

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

**LABORATÓRNA ANALÝZA VYBRANÝCH NÁVAROVÝCH
MATERIÁLOV
Diplomová práca**

Študijný program: Spôľahlivosť a bezpečnosť technických systémov
Študijný odbor: 5.2.57 Kvalita produkcie
Školiace pracovisko: Katedra kvality a strojárskych technológií
Školiteľ: Ing. Martin Kotus, PhD.

Nitra 2010

Bc. Martin Budáč

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE

Technická fakulta
Katedra kvality a strojárskych technológií

Akademický rok: 2008 / 2009

ZADÁVACÍ PROTOKOL DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študent: Bc. Martin Budáč

Študijný odbor: Kvalita produkcie

Študijná špecializácia: Spoľahlivosť a bezpečnosť technických systémov

V zmysle 3. časti, čl. 21 Študijného poriadku SPU v Nitre z roku 2005 Vám zadávam tému diplomovej práce:

Laboratórna analýza vybraných návarových materiálov

Cieľ práce: Cieľom diplomovej práce je posúdiť vhodnosť použitia vybraných druhov prídavných návarových materiálov vhodných do prostredia s prevahou abrazívneho opotrebenia. Diplomant na základe vykonania laboratórných skúšok definuje odolnosť a možnosti praktického využitia použitých prídavných materiálov v praxi.

Rámcová metodika práce:

1. Analyzovať a zhodnotiť súčasný stav riešenej problematiky.
2. Návrh a výber prídavných návarových materiálov 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. *Náuka o materiáloch*. Nitra : SPU, 2003.
2. Skočovský, P. - Podrábský, T. *Farebná metalografia zliatin železa*. Žilina : ZU, 2001. 68 s. ISBN 80-7100-911-3.
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 2008**

Harmonogram postupu prác:

1. Štúdium problematiky a spracovanie literárneho prehľadu : marec 2009
2. Návrh metodiky práce a jej vypracovanie : máj 2009
3. Príprava experimentov a vlastné meranie : november 2009
4. Vyhodnotenie experimentov a spracovanie výsledkov : marec 2010

Dátum odovzdania diplomovej práce: **apríl 2010**

doc. Ing. Peter Čičo, PhD.
vedúci katedry

prof. Ing. Vladimír Kročko, CSc.
dekan

Abstrakt

V diplomovej práci sme sa zamerali na laboratórne skúšky vybraných druhov materiálov. Za základný materiál sme si zvolili oceľ 12 050. Laboratórne skúšky prebiehali naváraním, pomocou elektrického oblúka, povrchu skúšaného materiálu návarovacími elektródami TOOL FRO, CITODUR V 1000, CITODUR 600 B. Tieto vzorky sme následne skúmali na odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu na brúsnom plátne. Ďalšie laboratórne skúšky sme robili meraním tvrdosti HV 10. Po vyhodnotení nameraných výsledkov, nám vykazovala najodolnejšie hodnoty proti abrazívnemu opotrebeniu elektróda CITODUR V 1000. Získané výsledky meraní laboratórných skúšok, môžu poslúžiť kvalifikovaným pracovníkom pri riešení renovácie opotrebovaných funkčných plôch strojových súčiastok.

Kľúčové slová : abrazívne opotrebenie, naváranie, pomerná odolnosť, tvrdonávary

Abstract

In the thesis we have focused on laboratory testing of selected types of materials. The basic material, we chose steel 12050th Laboratory tests conducted by welding, using an electric arc, the surface of the test material welding electrodes TOOL FRO, CITODUR In 1000, 600 CITODUR B. These samples were then tested for resistance to abrasive wear on the abrasive cloth. Further laboratory testing was done by measuring the hardness HV 10 After evaluating the measured results, we showed the most resistant against abrasive wear value of the electrode CITODUR The 1000th Obtained measurement results of laboratory tests, skilled workers may serve to address the functional restoration of worn surfaces of machine parts.

Key words: abrasive wear, welding, relative resistance, Hard Weld Deposit

ČESTNÉ VYHLÁSENIE

Podpísaný Bc. Martin Budáč týmto vyhlasujem, že som diplomovú prácu na tému:
„Laboratórna analýza vybraných návarových materiálov ” vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

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

V Nitre 30.apríl 2010

podpis autora
diplomovej práce

POĎAKOVANIE

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

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

V Nitre 30. apríl 2010

podpis autora
diplomovej práce

OBSAH

POUŽITÉ SKRATKY, SYMBOLY A ZNAČKY	8
Ú V O D	9
1. PREHĽAD LITERATÚRY.....	10
1.1 Definícia opotrebenia	10
1.2 Abrazívne opotrebenie	11
1.3 Mechanizmus abrazívneho opotrebenia	19
1.4 Opotrebeniu odolné vrstvy pre abrazívne opotrebenie.....	21
1.5 Naváranie	22
1.6 Naváranie elektrickým oblúkom - ručné.....	23
1.7 Príprava vzoriek pre metalografickú analýzu.....	24
2. CIEĽ PRÁCE	28
3. METODIKA PRÁCE	29
3.1 Charakteristika základného a prídavného materiálu	29
3.2 Charakteristika zväracieho zdroja a skúšobného stroja.....	31
3.3 Príprava vzoriek na naváranie a samotné naváranie	33
3.4 Príprava vzoriek pre meranie podľa STN 01 5084	34
3.5 Podmienky pri skúške	34
3.6 Postup skúšky na skúšobnom zariadení	35
3.7 Meranie tvrdosti návarov a základného materiálu	35
4 .VÝSLEDKY PRÁCE	37
4.1 Výsledky triboskúšky	37
4.1.2 Grafické vyhodnotenie triboskúšky	39
4.1.3 Grafické vyhodnotenie pomernej odolnosti proti opotrebeniu	41
4.2 Meranie tvrdosti HV 10 na valčekoch.....	43
4.2.1 Grafické vyhodnotenie tvrdosti HV 10 na valčekoch	45
4.3 Meranie tvrdosti HV 10 húsenka	47
4.3.1 Grafické vyhodnotenie tvrdosti HV 10 húsenka	48
5. DISKUSIA A NÁVRH NA VYUŽITIE POZNATKOV	50
6. ZÁVER	52
7. POUŽITÁ LITERATÚRA	53

POUŽITÉ SKRATKY, SYMBOLY A ZNAČKY

HV10	- tvrdosť podľa Vickersa
HRC	- tvrdosť podľa Rockwella
ZM	- základný materiál
TOO	- tepelne ovplyvnená oblasť
NK	- návarový kov
MMAW	- ručné oblúkové zváranie obalenou elektródou
T_0	-začiatočná teplota platne
γ	- tepelná vodivosť
ψ_{abr}	- pomerná abrazívna odolnosť

Ú V O D

Kov ako konštrukčný materiál je v mnohých oblastiach výroby pre svoje vlastnosti nenahraditeľný. Výroba a spracovanie kovových materiálov sú surovinovo a energeticky veľmi náročné. Preto sa hľadajú cesty na zefektívnenie ich výroby a hlavne použitia. Jednou z týchto ciest je hlbšie spoznanie ich vlastností a správanie v zložitých podmienkach namáhania a spoznanie všetkých činiteľov, ktoré vedú kovové materiály k dosiahnutiu medzného stavu a následnej degradácii.

Najčastejšie príčiny degradácie kovových materiálov, obmedzujúce ich životnosť a spoľahlivosť, sú javy z oblasti tribológie - trenia a opotrebenia. Opotrebenie sa podieľa na prestojoch strojov a prevláda nad inými príčinami porúch ako sú napr. únavové lomy, poruchy pri preťažení súčiastok alebo pri hrubom narušení prevádzkového režimu zariadení.

Navarovanie je jednou z rady technológií, ktorú môžeme použiť k tomu, aby sme opotrebenú súčasť vrátili pôvodný tvar a rozmery, prípadne môžeme touto technológiou vytvoriť súčasť s rozdielnymi vlastnosťami. Efektívnosť použitia tejto technológie závisí na niekoľkých faktoroch, ako sú cena renovovanej súčasti, pracnosť jej výroby, veľkosť opotrebenia, rozmery súčasti, použitá technológia navarovania, cena použitého renovovaného materiálu, jeho dostupnosť, dostupnosť navarovacieho zariadenia atď.

Medzi týmito rôznorodými a niekedy i protichodnými hľadiskami a požiadavkami má významné miesto správna voľba navarovacieho materiálu. Zatiaľ nemáme k dispozícii takéto metódy skúšania, ktoré by nám bez zbytkov reprodukovali namáhanie a preto sa uchýľujeme k rôznym zjednodušeniam. Pri nich charakterizujeme odolnosť danej ocele proti konkrétnemu druhu namáhania a na jej chovanie v prevádzke. Aj keď sa môže zdať, že takýto prístup je príliš vzdialený chodu, je nutné si uvedomiť, že v prevádzke nie sú vždy reprodukovateľné podmienky, niekedy nie sú tieto podmienky ani presne známe. Preto je účelné prevádzať laboratórne skúšky, ktoré vďaka svojej reprodukovateľnosti umožňujú vzájomne porovnať vhodnosť konkrétnej ocele pre daný účel použitia.

Našou prácou chceme prispieť k riešeniu súčasných tribologických problémov skúmaním návarových materiálov v laboratórnych podmienkach so zameraním na abrazívne opotrebenie a skúmanie tvrdosti daných laboratórnych vzoriek.

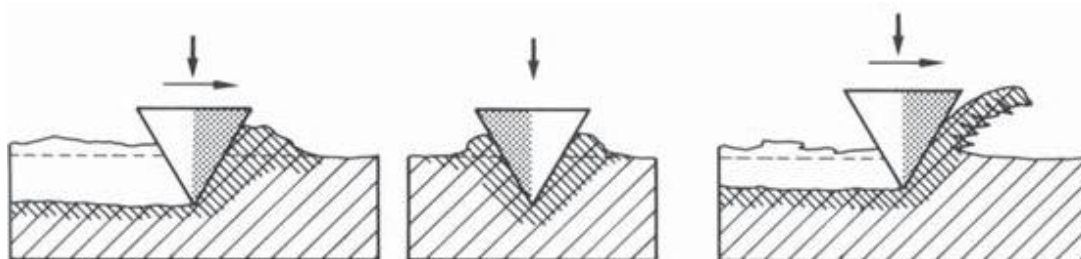
1. PREHĽAD LITERÁTÚRY

1.1 Definícia opotrebenia

Opotrebenie, ako proces úbytku materiálu z povrchu jedného alebo oboch kontaktných povrchov tuhých telies prebieha pri všetkých druhoch ich relatívneho pohybu. Patrí k degradačným procesom.

STN 01 5050 definuje opotrebenie ako „trvale nežiadúcu“ zmenu povrchu (rozmerov), spôsobenú vzájomným pôsobením funkčných povrchov alebo funkčného povrchu a opotrebovávajúceho sa média. Prejavuje sa ako odstraňovanie alebo premiestňovanie častíc z opotrebovaného povrchu mechanickými účinkami, resp. sprevádzanými aj inými vplyvmi (napr. chemickými, elektrochemickými, elektrickými).“

Podľa *obr.1* sa opotrebenie definuje ako „progressívna strata materiálu z povrchu operujúcich kontaktov, ktorá je výsledkom relatívneho pohybu povrchov.“



Obr.1 Schéma opotrebenia

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. (KOVAŘIKOVÁ,- BLAŠKOVITŠ, 2007)

Druhy opotrebenia

Známe je veľké množstvo druhov opotrebenia od rôznych autorov. Najpriateľnejším je rozdelenie opotrebenia podľa Buckleyho, (2007) patrí sem:

- adhezívne,
- abrazívne,
- korozívne,
- erozívne,

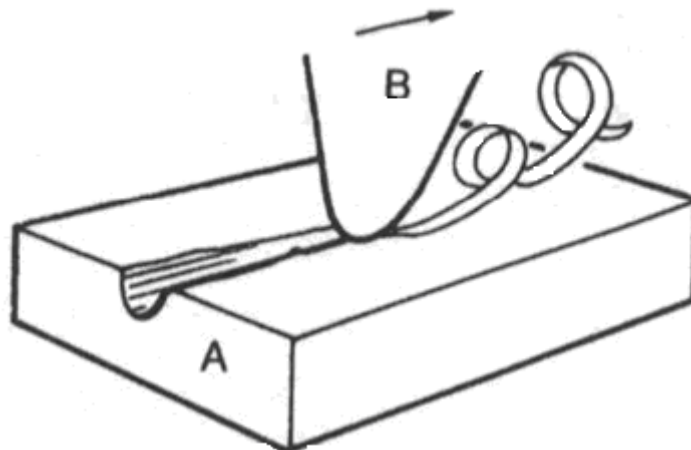
- únavové,
- kavitačné,
- vibračné,

STN 01 5050 rozdeľuje druhy opotrebenia na adhezívne, abrazívne, erozívne, únavové, kavitačné, vibračné a iné.

1.2 Abrazívne opotrebenie

Je charakterizované oddeľovaním častíc a poškodzovaním funkčného povrchu opotrebovávaného telesa ryhovaním a rezaním týmito časticami alebo tvrdým a drsným povrchom druhého telesa, ku ktorému dochádza vtedy, ak pri relatívnom pohybe dvoch telies vnikajú nerovnosti povrchu tvrdšieho telesa do povrchu telesa mäkšieho

Typickým poškodením povrchu pri abrazívnom opotrebení sú ryhy. vid' obr.2.

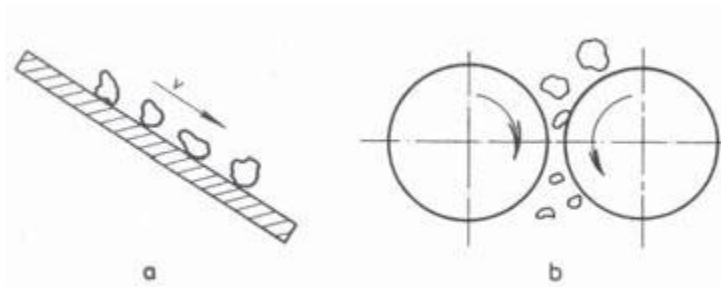


Obr. 2. Schematické znázornenie princípu vzniku abrazívneho opotrebenia

Abrazívne opotrebenie môže vzniknúť aj z iných typov opotrebenia, v priebehu ktorých sa vytvárajú voľné častice, ktoré sa stávajú tvrdšími než základný materiál, a to buď vplyvom intenzívnej plastickej deformácie alebo oxidácie vzdušným kyslíkom.

Podľa charakteru vzájomných interakcií pri abrazívnom opotrebení rozlišujeme dva základné modely. Pri prvom z nich ide o opotrebenie pri interakcii dvoch telies, najčastejšie častíc a funkčného povrchu (napr. opotrebenie súčiastok pri spracovaní pôdy, ťažbe surovín a iné), obr. 3 a. Druhým prípadom je opotrebenie časticami, ktoré sú medzi dvoma funkčnými povrchmi. Táto situácia znamená interakciu troch telies. V praxi sa s týmto usporiadaním stretávame v rôznych pohyblivých uloženiach, pri vniknutí nečistôt, pri drvení nerastov a podobne, obr. 3 b. (Vašek, 1999).

V prípade interakcie dvoch telies toto opotrebenie závisí od drsnosti daného povrchu, v prípade interakcie troch telies od množstva, veľkosti, tvaru a tvrdosti cudzích častíc.



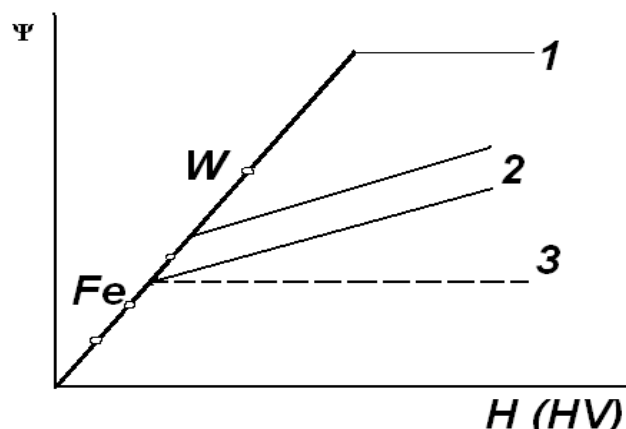
Obr.3. Základné modely abrazívneho opotrebenia: a - interakcia dvoch telies, b - interakcia troch telies

Pri abrazívnom opotrebení treba rozlíšiť tieto rozhodovacie štádiá:

- proces vtlačania abrazíva do povrchu materiálu, kde rozhodovacím faktorom je tvrdosť,
- proces rozrušovania povrchu, kde hlavnú úlohu majú sily medziatómových väzieb a pevnosť spojenia. Schopnosť abrazívneho zrna vnikat' do materiálu závisí nielen od tvrdosti, ale aj od geometrického tvaru zrna. Hranaté častice mäkkého materiálu spôsobujú väčšie opotrebenie ako zaoblené častice tvrdšieho materiálu. Dôležitý je aj vplyv veľkosti abrazívnych častíc. Abrazivita sa zvyšuje zväčšovaním rozmerov abrazívnych častíc. Pri nerovnorodej veľkosti zrn určujúcim rozmerom je rozmer najväčšej frakcie. Hraničný rozmer tohto zrna je rôzny pre rôzne kovy. (Balla, 2003)

Podobnosť ryhovania a oddeľovania častíc z funkčného povrchu pri relatívnom pohybe bude tým väčšia, čím viac sa budú častice líšiť od guľového tvaru. Tvorbu mikroryhy sprevádza značná plastická deformácia kovu. Na dne ryhy sa tvoria priečne trhlinky, ktoré môžu byť zárodkami rozrušenia pri ďalších pracovných cykloch abrazívneho opotrebeniu, pretože štruktúrne zložky sa rozrušujú dosť ľahko.

Základné výskumné práce v oblasti odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu kovových materiálov pri trení o abrazívny povrch boli opísané viacerými autormi. Ich výsledky názorne vyjadruje grafická závislosť pomernej odolnosti proti opotrebeniu od tvrdosti obr.4.



Obr.4. Závislosť pomernej odolnosti proti opotrebeniu Ψ od tvrdosti H : 1-čisté kovy, 2- tepelne spracované ocele, 3- ocele spevnené za studena

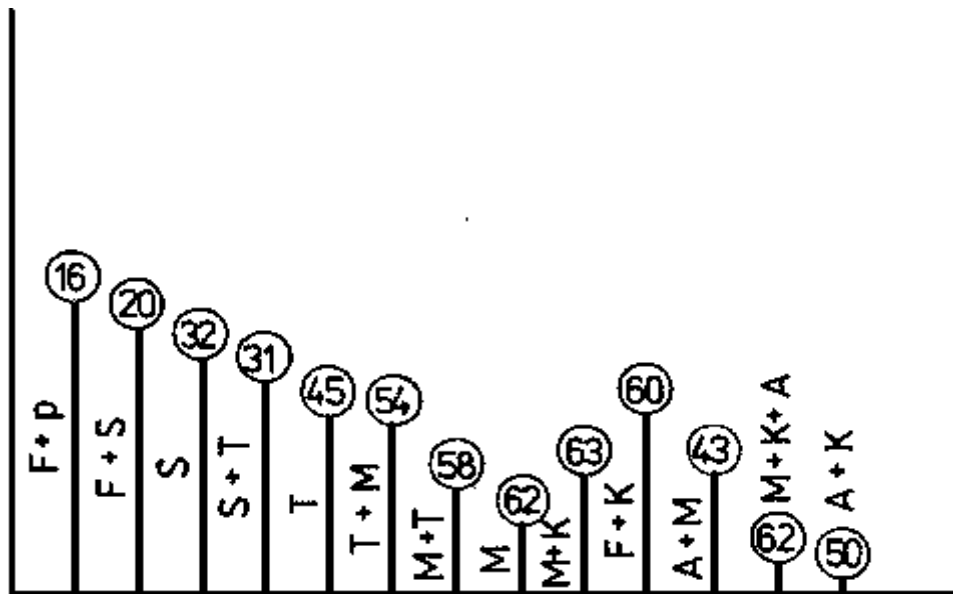
Z tohoto grafu vyplýva, že medzi odolnosťou čistých kovov pri abrazívnom opotrebení Ψ_0 a ich tvrdosťou H_0 je priamo úmerná závislosť. Hodnoty pomernej odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu ležia na priamke prechádzajúcej začiatkom. Možno ich vyjadriť nasledujúcim vzťahom,

$$\Psi_0 = b H_0 \quad (1)$$

kde b je konštanta.

Doteraz nie je jednotný názor na najvhodnejší typ štruktúry z hľadiska odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu. Niektorí autori považujú za najvýhodnejšiu austeniticko-karbidickú štruktúru, iní zase martenziticko-karbidickú. Tieto rozdielne názory vyplývajú z rôznorodosti procesu abrazívneho opotrebenia a širokej škály skutočných prevádzkových podmienok.

Pre podmienky abrázie pri vysokých špecifických tlakoch a prítomnosti nárazov možno považovať za najvhodnejšiu austeniticko-karbidickú štruktúru, kým martenziticko-karbidická štruktúra je vhodnejšia pre podmienky nízkonapäťovej abrázie. Výsledky skúšok materiálov v prevádzke pri lisovaní šamotových tehál Popova a Vasilenka. (Obr. 5)



Obr.5. Závislosti štruktúr materiálov s výslednou tvrdosťou od pomerného opotrebenia pri lisovaní šamotových tehál F- ferit, p- perlit, S – sorbit, T – troosit, M – martenzit, A – austenit, K- karbidy

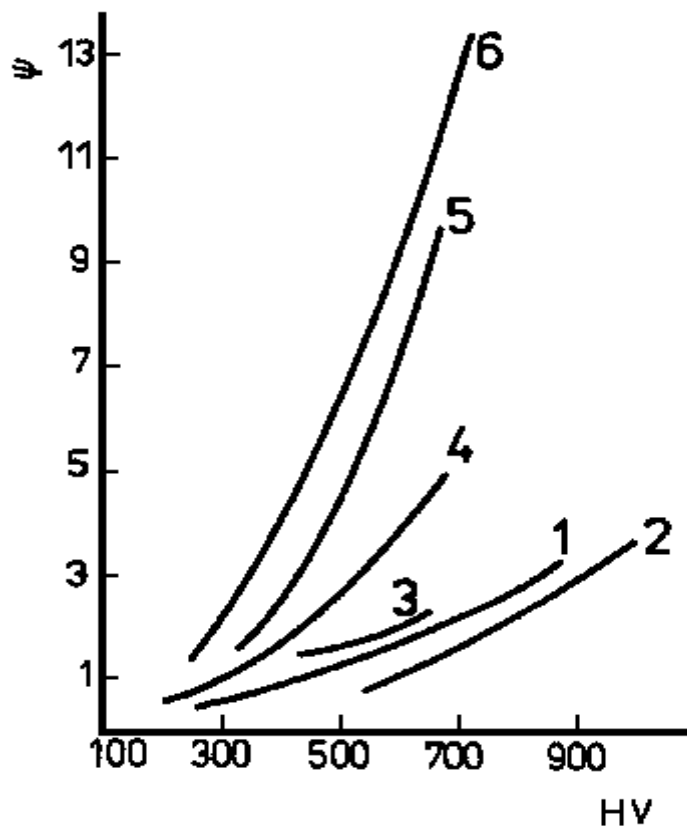
Každá štruktúrna zložka v procese exploatácie určuje úroveň odolnosti celého kovu svojím podielom. Pri abrazívnom opotrebení treba rozlíšiť dve rozhodujúce štádiá, a to *proces vtlačania abrazíva do povrchu*, kde limitujúcim faktorom je vnikacia tvrdosť a *proces rozrušovania povrchu*, kde majú rozhodujúcu úlohu sily medziatómovej väzby a pevnosť spojenia medzi štruktúrnymi zložkami navzájom na hraniciach zfn.

Tvorbu mikroryhy sprevádza značná plastická deformácia kovu. Na dne ryhy sa tvoria priečne trhliny, ktoré môžu byť zárodkami rozrušenia pri ďalších pracovných cykloch. V takýchto podmienkach oceľ s feriticko-perlickou štruktúrou má nízku odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu, pretože štruktúrne zložky sa rozrušujú dosť ľahko. (Popov, 1999)

Rast odolnosti proti opotrebeniu pri oceliach je proporcionálny rastu tvrdosti. Prítomnosťou martenzitu v štruktúre ocele sa zvyšuje odolnosť v porovnaní s feriticko-perlitickou štruktúrou. Prísada karbidov chrómu vo ferite bez ohľadu na značné zvýšenie tvrdosti zvyšuje odolnosť proti opotrebeniu sa v danom prípade neprejavujú, pretože ich potláča prítomnosť feritu. Vysoký stupeň legovania preto ešte nezaručuje dobrú odolnosť proti opotrebeniu. Z toho dôvodu má oceľ vo feriticko-karbidickom stave pri tvrdosti 60 HRC približne takú odolnosť proti opotrebeniu ako oceľ so štruktúrou sorbitu s tvrdosťou 45 HRC. Priaznivejšie vlastnosti možno získať iba spojením legovania s optimálnym štruktúrnym stavom.

Veľmi názornú orientačnú klasifikáciu vplyvu rôznych spôsobov spevnenia zliatin železa na odolnosť proti opotrebeniu ilustruje obr. 6 podľa Ivancova a Ščulepnikovej. Čiary 1, 2, 3 vyjadrujú vplyv kalenia a popúšťania, disperzného vytvrdzovania a legovania na

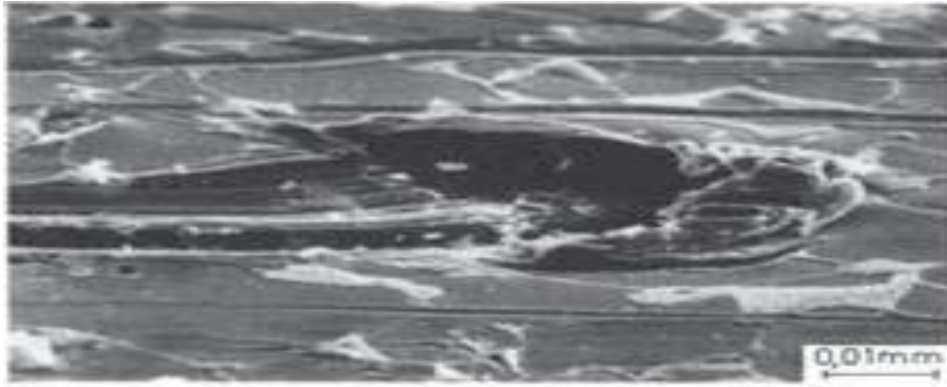
spevnenie. Do druhej skupiny čiar patria čiary 5 a 6, vyjadrujúce vplyv voľných karbidických fáz v austenite a martenzite. Medzi týmito dvoma skupinami leží čiara 4, vyjadrujúca vzrast odolnosti proti opotrebeniu so zväčšovaním množstva karbidov vo feriticko-karbidickej zmesi. Uvedený obrázok ukazuje kvalitatívny rozdiel medzi jednotlivými spevňujúcimi faktormi. Podľa toho možno potvrdiť, že spevnenie zliatin železa podmienené disperznosťou fázových zložiek, zjemnením blokov, prítomnosťou koherentných deformácií v presýtených tuhých roztokoch aj deformácií mriežky pri legovaní, spôsobuje výrazný vzrast ich odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu.



Obr.6. Spôsob spevnenia zliatin železa na odolnosť proti opotrebeniu

Najmenej odolnou fázou proti opotrebeniu zliatin železa je *ferit*. Legovaním feritu odolnosť proti opotrebeniu rastie v zhode so zákonitosťou uvedenou v predchádzajúcich častiach o vplyve tvrdosti na odolnosť proti opotrebeniu. Pri karbidotvorných legujúcich prvkoch sa okrem legovania matrice tvoria aj špeciálne karbidy. GRINBERG, LIVŠIC, ŠČERBAKOVA ukázali závislosť odolnosti proti opotrebeniu od typu tvoriacich sa karbidov. Prechod od cementitu k inému, bohatšiemu na kovové atómy sprevádza zvýšenie odolnosti proti opotrebeniu. Najmenšiu odolnosť majú ocele, ktorých štruktúra obsahuje cementit. Na obr. 7 je typické rozrušenie perlitických zŕn v štruktúre ocele.

Zvýšenie obsahu legujúceho prvku vo ferite a nezmenený obsah karbidov spôsobuje nepatrný vzrast odolnosti proti opotrebeniu. V oceliach s karbidickou fázou Cr_7C_3 , zvýšenie obsahu Cr vo ferite od 0,75 do 2,3 % nezvyšuje odolnosť proti opotrebeniu. Podobne sa správajú aj ocele legované vanádom a volfrámom.



Obr.7. Vzhľad opotrebovaného povrchu ocele pod riadkovacím elektrónovým mikroskopom

Nezávisle od charakteru pôsobenia legujúceho prvku na vlastnosti feritu, zvyšovanie jeho obsahu v tuhom roztoku nezvyšuje odolnosť feritu proti opotrebeniu. Odolnosť proti opotrebeniu sa zvyšuje vtedy, ak obsah karbidotvorných legúr je na hraniciach zabezpečujúcich tvorbu špeciálnych karbidov, alebo ak vzniká prechod na vyšší typ karbidu.

Pri legovaní treba uvažovať s nie absolútnym obsahom legujúceho prvku, ale s pomerom M/C , ktorý charakterizuje jeho rozdelenie medzi fázami. Dosiahnuté výsledky ukázali, že pomer Cr/C od 1,8 do 5 a W/c od 0,4 do 1,6 je neúčelný. Neúčelný sa javí aj pomer V/C väčší ako 1. pri legovaní niekoľkými prvkami súčasne sa optimálny pomer M/C mení. Okrem typu vytvorených karbidov je dôležité aj ich množstvo a veľkosť. Rastom množstva karbidov do určitého percenta rastie aj odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu. Optimálne množstvo karbidov pri rôznych štruktúrach je rôzne.

Významným faktorom určujúcim odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu materiálov spevnených karbidmi je aj pomer šírky tvoriacej sa ryhy a veľkosti karbidov.

Na dosiahnutie vyššej odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu priaznivo vplýva aj určitý podiel zvyškového austenitu v štruktúre. (Balla, 2002)

Jednou z najdôležitejších charakteristík procesu opotrebenia sú podmienky, pri ktorých opotrebenie nastalo. Bez tejto špecifikácie nemožno proces opotrebenia analyzovať.

Prevádzkové podmienky sa definujú ako celý súbor často premenlivých údajov a veličín, ktorých zmena spôsobuje zmenu intenzity alebo aj mechanizmu abrazívneho opotrebenia.

Patria k nim predovšetkým vlastnosti abrazíva, jeho spôsobu väzby, špecifický tlak na opotrebovaný povrch, relatívna rýchlosť pohybu, dĺžka dráhy, vlhkosť a chemická agresivita prostredia.

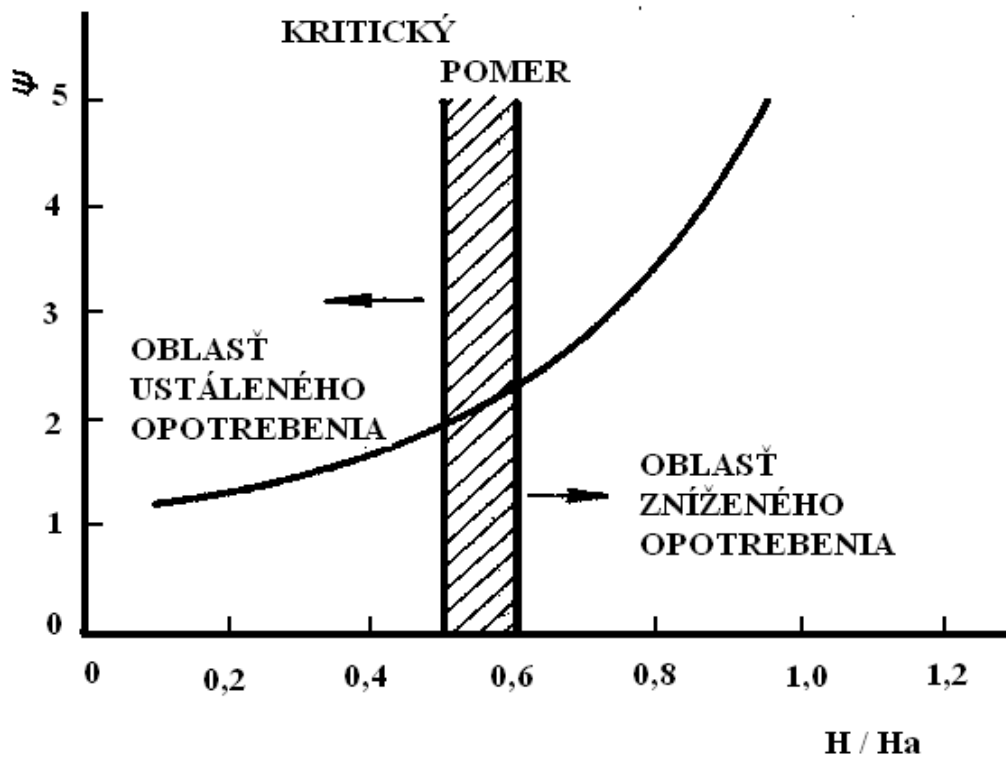
Abrazívne opotrebenie kovových materiálov v podstate ovplyvňujú tieto vlastnosti abrazíva: rozmer, tvar, mechanická pevnosť a tvrdosť abrazívnych častíc.

Jednou z najdôležitejších vlastností abrazíva je *tvrdosť*. Pri opotrebení vystupuje výrazne v súvislosti s tvrdosťou opotrebovaného materiálu. Tvrdosť minerálov a niektorých materiálov a ich fáz je v *tab. 1*.

Tab. 1. Tvrdosť minerálov, materiálov a ich fáz. Podľa Climax Molybdenum

Minerál	Tvrdosť HV	Materiál alebo fáza	Tvrdosť HV
Sadra	36	ferit	70-200
Vápenec	140	perlit	250-330
Apatit	540	perlit legovaný	300-460
Sklo	500	austenit, 12% Mn	170-230
Živec	600-750	martenzit	500-1010
Pazúrik	950	cementit	840-1100
Kremeň	900-1280	karbid Cr (Cr_7C_3)	1200-1600
Topás	1430	karbid W (WC)	2400
Korund	1800	karbid V (VC)	2800
Karbid kremíka	2600	karbid Ti (TiC)	3200
Diamant	10 000	karbid B (B_4C)	3700

Obr.8 ukazuje na to že odolnosť proti opotrebeniu ocelí rastie rýchlo, ak tvrdosť opotrebovávaného povrchu presiahne 0,5 až 0,6 tvrdosti abrazíva.



Obr.8. Vzťah medzi pomerom tvrdosti abrazíva a opotrebovávaného kovu a pomernou odolnosťou proti opotrebeniu.

Z ostatných prevádzkových podmienok treba spomenúť vplyv dĺžky dráhy, špecifického tlaku, relatívnej rýchlosti, vlhkosti a chemicky aktívnych zložiek prostredia.

Takmer všetky dostupné pramene konštatujú priamu úmernosť medzi veľkosťou opotrebenia a dĺžkou trecej dráhy. Tak sa aj konštatuje, že existuje úmernosť medzi veľkosťou opotrebenia a rýchlosťou pohybu, resp. zaťažéním. Rýchlosťou pohybu ovplyvňujeme veľkosť opotrebenia iba v rozsahu rýchlosti, kde pri trení stúpa aj teplota.

1.3 Mechanizmus abrazívneho opotrebenia

Opotrebenie môže mať veľa foriem, ktoré závisia od topografie povrchu, kontaktných podmienok a prostredia.

Pri analýze opotrebenia možno tento proces rozdeliť na tri javy:

1. vzájomné pôsobenie povrchov pri trení,
2. zmeny, ktoré prebiehajú v povrchovej vrstve elementov trecej dvojice,
3. porušenie 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. (Balla, 2003)

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

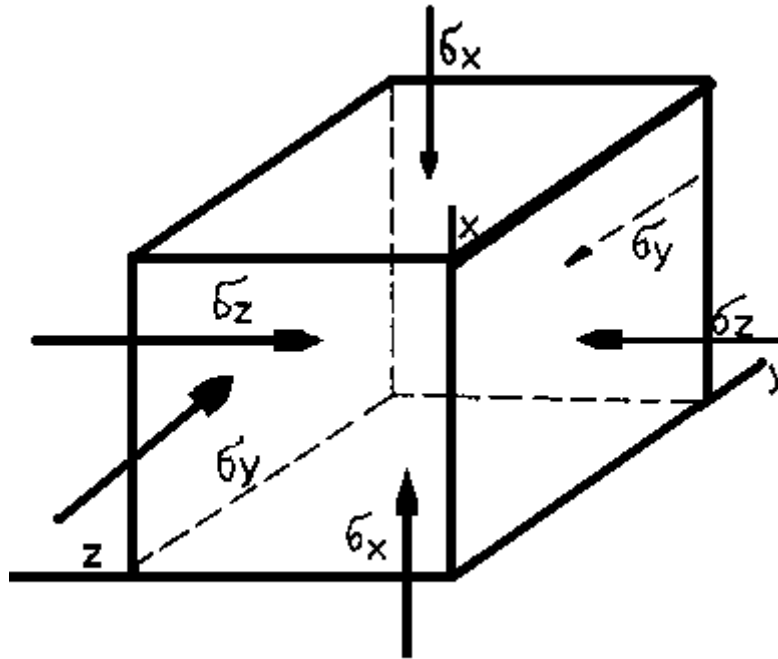
1. mechanické,
2. chemické.

Mechanické opotrebenie zahŕňa procesy, ktoré môže spôsobovať trenie, abrázia, erózia a únava.

Chemické opotrebenie z atakovania povrchu reaktívnymi zložkami a príslušným zadieraním alebo oddeľovaním splodín opotrebenia mechanickým pôsobením.

Ak dva povrchy navzájom na seba kontaktne pôsobia, reálna plocha kontaktu je podstatne menšia, pretože dotyk povrchov definovanej drsnosti je len na ich výstupkoch. Tlaky v týchto plochách sú vysoké a povrch materiálu sa deformuje aplikovaným zaťažením, a tým sa zväčšuje stoková plocha. (Balla, 2003)

Ak vyberieme malý element *obr.9*, ktorého jedna plôška sa zhoduje s plochou skutočného kontaktu, potom na všetky ostatné plôšky bude pôsobiť tlakové napätie, pretože pod normálovým zaťažením v smere osi x sa element musí zväčšovať v smeroch osi y , čomu zabraňuje okolitý materiál. Na plôške okrem toho pôsobí sila trenia, a preto na element spolupôsobia normálové a šmykové napätia. Takéto napätie spôsobuje plastické tečenie materiálu.



Obr. 9. Schéma napätia elementu povrchu tuhého telesa na plôške skutočného kontaktu pri trení
 - σ_x , σ_y , σ_z - zložky napätia

Výskumy pracovných povrchov trecích dvojíc po opotrebení ukazujú, že všetky kovy v podmienkach trenia podliehajú na hraniciach aktívnej vrstvy plastickej deformácii, pričom aktívna vrstva je vrstva, ktorá prilieha ku kontaktným povrchom trecej dvojice, a v ktorej môžu prebiehať fyzikálno-chemické zmeny spojené s procesom trenia.

Zmeny na povrchoch trecej dvojice spôsobuje deformácia, zvýšenie teploty a chemické pôsobenie okolia. (Balla, 2003)

K zmenám spôsobeným deformáciou patria:

1. Opakujúce sa pružné deformácie, ktoré v dôsledku heterogénnej štruktúry materiálu spôsobujú pri určitých podmienkach únavové porušenie povrchov pri valivom trení. Opakované pružné deformácie mikronerovnosti povrchov pri klznom trení menia štruktúru materiálu.
2. Plastická deformácia, ktorá mení štruktúru povrchovej vrstvy. Plastická deformácia tuhých telies sa skladá zo štyroch najdôležitejších elementárnych procesov:
 - sklzu po kryštalografických rovinách (sklzy v jednotlivých zrnách polykryštalického materiálu prebiehajú obyčajne po niekoľkých plochách, ich počet rastie so zvyšujúcim sa zaťažením),
 - dvojčatenia,

- zmeny pravidelného usporiadania atómov v mriežke a ich tepelný pohyb,
- štruktúrnych porúch.

Porušenie štruktúry je konečná etapa plastickej deformácie podľa miery zväčšovania silových účinkov pri jednonásobnom zaťažení. Vzájomný pohyb kryštálov sprevádza čiastočne porušenie väzby pri stúpnutí napätia alebo jeho viacnásobnom pôsobení, a tým sa oslabuje, mení a porušuje štruktúrna väzba.

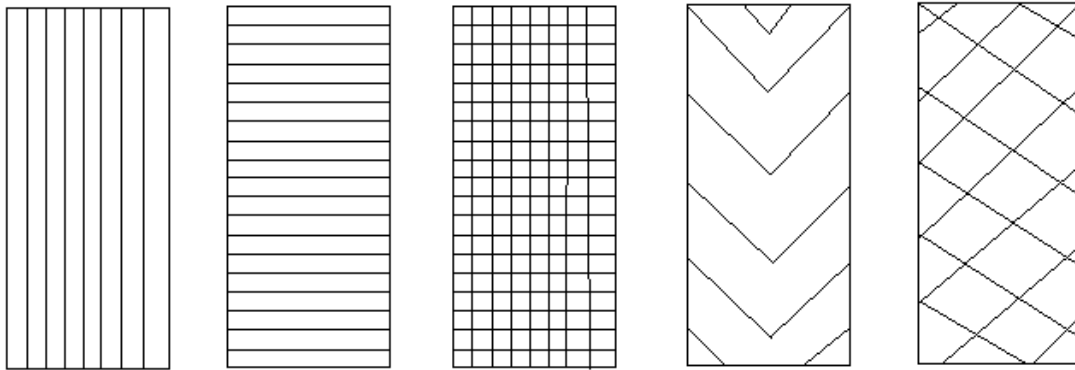
3. Plastickej deformácii pri teplote nižšej ako je teplota rekryštalizácie spevňuje povrchovú vrstvu. Napriek tomu pri samotnom povrchu (tesne pod povrchom) je štruktúra mäkkšia, čo sa prejavuje aj znížením mikrotvrdości. Mikrotvrdość dosahuje maximum v určitej vzdialenosti od povrchu, a potom sa postupne znižuje až na pôvodnú hodnotu.
4. Pri veľkom rozdiely tvrdosti štruktúrnych zložiek materiálov a viacnásobnom zaťažovaní sa zo začiatku intenzívne opotrebuje mäkká matrica, a tým sa tlak zvyšuje na výstupky tvrdej zložky. Niektoré výstupky sa vtlačajú do mäkkej matrice, niektoré sa rozdrobia a pôsobením trecej sily sa postupne premiestňujú. Pri takomto mechanizme sa povrch obohacuje tvrdými štruktúrnymi zložkami a získava sa „riadkovitá“ štruktúra.

1.4 Opatreniu odolné vrstvy pre abrazívne opotrebenie

Podľa BALLU (1996) odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu exponovaných strojových súčiastok sa všeobecne dosahuje:

- používaním oteruvzdorných materiálov,
- technologickými zásahmi na povrchu, ktoré kvalitatívne menia vlastnosti základného materiálu,
- nanášaním oteruvzdorných vrstiev

Pri abrazívnom opotrebení je veľmi efektívna tvorba vrstiev naváraním. Pri použití návaru okrem jeho odolnosti proti opotrebeniu je veľmi dôležitá aj forma vytvorenia vrstvy a to súvislý návar na celú exponovanú plochu, alebo vytvorenie návarov rozložených na funkčnej ploche v určitých charakteristických vzoroch, *obr. 10*.



Obr.10. Charakteristické vzory usporiadania návarov na funkčnej ploche vystavenej abrazívnemu opotrebeniu v pôde

Okrem zníženia spotreby návarového kovu na spevnenie funkčnej plochy je možné takýmto usporiadaním dosiahnuť aj zníženie hmotnostného opotrebenia v pôde.

Strojové časti sú často abrazívne opotrebovávané nielen na funkčných plochách, ale aj na funkčných hranách – ostriach.

1.5 Naváranie

Podľa STN 050000 je naváranie nanosenie kovu na povrch súčiastky pomocou tavného zvarovania. Týmto pracovným postupom možno doceliť navarenú vrstvu, ktorá spĺňa na ňu kladené požiadavky v mnohých smeroch, ako napríklad odolnosť voči korózii, mechanickému poškodeniu, dobrými trecími vlastnosťami či žiaruvzdornosťou. V praxi je naváranie využívané ako renovačná technológia, ktorá umožňuje renovovať súčiastku na pôvodné rozmery pričom je možné doceliť lepšiu kvalitu povrchu. Viacnásobným naváraním dosahujeme až niekoľko násobné zníženie ekonomickej záťaže renovácie súčiastok či spotreby energií a základného materiálu (Blaškoviš, 2006).

V porovnaní s inými spôsobmi opracovania povrchov má naváranie množstvo výhod ale aj zopár nedostatkov.

Náklady na výmenu dielcov, ktoré sa počas používania opotreбили alebo poškodili, viedli k vývoju širokého radu metód známych ako “naváranie”, pomocou ktorých sa môžu súčasti navrátiť do použiteľného stavu. V mnohých prípadoch majú takéto opravy dlhšiu životnosť ako originálny diel, pretože sa môže použiť návar odolnejší proti opotrebeniu, rázom, abrázii alebo korózii ako bol pôvodný materiál.

V dôsledku toho sa teraz naváranie vo veľkej miere používa pri výrobe mnohých dielov. Navarené vrstvy sú často pomerne hrubé (2mm a viac) a pri niektorých aplikáciách sa musia použiť medzivrstvy, aby sa prekonal metalurgické problémy s finálnou vrstvou. (Čičo, 2002)

K dispozícii sú elektródy a prídavné drôty s rôznou odolnosťou voči opotrebeniu, korózii alebo teplotám a možno ich použiť na malé obmedzené plochy ako ventily a ventilové sedlá, alebo na veľké plochy ako oblasť ložísk na hriadeľoch alebo celé valce na valcovanie ocele. Naváranie sa obzvlášť často využíva u zemných strojov, cementárenských pecí a zariadeniach na drvenie kameňa.

1.6 Naváranie elektrickým oblúkom - ručné

Norma EN ISO 4063 popisuje problematiku navárania elektrickým oblúkom. Naváranie elektrickým oblúkom patrí k najrozšírenejším a najoperatívnejším metódam tavného navárania. Pre pomerne malé náklady na vybavenie a malé prevádzkové náklady ako aj možnosti operatívneho použitia je táto metóda značne rozšírená pri renovácii a opravách nielen v opravárenských komplexoch v poľnohospodárstve.

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. (Tolnai, 2002)

Pri navarovaní obalenou elektródou je nutné dodržať niektoré zákonitosti aby bolo možné dosiahnuť vysokú kvalitu výsledného návaru:

- použitie elektród s bázickým alebo rutilovým obalom
- sušenie elektród 100°C/h + 350°C/2h

- krátke návarové húsenky, zvyčajne neprekračujeme hodnotu dĺžky 50mm
- uprednostňujeme návaranie vo vodorovnej polohe pre vysokú tekutosť návarových kovov
- predohrev pre zníženie teplotného rozdielu medzi miestom navarovania a ZM, predĺženie doby tuhnutia a vyrovnania tep. rozťažností NK a ZM

Medzi hlavné výhody tejto technológie patrí:

- použitie v teréne, v uzavretých pracoviskách, pod vodou
- malá produkcia hluku pri práci
- nízka nadobúdacia cena
- ochrana zvaru stuhnutou troskou
- menej citlivá na kontamináciu hrdzou, opalom, olejmi a mazivami
- určená pre ručné zváranie
- možno zvärať širokú škálu materiálov

Nevýhody:

- dlhé časy prípravy a pomocných prác
- malá rýchlosť
- značná dymivosť procesu
- nedá sa mechanizovať
- náchylné na fúkanie oblúka

1.7 Príprava vzoriek pre metalografickú analýzu

Bežné metalografické postupy zahŕňajú nasledovné operácie

- delenie materiálu (odber vzorky)
- brúsenie
- leštenie
- leptanie

Delenie materiálu

Odber vzorky sa realizuje tak, aby sme sa vyhli deformácii alebo tepelnému ovplyvneniu materiálu. Ovplyvnenie materiálu môže totiž byť do pomerne veľkej hĺbky pod pripravovaný povrch a nedá sa odstrániť ani následným brúsením alebo leštením. Nežiadúci ohrev vzorky pri jej odbere môže spôsobiť zmeny mikroštruktúry materiálu.

Pre odber vzoriek sa používajú najčastejšie píly s abrazívnymi rozrezávacími kotúčmi. Štandardný priemer používaných rozrezávacích kotúčov je 150mm, hrúbky kotúčov sa pohybujú od 0,15mm. Rozbrusovacích kotúčov existuje veľa druhov, ich voľba závisí od druhu deleného materiálu. Pre delenie kovov sa používajú Al_2O_3 alebo SiC kotúče. (Ulrich, 2006)

Brúsenie vzoriek

Tradičným postupom brúsenia metalografických vzoriek je mokré brúsenie. Jeho výhodou je priamy chladiaci účinok a prúd vody zároveň odplavuje odbrúsené časti aj s časťami uvoľneného abrazíva. (Balla, 2003)

Na mokré brúsenie sa používajú vodevzdorné brúsne papiere s abrazívnymi časticami, napr. SiC, Al_2O_3 s rôznou zrnitosťou.

Brúsenie sa najčastejšie vykonáva na brúsnych papieroch SiC. Vzorka sa pri brúsení pridržiava v jednej polohe na rotujúcom kotúči prístroja s fixovaným abrazívnym papierom. Pri prechode na brúsny papier s vyšším číslom sa vzorka otáča o určitý uhol, štandardne však o uhol 90° . Po každom kroku brúsenia by mala nasledovať kontrola pripravovaného povrchu voľným okom, aby sme sa uistili, že boli úplne odstránené ryhy z predošlého brúsenia, prípadne či už boli z povrchu odstránené stopy po prvotnom delení vzorky.

Leštenie

Leštenie je posledným krokom pri získavaní vzoriek s hladkým, zrkadlovo lesklým povrchom bez rýh. Leštenie metalografických vzoriek môže byť:

- mechanické
- elektrolytické
- chemické
- špeciálne postupy leštenia

Mechanické leštenie-hladký, zrkadlovo lesklý povrch sa dosahuje použitím látkových leštiacich kotúčov a vhodných leštiacich abrazív. Kotúč vykonáva rotačný pohyb, operátor

vykonáva so vzorkou rotačný pohyb, spravidla proti pohybu leštiaceho kotúča alebo sa so vzorkou otáča striedavo okolo jej osi.

Na leštenie sa používajú buď vodné emulzie oxidov kovov, naliatych na leštiace plátno alebo diamantové pasty. Pre väčšinu kovov sa používa mechanické leštenie na vodných emulziách Al_2O_3 , potom na doleštenie na vodnej emulzii Al_2O_3 so zrnitosťou okolo $1\mu\text{m}$. Leštiace emulzie FEROGÉN sú rozdelené do troch skupín, označených 1-3, pričom každá skupina je určená na iný typ materiálov. Ocele sa predleštujú Ferogénom 3, potom nasleduje doleštenie. (Pulc, 2004)

MgO suspenzie sa doporučujú pre finálne leštenie predovšetkým zliatin horčíka a hliníka, aj keď ich použitie je čiastočne obmedzené tým, že tento oxid reaguje s kyslíkom z vody za vzniku dioxidu horčíka, ktorý môže kontaminovať leštiace súkno.

Suspenzie na báze koloidných silicidov so zrnitosťou až okolo $0,02\mu\text{m}$ sa používajú pre veľmi mäkké materiály. Suspenzie Cr_2O_3 a Fe_2O_3 sa používajú pre leštenie a doleštovanie vzoriek ocelí a liatin. Pri leštení diamantami sa používajú pasty alebo spreje so zrnitosťou diamantového prášku $6-0,25\mu\text{m}$. (Balla, 2003)

Každá zrnitosť má svoje súkno. Pre pasty alebo spreje sa používajú častice buď polykryštalického diamantu, ktoré sa vyznačujú vyššími abrazívnymi rýchlosťami a rovnomerným úberom materiálu alebo monokryštalý diamantu, ktoré sú však náchylnejšie na štiepenie, čím zanechávajú na povrchu väčšie dubdeformácie. Po leštení diamantovými pastami alebo sprejmi zväčša nasleduje ešte doleštovanie na oxidických leštiacich prípravkoch, ako bolo uvedené vyššie.

Leptanie

Leptaním vzniká na povrchu skúmanej vzorky priestorový reliéf rozpúšťaním medzifázovým rozhraním a miest s najnižšou väzbovou energiou.

Tab.2. Zoznam používaných leptadiel

Leptadlo	Zloženie	Leptanie	Použitie
Nital	2 ml HNO ₃ 98 ml etylalkohol	Niekoľko sekúnd až minútu.	Dosahuje max. kontrast medzi perlitom a feritom, vyvoláva hranice feritu, odlišuje ferit od martenzitu
Villelaba	5 ml HCl 1 g kys. pikrová 100 ml etylalkoholu	Niekoľko sekúnd až minútu.	Na vyvolanie austenitického zrna u kalených a popúšťaných ocelí
Pikral	4 g kys. pikrová 100 ml etylalkohol	Niekoľko sekúnd až minútu.	Rozlíšenie jemného perlitu, martenzitu, bainitických štruktúr, odkrýva karbidy
Chlorid železitý	5g FeCl ₃ 50 ml HCl 100ml dest. voda	Máčať pokiaľ sa nevyvolá štruktúra	Vyvolávanie štruktúry niklových austenitických a nehrdzavejúcich ocelí
Zmes kyselín a glycerínu	A-10 ml HNO ₃ 20 ml HCl 30 ml glycerínu	Striedať leštenie a leptanie	Leptá zliaziny Fe-Cr, rýchlorezné ocele a austenitické zliatiny.
	A-10 ml HNO ₃ 20 ml HCl 20 ml glycerínu 10 ml H ₂ O ₂	Používať digestor. Neskladovať	Vyvolávanie štruktúry Cr-Ni a Cr-Mn ocelí a všetkých austenitických Fe-Cr zliatin.
Chlorid meďnatý	5 g CuCl ₂ 100 ml HCl 100 ml etylalkohol 100 ml dest. voda	Používať chladné.	Pre austenitické a feritické ocele.
Zmes kyselín	5 ml HNO ₃ 1 ml HF (48%) 44ml dest. Voda	Používať chladné 5 min.	Pre vyvolávanie celkovej štruktúry austenitických ocelí.
Portevin	2 diely HCl 1 diel HNO ₃	Zmes pripraviť 24 hod. vopred.	Pre vyvolávanie štruktúry nehrdzavejúcich ocelí.
Villela	1,25 g CuSO ₄ 2,5 g CuCl ₂ 10g MgCl ₂ 2 ml HCl doplniť na 1000 lm etylalkoholom	Vzorku ponoriť do leptadla.	Po naleptaní je viditeľná celková hĺbka nitrídačnej vrstvy u Cr-V a nitrídačných ocelí.

2. CIEĽ PRÁCE

Vzájomné pôsobenie funkčných povrchov súčiastok alebo funkčného povrchu a okolitého média definujeme ako opotrebenie. Je to strata materiálu z povrchu kontaktných dvojíc a je súčasťou degradačných procesov kovových materiálov. Preto sa kladie doraz na vývoj takých materiálov a technológií, ktoré by zabezpečili zvýšenie životnosti funkčných dvojíc.

Cieľom diplomovej práce je posúdiť vhodnosť použitia vybraných druhov návarových materiálov vhodných do prostredia s prevahou abrazívneho opotrebenia na základe vykonania laboratórnych skúšok, ktoré pozostávali zo:

- zisťovania úbytku návaru pomocou skúšky na stanovenie odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu
- zisťovania tvrdosti návaru metódou HV10 pre valček
- zisťovania tvrdosti návaru metódou HV10 pre húsenku

Ak chceme zabezpečovať kvalitatívnu stránku renovácie obecné, musíme sa nevyhnutne zaoberať tribologickými vlastnosťami nanesej vrstvy, teda vzájomným pôsobením kontaktných povrchov pri ich relatívnom pohybe a technológiou s tým spojenou.

3. METODIKA PRÁCE

Na dosiahnutie splnenia cieľa ktorý bol zadaný v zadávacom protokole sme stanovili metodiku práce ktorá pozostávala z niekoľkých bodov. Vychádzali sme zo základných poznatkov z oblasti abrazívneho opotrebenia, mechanizmov opotrebenia, navárania.

3.1 Charakteristika základného a prídavného materiálu

Základným materiálom je oceľ triedy 12050. Táto oceľ sa používa na väčšie ozubené kolesa, čapy, skrutky, hriadele, ojnice, lisy parných strojov, frézovacie tŕne, vŕtacie tyče. U týchto strojných súčiastok sa požaduje vysoká tvrdosť povrchu. Zlepšenie mechanických vlastností ocele zušľachtovaním, je spôsobené hlavne zjemnením zrna a predovšetkým rovnomerným rozdelením jemných a rovnako veľkých karbidov.

Tab.3. Smerné chemické zloženie

Chemické zloženie	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Mo	Ni
12 050	0,42-0,5	0,40	0,5-0,8	0,035	0,035	0,40	0,40	0,10	0,40

TOOL FRO

Bázický obal

Normy : DIN 8555

E7 - UM - 65 - GS

Použitie:

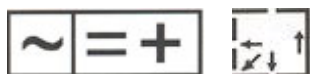
Bázická tvrdonávarová elektróda pre výrobu nástrojov a oteruvzdorných návarov s odolnosťou voči rázu, tlaku a oteru pri teplotách do 550°C. Je vhodná pre návary na nástroje pre prácu za tepla ako strižníky, matrice, ale aj razidlá, tŕne, hobľovacie a rezné nástroje.

Dosiahnuteľná tvrdosť zvarového kovu v 2 vrstve : HRC 63-65

Tab.4. Smerné chemické zloženie

C	Mn	Cr	Mo	V	W
0,85	0,70	4,50	8,00	1,50	2,50

Teplota predsušenia 350°C / 1 hod.



CITODUR V 1000

Rutilový obal

Normy : DIN 8555

E 10 – UM – 60 R

Hrubo obalená vysokolegovaná rutilová elektróda s nadeutektickou štruktúrou, tvrdochrómová zliatina. Vhodná pre vysokooterovzdorné návary. Typické priečne trhliny tohto tvrdého zvarového kovu sa pri otere ďalej nešíria. Zvarový kov nie je vhodný proti opotrebeniu rázom. Opracovanie je možné iba brúsením. Pre zváranie zložitejších zvaracích materiálov je potrebná húževnatá medzivrstva (UNIVERS alebo CITOCHROMAX N). Vytlačenosť cca. 160%

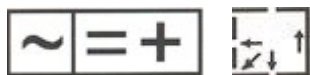
Použitie: miešače, pumpy na cement a betón, mlyny, dopravníky, diely v petrochemii. Vhodné sú aj na žiarovzdorné a koroziovzdorné diely odolné proti oteru.

Tab.5. Smerné chemické zloženie

C	Cr
4,3	35
Tepelné spracovanie	Tvrdosť [HRC]
AW/KS	60

Presúšanie: Všeobecne nie je potrebné. Odporúča sa presúšať 2 h pri 300 °C až 350 °C

Prúd / polarita/ polohy zvárania:



CITODUR 600 B

Bázický obal

Normy : DIN 8555

E 6 – UM – 60

Hrubo obalená bázická elektróda pre húževnaté a oteruvzdorné návary dielov vystavených silnému oteru. Zvarový kov je odolný proti pórom, trhlinám a odoláva rázom. Opracovateľný iba brúsením. Pre zváranie ťažko zvariteľných materiálov je potrebné húževnatá medzivrstva (UNIVERS alebo CITOCHROMAX N). Väčšie množstvo húseníc zostáva i bez medzivrstvy bez trhlín.

Použitie: diely bágrov, zuby, vrtáky, dopravné šneky, kladiva.

Tab.6. Smerné chemické zloženie

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0,5	0,4	0,3	7	0,5	0,5
Tepelné spracovanie			Tvrdosť [HRC]		
U= nespracované (stav po zváraní)			57-62		

Presušanie: potrebné - 2 h pri 300°C až 350°C

Prúd / polarita/ polohy zvárania:



3.2 Charakteristika zvaracieho zdroja a skúšobného stroja

Navárací zdroj STEL HI-MIG 500P je moderný profesionálny pulzový invertorový multiprocesný zvarací stroj. Štandardne je vybavený synergickými programami pre zváranie uhlíkových ocelí, nerezových ocelí, zliatin hliníka. Stroj HI-MIG je určený pre MIG/MAG konvenčné a MIG/MAG pulzové zváranie, manuálne zváranie obalenou elektródou MMA a Lift TIG zváranie. Funkcia Hot/Soft štart podporuje perfektný začiatok zvaracieho procesu požadovaný práve pri zváraní hliníkových materiálov. Synergické programy poskytujú veľmi stabilné zvaracie parametre vo všetkých režimoch zvárania. Pulzný režim a Double Pulse režim poskytujú veľmi dobré výsledky predovšetkým pri zváraní nehrdzavejúcich oceliach a zliatin hliníka. Stroje sú vybavené funkciou vyplnenia koncového kráteru. Nastavené hodnoty je možné ukladať do pamäti a späťne vyvolávať (Obr.12).



Obr.12. Zvárací zdroj

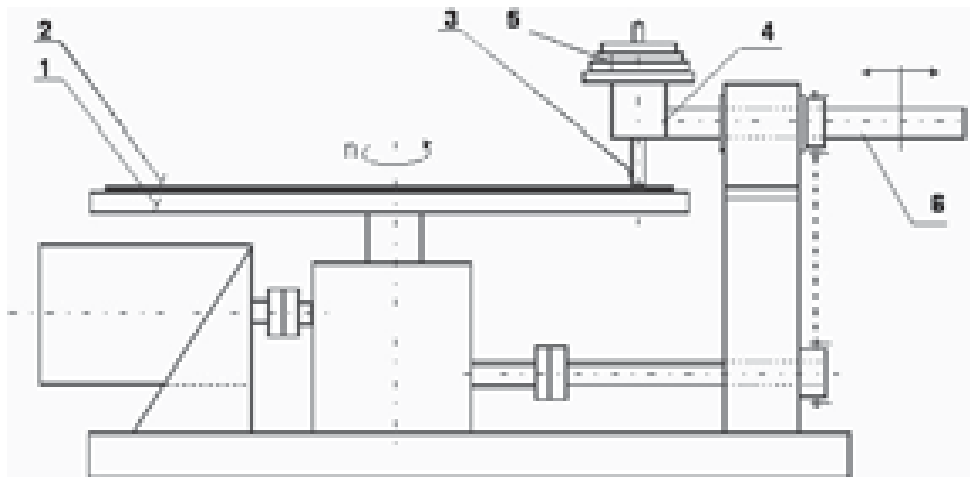
Tab.7. Technické parametre zváracieho zdroja

Technické dáta	STEL HI-MIG 500P
Napájacie napätie 50/60 Hz	3 x 380/415 V
Účinnosť (35% ED)	0,9
Rozsah zváracieho prúdu A	5-500
Napätie na prázdno V	75
Zaťažovateľ 100 % A	380
Zaťažovateľ 60 % A	-
Zaťažovateľ 40% A	500
Sieťový prúd/príkon 60%	35A/21 KVA
Vinutie	Cu
Chladenie	vzduchom/vodou
Posuv drôtu	4-kladka
Rýchlosť podávania	1-20 m/min
Priemer drôtu oceľ - nerez	0,8 - 1,6
Priemer drôtu - hliník	0,8-1,6
Priemer drôtu - trubička	0,8 - 2
Krytie	IP 23
Normy	ISO/IEC 60974-1, EN 50190
Rozmery DxŠxV mm	600x300x560
Hmotnosť kg	45

Skúšobné zariadenie, na ktorom boli vykonané skúšky na získanie hodnôt úbytku materiálu proti abrazívnemu opotrebeniu je zhotovené podľa normy STN 01 5084. Toto zariadenie sa nachádza na Katedre kvality a strojárenských technológií Technickej fakulty.

Cieľom skúšok bolo získanie hmotnostných úbytkov materiálu proti abrazívnemu opotrebeniu na prístroji s brúsnym platnom za podmienok predpísaných touto normou. Celková pomerná odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu je základným kritériom pre hodnotenie materiálov v laboratórnych podmienkach stanovených normou STN 01 5084.

Skúšobný prístroj s brúsnym platnom sa skladá z rovnomerne sa otáčajúcej vodorovnej dosky (1), na ktorú sa opevňuje brusne plátno (2). Skúšobne teleso (3) je fixované upínacou hlavicou (4) a je pritlačené k brúsnemu plátnu silou vyvolanou závažím (5). Ďalej pozostáva zo zariadenia umožňujúci radiálny posuv vzorky (6) a z koncového spínača. Skúšobne teleso je v priebehu skúšky posúvané od stredu ku kraju brúsneho plátna a časťou svojho povrchu prichádza neustále do kontaktu s nepoužitým brúsnym platnom.



Obr. 11. Schéma skúšobného zariadenia podľa normy STN 01 5084

3.3 Príprava vzoriek na naváranie a samotné naváranie

Materiál, ktorý sme vybrali pre laboratórne skúšky bol z ocele 12 050 tyčovitého tvaru o priemere 10 mm. Napílili sme si oceľ na potrebné dĺžkové rozmery 30 mm na pásovej píle. Následne sme vzorky očistili od oceľových častíc a odmastili technickým benzínom.

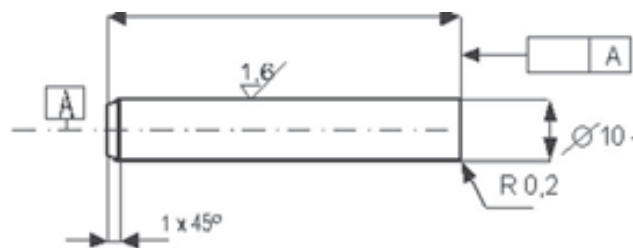
Príprava pred naváraním spočívala v zabezpečení uchytenia naváracej elektródy a optimálneho nastavenia zvaracieho prúdu na navarenie vzoriek. Nastavenie zvaracieho prúdu bol individuálny pre každú naváracu elektródu z dôvodu rôznych priemerov elektród. Nastavili sme si zvarací prúd v tolerancii, ktorú odporúčal výrobca.

Do zveráka na pracovnom stole sme uchytovali vzorky ocele 12 050, na ktoré sme následne vytvárali návary. Aby sme zabránili premiešaniu vzoriek zabezpečili sme si plechové nádoby, ktoré sme si označili príslušnou elektródou. Po vychladnutí sme vzorky očistili 4- radovým drôteným kartáčom s drevenou rúčkou (\varnothing drôtu 0,3 mm). Po ich očistení sme začali prípravu vzoriek na skúšku.

Vzorky ktoré, sme potrebovali na meranie tvrdosti sme si pripravili zo základného materiálu oceľ 12 050, z ktorého sme si na pásovej píle s pomocou chladiacej emulzie, aby nedošlo k tepelnému ovplyvneniu materiálovej vzorky, vyrobili vzorky potrebných rozmerov 100 x 40 x 10 mm. Tieto vzorky sme si označili vyrazením čísla a odmastili technickým benzínom.

3.4 Príprava vzoriek pre meranie podľa STN 01 5084

Pre skúšku abrazívneho opotrebenia na prístroji s brúsnym plátnom je potrebná vzorka o priemere \varnothing 10 mm x 30 mm. Dĺžka vzorky však môže byť 30 až 70 mm (Obr.13).



Obr.13. Tvar vzorky na skúšku abrazívneho opotrebenia

3.5 Podmienky pri skúške

- brúsne plátno Globus 100
- priemer kotúča 480 mm
- trecia rýchlosť 0,15-0,48 m/s max. 0,5 m/s
- priečny posuv na otáčku 3 mm
- dĺžka trecej dráhy 50 m
- veľkosť prítlačného tlaku 0,32 Mpa
- skúšobná vzorka \varnothing 10 mm
- etalón oceľ 12 014.20

3.6 Postup skúšky na skúšobnom zariadení

Povrch návaru vzorky bol po navarení nesúbežný a na základe tohto javu sme museli všetky vzorky prebrúsiť aby sme zmiernili nerovnosti. Hmotnosť vzorky sme zistili na laboratórnej elektrickej váhe Precisa 205A s presnosťou 1×10^{-4} g. Potom sme vzorku upli do upínacej hlavice a na rovnomerne otáčajúcu vodorovnú dosku zariadenia sme pripevnili brúsne plátno Globus 100 o priemere 480 mm. Následne sme upínaciu hlavu zachytili pomocou vodiacich drážok skúšobného zariadenia. Zariadenie sme dali na začiatočnú polohu, nastavili sme potrebnú veľkosť prítlačného tlaku 0,32 MPa a pomocou elektrického ovládania sme spustili zariadenie s trecou rýchlosťou 0,15-0,48 m/s. Po ubehnutí trecej dráhy 50 m sa prístroj sám zastavil pomocou spínača.

Vybrali sme upínaciu hlavicu zo zariadenia, povolili sme vzorku ktorú sme očistili od prachových častíc a odvážili na laboratórnej váhe. Hodnotu sme zapísali do tabuľky a z hodnôt sme už dokázali vypočítať úbytok materiálu prvej vzorky. Ten sme vypočítali tak, že sme tieto hodnoty od seba odčítali. Pokračovali sme s ďalšou vzorkou tak, že sme najskôr vymenili brúsne plátno a potom upevnili vzorku, tak ako pri prvom skúšaní. Tento postup sme opakovali až kým sme nenamerali všetky vzorky.

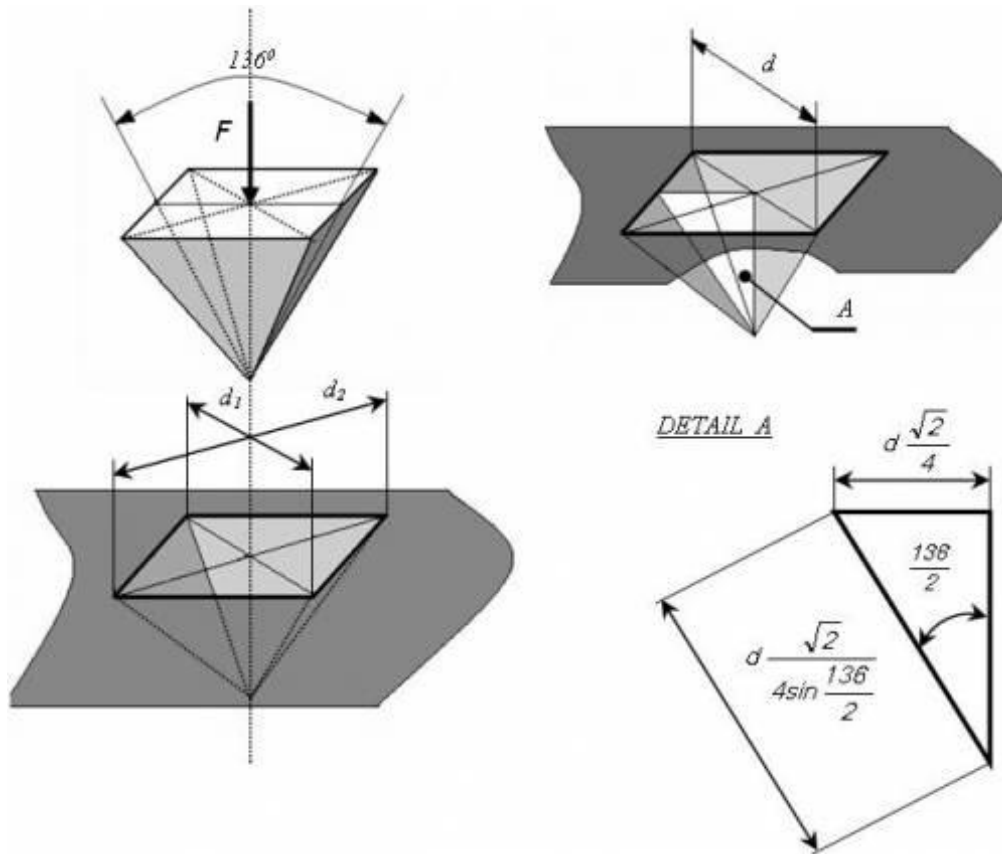
3.7 Meranie tvrdosti návarov a základného materiálu

Postup merania bol nasledovný: Vzorky ktoré sme mali nachystané sme očistili drôteným kartáčom s drevenou rúčkou (\varnothing drôtu 0,3 mm). Následne sme si naznačili kadiaľ vzorku rozpílime prístrojom Minosecar 2 ktorý je chladený chladiacou emulziou ktorá ma zabrániť tepelnému ovplyvneniu vzorky. Prístroj sa nachádza na Katedre kvality a strojárnských technológií Technickej fakulty.

Po tomto procese sme vzorky očistili a brúsili na brúsnom platne Globus 100, kde na jednom plátne sme brúsili maximálne dve vzorky. Všetky vzorky sme takto obrúsili a potom sme si zmenili veľkosť zrn brúsneho papiera použitím Globus 240. Na tomto brúsnom plátne sme opäť prebrúsili všetky vzorky a už pri prvej vzorke bolo voľným okom vidieť rozdiel v drsnosti povrchu. Avšak sme nedosiahli potrebnú povrchovú úpravu, tak sme zvolili ešte jemnejšie brúsne plátno Globus 400. S týmto plátnom sme sa priblížili k požadovanej úprave preto sme sa snažili získať na povrchu brúsenej ploche jednu rovínu. Potom sa vzorky leštili a leptali.

Takto upravené vzorky sme merali tvrdometrom typového označenia HPO 250 pri zaťažení HV10 Zaťažujúca sila bola 98N a doba zaťaženia maximálne 15 s.

Podstata skúšky je taká, že sa používa diamantové vnikacie teleso v tvare štvorbokého ihlana s vrcholovým uhlom protiľahlých plôch 136° . Vtláčaním takéhoto skúšobného telesa zaťažením F po stanovený čas vznikne v skúšanom materiáli vtlačok v tvare ihlana (*Obr.14*). Na určenie hodnoty tvrdosti je potrebné odmerať uhlopriečky podstavy vtlačku. Tvrdosť podľa Vickersa sa označuje HV.

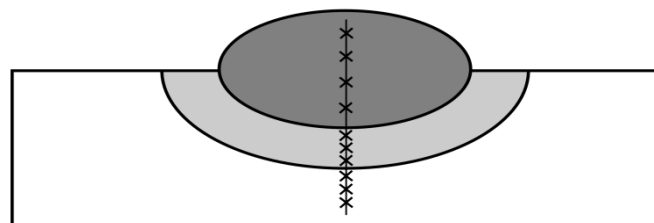


Obr.14. Princíp merania tvrdosti podľa Vickersa,

Merania tvrdosti, ktoré sme robili pomocou tejto metódy boli praktizované na vzorkách návarovej húsenky a na skúšobných tyčkách vyrobených pre skúšku abrazívnej odolnosti.

Návarová húsenka -12 vtlačkov (*Obr.15*)

Skúšobná tyčka – 2 vtlačky



Obr.15. Návarová húsenka na lemeši.

4. VÝSLEDKY PRÁCE

4.1 Výsledky triboskúšky

Všetky namerané hodnoty sme spracovali do prehľadných tabuliek a z týchto hodnôt sme urobili grafy.

Tab.8. Hmotnostné úbytky skúšobných vzoriek Citodur 600 B

Citodur 600 B	Hmotnosť vzorky, (g)		Úbytok materiálu, (g)	Ψ abr.
	Pred brúsením	Po brúsení	Rozdiel (pred-po)	
1-vrstva	20,6186	20,4201	0,1985	1,841
	20,3248	20,1246	0,2002	1,826
	20,1223	19,9219	0,2004	1,824
Priemer	20,3552	20,1555	0,1997	1,830
2-vrstva	21,1245	20,9592	0,1653	2,211
	21,5489	21,3857	0,1632	2,240
	21,3674	21,1975	0,1699	2,151
Priemer	21,3469	20,1555	0,1661	2,201
3-vrstva	21,0291	20,8727	0,1564	2,337
	21,5983	21,4421	0,1562	2,340
	21,4573	21,3057	0,1516	2,411
Priemer	21,3616	21,2068	0,1547	2,363

Tab.9. Hmotnostné úbytky skúšobných vzoriek Citodur V-1000

Citodur V-1000	Hmotnosť vzorky ,(g)		Úbytok materiálu, (g)	Ψ abr.
	Pred brúsením	Po brúsení	Rozdiel (pred-po)	
1-vrstva	20,8441	20,6689	0,1752	2,086
	20,5892	20,4135	0,1757	2,080
	20,5746	20,4027	0,1719	2,126
Priemer	20,6693	20,4950	0,1743	2,097
2-vrstva	21,1949	21,0448	0,1501	2,435
	20,3547	20,1951	0,1596	2,290
	20,8541	20,7024	0,1517	2,409
Priemer	20,8012	20,6474	0,1538	2,378
3-vrstva	20,5892	20,4639	0,1253	2,917
	21,2457	21,1148	0,1309	2,792
	20,9621	20,8347	0,1274	2,869
Priemer	20,9323	20,8045	0,1279	2,859

Tab 10. Hmotnostné úbytky skúšobných vzoriek TOOL FRO

TOOL FRO	Hmotnosť vzorky, (g)		Úbytok materiálu,(g)	Ψ abr.
	Pred brúsením	Po brúsení	Rozdiel (pred-po)	
1-vrstva	20,5321	20,2884	0,2437	1,499
	20,4587	20,2178	0,2409	1,517
	20,8214	20,5785	0,2429	1,505
Priemer	20,6041	20,3616	0,2425	1,507
2-vrstva	20,7158	20,4947	0,2211	1,653
	20,6521	20,4328	0,2193	1,667
	20,8423	20,6207	0,2216	1,649
Priemer	20,7367	20,5161	0,2207	1,656
3-vrstva	20,7543	20,5532	0,2011	1,818
	20,6214	20,4215	0,1999	1,828
	20,4239	20,2321	0,1918	1,906
Priemer	20,5999	20,4023	0,1976	1,851

Tab. 11. Hmotnosti vzoriek základného materiálu 12 050 a 12 014.20 , hmotnostné úbytky

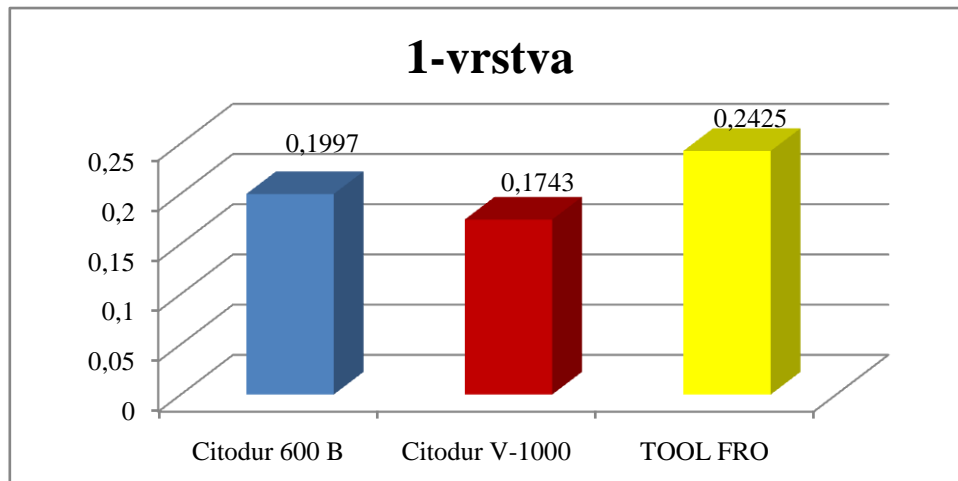
OCEĽ 12 050	Hmotnosť vzorky v (g)		Úbytok materiálu	Ψ abr.
	Pred brúsením	Po brúsení		
	28,7583	28,4661	0,2922	1,251
	28,4661	28,1858	0,2803	1,304
	28,1858	27,9067	0,2791	1,310
Priemer	28,4701	28,1862	0,2839	1,288
ETALÓN 12 014.20	23,2902	22,9254	0,3648	
	22,9354	22,5791	0,3563	
	22,5891	22,2137	0,3754	
Priemer	22,9382	22,5727	0,3655	1

Tab. 12. Priemerné hmotnostné úbytky v gramoch jednotlivých materiálov

PRIEMER ÚBYTKU	1-vrstva	2-vrstva	3-vrstva
Citodur 600 B	0,1997	0,1661	0,1547
Citodur V-1000	0,1743	0,1538	0,1279
TOOL FRO	0,2425	0,2207	0,1976
ocel' 12050	0,2839		
etalón 12 014.20	0,3655		

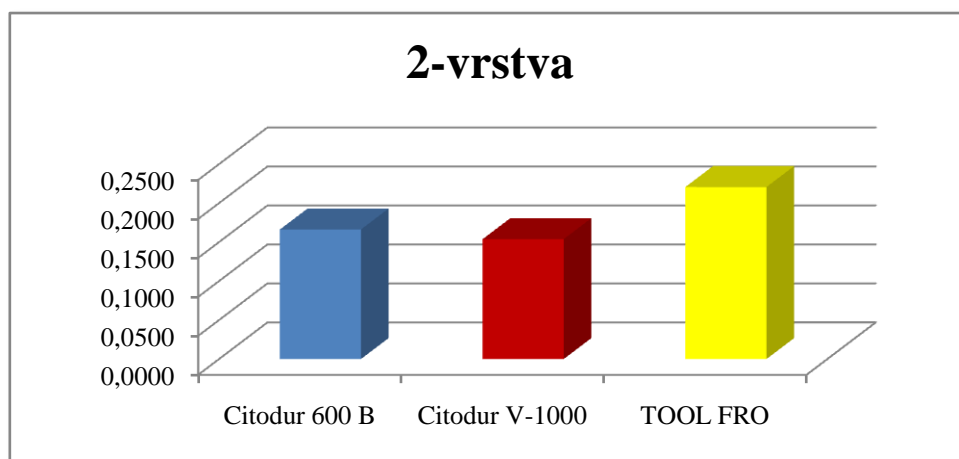
4.1.2 Grafické vyhodnotenie triboskúšky

Z nameraných úbytkov hmotnosti materiálových vzoriek sme vypočítali aritmetické priemery. Hodnoty priemerov vzoriek a etalónu sme porovnávali pomocou pomernej odolnosti proti opotrebeniu ψ_{abr} , ktorá sa vypočíta podľa vzorca uvedeného v norme pre stanovenie odolnosti kovových materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu na brusnom platne – STN 01 5084.



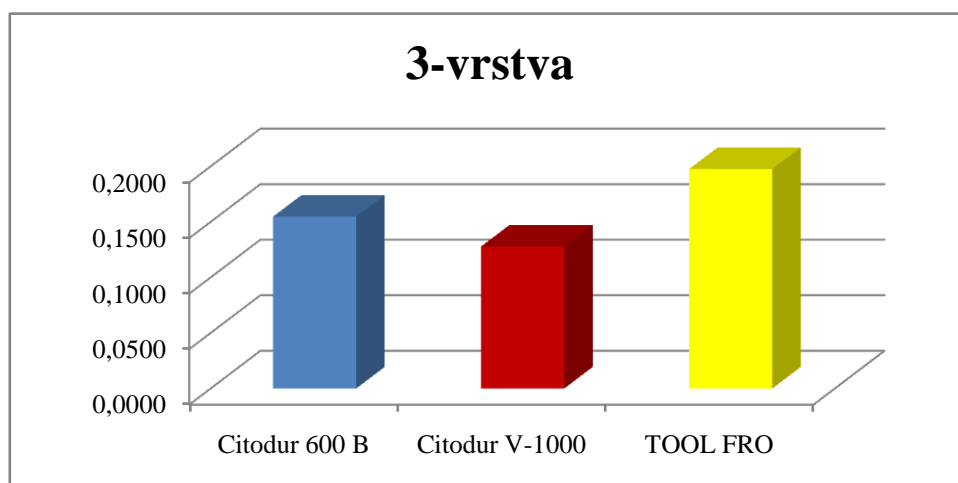
Graf 1. Úbytok hmotnosti materiálu pri naváraní elektródami v prvej vrstve

Na grafe č. 1 vidíme, že najväčší hmotnostný úbytok má vzorka TOOL FRO. Potom nasleduje vzorka Citodur 600 B a najmenší hmotnostný úbytok má vzorka Citodur V- 1000.



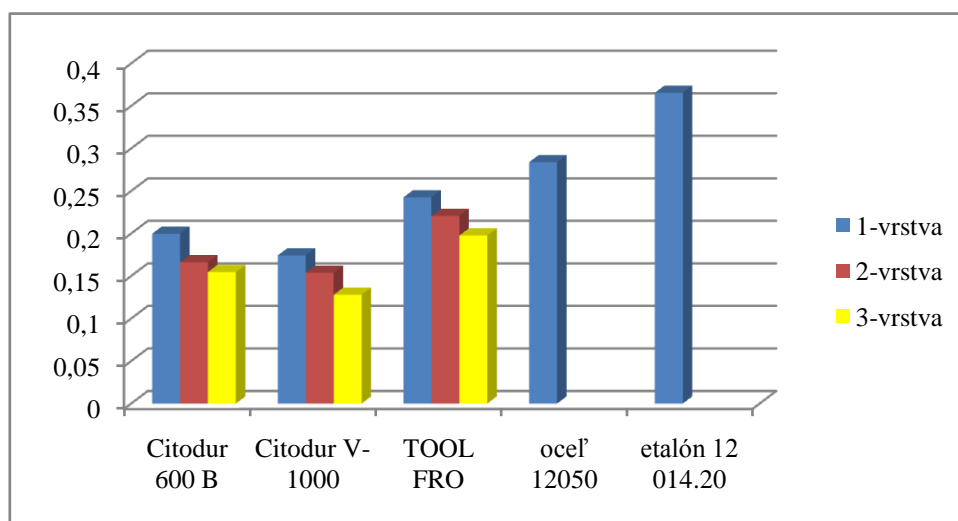
Graf 2. Úbytok hmotnosti materiálu pri naváraní elektródami v druhej vrstve

Aj na grafe č. 2 vidíme, že najväčší hmotnostný úbytok má vzorka TOOL FRO. Taktiež potom nasleduje vzorka Citodur 600 B a najmenší hmotnostný úbytok má vzorka Citodur V- 1000.



Graf 3. Úbytok hmotnosti materiálu pri naváraní elektródami v tretej vrstve

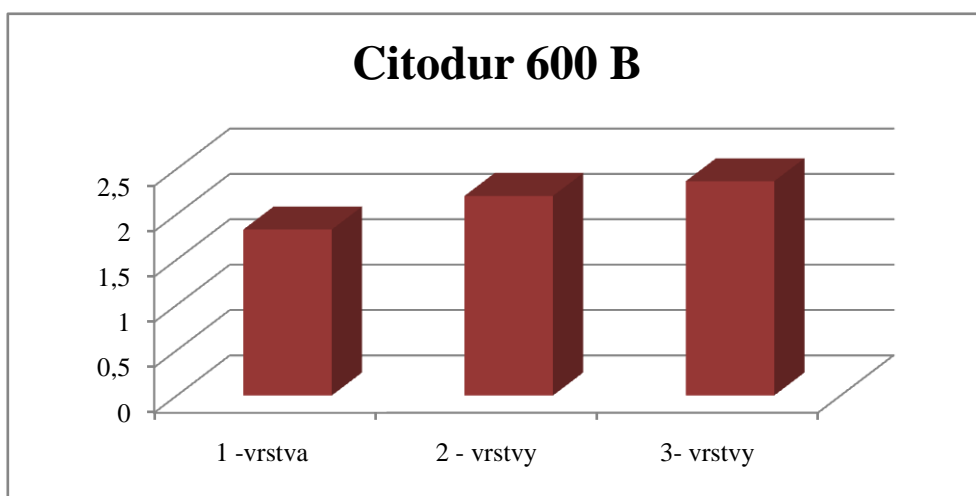
Aj na grafe č. 3 vidíme, že najväčší hmotnostný úbytok má vzorka TOOL FRO. Taktiež potom nasleduje vzorka Citodur 600 B a najmenší hmotnostný úbytok má vzorka Citodur V- 1000.



Graf 4. Porovnanie úbytkov hmotnosti materiálu pri naváraní elektródami v jednotlivých vrstvách s 12 050 a 12 014.20

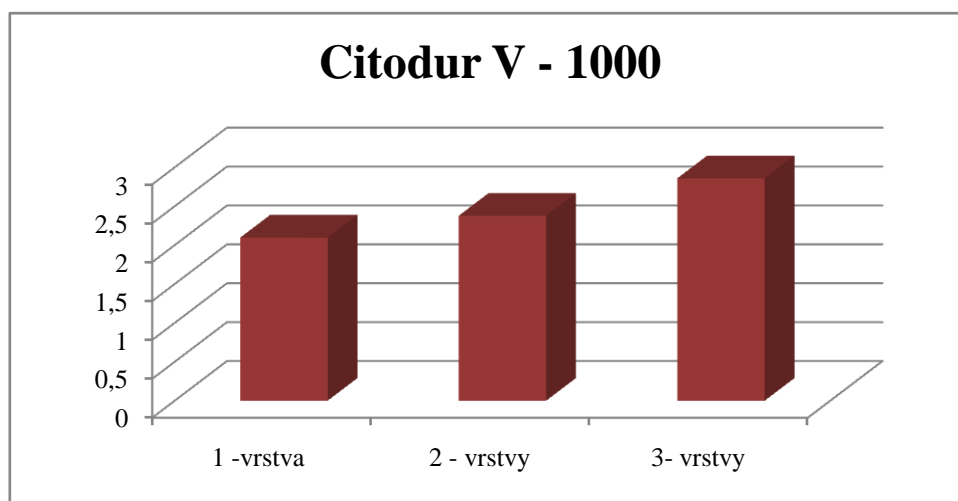
Na grafe č. 4 sme porovnali hmotnostné úbytky materiálov všetkých vzoriek v jednotlivých vrstvách návaru so základným materiálom oceľ 12 050 a etalónom 12 014.20. Celkovo s porovnávaných vzoriek má najväčší hmotnostný úbytok materiálu etalón, po ňom nasleduje oceľ 12 050, potom je to TOOL FRO, následne Citodur 600 B a najmenší hmotnostný úbytok materiálu má Citodur V -1000.

4.1.3 Grafické vyhodnotenie pomernej odolnosti proti opotrebeniu



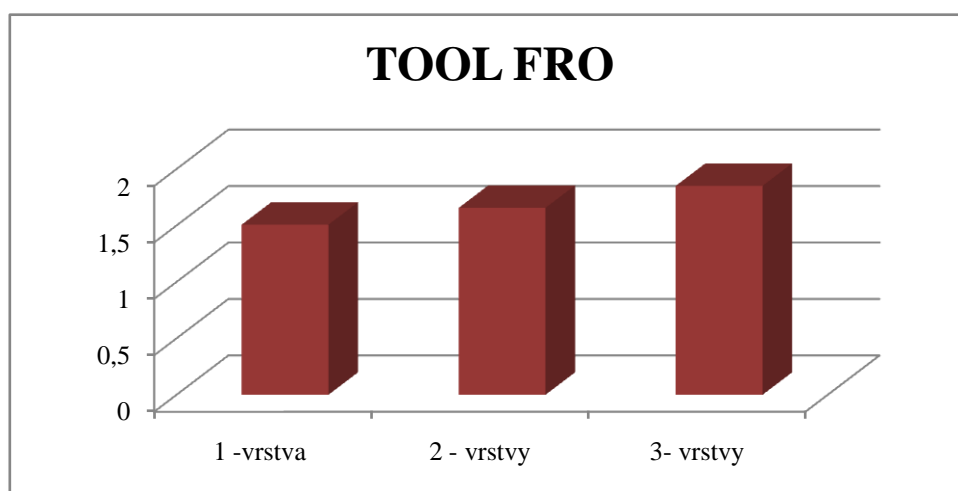
Graf 5. Pomerná odolnosť proti opotrebeniu

V grafe č. 5 vidíme rastúcu pomernú odolnosť proti opotrebeniu s pribúdajúcimi jednotlivými vrstvami návaru u elektródy Citodur 600 B.



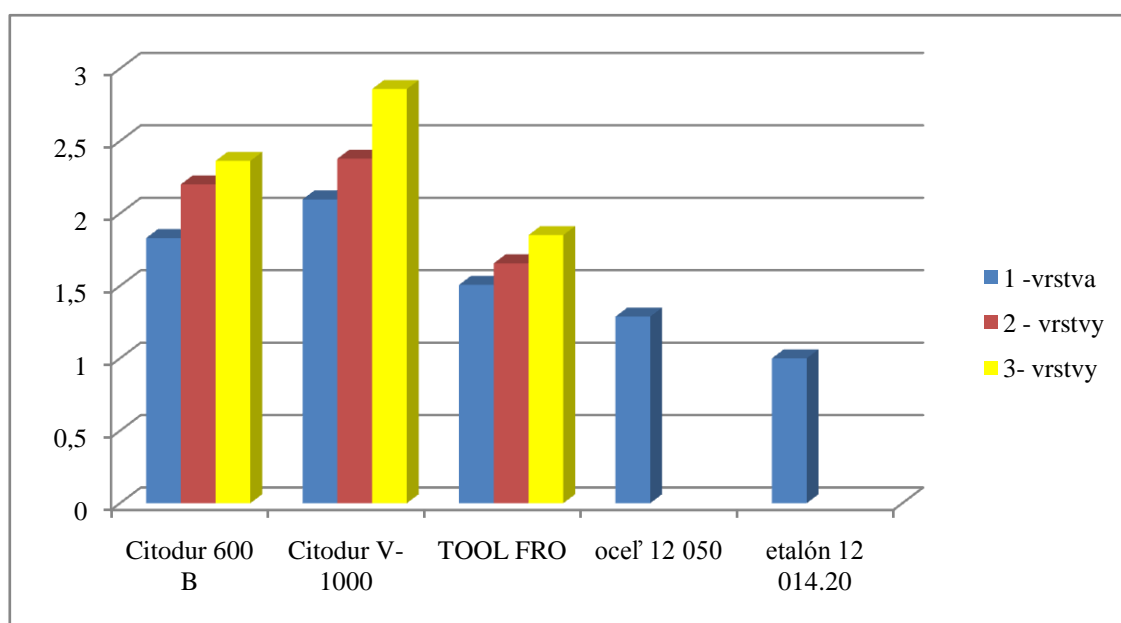
Graf 6. Pomerná odolnosť proti opotrebeniu

V grafe č. 6 vidíme rastúcu pomernú odolnosť proti opotrebeniu s pribúdajúcimi jednotlivými vrstvami návaru u elektródy Citodur V- 1000.



Graf 7. Pomerná odolnosť proti opotrebeniu

V grafe č. 7 vidíme rastúcu pomernú odolnosť proti opotrebeniu s pribúdajúcimi jednotlivými vrstvami návaru u elektródy TOOL FRO.



Graf 8. Porovnanie pomernej odolnosti proti opotrebeniu

Koeficient pomernej odolnosti proti opotrebeniu mal najvyšší prídavný materiál Citodur V-1000 a to v trojvrstvom návare, kde sme namerali hodnotu HV 10 64 HRC. Najnižší koeficient s porovnávaných vzoriek sme zaznamenali u materiálu TOOL FRO a to u jednovrstvového návaru.

4.2 Meranie tvrdosti HV 10 na valčekoch

Na meranie tvrdosti návarovej vrstvy sme použili skúšobné vzorky zo skúšky abrazívnej odolnosti materiálu. Každú vzorku sme merali 2-krát pomocou tvrdometru typu Vickers HPO 250. Namerané hodnoty sme zapísali do tabuliek a vyhodnotili pomocou grafov.

Tab.13. Tvrdosti Citodur 600 B

Citodur 600 B	1- meranie	2-meranie	Priemer
1- vrstva	535	529	532,0
	507	542	
	516	563	
2- vrstva	713	762	739,5
	734	721	
	715	792	
3- vrstva	907	864	861,3
	820	858	
	818	901	

Tab. 14. Tvrdosti Citodur V-1000

Citodur V-1000	1- meranie	2-meranie	Priemer
1- vrstva	390	493	452,8
	464	478	
	450	442	
2- vrstva	519	803	699,8
	599	743	
	792	743	
3- vrstva	872	820	807,0
	819	746	
	772	813	

Tab.15. Tvrdości TOOL FRO

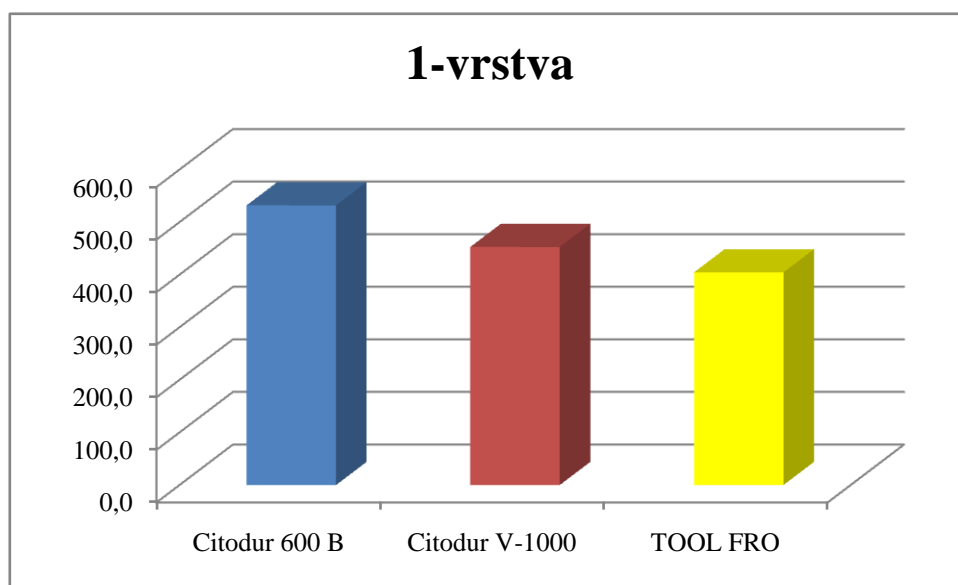
TOOL FRO	1- meranie	2-meranie	Priemer
1- vrstva	409	406	404,5
	391	426	
	403	392	
2- vrstva	832	782	819,2
	848	837	
	819	803	
3- vrstva	870	924	896,7
	906	858	
	906	916	



Obr. 16. Vzorky navarených valčekov

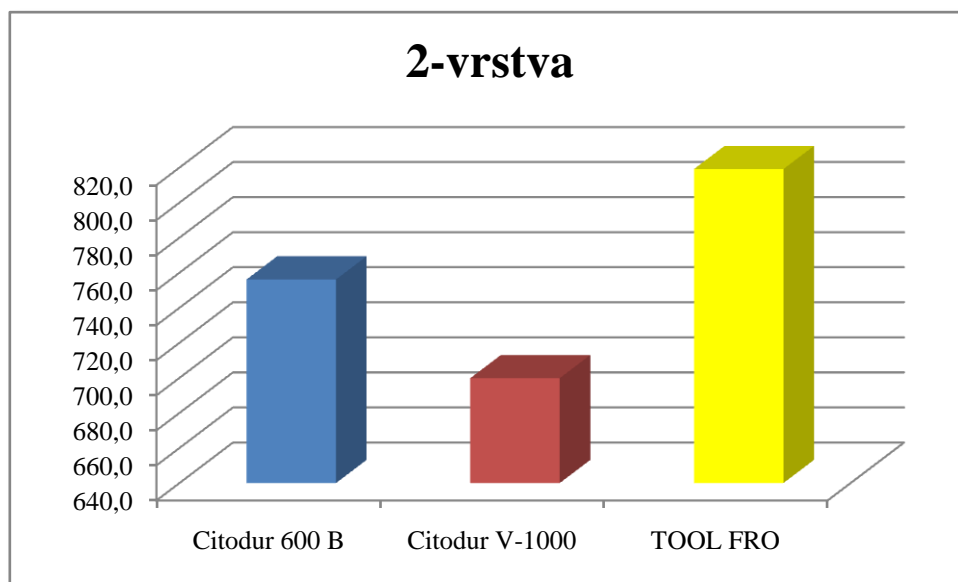
Na obrázku č. 16 vidíme vyhotovené vzorky navarovaných na valčeky. Vľavo je Citodur 600 B v strede sú vzorky Citodur V-1000 a vpravo TOOL FRO.

4.2.1 Grafické vyhodnotenie tvrdosti HV 10 na valčekoch



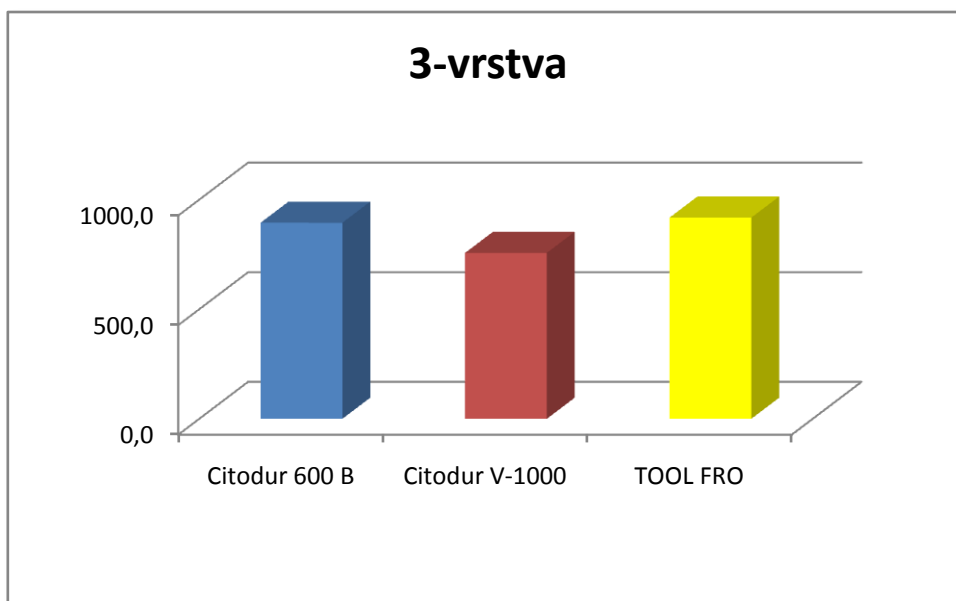
Graf 9. Tvrdosti HV 10 návarových materiálov 1-vrstva

Na grafe č. 9 vidíme, že Citodur 600 B ma najvyššiu tvrdosť. Po ňom nasleduje Citodur V-1000 a najnižšiu tvrdosť sme namerali u TOOL FRO.



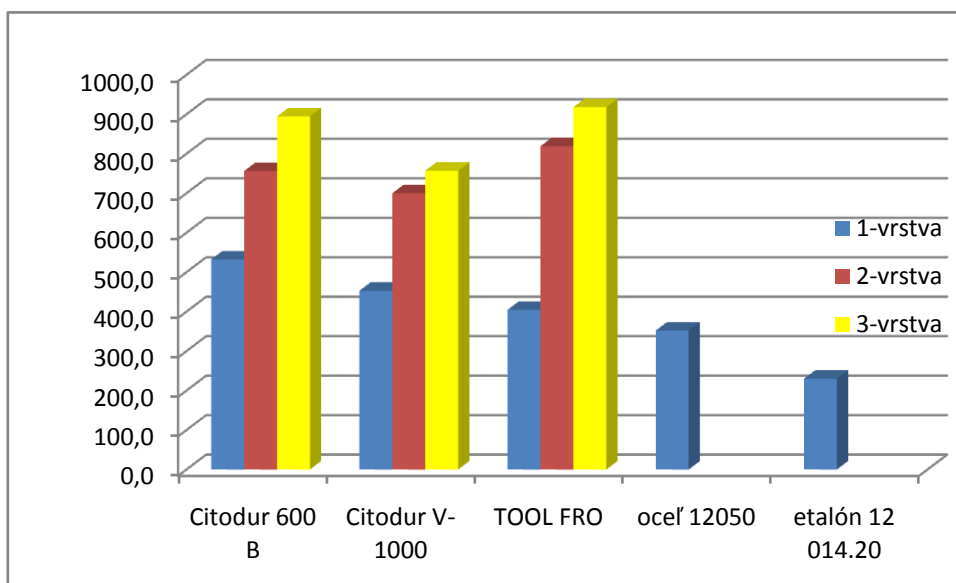
Graf 10. Tvrdosti HV 10 návarových materiálov 2-vrstva

Na grafe č. 10 vidíme, výraznú najvyššiu tvrdosť TOOL FRO. Po ňom nasleduje Citodur 600 B. Najnižšiu tvrdosť v druhej vrstve sme namerali u Citodur V-1000.



Graf 11. Tvrdości HV 10 návarových materiálov 3-vrstva

Na grafe č. 10 vidíme, najvyššiu tvrdość TOOL FRO. Po ňom nasleduje Citodur 600B. Najnižšiu tvrdość sme namerali u Citodur V-1000.



Graf 12 Porovnanie tvrdości HV 10 návarových materiálov v jednotlivých vrstvách s 12 050 a 12 014.20

Na grafe č. 11 vidíme porovnanie skúšaných vzoriek vo všetkých vrstvách so základným materiálom oceľ 12 050 a etalónom 12 014.20. Najvyššiu tvrdość v tretom návare má TOOL FRO. Po ňom nasleduje Citodur 600B. Najnižšiu tvrdość v tretom návare sme namerali u Citodur V-1000. Zaujímavosťou je, že TOOL FRO má najvyššiu tvrdość v tretom návare a zároveň má najnižšiu v prvom návare s pomedzi skúšaných vrstiev.

4.3 Meranie tvrdosti HV 10 húsenka

Na meranie tvrdosti návarovej vrstvy sme použili skúšobné vzorky, ktoré sme si vopred pripravili. Každú vzorku sme merali 12-krát pomocou tvrdometru typu Vickers HPO 250. Namerané hodnoty sme zapísali do tabuliek a vyhodnotili pomocou grafov.

Tab. 16. Rozloženie vtlačkov v jednotlivých materiáloch.

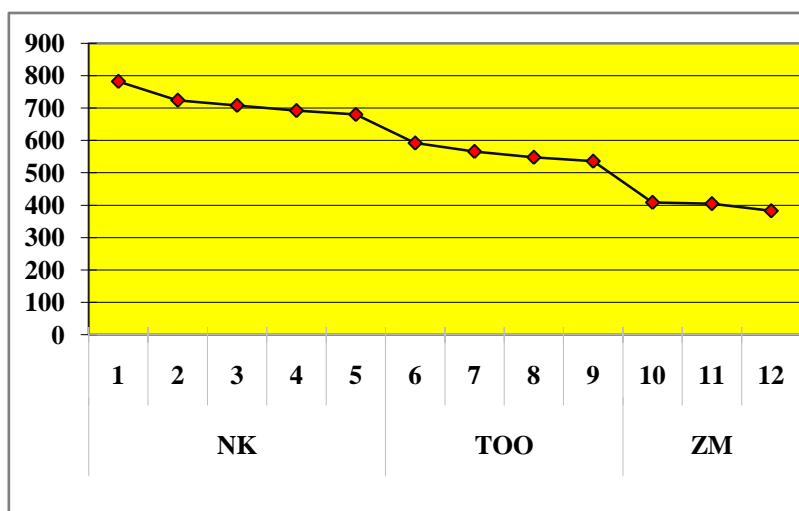
Rozloženie vtlačkov	Poradie	Prídavný materiál		
		Citodur 600 B	Citodur V-1000	TOOL FRO
NK	1	782	715	858
	2	724	681	814
	3	708	634	782
	4	692	627	724
	5	680	613	707
TOO	6	592	548	620
	7	566	525	606
	8	548	519	592
	9	536	493	572
ZM	10	409	401	421
	11	405	394	376
	12	383	371	360



Obr. 17. Vzorky navarenej húsenky.

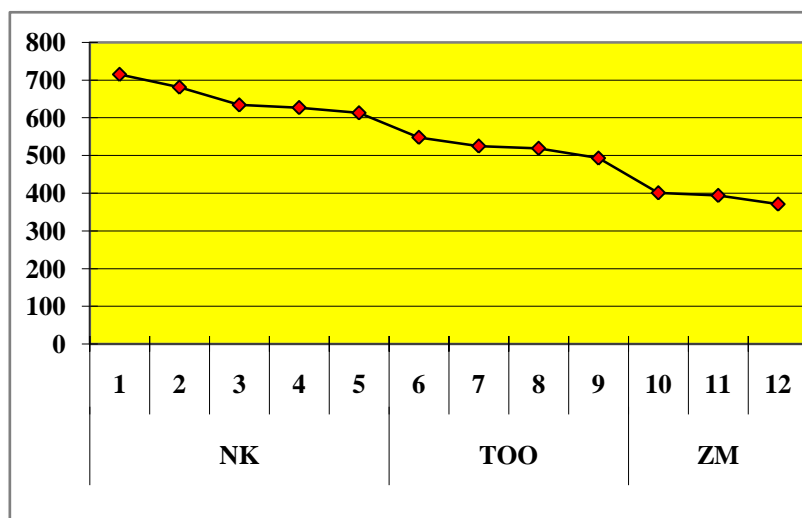
Na obrázku vidíme zdola citodur 600 B, v strede citodur V-1000, najvyššie TOOL FRO.

4.3.1 Grafické vyhodnotenie tvrdosti HV 10 húsenka



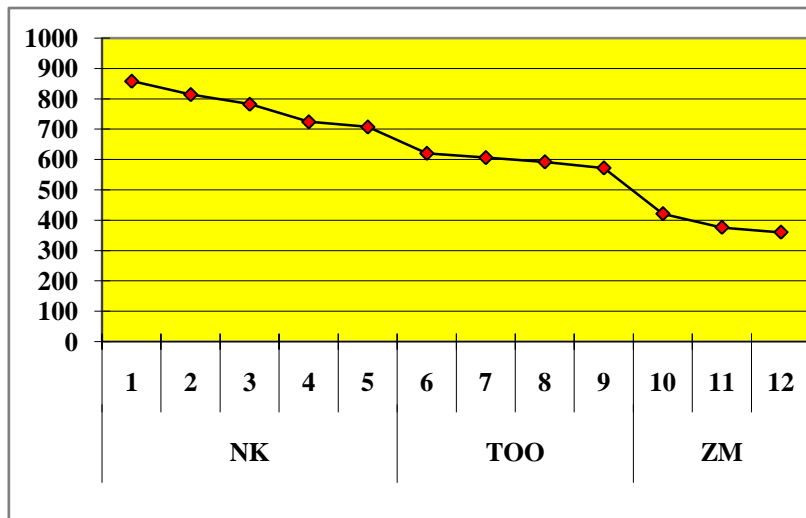
Graf 13. Pribeh tvrdosti Citodur 600 B

Na grafe č. 13 vidíme pribeh tvrdosti húsenky Citodur 600 B. Výraznejší pokles vidíme na hraniciach medzi NK a TOO a na hraniciach TOO a ZM.



Graf 14. Pribeh tvrdosti Citodur V-1000

Na grafe č. 14 vidíme pribeh tvrdosti húsenky Citodur V –1000. Mierne klesanie tvrdosti vidíme od vrcholu NK až po koniec TOO. Medzi TOO a ZM vidíme výraznejší pokles tvrdosti húsenky.



Graf 15. Priebch tvrdosti TOOL FRO

Na grafe č. 15 vidíme priebch tvrdosti húsenky TOOL FRO. Najvyšší rozdiel tvrdosti je na hraniciach medzi TOO a ZM.

5. DISKUSIA A NÁVRH NA VYUŽITIE POZNATKOV

V diplomovej práci sme zistili, že opotrebovanie ako samotný proces znižuje kvalitu kovových častí pôduspracujúcich nástrojov. Keďže kvalita je v dnešnej dobe vysoko požadovaná je nevyhnutné aby sme predchádzali opotrebeniu ako aj sústredeniu na znižovanie nepriaznivých dopadov opotrebenia. Opotrebovanie nástrojov spôsobuje rast odporov, vibrácií, vzrast teploty a tým vzniká ďalšie urýchlenie procesov opotrebovania. Pri špecifickom abrazívnom opotrebení v pôde dochádza k rozrušovaniu povrchu, kde majú rozhodujúcu úlohu tvrdosť štruktúry a pevnosť spojenia medzi štruktúrnymi zložkami navzájom na hraniciach zŕn. V našej práci sme merali ako prvý úbytok hmotnosti materiálu.

Najväčší úbytok hmotnosti materiálu sme zistili u elektródy TOOL FRO preto, by sme túto elektródu neodporúčali pre naváranie materiálov na vysoké abrazívne opotrebenie. Najnižší úbytok sme zaznamenali u elektródy Citodur V-1000 a to v tretej vrstve návaru. Táto elektróda je najvhodnejšia s pomedzi vybraných druhov na úbytok hmotnosti materiálu v abrazívnom opotrebení. V prvých vrstvách sme zaznamenali najvyššie úbytky ktoré postupne klesali s pribúdajúcimi vrstvami návarov.

Ako druhé sme zisťovali pomernú abrazívnu odolnosť. S porovnávaných vzoriek pomernej abrazívnej odolnosti mala najnižší koeficient elektródy TOOL FRO. Najlepšiu abrazívnu odolnosť sme zistili v tretom návare elektródy Citodur V -1000. Pri druhom návare tejto elektródy sme zistili približnú hodnotu ako v tretom návare Citodur 600 B. Prvý návar tejto vzorky je len o 0,021 menší ako v tretej vrstve TOOL FRO. Najvyšší obsah Cr mala vzorka Citodur V-1000, ktorý mal hodnotu Cr 35. Pričom Citodur 600 B mal hodnotu Cr 7 a TOOL FRO len Cr 4,50. Na základe týchto výsledkov by sme odporúčali na naváranie funkčných plôch abrazívne opotrebovaných strojových častí elektródu Citodur V- 1000.

Zaujímavosťou porovnania tvrdosti HV 10 vybraných materiálov bolo, že sme namerali v jednovrstvovom návare najnižšiu hodnotu tvrdosti 404,5 HV10 čo je približne 41 HRC a zároveň v trojvrstvovom návare sme namerali najväčšiu hodnotu 896,7 HV 10 čo je približne 67 HRC. Tieto merania boli zaznamenané u elektródy TOOL FRO. Výrobca udáva 2.vrstve dosiahnuteľnú tvrdosť 63-65 HRC. My sme to v druhej vrstve potvrdili, vzhľadom na to, že sme namerali priemernú hodnotu 819,2 HV 10. U elektródy Citodur 600 B výrobca udáva 57-62 HRC, my sme namerali v tretej vrstve až 66 HRC čo mohlo byť zapríčinené nulovým premiešaním ZM a NK. Môžeme konštatovať 100% kryciu vrstvu NK.

Prípadné nepresnosti hodnôt mohli byť zapríčinené pri výrobe vzoriek, keď pri naváraní elektródou mohli vzniknúť defekty spojené s celistvosťou povrchu v závislosti od

chemického zloženia ocelí. Aby sme ale k takýmto nepresnostiam predišli, vyhotovili sme si väčšie množstvo vzoriek a tým sme získali aj viac nameraných hodnôt.

Výskumy v tejto oblasti ešte potrebujú dostatok vedeckých meraní, pričom je potrebné sa tejto problematike venovať aj naďalej. Vedecký prínos diplomovej práce spočíva vo vyhodnotení laboratórnych skúškach vybraných navárových materiálov v tribologických podmienkach.

6. ZÁVER

Na záver by sme radi uviedli tú skutočnosť, že v súčasnom období má veľký význam širšie sa zaoberať otázkami aplikácie zvaračských technológií pre naváranie, pretože tieto umožňujú veľmi efektívne šetriť základné materiály, suroviny a energiu, predovšetkým v oblasti údržby základných prostriedkov, najmä opakovaným nanášaním tvrdých vrstiev. Zámerom diplomovej práce bolo, aby sme prispeli pomocou laboratórnej analýzy vybraných navarových materiálov k riešeniu tribologických procesov a abrazívnemu opotrebeniu prebiehajúcich v povrchových vrstvách kovových materiálov. Metodologicky bola práca nasmerovaná k získaniu hodnôt zo vzoriek a následného vyhotovenia grafov. Medzi skúmanými vzorkami sme zistili rozdiely, ktoré mohli byť zapríčinené odlišnými smernými chemickými zloženiami jednotlivých návarových elektród.

Skúškou na brúsnom plátne podľa STN 01 50 84 sme zistili, že najodolnejšia elektróda je Citodur V – 1000, a to vo všetkých troch vrstvách návaru. Túto elektródu môžeme odporučiť na vysokooterovzdorné návary a je vhodná na diely strojov, na ktoré pôsobí vysoký oter minerálov. Najmenej odolnejšia pre skúšku na brusnom plátne bola TOOL FRO. Túto elektródu neodporúčame pre materiály s vysokým oterom.

Skúškou na meranie tvrdosti HV 10 sme zistili, že najtvrdší návar dosiahneme v tretej vrstve TOOL FRO. Za povšimnutie stojí fakt, že Citodur 600 B sa v tretej vrstve priblížil k tejto tvrdosti na rozdiel 83,4 HV 10.

Verím, že získané poznatky budú mať širšie uplatnenie v oblasti tribológie a hlavne pri výbere návarových materiálov odolných voči abrazívnemu opotrebeniu v pôdnych podmienkach, a v konečnom dôsledku k predlžovaniu životnosti a spoľahlivosti funkčných častí strojov.

7. POUŽITÁ LITERATÚRA

Balla, J. *Náuka o materiáloch*. Nitra : SPU, 2003.

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

BALLA, J 1996. Opatrebeniu odolné vrstvy pre abrazívne opotrebenie. In EuroMetalWorking '96

BALLA. J.: Zemědělská technika. 33, 1987, s.501

Balla, J. – Kučera, M. – Slížik, D. 1991. Vlastnosti návarov a materiálov súčiastok poľnohospodárskych strojov. In *Acta Technologica Agriculturae XXXII*. Nitra : VŠP. 1992. S 123-137. ISBN 80-7137-052-5.

Blaškovič, P. - Balla, J. - Dzimko, M. 1990. *Tribológia*. Bratislava : Alfa, 1990. 360 s. ISBN 80-00633-0.

BLAŠKOVITŠ, P. – ČOMAJ, M. 2006. *Renovácia naváraním a žiarovým striekaním*. Bratislava : STU, 2006. 203s. ISBN 80-227-2482-3

BURWELL, J. T.: Wear. 1. 1957. s 125

GARKUNOV, D . N.: Tribotechnika, Moskva 1985

GRINBERG, N.A.- LIVŠIC, L. S.: Naplavka detalej robotajuščich v uslovijach abrazivnogo iznosa i udarnych nagruzok. Avtomatičeskaja svarka, 1962, č. 7

GRINBERG, N.A.- LIVŠIC, L. S. ŠČERBAKOVA, V.S.: Metalloed. i term. obrabotka metallov. 1971, č.9, s. 57

Hammad, M.M.S. – 1994 Degradáčné procesy kovových materialov v tribologických podmienkach. Dizertačná práca Nitra VŠP.1994 168 s

POPOV, V. S. – VASILENKO, G. I.: Matalloved. i term. Obrabolka metallov, 1968, č. 7, s. 28

PULC, Vojtech – HRNČIAR, Viliam - GONDÁR, Ernest. 2004. *Náuka o materiáli*. Bratislava: STU, 2004. 333s. ISBN80-227-2098-4.

PTÁČEK, L. a kol.: *Náuka o materialu II*. Akademické CERM: BRNO, 2001

STN 01 5050. Opoťrebení materialu (názvoslovie)

Skočovský, P. - Podrábský, T. *Farebná metalografia zliatin železa*. Žilina : ZU, 2001.

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

TOLNAI, Rudolf - ČIČO, Peter. 2001. Oteruvzornosť návarových materiálov novej koncepcie. In.: *Acta technologica agriculturae*. roč. 4, č.4. Nitra: SPU, 2001, s. 99-102. ISSN 1335-2555.

VOCEL, M., DUFEK, V.: *Tření a opoťrebení strojních součástí*, SNTL, Praha, 1976

Kotus, M. – Aplikácia pulzných zvaracích zdrojov pri renovácii súčiastok poľnohospodárskych strojov. Dizertačná práca, Nitra, 2007

KOVAŘÍKOVÁ, BLAŠKOVITŠ, 2007 [online]. 2007. [cit. 2010-03-20]. Dostupné na internete: <<http://www.strojarstvo.sk/docwww/SK/284/284.pdf>>

[cit. 2008-04-20]. Dostupné na internete: <<http://www.mtfdca.szm.sk/subory/opotrebenie.pdf>>

[cit. 2008-04-20]. Dostupné na internete: <http://referaty.atlas.sk/ostatne>

[cit. 2008-04-20]. Dostupné na internete:

<http://www.oerlikon.com.tr/pls/oerlikon/!PRODUCTS_PKG.product_list?prn=1&lng=eng&subsubcategory_id=99&selected_menu=&selected_submenu=