laserového lúča

Vlastnosti laserových lúčov podľa Turňa, Kováčócyho 2003 môžeme rozdeliť na:

- **Energetické charakteristiky** – základnou energetickou charakteristikou laserového lúča v kontinuálnom režime je jeho výstupný výkon P ,

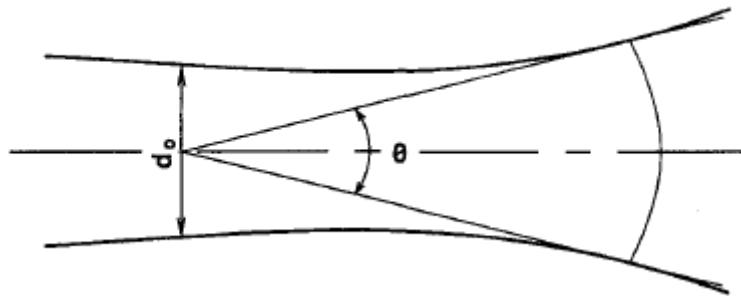
$$P = I \cdot S \text{ [W]} \quad (1)$$

Kde I – je intenzita žiarenia lúča,

S – plocha pričného rezu lúčom.

Pre lasery, ktoré pracujú v pulznom režime sa udáva ako základná energetická charakteristika energia pulzu E [J] a dĺžka pulzu τ [ms],

- **Monochromatickosť** - je to schopnosť laserov žiariť vo veľmi úzkom rozpätí vlnových dĺžok,
- **Koherentnosť** - laserové žiarenie má veľkú priestorovú a časovú koherenciu. Charakterizuje koreláciu optického pola v zadanom bode, s poliami predchádzajúcich a nasledujúcich momentoch a koreláciu pola v danom čase v rôznych bodoch roviny,
- **Priestorové charakteristiky** - ovplyvňujú prenos lúča na väčšie vzdialenosti a koncentráciu lúča na malé plochy. Ide o rozloženie intenzity žiarenia v lúči a divergencii.



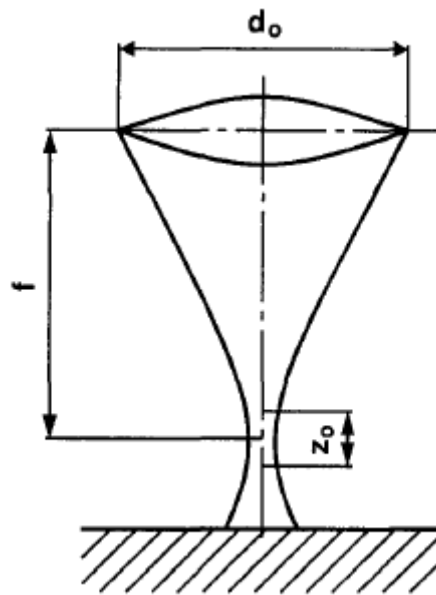
Obr. 1.2 Divergencia laserového lúča (Turňa, Kováčócy, 2003)

Popis: d_0 – priemer nesfókusovaného lúča, θ – uhol lúča.

1.6.1.1 Fókusovanie, prenos a diagnostikovanie laserového lúča

Nesfókusovaný laserový lúč nedodáva dostatočnú hustotu energie potrebnú na dosiahnutie teploty tavenia spracovávaného materiálu. Preto je potrebné lúč sfókusovať.

Fókusovanie laserového lúča sa v praxi robí za pomoci optických šošoviek alebo zrkadiel. Výber vhodných optických prvkov na fókusovanie laserového lúča závisí, hlavne od vlnovej dĺžky laserového žiarenia a intenzity výkonu. Laserový lúč nie je ovplyvňovaný statickým ani elektromagnetickým polom, ktoré by mohlo vplývať na fókusovanie lúča. Šošovky na rozdiel od zrkadiel umožňujú fókusovať laserový lúč do menšieho a symetrickejšieho bodu. Toto vplýva na zvýšenie intenzity výkonu v ohnisku pri použití šošoviek (Turňa, Kováčócy, 2003).

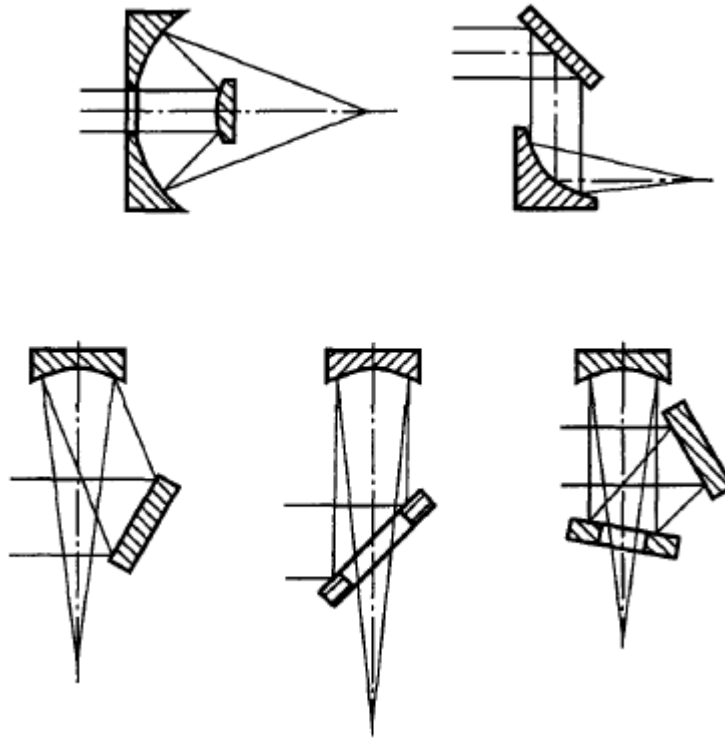


Obr. 1.3 Fókusovanie laserového lúča (Turňa, Kováčócy, 2003)

Popis: Z_0 – hĺbka ostroti, f – ohnisková vzdialenosť šošovky, d_0 – priemer šošovky

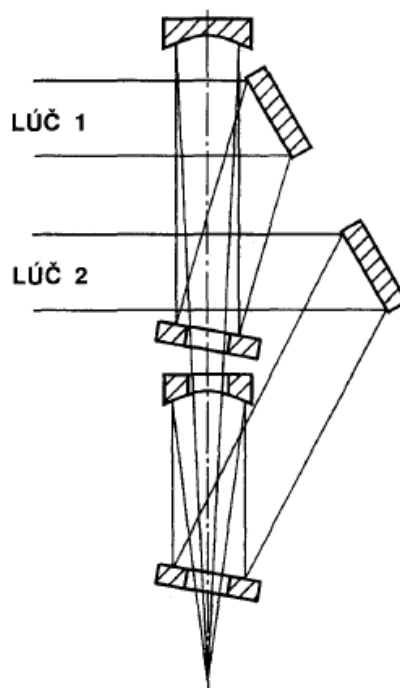
Na fókusovanie laserových lúčov sa v praxi používajú šošovky z kombinovaných dielektrických materiálov. Tieto materiály musia byť transparentné pre vlnovú dĺžku $10,6 \mu\text{m}$. Zvyčajne sa používa Ge, GaAs, ZnSe, NaCl, KCl. Ohnisková vzdialenosť môže byť v rozmedzí 50 až 300 mm. Materiál šošovky a ohnisková vzdialenosť ovplyvňujú výsledný technologický efekt z fókusovaného laserového lúča. Laserový lúč možno takýmto spôsobom sfokusovať do ohniska o priemere 0,3 až 0,1 mm. Veľkou nevýhodou šošoviek je, že sú použiteľné len do určitého výkonu (v praxi sa používajú asi do 2 kW). Systém ktorý používa optické šošovky, nemôže dlhšie pracovať pri vysokých výkonoch. Fókusačné šošovky sú laserovým lúčom porušované a môžu aj

zhorieť. Pri výkonoch nad 2 kW sa používajú optické zrkadlá. Na optické zrkadlá sa nanášajú vrstvy z kovov s vysokou reflexivitou pre danú vlnovú dĺžku laserového žiarenia, napr.: Au, Ag, Cu. Používajú sa tiež rôzne nevodivé vákuovo naparené vrstvy. Fokussovanie sa prevádza konkávnymi a parabolickými zrkadlami (Turňa, Kováčócy, 2003).



Obr.1.4 Fokussovanie laserového lúča zrkadlami (Turňa, Kováčócy, 2003)

Použitím takýchto systémov je možné získať laserový lúč veľkého výkonu. Simultánnym fokussovaním viacerých lúčov je možné napr.: pre 10 kW lasery, získať hodnotu výkonu nad 50 až 100 kW. (Turňa, Kováčócy, 2003).



Obr. 1.5 Simultánne fókusovanie 2 laserových lúčov (Turňa, Kováčócy, 2003)

1.6.2 Laserové zariadenia

V súčasnosti sa v praxi využívajú rôzne druhy laserov. Vo všeobecnosti ich možno rozdeliť podľa skupenského stavu aktívneho prostredia na: tuhé, kvapalné a plynné (Turňa, Kováčócy, 2003).

1.6.2.1 Tuhofázové lasery

Pre tuhofázové lasery sa ako aktívne prostredie používajú monokryštalické alebo amorfné látky, do ktorých sa pridávajú prímеси aktivačných prvkov. Hlavnými časťami tuhofázových laserov sú: rezonátor s aktívnou látkou, zdroj čerpania, optický čerpací systém, systém napájací zdroj a spúšťací obvod (Turňa, Kováčócy, 2003).

Podľa Turňa Kováčócyho 2003 poznáme lasery:

- **rubínový laser** – aktívnou látkou je monokryštal Al_2O_3 (rubín). Rubíny používané pre lasery majú tvar tyčiniek s kruhovým prierezom. Sú excitované xenónovou výbojkou a pracujú v pulznom režime. Vlnová dĺžka tohto lasera je $0,694 \mu\text{m}$.
- **neodýmový laser** – ako aktívne látky sa používajú materiály, ktoré sú aktivované iónmi Nd^{3+} . Ide hlavne o YAG, $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_2$, CaWO_4 . Potrebujú relatívne malú energiu na čerpanie. Sú vhodné pre prácu v kontinuálnom aj pulznom režime.

1.6.2.2 Kvapalinové lasery

U týchto laserov sa ako aktívne látky používajú kvapaliny, ktoré majú veľkú optickú homogenitu. Táto vlastnosť umožňuje získať veľkú hustotu indukovaného žiarenia. Kvapalinové lasery rozdeľujeme do dvoch základných skupín (Turňa, Kováčócy, 2003):

- *lasery s anorganickými aktívnymi látkami* – aktívnymi látkami sú vodné roztoky solí zriedkavých prvkov. Roztoky týchto solí možno použiť v polyfosforečných kyselinách. Aktívna časť lasera predstavuje nádobku naplnenú aktívnou kvapalinou. Nádobky môžu byť vyhotovené z nasledujúceho materiálu: sklo, tavený kremeň a teflón.
- *lasery s organickými aktívnymi látkami* – ako aktívne látky je vhodné použiť na získanie žiarenia na rôznych frekvenciách organické farbivá. Energetické úrovne týchto farbív tvoria široké pásmo. Najväčšiu účinnosť dosahujeme s použitím polymetinových farbív.

1.6.2.3 Plynové lasery

Ako aktívna látka sa používajú plyny alebo zmes plynov a pár. Sú schopné emitovať žiarenie vo veľmi širokom pásme vlnových dĺžok, od ultrafialového až po submilimetrové pásmo.

Podľa typu energetických prechodov možno lasery rozdeliť na (Turňa, Kováčócy, 2003):

- iónové (Ar, Kr, He-Cd, He-Se),
- atómové (He-Ne, Ar),
- molekulové (CO₂, CO, H₂O, N₂O, HCN, HF),
- s parami kovov a iných prvkov (Cu, Au, Mn, Pb),
- rekombinačné (Sr, Ca, Eu),
- exciplexové (ArF, KrCl, KrF, XeCl, XeF),
- excimérové (Ar₂, Kr₂, Xe₂).

1.6.3 Príprava materiálov na naváranie

Plochy, na ktoré budeme navárať musíme očistiť od povrchových nečistôt a oxidov. Povrch môžeme opracovávať reznými nástrojmi, brúsením, pieskovaním a pod. Je výhodou, ak sú navárané plochy rovinné, a to kvôli rovnomernému rozdeleniu kovového prášku (platí pri naváraní, keď prášok aplikujeme priamo na povrch materiálu) (Turňa, 1985).

1.6.4 Naváranie CO₂ laserovým lúčom

Princípom tejto technológie je natavenie pridaného materiálu laserovým lúčom a spojenie so základným materiálom. Veľký význam má z hľadiska použitia laserového lúča hustota energie generovaného žiarenia. Tá dosahuje v kontinuálnom režime až 10^7 W.cm⁻². Veľmi veľkou výhodou lúča je schopnosť fókusácie na veľmi malú plochu. Naváranie laserovým lúčom v porovnaní s laserovým rezaním alebo so zváraním vyžaduje oveľa precíznejšie dávkovanie energie (Turňa, 1985).

Prednosti tejto technológie:

- možnosť nanosenia veľmi tenkých vrstiev materiálu,
- možnosť použitia materiálov s vysokou teplotou tavenia,
- veľmi malá tepelne ovplyvnená oblasť,
- navarená vrstva je bez potreby ďalšieho opracovania.

Na naváranie sa v praxi používajú molekulové CO₂ lasery s výkonom do 15 kW. Prídavný materiál sa pridáva vo forme drôtu, alebo prášku, ktorý môžeme naniest' na povrch základného materiálu alebo sa pridáva do prúdu plynu, napríklad hélia. Táto technológia zaznamenala význam v oblasti vytvárania kvalitných rezných nástrojov, resp. pri ich renovácií (Turňa, 1985).

1.7 Naváranie pomocou plazmy

Plazma je vysoko ionizovaný plyn. Plyn sa stáva vodivým oddelením elektrónov od jadra a tým vzniká ionizácia. Na oddelenie elektrónov od jadra používame elektrický oblúk. Plazmové pištole používané v praxi na nanášanie návarového kovu nástrekom, používajú na napájanie jednosmerný prúd. Zdroj prúdu ,môže byť generátor alebo usmerňovač. Výtoková rýchlosť plazmy býva 500 – 1300 m.s⁻¹, teplota na katóde môže dosahovať 25000 – 50000 °C. Pri prechode plynu medzi anódou a katódou plyn viac ako 100 násobne zväčší svoj objem. Plyn je poháňaný veľkou rýchlosťou kanálom anódy. Normálny neionizovaný stav nadobúda až v ústí anódy (Moravec, 2006).

Výtoková rýchlosť plazmy sa pohybuje v rozmedzí 500 – 1300 m.s⁻¹. Napájacie napätie sa používa okolo 70V. Prechodom medzi anódou a katódou sa objem plynu zväčší viac ako stonásobne a vysokou rýchlosťou uniká kanálom anódy. V ústí anódy

nadobúda normálny, neionizovaný stav. Teplota zostáva vysoká a vďaka veľkej rýchlosti možno vykonať nástrek. V praxi používame plyny ako argón, dusík, hélium, vzduch a zmesi týchto plynov. Naváranie pomocou plazmy realizujeme v dvoch variantoch. Je to naváranie drôtom a naváranie práškovým materiálom. Kritérium pre výber metódy je hlavne cena. Pomocou plazmy sa navárajú rôzne materiály aj bežne nerozložiteľné napríklad karbidy, nitridy, silicidy, cermety, boridy a mnohé iné. Tvrdosť takýchto vrstiev dosahuje až 65 HRC a viac. Hrúbka návaru môže byť ľubovoľná od 2 až do 6 mm. Popritom hrúbka závaru býva len okolo 0,3 mm. Účinnosť prenosu prášku býva až 95 % jeho hmotnosti (Moravec, 2006).

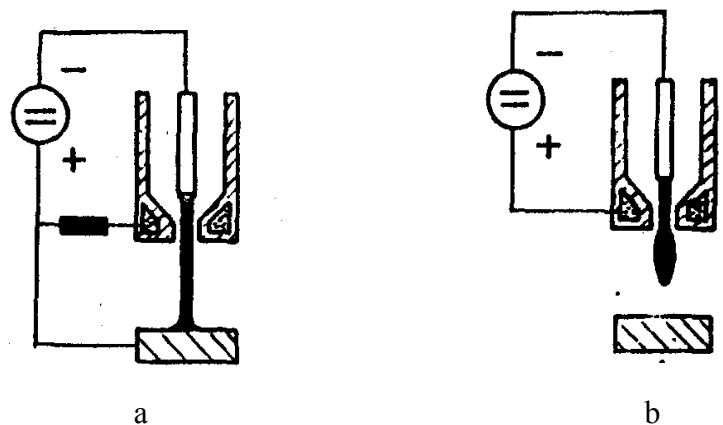
1.8 Striekanie práškov pomocou plazmy

Striekanie práškov pomocou plazmy je vlastne zdokonalená metóda plameňovej metalizácie. Plazmové striekanie práškov je veľmi variabilná technológia, pretože dokážeme použiť veľmi široký rozsah materiálov na striekanie. Bežne dokážeme použiť plasty, keramické materiály, kovy a ich zliatiny s veľmi vysokou teplotou tavenia (Matejka, 1988).

Proces plazmového striekania do veľkej miery ovplyvňuje prostredie, v ktorom sa striekanie vykonáva. V praxi rozlišujeme tri druhy striekania (Moravec, 2006):

- striekanie na vzduchu - je najrozšírenejšie a najekonomickejšie,
- striekanie v inertných plynoch - používa sa lokálna interná atmosféra alebo komory s inertným plynom,
- striekanie vo vákuu - takýmto spôsobom možno získať značne vylepšené povlaky,
- striekanie pod vodou - nanášanie zdraviu škodlivých materiálov.

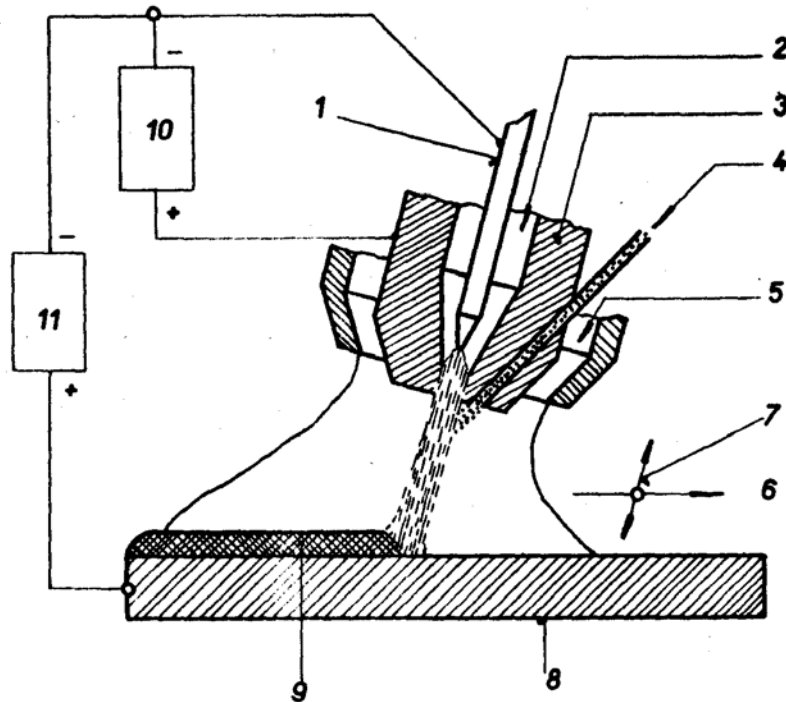
V praxi sa používajú tri základné typy zapojenia horákov. Zapojenie s preneseným oblúkom nazýva sa aj závislé zapojenie. Používa sa pre vodivé materiály. Zapojenie s nepreneseným oblúkom nazýva sa aj nezávislé zapojenie. Používa sa pre nevodivé materiály a má nižšiu účinnosť. Kombinované zapojenie (používa dva oblúky), pri štartovaní sa vysokonapäťovým výbojom zapáli neprenesený oblúk (2 až 10 A). Vytvorí sa plazma, ktorá vodivo spojí elektródu s naváraným materiálom po výstupe z dýzy a umožní zapálenie preneseného oblúka (Turňa, 1988).



Obr. 1.6 Plazmový horák (Turňa, 1988)

Popis: a - horák s preneseným oblúkom, b - horák s nepreneseným oblúkom.

Pri naváraní plazmou, používame wolfrámovú netaviacu sa elektródu. Dýzy v horáku majú obmedzenú životnosť, záleží hlavne z akého druhu materiálu sú vyrobené. Dýzy sú plne výmenné a často sa vyrábajú napr. z Cu-Cr zliatiny. Výtoková rýchlosť plazmy sa upravuje tak, aby nedochádzalo k vyfukovaniu nataveného materiálu von z návaru. Plazmové horáky majú vonkajšiu fokusáciu, tá zabraňuje nežiaducemu rozšíreniu plazmového oblúka po výstupe z dýzy. Pre naváranie plazmou najčastejšie používame tieto druhy plynov: Ar, He. Ako ochranné plyny sa používajú : Ar, He, Ar + H₂ (Turňa, 1988).



Obr. 1.7 Princíp plazmového navárania práškových prídavných materiálov

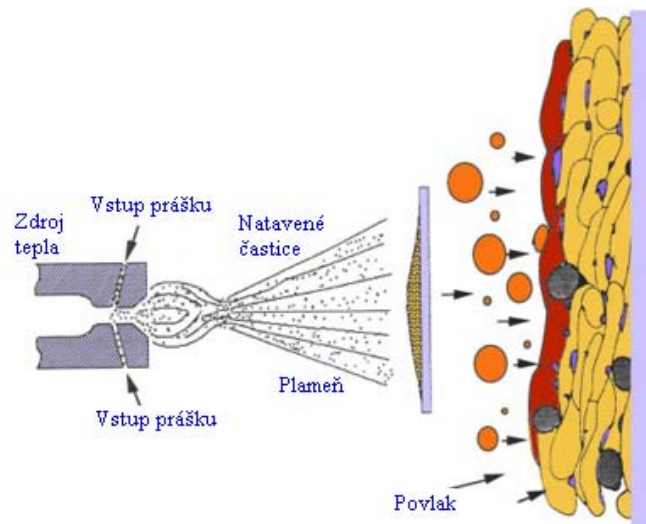
(Turňa, 1988)

Popis:1- W katóda, 2- plazmový plyn, 3- Cu dýza, 4- naváraný prášok, 5- ochranný plyn, 6- smer navárania, 7- priečne kývanie horáka, 8- základný materiál, 9- návar, 10- zdroj prúdu nepreneseného oblúka, 11- zdroj prúdu preneseného oblúka.

Použitie technológie plazmového striekania v praxi rieši: odolnosť kovových alebo keramických súčastí priemyselných zariadení proti vysokým teplotám a tepelným rázom, nanášanie keramických povlakov na súčasti metalurgických zariadení, vystavených oteru pri vysokých teplotách, odolnosť kovových súčastí proti chemickým vplyvom i za prípadného spolupôsobenia teplôt, odolnosť proti kyselinám a zásadám, zvýšenie odolnosti kovových súčastí proti rôznym faktoroch opotrebenia (oter, únava, abrázia, erózia, korózia), odolnosť proti účinkom roztavených kovov, roztaveného skla, renováciu opotrebených povrchov a mnohé ďalšie. Vlastnosti renovovaných plôch závisia hlavne od použitého materiálu (Plazmové laboratórium- katedra technológií a materiálov).

Tab. 1.1 Vhodnosti použitia jednotlivých prídavných materiálov (Plazmové laboratórium- katedra technológií a materiálov)

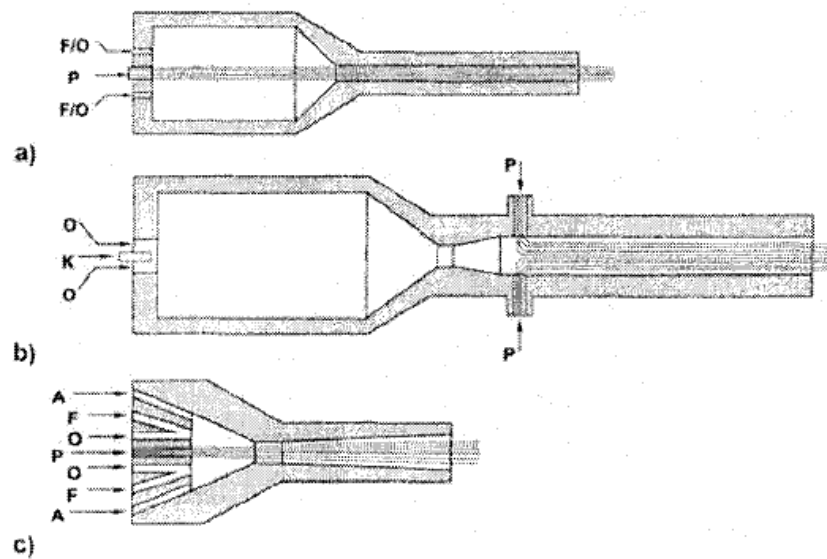
Typ prídavného materiálu	Rozsah zrnitosti (μm)	Teplota tavenia ($^{\circ}\text{C}$)	Tvrdosť HV 5	Použitie, vlastnosti
oxid hliníka (Al_2O_3)	5,6 až 45	2050	2300	odolnosť proti opotrebeniu, elektroizolačné vlastnosti
oxid titánu (TiO_2)	5,6 až 45	1840	1600	pre hladké povrchy, ako prísada pre oxid hliníka
oxid chrómu (Cr_2O_3)	5,0 až 63	2340	2000 - 2500	odolnosť proti korózii, odolnosť proti opotrebeniu, relatívne dobrá tepelná vodivosť
oxid hliníka + oxid titánu 87/13	5,0 až 63	2020	2000 - 2400	odolnosť proti korózii, odolnosť proti opotrebeniu, relatívne vysoká ťažnosť a tvrdosť
karbid wolfrámu (WC)	5,6 až 90	2867		prísada do prídavných materiálov odolných proti opotrebeniu, odolnosť proti pôsobeniu kyselín
karbid titánu (TiC)	5,6 až 45	3140		vysoká tvrdosť, odolnosť proti vysokým teplotám, odolnosť proti kyseline sírovej
karbid kremíka (SiC)		2700		vysoká tvrdosť, žiaruvzdornosť do 1500°C , odolnosť proti opotrebeniu
nitrid hliníka (AlN)	5,6 až 100	2230		odolnosť proti teplotám, dobrá žiaruvzdornosť
karbid wolfrámu + karbid titánu	5,6 až 63	3160	2080 - 3200	odolnosť proti korózii, odolnosť proti opotrebeniu



Obr. 1.8 Schéma tvorby nastriekaného povrchu (Jankura , 2010)

1.9 Vysokorýchlostné striekanie - HVOF

Cieľom tohto spôsobu, je podstatné zvýšenia rýchlosti častíc a kinetiky ich dopadu na povrch so všetkými výhodami príľnavosti a skladby nastriekaného povlaku. Táto metóda sa vyznačuje tým, že do spaľovacej komory je privádzaný kyslík a vhodné palivo pod tlakom 3 až 5 barov. Ako palivo sa používajú plyny vodík, propylén, propan alebo kerosin. Spaliny sú v difúzore urýchľované až do nadzvukovej rýchlosti a prúdia spolu s časticami práškoveho prídavného materiálu cez trubicu horáka na striekaný povrch. Pri tejto metóde dosahujú časti rýchlosti 400 až 450 m.s⁻¹. Značnou nevýhodou je oxidácia prídavného práškoveho materiálu v spaľovacej komore. Na takomto princípe pracujú systémy prvej a druhej generácie. Systémy tretej generácie pracujú s vyšším tlakom privádzaného kyslíka a paliva do spaľovacej komory. Tento tlak dosahuje 6 až 10 barov. Tým prúdiace spaliny dosahujú oveľa väčšej rýchlosti, až 2000 m.s⁻¹, a častice prídavných práškových materiálov dosahujú rýchlosti okolo 650 m.s⁻¹. Výkonnosť horáka dosahuje napr. pri práškovom materiály WC - Co až 18 kg prášku za hodinu. Prívod prášku je pri kovových práškoch radiálny. Výhoda spočíva v tom, že prášok je privádzaný do relatívne nižšej teploty spalín za spaľovacou komorou, čím sa významne zníži jeho oxidácia. Tým sa zníži aj množstvo oxidov v nastriekanom povlaku (Blaškoviš, 2006).



Obr.1.9 Princíp HVOF systémov (Blaškoviš, 2006)

Popis:a) axiálne prúdenie prášku cez dýzu horáka (1. a 2. generácia), b) radiálne prúdenie prášku, c) axiálne prúdenie prášku (3. generácia) F - horľavý plyn, O - kyslík, K - kerosín, P - prášok, A - stlačený vzduch.

Pri axiálnom prívode používame práškový prídavný materiál oxidickej keramiky. V systéme tretej generácie dosahujú častice vyššiu teplotu. To má veľký význam pre kinetiku dopadajúcich častíc, nízku pórovitosť, a tým aj drsnosť povlaku. V povlaku napr. oproti plazmovému striekaniu poklesne podiel oxidických častíc zo 6 na 1 % (Blaškoviš, 2006).

Podľa Blaškoviša 2006 sa HVOF striekanie používa najčastejšie pre tieto druhy povlakov:

- niklové zliatiny,
- vysokolegované chrómové a chrómniklové ocele,
- kobaltové zliatiny,
- karbidy WC/Co, TiC, VC, W₂C,
- molybdén (Mo, Mo₂C),
- zliatiny NiCrBSi bez a s karbidmi W₂C,
- zliatiny CoCrBSi bez a s karbidmi W₂C, TiC, VC.

Kvalita nastriekaného povlaku závisí aj od druhu horľavého plynu a pomeru miešania s kyslíkom. V súčasnosti sa horľavé palivo pridáva v kvapalnom stave cez

urýchľujúcu dýzu. Kvalita vrstvy závisí aj od teploty plameňa v mieste prívodu kovového prášku a prestupu tepla do častíc práškového prídavného materiálu a ich rýchlosti v mieste dopadu na naváranú plochu. Vzďialenosť horáka býva v rozmedzí 250 až 380 mm (Blaškoviš, 2006).

Podľa Blaškoviša 2006 majú povlaky striekané systémom HVOF v porovnaní s elektrickým oblúkom a plazmou tieto výhody:

- vysoká hodnota adhézie nastriekaných častíc k povrchu,
- vysoká hodnota kohézie medzi nastriekanými časticami,
- nízka pórovitosť povlaku,
- nízky podiel oxidov povlaku,
- nízka povrchová drsnosť povlaku.

1.9.1 Vysokorýchlostné striekanie plameňom s prídavným materiálom v tvare drôtu HVCW

Povlak nanosený touto technológiou, má menšie množstvo oxidov, vyššiu hustotu a priľnavosť oproti klasickému plameňo-práškovému striekaniu. Toto dosiahneme použitím podstatne vyšších tlakov horľavého plynu propánu (4 bary), kyslíka (8 barov) a stlačeného vzduchu (3 bary). Týmto sa dosiahne vyššia rýchlosť striekaných častíc (Blaškoviš, 2006).

1.9.2 Striekacie elektrickým oblúkom HVCW

Pri tejto technológii striekania dochádza k výrazne nižšej oxidácii striekaného materiálu. Prispieva k tomu konštrukcia rozprašovacej hubice a fakt, že namiesto stlačeného vzduchu na oddelenie a vrhnutie roztavených častíc na základný materiál používame dusík. Stupeň oxidácie sa zníži na 3 až 6 %. Výhodou metódy HVCW oproti HVOF sú nízke náklady na zariadenia (Blaškoviš, 2006).

2 Ciel' práce

Renovácia súčiastky je proces pri ktorom súčiastke opotrebenej vraciame jej funkčné vlastnosti. Aby bola renovácia efektívna, často krát použijeme metódy také, po ktorých má súčiastka lepšie vlastnosti ako pôvodná nová súčiastka. Preto je nutné takéto metódy rozvíjať a zavádzať ich do praxe.

Cieľom tejto práce je popísať moderné spôsoby aplikácie oteruvzdorných povrchových vrstiev. Stručne popísať jednotlivé metódy. Aplikovať vybrané technológie nanášania kovových práškov a porovnať kvalitu vytvorených vrstiev podľa vybraných kritérií.

3 Metodika práce

Na splnenie cieľa mojej diplomovej práce som stanovil metodiku práce, ktorá pozostáva z nasledujúcich bodov:

- charakteristika základných materiálov a vzoriek,
- charakteristika prídavných materiálov,
- charakteristika použitých metód a prípravných prác na aplikovanie prídavných materiálov,
- charakteristika jednotlivých vykonaných skúšok a meraní.

3.1 Popis základných materiálov

Základným materiálom je oceľ triedy 11 523. Vzorky boli vyhotovené z polotovaru o rozmeroch 60 x 1000 x 6mm. Tento polotovar napílime na dĺžku 100 mm. Takto vytvoríme 6 kusov vzoriek. Oceľ 11 523 je v praxi veľmi používaná pre svoje zaručené chemické zloženie a dobré mechanické vlastnosti. Používa sa na podvozky lietadiel, kamiónov, lešenia a mnohé iné.

Tab. 3.1 Chemické zloženie ocele 11 523

Označenie ocele	C max	Mn max	Si max	P max	S max	N max
11 523	0,20	0,60	0,55	0,040	0,040	0,09

Druhým základným materiálom je oceľ triedy 11 373. Tento materiál kruhového prierezu o priemere $\varnothing = 10$ mm bude použitý na vzorky pre skúšku abrazívneho opotrebenia na brúsnom plátne. Je to bežná konštrukčná oceľ, ktorá sa v praxi využíva na menej zaťažované súčiastky a má zaručenú zvariteľnosť.

Tab. 3.2 Chemické zloženie ocele 11 373

Označenie ocele	C max	P max	S max	N max
11 373	0,17	0,045	0,045	0,007

3.2 Charakteristika prídavných materiálov

Použité prídavné materiály sú kovové prášky na báze NiCrBSi s označením NP 52, NP 58, NP 60. Tieto prášky sa v praxi využívajú na nanášanie plameňom a plazmou. Prídavné materiály vyrába Výskumný ústav zvaračský a Priemyselný inštitút SR. V nasledujúcej tabuľke sú charakterizované 3 druhy kovových práškov, ktoré sme aplikovali plazmovým striekaním a plameňo-práškovým naváraním.

Tab. 3.3 Chemické zloženie ocele jednotlivých prídavných materiálov

Značka	Chemické zloženie [%]									Tvrdosť HRC	Odporúčaná maximálna hrúbka nanesej vrstvy [mm]
	C	Si	B	Fe	Cu	Cr	W	Mo	Ni		
NP 52	max 0,5	max 5,0	max 3,5	max 5,0	—	max 14,0	—	—	Zv.	48 – 54	max 3,0
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	max 3,0
NP 62	max 0,6	max 5,0	max 3,9	max 5,0	—	max 16,0	—	—	Zv.	56 – 62	max 3,0

Prídavný materiál NP 52 je to samotroskotvorný práškový prídavný materiál na báze NiCrBSi. Nanesená vrstva je odolná voči opotrebeniu korózii oxidácii pri vysokej teplote tento materiál sa používa na nanášanie funkčných plôch hriadeľov.

Prídavný materiál NP 58 je samotroskotvorný práškový prídavný materiál na báze NiCrBSi. Tento materiál je vhodný na nanášanie zakrivených plôch . Vrstva má vysokú tvrdosť pri vysokej teplote. Používa sa tam kde sa vyžaduje extrémna odolnosť proti opotrebeniu korózii a teplote.

Prídavný materiál NP 60 je tiež samotroskotvorný práškový prídavný materiál na báze NiCrBSi. Nanesená vrstva je odolná proti opotrebeniu a korózii pri vysokej teplote z nízkym koeficientom trenia voči iným kovom.

3.3 Príprava základného materiálu pre plazmové striekanie

Pri plazmovom striekaní je realizované , meranie hrúbky povlaku a meranie príľnavosti na technickej univerzite v Košiciach v spolupráci s Doc. Ing. Danielom Jankurom , Csc odborníkom na plazmu. Plazmové striekanie je technológia ktorá

kladie vysoké nároky na kvalitu povrchu. Povrch musí byť odmastený a bez oxidov. Toto sa dosahuje tryskaním povrchu súčiastky. Tryskací prostriedok nielenže vytvorí vhodnú mikrogeometriu povrchu ale aj mechanicky spevní povrch materiálu. Je to realizované dopadaním koruntovej drviny na povrch, čím dochádza k spevneniu povrchu. Aj táto skutočnosť prispieva zvýšeniu odolnosti súčiastok čím sa vlastne predĺži jej životnosť. Vhodná mikrogeometria prispieva k zvýšeniu priľnavosti samotného povlaku.

3.3.1 Tryskacie prostriedky

Ako tryskací prostriedok bola použitá koruntová drvina na báze hnedého koruntu. Zrinitosť tohto koruntu bola $d_z=1,12$ mm bola zvolená pre dosiahnutie optimálnej drsnosti povrchu základného materiálu ($R_a = 8-12 \mu\text{m}$). Rýchlosť letu zrna bola $80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a uhol dopadu tryskacieho prostriedku bol 70° (Jankura, 2011).

Použitá koruntová drvina bola českej výroby a bola vyrobená spoločnosťou Carborundum Electrire a.s. Jej chemické zloženie je v tabuľke 3.4.

Tab. 3.4 Zloženie koruntovej drviny (Jankura, 2011)

Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	TiO_2
min 95,5 %	max 1,4 %	max 0,6%	max 0,2 %	1,5 - 3 %

Na samotné tryskanie sme použili tryskaciu jednotku typu TJVP 320, obrázok 3.1 Českej výroby s parametrami uvedenými v tabuľke 3.5.

Tab. 3.5 Parametre tryskacej jednotky (Jankura, 2011)

pracovný pretlak	0,2 - 0,6 MPa
max. náplň kovového TP - objemová	80 dm^3
max. náplň kovového TP - váhová	320 kg
objem tlakovej nádoby	94 dm^3
spotreba voľne nasatého vzduchu	$250 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
celková hmotnosť	227 kg



a

b

Obr. 3.1 Tryskacie zariadenie

Popis: a- pohľad na zariadenie z vonka , b - pohľadna zariadenie z vnútra.

3.4 Tvorba povlaku plazmovým striekaním

Povlaky na vzorkách sú vyhotovené žiarovým striekaním, pomocou vysokovýkonného plazmového horáka s vodnou stabilizáciou elektrického oblúka. Typové označenie tohto zariadenia je WSP PAL – 160. Parametre tohto zariadenia sú uvedené v tabuľke 3.6.

Horák zariadenie pracuje na princípe vytvárania plazmy ionizáciou vodnej pary. Medzi katódou a rotačnou anódou ktorá je vyhotovená z medi a je chladená vodou, horí jednosmerný elektrický oblúk. Špeciálnou konštrukciou vodných clón je zaručené stabilné hydrodynamické prostredie vodného víru. Vodný vír obklopuje elektrický oblúk a chráni túto časť zariadenia pred vplyvom veľmi vysokých teplôt a umožňuje vznik plazmy. Plazmové zariadenie znázorňuje obrázok 3.2 (Jankura, 2011).



Obr. 3.2 Plazmové zariadenie typu WSP PAL – 160

Prídavný materiál vo forme prášku a prostredníctvom podávacieho zariadenia je rovnomerne dodávaný do procesu. Násypník a ovládaciu časť podávača znázorňuje obrázok 3.3.

Vzdialenosť jednotlivých vzoriek od horáka bola 350mm. Povlak bol aplikovaný na čelné plochy vzoriek.



Obr. 3.3 Podávač prášku Plasmasol PPW-2

Tab. 3.6 Základné parametre plazmového horáka WSP PAL – 160 (Jankura, 2011)

elektrický príkon	160 kW
chladiace médium	voda
stabilizačné médium	voda
spotreba chladiacej vody	10-12 l.hod ⁻¹
maximálna teplota plazmového lúča	30 000 °C
tlak vody	min.0,25-max.1 Mpa
opotrebenie katódy	2-4 mm.min ⁻¹
počet otáčok anódy	3000 min ⁻¹
intenzita elektrického prúdu pri striekaní	380-400 A

3.5 Meranie hrúbky nanesej vrstvy

Meranie hrúbky povlaku sme realizovali jednoduchou nedeštruktívnou metódou. Každá vzorka bola meraná na piatich rôznych miestach a s týchto piatich meraní sme vypočítali aritmetický priemer hrúbky povlaku.

Meranie sme realizovali prístrojom Quanix Keyless je to prístroj nemeckej výroby od výrobcu AUTOMATION. Tento prístroj má meraciu rádiovú sondu ktorá má dosah 20 m. Priložení sondy na vzorku sa nám nameraná hrúbka povlaku zobrazí na displeji meracieho zariadenia. Tento prístroj nám umožňuje merať hrúbku nemagnetických povlakov na železných podkladoch a umožňuje nám takisto merať aj elektricky nevodivé povlaky na magnetických kovových podkladoch. Základné parametre toho prístroja sú uvedené v tabuľke 3.7 (Jankura, 2011).

Tab. 3.7 Parametre prístroja Quanix Keyless (Jankura, 2011)

rozsah	0,0 – 5000 μm
zobrazenie výsledkov hrúbky	Od 0,0 – do 999 v μm Od 1,0 – do 5,00 v mm
rozlíšenie	0,1 μm v oblasti od 0,0 – 99,9 μm 1 μm v oblasti od 100 – 999 μm
presnosť merania	± 2 % meraného rozsahu
najmenšia meraná hrúbka	Fe 0,20 mm , NFe 0,04 mm



Obr. 3.4 Merací prístroj QuaNix Keyless so sondou (Jankura, 2011)

3.6 Meranie priľnavosti nanesej vrstvy

Priľnavosť plazmou striekaného povlaku, je dôležitá charakteristika kvality samotného vytvoreného povlaku. Táto vlastnosť vyjadruje kvalitu spojenia povlaku a základného materiálu. Pre hodnotenie priľnavosti povlakov vytvorených na jednotlivých vzorkách, bola použitá metodika podľa normy STN EN 582. Je to deštruktívna skúška vykonávaná na trhacom stroji. Stručný princíp je znázornený na Obr. 3.6. Priľnavosť vyjadríme pomocou vzorca (Ličková, M. 2007):

$$\sigma = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (2)$$

Kde: – σ - priľnavosť povlaku [MPa],

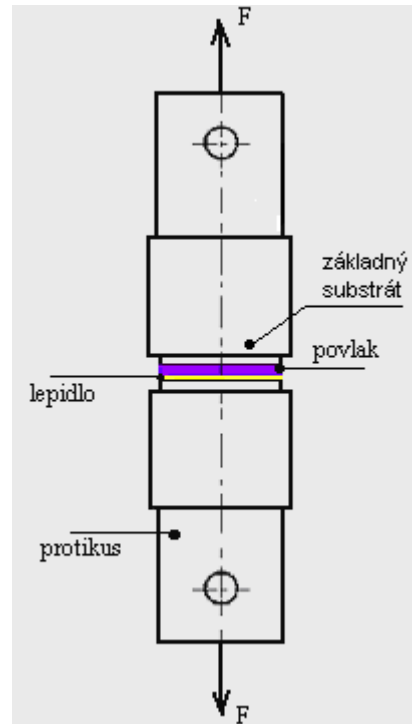
– F - maximálna ťahová sila [N],

– D - priemer skúšobnej vzorky [mm].

Priľnavosť je vlastne sila ktorú musíme vyvinúť na odtrhnutie vzoriek vzhľadom na plochu povlaku. Vzorky sa lepia s rovnakým protikusom špeciálnym lepidlom, nechajú sa vytvrdnúť a na trhacom stroji sa namáhajú na čistý ťah kolmý na plochu povlaku. Povlaky boli nanesené na čelné plochy vzoriek v tvare valca s priemerom 25 mm Obr. 3.5. Povlaky na vzorkách boli vytvorené v jednom cykle striekania.



Obr. 3.5 Vzorka na skúšku priľnavosti



Obr. 3.6 Princíp skúšky priľnavosti (Jankura, 2011)

Ako lepidlo sme použili epoxidovú živicu CHS Epoxy 1200. Čelnú plochu protikusu sme pred lepením zdrsnili tryskaním koruntovou drvinou presne ako pri príprave na tvorbu povlaku. Výrobcom predpísaná doba vytvrdzovania je 48 hodín pri 20 °C. po uplynutí času sme dvojicu vzoriek podrobili skúške na trhacom stroji s označením ZD 10. Vzorku sme upli do trhacieho stroja a ten ju konštantne zaťažoval silou až do jej porušenia.

Pri tejto skúške sa okrem odtrhávacej sily F_m hodnotí aj druh lomu (Jankura, 2011):

- adhézny lom, lomová plocha je na rozhraní:
 - substrátu a povlaku,
 - adhezíva a protikusu,
 - povlaku a adhezíva.
- kohézny lom, plocha lomu prechádza povlakom alebo adhezívom,
- kohézno-adhézny, pri tomto druhu lomu sa percentuálne vyjadří výskyt jednotlivých druhov lomu.

3.7 Príprava vzoriek na planeňo-práškové naváranie

Príprava vzoriek spočívala v brúsení ich povrchov. Brúsenie bolo to realizované ručne na dvojkotúčovej brúske českej výroby s typovým označením BDS 300 , za účelom odstránenia nečistôt a vytvorenia vhodného povrchu pre naváranie Obr. 3.7.



Obr. 3.7 Obrúsená vzorka

Vzorky na skúšky abrazívneho opotrebenia sme napílili na pásovej píle Obr. 3.9 a zbrúsili čelá na presný rozmer na magnetickej brúske na dĺžku 30 mm. Pri samotnom naváraní sme na tieto vzorky použili prípravok Obr. 3.8. Potom nasleduje samotné naváranie.



Obr. 3.8 Prípravok s vloženou vzorkou Obr. 3.9 Pásová píla Pilous TMJ



Obr. 3.10 Proces navárania vzoriek

Naváranie vzoriek sme vykonávali špeciálnou striekacou pištoľou NPK 1 A. obrázok 3.10 znázorňuje priebeh navárania.

3.8 Meranie odolnosti voči abrazívnemu opotrebeniu

Metóda meria odolnosti materiálu voči abrazívnemu opotrebeniu, bola na brúsnom plátne, na zariadení vyvinutom na katedre kvality a strojárskych technológií. Toto meranie bolo vykonané na vzorkách v tvare valca s priemerom 10mm a dĺžkou 30 mm. Na ktoré boli jednotlivými technológiami aplikované vybrané materiály.

Vzorky na túto skúšku majú tvar valca s priemerom $\varnothing = 10$ mm a dĺžkou 30 mm. Pred týmto meraním je potrebné uskutočniť prípravu vzoriek ktorá spočíva v obrúsení navarených plôch aby odpovedali priemeru $\varnothing = 10$ mm. Brúšia sa len vzorky navarené plameňo-práškovou metódou, pretože vzorky striekané plazmou tomuto priemeru vyhovovali. Po zbrúsení sme vzorky vážili na váhe Precisa 205 A.

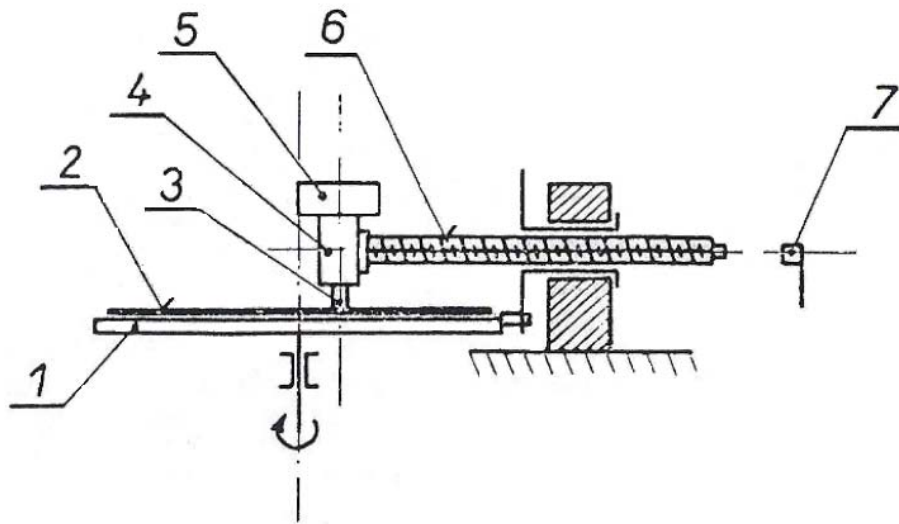


Obr. 3.11 Digitálna váha Precisa 205 A



Obr. 3.12 Zariadenie na meranie abrazívneho opotrebenia

Zariadenie na ktorom sa vykonáva táto skúška je vyrobené podľa normy STN 01 5084. Cieľom tejto skúšky je stanovenie hmotnostného úbytku materiálu vplyvom abrazívneho opotrebenia na brúsnom plátne s menovitým zaťažením. Toto opotrebenie sa realizuje na brúsnom plátne za podmienok presne predpísaných normou. Schéma skúšobného zariadenia je na Obr. 3.13.



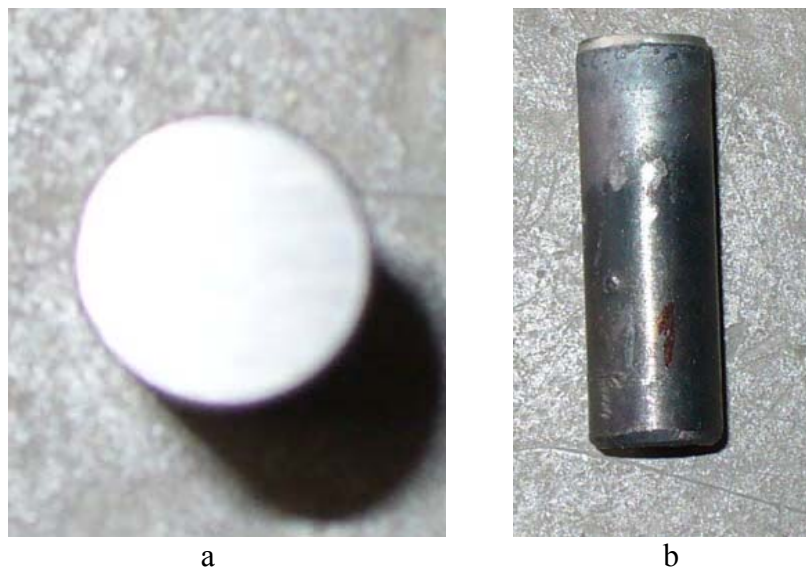
Obr. 3.13 Zariadenie na stanovenie abrazívneho opotrebenia (STN 01 5084)

Popis: 1 rotujúca doska, 2 brúsne plátno, 3 skúšobná vzorka, 4 hlavica na fixovanie vzorky, 5 závažie, 6 skrutkovica na radiálny posuv vzorky, 7 koncový spínač.

Pri meraní abrazívneho opotrebenia je vzorka upnutá v hlavici prístroja a zaťažená menovitým tlakom v našom prípade 0,32 MPa. Pohybuje sa po brúsnom plátne od stredy k jeho okraju a dochádza k jej opotrebeniu. Brúsne plátno je vystrihnuté do tvaru kruhu a zrnitosti 120.

Podmienky pri skúške:

- priemer kotúča 480 mm,
- zrnitosť brúsneho plátna 120,
- dĺžka tretej dráhy 41m,
- prítláčny tlak 32 MPa,
- priemer skúšobnej vzorky $\varnothing = 10$ mm,
- etalón oceľ 12 014. 20.



Obr. 3.14 Vzorka pripravená na meranie

Popis: a - pohľad z hora, b - pohľad z boku

3.9 Meranie tvrdosti podľa Rockwela

Skúška tvrdosti podľa Rockwela bola vykonaná v laboratóriu katedry kvality a strojárskych technológií. Vykonávali sme ju na meracom prístroji s označením LUCZNIK Random typ PW 106 Obr. 3.15. Toto meranie prebehlo presne podľa normy STN ISO 6508. Pre tvrdosti meraných vzoriek sme použili stupnicu C ktorá je použiteľná pre vzorky 20 - 70 HRC.



Obr. 3.15 Merací prístroj LUCZNIK PW 106

Pretože sa vzorka pri naváraní deformovala vplyvom tepla, príprava na meranie spočíva v odpílení na menší rozmer za účelom dosiahnutia roviny meranej vzorky.

Pílenie prebieha na pásovej píle chladenej emulziou, na zamedzenie tepelného ovplyvnenia návaru. Nasleduje brúsenie povrchu zvaru do roviny na vodorovnej magnetickej brúske Obr. 3.16 kôli nerovnomernému navrstveniu materiálu pri naváraní. Samotné meranie spočíva v počiatočnom zaťažení predbežným napätím $F_0 = 98,07 \text{ N}$. Takto sa odstráni vplyv povrchu materiálu. A potom sa vzorka zaťaží silou $F_1 = 1373 \text{ N}$. Hodnotu tvrdosti sa odčíta na stupnici prístroja.



Obr. 3.16 Príprava vzorky brúsením



Obr. 3.17 Priebeh merania tvrdosti

3.10 Meranie drsnosti povrchu vzoriek

Meranie drsnosti povrchu vzoriek bolo vykonané pomocou prístroja MYTUTOYO Surf test . 301. Prístroj má zobrazovací displej na ktorom sa zobrazí nameraná drsnosť a má aj zabudovanú tlačiareň na lepšie zobrazenie výstupu merania. Na vytlačenom zázname sú zobrazené jednotlivé hodnoty drsností a grafické znázornenie povrchu meraného materiálu. Pred samotným meraním bolo vykonané meranie etalónu prístroja, ktorý je súčasťou prístroja a má presne stanovenú hodnotu drsnosti. Na základe výsledku tohto merania sa prístroj nakalibruje. Merania sme vykonávali na vzorkách naváraných plameňo-práškovou metódou, vzorkách striekaných plazmou a na základnom materiáli.



Obr. 3.18 Prístroj na meranie drsnosti

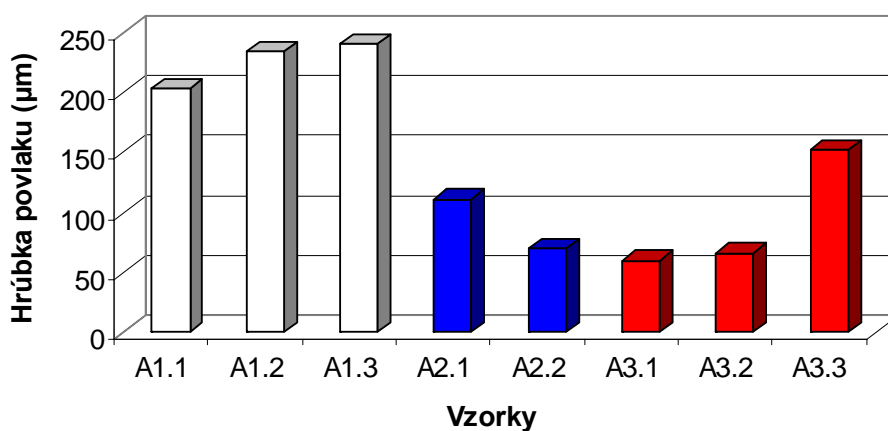
4 Výsledky práce

4.1 Meranie hrúbky povlaku

Meranie hrúbky povlaku sme vykonávali na tých istých vzorkách ako meranie príľnavosti. Hrúbka povlaku má vplyv na príľnavosť hlavne vtedy ak je povlak príliš tenký rádovo 50 μm a menej. A ak je hrúbka povlaku veľká, to však závisí od toho či sa v povlaku nachádzajú medzivrstvy alebo je striekaný v jednom cykle. Výsledky merania sú uvedené v tabuľke 4.1. Vzorka A2.3 vo výsledkoch chýba pretože mala veľmi zlú kvalitu povlaku a veľmi nerovnomernú hrúbku a nemalo význam ju ďalej vyhodnocovať.

Tab. 4.1 Namerané hodnoty hrúbky povlaku

Materiál	Označenie vzorky	Meranie č1	Meranie č2	Meranie č3	Meranie č4	Meranie č5	Priemerná hodnota hrúbky povlaku [μm]
NP 60	A1	195	201	217	210	192	203
	A2	246	218	237	245	229	235
	A3	230	245	258	227	242	240,4
NP 58	B1	115	134	118	92	96	111
	B3	65	94	63	63	67	70,4
	—	—	—	—	—	—	—
NP 52	C1	53	75	53	54	64	59,8
	C2	68	56	73	58	75	66
	C3	145	176	149	133	155	151,6



Graf 4.1 Porovnanie hrúbok povlakov

Z grafu 4.1 jednoznačne vidíme že najhrubší povlak sme namerali na vzorke A1.3 ktorá bola striekaná s materiálom NP 60.

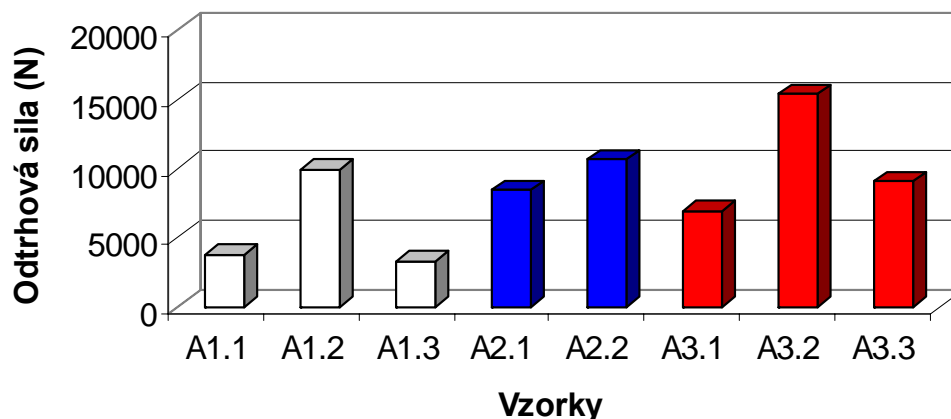
4.2 Meranie priľnavosti povlaku

Priľnavosť nám vyjadruje mieru kvality nastriekaného povlaku preto sa snažíme aby bola čo najväčšia. Namerané hodnoty priľnavosti sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Tab.4.2 Namerané hodnoty priľnavosti

Materiál	Označenie vzorky	Odrhová sila [N]	Hodnota priľnavosti povlaku [MPa]	Druh lomu [%]
NP 60	A1.1	3750	7,639	10A2/90K
	A1.2	9950	20,270	15A2/85K
	A1.3	3300	6,723	10A2/90K
NP 58	A2.1	8450	17,214	40A1/60A2
	A2.2	10600	21,594	60A1/40A2
	—	—	—	—
NP 52	A3.1	6900	14,057	70A1/30A2
	A3.2	15400	31,373	20K/10A1/70A2
	A3.3	9070	18,477	20K/40A1/40A2

Druhy lomov ktoré môže nastať pri skúške sú: K - kohézny lom v povlaku, A1- adhézny lom medzi povlakom a substrátom, A2- adhézny lom medzi povlakom a protikusom (v lepidle). Táto hodnota sa určuje pre spresnenie či lom nastal v povlaku alebo na rozhraní povlaku a základného materiálu popripade v lepidle. Z predchádzajúcej tabuľky môžeme vidieť že iba vo vzorkách A3.1, A2.1 a A2.2 nenastal kohézny lom teda lom v povlaku.



Graf 4.2 Porovnanie hodnôt priľnavostí povlakov

Z grafu 4.2 vidíme že najväčšiu hodnotu priľnavosti má vzorka A3.2 na ktorú bol nanesený povlak z materiálu NP 52. Lom tejto vzorky má 20 % podiel kohézneho lomu čiže lomu v povlaku a 40 % podiel lomu medzi lepidlom a povlakom a taký istý podiel medzi povlakom a základným substrátom.

4.3 Meranie pomernej odolnosti abrazívneho opotrebenia

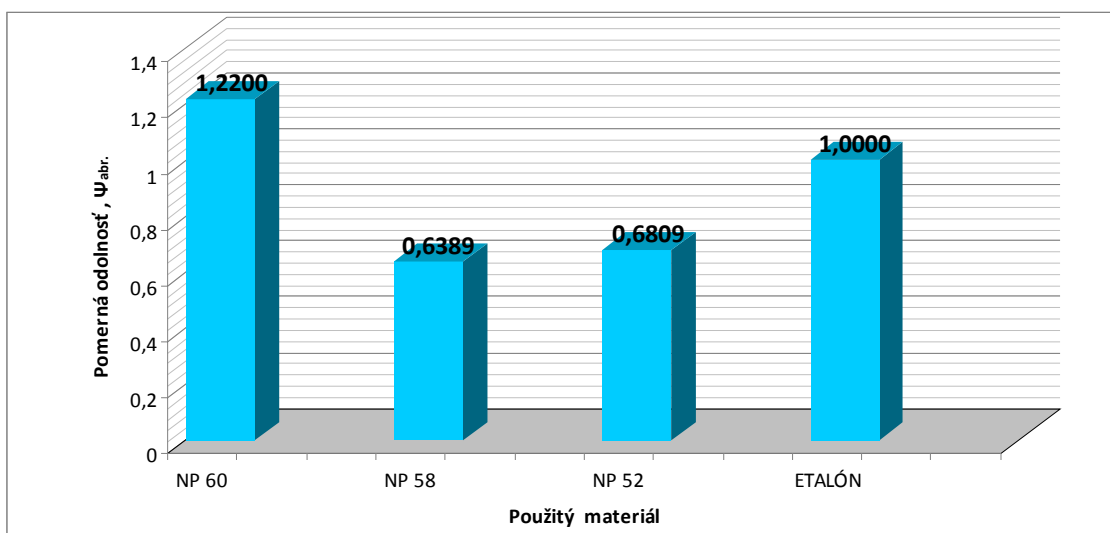
Odolnosť voči abrazívnemu opotrebeniu je dôležitá vlastnosť materiálov, ktorá určuje kvalitu materiálov. Pri tomto meraní sme merali len vzorky navárané plameňo-práškovou metódou, pretože vzorka nastriekaná plazmou sa znehodnotila až na základný materiál. Preto nemalo význam vzorky nastriekané plazmou ďalej vyhodnocovať. S toho nám vyplýva že plazmové striekanie nie je vhodné na súčiastky ktoré pracujú v abrazívnom prostredí. V tabuľke 4.3 sú uvedené výsledky meraní.

Tab. 4.3 Namerané hodnoty pomernej odolnosti abrazívneho opotrebenia

Materiál	Číslo vzorky	Hmotnosť vzorky pred skúškou m_{0i} [g]	Hmotnosť vzorky po skúške m_{1i} [g]	úbytok Δm_i [g]	Priemerný úbytok $\Delta \bar{m}$ [g]	dĺžka dráhy l [m]	Odolnosť voči abrazívnemu Opotrebeniu $\Psi = \Delta \bar{m}_E / \Delta \bar{m}$ [-]
NP 60	B1.1	19,704	19,5705	0,1335	0,142867	41	1,22001867
	B1.2	19,6168	19,4762	0,1406			
	B1.3	19,5045	19,35	0,1545			
NP 58	B2.1	19,0522	18,7544	0,2978	0,2728	41	0,63892962
	B2.2	19,0549	18,7441	0,3108			
	B2.3	19,3583	19,1485	0,2098			
NP 52	B3.1	19,5623	19,3082	0,2541	0,255967	41	0,68094804
	B3.2	19,4644	19,23	0,2344			
	B3.3	19,338	19,0586	0,2794			
Etalón	E1	13,1785	13,0042	0,1743	0,1743	41	1
	E2	13,0042	12,8288	0,1754			
	E3	12,8288	12,6556	0,1732			

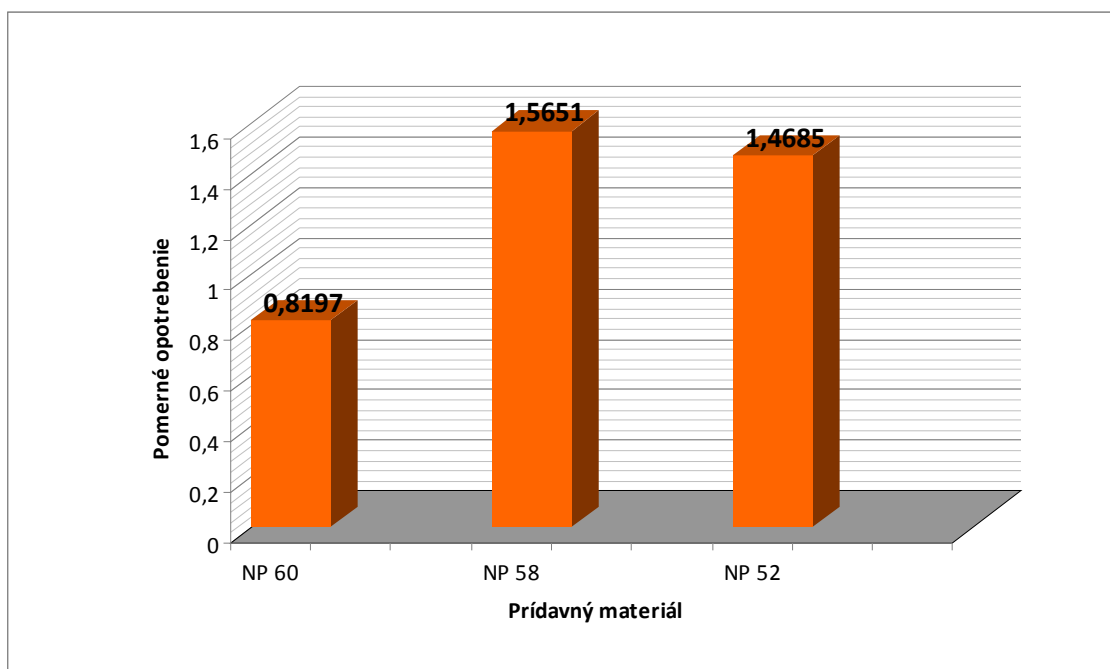
Tab. 4.4 Výsledné hodnoty pomernej odolnosti abrazívneho opotrebenia

Materiál	Číslo vzorky	Odolnosť voči abrazívnemu opotrebeniu $\Psi = \Delta \bar{m}_E / \Delta \bar{m}$	Priemerné opotrebenie ku prejdenej dráhe $RO_N = \Delta \bar{m} / l$	Priemerné opotrebenie etalónu ku prejdenej dráhe $RO_E = \Delta \bar{m}_E / l$	Pomerné opotrebenie v závislosti na dráhe $\Psi = RO_N / RO_E$
NP 60	B1.1	1,22001867	0,003484553	—	0,81966
	B1.2				
	B1.3				
NP 58	B2.1	0,63892962	0,006653659	—	1,565118
	B2.2				
	B2.3				
NP 52	B3.1	0,68094804	0,006243089	—	1,468541
	B3.2				
	B3.3				
Etalón	E1	1	—	0,00425122	—
	E2				
	E3				



Graf. 4.3 Porovnanie pomernej odolnosti voči abrazívnemu opotrebeniu

Z grafu 4.3 vyplýva že najväčšiu pomernú odolnosť voči opotrebeniu majú vzorky navarené prídavným materiálom NP 60 bude to zapríčinené určite jeho vysokou tvrdosťou. Po ňom nasledujú vzorky navarené prídavným materiálom NP 52 a prídavným materiálom NP 58. Z grafu 4.4 vyplýva že najväčšie opotrebenie voči prejdenej dráhe majú vzorky navarené prídavným materiálom NP 58 a najmenšie vzorky s navareným prídavným materiálom NP 60.



Graf. 4.4 Porovnanie pomerného opotrebenia ku prejdenej dráhe

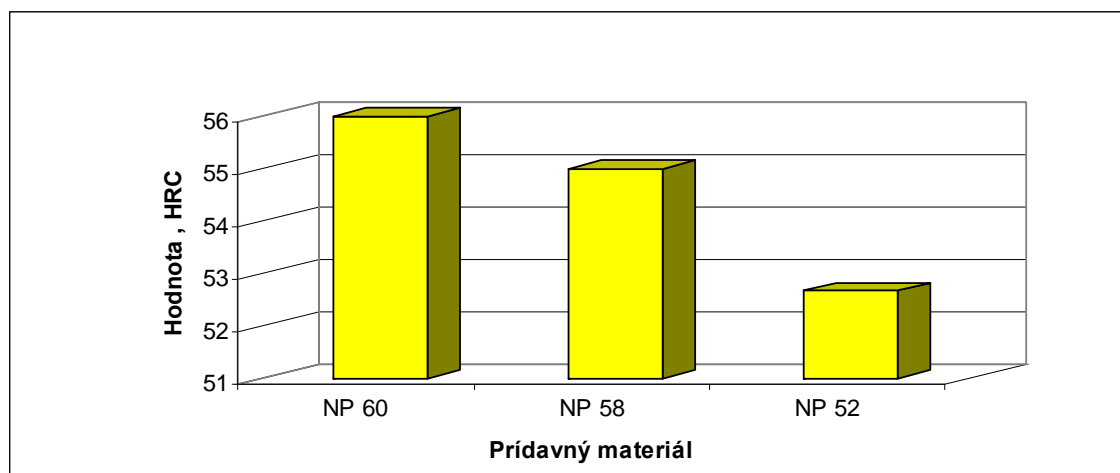
4.4 Meranie tvrdosti podľa Rockwela

Tvrdosť sme merali na vzorkách naváraných plameňo-práškovou metódou a na každej vzorke na troch rozličných miestach. Namerané hodnoty môžeme vidieť v tabuľke 4.5.

Tab. 4.5 Namerané hodnoty tvrdostí

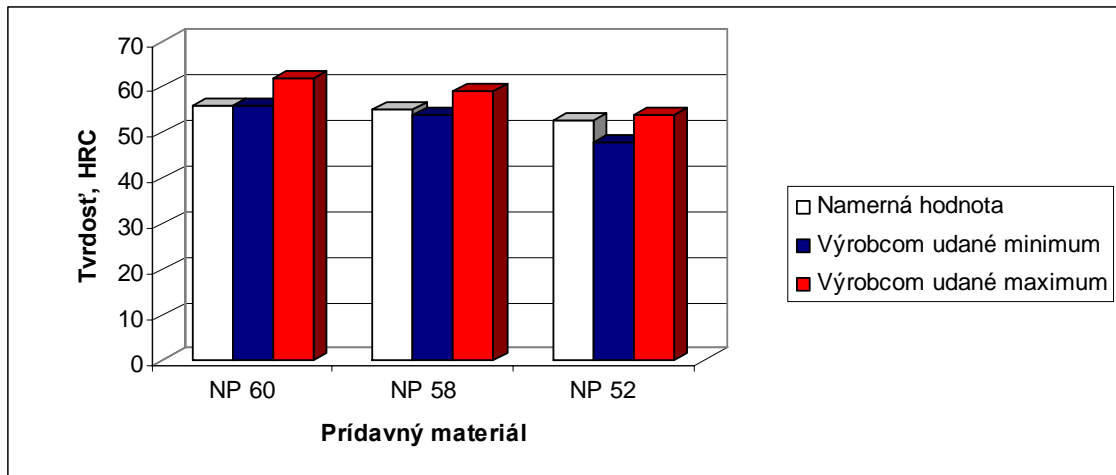
Označenie	Meranie č. 1	Meranie č. 2	Meranie č. 3	Priemerná hodnota HRC	Hodnoty tvrdosti udané výrobcom HRC
B1	53	55	60	56	56 - 62
B2	56	55	54	55,000	54 - 59
B3	52	54	52	52,667	48 - 54

Na grafe 4.5 vidíme že materiál že návar s prídavného materiálu NP 60 mal najväčšiu nameranú hodnotu tvrdosti až 56 HRC.



Graf. 4.5 Porovnanie tvrdostí

Na grafe 4.6 vidíme porovnanie nameraných hodnôt na našich vzorkách a výrobcom udaných hodnôt. Môžeme vidieť, že nami merané hodnoty nedosahujú takých veľkých tvrdostí, ako maximálne hodnoty udané výrobcom. Je to z toho dôvodu, že tieto merania výrobcu robí čisto len na prídavných materiáloch a my sme mali vzorky už navarené a došlo k premiešaniu zo základným materiálom.



Graf. 4.6 Porovnanie nameraných hodnôt tvrdosti s výrobcom udanými hodnotami

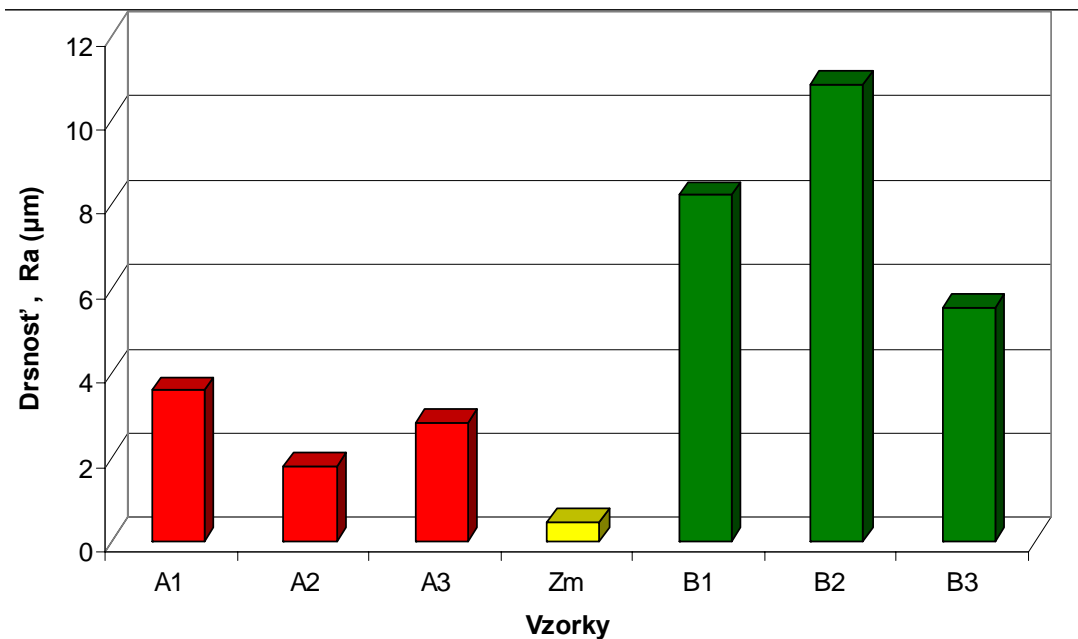
4.5 Meranie drsnosti

Merali sme vzorky striekané plazmou a vzorky navárané plameňo-práškovou metódou, namerané hodnoty jednotlivých drsností sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Tab. 4.6 Namerané hodnoty drsností

Použitá metóda	Prídavný materiál	Označenie vzorky	Hodnota drsnosti vzoriek R_a , [μm]
Plazmové striekanie	NP 60	A1	3,58
	NP 58	A2	1,78
	NP 52	A3	2,81
	Základný materiál	Z_m	0,46
Plameňo-práškové naváranie	NP 60	B1	8,21
	NP 58	B2	10,83
	NP 52	B3	5,54

Z uvedených hodnôt vidieť že plameňo-práškovou metódou dokážeme vytvoriť povrch s oveľa menšou drsnosťou ako plazmovým striekaním. Ako najdrsnejšia vzorka nám vyšla vzorka B2 na ktorú bol nastriekaný prídavný materiál NP 58.



Graf. 4.7 Porovnanie hodnôt drsností

Graf 4.7 znázorňuje, aké veľké rozdiely dokáže spôsobiť zmena technológie pri použití tých istých materiálov. Ako zaujímavosť by som poznamenal že prídavný materiál NP 58 aplikovaný plazmovou technológiou je najdrsnejší a zároveň má najmenšiu drsnosť pri použití plameňo-práškového navárania. Ako dôvod by som uviedol odlišnosť týchto technológií pričom pri plameňo-práškovom naváraní dôjde k roztaveniu prášku a spojeniu so základovým materiálom metalurgickým spojom. A pri plazmovom striekaní dochádza len k spoju difúznemu, čiže nedôjde k úplnému roztaveniu prášku a premiešaniu materiálov. Tento výsledok určite ovplyvnilo chemické zloženie a zrnitosť tohto prášku. Tá bola s pomedzi práškov najväčšia až 125μm a ostatné dva mali hodnotu zrnitosti len 100 μm.

5 Diskusia

Opotrebenie je neoddeliteľnou časťou životnosti a chodu strojov. V dnešnej dobe kladieme veľmi veľké požiadavky na súčiastky strojov a tak sme nútení vynaliezať spôsoby znižovania ich opotrebenia, poprípade rýchle a efektívne spôsoby ich renovovania.

V tejto diplomovej práci sme sa zamerali na dva takéto spôsoby je to plazmové striekanie a plameňo-práškové naváranie. Obe z týchto metód majú nesporne svoje výhody a nevýhody prostredníctvom skúšok a meraní sme sa v tejto práci snažili odhaliť ich klady a zápory pri vybraných prídavných materiáloch.

Prídavné materiály sme volili tri druhy kovových práškov, NP 60, NP 58 a NP 52. Tieto tri prášky sme aplikovali oboma metódami na skúšobné vzorky. Sériou nasledujúcich testov sme sa snažili vyzdvihnúť klady týchto technológií a určiť oblasti ich použitia poprípade porovnať medzi sebou.

Ako prvé sme merali príľnavosť plazmovo striekaných povlakov. Vzorky s najväčšou hodnotou príľnavosti boli vzorky s naneseným materiálom NP 52. Treba však dodať, že plazmou vytvorený povlak má so základným materiálom len spoj difúzny zatiaľ čo naváraný spoj je spoj metalurgický.

Meraním pomernej odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu sme zistili že najväčšiu pomernú odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu má materiál NP 60. Je to určite zapríčinené jeho veľkou tvrdosťou.

Pri meraní tvrdosti podľa Rockwela sme namerali že vzorky navarené materiálom NP 60 mali podľa očakávaní najväčšiu tvrdosť.

Pri meraní drsnosti sme zistili zaujímavý paradox, že pri plazmovej technológii mala povrch s najväčšou hodnotou drsnosti vzorka striekaná s NP 58. A pri plameňo-práškovej technológii sa naopak tento prídavný materiál ukázal ako materiál s najmenšou drsnosťou povrchu vzorky. Tu môžeme vidieť rozdiely týchto technológií. Bolo to spôsobené tým, že pri naváraní sa prášok pretaví a metalurgicky spojí so základným materiálom a pri plazmovom striekaní sa tento materiál len nataví na povrch a vytvorí sa hranice medzi jednotlivými kvapkami roztaveného prášku. Tu sa ešte viac zvýraznil fakt že prídavný prášok NP 58 mal najväčšiu zrnitosť spomedzi zvolených práškov.

6 Záver

V závere tejto práce chcem vyzdvihnúť potrebu rozvíjania nových technológií v oblasti vytvárania odolných povrchových vrstiev. Tieto metódy nám dokážu šetriť nielen čas a peniaze, ale aj vzácne materiály a suroviny. Je treba neustále rozvíjať takéto metódy a verím, že som svojimi výsledkami prispel k lepšiemu oboznámeniu a aplikovaniu takýchto metód. Cieľom mojej práce bolo zhodnotenie vybraných prídavných materiálov a porovnanie dvoch technológií ich aplikácie.

Na základe zistení musím vyzdvihnúť plazmové striekanie v tom, že oproti plameňo-práškovému naváraníu dokáže vytvoriť až neuveriteľne tenké vrstvy rádovo 70 μm za zachovania potrebnej kvality povrchu. Plameňo-práškovým naváraním zas vytvárame vrstvy s oveľa menšou drsnosťou pri materiály NP 58 bola najmenšia nameraná hodnota $R_a = 1,78 \mu\text{m}$. Plazmou vytvorený povlak s tohto materiálu mal pre porovnanie drsnosť $R_a = 10,83 \mu\text{m}$. Návary sa obtiažnejšie obrábajú pretože sú tvrdé a nerovnomerné zatiaľ čo nástrek, má rovnomernú hrúbku.

Na základe všetkých týchto zistení by som odporučil Plameňo-práškové naváranie tam, kde sa vyskytuje veľké abrazívne opotrebenie súčiastok, ako napríklad časti pôduspracujúcich strojov hlavne materiál NP 60. Plazmové striekanie použijeme tam, kde je potreba vytvorenia tenkej vrstvy a potreba odolnosti voči tepelným a korozívnym účinkom prostredia, napríklad časti strojov v chemickom a energetickom priemysle.

Na záver by som chcel dodať, že tieto technológie sú špecifické a navzájom odlišné. Plameňo-práškové naváranie ako dlhšie využívaná technológia, dokáže za použitia kvalitných prídavných materiálov vytvárať odolné povrchové vrstvy, ktoré však musíme obrábať. Plazmovým striekaním dokážeme vytvoriť vrstvu veľmi tenkú a rovnomernú bez potreby ďalšieho obrábania. Obe tieto majú v praxi svoje opodstatnenie, len ako pri každej metóde je potreba určiť oblasť ich použitia, aby boli efektívne využité.

7 Použitá literatúra

- [1] BLAŠKOVITŠ, P., ČOMAJ, M. 2006. *Renovácia naváraním a žiarovým striekaním*. Bratislava : Vydavateľstvo STU v Bratislave, 2006. 204 s. ISBN 80-227-2482-3
- [2] BUDÁČ, M. 2010. *Laboratórna analýza vybraných návarových materiálov*. Diplomová práca. Nitra : SPU Nitra, 2010. 53 s.
- [3] BUJNA, M. 2005. *Overenie odolnosti návarov na pôduspracujúcich nástrojov*. Diplomová práca. Nitra : SPU Nitra, 2005. 61 s.
- [4] BUJNA, M. 2008. *Využitie progresívnych metód navárania na zvyšovanie kvality práce pôduspracujúcich nástrojov*. Autoreferát dizertačnej práce. Nitra : SPU Nitra, 2008. 20s.
- [5] VISKUP, M. 2010. *Laboratórna analýza vybraných prídavných návarových materiálov*. Diplomová práca. Nitra : SPU Nitra, 2010. 55 s.
- [5] BALLA, J. 2003. *Náuka o materiáloch*. 1. vyd. Nitra : SPU Nitra, 2003. 163 s. ISBN 80-8069-249-1
- [6] PUŠKEĽ, P. 2009. *Renovácia pôduspracujúcich nástrojov poľnohospodárskych strojov*. Diplomová práca. Nitra : SPU Nitra 2009. 58 s.
- [7] MORAVEC, P. 2006. *Využitie progresívnych technológií zvárania na naváranie*. Diplomová práca. Nitra : SPU Nitra 2006. 63 s.
- [8] MATEJKA, D., Benko, B. 1988. *Plazmové striekanie kovových a keramických práškov*. Bratislava : Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry Alfa, 1988. 272 s.
- [9] DUSZA, S. 2010. *Rozbor a možnosti zníženia opotrebenia pôduspracujúcich nástrojov*. Diplomová práca. Nitra : SPU Nitra 2006. 60 s.

- [10] VASILKO, K. a kol. 1990. *Nové materially a technológie ich spracovania*, Bratislava: ALFA,1990. 368s. ISBN 80-05-00661-6.
- [11] TOLNAI, R. 2007. *Strojárska technológia*. 4. Vyd. Nitra : SPU Nitra, 2007. 319 s. ISBN 978-80-8069-842-3
- [12] TURŇA, M., a kol. 1985. *Špeciálne metódy zvárania*. Bratislava : Vydavateľstvo STU v Bratislave, 1985. 248 s.
- [13] TURŇA, M., a kol. 1988. *Automatizácia zváracích a zlievarenských procesov*. Bratislava : Vydavateľstvo STU v Bratislave, 1988. 319 s.
- [14] TURŇA, M., KOVÁČOCY, P. 2003. *Zváranie laserovým lúčom*. Bratislava : Vydavateľstvo STU v Bratislave, 2003. 91 s. ISBN 80-227-1921-8
- [15] *Katedra technológií a materiálov - Plazmové laboratórium* [s.a.][online] [cit. 2010-12-10]. Dostupné na: <<http://www.sjf.tuke.sk/ktam/lab-plazma.ht>>
- [16] JANKURA, D., 2010. Tvorba keramických povlakov a možnosti ich aplikácií. In *Transfer inovácií, vedecký project MŠ SR VEGA č. 1/0144/08 a KEGA č. 307_058TUKE-4/2010* [online], 16/2010 [cit. 2011-08-02], 156-160 s. Dostupné na: <<http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/16-2010/pdf/156-160.pdf>>
- [17] LIČKOVÁ, M.2007. Modely rozrušenia a príľnavosti plazmovo striekaných povlakov na báze WC + 12 % Co. In *Strojárstvo* [online], 7-8/2007 [cit. 2010-06-11]. Dostupné na: <<http://www.strojarstvo.sk/docwww/SK/290/290.pdf>>
- [18] JANKURA, Daniel. 2011. Plazmové striekanie a meranie príľnavosti [elektronická pošta]. Správa pre Maroš Masaryk.2011-03- 03[cit. 2011-10-03].Osobná komunikácia.
- [19] STN 01 5084. Stanovenie odolnosti kovových materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu na brúsnom plátne.