

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V
NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

2125273

**LABORATÓRNA ANALÝZA VYBRANÝCH DRUHOV
NÁVAROVÝCH MATERIÁLOV**

2011

Patrik Špendel, Bc.

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V
NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

**LABORATÓRNA ANALÝZA VYBRANÝCH DRUHOV
NÁVAROVÝCH MATERIÁLOV**

Diplomová práca

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

Nitra 2011

Patrik Špendel, Bc.

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE

**Technická fakulta
Katedra kvality a strojárskych technológií**

Akademický rok: 2009 / 2010

ZADÁVACÍ PROTOKOL DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študent: **Bc. Patrik Špendel**

Študijný odbor: Kvalita produkcie
Študijná špecializácia: Kvalita produkcie

V zmysle 3. časti, čl. 21 Študijného poriadku SPU v Nitre z roku 2008 Vám zadávam
tému diplomovej práce:

Laboratórna analýza vybraných druhov návarových materiálov

Cieľ práce: Cieľom diplomovej práce je zhodnotiť vybrané druhy prídavných návarových materiálov v laboratórnych podmienkach. Diplomant na základe získaných teoretických poznatkov navrhne a vykoná laboratórne skúšky na stanovenie odolnosti návarových materiálov a ich možností praktického využitia do prostredia, kde prevláda abrazívne opotrebenie.

Rámcová metodika práce:

1. Analyzovať a zhodnotiť súčasný stav riešenej problematiky.
2. Návrh a výber základného a prídavného materiálu pre naváranie.
3. Príprava a vyhodnotenie vzoriek pre laboratórne skúšky.
4. Závery a odporúčania vyplývajúce zo získaných poznatkov

Rozsah grafických prác: podľa potreby a určenia vedúceho diplomovej práce

Rozsah textovej časti: 50 – 60 strán

Literatúra:

1. Balla, J. *Tribológia a tribotechnika*. Nitra : SPU, 1989. ISBN 80-85175-25-8.
2. Balog, J. - Čičo, P. 2002. *Spol'ahlivosť strojov 1, 2*. Nitra : SPU, 2002. 133 s.
3. Firemná a časopisecká literatúra a Internet.
4. Články z odborných a vedeckých konferencií.

Vedúci diplomovej práce: **Ing. Martin Kotus, PhD.**

Konzultant diplomovej práce:

Dátum zadania diplomovej práce: **november 2009**

Harmonogram postupu prác:

1. Štúdium problematiky a spracovanie literárneho prehľadu : marec 2010
2. Návrh metodiky práce a jej vypracovanie : máj 2010
3. Príprava experimentov a vlastné meranie : november 2010
4. Vyhodnotenie experimentov a spracovanie výsledkov : marec 2011

Dátum odovzdania diplomovej práce: **apríl 2011**

doc. Ing. Peter Čičo, PhD.
vedúci katedry

prof. Ing. Vladimír Kročko, CSc.
dekan

Čestné vyhlásenie

Podpísaný Patrik Špendel vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Laboratórna analýza vybraných druhov návarových materiálov“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

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

V Nitre 28. apríla 2011

Patrik Špendel

Pod'akovanie

Touto cestou vyslovujem poďakovanie pánovi Ing. Martinovi Kotusovi, PhD. Za pomoc, odborné vedenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovaní mojej diplomovej práce.

Taktiež ďakujem aj ostatným pracovníkom Katedry kvality a strojárskych technológií za technickú asistenciu pri príprave vzoriek.

ABSTRAKT

V diplomovej práci skúmame vlastnosti prídavných materiálov v simulovaných abrazívnych podmienkach v laboratóriu. Na experiment sme zvolili štyri druhy tvrdonávarových materiálov a to konkrétne: Kasamas 511, Kasamas 519, Kasamas 523 a Kasamas 530. Ručným oblúkovým naváraním sme vytvorili vzorky s 1-vrstvovými, 2- vrstvovými a 3- vrstvovými návarmi. Každú vrstvu sme podrobili skúške na prístroji s brúsnym plátnom na, ktorých sme sledovali odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu. Metodický postup ako aj parametre skúšky sme podrobili požiadavkám definovaným v norme STN 01 5084. Taktiež sme zisťovali tvrdosť HV 10 jednotlivých materiálov. So zvyšujúcim sa počtom vrstiev návarov konštatujeme pokles úbytkov materiálov a nárast tvrdosti. Najlepšiu odolnosť dosiahol Kasams 530 pričom najtvrdším bol materiál Kasamas 523. Dosiahnuté výsledky môžu poslúžiť technickým pracovníkom pri výbere materiálu na renováciu opotrebených súčiastok, alebo pri riešení problémov s opotrebením.

Kľúčové slová: abrazívne opotrebenie, tribologické skúšky, tvrdosť, pomerná odolnosť, tvrdonávar

ABSTRAKT

In the thesis work we examine the properties of additional materials in simulated abrasive conditions in laboratory. For the experiment we choose four kinds of hard welding materials specifically: Kasamas 511, Kasamas 519, Kasamas 523 and Kasamas 530. By manual arc welding we created samples with 1 layer, 2 layer and 3 layer welds. Every layer was tested on machine with sanding screen on which we watched the resistance against abrasive wear. The methodical process same as the test parameters were subjected on demand defined in the norm STN 01 5084. We have also checked the hardness of every HV 10 material. With the increasing number of welding layers we state decrease in material loss and increase of hardness. The best hardness was achieved by Kasamas 530 and the hardest material was Kasamas 523. The achieved results may serve for technical workers when selecting material for renovation of worn components or when solving wear out problems.

Keywords: abrasive wear, tribological tests, hardness, relative resistance, hard weld

OBSAH

POUŽITÉ SKRATKY, SYMBOLY A ZNAČKY	10
ÚVOD	11
1. PREHLAD O SÚČASNOM STAVE	12
1.1 Definícia povrchu	12
1.2 Definovanie opotrebenia	13
1.2.1 Mechanizmy opotrebenia	15
1.2.2 Druhy opotrebenia	16
1.3 Abrazívne opotrebenie	17
1.3.1 Faktory a mechanizmy ovplyvňujúce abrazívne opotrebenie	18
1.4 Odolnosť materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu	21
1.5 Vytváranie oteru vzdorných vrstiev naváraním	25
1.5.1 Ručné naváranie elektrickým oblúkom	26
1.6 Tribologické skúšky	28
1.6.1 Experimentálne zariadenia pre skúšky opotrebenia	30
2. CIEĽ PRÁCE	32
3. METODIKA PRÁCE	33
3.1 Materiálové zabezpečenie	33
3.2 Charakteristika základného materiálu	33
3.3 Charakteristika prídavných materiálov	34
3.4 Charakteristika zvaracieho zdroja	36
3.5 Charakteristika skúšobného zariadenia	36
3.6 Výroba skúšobných vzoriek	38
3.7 Naváranie tvrdonávarov a príprava vzoriek na meranie	39
3.8 Postup skúšky na skúšobnom zariadení	40
3.8.1 Vyhodnotenie nameraných hodnôt	40
3.9 Meranie tvrdosti podľa Vickersa	41

4. VÝSLEDKY PRÁCE	42
4.1 Výsledky tribologickej skúšky.....	42
4.1.1 Grafické vyhodnotenie tribologickej skúšky	45
4.1.2 Grafické vyhodnotenie pomernej odolnosti proti opotrebeniu	47
4.2 Meranie tvrdosti podľa Vickersa (HV 10).....	50
4.2.1 Grafické vyhodnotenie nameraných tvrdostí HV 10	52
5. DISKUSIA A NÁVRH NA VYUŽITIE POZNATKOV	54
6. ZÁVER	56
7. POUŽITÁ LITERATÚRA	57

POUŽITÉ SKRATKY, SYMBOLY A ZNAČKY

W_{oE} – priemerný objemový úbytok etalónových telies, mm^3

W_o – priemerný objemový úbytok skúšobných telies, mm^3

W_{hE} – priemerný hmotnostný úbytok etalónových telies, g

W_h – priemerný hmotnostný úbytok skúšobných telies, g

ρ – merná hmotnosť porovnávacích vzoriek

ρ_E – merná hmotnosť etalónového materiálu, g.cm^{-3}

ψ_{abr} – pomerná odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu

ω – uhlová rýchlosť, rad.s^{-1}

v – rýchlosť, m.s^{-1}

F_N – sila zaťaženia, N

R_a – drsnosť

HV 10 – tvrdosť podľa Vickersa

HRC – tvrdosť podľa Rockwela

MMA – odvodené od anglického Manual Metal Arc – ručné oblúkové zváranie

ÚVOD

Zmeny geometrického tvaru, úbytky materiálu, zvýšenie drsností povrchov ryhami a trhlinami, sú bežné sprievodné procesy opotrebenia. Na základe dnešných poznatkov vieme, že polovičný podiel na procesoch opotrebenia dosahuje abrazívne opotrebenie.

Poľnohospodárske stroje, časti ťažobných zariadení ako aj rudy spracúvajúce stroje prichádzajú okrem abrazívneho opotrebenia do kontaktu s ďalšími faktormi negatívne vplyvujúcimi na ich životnosť. Agresívne chemické reakcie, vlhkosť, extrémne rázy, tlaky, tvrdosť abrazívnych častíc a oter sú len niektoré z týchto faktorov.

Pri narastajúcom objeme výroby v celom spektre hospodárstva sa v súčasnej dobe sa preto zvyšujú nároky kladené na funkčné plochy nástrojov pracujúcich v prostredí kde dochádza k aktívnej interakcii nástroja a abrazíva.

Tribológia ako veda je mladá disciplína, samotný pojem je starý asi 40 rokov, a už si našla uplatnenie svojimi technickými riešeniami v bežnej strojárkej praxi. V súčasnosti sa procesom trenia, tribologickým mechanizmom ako aj opotrebeniu venuje široká akademická verejnosť. Pri posudzovaní vlastností materiálov sa zaviedli tribologické skúšky, ktoré môžeme rozdeliť na prevádzkové a modelové. Modelové pozostávajú z vytvárania modelovania podmienok, simulovania opotrebenia v laboratóriu.

Vzhľadom na ekonomickú a časovú náročnosť prevádzkových skúšok sa tieto presúvajú do laboratórií, kde už aj vďaka informačným technológiám viem skoro 100% simulovať podmienky reálneho prostredia. Samozrejme v laboratóriu nedokážeme simulovať všetky procesy vzhľadom na to, že ani pri prevádzkovom prostredí nám nie sú známe všetky parametre.

Vhodným výberom materiálu na vytvorenie povrchovej vrstvy teda môžeme dosiahnuť stabilizáciu mechanických vlastností povrchov alebo dokonca ich zlepšenie. Taktiež zabezpečíme komplexnú údržbu a znížime ekonomické straty z prestojov respektíve nákupu nových súčiastok.

V práci sa zameráme na preskúmanie odolností proti opotrebeniu tvrdonávarov Kasamas 511, Kasamas 519, Kasamas 523, Kasamas 530 navarených na materiál oceľ 12050. Vzorok podrobíme skúške na zariadení s brúsnym plátnom. Vyhodnotíme namerané výsledky a na základe zistenej pomernej odolnosti proti opotrebeniu vyslovíme závery ohľadom vhodnosti použitia tvrdonávarov do abrazívneho prostredia.

1. PREHLAD O SÚČASNOM STAVE

1.1 Definícia povrchu

Na začiatok sa začneme venovať procesom prebiehajúcim na povrchoch kovov a definujeme povrch a jeho vlastnosti. Povrch vzniká na každom fázovom rozhraní a je definovaný fyzikálno – chemickým stavom, mechanickými vlastnosťami, mikrogeometriou.

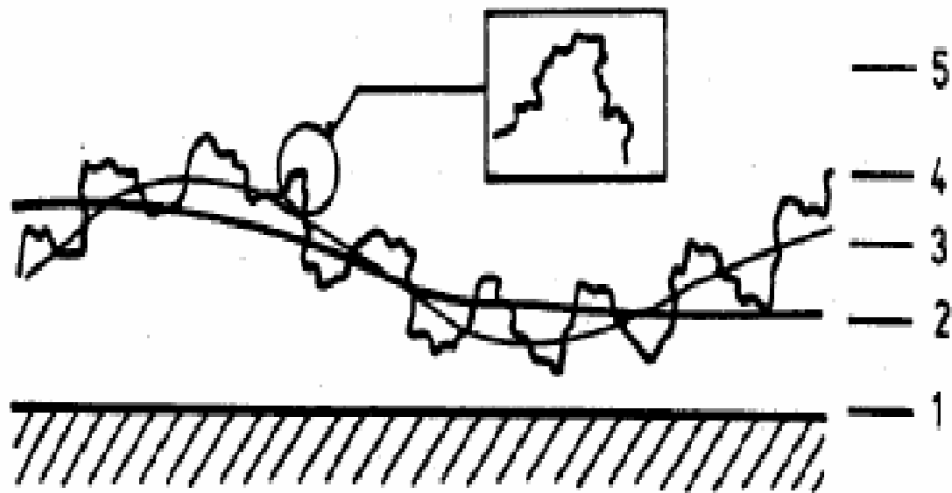
Fyzikálno - chemický stav povrchu. Vznikom povrchu sa poruší pôvodná rovnováha síl medzi atómami, ktorá pôsobí na atómy vo vnútri kryštálu. Na povrchu kryštálu je atóm obklopený menším počtom susedných atómov ako vo vnútri a preto pôsobia medziatómové sily na povrchu väčšou silou. Okrem toho má povrchový atóm väčšiu schopnosť chemicky reagovať s atómami alebo molekulami fázy, ktorá ho obklopuje. Zvýšená chemická reaktivita vyplýva zo snahy povrchového atómu obnoviť symetriu silového poľa, v ktorom sa nachádza. Rôzna kryštalografická orientácia mriežky vzhľadom na povrch sa prejaví povrchovým napätím a zvýšením voľnej povrchovej energie. Atómy na povrchu sú v takej polohe, pri ktorej je povrchová energia čo najmenšia. Preto v hĺbke niekoľkých atómových vrstiev dochádza k disperzii atómovej mriežky a fyzikálno - chemický stav i vlastnosti kovu v týchto vrstvách sú iné ako v ostatnom objeme.

Fyzikálno - chemická nestabilita povrchu má značný význam v procese opotrebenia a závisí od jeho chemického zloženia, stavu štruktúry, subštruktúry a pod..

Mechanické vlastnosti určitej vrstvy kovu na jeho povrchu sú prakticky vyjadrené jeho tvrdosťou. Z hľadiska opotrebenia má hodnota tvrdosti povrchu určitý význam, pritom však vzťah medzi týmito veličinami nemá všeobecnú platnosť. Tvrdosť je pomocné kritérium, ktoré sa pri určitých druhoch opotrebenia môže použiť na hodnotenie odolnosti kovu proti opotrebeniu a to najmä ako mechanická charakteristika stavu štruktúry na povrchu.

Mikrogeometria povrchu - každý reálny povrch tuhého telesa je viac - menej zvlnený a drsný. Nerovnosť povrchu je vyjadrená geometrickými odchýlkami od ideálne hladkého povrchu. Prakticky teda rozlišujeme štyri druhy nerovnosti. Tie sme znázornili na obr. č. 1. Rovná čiara 1 predstavuje myslený ideálny povrch, čiara 2 predstavuje odchýlky tvaru a polohy, čiara 3 vlnitosť povrchu, čiara 4 mikroskopické drsnosti a čiara 5 submikroskopické nerovnosti definované fyzikálnym stavom povrchových atómov, pri ktorom sa dosahuje energeticky najstabilnejší stav.

Pre praktické účely sa nerovnosť povrchu vyjadruje drsnosťou povrchu Ra , ktorá je definovaná priemernou aritmetickou odchýlkou od strednej čiary profilu. Podrobnejšie to uvádza norma STN 01 4450. Drsnosť povrchu má rozhodujúcu úlohu v procese opotrebenia. (Blaškovič et al.,1990)



Obr.1. Schematické znázornenie geometrie povrchu v reze.

Balla (1989a) ďalej tvrdí, že pri skúmaní zloženia skutočných povrchov je možné jednotlivé vrstvy rozdeliť do vonkajších a vnútorných vrstiev. Vonkajšie vrstvy sú tvorené znečistenou vrstvou, vrstvou, vrstvou absorbovaných plynov a vrstvou oxidov. Vnútorne vrstvy sú tvorené spevnenou vrstvou plastickou deformáciou a základnou nenarušenou štruktúrou.

1.2 Definovanie opotrebenia

S pojmom opotrebenia sa v súčasnosti uvažuje predovšetkým pri tuhých telesách. Pri analýze opotrebenia a trenia tuhých telies vychádzame z redukovaného tribologického systému, ktorý uvažuje s trecím telesom, druhým trecím telesom a okolím. K dosiahnutiu reálnych výsledkov musíme s veľkou presnosťou kvalifikovať vstupné veličiny, vybrať vhodný model a diferencovať hĺbku vyšetrovania, ktorou môžeme určovať makroskopický a mikroskopický prístup.

Makroskopické chápanie opotrebenia zodpovedá globálnemu pozorovaniu, čiže integrovanému zachyteniu viac alebo menej výrazných zmien v materiálových a tvarových dvojiciach. Veľké množstvo možných základných procesov prebieha s rôznou časovou postupnosťou a speje k stochastickému charakteru opotrebenia.

Mikroskopické chápanie opotrebenia zodpovedá pozorovaniu základných procesov. Lokálne plastické deformácie, ktoré sa vzhľadom na relatívny pohyb koncentrujú na inhomogénne roviny kryštalickej mriežky, pôsobia dislokačne, a vedú k vzniku trhlín. Takisto štruktúra kovov na hranici zrn výrazne vplýva na opotrebenie. Opotrebenie v tejto rovine sa skúma ako elementárny proces.

Pretože všetky zmeny tribologického systému, vedúce k jeho opotrebeniu, sú vyvolané silami pôsobiacimi v reálnych dotykových bodoch, makroskopické parametre nepostačujú na definovanie prebiehajúcich procesov. V mikroskopickom ponímaní je dôležitý fakt, že vytváranie častíc opotrebenia je zviazané s geometrickými zmenami, a tak mikrogeometria kontaktu nemôže byť považovaná za danú charakteristiku, ale za premennú veličinu. (Kovažiková - Blaškovitš, 2007)

Opotrebenie sa podľa Boháčka et al.(1982) prejavuje dvoma spôsobmi:

- formou zmien veľkosti a tvaru povrchových materiálových oblastí tuhých telies, k nim patrí deformácia, spevňovanie, mäknutie, oddeľovanie, tavenie, sublimácia, ionizácia, nanášanie, prenášanie a spájanie,
- formou materiálových zmien povrchových materiálových oblastí tuhých telies, k nim patrí adsorpcia, absorpcia, difúzia, legovanie pri spolupôsobení iných základných procesov, ďalej k nim patrí aj triboxidácia a tribokorózia.

K definovaniu opotrebenia Fleischer et al. (1980) priraduje nasledovné definičné predpoklady:

- opotrebenie sa vždy spája s trením, platí to pre všetky fázy pohybu, vrátane fázy rozbehu a dobehu relatívneho pohybu,
- definícii opotrebenia sa priraduje pojem materiálovej vrstvy,
- základným predpokladom pri definícii opotrebenia je jav stálej zmeny tvaru alebo zmeny vlastnosti materiálu.

STN 01 5050 popisuje opotrebenie definujeme ako nežiaducu zmenu povrchu alebo rozmerov tuhých telies, spôsobených ich vzájomným pôsobením funkčných povrchov, alebo funkčných povrchov a média, ktoré opotrebenie vyvoláva pri ich vzájomnom relatívnom pohybe. Prejavuje sa ako odstraňovanie, alebo premiestňovanie

častíc hmoty z funkčného povrchu, mechanickými účinkami. Doprevádzajú ho chemické, elektrické alebo ďalšie vplyvy.

Jednou z najdôležitejších charakteristík procesu opotrebenia sú podmienky, pri ktorých k opotrebeniu dochádza. Bez tejto špecifikácie nie je možné proces opotrebenia analyzovať. Prevádzkové podmienky predstavujú celý súbor často premenlivých veličín, ktorých zmena vedie k zmene intenzity, alebo i mechanizmu abrazívneho opotrebenia. (Balla et al., 2001)

1.2.1 Mechanizmy opotrebenia

Opotrebenie môže dosiahnuť mnoho foriem, ktoré sú závislé od topografie povrchu, kontaktných podmienok a prostredia. Pri analýze opotrebenia môžeme tento proces identifikovať ako na tri javy:

1. vzájomné pôsobenie povrchov pri trení,
2. zmeny prebiehajúce v povrchovej vrstve elementov trecej dvojice,
3. rozrušovanie povrchov.

Tieto javy nemožno skúmať ako etapy, ktoré nasledujú za sebou. Vzájomne sa prekrývajú, to znamená, že vzájomné pôsobenie povrchov sa mení pri ich relatívnom pohybe. Potom porušenie povrchov je konečnou etapou ich účinkov. Pretože porušenie nemusí a obyčajne nie je viazané na celý pracovný povrch trecej dvojice (obyčajne sa dotýka iba určitých zón), ostatná časť povrchov prekonáva iba fyzikálno-chemické zmeny. Čiastočné porušenie a zmeny vlastností povrchov vyplývajú na ich vzájomné pôsobenie. (Ďuriš, 2004a)

Vo všeobecnosti potom možno povedať, že existujú dva základné mechanizmy opotrebenia:

1. mechanické,
2. chemické.

Mechanické opotrebenie zahŕňa procesy, ktoré môže spôsobiť trenie, abrázia, erózia a únava. Chemické opotrebenie z atakovania povrchu reaktívnymi zložkami a príslušným zadieraním alebo oddeľovaním splodín opotrebenia mechanickým pôsobením. (Balla, 2003a)

K základným procesom porušovania trecích povrchov podľa Blaškoviča-Ballu-Dzimka(1990) patrí:

- mikrorezanie - tvrdé abrazívne častice sa vtláčajú do trecieho povrchu

- plastické vytesňovanie - častica pri trení tlačí pred sebou určitý objem materiálu a vytvára ryhy v materiály
- delaminácia - zhlukovanie porúch, čím sa tvoria trhliny, ktoré sú paralelné s povrchom
- vytrhávanie - zasahuje veľkú plochu a znehodnocuje pracovné povrchy
- hĺbkové porušovanie — produkty opotrebenia dosahujú veľkosť až niekoľko mm

1.2.2 Druhy opotrebenia

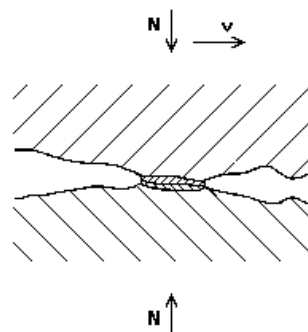
V technickej praxi sa veľmi zriedka vyskytuje jednotlivý druh opotrebenia najčastejšie je ale kombináciou viacerých druhov opotrebenia.

Podľa STN 01 5050 je opotrebenie rozdelené do niekoľkých základných druhov:

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

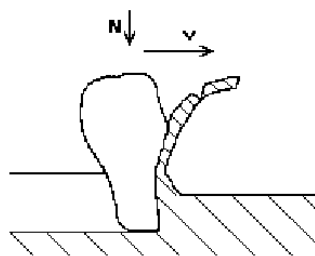
Ďalšie rozdelenie môže byť na : adhezívne, abrazívne, erozívne, korozívne, únavové, kavitačné, vibračné.

Adhézne opotrebenie na obr. č. 2 charakterizuje oddeľovanie a premiestňovanie častíc materiálu prostredníctvom procesu vzniku a porušovania adhézných spojov nazývaných mikrozvary.



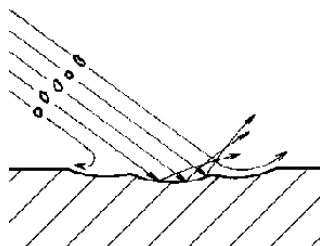
Obr.2 Schematické znázornenie princípu vzniku adhezívneho opotrebenia.

Abrazívne opotrebenie na obr. č. 3 je oddeľovanie častí vznikajúce rezaním, ryhovaním tvrdými voľnými časticami, alebo tvrdým drsným povrchom druhého telesa.



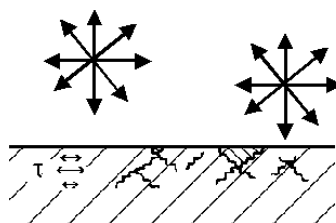
Obr. 3 Schematické znázornenie princípu vzniku abrazívneho opotrebenia

Erozívne opotrebenie na obr. č. 4 charakterizujeme ako oddeľovanie materiálu časticami nesenými prúdom kvapaliny, prúdom plynu, alebo prúdom pary.



Obr. 4 Schematické znázornenie princípu vzniku erozívneho opotrebenia

Kavitačné opotrebenie na obr. č. 5 je charakterizované oddeľovaním častíc v oblasti zanikania kavitačných dutín v kvapaline.



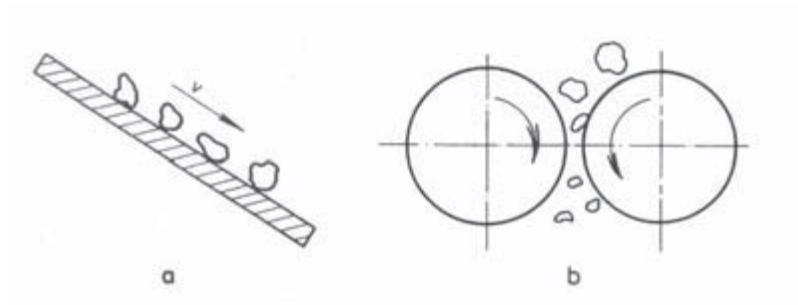
Obr. 5 Schematické znázornenie princípu vzniku kavitačného opotrebenia

Reálne sa jednotlivé druhy mechanizmu opotrebenia často navzájom kombinujú a modifikujú podľa podmienok, počas ktorých sa proces opotrebenia prebieha.

1.3 Abrazívne opotrebenie

Abrazívne opotrebenie charakterizuje oddeľovanie častíc materiálu z funkčného povrchu účinkom tvrdšieho a drsného povrchu iného telesa alebo účinkom abrazívnych častíc. Typickým poškodením je ryhovanie, opotrebovanie poľnohospodárskych nástrojov pracujúcich s pôdou, opotrebenia uložení za prítomnosti nečistôt, alebo tvrdých častíc.

Podľa charakteru vzájomných interakcií pri abrazívnom opotrebení rozlišujeme dva základné modely (obr. 6). Prvým modelom je opotrebenie pri interakcii dvoch telies, najčastejšie častíc a funkčného povrchu („two body abrasion“). Najčastejším príkladom je opotrebenie súčiastok pri spracovaní pôdy a pod. Druhým prípadom je opotrebenie časticami, ktoré sú medzi dvoma funkčnými povrchmi. V praxi sa s týmto usporiadaním stretávame v rôznych pohyblivých uloženiach, pri vniknutí nečistôt a pod. Jedná sa o interakciu troch telies („three body abrasion“)- (Blaškovič - Balla - Dzimko, 1990)



Obr. 6 Základné modely abrazívneho opotrebenia a – interakcia dvoch telies, b – interakcia troch telies. (Budáč, 2010)

Počas opotrebovania čapov a klzných ložísk účinkom abrazívnych častíc obsiahnutých v mazive ako nečistoty, prichádza často k tomu, že je viac opotrebovaný tvrdší čap, než mäkkšia výstelka ložiska. Je to hlavne tým, že tvrdšie častice sa svojimi ostrými hranami môžu vtlačiť do výstelky ložiska a potom ryhovať tvrdý čap. Funkčné plochy rôznych druhov drvičov, rýpadiel a pneumatických kladív sú vystavené intenzívnemu abrazívnemu opotrebeniu.

1.3.1 Faktory a mechanizmy ovplyvňujúce abrazívne opotrebenie

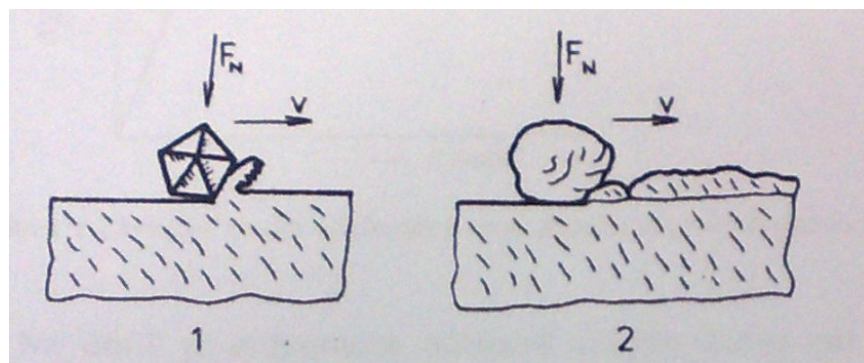
V súčasnosti vieme o dvoch rozdielnych formách prejavu abrazívnych procesov, rozlišujúcich sa charakterom vzájomného pôsobenia častíc a povrchu kovu (obr.7):

- s prevládajúcim mechanickým rozrušovaním povrchových vrstiev kovu
- s prevažujúcim mechanicko-chemickým rozrušovaním (plastická deformácia povrchových mikro objemov, tvorba chemických zlúčenín a nasledujúce porušenie vznikajúcich sa vrstvičiek)

Balla, (2003b) píše, že pri abrazívnom opotrebení treba rozlíšiť tieto rozhodovacie štádiá:

- proces vtláčania abrazíva do povrchu materiálu, kde rozhodovacím faktorom je tvrdosť,
- proces rozrušovania povrchu, kde hlavnú úlohu majú sily medzi atómových väzieb a pevnosť spojenia.

Spôsobilosť abrazívneho zrna vniknúť do materiálu je závislá nielen od tvrdosti, ale aj od geometrického tvaru zrna. Hranatejšie častice mäkkšieho materiálu spôsobujú väčšie opotrebenie ako zaoblenejšie častice tvrdšieho materiálu. Rozhodujúcim je aj pôsobenie veľkosti abrazívnych zŕn. Abrazivita sa zvyšuje zväčšovaním rozmerov abrazívnych častíc. Pri rôznorodej veľkosti zŕn je smerným rozmerom objem najväčšej frakcie. Hraničný rozmer tohto zrna je rozdielny pre všetky kovy.



Obr.7 Základné modely abrazívneho opotrebenia, 1 - interakcia dvoch telies, 2 - interakcia troch telies. (Blaškovič - Balla - Dzimko, 1990)

Činitele, ktoré ovplyvňujú veľkosť abrazívneho opotrebenia môžeme rozdeliť na vonkajšie (fyzikálno-mechanické vlastnosti prostredia a exploatačné parametre) a vnútorné (vlastnosti materiálu funkčnej časti stroja). Medzi vonkajšie činitele zaraďujeme veľkosť a tvar abrazíva, tvrdosť a pevnosť abrazíva, chemické zloženie a vlhkosť abrazíva, relatívna rýchlosť abrazíva ako aj fyzikálno-mechanické vlastnosti. Medzi vnútorné činitele zaraďujeme štruktúru materiálu, chemické zloženie materiálu, relativitu a fyzikálno-mechanické vlastnosti. (Prešinský, 2005)

Na základe analýz parametrov pôsobiacich na opotrebenie asi 50% sa vyskytuje pri abrazívnom opotrebení, 15% pri adhéznom, 8% pri erozívnom 8% pri frettingu, 5% tvorí opotrebenie spojené s koróziou, a 14% tvorí kombinácia abrazívneho, erozívneho a korózneho opotrebenia. Abrazívne opotrebenie materiálov je teda intenzívnym degradačným procesom vyvolané väčšinou účinkom tvrdých minerálnych častíc. Parametre ktoré ovplyvňujú procesy abrazívneho opotrebenia sú zhrnuté na obr. č. 8. V technickej praxi sa stretávame s prípadmi abrazívneho opotrebenia časticami, ktoré sú buď voľné alebo slabo sú vzájomne viazané (obr.9). Abrazívne opotrebenie sa

vyskytuje pri doprave a ťažbe piesku, spracovaní a doprave rôznych sypkých materiálov a rúd. V takomto prípade dochádza nielen k posuvným pohybom ale aj k odvaľovaniu a rotácií ako aj k fragmentácií jednotlivých častíc abraziva. (Zdravecká., 2011)



Obr. 8 Parametre pri abrazívnom opotrebení. (Zdravecká., 2011)

Typické situácie ktoré môžu nastať v priebehu abrazívneho opotrebenia je možné popísať ako mikroryhovanie, mikrorezanie a mikrorezanie spojené s mikrotrhlinami (obr.10).



Obr. 9 Postupné zaťažovanie a fragmentácia zŕn abraziva. (Zdravecká., 2011)



Obr. 10 Schematické znázornenie mechanizmov abrazívneho opotrebenia.

Nesmieme zanedbať aj vplyv relatívnej klznej rýchlosti abrazívnych častíc na funkčný povrch. Ďuriš(2004b) tvrdí, že počas dopravy a spracovania abrazívnych látok sa v praxi používajú malé klzné rýchlosti, ktoré sa pohybujú od 0,5 - 2,5 m.s⁻¹. Abrazívne opotrebenie mierne stúpa rastom klznej rýchlosti až do 2,0 m.s⁻¹. Pri väčších klzných rýchlostiach treba očakávať, že vlastnosti povrchovej vrstvy materiálu budú ovplyvnené zmenou teploty vyplývajúcej z trenia. Rast teploty sa väčšinou prejaví hlavne znížením tvrdosti povrchovej vrstvy, vplyvom čoho sa zníži i jej odolnosť voči abrazívnemu opotrebeniu. S oceľami s vysokou odolnosťou proti popúšťacím teplotám a s vysokou tvrdosťou pri vyšších teplotách sa uvažuje o možnosti znižovania abrazívneho opotrebenia pri veľkých klzných rýchlostiach.

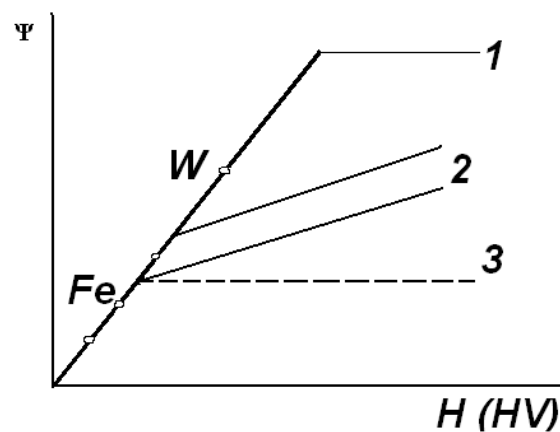
Z ďalších parametrov je veľkosť abrazívneho zrna. Bola zistená tzv. kritická veľkosť abrazívneho zrna, pri ktorej dochádza k výraznej zmene závislosti opotrebenia na priemernej veľkosti abrazívnych častíc. Pri podrobnom zisťovaní závislosti abrazívneho opotrebenia rôznych materiálov na zaťaženi a priemernej veľkosti častíc sa zistilo, že nejde o lineárnu závislosť. Kritická veľkosť zrna je závislá na zaťaženi a mení sa v daných skúšobných podmienkach v rozmedzí 70 - 200 nm. Kritická veľkosť zrna je ovplyvnená skúšobnými podmienkami, najmä rozmerom vzorky, použitými časticami i vlastnosťami opotrebovávaného materiálu. Existencia kritickej veľkosti zrna je daná predovšetkým jej vlastnosťami. Pri štúdiu častíc na karborundových papieroch sa zistilo, že menšie zrná majú veľký počet jemných povrchových trhliniek, takže sa pri zaťaženi a relatívnom pohybe ľahšie porušia a ich abrazivita je potom menšia. Najskôr by sa mal prejaviti pri veľkých zrnách vplyv trhliniek. Medzery medzi brúsnymi zrnami sa môžu od určitej miery zaplniti časticami materiálu z funkčného povrchu, a tým vzniká pokles abrazívneho účinku. Táto teória neprichádza do úvahy pri voľnom abrazive. Poznatok o kritickej veľkosti abrazívnych častíc má význam pre prax v tom, že so znižovaním veľkosti abrazívnych častíc pod uvedenú kritickú hodnotu výrazne klesá abrazívny účinok. To môže vyriešiti problém s nežiaducimi abrazívnymi časticami, ktoré sa dostávajú do maziva strojov.(Ďuriš, 2004c)

1.4 Odolnosť materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu

Odolnosti kovov proti opotrebeniu je do určitej miery závislá od mechanických vlastností použitých materiálov. Podľa týchto vlastností do určitej miery môžeme predpokladať správanie sa kovu pri opotrebení. Z mechanických vlastností je to hlavne

tvrdosť, ktorá definuje veľkosť odporu proti vnikaniu tvrdých častíc do povrchu ale aj odpor proti plastickej deformácii.

Na obr. č. 11 je znázornená odolnosť čistých kovov pri abrazívnom opotrebení v závislosti na tvrdosti, pričom je vidieť priamoúmernú závislosť. Hodnoty pomernej odolností proti opotrebeniu ležia na priamke predchádzajúcej počiatkom. U tepelne nespracovaných ocelí je odolnosť proti opotrebeniu veľmi blízka chovaniu čistých kovov. U tepelne spracovaných ocelí je táto závislosť už značne odlišná od závislosti pre čisté kovy. Odolnosť proti opotrebeniu už rastie so zvyšovaním tvrdosti, avšak menej intenzívne ako u čistých kovov. (Balla, 1989b)



Obr. 11 Závislosť medzi odolnosťou proti abrazívnemu opotrebeniu a tvrdosťou materiálu. (Budáč, 2010)

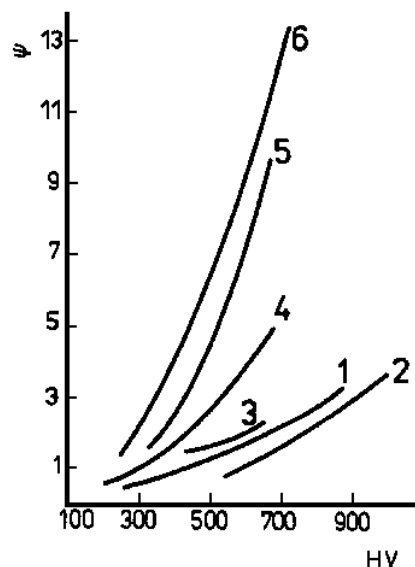
Z hľadiska typu štruktúry najvhodnejšej pre stanovenie najväčšej odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu nie je jednotný názor. Niektorí autori označujú za najvýhodnejšiu austeniticko-karbidickú štruktúru, druhý za najodolnejšiu martenziticko-karbidickú. Tieto rozdielne názory sú spôsobené z rôznorodosťou procesov abrazívneho opotrebenia a veľkej škály skutočných procesov prebiehajúcich v prevádzkových podmienkach. Austeniticko-karbidická štruktúra je vhodná pre podmienky abrázie pri vysokých špecifických tlakoch a prítomnosti nárazov, kým martenziticko-karbidická štruktúra je vhodnejšia pre podmienky nízkonapäťovej abrázie.

Parametre mriežok karbidov a austenitu sú bližšie ako parametre mriežok martenzitu a karbidov, preto spojenie týchto štruktúrnych zložiek najpriaznivejšie vplyva na schopnosť odolávať abrazívnemu opotrebeniu.

Každá štruktúrna zložka v procese exploitácie určuje úroveň odolnosti celého kovu svojim podielom. Pri abrazívnom opotrebení treba rozlíšiť dve rozhodujúce štádiá, a to proces vtlačania abraziva do povrchu, kde limitujúcim faktorom je vnikajúca tvrdosť a proces rozrušovania povrchu, kde majú rozhodujúcu úlohu sily medziatómovej väzby a pevnosť spojenia medzi štruktúrnymi zložkami navzájom na hraniciach zŕn. Tvorbu mikroryhy sprevádza značná plastická deformácia kovu. Na dne ryhy sa tvoria priečne mikrotrhlíky, ktoré môžu byť zárodkami rozrušovania pri ďalších pracovných cykloch.

Parameter mriežok karbidov a austenitu sú bližšie ako parametre mriežok martenzitu a karbidov. Podobne je aj vyššia pevnosť hraníc austenit – karbid, preto abrazívne zrnó nemôže tak ľahko vylúpnúť karbid z matrice. V tejto súvislosti je dôležité, akým spôsobom sa dosiahne spevnenie, ktoré zvýši odolnosť proti opotrebeniu.

Na obr. č. 12 uvádzame klasifikáciu podľa Ivancova-Ščulepnikovej(1967) vplyvu rôznych spôsobov spevnenia zliatin železa na odolnosť proti opotrebeniu. Čiary 1,2,3 vyjadrujú vplyv kalenia a popúšťania, disperzného vytvrdzovania a legovania na spevnenie. V druhej skupine čiar sú čiary 5 a 6, vyjadrujúce vplyv voľných karbidických fáz v austenite a martenzite. Medzi týmito dvoma skupinami leží čiara 4, vyjadrujúca vzrast odolnosti proti opotrebeniu so zväčšovaním množstva karbidov vo feriticko-karbidickej zmesi.



Obr. 12 Zväčšovanie odolnosti proti opotrebeniu spevňovaním zliatin železa
(Ivancova-Ščulepnik,1967)

Na obr. č. 12 vidíme znázornenie kvalitatívnych rozdielov medzi jednotlivými spevňujúcimi faktormi. Podľa toho autori Blaškovič - Balla – Dzimko (1990) tvrdia, že spevnenie zliatin železa je podmienené disperznosťou fázových zložiek, zjemnením bloku, prítomnosťou koherentných deformácií v presýtených tuhých roztokoch aj deformácií mriežky pri legovaní, spôsobuje výrazný vzrast ich odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu.

Ferit je určite najmenej odolnou fázou proti opotrebeniu zliatin železa. Avšak legovanie feritu jednoznačne zvyšuje odolnosť proti opotrebeniu. Posuv od cementitu ku špeciálnym karbidom legúr prvku a od jedného typu špeciálneho karbidu k inému, ktorý je bohatší na kovové atómy je sprevádzané zvýšením odolnosti proti opotrebeniu.

Každý z prvkov obsiahnutých v materiály mu dáva špecifické vlastnosti. Najdôležitejším z prvkov je uhlík ktorý dodáva materiálu tvrdosť na druhej strane aj krehkosť. To sa upravuje dodaním ďalších legujúcich prvkov:

- Nikel (Ni): Obsah tohto prvku má vplyv na pevnosť a tuhosť ocele, ale nemá vplyv na tvrdosť. Používa sa v rozmedzí 1-4% no niektoré nerezové ocele až 30% tohto prvku.
- Chróm (Cr): Má vplyv na tvrdosť a odolnosť voči korózii ocele. Pridáva sa väčšinou spolu s niklom do nerezových ocelí, kde môže byť v množstve do 20%.
- Mangán (Mn): Tento prvok je obsiahnutý v každej oceli. Pôsobí dezoxidačne a má vplyv na tepelné spracovanie. Jeho obsah sa pohybuje 0,5 - 2%.
- Kremík (Si): Znižuje vnútorné pnutie a zvyšuje tvrdosť. V kombinácii s ostatnými prvkami zvyšuje pevnosť materiálu.
- Vanád (V): Spomaľuje rast kryštálov pri dlhom vystavení zvýšeným teplotám a pomáha riadiť ich štruktúru pri tepelnom spracovaní. Používa sa veľmi málo a v množstvách 0,15 - 0,2%.
- Wolfrám (W): Vo veľmi malých množstvách má dobrý vplyv pri vytváraní kryštalickej štruktúry. Spôsobuje odolnosť voči vyšším teplotám a tým zhoršuje kujnosť. Molybdén (Mo): Zlepšuje penetráciu kalenia a zvyšuje tuhosť materiálu. Spôsobuje odolnosť voči mäknutiu pri vyšších teplotách a preto vyšší obsah zapríčiňuje problémy pri kutí.
- Síra (S): Je obsiahnutá v každej oceli ako nečistota pri výrobe. Ma jednej strane spôsobuje ťažkosti pri tepelnom spracovaní, na druhej strane zlepšuje

opracovateľnosť
materiálu.

- Fosfor (P): Rovnako ako síra je vlastne nečistotou pri výrobe a je teda obsiahnutá v každej oceli. Zvyšuje pevnosť v ťahu a odolnosť voči atmosférickej korózii.

1.5 Vytváranie oteru vzdorných vrstiev naváraním

Pod navarením sa chápe nanášanie prídavného materiálu na povrch základného materiálu súčiastky pomocou vhodného energického zdroja s cieľom renovovať pôvodné rozmery funkčnej plochy súčiastky, alebo dosiahnuť potrebné vlastnosti povrchu, ako je tvrdosť, oteruvzdornosť, koróziivzdornosť, žiaruvzdornosť, odolnosť proti chemickým agresívnym látkam a odolnosť proti ostatným druhom opotrebenia. (Veselko-Sudnik, 1989)

Aj napriek tomu, že sa naváranie primárne používa na renováciu opotrebených dielov do použiteľného stavu, aby sa predĺžila ich životnosť, často je účelné túto technológiu použiť aj pri výrobe nových častí. Vlastný diel je tak možné vyrobiť z lacnejšieho materiálu a povrchové vlastnosti sa získavajú naváraním návarovým kovom, ktorého vlastnosti sú vhodné pre použitie v daných podmienkach. (Hlavatý et al., 2007)

Návarové materiály je možné nanášať prakticky akýmkoľvek zváracím procesom. Zvýšená tvrdosť neznamena nutne vždy lepšiu odolnosť voči opotrebeniu alebo dlhšiu životnosť. Množstvo zliatin, ktoré majú rovnakú tvrdosť, sa veľmi líšia z hľadiska schopnosti odolávať opotrebeniu. Na základe doterajších poznatkov možno konštatovať, že pre výber najvhodnejšieho materiálu na naváranie je potrebné poznať podmienky, pri ktorých bude daný diel pracovať. (ESAB, 2006)

Blaškovič – Čomaj (2006) k prednostiam technológie navárania zaraďujú:

- možnosť nanosenia materiálov rôznych chemických zložení na základný materiál s rôznym chemickým zložením,
- vysoká produktivita navárania v rozsahu od niekoľkých gramov naneseného kovu za hodinu pri mikroplazmovom naváraní až po niekoľko kilogramov za hodinu pri elektrotroskovom naváraní,
- možnosť získať veľmi hrubé návary (0,2 až 100 mm),
- jednoduchosť naváracích zariadení,
- možnosť mechanizácie, automatizácie a robotizácie technológií navárania,

- nevyžaduje sa vysoká kvalifikácia zvaračov,
- možnosť kombinácie navárania s inými technológiami opracovanie povrchov.

Blaškovič –Čomaj (2006) k nevýhodám technológie navárania zaraďujú:

- premiešavaním návarového kovu so základným materiálom sa zhoršia vlastnosti návaru
- deformácia navarenej súčiastky vplyvom vysokej pomernej energie navárania,
- heterogenita návaru, a tým aj jeho vlastností, ktorá závisí od jednotlivých metód navárania a od spôsobu ukladania húseníc
- ťažkosti pri naváraní súčiastok s malými rozmermi a tenkými stenami,
- pri legovaných návaroch a základných materiáloch sa vyžaduje pred ohrev a špeciálne teplotné režimy navárania a tepelného spracovania po navarení,
- a zložitosť mechanického opracovania tvrdých návarov.

Naváranie patrí k najrozšírenejším metódam renovácie. Pre kvalitný stav navareného kovu je potrebné posúdiť vhodnosť základného materiálu na naváranie. Taktiež veľmi dôležitou úlohou je aj voľba návarového materiálu. Pri naváraní nie príliš namáhaných plôch vyhovuje lacnejší materiál konštrukčných elektród. Na funkčné plochy súčiastok, ktoré podliehajú intenzívnemu opotrebeniu, však treba používať odolnejší prídavný materiál. (BALOG et al., 2005)

Naváranie sa rozdeľuje do dvoch základných kategórií:

- ručné – elektrickým oblúkom, kyslíkovo-acetylénovým plameňom,
- strojové - v ochrannom plyne, pod tlakom. elektrotroskové. plazmové, elektrovibračné. indukčné, laserovým lúčom a iné.

1.5.1 Ručné naváranie elektrickým oblúkom

Ručné naváranie nachádza široké uplatnenie pri opravách súčiastok poľnohospodárskych strojov a traktorov. Okrem opráv už opotrebovaných súčiastok je ho možné použiť i preventívne na zvýšenie odolnosti funkčných plôch.

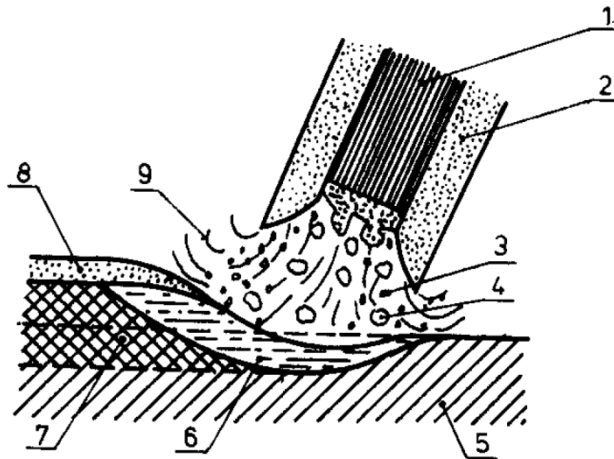
Tolnai (2002) píše, že zdrojom tepla je elektrický oblúk medzi elektródou a naváraným materiálom. Je to elektrický vysokotlakový výboj, ktorý horí medzi elektródami. Charakterizuje ho malý katódový úbytok, pomerne veľký prúd, nízke napätie

a intenzívne vyžarovanie svetla, tepla a ultrafialového žiarenia pozdĺž prúdovej dráhy. Elektrický oblúk sa pri jednosmernom prúde rozširuje smerom od katódy k anóde. Na anóde sa vyvíja viac tepla ako na katóde. Stĺpec elektrického oblúka vytvorí materiál v plazmatickom stave. Teplota elektrického oblúka dosahuje maximum v strede stĺpca, závisí od zloženia plazmy elektrického oblúka a zvyčajne je v rozsahu 5 000 až 8 000 °C. Jeho výkon, geometrický tvar a teplotu je možné podľa technologických požiadaviek meniť vo veľkom rozsahu. Pri naváraní treba dodržať krátky oblúk, aby bola zaručená ochrana pred oxidačnými účinkami okolitej atmosféry.

Čičo (2009a) o naváraní oblúkom píše, že na rozdiel od spojovacích zvarov pri naváraní sa požaduje čo najmenšia hĺbka prevarenia, t.j. čo najmenšie premiešame prídavného materiálu so základným. Chceme teda dosiahnuť difúzny spoj, ktorý považujeme za vhodnejší pre tento účel než metalurgický. Hlavná príčina toho je, že na návary sa obyčajne nekladú pevnostné požiadavky, ale hlavne odolnosť proti vplyvu opotrebovania. Premiešavaním základného materiálu s návárom by dochádzalo k znižovaniu kvality prídavného materiálu, ktorý býva obyčajne vyššie legovaný. Skutočne dosiahnutý spôsob pripojenia naváranej vrstvy k základnému materiálu je závislý od použitej navarenej technológie. Naváranie elektrickým oblúkom je vhodné v týchto prípadoch:

- ak má základný materiál dostatočnú hrúbku, takže sa neprepaluje,
- ak nie je požiadavka, že navarený kov sa nesmie premietiť so základným materiálom;
- ak je rozhodujúca hospodárnosť navárania (pri naváraní veľkých plôch, kde je navar elektrickým oblúkom podstatne lacnejší, ako plameňom).

Väčšina naváraných elektród si vyžaduje jednosmerný zdroj prúdu, pri ktorom s výhodou sa využíva rôzna teplota anódy a katódy. Naváranie obvykle vyžaduje obrátenú polaritu, t.j. zapojenie elektródy na kladný pól, ktorý je teplejší. Dosiahne sa tým väčší navárací výkon a tiež základný materiál je menej tepelne ovplyvňovaný. Pri naváraní elektrickým oblúkom obalenou elektródou (obr. 13) sa obyčajne postupuje dozadu (doprava). Húsenice sa kladú tesne vedľa seba tak, aby nemohla medzi nimi vzniknúť medzera, v ktorej by po oklepaní zostala troska.(Čičo, 2009b)



Obr. 13 Schéma navárania obalenou elektródou v priečnom reze: 1 – jadro elektródy, 2 – obal, 3 – plyny, 4 – kvapky kovu, 5 – základný materiál, 6 – zvarový kúpeľ, 7 – stuhnutý navarený kov, 8 – troska, 9 – ochranná atmosféra

Naváracie elektródy používané u nás sú obalom legované a majú bázičský obal. Obal obsahuje jemne drvené ferozliatiny, ako je ferochróm, feromangán, ferosilícium a pod. Je to veľmi výhodný a lacný spôsob legovania. Jadro elektródy je z mäkkej ocele prakticky pre všetky vyrábané druhy. Možnosti legovania obalom elektródy má svoje hranice. Nepriaznivé ovplyvňovanie výsledného chemického zloženia vysoko legovaného návaru závisí od množstvo železa v jadre elektródy. Elektródami s obsahom legujúcich prvkov väčším ako 30-50 % obalu nemožno legovať návary.

1.6 Tribologické skúšky

Interdisciplinárny charakter tribológie vedie k tomu, že sa pre skúmanie tribologických problémov používajú veľmi rôznorodé metódy a techniky. Vychádzajúc z Coulombovej terminológie, ktorý nazval svoj prístroj na meranie trenia ako „tribometer“, aj celá oblasť experimentálneho štúdia v tribológii je nazvaná „Tribometria“. (Bazso, 2007)

Do oblasti tribometrie patrí meranie trenia a opotrebenia, skúšanie mazív, hodnotenie tribotechnických prvkov strojov, sledovanie ich prevádzkového správania sa s vyústením do spoľahlivosti tribologického uzla.

Blaškovič et al. (1990) rozdeľujú tribologické skúšky do troch hlavných skupín:

- Modelové skúšky na laboratórnych zariadeniach, ktoré pracujú v presne definovanom režime spôsobujúcom špecifický tribologický proces, ktorý umožňuje vyjadriť jeho vzťah k štruktúre systému, prevádzkovým

premenným a pod. Ich výsledky sa využívajú osobitne pri základnom výskume trenia a opotrebenia a vývoji materiálov pre určité tribologické použitie.

- Skúšky na simulačných zariadeniach, pri ktorých reprodukuje také premenné, od ktorých sa v prevádzke očakáva najväčšia účasť na tribologickom procese. Ich vážnym nebezpečenstvom sú chyby, ktoré vyplávajú z nesprávneho odhadnutia jednotlivých prevádzkových premenných.
- Prevádzkové skúšky, ktoré sú najpreukázanejšie, ale časovo aj finančne sú náročné.

Pri konštrukcii skúšobných a simulačných zariadení sa zvyčajne požaduje jednoduchá príprava a vykonanie skúšky, nízke náklady na skúšku, zrýchlený charakter prejavu tribologického procesu a hlavne uspokojujúca reprodukovateľnosť a presnosť výsledkov.(Balla, 1989c)

Experiment na modeloch jednoznačne značne urýchľujú a zlacňujú proces skúšania. Pre praktické využitie výsledkov skúšok je dôležité uvedomiť si, že mnohé tribologické charakteristiky sú vlastnosťou systému, presne definovanou štruktúrou systému a súborom namáhání.

Veľkosť opotrebenia najčastejšie vyjadrujú úbytky hmotnosti alebo objemu na jednotku klznej dráhy. Odolnosť proti opotrebeniu nie je zo stránky kvantifikácie tak jednoznačne definovaná a má skôr porovnávací význam. Všeobecne má inverzný charakter proti veľkosti opotrebenia a je priamo úmerná prevrátenej hodnote opotrebeného objemu.(Kotus, 2007)

Bazso (2007) vo svojej práci popisuje nasledovné metódy určenia úbytkov:

Stanovenie veľkosti opotrebenia zmenou hmotnosti

Spočíva v určení hmotnosti pred skúškou a po skúške. Rozdiel hmotností vzťahnutý na treciu dráhu, prácu trenia alebo času trvania trecieho procesu predstavuje strednú intenzitu opotrebenia skúšaných materiálov. Presnosť merania je daná technickými možnosťami. Potreba presnosti určenia zmien hmotnosti závisí aj na absolútnej veľkosti opotrebenia. Táto metóda je pomerne jednoduchá, dostatočne presná, ale umožňuje posúdiť rovnomernosť rozloženia veľkosti opotrebenia na opotrebenej ploche.

Stanovenie veľkosti opotrebenia zo zmeny objemu

Meranie veľkosti zmien objemu umožňuje tiež určiť celkové opotrebenie súčiastky zvlášť v prípadoch nerovnomerného opotrebenia podobne, ako pri zmene hmotnosti. Metóda merania zmeny hmotnosti je však často praktickejšia, operatívnejšia a aj prsnejšia a preto je uprednostňovaná pred touto metódou

Stanovenie veľkosti opotrebenia meraním profilu

Táto metóda spočíva vo vyhotovení profilogramu skúmaného povrchu pred a po skúške a z porovnania získaných profilogramov. Umožňuje pomerne dosť presne určiť rozloženie opotrebenia súčiastok naprieč povrchom opotrebenia. Zvyčajne ich robíme kolmo na smer trenia. Mechanické metódy sú menej presné, kým na druhej strane presnejšie sú optické metódy. Vlastné vyhodnotenie sa robí buď planimetrovaním veľkosti opotrebenej plochy z profilografov, alebo sa vyhodnocujú zmeny tvaru a rozloženia opotrebenia vo významných rovinách.

1.6.1 Experimentálne zariadenia pre skúšky opotrebenia

Balla (1989) podľa podmienok v oblasti dotyku medzi opotrebovávaným povrchom a abrazívnymi časticami rozdeľuje experimentálne zariadenia na prístroje s viazanými časticami, s voľnými časticami a s vrstvou voľných častíc medzi dvoma stykovými povrchmi.

Prístroje s viazanými časticami využívajú najčastejšie brúsne plátno alebo brúsny kotúč. Ich výhodami je jednoduchosť, dobrá reprodukovateľnosť výsledkov s malým rozptylom a spoľahlivosť. Nevýhodami je prípadná zmena abrazivity plátna alebo kotúča počas skúšky a premenlivá kvalita brúsneho plátna.

Brezina (2004) rozdeľuje zariadenia na skúšanie odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu s viazanými časticami na:

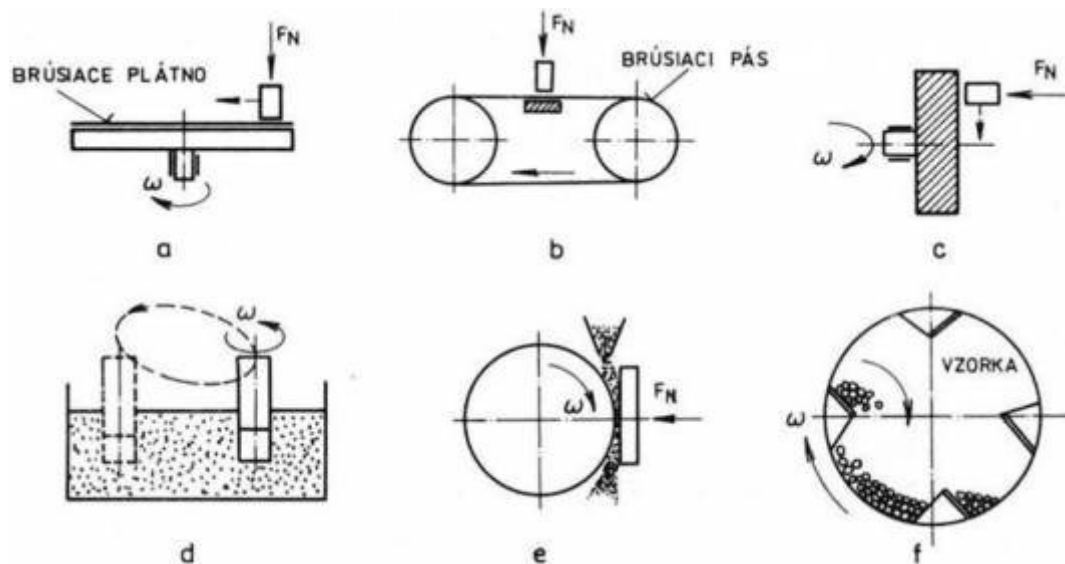
- zariadenia s rotačným pohybom
- zariadenia s priamočiarym vratným pohybom.

Medzi zariadenia s rotačným pohybom zaraďujeme aj zariadenie z normalizovanej skúšky podľa STN 01 5084 (obr. 14 a) – „Stanovenie pomernej odolnosti kovových materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu na brúsnom plátne“. Toto zariadenie použijeme aj pri našom experimente.

Zariadenia s voľnými abrazívnymi časticami sú riešené vo forme brúsnej nádoby, pružného kotúča alebo bubnového prístroja.

V zariadení s brúsnu nádobou (obr. 14 d) v ktorej sa nachádzajú abrazívne častice sú ponorené skúšobné vzorky uchytené na držiaku. Nádoba a držiak sa otáčajú navzájom opačným smerom. Tým sa dosiahne vzájomný relatívny pohyb a zároveň opotrebenie vzoriek. Výhodou týchto zariadení je jednoduchosť, lepšie priblíženie sa reálnym prevádzkovým podmienkam s možnosťou využitia rôznych druhov abrazívnych častíc. K nevýhodám patrí hlavne postupný pokles abrazivity častíc počas skúšky následkom ich interakcií s povrchom skúšobných vzoriek. (Brezina, 2004)

Pri zariadeniach s pružným kotúčom (obr. 14 e) sa skúšajú ploché vzorky materiálov voľne sypaným abrazívom. Vzorky sú pritláčané k otáčajúcemu sa gumovému kotúču a opotrebovávané abrazívom, ktoré sa sype medzi kotúč a vzorku. Výhody takýchto zariadení sú obdobné ako pri zariadení s brúsnu nádobu. K nevýhodám patrí slabšia reprodukovateľnosť výsledkov hlavne pri neštandardnej veľkosti abrazívnych častíc. (Balla, 1989d)



Obr.14 Schémy prístrojov na skúšky odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu. Prístroj a) s brúsiacim plátnom, b) s brúsiacim pásom, c) s brúsiacim kotúčom d) s brúsiacou nádobou e) s pružným kotúčom, f) bubnový (Iždinská, 2006)

Bubnové zariadenia (obr. 14 f) umožňujú meranie viacerých vzoriek v jednej etape. možnosť použitia rôznych druhov abrazívnych častíc je veľkou výhodou. Tieto zariadenia sú pomerne jednoduché a spoľahlivé a sú vhodné pre prípady, kde skutočný pracovný proces je podobný procesu skúšky.

Prístrojov s medzivrstvami voľného abrazíva je podstatne viac sú to napr. pracujúce na princípe čelust'ových drvičov, kladivkových mlynov a pod.

2. CIEĽ PRÁCE

Opotrebenie, ktoré výrazne vplýva na zníženie technického života je jav nežiaduci nielen kvôli nákladom na opravu, ale aj pre nekvalitne vykonanú prácu nástroja.

Dostupnosť veľkého množstva prídavných materiálov, ktoré svojim chemickým zložením a štruktúrou zvyšujú odolnosť proti opotrebeniu, nás motivuje k výberu toho najvhodnejšieho.

Cieľom diplomovej práce je zhodnotiť vybrané druhy prídavných návarových materiálov v laboratórnych podmienkach.

Na základe získaných teoretických poznatkov navrhnúť a vykonať laboratórne skúšky na brúsnom plátne na stanovenie odolnosti návarových materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu, ktoré by pozostávali zo:

- zistenia úbytkov návarov
- určenia pomernej odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu (ψ_{abr})
- zistenia tvrdosti návarov metódou HV 10

3. MATERIÁL A METÓDY

V tejto časti práce sa budeme venovať popísaniu a definovaniu, zariadení, prístrojov, materiálov, metodického postupu prostredníctvom ktorých sme sa snažili o dosiahnutie cieľa stanoveného v zadávacom protokole.

3.1 Materiálové zabezpečenie

Vlastné merania prebiehali v laboratórnych podmienkach na Katedre kvality a strojárskych technológií. Pri skúške boli použité zariadenia:

- laboratórne zariadenie pre skúšanie odolnosti kovových materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu na brúsnom plátne podľa STN 01 5084,
- a elektronická laboratórna váha Precisa 205A.

Príprava skúšobných vzoriek, etalónu na naváranie a ponávárová úprava prebehla v dielňach tej istej katedry. Samotné naváranie prídavného materiálu bolo uskutočnené v organizácii Euroboor s.r.o.

3.2 Charakteristika základného materiálu

Pre naše skúšobné vzorky sme použili oceľ triedy 12 050, definovaná normou STN 41 2050, patrí medzi ušľachtilé uhlíkové konštrukčné ocele. Túto oceľ je možné rôznym spôsobom tepelne a chemicko-tepelne spracovávať. A to hlavne zušľachtovaním a povrchovým kalením.

Normy: STN 41 2050 , ISO 683-1-87 , EN 10083-2-91

Tab.1 Chemické zloženie ocele 12050 v %

	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Mo	Ni
12050	0,42	0,17	0,50	max	max		max		max
	0,50	0,37	0,80	0,040	0,040	0,40	0,25	0,10	0,30

Porovnávacie skúšobné telesá sú vyrobené z oceli 12 014.20 s vymedzeným rozmedzím tvrdosti HV=95÷105. Je to uhlíková konštrukčná nelegovaná oceľ vhodná k objemovému tvárneniu za studena a za polo ohrevu.

Normy: STN 41 2014, DIN 17405

Tab.2 Chemické zloženie ocele 12014.20 v %

	C	Mn	Si	P	S	Al	Cr	Ni	Cu
12014.20	0,09	0,38	0,09	0,014	0,009	0,025	0,05	0,05	0,10

3.3 Charakteristika prídavných materiálov

Kasamas 511

Norma: DIN 8555

E 10 - UM - 65 GR

Striedavým prúdom zvárateľná vysokovýkonná elektróda so 170%-ným výťažkom pre tvrdé nehrdzavejúce pancierovane, vysoko odolné voči opotrebeniu.

Oblasť použitia: vysoké abrazívne opotrebenie za mokra, napr. čerpadlá na betón.

Tvrdosť HV 10	745-773
---------------	---------

Prúd / polarita.

~/ =+

Tab.3 Chemické zloženie

Kasamas	Obsah prvkov v %							
	C	Mn	Si	W	Al	Cr	Ni	Cu
511	4,5	-	-	-	-	34	-	-

Kasamas 519

Norma: DIN 8555

E 6 - UM - 60 P

Striedavým prúdom zvárateľná elektróda so 120%-ným výťažkom. Navarovanie húževnatých, tvrdých vrstiev odolných voči oteru. Zvarový kov sa dá opracovať iba brúsením.

Tvrdosť HV 10	639-698
---------------	---------

Prúd / polarita.

~/ +

Tab.4 Chemické zloženie

Kasamas	Obsah prvkov v %							
	C	Mn	Si	W	Al	Cr	Ni	Cu
519	0,45	0,4	1,75	-	-	9	-	-

Kasamas 523

Norma: DIN 8555

E 21 - UM - 60 Z

A= Oceľobázová s wolfrámom plnená trubka, k zváraniu plameňom. E= zaobstaraná trubka, ktorá sa dá použiť ako oblúková elektróda. Plnka pozostáva, zo wolfrámkarbidu namočeného do oceľomatrixu.

Použitie: výstavba ciest, v baniach, nástroje vŕtacej techniky.

Tvrdosť HV 10	2300
---------------	------

Prúd / polarita.

~/ =+

Tab.5 Chemické zloženie

Kasamas	Obsah prvkov v %	
	WSC	Fe
	60	40

Kasamas 530

Norma: DIN 8555

-

Špeciálna elektróda pre vrstvy odolávajúcim extrémne rázovému a tlakovému namáhaniu ako aj na medzivrstvy. Univerzálne použiteľná pri konštrukcií koľajníc a výhybiiek, a pre mangánové tvrdé ocele.

Výťažok: 140%.

Tvrdosť HV 10	745-773
---------------	---------

Prúd / polarita.

~/ =+

Tab.6 Chemické zloženie

Kasamas	Obsah prvkov v %							
	C	Mn	Si	W	Al	Cr	Ni	Cu
	0,6	17	0,5	-	-	14	-	-

3.4 Charakteristika zvaracieho zdroja

Pre navarenie vybraných vzoriek sme použili zvarací zdroj MINARC 150 od fínskeho výrobcu. Zariadenie je určené pre zváranie obalenou elektródou a metódou TIG. Elektródou zvara od Ø 1,5 mm až po Ø 3,5 mm, rozsah zvaracieho prúdu je od 10 A / 20,5 V až po 140 A / 25,6 V.

Je vhodný na priemyselné montáže a opravárenské práce aj pri vonkajších podmienkach a pri zváraní v nebezpečnom prostredí.

Tab.6 Technické údaje zariadenia MINARC 150

Typové označenie		MINARC 150
Sieťové napätie (V)	1-50 / 60 Hz	230 V + 15%
Zaťažovateľ (A) MMA	35% ED 100% ED	140 A 100 A
Zaťažovateľ (A) TIG	35% 100%	150 A 110 A
Poistka		16 V
Napätie naprázdno		85 V
Rozsah zvaracieho prúdu (A)		10 A – 140 A
Priemer elektródy		Ø 1,5 mm - Ø 3,5 mm
Nastavenie zvaracieho napätia		plynulé
Krytie		I P 23 C
Teplotná trieda		H(180°C) / B(130°C)
Rozmery (mm)	D-Š-V	320-123-265

3.5 Charakteristika skúšobného zariadenia

Laboratórne zariadenie je riešené na princípe trenia vzorky skúšobného materiálu o brúsne plátno po špirálovej dráhe a je zhotovené presne podľa požiadaviek definovaných v norme STN 01 5084 Stanovenie pomernej odolnosti kovových materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu na brúsnom plátne. Zariadenie (vid obr.15) sa nachádza v tribologickom laboratóriu na Katedre kvality a strojárskych technológií Technickej fakulty SPU v Nitre.



Obr.15 Skúšobný prístroj na stanovenie pomernej odolnosti proti opotrebeniu

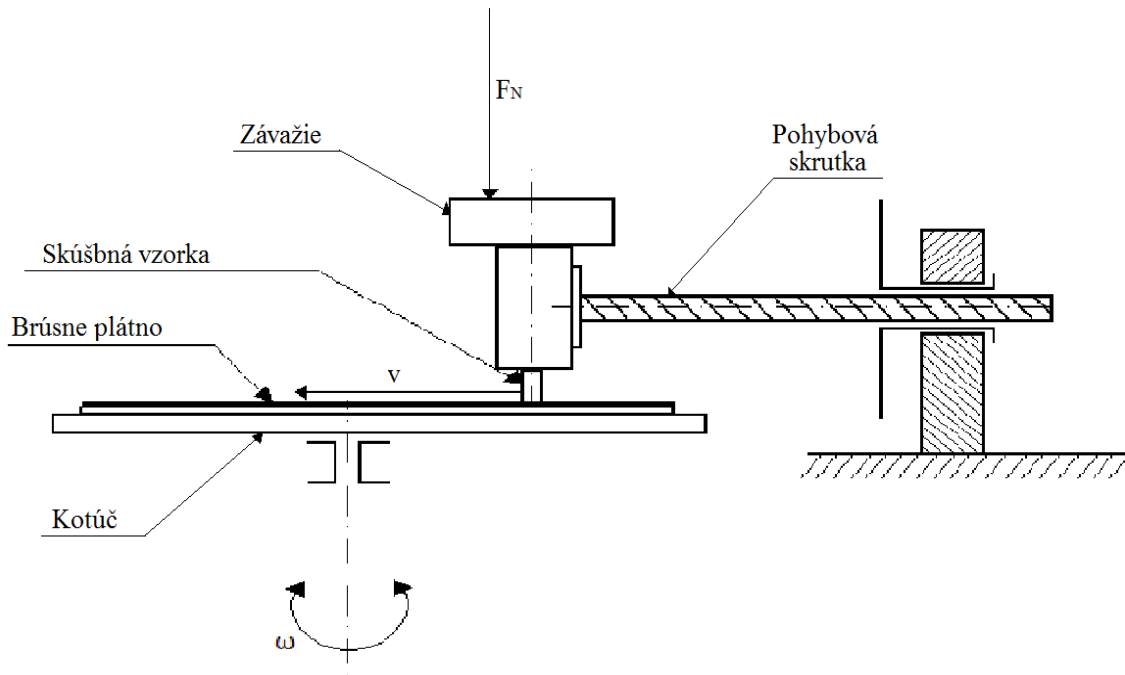
Možnosti zmien parametrov skúšobného zariadenia sú nasledovné:

- trecia rýchlosť(3 stupne): $0,10 - 0,29 \text{ m.s}^{-1}$
 $0,15 - 0,48 \text{ m.s}^{-1}$
 $0,27 - 0,87 \text{ m.s}^{-1}$
- priečny posuv (4 voľby): 1 m.ot^{-1}
 2 m.ot^{-1}
 3 m.ot^{-1}
 5 m.ot^{-1}
- priemer trecej dráhy v rozsahu: min 160 mm
max 460 mm
- dĺžka trecej dráhy:
 1. dráha ľubovoľne voliteľná na základe času trvania skúšky
 2. 150 m
 3. 50 m
 4. 30 m
 5. 15 m

- veľkosť prítlačného tlaku: v rozsahu 0,10 – 0,32 MPa

Na kotúč je možné pripevniť brúsne plátno rôznej zrnitosti a tak simulovať to prostredie, ktoré môže nastať pri opotrebovávaní v bežných, mimolaboratómych podmienkach. Úlohou zariadenia teda je spôsobiť hmotnostné úbytky skúšaných materiálov pri simulovanom abrazívnom prostredí.

Skúšobný prístroj s brúsnym plátnom sa skladá (viď. Obr.16)z rovnomerne otáčajúcej sa vodorovnej dosky respektíve kotúča, na ktorú sa upevňuje brúsne plátno. Kotúč je poháňaný elektromotorom cez prevodovku. Vzorka je držaná v upínacej hlavici a je pritlačovaná k brúsnemu plátnu silou vyvolanou závažím. Ďalšou časťou je pohyblivá skrutka umožňujúce radiálny posuv vzorky. Skúšobná vzorka sa v priebehu skúšky posúva od okraja k stredu brúsneho plátna a časťou svojho povrchu prichádza neustále do kontaktu s brúsnym plátnom.



Obr.16 Schéma skúšobného zariadenia

3.6 Výroba skúšobných vzoriek

Vzorky sme zhotovili narezaním tyčového polotovaru o priemere \varnothing 10 mm pomocou pásovej píly na dĺžku 30 mm. Základný materiál vzoriek sme opísali v bode 3.2. Pomocou oceľovej kefy sme vzorky očistili od zvyšnej triesky a odmastili pomocou technického benzínu. Jednotlivé vzorky sme označili na čelnej strane vyrazením čísla aby pri experimente a počas navárania neprišlo k premiešaniu vzoriek.

Celkovo sme zhotovili 36 vzoriek. Pre každý prídavný materiál 9 vzoriek z toho pre každú vrstvu 3 vzorky.

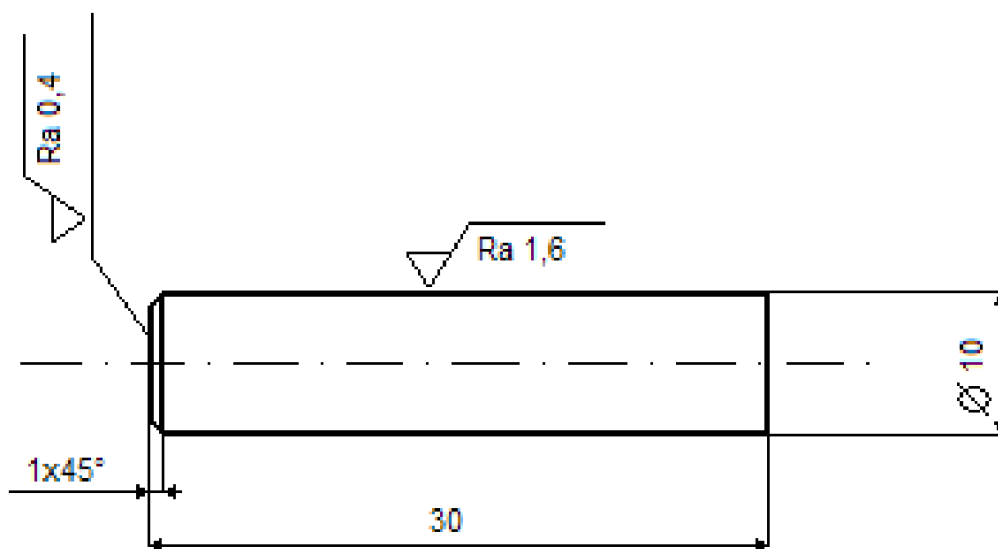
3.7 Naváranie tvrdonávarov a príprava vzoriek na meranie

Pred samotným naváraním sme vykonali prípravu. Tá spočíva v uchytení vzoriek v do upínacieho zariadenia alebo prípravku. Nastavenia zvaracieho zdroja podľa pokynov výrobcu elektród a uchytenia elektródy. Prúd sme sa snažili nastaviť tak aby vyhovoval toleranciam určeným výrobcom, priemeru elektródy ale aby neprišlo k veľkému tepelnému ovplyvneniu materiálu vzhľadom na malé rozmery vzorky.

Po vykonaní prípravy prebehlo samotné naváranie. Návar sa umiestnili na čelnú stranu upevnených vzoriek a odložili do nehorľavej nádoby kde sme ju nechali vychladnúť. Nádoby sme si vopred označili aby neprišlo k premeraniu vzoriek. Takto sme postupovali až sme vytvorili jedno, dvoj a trojvrstvové návary z každého prídavného materiálu.

Rozmery a parametre skúšobnej vzorky sú presne definované v norme STN 01 5084 (obr.17). V našom prípade je pre skúšku abrazívneho opotrebenia na prístroji s brúsnyim plátnom potrebná vzorka o priemere $\varnothing 10$ mm x 30 mm.

Vytvorený návar mal však väčší priemer. Po odstránení trosky sme opracovali vzorku na požadovaný priemer $\varnothing 10$ mm.



Obr.17 Skúšobná vzorka

3.8 Postup skúšky na skúšobnom zariadení

Podmienky pri skúške:

- tretia rýchlosť - max. $0,15-0,48 \text{ m.s}^{-1}$
- priečny posuv na otáčku - 3mm
- priemer trecej dráhy - 480mm
- dĺžka trecej dráhy - 50m
- veľkosť prítlačného tlaku - 0,32 MPa
- brúsne plátno - Globus 100
- skúšobná vzorka - $\varnothing 10 \text{ mm}$
- etalón - oceľ 12 014.20

Povrch vzorky po navarení zostal nerovnomerný a preto bolo potrebné každú vzorku upevniť do upínacej hlavice a nechať ubehnúť niekoľko otáčok po brúsnom papieri. Predtým ako som vybral vzorku, ktorá ubehla zábehový počet otáčok na skúšobnom prístroji označili sme si vzájomnú polohu vzorky po navarení t.j., kým čelná plocha presne nekopíruje brúsne plátno.

Po odmeraní hmotnosti vzorky na laboratórnej elektronickej váhe Precisa 205A s presnosťou $1 \times 10^{-4} \text{ g}$ sme hodnotu zapísali do tabuľky .Potom sme vzorku znovu upevnili do upínacej hlavice skúšobného prístroja a na vodorovnú dosku upevnili nové brúsne plátno Globus 100 o priemere 480 mm. Overili sme si počiatočnú polohu posuvu upínacej hlavice, vložili upínicu hlavice s upevnenou vzorkou do vodiacich drážok skúšobného prístroja a po zaťažení hlavice normou predpísanou silou $0,32 \text{ N/mm}^3$ sme vodorovnú dosku prístroja uviedli do chodu pomocou elektronického ovládania. Ďalej sme len kontrolovali jej posuv v radiálnom smere a hlavne správne dosadnutie vzorky na brúsne plátno.

Po ubehnutí predpísanej dráhy sa prístroj samočinne zastavil pomocou koncového spínača. Po vytiahnutí upínacej hlavice zo skúšobného prístroja a vybratí vzorky z upínacej hlavice sme vzorku očistil, znovu odvážili a jej hmotnosť zaznamenali do tabuľky. Tento postup sme zopakovali pre všetky skúšobné vzorky.

3.8.1 Vyhodnotenie nameraných hodnôt

Zo zapísaných hodnôt v tabuľke sme si vypočítali úbytky materiálu a to odčítaním hmotnosti vzorky po skúške od hmotnosti vzorky pred skúškou. Z nameraných úbytkov

hmotnosti materiálových vzoriek sme vypočítali aritmetické priemery. Pre každú vrstvu a pri každom materiály.

Hodnoty priemerov vzoriek a etalónu sme porovnávali pomocou pomernej odolnosti proti opotrebeniu ψ_{abr} , ktorá sa vypočíta podľa vzorca (1) uvedeného v norme pre stanovenie odolnosti kovových materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu na brúsnom plátne STN 01 5084.

Vzťah pre výpočet pomernej odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu:

$$\psi_{abr.} = \frac{W_{oE}}{W_o} = \frac{W_{hE}}{W_h} \cdot \frac{\rho}{\rho_E} \quad (1)$$

Kde:

W_{oE} – priemerný objemový úbytok etalónových telies, mm³

W_o – priemerný objemový úbytok skúšobných telies, mm³

W_{hE} – priemerný hmotnostný úbytok etalónových telies, g

W_h – priemerný hmotnostný úbytok skúšobných telies, g

ρ – merná hmotnosť porovnávacích vzoriek

ρ_E – merná hmotnosť etalónového materiálu, g.cm⁻³

3.9 Meranie tvrdosti podľa Vickersa

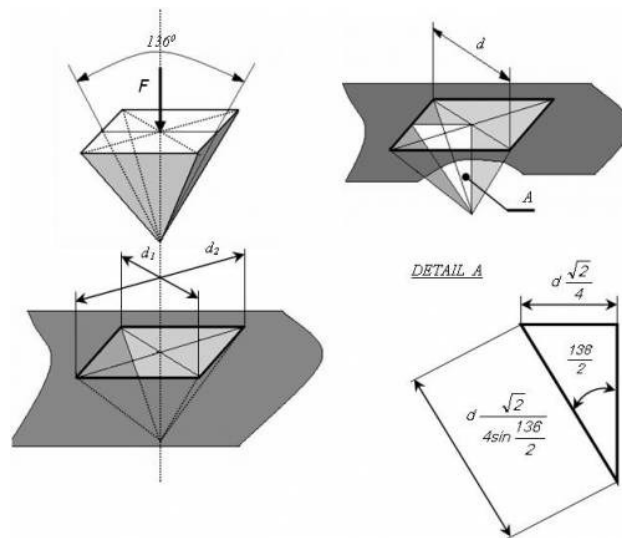
Tvrdosť ako mechanická vlastnosť materiálu ma priamoúmerný vplyv na opotrebenie materiálu. Meriame ju preto aby sme mohli graficky vyhodnotiť či skutočne s rastúcou tvrdosťou materiálu rastie aj pomerná odolnosť.

Na meranie sme použili čelnú stranu vzorky. Tú sme si upravili na potrebnú drsnosť na plátne Globus 100, kde na jednom plátne sme brúsili maximálne dve vzorky. Aby sme dosiahli požadovanú kvalitu povrchu použili sme jemnejšie brúsne plátno Globus 240 a prebrúsili sme na ňom všetky vzorky. Stav povrchu stále nedosahoval požadované vlastnosti aj keď už bolo možné sledovať výraznú zmenu drsnosti. Na finálne prebrúsenie sme zvolili plátno Globus 400 ktorého jemnosť zrna bola najvyššia.

Takto upravené vzorky sme merali tvrdomerom typového označenia HPO 250 pri zaťažení HV10 . Zaťažujúcu silu sme mali 98N a dobu zaťaženia maximálne 15 s. Skúšku tvrdosti podľa Vickersa sme realizovali podľa požiadaviek normy STN EN ISO 6507-1.

Podstata skúšky spočíva (obr.18) vo vtláčení diamantového pravidelného štvorbokého ihlana s vrcholovým uhlom stien 136° do povrchu skúšaného materiálu.

Zaťažujúcou silou F pôsobíme v kolmom smere na povrch telesa. Tvrdosť podľa Vickersa sa počíta pomocou odmeraných uhlopriečok vtlačku a zaťažujúcej sily.



Obr.18 Princíp merania tvrdosti podľa Vickersa, s geometrickými údajmi na výpočet plochy povrchu vtlačku (Iždinská, 2007)

4. VÝSLEDKY PRÁCE

Do vzťahu pre výpočet pomernej odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu sme postupne dosadili hodnoty skúšaných materiálových vzoriek a za hodnotu porovnávacej vzorky priemerný hmotnostný úbytok ocele 12014.20, ktorú sme podľa normy STN 01 5084 určili za etalón. Namerané a vypočítané hodnoty sú uvedené v tabuľkách a názorne zobrazené v grafoch.

4.1 Výsledky tribologickej skúšky

Všetky namerané hodnoty a vypočítané výsledky sme zapísali do tabuliek a spracovali do grafických výstupov na zhodnotenie.

Tab.7 Priemerné hmotnostné úbytky jednotlivých materiálov v gramoch

Materiál	Priemer úbytku		
	1-vrstva	2-vrstva	3-vrstva
Kasamas 511	0,1829	0,1468	0,1278
Kasamas 519	0,2644	0,2279	0,1958
Kasamas 523	0,2887	0,2451	0,2222
Kasamas 530	0,0434	0,0318	0,0211

Tab.8 Hmotnostné úbytky a pomerná odolnosť skúšobných vzoriek Kasamas 511

Kasamas 511	Hmotnosť vzorky, (g)		Úbytok materiálu, (g)	Priemerný úbytok, (g)	Ψ abr.
	Pred skúškou	Po skúške			
1-vrstva	19,9673	19,7844	0,1829	0,1829	2,1443
	20,3214	20,1417	0,1797		
	20,2142	20,0281	0,1861		
2-vrstvy	20,4067	20,2601	0,1466	0,1468	2,6722
	20,6324	20,4801	0,1523		
	20,5241	20,3827	0,1414		
3-vrstvy	20,6369	20,5094	0,1275	0,1278	3,0688
	20,6547	20,5281	0,1266		
	20,7521	20,6228	0,1293		

Tab.9 Hmotnostné úbytky a pomerná odolnosť skúšobných vzoriek Kasamas 519

Kasamas 519	Hmotnosť vzorky, (g)		Úbytok materiálu,(g)	Priemerný úbytok , (g)	Ψ abr.
	Pred skúškou	Po skúške			
1-vrstva	20,3589	20,0995	0,2594	0,2644	1,4833
	20,2747	20,0064	0,2683		
	20,2964	20,0309	0,2655		
2-vrstvy	20,4101	20,1804	0,2297	0,2279	1,7209
	20,4896	20,2601	0,2295		
	20,5327	20,3082	0,2245		
3-vrstvy	20,9476	20,7488	0,1988	0,1958	2,0027
	20,8547	20,6609	0,1938		
	20,9624	20,7675	0,1949		

Tab.10 Hmotnostné úbytky a pomerná odolnosť ocele 12014.20

Etalón	Hmotnosť vzorky, (g)		Úbytok materiálu,(g)	Priemerný úbytok , (g)	Ψ abr.
	Pred skúškou	Po skúške			
ocel' 12014.20	20,7257	20,3324	0,3933	0,3922	1
	20,6241	20,2396	0,3845		
	20,5712	20,1724	0,3988		

Tab.11 Hmotnostné úbytky a pomerná odolnosť skúšobných vzoriek Kasamas 523

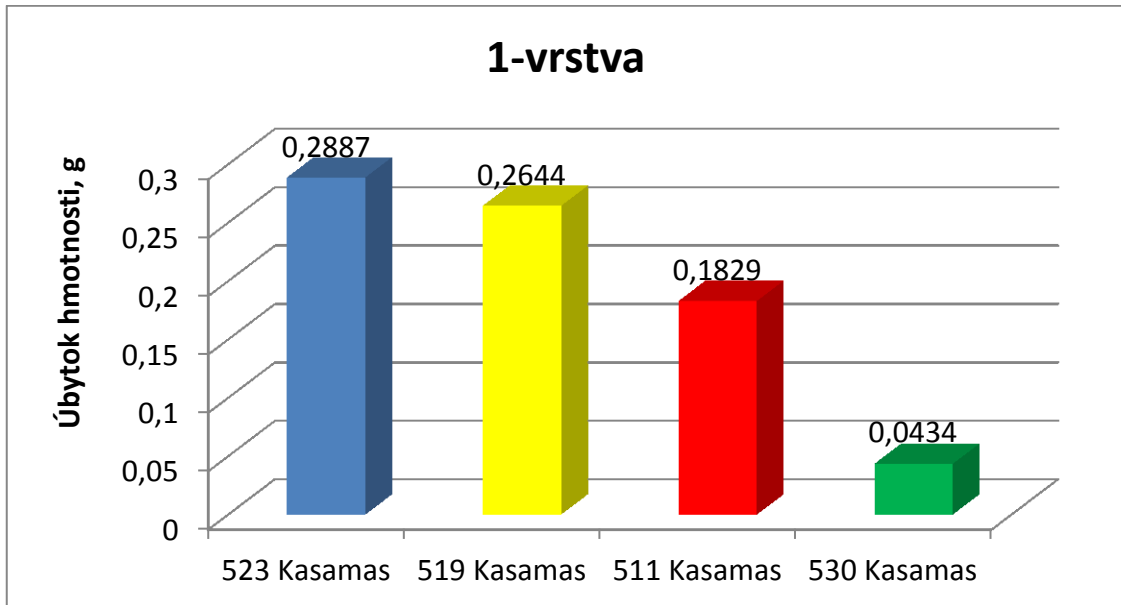
Kasamas 523	Hmotnosť vzorky, (g)		Úbytok materiálu,(g)	Priemerný úbytok , (g)	Ψ abr.
	Pred skúškou	Po skúške			
1-vrstva	20,3661	20,0756	0,2905	0,2887	1,3585
	20,4257	20,1388	0,2869		
	20,3986	20,1099	0,2887		
2-vrstvy	20,6203	20,3732	0,2471	0,2451	1,6001
	20,5478	20,3024	0,2454		
	20,6214	20,3786	0,2428		
3-vrstvy	20,7307	20,5055	0,2252	0,2222	1,7648
	20,8627	20,6425	0,2202		
	20,9214	20,7001	0,2213		

Tab.12 Hmotnostné úbytky a pomerná odolnosť skúšobných vzoriek Kasamas 523

Kasamas 530	Hmotnosť vzorky, (g)		Úbytok materiálu,(g)	Priemerný úbytok , (g)	Ψ abr.
	Pred skúškou	Po skúške			
1-vrstva	20,5695	20,5235	0,0460	0,0434	9,0368
	20,4239	20,3828	0,0411		
	20,3298	20,2867	0,0431		
2-vrstvy	21,0759	21,0422	0,0337	0,0318	12,3204
	21,0447	21,0132	0,0315		
	20,9857	20,9554	0,0303		
3-vrstvy	21,8128	21,7907	0,0221	0,0211	18,5584
	21,7523	21,7328	0,0195		
	21,6279	21,6061	0,0218		

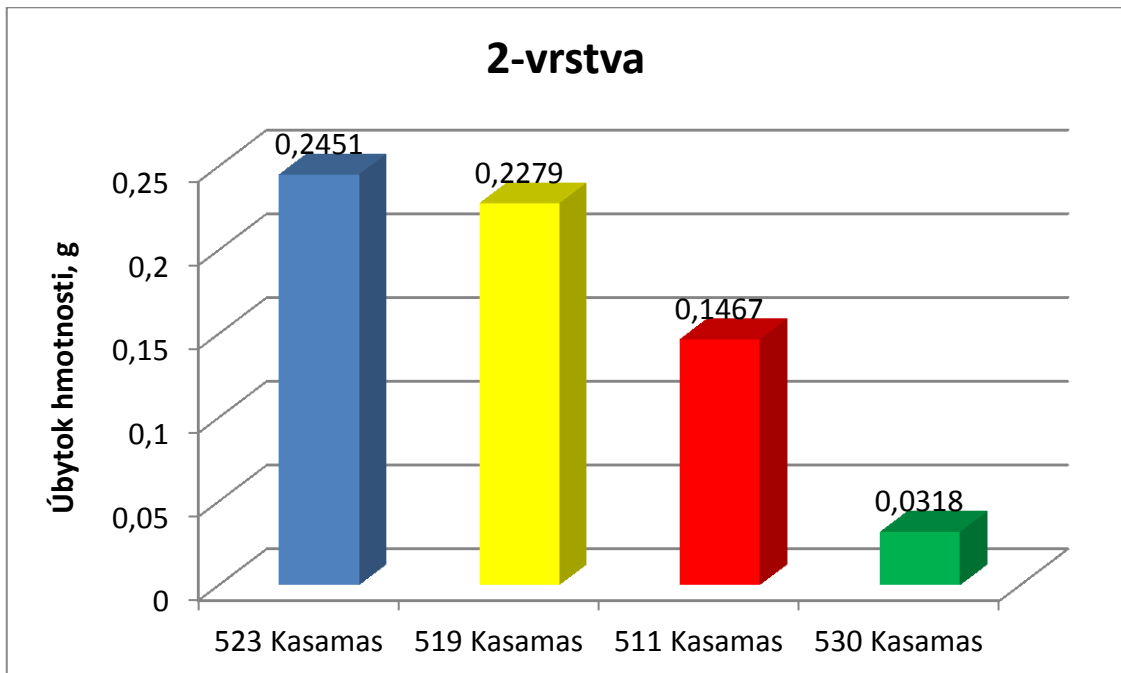
4.1.1 Grafické vyhodnotenie tribologickej skúšky

Nasledujúce grafy nám prehľadne a názorne zobrazia veľkosti úbytkov materiálov dosiahnutých pri skúške podľa normy STN 01 5084.



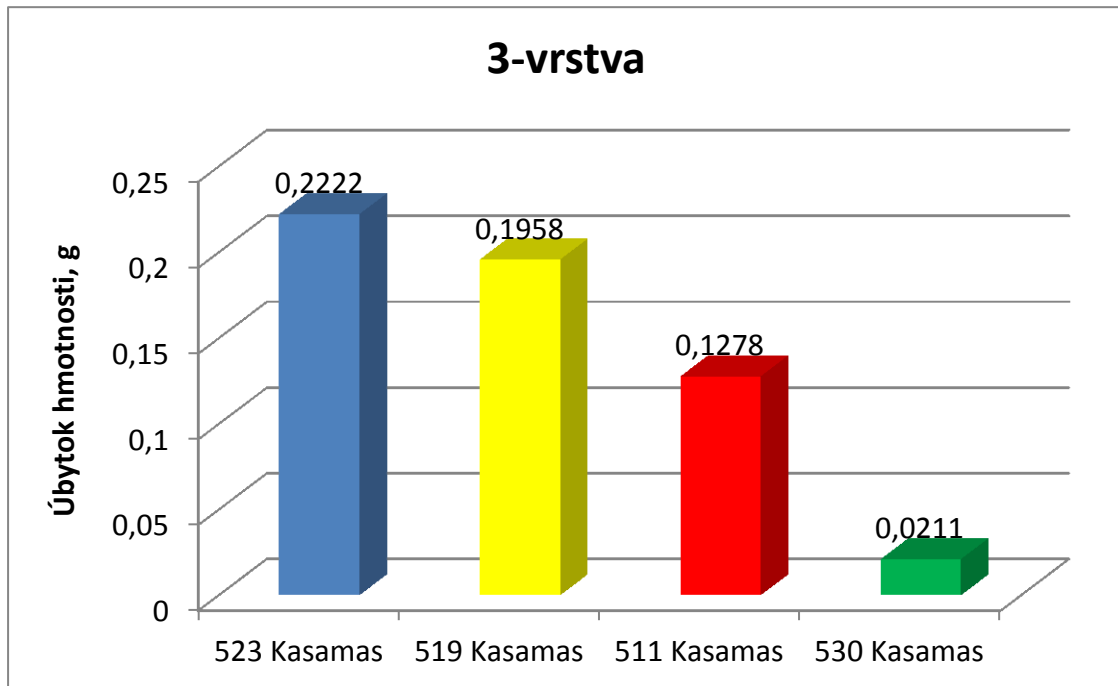
Graf.1. Úbytok hmotnosti testovaných materiálov pri prvej vrstve

Na grafe č.1 vidíme, že najväčší hmotnostný úbytok má vzorka s materiálom Kasamas 523. Nasleduje Kasamas 519 a Kasamas 511. Najmenší úbytok hmotnosti mal Kasama 530, ktorý dosiahol sedemnásobne nižší úbytok ako Kasamas 523.

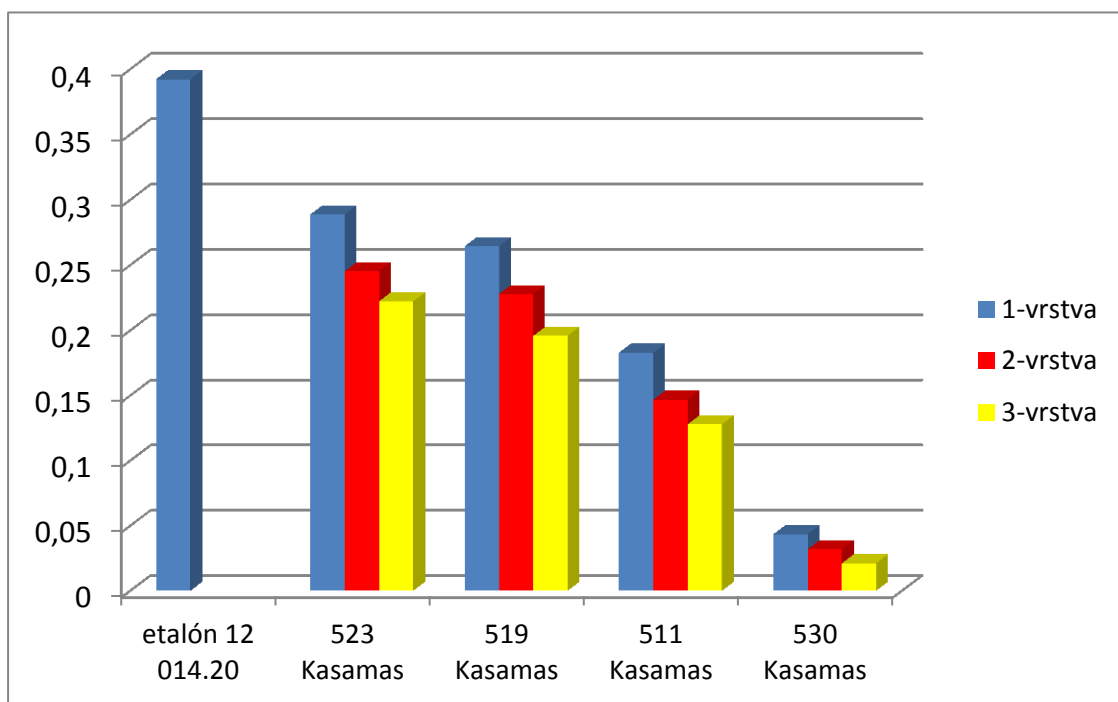


Graf.2. Úbytok hmotnosti testovaných materiálov pri druhej vrstve

Podobne ako pri prvej vrstve tak aj na grafe č.2 dosiahol najvyšší hmotnostný úbytok materiál Kasamas 523 nasleduje Kasamas 519. Najnižšie úbytky hmotnosti dosiahli Kasamas 511 a Kasamas 530, pričom Kasamas 511 zaznamenal mierne zníženie úbytkov oproti ostatným materiálom.



Graf.3. Úbytok hmotnosti testovaných materiálov pri tretej vrstve



Graf 4. Porovnanie úbytkov hmotnosti materiálov s etalónom 12 014.20 pri jednotlivých návarových vrstvách

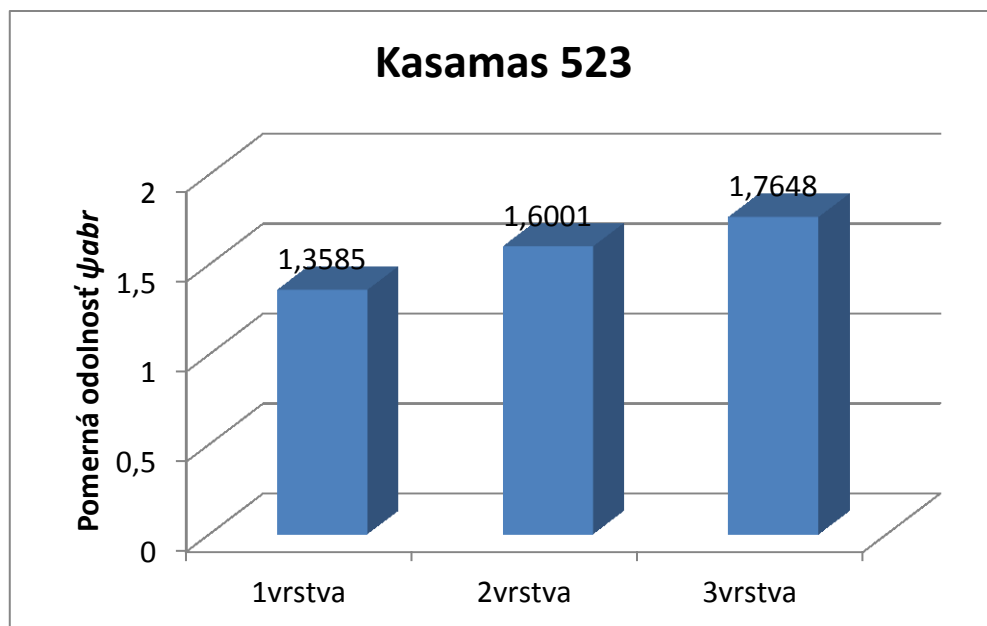
Na grafe č. 3 sú znázornené hmotnostné úbytky testovaných materiálov pri tretej vrstve. Pri tejto vrstve sa očakávajú najnižšie úbytky čo je spôsobené tým, že pri tretej vrstve nedochádza k premiešaniu základného materiálu s prídavným. Výsledné hodnoty úbytkov sú iba z čistého navareného kovu.

Poradie úbytkov materiálov korešponduje s predchádzajúcimi vrstvami najväčší úbytok dosiahol Kasamas 523 a najmenší Kasamas 530.

Na grafe č. 4 je znázornené porovnanie etalónu oceľ 12014.20 a všetkých skúšaných vzoriek v jednotlivých vrstvách návaru. Celkovo s porovnávaných vzoriek má najväčší hmotnostný úbytok materiálu etalón, po ňom nasleduje Kasamas 523 potom je to Kasamas 519, následne Kasamas 511 najmenší hmotnostný úbytok materiálu má Kasamas 530.

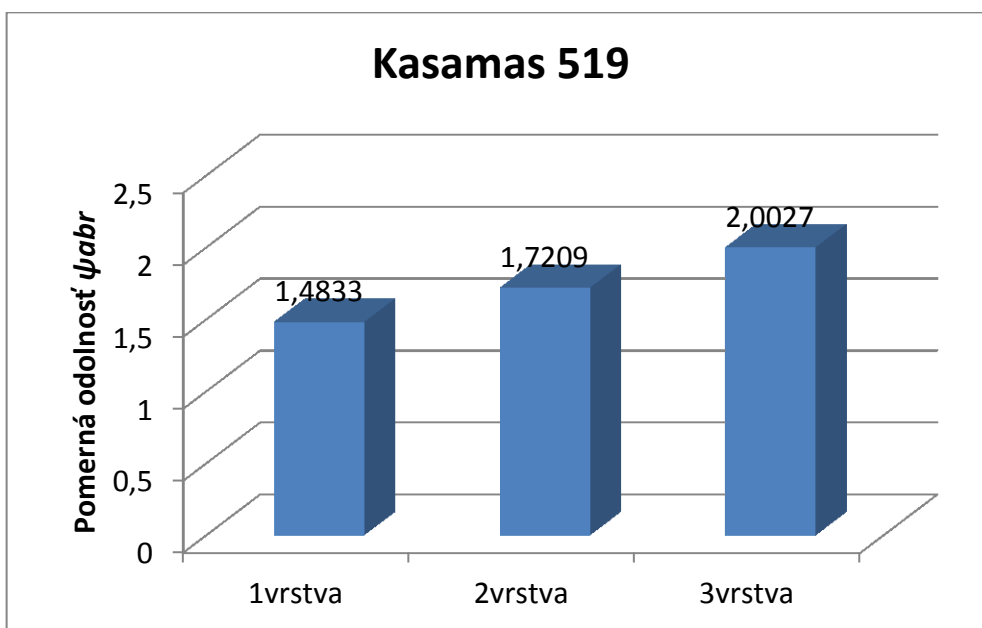
4.1.2 Grafické vyhodnotenie pomernej odolnosti proti opotrebeniu.

Pomerná odolnosť proti opotrebeniu má inverzný charakter proti veľkosti opotrebenia a je priamo úmerná prevrátenej hodnote úbytku hmotnosti. Pri porovnaní pomernej odolnosti použitých prídavných materiálov najmenšie úbytky hmotnosti dosahuje materiál, ktorý má najväčšiu hodnotu pomernej odolnosti.



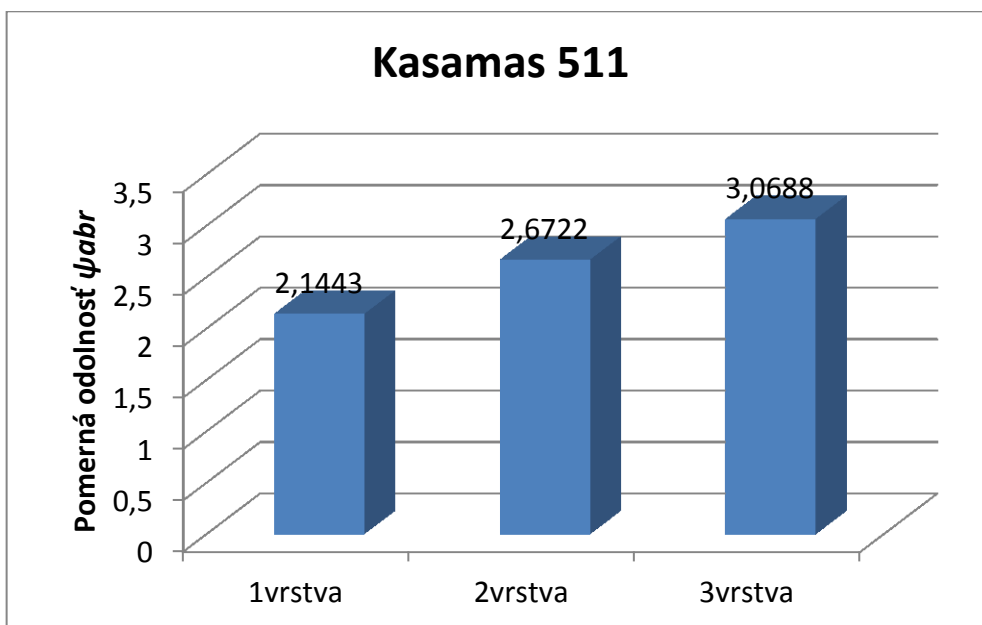
Graf 5. Pomerná odolnosť proti opotrebeniu Kasamas 523

Graf č.5 znázorňuje rastúcu pomernú odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu s rastúcim počtom navarených vrstiev prídavného materiálu.



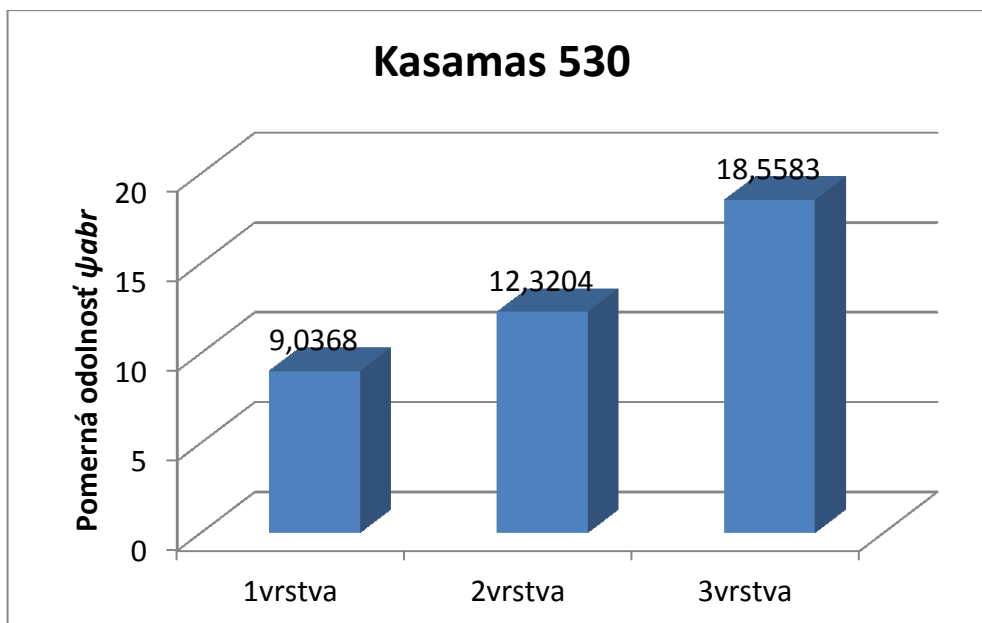
Graf 6. Pomerná odolnosť proti opotrebeniu Kasamas 519

V grafe č. 6 vidíme rastúcu pomernú odolnosť proti opotrebeniu s pribúdajúcimi jednotlivými vrstvami návaru u elektródy Kasamas 519.



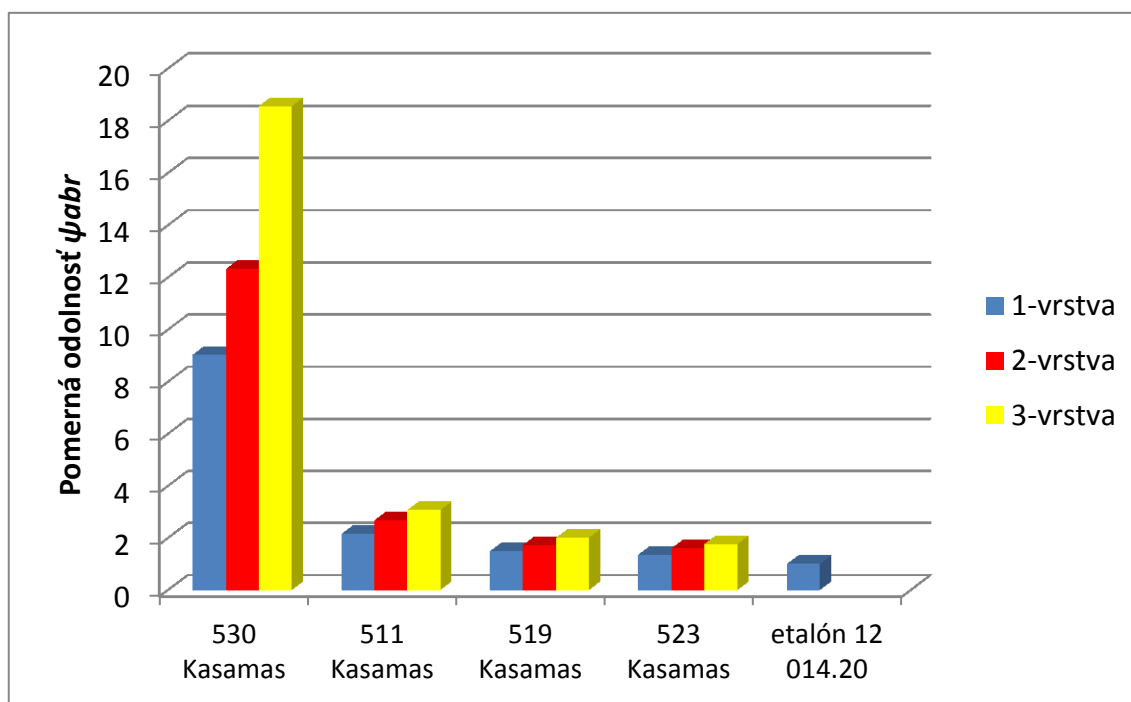
Graf 7. Pomerná odolnosť proti opotrebeniu Kasamas 511

V grafe č. 6 vidíme rastúcu pomernú odolnosť proti opotrebeniu s pri všetkých troch vrstvách návaru u elektródy Kasamas 511.



Graf 8. Pomerná odolnosť proti opotrebeniu Kasamas 530

V grafe č. 6 vidíme rastúcu pomernú odolnosť proti opotrebeniu s pri všetkých troch vrstvách návaru u elektródy Kasamas 530.



Graf 9. Porovnanie pomernej odolnosti proti opotrebeniu skúšaných materiálov

Najvyššiu pomernú odolnosť proti opotrebovaniu dosiahol jednoznačne skúšaný materiál Kasamas 530. Jeho koeficient odolnosti proti opotrebeniu bol najvyšší pri všetkých vrstvách ale hlavne pri trojvrstvovom návare. Najnižší koeficient dosiahol etalón 12014.20. Zo skúšaných materiálov to bol Kasamas 523.

4.2 Meranie tvrdosti podľa Vickersa (HV 10)

Na meranie sme použili tvrdometer HPO 250 a požili zaťaženie HV 10. Meranie sme uskutočnili na čelných plochách upravených vzoriek z tribologickej skúšky. Namerané hodnoty sme zapísali do tabuliek a graficky znázornili.

Tab.13 Tvrdosť HV 10 materialu Kasamas 511

Kasamas 511	Merania	Priemer
1vrstva	667	659
	651	
	660	
2vrstva	681	675
	677	
	667	
3vrstva	713	701
	696	
	693	

Tab.14 Tvrdosť HV 10 materialu Kasamas 519

Kasamas 519	Merania	Priemer
1vrstva	599	606
	610	
	609	
2vrstva	624	632
	641	
	631	
3vrstva	687	678
	670	
	678	

Tab.15 Tvrdosť HV 10 materialu Kasamas 523

Kasamas 523	Merania	Priemer
1vrstva	744	746
	738	
	755	
2vrstva	771	768
	762	
	770	
3vrstva	805	795
	793	
	788	

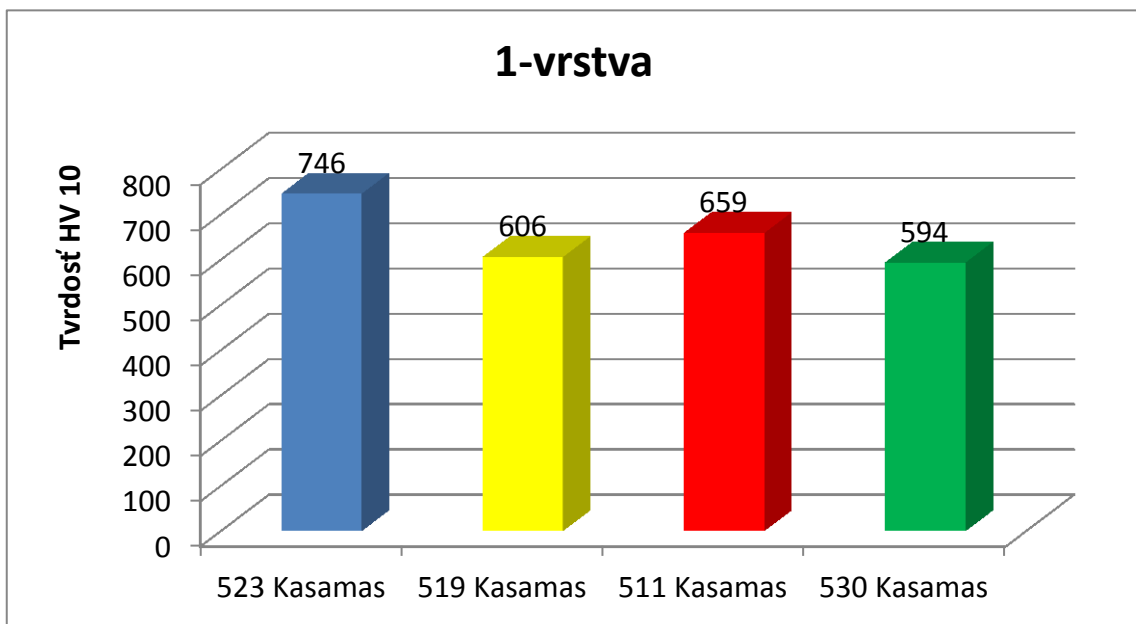
Tab.16 Tvrdosť HV 10 materialu Kasamas 530

Kasamas 530	Merania	Priemer
1vrstva	584	594
	601	
	596	
2vrstva	619	611
	602	
	612	
3vrstva	634	628
	621	
	630	

Tab.17 Tvrdosť HV 10 základného materiálu a etalónu

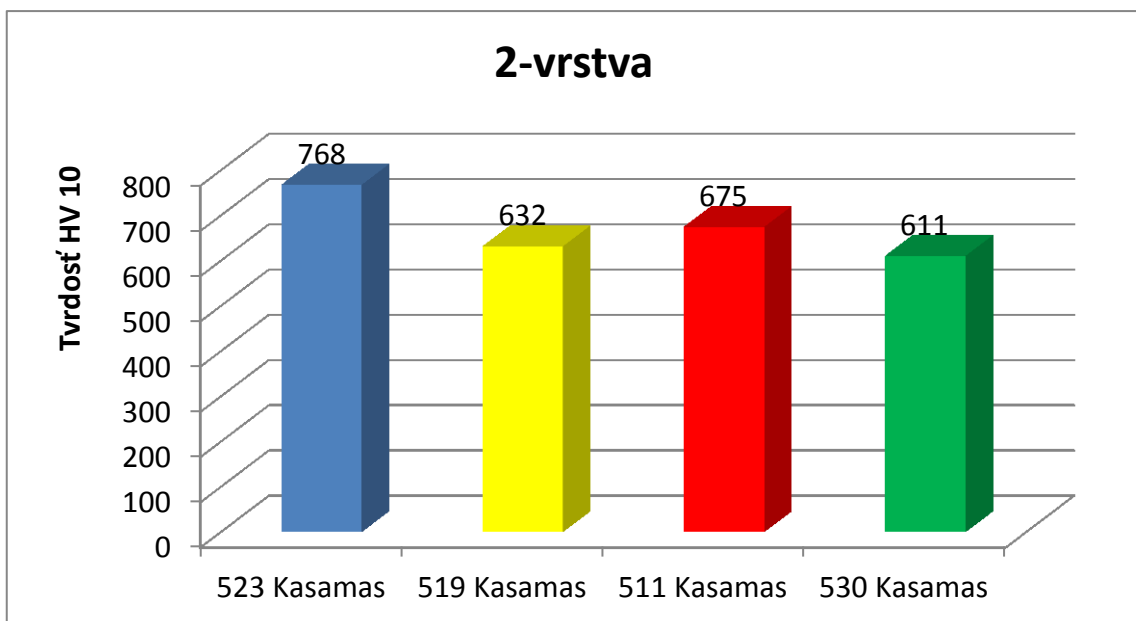
Oceľ 12050	Etalón oceľ 12014.20
235-250	230

4.2.1 Grafické vyhodnotenie nameraných tvrdostí HV 10



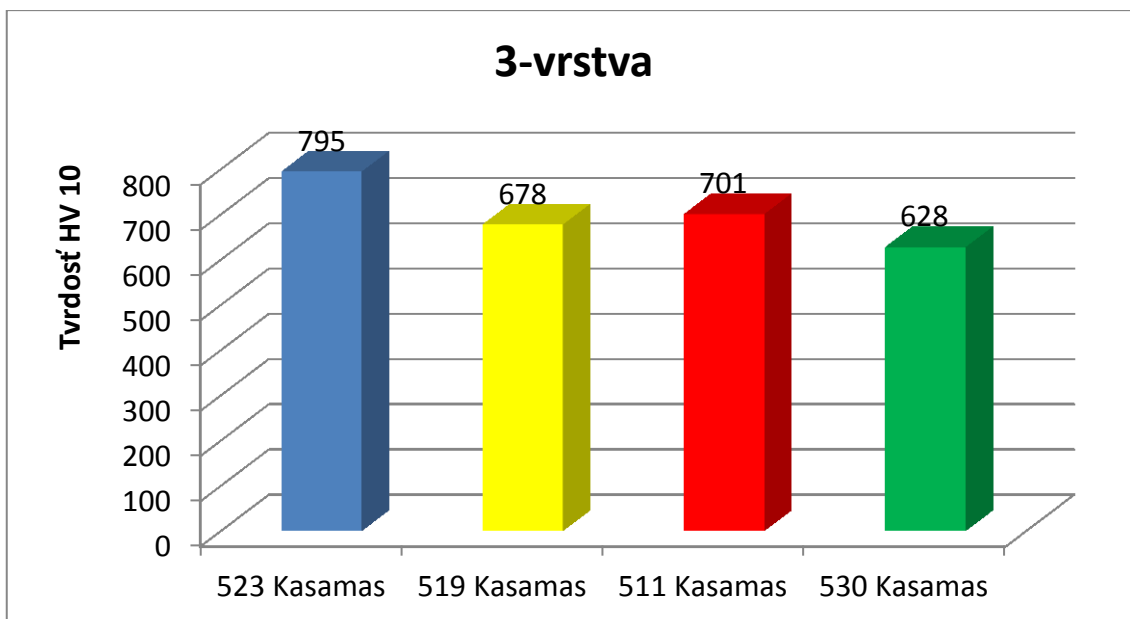
Graf 9. Namerané tvrdosti HV 10 skúšaných materiálov na prvej vrstve

Na grafe č. 9 vidíme, že Kasamas 523 ma najvyššiu tvrdosť. Po ňom nasleduje Kasamas 511 a Kasamas 519. Najnižšiu tvrdosť sme namerali u Kasamas 594.



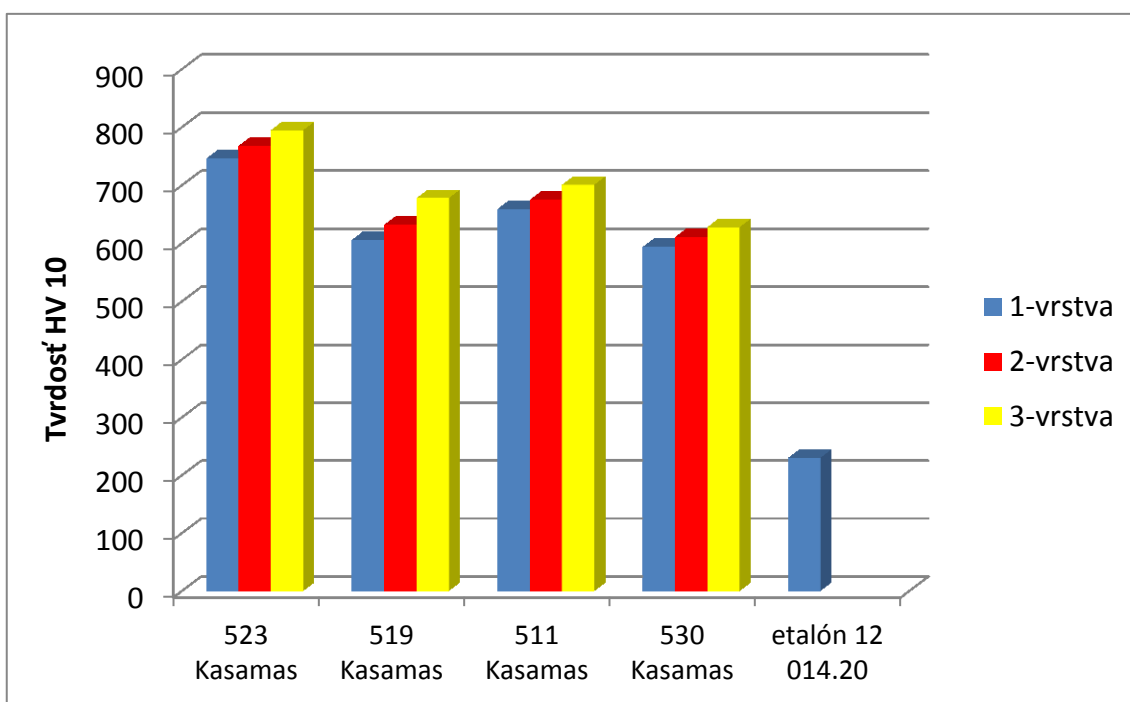
Graf 10. Namerané tvrdosti HV 10 skúšaných materiálov na druhej vrstve

Na grafe č. 10 vidíme, že Kasamas 523 ma najvyššiu tvrdosť. Po ňom nasleduje Kasamas 511 a Kasamas 519. Najnižšiu tvrdosť sme namerali u Kasamas 594.



Graf 11. Namerané tvrdosti HV 10 skúšaných materiálov na tretej vrstve

Na grafe č. 11 vidíme, výraznú najvyššiu tvrdosť Kasamas 523. Po ňom nasledujú Kasamas 511 a Kasamas 519. Najnižšiu tvrdosť v tretej vrstve sme namerali u Kasamas 530.



Graf 12. Porovnanie tvrdosti HV 10 testovaných materiálov s etalónom 12 014.20 pri jednotlivých vrstvách

Graf č. 12 nám znázorňuje porovnanie tvrdostí sledovaných materiálov s etalónom 12014.20 pri všetkých navarených vrstvách. Najväčšiu tvrdosť vo všetkých návaroch dosahuje Kasamas 523 čo je prekvapivé vzhľadom na veľkosť hmotnostných úbytkov.

5. DISKUSIA A NÁVRH NA VYUŽITIE POZNATKOV

Na základe výsledkov našej práce môžeme konštatovať, že pôsobenie abraziva spolu s ostatnými faktormi ako sú: tlak, rázy, fyzikálno – chemické procesy a iné, výraznou mierou menia požadované kvalitatívne a kvantitatívne vlastnosti častí stojov respektíve jeho funkčných plôch..

Renovácia opotrebených častí strojov, a zvyšovanie ich životnosti je v súčasnosti bežná prax založená na používaní najnovších metód vytvárania povrchových vrstiev odolných proti opotrebeniu. Správna voľba materiálu hrá v tomto procese významnú úlohu. Vzhľadom na časovú, ekonomickú a technickú náročnosť prevádzkových tribologických skúšok sa tieto presúvajú do laboratórnych podmienok. Prostredníctvom súčasnej techniky vieme v laboratóriu simulovať prevádzkové podmienky. Jednou z takýchto skúšok je aj skúška na zariadení s brúsnym plátnom na ktorom sme skúšali štyri vybrané materiály.

V práci sme skúmali tri vlastnosti materiálov a to: hmotnostný úbytok, pomernú odolnosť proti opotrebeniu a tvrdosť. Tieto vlastnosti sme pozorovali na jedno, dvoj a troj vrstvových návaroch.

Ako prvé sme zisťovali hmotnostné úbytky. Najnižšie hmotnostné úbytky sme dosiahli na vzorkách s materiálom Kasamas 530 a to pri všetkých vrstvách. Naopak najvyššie úbytky ,pri prvej tak aj tretej vrstve, mali vzorky s materiálom Kasamas 523. Čo nezodpovedá údajom chemického zloženia a obsahu karbidov volfrámu. Pri tomto materiály preto predpokladáme premiešanie základného materiálu s prídavným alebo nesprávne vytvorenie tavného kúpeľa. Na základe týchto predpokladov sa nepriaznivo pozmenila štruktúra a karbidy sa nerovnomerne rozmiestnili v navarenej vrstve. Vo všeobecnosti ale platí, že úbytok hmotností sme dosiahli nižší pri stúpajúcom počte vrstiev u všetkých sledovaných prídavných materiálov.

Pomerná odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu vychádza z hodnôt veľkosti úbytkov hmotností, preto výsledky meraní korešpondujú s nameranými hodnotami úbytkov hmotností pri všetkých návaroch. Najväčšiu pomernú odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu ($\psi_{abr.}$) dosiahol pri všetkých troch vrstvách Kasamas 530. Najhoršie vlastnosti sme dosiahli pri vzorkách s navárom Kasamas 523 a Kasamas 519 kde rozdiely medzi materiálmi pri prvej vrstve sú $\psi_{abr.} = 0,1248$ a pri druhej $\psi_{abr.} = 0,1208$. Pri tretej tento rozdiel je $\psi_{abr.} = 0,2379$.

Vo svojej práci Budáč (2010) pracoval so skoro totožným materiálom so zvýšeným obsahom Cr (rozdiel činí 0,2 % C) a to s elektródou Citodur V – 1000. Pričom dosiahol pomernú odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu $\psi_{abr.}=2,097$ pri prvej vrstve, $\psi_{abr.}=2,378$ pri druhej a $\psi_{abr.}=2,859$ pri tretej vrstve návaru. My sme s elektródou Kasamas 530 dosiahli pomernú odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu $\psi_{abr.}=9,0368$ pri prvej vrstve, $\psi_{abr.}=12,3204$ pri druhej a $\psi_{abr.}=18,5584$ pri tretej vrstve návaru. Teda aj pri skoro rovnakom chemickom zložení náš materiál dosiahol štyri, šesť a deväť krát vyššiu pomernú odolnosť. Podmienky skúšky zariadenie a vzorky boli rovnaké respektíve uskutočnené v tých istých laboratórnych podmienkach.

Ako poslednú vlastnosť sme sledovali tvrdosť HV 10. Zaujímavé sú namerané tvrdosti pri vzorkách Kasamas 523, ktoré dosiahli najvyššie hodnoty pri všetkých navarených vrstvách, ale aj najväčšie úbytky materiálu. Pri tretej vrstve sme namerali hodnotu 795 HV 10. Výrobca píše tvrdosť karbidu volfrámu 2300 HV, tento materiál preto nespĺnil naše očakávania. Kasamas 511 mal pri tretej vrstve 711 HV 10 čo zodpovedá 60 HRC a približne dobeh tvrdosť udávanú výrobcom. Výrobca uvádza pri Kasamas 519 HRC čo zodpovedá nami nameranej hodnote 678 HV 10 pri tretej vrstve. Kolega ktorého spomínam v predchádzajúcom odseku nameral pri elektróde Citodur V – 1000 rozdielne tvrdosti ako my pri Kasamas 530. Pri prvej vrstve nameral 452,8HV10 my sme namerali 594 HV 10. Pri druhej vrstve nameral o 88,8 HV 10 vyššiu tvrdosť a pri tretej až o 173 HV 10. Je teda zaujímavé, že napriek nižším tvrdostiam mal Kasamas 530 lepšiu odolnosť proti opotrebeniu ako Citodur V – 1000. Pre úplnosť uvádzam použitie rovnakého tvrdometru a zhodné laboratórne prostredie.

Nepresnosti a chyby merania nepredpokladáme. Pri meraní sme sa riadili dôsledne metodickými pokynmi a pravidlami pri práci v laboratóriu. Všetky meracie prístroje boli správne nastavené a kalibrované.

Výsledky práce sa môžu využiť v akademickom prostredí ako aj v praxi. Môžu sa využiť ako študijný materiál pri výbere vhodného materiálu pre renováciu. Alebo ako informačný, porovnávací materiál pri ďalších laboratórnych tribologických skúškach. Taktiež sa môžu porovnať s hodnotami z prevádzkových skúšok.

Prínosom práce je získanie a vyhodnotenie údajov (materiálov Kasamas: 511,519,523,530) z laboratórnej skúšky podľa STN 01 5084.

6.ZÁVER

Tribologické skúšky v prevádzkovej praxi sú často nahrádzané skúškami v laboratórnych podmienkach. Tento trend je spôsobený časovou a ekonomickou náročnosťou prevádzkových skúšok. Medzi takúto skúšku patrí aj stanovenie pomernej odolnosti kovových materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu na brúsnom plátne podľa normy STN 01 5084. Ako sa píše v samotnej norme za určitých podmienok je možné použiť výsledky tejto laboratórnej skúšky pre posudzovanie kovových materiálov pri abrazívnom opotrebení v prevádzke bez účinkov rázov.

Úlohou práce bolo napodobniť abrazívne prostredie v laboratórnych podmienkach a podrobiť skúške vybrané tvrdonávarové materiály v tomto prostredí. Následne sme zozbierali údaje a na základe kvantitatívnych, a grafických, výstupov skúšky zhodnotili abrazívne opotrebenie na štyroch testovaných kovových materiáloch. Skúške sme podrobili tri vrstvy vytvorené z týchto materiálov. Následne sme zmerali tvrdosť HV 10.

Medzi skúmanými vzorkami sme zistili rozdiely, ktoré mohli byť zapríčinené odlišnými smernými chemickými zloženiami a odlišnému určeniu použitia jednotlivých návarových elektród.

Prostredníctvom skúšky na brúsnom plátne sme zistili, že najodolnejší materiál je elektróda Kasamas 530 a to pri všetkých vrstvách. Na základe výsledkov je preto vhodný na použitie v podmienkach prostredia so zvýšeným pôsobením abrazívneho opotrebenia. Pritom Kasamas 523 aj pri najvyššej tvrdosti 795 HV 10 dosiahol najvyššie hmotnostné úbytky materiálu a tým aj najnižšiu odolnosť. Celkovo ale všetky skúšané materiály dosiahli lepšiu pomernú odolnosť ako porovnávací etalón.

V práci sme taktiež na základe dosiahnutých výsledkov prišli k záveru, že nie vždy so stúpajúcou tvrdosťou skúšaného materiálu stúpala pomerná odolnosť voči opotrebeniu v definovaných podmienkach. Teda sa prikláňame na stranu autorov konštatujúcich, že nie tvrdosť ale makroštruktúra ocele je ukazovateľom ktorý najviac ovplyvňuje odolnosť voči opotrebeniu.

V práci skúmané materiály je však potrebné podrobiť ešte ďalšiemu výskumu. A to na faktory pôsobiace v prevádzkovej praxi ako sú napr. ráz, vlhkosť, častice abrazíva, kyslosť pôdy.

7. POUŽITÁ LITERATÚRA

BALLA, J. 1989. *Tribológia a tribotechnika*. Nitra : SPU, 1989. 134 s.
ISBN 80-85175-25-8.

BALLA, J. 2003. *Náuka o materiáloch*. Nitra : SPU, 2003. 168 s. ISBN 80-8069-249-1

BALLA, J. – MIKUŠ, R. – CVIKOVÁ, H. 2001. *Náuka o materiáloch : Návody na cvičenia*. Nitra : SPU, 2001. 162s. ISBN 80-7137-837-2

BALOG, J – ČIČO, P. 2005: *Spôľahlivosť strojov 1,2*, Nitra:SPU 2005, 301s.
ISBN 80-8069-565-8

BAZSO, G. 2007. *Tribologické skúšky oteruvzdroných vrstiev*. Bakalárska práca.
Nitra : SPU, 2007.

BLAŠKOVIČ, P. - BALLA, J. - DZIMKO, M. 1990. *Tribológia*. Bratislava : Alfa, 1990. 360 s. ISBN 80-00633-0.

BLAŠKOVIŠ, P. - ČOMAJ, M. 2006. *Renovácia naváraním a žiarovým striekaním*. Bratislava: STU, 2006. 204 s. ISBN 80-227-2482-3.

BOHÁČEK, F. et al. 1982. *Části a mechanizmy stroju II*. 1.vyd. Brno. 1982.

BREZINA, R. 2004. *Zkousky abrazivního opotřebení*. In: *VI. Medzinárodná konferencia mladých 2004*. Nitra: SPU, 2004. s.29-34. ISBN 80-8069-422-2.

BUDÁČ, M. 2010. *Laboratórna analýza vybraných prídavných materiálov*. Diplomová práca. Nitra : SPU, 2010

ČIČO, P. 2009. *Údržba a oprava strojov*. Nitra : SPU, 2009. 178s.
ISBN 978-80-552-0171-9

ĎURIŠ, M. 2004. *Tribologické skúšky oteruvzdorných vrstiev*. Diplomová práca.
Nitra : SPU, 2010

ESAB : 2006. *Príručka svařování při údržbe a opravách, II*. Vamberk : ESAB. 2006,
135 s.

FLEISCHER, G.- GRÖGER, H. 1980 : *Thun Verschleiss und zuverlässigkeit*,
Berlin. 1980

HLAVATÝ, I. – HLAVATÝ, J. – KREJČÍ, L. 2007. Navařování tvrdokovu. In: *Svět svaru – Hadya International, spol s. r. o., 2007, roč. 11, 2007, č. 3, s. 18-19.*
ISBN 1214-4983

IVANCOV, G. I. – ŠČULEPNIKOVA, A. G. 1967. *Izvestija VUZ – Fyzika, č.7,*
s.16. 1967

IŽDINSKÁ, Z. 2006. *Skúšanie materiálov, 2006* [cit. 2011-03-2], Dostupné na
internet: <<http://www.tribotechnika.sk/rocnik-2011.html>>

IŽDINSKÁ, Z. 2007. *Meranie tvrdosti podľa Vickersa, 2006* [cit. 2011-03-2],
Dostupné na internet: <<http://www.tribotechnika.sk/rocnik-2011.html>>

KOVAŘÍKOVÁ, I. - BLAŠKOVITŠ, P. 2007. Abrazívne opotrebenie In: *Strojárstvo v tribológii a tribotechnike*, [online]. 2007. [cit. 2011-03-20], str.11-12. Dostupné na
internet: <<http://www.strojartstvo.sk/docwww/SK/284/284.pdf>>

KOTUS, M. 2007. *Aplikácia pulzných zvaracích zdrojov pri renovácii súčiastok poľnohospodárskych strojov*. Dizertačná práca. Nitra : SPU, 2007. 201 s.

PREŠINSKÝ, R. 2005. *Tribologické skúšky oteruvzdorných vrstiev*. Diplomová práca.
Nitra : SPU, 2005

STN EN ISO 6507-1:2006 *Kovové materiály. Vickersova skúška tvrdosti. Časť 1: Skúšobná metóda*

STN 01 5050 :1968, *Opotrebenie materiálov*, Praha: 1968 ÚNM

STN 01 5084:1973, *Stanovenie odolností kovových materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu na brúsnom plátne*, Praha: 1973 PHM

TOLNAI, Rudolf. 2002. *Strojárska technológia I .časť*. Nitra : SPU, 2002. 319s. ISBN 80-8069-035-9

VESELKO, J. – SUDNIK, V. 1989. *Technológia zvarania*. Bratislava : Alfa, 1989. ISBN 80-08-00189-4.

ZDRAVECKÁ, E. 2011. Možnosti riešenia abrazívneho opotrebenia v technickej praxi
In: *Tribotechnika* ,roč. 4, 2011, č.1, [cit. 2011-03-25], Dostupné na internete:
<<http://www.tribotechnika.sk/rocnik-2011.html>>