

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

2125501

**LABORATÓRNA ANALÝZA VYBRANÝCH DRUHOV
NÁVAROVÝCH MATERIÁLOV**

2011

Peter Dobiaš, Bc

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

**LABORATÓRNA ANALÝZA VYBRANÝCH DRUHOV
NÁVAROVÝCH MATERIÁLOV**

Diplomová práca

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

Nitra 2011

Peter Dobiaš, Bc

ABSTRAKT

Opotrebenie je nežiaduci jav. V praxi spôsobuje finančné aj materiálne straty. Poškodené súčiastky sa musia nahradiť novými, alebo použiť vhodnú metódu renovácie. V diplomovej práci sme sa zamerali na renováciu opotrebovaných plôch naváraním. Zvolená metóda navárania je elektrickým oblúkom obalenou elektródou ručne. V poľnohospodárskej praxi je táto metóda najviac využívaná, pre svoje operatívne použitie. Základný materiál pre naváranie sme použili 12 050 a prídavný materiál Welco 1771, Welco 1701 S, Hard Fro 600, VUZ E 520 B. Elektródy obsahujú častice wolfrám-karbidov v matrici a legujúce prvky tvoriace komplexné, primárne a sekundárne karbidické štruktúry. Prvky legujú navarenú vrstvu a zvyšujú jej odolnosť voči abrazívnemu opotrebeniu. Vzorky sme v laboratórnych podmienkach testovali na odolnosť voči abrazívnemu opotrebeniu. Výbrusy zo vzoriek sme podrobili metalografickej analýze. Na meranie tvrdosti sme použili Vickersovu metódu HV10. Merací prostriedok sme použili tvrdomer HPO 250, ktorý spĺňa požiadavky podľa STN EN ISO 6507-1. Zvýšená kvalita a trvanlivosť nanesej vrstvy má ekonomický prínos, čo priaznivo vplyva na environmentálne činitele.

Kľúčové slová: tribológia, ručné naváranie, obalená elektróda, karbidické štruktúry, pomerná odolnosť, metalografický rozbor, tvrdosť návaru.

ABSTRACT

Wear is unwanted phenomenon. It causes financial and substantive decrements in practice. Damaged parts themselves have to be replaced by new ones or the other suitable method of renewing must be used. Our graduation theses is focused on renovation worn surfaces by hard surfacing. Choices method of hard surfacing is realized manually by mercury arc covered electrode. This method is exploited mostly in agricultural practice because of its pro their operative appliance. Base material pro hard surfacing are applied 12 050 and filler material Welco 1771, Welco 1701 S, Hard Fro 600, VUZ E 520 B. Electrodes contain wolfram-carburizing parts in the die and alloying elements that generate complex, primary and secondarily carbidic textures. Elements alloy welded layer and raise its resistance towards abradant wear. Samples were about laboratory condition tested on resistance towards abradant wear. Sections refined from samples were subdued to metallographic analysis. We applied Vickers method HV10 on measuring hardness. Measuring hemostat was applied durometer HPO 250, which is up to standard per STN EN ISO 6507- 1. Raising quality and guaranteed storage period dab measures is due to economical contribution, what favourably influences enviromental factors.

Keyword: tribology, manual hard surfacing, stick electrode, carbidic textures, relative resistance, metallographic analysis, hardness buttering.

ČESTNÉ VYHLÁSENIE

Podpísaný Peter Dobiaš 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 hore uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 20. apríla 2011

.....

POĎAKOVANIE In memoriam

Ďakujem mame a otcovi za to, že verili každému kroku mojej cesty.

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce Ing. Martinovi Katusovi PhD. za odborné vedenie, cenné rady, pripomienky a pomoc pri jej spracovaní.

V Nitre 20.apríla 2011

.....

Zoznam použitých označení

Symbol	Význam	Jednotka
b	koeficient odolnosti čistých kovov	-
d	aritmetický priemer meraných uhlopriečok	mm
v	rýchlosť	m.s ⁻¹
A	ťažnosť	%
E	modul pružnosti trecích telies	MPa
F	sila	N
F_N	normálová sila, zaťaženie	N
F_v	posuvná sila	N
G	modul pružnosti v šmyku	MPa
H	tvrdosť	-
H_a	tvrdosť hrotu	-
$HV 10$	tvrdosť podľa Vickersa	-
IRA	izotermický rozpad austenitu	-
K_T	koeficient tvrdosti	-
R_e	medza klzu	MPa
R_m	medza pevnosti	MPa
S	plocha povrchu vtlačku	mm ²
W_e, W_v	hmotnostné úbytky etalónu a vzorky	kg
Z	kontrakcia	%
ρ_e, ρ_v	merná hustota etalónu a vzorky	kg.m ⁻³
ψ_{abr}	odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu	-

OBSAH

Úvod.....	9
1 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky.....	10
1.1 Systémová analýza procesu opotrebenia.....	10
1.2 Mechanizmus abrazívneho opotrebenia.....	11
1.3 Princíp navárania obalenou elektódou.....	15
1.4 Návary odolné voči opotrebeniu.....	18
1.5 Wolfrámkarbidové materiály pre naváranie.....	20
1.6 Ďalšie legujúce prvky.....	22
1.7 Metalografické skúmanie štruktúry.....	23
1.7.1 Makroskopické skúmanie štruktúry.....	23
1.7.2 Makroskopické skúšky.....	25
1.8 Farebná metalografia.....	26
2 Cieľ práce.....	28
3 Metodika práce.....	29
3.1 Charakteristika prístroja na naváranie.....	29
3.2 Charakteristika základného materiálu.....	30
3.3 Charakteristika prídavných materiálov.....	31
3.4 Charakteristika chladiacej reznej kvapalín.....	33
3.5 Skúšobné vzorky.....	33
3.6 Charakteristika skúšobného zariadenia.....	33
3.7 Charakteristika pomocných zariadení.....	35
3.8 Postup merania.....	35
3.9 Vyhodnotenie nameraných hodnôt úbytkov materiálu.....	36
3.10 Príprava vzoriek pre metalografické pozorovanie.....	37
3.11 Meranie tvrdosti.....	39
4 Výsledky práce.....	41
4.1 Výsledky merania pomernej odolnosti.....	41
4.2 Vyhodnotenie metalografického pozorovania.....	47
4.3 Výsledky merania tvrdosti HV10.....	50
5 Diskusia.....	56
6 Záver.....	58
7 Použitá literatúra.....	59

ÚVOD

Všetko sa to začalo veľmi, veľmi dávno. Bolo to vlastne vtedy, keď Homo sapiens sa postavil na rovné nohy a chrbtica sa mu dva-krát esovite prehla. Začal používať pazúrik, potom pästný klin. Začal premýšľať, mozog sa zväčšoval. Praveký človek zistil, že takéto nástroje nestačia na obrobenie pôdy a zaobstaranie živobytia. Zostrojil drevený pluh. Najskôr doň zapriahol seba potom zvieratá. Stále to bolo málo, lebo drevený pluh sa rýchlo opotreboval. Mozog sa vyvíjal a zdokonaľovalo sa myslenie. Prišiel vynález kovov. Doba bronzová. Doba železná. Drevený pluh dostal železný lemeš a motorový pohon. Ale aj železný lemeš sa pôsobením abrázie opotreboval. Naši predchodcovia asi nepoznali pojem abrazívne opotrebovanie, ani nepotrebovali. Bol dostatok surovín, z ktorých sa vyrábali súčiastky, hoci technológie na ich výrobu neboli až tak dokonalé.

V dnešnej dobe je už všetko inak. Ovládame takmer dokonalé technológie na výrobu surového železa a ocele, ale...Železnej rudy je čoraz menej a jej ťažba je čoraz obtiažnejšia a drahšia. Okrem spracovania a využívania druhotných surovín, hľadáme také technológie, ktoré by nahradili, alebo aspoň čiastočne odstránili handicap používania prvotných surovín. Takouto technológiou je renovácia a nanášanie vrstiev materiálov na činné plochy súčiastok iné materiály, ktoré lepšie a trvanlivejšie odolávajú abrazívnemu opotrebeniu.

Dôležitým prvkom renovácie a nanášania vrstiev odolných abrazívnemu opotrebeniu je aj spôsob akým tieto vrstvy nanesieme. Vynikajúcu rýchlosť a produktivitu práce dosahujú zariadenia na naváranie pomocou laseru a elektrónového lúča. Žiarové nástreky odolávajúce abrázii sme dotiahli tiež skoro k dokonalosti. Ťažko si však vieme predstaviť napríklad poľnohospodársky podnik, kde sa lemeše a radličky orbových telies navárajú laserom. Táto technológia je zatiaľ neskutočne drahá pre komerčné využitie, jeden nikdy nevie?

Naváranie elektrickým oblúkom obalenou elektródou ručne je dostupnejšie. Má svoje nevýhody, ale množstvo výhod predurčuje tento spôsob renovácie pre najširšie použitie. Nepotrebuje zložité zariadenie, operatívne sa dá použiť v teréne aj pod vodou. Personál nemusí obsluhovať zložité a drahé zariadenie. Proces navárania zvládne aj začiatočník so základným oprávnením na zváranie elektrickým oblúkom.

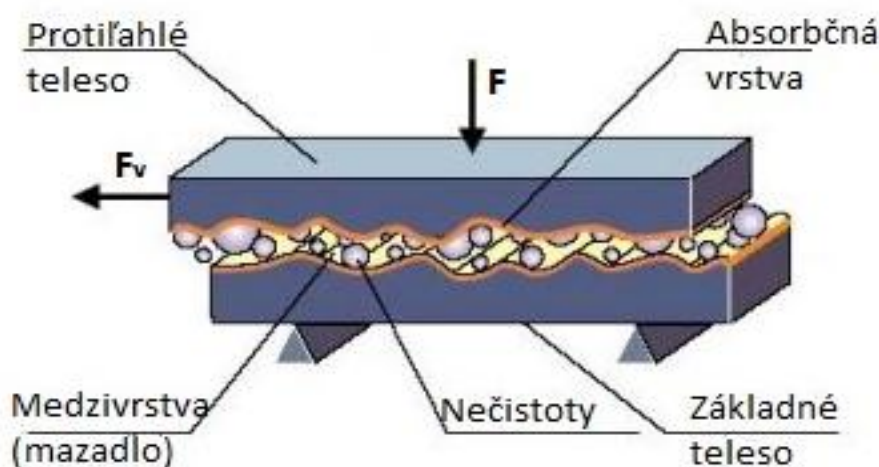
Takže, ak by sme všetko vedeli, nebolo by čo skúmať a objavovať!

1. PREHLAD O SÚČASNOM STAVE RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

1.1 Systémová analýza procesu opotrebenia

Spojením dvoch aktívnych plôch dochádza k ich vzájomnému kontaktu. Ak plochy nie sú oddelené vrstvou maziva dochádza k opotrebeniu. Opotrebenie vzniká podľa (Dominik, 2009) na plochách súčiastky tam, kde je ich funkcia spojená s tribologickým namáhaním. Pre celkovú analýzu procesu abrazívneho opotrebenia je nutné zohľadniť tie prvky, ktoré vytvárajú určitý tribologický systém (obrázok 1). Základnými prvkami tribologického systému sú:

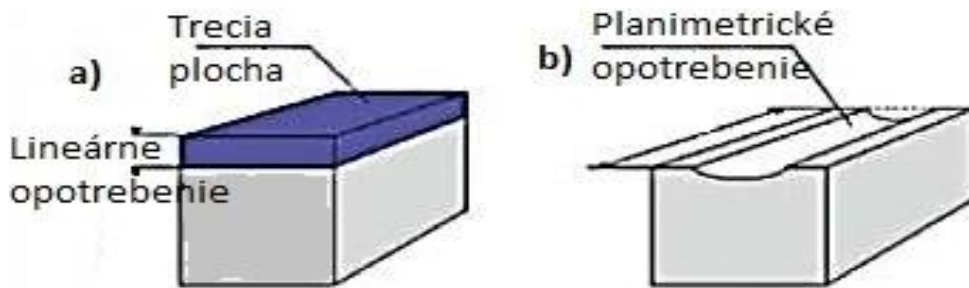
- základné a protiľahlé teleso, ktoré sú charakterizované mechanickými vlastnosťami (tvrdosť, pevnosť), tepelnými vlastnosťami (teplotná rozťažnosť), chemickými vlastnosťami (afinita s kyslíkom, pH) a drsnosť kontaktných plôch,
- medzivrstva môže obsahovať rozličné nečistoty (kremičitany, hliničitany), ktoré sú s povrchom činných plôch viazané špecifickou chemickou väzbou,
- normálová (F) a posuvová (F_v) sila ako podmienka pre vzájomný pohyb súčiastok, ktoré sú vo vzájomnom kontakte, dôležitý je druh pohybu (valenie, kĺzanie, nárazy a pod.) a typ pohybu (plynulý, prerušovaný, kmitavý a pod.).



Obrázok 1 Schéma tribologického kontaktu (Tribotechnika, 2009)

V tribologickom systéme súčastí je potrebné počítať ešte s okolitým prostredím, ktoré tribologický systém obklopuje. Toto prostredie je charakteristické vzájomným pohybom, agresivitou a teplotou. Prostredie pôsobí nielen na vonkajšie plochy telesa, ale za špecifických podmienok významne vplyva na vlastnosti styčných povrchov, je preto dôležité ako základné súčasti tribosystému. V procese abrazívneho opotrebenia dochádza k oddeľovaniu čiastočiek materiálu z činného povrchu vplyvom účinku tvrdšieho povrchu

protiľahlého telesa, alebo účinkom abrazívnych častíc. Abrazívne opotrebenie je najčastejším druhom opotrebenia a môže ísť o lineárny alebo planimetrický (obrázok 2) typ opotrebenia povrchu súčiastky.



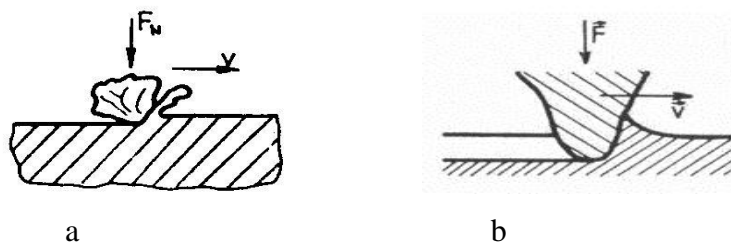
Obrázok 2 Základné spôsoby abrazívneho opotrebenia (Tribotechnika,2009)

Podľa *STN 01 5050* je opotrebenie rozdelené na niekoľko základných typov: adhezívne, abrazívne, erozívne, kavitačné, únavové, vibračné. Ak hovoríme o procese opotrebenia, musíme uvažovať o fyzikálnych a chemických dejoch, ktoré vznikajú v trecom uzle. V praxi sa nevyskytuje samostatný druh opotrebenia, ale väčšinou pôsobí ako ich kombinácia.

1.2 Mechanizmus abrazívneho opotrebenia

Veľmi často je príčinou poškodenie činných plôch, alebo celej súčiastky spôsobené abrazívnym opotrebením. K abrazívnemu opotrebeniu podľa (Balla, 1989) dochádza ryhovaním a rezaním opotrebovaného povrchu tvrdými časticami pri ich vzájomnom relatívnom pohybe. Môžeme povedať, že rozpoznávame dva spôsoby vzniku a prejavu opotrebenia, ktoré sa odlišujú svojím charakterom vzájomného pôsobenia častíc a povrchu kovu (obrázok 3):

- mechanizmus rozrušovania kovového povrchu mechanickým vplyvom,
- mechanizmus rozrušovania kovového povrchu, kde hlavnú úlohu zohrávajú mechanicko - chemické vplyvy, vznikajú chemické zlúčeniny s následným rozrušovaním vzniknutých tenkých vrstiev.



Obrázok 3 Schéma abrazívneho opotrebenia a.) lineárne, b,) ryhovanie (Balla, 1989)

Tam, kde je hlavný vplyv mechanicko-chemického porušovania povrchu činných plôch, je chemický vplyv prostredia, spúšťacím mechanizmom, katalyzátorom, procesu počiatočného rozrušovania, je povrch, ktorý sa plasticky deformuje. Ak stroje a ich súčiastky prichádzajú do styku s pôdou, je namieste uvažovať aj o chemickom vplyve na rýchlosť opotrebenia. Ak chceme analyzovať opotrebenie, musíme vedieť v akých podmienkach k opotrebeniu prišlo. To znamená, že bez bližšieho určenia nemožno podrobne analyzovať príčiny opotrebenia. Rozhodujúci vplyv majú prevádzkové podmienky a patria sem: vlastnosti abrazíva, spôsob väzby abrazíva, merný tlak abrazíva na povrch, relatívna rýchlosť pohybu, dĺžka dráhy, vlhkosť a chemická agresivita prostredia. V procese abrazívneho opotrebenia kovových plôch zohrávajú svoju úlohu vlastnosti abrazíva, ich rozmer a tvar, tvrdosť abrazívnych častíc a mechanická pevnosť. Aby mohlo dôjsť k rýhovaniu kontaktnej plochy s abrazívom je potrebné, aby zrno abrazíva bolo zatlačené do povrchu a v pokračujúcom procese rýhovania, pri odoberaní triesky a narastajúcom odpore spevnenia povrchu kovu sa nerozdrazilo. Dôležitú úlohu zohráva veľkosť abrazívneho zrna. Proces opotrebenia je väčší a rýchlejší ak narastá veľkosť zrn abrazíva. Abrazívne častice sú väčšinou nerovnomerne veľké, preto rozhodujúcim rozmerom je rozmer najväčšej časti. Tvrdosť je najdôležitejšia vlastnosť abrazíva. Dlhodobým výskumom sa preukázal výrazný vplyv vzájomného pôsobenia medzi tvrdosťou abrazíva a opotrebovaného kovu. Prejavil sa dosť prudký nárast odolnosti proti opotrebeniu, ak koeficient tvrdosti

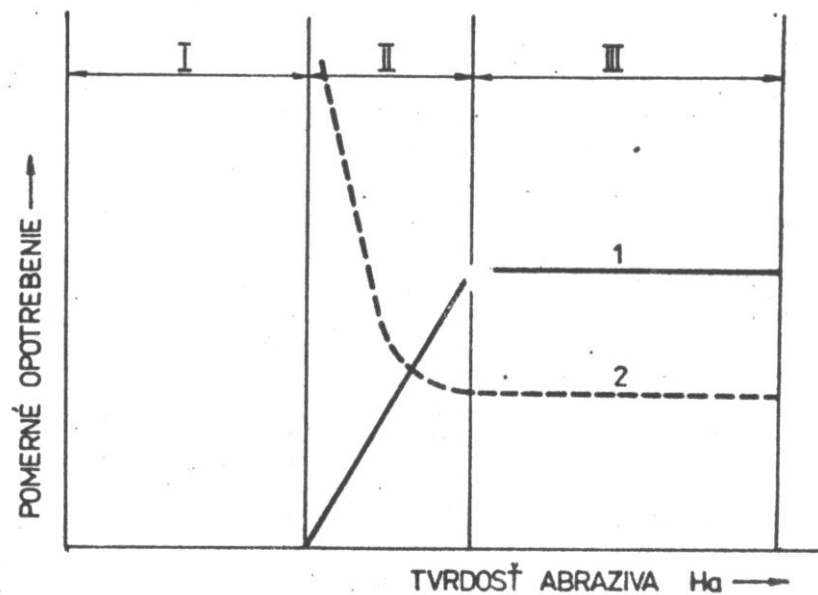
$$K_T = \frac{H}{H_a} \geq 0,5 - 0,6 \quad (1)$$

kde: K_T – koeficient tvrdosti,

H – tvrdosť,

H_a – tvrdosť hrotu,

Opotrebenie, ktoré sa nachádza v oblasti I je malé, ak abrazívum má menšiu tvrdosť ako kov. V oblasti II opotrebenie narastá s narastaním tvrdosti abrazívneho zrna a v oblasti III kde je tvrdosť abrazíva H_a oveľa vyššia ako tvrdosť kovu, je opotrebenie konštantné a nerozhoduje pomer ich tvrdostí (Graf č.1)



Graf č. 1 Zmena opotrebenia a odolnosti proti opotrebeniu v závislosti na tvrdosti
 1- pomerná odolnosť, 2 – odolnosť proti opotrebeniu (Balla, 1989)

V prevádzkových podmienkach si treba všimnúť účinok dĺžky dráhy, merný tlak, relatívnu rýchlosť, vlhkosť a chemické zložky prostredia, ktoré sú aktívne. V procesoch opotrebenia možno pozorovať úmernosť medzi veľkosťou opotrebenia a rýchlosťou pohybu, merným tlakom. Rýchlosť ovplyvňuje proces opotrebenia iba vtedy, ak dochádza pri trení aj ku zvyšovaniu teploty v mieste opotrebenia. Významný vplyv má vlhkosť. Dochádza k tomu iba pri určitých podmienkach, ale pre svoju komplexnosť nie je celkom vysvetlený.

Z fyzikálneho hľadiska podľa (Balla, 1989) možno očakávať jednoznačný vzťah medzi opotrebením a tvrdosťou s ohľadom na to, že tvrdosť určuje odpor voči plastickej deformácii a hmotnostný oter je podmienený odoberaním častíc, pričom plastická deformácia je iba prípravným procesom. Vniknutie zrna abrazíva do povrchu je tým menšie, čím je vyššia tvrdosť povrchu, odolnosť voči opotrebeniu má relatívny charakter, pretože odolnosť voči opotrebeniu závisí od veľkého množstva vonkajších vplyvov.

Hodnoty pomernej odolnosti voči abrazívnemu opotrebeniu možno vyjadriť vzťahom:

$$\psi_{abr} = b \cdot H \quad (2)$$

kde: ψ_{abr} – pomerná odolnosť voči abrazívnemu opotrebeniu,

b – koeficient,

H – tvrdosť.

Skúšky tepelne neupravených ocelí ukázali, že závislosť ich odolnosti proti opotrebeniu na tvrdosti je blízka chovaniu čistých kovov. Pre čisté kovy a ocele spevnené za studena pomerná odolnosť voči opotrebeniu je konštantná a nezávisí od tvrdosti tohto druhu spevnenia. Možno to vysvetliť tým, že pri oddeľovaní častíc dochádza k medznému spevneniu, čo je schopnosť materiálu pri plastickej deformácii.

Výskumom sa dospelo ku konštatovaniu, že odolnosť voči abrazívnemu opotrebeniu zliatin rovnakej tvrdosti, ale s rozdielnym chemickým zložením a štruktúrou je rôzna. Závisí to od : tvrdosti, množstve, tvare, veľkosti a rozložení štruktúrnych fáz. Nie je jednoznačne určený najvhodnejší typ štruktúry z hľadiska odolnosti voči abrázii. Na jednej strane sa tvrdí, že najvhodnejšia štruktúra je austeniticko-karbidická, druhá hovorí o najvhodnejšej martenziticko-karbidickej štruktúre. Proces abrázie je komplexný problém, preto možno uvažovať o použití austeniticko-karbidickej štruktúre pri vysokých merných tlakoch, kým martenziticko-karbidická štruktúra je vhodná pri nízkonapäťovej abrázii.

V procese abrazívneho opotrebenia ako uvádza (Balla,1989) sú rozhodujúce dve štádiá. Prvým je proces vtláčania abrazíva do povrchu, kde je rozhodujúcim faktorom tvrdosť. Druhý faktor je proces rozrušovania povrchu, pričom hlavnú úlohu zohrávajú medziatomárne väzobné sily, pevnosť spojenia medzi štruktúrami zložkami navzájom na hraniciach zŕn. Vznik mikrorýhy je sprevádzané veľkou plasticou deformáciou kovu. Na dne mikrorýhy sa začínajú tvoriť priečne trhliny, ktoré môžu byť zárodkami rozrušenia pri ďalšom postupe opotrebenia. Rast odolnosti proti opotrebeniu u ocelí je proporcionálny s rastom tvrdosti. Prítomnosť martenzitu v štruktúre ocele zvyšuje odolnosť v porovnaní s feriticko-perlitickou štruktúrou. Prísada karbidov chrómu vo ferite, zvyšuje tvrdosť, ale odolnosť proti opotrebeniu zvyšuje iba veľmi mierne. Spôsobuje to prítomnosť feritu v tejto štruktúre, z toho plynie poznanie, že ani vysoký stupeň legovania, nezaručuje vhodnú odolnosť voči abrazívnemu opotrebeniu. Ani martenziticko-karbidická štruktúra, ktorá má vysokú tvrdosť nezaručuje dobrú odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu. Je to preto, že nedostatočne odoláva rozrušovaniu pri relatívnom pohybe abrazívneho zrna po činnej ploche kovu. Znížením množstva martenzitu v štruktúre poklesne tvrdosť, ale pridaním austenitu dosiahneme zvýšenie odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu. Zloženie austeniticko-karbidickej štruktúry má najlepšiu schopnosť odolávať abrázii. Túto vlastnosť mu dáva kryštalická mriežka. Parametre mriežky karbidov a austenitu sú bližšie ako parametre karbidov a martenzitu, čo udržiava karbidy v matrici a nedajú sa ľahko vylúpnuť. Odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu sa zvyšuje ak obsah karbidotvorných

prvkov je v hraniciach zabezpečujúcich vytváranie špeciálnych karbidických štruktúr alebo prechod na vyšší typ karbidu. Okrem typu vytvorených karbidických štruktúr je potrebné aj ich množstvo a veľkosť zrna. Rastom percentuálneho množstva karbidov rastie aj odolnosť voči abrázii, ale veľké karbidické zrná sa ľahko rozrušujú a vylupujú z matrice. Optimálne množstvo karbidov je rôzne pre rôzne fázové štruktúry.

1.3 Princíp navárania obalenou elektródou

Naváranie elektrickým oblúkom obalenou elektródou ručne (Vitásek,2000), je pracovný postup, ktorý možno charakterizovať:

- zdrojom tepla je elektrický oblúk, ten počas navárania horí medzi odtavujúcim sa koncom elektródy a povrchom prídavného materiálu (obrázok 4),
- prídavný materiál, obalená elektróda, je vyrobená najčastejšie z kovového jadra a obalu, výnimku tvoria trubičkové plnené elektródy. Jadro sa taví, vplyvom pôsobenia oblúka sa tvoria kvapky roztaveného kovu, ktoré prechádzajú do tavného kúpeľa a tvorí sa návarová húsenica,
- priečne a pozdĺžne vedenie elektródy vykonáva zvarač pohybom ruky.

Proces navárania začína zapálením elektrického oblúka, väčšinou na začiatku základného materiálu, pokračuje bez prerušenia do odtavenia celej dĺžky elektródy, alebo po nanesení potrebného množstva návaru. Rýchlosť odtavovania elektródy závisí od veľkosti a intenzity prúdu. Obal elektródy zabezpečuje stabilné horenie oblúka, ochranu navareného kovu pred vplyvom vzdušného kyslíka a ďalších nežiaducich plynov. Pri ručnom oblúkovom naváraní používame najčastejšie zdroje jednosmerného prúdu s klesajúcou VA (voltampérovou) charakteristikou. Ručné oblúkové naváranie je tvorené systémom väzieb. Tieto väzby v prípade ručného navárania, významne ovplyvňujú konečné vlastnosti a kvalitu návaru. Najdôležitejšie väzby a ich vplyv:

oblúk → zvarok: vznik tepelných polí, deformácie a napätia, štruktúrne a fázové zmeny,

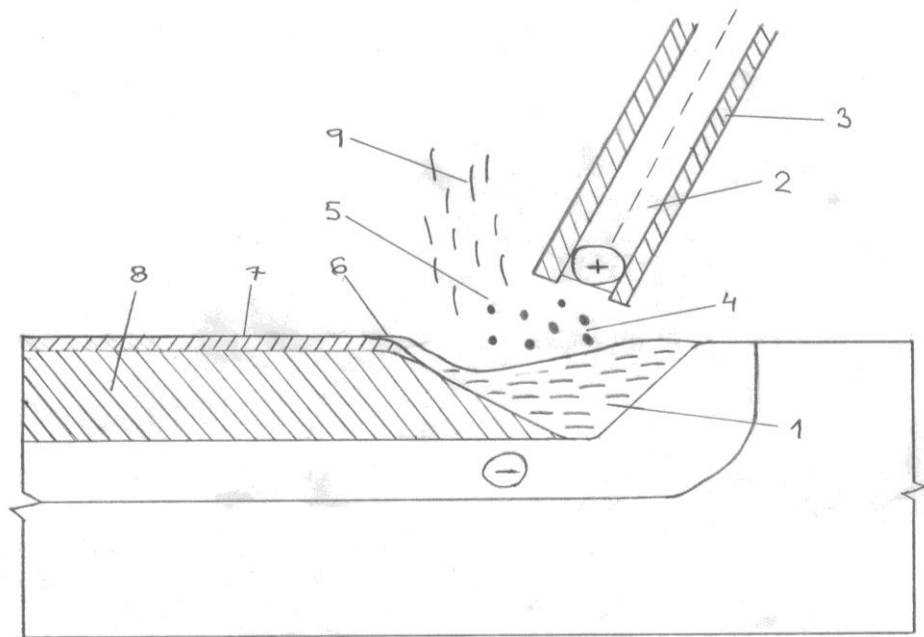
prostredie → zvarok: rýchlosť chladnutia,

prostredie → oblúk: účinok okolitej atmosféry plynov, vlhkosť,

elektróda → zvarok: vlastnosti návarového kovu, tepelný príkon,

zvarač → elektróda: priečne a pozdĺžne vedenie elektródy, charakteristická dĺžka elektrického oblúka, výsledné formovanie húsenice návaru,

zdroj prúdu → oblúk: stabilné horenie oblúka a jeho elektrický výkon.



Obrázok 4 Schéma horenia elektrického oblúka (Meško,2003)

1-roztavený návarový kov, 2- jadro obalenej elektródy, 3- obal elektródy, 4- vývin plynov, 5- elektrický oblúk, 6- roztavená troska, 7- stuhnutá troska, 8- stuhnutý návarový kov, 9- plyny

Rozdelenie elektród podľa druhu obalu

Podľa (Vitásek,2000) rozdeľujeme elektródy nasledovne:

- **bázický:** vysoká húževnatosť zvarového kovu, operatívne použitie vo všetkých polohách okrem PG. Elektróda vykazuje horšiu kresbu húsenice a je náchylná na prúdové preťaženie. Obal absorbuje vzdušnú vlhkosť, príčinou je vznik pórov, preto vyžaduje pred použitím presušenie podľa návodu výrobcu a skladovanie v suchých priestoroch. Pripája sa na + pól pri použití zdroja s jednosmerným napätím, má menšiu hĺbku závaru, tým menšie premiešanie so základným materiálom. Vysoký obsah vápnika v obale viaže síru, naopak kazivec (CaF_2) uvoľňuje fluór, ktorý viaže voľné elektróny a tým zhoršuje stabilitu horenia oblúka pri použití striedavého prúdu.

- **rutilový:** hlavnou zložkou je rutil (TiO_2). Lepšie formovanie návarového kovu ako pri bázickom obale, hlavne v polohách. Vhodná pre všetky polohy, pri vysokom príkone iba na polohy PA, PB. Rutil zlepšuje podmienky ionizácie, čo uľahčuje zapalovanie oblúka a stabilné horenie pri naváraní striedavým prúdom. Pri použití jednosmerného prúdu sa

prípájajú na + pól. Používajú sa v skupine austenitických elektród, kde vykazujú „krajší“ povrch, ale majú nižšiu húževnatosť ako bázické elektródy.

- **kyslý:** základným prvkom obalu sú oxidy kremíka (SiO_2), železa a mangánu. Relatívne najhoršie vlastnosti plasticity a húževnatosti v porovnaní s elektródami bázickými a rutilovými. Kov majú riedko tečúci a oblúkom prechádza vo forme malých kvapiek. Riedka tekutosť kovu spôsobuje problémy pri použití v polohách. Je možné použitie striedavého prúdu, pri jednosmernom prúde pripájame elektródu na záporný pól. Vyššia prúdová hustota spôsobuje hlbší závar.

- **organický:** má zastúpenie predovšetkým celulózovým obalom. Sú náchylné na vlhnutie, preto sa špeciálne balia proti navlhnutiu. Kov má horšie plastické vlastnosti ako bázická elektróda. Výhodou je vysoká rýchlosť zvarovania.

- **špeciálny:** grafitový obal sa používa na zváranie liatin, obaly s solí halových prvkov sa používajú na zváranie hliníka a jeho zliatin.

- **prechodné typy:** rutil-bázický, rutil-kyslý, dvojité obal. Ponúkajú kompromisné riešenie operatívnych vlastností základných typov obalov.

Elektródy na naváranie

Podľa (BLAŠKOVITŠ et al, 2000) elektródy na naváranie sa najčastejšie vyrábajú s obalom bázickým. Tento typ obalu zaručuje najnižší prepal prvkov, ktoré legujú zvarový kov, obsah týchto je v návarových elektródach väčšinou veľmi veľký. Spektrum chemického zloženia návarovej vrstvy je veľmi široké a závisí od toho pre aký účel sa má návar zhotoviť. Niekedy nie je dôležitá tvrdosť, ale skôr odolnosť proti opotrebeniu. Návary, ktoré odolávajú abrazívnemu opotrebeniu majú obsahovať tvrdé častice štruktúry, spravidla karbidy, uložené v mäkšej, húževnatejšej základnej štruktúre návaru. Z funkčného hľadiska má návar okrem abrazie odolávať aj namáhaniu tlakom a rázom. Ak je návar tvrdý, ale krehký, bude dochádzať k jeho vylupovaniu a drveniu. Okrem týchto spôsobov namáhania môžu byť navarené plochy vystavené účinkom zvýšených teplôt. Vtedy musia byť odolné voči opalu. Pretože je obsah legujúcich prvkov vysoký, niekedy viac ako 50%, je potrebné dolegovávať obalom aj jadrom.

Trubičkové obalené elektródy (ALINOV, 2008): výroba plnených elektród ponúka možnosť vyrobiť jadro vo forme rúrky, ktorá je naplnená príslušnými legujúcimi prvkami. Vtedy sa obal môže nanášať na jadro elektródy lisovaním pri veľmi vysokom obsahu legúr.

Naváranie opotrebovaných súčiastok

Pod pojmom naváranie uvažujeme o nanášaní vrstvy kovu na povrch súčiastky pomocou technológie, ktorú používame pri spojovaní materiálov - zváraním. Naváraním vytvoríme na činných plochách vrstvu kovu, ktorá má celý rad užitočných vlastností, napr. odolnosť proti opotrebeniu, odolnosť proti korózii a pod. V praxi používame naváranie v prípade renovácie súčiastok, to nám umožní vrátiť súčiastke pôvodný rozmer a pomocou legúr zlepšiť vlastnosti povrchu (zvýšená odolnosť voči opotrebeniu).

Medzi hlavné prednosti navárania patrí hlavne:

- nanášanie návaru na základný materiál, pričom návar aj základný materiál majú rozdielne chemické zloženie,
- návary rôznej hrúbky na tvarovo zložitých súčiastkách,
- jednoduchosť zariadenia na naváranie,
- možnosť kombinovať naváranie s inými technológiami renovácie (sústruženie, brúsenie),
- výhodné orientovanie primárnych kryštálov vzhľadom na činnú plochu návaru.

Nedostatky navárania:

- premiešanie návarového kovu so základným materiálom čiastočne spôsobuje stratu vybraných špecifických vlastností návaru,
- priečna a pozdĺžna deformácia súčiastky vplyvom veľkého merného tepelného príkonu počas navárania a rozdielných chemicko-fyzikálnych vlastností návaru a základného materiálu,
- heterogenita návaru a jeho vlastnosti, ktoré úzko súvisia so spôsobom ukladania húseníc,
- problémy pri naváraní tenkostenných a malých súčiastok,
- pri vysokolegovaných návároch je potrebný buď špeciálny teplotný režim (predohrev), tepelné spracovanie po navarení, alebo naváranie medzivrstiev,
- povrchy tvrdonávarov nie je možné trieskovo opracovávať, ale iba brúsením.

1.4. Návary odolné voči opotrebeniu

Medzi materiály, ktoré sú odolné proti opotrebeniu môžeme zaradiť všetky druhy materiálov (Balla, 2003), ktoré sú schopné odolávať niektorému druhu opotrebenia (abrazívne, adhezívne, erozívne, kavitačné, vibračné) alebo ich kombinácie.

Návary z nelegovaných, nízkolegovaných ocelí s obsahom uhlíka do 0,4 %

Tieto návary sú určené pre renovačné naváranie, alebo ako medzivrstva pre vysokolegované návary. Okrem navárania obalenou elektródou sa často používa aj

naváranie pod tavivom a v zmesi ochranných plynov, prípadne elektrotroskovo. Každý typ návaru má svoje špecifické vlastnosti s ohľadom na druh pôsobenia opotrebenia.

Návary z nelegovaných, nízkoalegovaných ocelí s obsahom uhlíka nad 0,4 %

Týmto druhom materiálu navárame hriadele, čapy, vodiace plochy a pod. Sú náchylné k tvorbe trhlín za studena a niekedy k tvorbe kryštalizačných trhlín. Použitím predohrevu znížime problémy s tvorbou trhlín. Vyšší obsah uhlíka zvyšuje odolnosť materiálu voči opotrebeniu ako predchádzajúca skupina.

Návary z austenitických vysokomangánových ocelí

Návary tohto typu je vhodné aplikovať tam, kde súčiastka musí odolávať kombinácii abrazívneho opotrebeniu a rázom. Štruktúra návaru pri rýchlom chladnutí je austenitická s obsahom 1,2 % uhlíka a 12 % mangánu. Za studena sa povrchová vrstva deformuje, v procese opotrebenia sa rozpadá nestabilný austenit na martenzit. Týmto procesom sa zvýši povrchová tvrdosť na 500 až 550 HB, pričom zvyšný objem návaru si ponecháva húževnatosť austenitickej štruktúry. Pracovný postup navárania treba upraviť tak, aby tepelný príkon bol čo najmenší, kladieme úzke a krátke húsenice so zvýšenou rýchlosťou navárania. Navárame s prerušovaním a využívame vratný krok a zmenu miesta navárania.

Návary z chrómových ocelí

Návar vykazuje feritickú, poloferitickú alebo austeniticko-martenzitickú štruktúru v závislosti od obsahu uhlíka a chrómu. Karbidické eutektikum (ledeburit) sa nachádza v štruktúre pri obsahu uhlíka nad 1 % a chrómu nad 10 %. Pri obsahu uhlíka 1,8-2 % sú návary náchylné k tvorbe studených a horúcich trhlín a zabránime tomu predohrevom na teploty 400 – 500 °C.

Návary s vysokochrómových zliatin

Výborná odolnosť návarov proti abrázii a erózii v prostredí kvapalín a plynov. Najvyššiu odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu majú nadeutektické liatiny s obsahom primárnych karbidov chrómu (M_7C_3). Doplnkové nalegovanie bórom zvyšuje odolnosť voči abrázii, súčasne znižuje odolnosť voči rázom. Tieto druhy návarových materiálov používame na návary zubov bagrov, časti vysokých pecí a pod.

Návary z kobaltových zliatin s obsahom chrómu a wolfrámu

Tieto návary sú typu stelitov. Svoju tvrdosť si zachovávajú pri vysokých teplotách, sú koróziivzdorné a odolávajú erózii a tiež treniu funkčnej dvojice kov-kov. Kobalt nemá vysokú žiarupevnosť, odolnosť voči tomuto druhu opotrebenia mu dodáva týmto zliatinám chróm (25-35 %) a wolfrám (3-30 %). Svoj vplyv zohráva uhlík, ktorý vytvára s chrómom

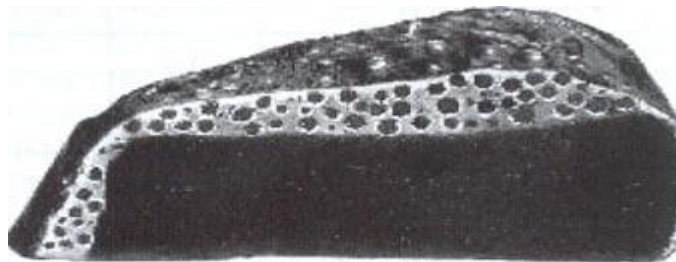
a wolfrámom karbidické štruktúry odolné voči abrazívnemu opotrebeniu. Pri naváraní dodržiavame teplotu predohrevu a parametre navárania (rýchlosť, tepelný príkon), tým dosiahneme minimálne premiešanie návarového kovu so základným materiálom. Použitie pre návary ventilov pre spaľovacie motory, matrice na lisovanie neželezných kovov a zliatin.

Návary karbidických zliatin

Návary majú vysoký obsah karbidov a sú odolné proti abrazívnemu opotrebeniu. Karbidická kompozícia nemá presné chemické zloženie, pretože karbid wolfrámu nekryštalizuje z taveniny, ale sa pridáva do elektród vo forme zŕn, ktoré majú určitý rozmer a tvar. Pri naváraní treba zabezpečiť, aby sa zrná karbidov nerozpúšťali.

1.5. Wolfrámkarbidové materiály pre naváranie

Pri aplikácii pre naváranie elektrickým oblúkom sa jedná o kompozitné vrstvy. Matrica, základná nosná vrstva, je tvorená tuhým roztokom zliatin rôzneho chemického zloženie. Matrica má svoju tvrdosť. Do matrice sú vložené zrná wolfrámkarbidu (obrázok5), ktoré majú svoju veľkosť, tvar a tvrdosť. Wolfrámkarbidy nepatria medzi zliatiny kovov, ale patria do skupiny keramiky, špeciálne do skupiny neoxidovej keramiky. Aktívne sa nezúčastňujú na tvorbe štruktúry tuhého roztoku, ktorú tvoria zliatiny matrice. Pri návare hovoríme o kompozitnom materiály. Kompozity pre naváranie majú svoje charakteristické vlastnosti, ktoré sa zaraďujú na špičku medzi materiály proti oteru, abrazii atď (HERMAN, 2006). Cenový rozsah týchto materiálov je podstatne vyššia, ako klasické návarové materiály. Ich životnosť a úžitková hodnota je však niekoľkonásobne vyššia ako tradičné materiály na základe uhlíka, chrómu a ďalších legujúcich prvkov. Teda materiálov, ktoré obsahujú legovanú ledeburitickú štruktúru s karbidmi chrómu a ďalších legujúcich prvkov.



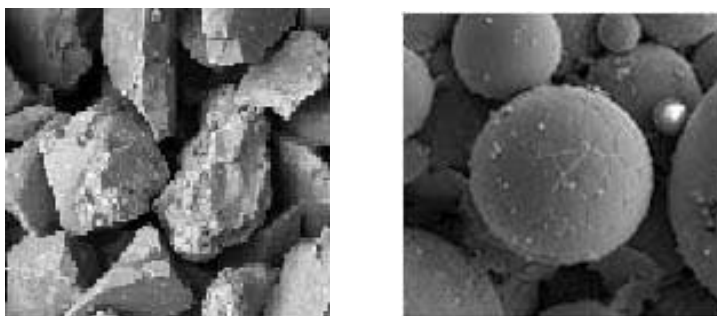
Obrázok 5 Makroskopická štruktúra návaru karbidov v matrici (HERMAN, 2006)

Pri výrobe vznikajú dve druhy väzieb, WC a W₂C (Tabuľka 1). Tieto druhy majú rozdielne vlastnosti.

Tabuľka 1 Rozdelenie wolfrámkarbidov

Typ wolfrámkarbidu	Tvrdosť (HV)	Hustota (g/cm ³)	Teplota tavenia (°C)
WC	2400	15,7	2870
W ₂ C	3000	17,2	2730

Wolfrámkarbidy sa vyrábajú tavením. Charakteristickým znakom je spracovanie zrn. Zrná sa vyrábajú mletím alebo drvením, s označením FTC (Fused Tungsten Carbide), sú nerovnomerné (obrázok 6, vľavo), s ihlicovým (acikulárnym) tvarom zrn. Sférický wolfrámkarbid s označením ako SFTC (Spherical Fused Tungsten Carbide), má rovnomerný, guľatý tvar zrn (obrázok 6, vpravo). Spekaný (sintrovaný) wolfrámkarbid je vyrábaný špeciálne pre žiarové nástreky. Tvar zrna je guľatý a väčšinou je spekaný v zmesi s kobaltom. Kobaltu je 8 -18% a zvyšok zmesi tvorí wolfrámkarbid. Spekanie s obsahom asi 12% niklu sa používa menej. Rozsah veľkosti zrn je veľký a určuje sa podľa použitej technológie na naváranie. Sférické zrná sa vyrábajú v zrnitosti od 0,05 – 1,0 mm. Drvený sa používa od 0,18 mm až do rozmerov zrn 8,0 x 12,0 mm. Obsah uhlíka a správne tepelné spracovanie významne vplýva na typ wolfrámkarbidu. Pri obsahu uhlíka 3,8 – 4,1 % sa pohybujeme v binárnej sústave wolfrám – uhlík v oblasti eutektika na hranici tvorby WC a W₂C, pri pomere karbidov v rozsahu 78 - 80 % a 20 – 22 % WC.



Obrázok 6 (vľavo) štruktúra acikulárneho WC, (vpravo) štruktúra sférického WC (Herman, 2006)

Hlavnými druhmi matric pre naváranie sú zliatiny so základom niklu alebo železa, ich pomer je rôzny s ďalšími legujúcimi prvkami. Kombinácií je veľké množstvo a závisí iba na špecifikovaní požiadaviek na dosiahnutie konkrétnych vlastností návaru.

Návary sú vhodné na feritické aj austenitické ocele a liatiny. Uplatnenie nájdú v širokom spektre aplikácií v poľnohospodárstve, chemickom, petrochemickom a hutnom priemysle. Matrice sú odolné voči kyselinám, lúhom a ďalším látkam ktoré spôsobujú koróziu. Návary na báze železa majú martenzitickú štruktúru s tvrdosťou v rozsahu 45 – 68 HRC. Týmto zložením je možné navárať feritické, nelegované a nízkolegované ocele a odliatky s obsahom uhlíka do 0,45 %. Pri materiáloch, ktoré majú vyšší obsah uhlíka je potrebné zhotoviť návarovú medzivrstvu.

1.6 Ďalšie legujúce prvky

Na výsledné vlastnosti návaru vplyvajú ďalšie legujúce prvky (RAJEC et al. 1992)

Uhlík: považuje sa za neželateľnú prísadu a odporúča sa udržiavať jeho obsah na pokiaľ možno najnižšej úrovni. Vytvára s kovmi stále a nestále karbidy (napr. železa, volfrámu, chrómu, niklu, atď.). Zvyšuje kaliteľnosť, pevnosť a tvrdosť, ale aj krehkosť prípadne praskavosť zvarového kovu. Pôsobí ako dezoxidátor.

Kremík: pôsobí ako účinný dezoxidátor. Dobrá húževnatosť návaru sa dosiahne pri odporúčanom obsahu v rozsahu 0,15 – 0,35 %. Obsah kremíka viac ako 0,4 – 0,5 % zhoršuje plastické vlastnosti návarového kovu a zvyšuje náchylnosť na praskanie za tepla. Kremík mierne zvyšuje medzu klzu a pevnosti zvarového kovu.

Nikel: je austenitotvorný prvok. Za znížených teplôt zlepšuje vrubovú húževnatosť a znižuje kritickú rýchlosť kalenia. Zvýšený obsah vplýva na praskavosť, preto sa odporúča, aby niklom legované zvarové kovy obsahovali približne 1 % mangánu a nízky obsah kremíka.

Mangán: má priaznivý vplyv na mechanické vlastnosti zvarového kovu. Obvyklý obsah je približne 0,5 – 2 %. Pôsobí ako dezoxidátor. S ohľadom na dezoxidáciu sa odporúča pomer Mn : Si väčší ako 2. Mangán zvyšuje pevnosť zvarového kovu a hodnoty vrubovej húževnatosti. Priaznivý vplyv mangánu na plastické vlastnosti sa odôvodňuje zjemnením zŕn a vznikom acikulárneho feritu. Spolu s kremíkom sa používa na upokojenie pri liatí ocelí, optimálny pomer Mn : Si je 80 : 1.

Chróm: je feritotvorný prvok. Zvyšuje pevnosť zvarového kovu a prekaliteľnosť. Zvyšovanie obsahu chrómu treba voliť citlivo, pretože so zvyšovaním pevnosti môže sa súčasne znižovať vrubová húževnatosť.

Molybdén: pomáha vzniku feritu. Pôsobí na zjemnenie štruktúry. Zvyšuje pevnosť a medzu klzu. Pri obsahu 0,2 – 0,4 % má priaznivý vplyv na vrubovú húževnatosť. Spolu s chrómom a niklom ovplyvňuje pevnosť za vyšších teplôt.

Titán: je veľmi účinný dezoxidátor. Priaznivo vplýva na zjemnenie štruktúry. Má vysokú zlučiteľnosť s uhlíkom, s ktorým vytvára stabilné karbidy. Zabraňuje medzikryštálovej korózii. Pridaný do obalu elektródy vyhára vplyvom vysokej afinity s kyslíkom.

Niób: má podobné vlastnosti pri naváraní ako titán, ale podstatne menej vyhorieva. Používa sa v elektródach ako stabilizátor pri zváraní antikoročných ocelí, pritom je potrebný 8 – 12 násobku obsahu uhlíka.

Vanád: pomerne intenzívne zvyšuje pevnosť zvarového kovu. Spravidla ideálny obsah je do 0,2%, vyšší obsah zhoršuje plastické vlastnosti zvarového kovu.

Wolfrám : vo veľmi malých množstvách má dobrý vplyv pri vytváraní kryštalickej štruktúry. Spôsobuje odolnosť voči vyšším teplotám a tým zhoršuje kujnosť. Spolu s uhlíkom tvorí karbidy.

1.7 Metalografické skúmanie štruktúry

1.7.1 Makroskopické skúšky a proces prípravy

Makroskopické pozorovanie a proces prípravy podľa (Horáček, 2003) nevyžaduje spravidla špeciálne pomôcky. Vzorky sa posudzujú alebo voľným okom alebo jednoduchou lupou (zväčšenie 20-30x). Príprava vzoriek nie je náročná a dokonalá rovinnosť tiež nie je potrebná, skôr však viac záleží na tom, aby vzorky neboli pri príprave tepelne ovplyvnené alebo plasticky deformované. Väčšiu pozornosť treba venovať dokonalému odmasteniu a vysušeniu. Vzorky pre pozorovanie sú buď iba vybrúsené, alebo aj vyleptané. Postup prípravy metalografických vzoriek pre makroskopickú analýzu pozostáva s týchto nasledujúcich krokov.

Odobratie vzorky a jej označenie: správne odobratá vzorka materiálu musí naplno charakterizovať pozorovaný materiál. Odporúča sa vzorky odoberať z miest tam, kde môžeme očakávať trhliny, chyby zvarov, deformácie pri tvárnení, zlievaní a pod. Pri oddeľovaní vzorky treba dbať na to, aby materiál vzorky nebol tepelne namáhaný, alebo v hrubej vrstve tvárnený napríklad strihom, alebo pri obrábaní tupým nástrojom. Vzorky sa po odobratí trvalo a zreteľne označia (razidlá, elektrická ihla, laserový popisovač).

Brúsenie: povrch určený k makroskopickej analýze brúsime na rade brúsnych metalografických papierov s odstupňovanou zrnitosťou od najhrubších po najjemnejšie (80 – 400, prípadne až na 3/0). Číslo označuje počet abrazívnych zŕn na jednotku plochy brúsneho papiera. Brúsny papier sa ukladá na sklenenú alebo liatinovú dosku. Brúsenie vykonávame za sucha a vzorka sa pritláča k brúsnemu papieru len zľahka, aby sa zabránilo vyhriatiu alebo plastickej deformácii pozorovanej vrstvy.

Leptanie: pre zvýraznenie chýb a iných podstatných zmien vlastnosti materiálu sa vykonáva leptanie povrchu ponorením do leptacieho roztoku. Doba leptania sa určuje experimentálne a je omnoho agresívnejšie ako leptanie pre mikroskopickú analýzu. Vybrúsená vzorka sa ponorí do leptadla, ktoré obsahuje chlorid meďnato- amónny, kyselinu chlorovodíkovú a chlorid železitý. Po objavení štruktúry návaru sa vzorka opláchne destilovanou vodou a dokonale osuší. V podstate leptanie končí, ak vzorka stratí lesk. Týmito postupmi možno zviditeľniť jemnejšie podrobnosti štruktúry ako je dendritická štruktúra, tepelne ovplyvnená oblasť návaru a pod.

Makroskopická analýza a pozorovanie

Pri makroskopickej analýze podľa (Brziak, 2003) pozorujeme pripravené vzorky voľným okom, alebo pri malých zväčšeniach mikroskopom. Vzorky sa nemusia pripravovať tak dokonale, preto stačí použitie stereomikroskopu. Stereomikroskopom môžeme pozorovať plochy lomu a povrchy nemusíme dopredu pripravovať.

Pomocou makroskopickej analýzy môžeme pozorovať:

- a). Stanovenie priebehu vlákien (riadkovitosť), ktoré vznikli pretiahnutím primárnej štruktúry v smere tvárnenia za studena alebo pri čiastočnej rekryštalizácii zdeformovanej vrstvy. Na vhodne naleptanej vzorke sa objavia striedavo tmavé a svetlé pásy, ktoré sú spôsobené leptaním a štruktúrnou heterogenitou prípadne prímiesky po plastickej deformácii tvoria vláknitú štruktúru.
- b.) Stanovenie makroštruktúry zvarových spojov. Touto metódou môžeme jednoducho a účinne zistiť kvalitu zvarových spojov. Vďaka chemickej a štruktúrnej rôznorodosti možno vo zvare ľahko pozorovať a merať základné charakteristiky vzhľadu zvaru, stavbu dendritickej štruktúry, tvar, výšku, šírku teplom ovplyvnenej oblasti. STN EN ISO 6520-1 rozdeľuje chyby do kategórií: trhliny, dutiny, vtrúseniny, studené spoje a neprievary, chyby tvaru a rozmerov a iné chyby.

- c.) Pozorovanie chýb materiálu. Sledujeme chyby materiálu, ktoré vznikli pri výrobe, tepelnom spracovaní, tvárnení, zvaraní a naváraní a pri prevádzke pri statickom alebo dynamickom zaťažení. Pre pozorovanie makroštruktúry sa používa norma STN 42 0467. Vzorky sa pripravujú ponorením do leptadla, omytím vodou a osušením. Hlbokým naleptaním možno sledovať: stredovú pórovitosť, chyby tuhnutia a bodové nerovnosti.
- d.) Pozorovanie chemickej heterogenity. V procese tuhnutia materiálu z tekutej fázy (napr. chladnutie návaru) dochádza k výraznému chemickému odmiešaniu – dochádza k vzniku dendritickej štruktúry. Vyvolanie štruktúry dosiahneme postupným leptaním oblastí dendritu. Medzi chemické nerovnorodosti patrí aj zisťovanie prítomnosti síry Baumanovým odtlačkom, zisťovanie odmiešania fosforu Haynovým leptadlom.

1.7.2. Mikroskopické skúšky

Podľa (Balla, 2007), najpoužívanejšou metalografickou metódou je vedľa makroskopickej analýzy mikroskopická analýza. Je to analýza detailu celkovej štruktúry kovov pomocou metalografického mikroskopu, spravidla pri zväčšení väčšom ako 30x. V laboratóriách sa na metalografickú analýzu používajú svetelné metalografické mikroskopy, umožňujúce pozorovanie povrchov kovových vzoriek v odrazenom svetle. Kovy nie sú priehľadné pre elektromagnetické vlnenie s vlnovými dĺžkami z viditeľného spektra, preto je potrebné vhodným spôsobom pripraviť povrchy vzoriek kovov na pozorovanie v odrazenom svetle. Maximálne zväčšenia svetelných mikroskopov sú 1800x, maximálna rozpoznávacía schopnosť je 2000 Å. Takéto parametre svetelného mikroskopu sú postačujúce pre analýzu štrukturálnych skutočností kovov. Mikroštruktúrnou analýzou ako uvádza (Brziak, 2003) zo správne pripraveného povrchu kovovej vzorky možno stanoviť tieto údaje:

- štrukturálny stav kovu a často aj jeho približné chemické zloženie,
- veľkosť, tvar a spôsob rozmiestnenia jednotlivých štruktúrnych zložiek,
- veľkosť odmiešania prvkov,
- čistotu kovu, druh, spôsob a množstvo vylúčených vtrúsenín,
- vhodnosť kovu na určité použitie, kvalitu jeho mechanického a tepelného spracovania.

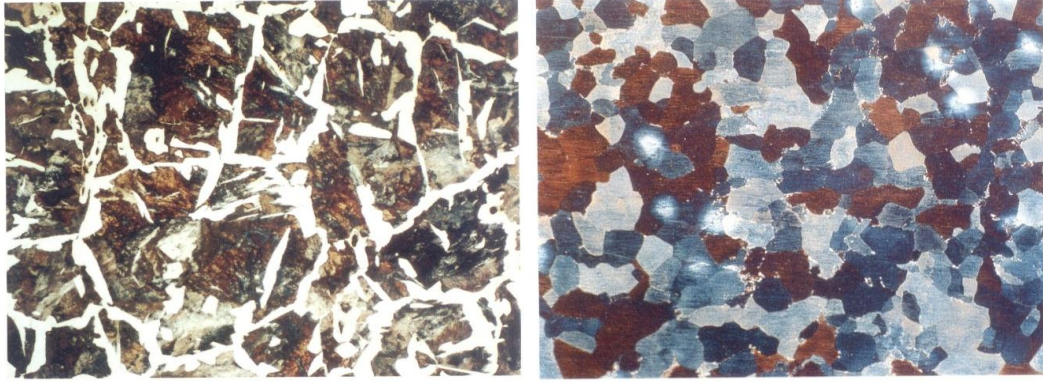
Mikroskopická analýza sa skladá z dvoch rozhodujúcich celkov. Prvá časť zahŕňa odber vzoriek a prípravu na pozorovanie. V druhej časti nasleduje samostatné pozorovanie pod mikroskopom, dokumentovanie a vyhodnotenie.

1.8. Farebná metalografia

Podľa (Skočovský et al, 2001) uvádza, že najstaršou, najpoužívanejšou a najviac rozšírenou metódou experimentálneho skúmania štruktúry kovov a ich zliatin je svetelná metalografická mikroskopia. V klasickej metodológii mikroštruktúrneho skúmania sa používa na odlišenie štruktúrnych súčastí čierno – biely kontrast medzi mikroštruktúrnymi zložkami. Výraznejšiu výpovednú hodnotu svetelnej mikroskopie možno v mnohých prípadoch rozšíriť použitím farebného kontrastu štruktúry, ktoré sa môžu zvýrazniť použitím doplnkových zariadení svetelného metalografického mikroskopu alebo zvláštnou úpravou povrchu vzoriek určených na pozorovanie. Použitie farebného kontrastu sa v poslednej dobe stále viac rozširuje, aj tak je to stále pomerne málo, hoci základné metódy pozorovania mikroštruktúrnych zložiek sú dobre rozpracované.

Často sa rozumie využívanie farby štruktúrnych zložiek pri metalografickom rozbere s tým, že sa kladie dôraz na zdokumentovanie metalografického rozboru. Takéto chápanie farebnej metalografie smeruje k výhradám proti jej použitiu, ktorá končí konštatovaním, že farba fáz skúmanej vzorky je nereprezentatívna a nereprodukovateľná. Opak je pravdou a farebný rozdiel medzi fázami môžeme vhodne využiť. V množstve prípadov sa môže použiť farebný kontrast tam, kde bežným postupom nedostaneme identifikovateľný fázový kontrast. Nie je dôležité či použijeme modro-žltý alebo zeleno-okrový kontrast, vlastne nie je potrebné presné farebné napodobenie, vyvolaním farebného kontrastu dosiahneme zvýraznenie každej vrstvy a medzivrstvy podľa ich chemického zloženia. Farebný kontrast medzi jednotlivými mikromiestami získame použitím týchto postupov:

- je daný prirodzenou chromatickosťou niektorých fáz,
- vzniká v dôsledku rozdielných vlastností častíc v polarizovanom svetle,
- vzniká interferenciou fázovo posunutých vln v dôsledku odrazu od nerovnosti povrchu, v dôsledku rôznej odrazivosti fáz a viacnásobnej reflexie v transparentnej povrchovej vrstve alebo premenlivej hrúbky transparentného filmu.



Obrázok 7 (vľavo) Štruktúra podeutektoidnej ocele ($\approx 0,6\% \text{ C}$), leptané Nital, zväčšené 250x
(vpravo) Štruktúra nízkouhlíkovej ocele (farebný ferit + biely terciálny cementit), leptané Klemm, zväčšené 250x

Použitie farebnej metalografie

Farebná metalografia podľa (Skočovský et al, 2001) dáva nové možnosti laboratórneho pozorovania, umožňuje odlíšiť jednotlivé štruktúrne fázy (obrázok 7), ktoré pri použití čierneho-bieleho kontrastu sú veľmi ťažko pozorovateľné alebo vôbec nie sú rozlíšiteľné. Farebná metalografia využíva poznatky chemického zloženia, štruktúrnych zložiek a vzájomného spolupôsobenia jednotlivých zložiek. Farebný kontrast má svoje opodstatnenie a možno ho preto využiť na:

- pozorovanie v polarizovanom svetle, ktoré pomôže rozoznať fázy s rozdielnymi optickými vlastnosťami,
- rozdielny interferenčný kontrast vyvolaný prídavným zariadením mikroskopu zvýrazňuje povrchový reliéf, čo využijeme pri pozorovaní povrchových deformačných procesov,
- metalografické vzorky, ktoré sú leptané farebne zvýrazňujú rozdiel v chemickom zložení mikrolokalít, to umožňuje pozorovanie a štúdium segregáčnych javov, tepelne ovplyvnenej oblasti, difúzne vrstvy a pri rozlíšení fáz so značne rozdielnym chemickým zložením.

2 CIEĽ PRÁCE

Predmetom výskumu v predkladanej diplomovej práci je zosumarizovanie poznatkov v oblasti tribologických procesov a pomocou laboratórneho skúmania a pozorovania určiť rozhodujúce vlastnosti, ktoré sú dôležité pre návarové materiály pracujúce v prostredí abrazívneho opotrebenia.

Cieľom je zosumarizovať výsledky nameraných hmotnostných úbytkov a určiť testom pomernej odolnosti materiál, ktorý najlepšie vyhovuje pre nasadenie v prostredí abrázie.

Ďalším cieľom práce je pomocou makroskopických snímok zistiť chyby, ktoré majú významný vplyv na celkový vzhľad, tvar, celistvosť, štruktúru návaru a jeho okolie. Makroskopické pozorovanie dokáže odhaliť chyby nielen v návarovom kove, ale aj v oblasti bezprostredného okolia návaru, a základného materiálu, ktoré je ovplyvnené tepelným pôsobením oblúka.

Na základe výsledkov meraní tvrdosti, sa pokúsime vytvoriť celkový obraz o charaktere jednotlivých vrstiev návaru, teplom ovplyvnenej oblasti a základného materiálu.

Tieto základné pozorovania by mali poskytnúť dostatok dôkazov pre základné určenie štruktúry návaru. Potom môžeme predpokladať ako sa bude ten-ktorý materiál správať a jeho použitie bude efektívne pri odstraňovaní následkov opotrebenia alebo preventívneho zlepšovania plôch odolných proti opotrebeniu.

3 METODIKA PRÁCE

3.1 Charakteristika prístroja na naváranie

Pre naváranie vzoriek sme použili zvärací invertor Stel Miggy 160. Toto zariadenie má viacnásobné použitie. Zaručuje spoľahlivý chod pre zváranie elektrickým oblúkom metódou MIG (131)*, metódou TIG (141)* s kontaktným zapáľovaním a po prepólovaní svoriek, sú dostupné po odložení bočného krytu aj obalenou elektródou E (111)*. Zdroj je vyrobený ako kompaktný zdroj prúdu s primeranou hmotnosťou a rozmermi, ktoré dovoľujú operatívne premiestňovanie na pracovisku, podľa potrieb navárania. Zdroj je napájaný napätím 230V.

Tabuľka 2 Technické údaje zariadenia

Napájacie napätie	V	220/230
Počet fáz		1
Frekvencia	Hz	50/60
Napätie naprázdno	V	50
Účinník	cos Ø	0,8
Regulácia zväracieho prúdu	A	5-135
Zvärací prúd DZ 60%	A	135
Zvärací prúd DZ 100%	A	120
Vstupný prúd DZ 60%	A	23
Vstupný prúd DZ 100%	A	20
Príkon 60%	kVA	5,4
Príkon 100%	kVA	4,7
Pracovné napätie	V	20-25,4
Ochrana	IP	22
Izolačná trieda		H
Maximálna pracovná teplota	°C	40
Prívodný kábel	mm ²	2,5x3
Ochranná poistka	A	16
Rozmery d x š x v	mm	410 x 200 x 330
Hmotnosť	kg	17

* - označovanie metód zvárania podľa STN EN ISO 4063

3.2 Charakteristika základného materiálu

Základný materiál pre naváranie sme zvolili oceľ 12 050 (EN-C45). Je to konštrukčná uhlíková oceľ, vhodná na výrobu menej namáhaných strojných súčiastok, vhodná k zušľachtovaniu a povrchovému kaleniu. Optimálne mechanické vlastnosti dosahuje v zušľachtenom stave, po zakalení, popustení alebo normalizačnom žíhaní. Pri kalení zložitých tvarových dielcov je náchylná na vznik trhlín, preto sa odporúča kalit' v oleji. Povrchové kalenie je vhodné vykonávať plameňom alebo indukciou.

Tabuľka 3 Chemické zloženie ocele 12 050 v %

C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
0,42- 0,50	0,50- 0,80	0,17- 0,37	Max. 0,25	Max. 0,30	Max. 0,30	Max. 0,040	Max. 0,040

Tabuľka 4 Mechanické vlastnosti ocele podľa STN 41 2050 ^{*)}

			12 050
Medza klzu	<i>Re</i>	MPa	Min.325
Medza pevnosti	<i>Rm</i>	MPa	Min.540
Ťažnosť	<i>A</i>	%	Min.17
Tvrdosť		HB	Max.225
Kontrakcia	<i>Z</i>	%	
Modul pružnosti v ťahu	<i>E</i>	GPa	211
Modul pružnosti v šmyku	<i>G</i>	GPa	79

Poznámky: ^{*)} Lexikón technických materiálov

Tabuľka 5 Alternatívne označovanie ocele

ISO	C60E4 ISO 683-1-87
EURO	C45 EN 10083-2-91
Nemecko	C45 DIN 17200-84 (1.1191)
Veľká Británia	C45 BS EN 100083-2-91
Francúzsko	C45RR
USA	Gr. 1043 ASTM A510

Oceľ STN 12 014.20 (EN - C10)

Ušľachtilá, žíhaná, nízko uhlíková, uľudnená, magneticky mäkká oceľ. Jej tvrdosť sa pohybuje v rozsahu 95 – 105 HV. Je zaručene zvariteľná, vhodná na galvanické pokovovanie a tvárnenie za studena.

Tabuľka 6 Chemické zloženie ocele 12 014.20

C	Mn	Si	P	S
0,06	0,45	0,15	0,020	0,020

Označovanie ocelí určuje norma STN EN 10027-1. Označovanie je podľa chemického zloženia pre nelegované ocele s obsahom %Mn<1, bez automatových ocelí.

CXX – kde XX je 100 násobok obsahu % C.

3.3 Charakteristika prídavných materiálov

V univerzitných laboratóriách sme tribologickým skúškam podrobili tieto druhy prídavných materiálov.

Elektróda Welco 1771

Elektróda je vyhotovená ako trubička s obsahom wolfrám-karbidov. Návary zhotovené touto elektródou sú extrémne tvrdé, zvlášť vhodné ako ochrana proti oteru pôsobení zeminy, cementu, soli, dreva, ílu, uhoľného prachu atď. Minimálne premiešanie so základným materiálom, pri vedení stredne dlhým oblúkom. Pri naváraní je vhodné, aby celková vrstva návaru nepresiahla 4 mm a bolo zaistené pomalé ochladzovanie. Pre nástroje citlivé na vznik trhlín je doporučený predohrev na 200 – 300°C. Použiteľná pre naváranie v pozíciách.

Tabuľka 7 Chemické zloženie Welco 1771

Materiál	Chemické zloženie zvarového kovu				Tvrdosť
Welco 1771	WC	Si	Mn	Fe	65-72 HRC
	57 - 60	1,2	1,3	zvyšok	

Použitie v polohách (podľa STN EN ISO 6947) PA,PB, PC, PF.

Elektróda Welco 1701 S

Tvrdo-návarová elektróda Welco 1701 S je vyvinutá na chróm-karbidovej báze. Je použiteľná pri opotrebovaní oterom, tlakom, pri strednom namáhaní rázmi s pracovnou teplotou do +200C°, dobre odoláva korózii. Vytvára hladké povrchy s nízkym trením. Je

vhodná na naváranie zubov bagrov, strihacích lišt, koncov ventilov, dopravníkových skrutkovíc. Dobrá ovládateľnosť zvarového kúpeľa, plochý rovnomerný povrch, nie je potrebné ďalšie opracovanie, ľahko oddeliteľná troska. Výťažnosť je 175 %.

Tabuľka 8 Chemické zloženie Welco 1701 S

Materiál	Chemické zloženie zvarového kovu								Tvrdosť
Welco 1701 S	C	Mn	Cr	Mo	Nb	W	V	Fe	58-66 HRC
	4,3	1,3	38	0,8	0,03	1,3	0,5	zvyš	

Použitie v polohách (podľa STN EN ISO 6947) PA,PB,PC,PF.

Elektróda Hard Fro 600

Hard Fro 600 je základná tvrdonávarová elektróda určená na naváranie vrstiev odolných proti oteru. Vhodná na najnáročnejšie zvary na uhlíkových oceliach. Určená na naváranie náradia určeného na vrtanie do skál, miešacie zariadenia v betonárkach a súčiastky, ktoré sa pohybujú v pôde. Po nanesení viac vrstiev je možné návar tepelne spracovať : kalenie 880°C, popúšťanie 850°C, temperovanie 475 °C, dosiahne sa tak vyššia tvrdosť návarovej vrstvy. Návarový kov nie je trieskovo obrobiteľný.

Tabuľka 9 Chemické zloženie Hard Fro 600

Materiál	Chemické zloženie zvarového kovu								Tvrdosť
Hard Fro 600	C	Mn	Cr	Mo	Si	V	P	S	55-57
	0,50	0,45	7,5	≤ 0,45	0,75	0,7	≤ 0,03	≤ 0,03	HRC

Použitie v polohách (podľa STN EN ISO 6947) PA,PB,PC,PF.

Elektróda E 520 B VUZ

Elektróda určená na naváranie vrstiev odolných proti silnému abrazívnemu opotrebovaniu za normálnych a zvýšených teplôt. Návary sú vhodné na časti bankých kombajnov, zemných a poľnohospodárskych strojov. Nie je vhodná pre naváranie v polohách.

Tabuľka 10 Chemické zloženie E 520 B

Materiál	Chemické zloženie zvarového kovu					Tvrdosť
E 520 B	C	Mn	Si	Cr	V	61 HRC
	3,5	0,8	0,8	25	1,3	

Použitie v polohách (podľa STN EN ISO 6947) PA.

3.4 Charakteristika chladiacej reznej kvapaliny

Na delenie materiálu pri príprave vzoriek a delenie samotných vzoriek sme použili chladiacu reznú kvapalinu Dascool 1050 ZF. Je to zmes vysoko rafinovaných minerálnych olejov, inhibítorov korózie, konzervačných látok a aditív, jantárovej farby, miešateľná s vodou. Za bežných podmienok je stabilný pri teplotách od 5-40°C. Produkt nie je nebezpečný z hľadiska výbušnosti. Pri práci nesmie prísť do styku so silnými oxidačnými činidlami a kyselinami, lebo rozkladom vznikajú nebezpečné oxidy dusíka, uhlíka a síry.

3.5 Skúšobné vzorky

Na zhotovenie vzoriek sme použili valcovú, ťahanú oceľ, triedy 12 050. Na obrobkoch približných rozmerov Ø 10x50 mm sme trieskovým obrábaním zarovnali čelá, pre kolmosť a rovinnosť návarových plôch. Všetky vzorky sme označili číselnou raznicou pre typ návaru a počet naváraných vrstiev, odmastili technickým benzínom.

- priemer vzorky Ø 10 mm,
- dĺžka vzorky po opracovaní 45 mm,
- drsnosť obrobenej plochy Ra 3,2.

Z ocele 12 050 sme zhotovili tri vzorky bez návaru a použili ako referenčný materiál.

Z ocele 12 050 sme zhotovili pre každý návarový materiál:

- 3 vzorky - 1 návarová vrstva
- 3 vzorky - 2 návarové vrstvy
- 3 vzorky - 3 návarové vrstvy

Celkový počet vzoriek z ocele 12 050 je 36.

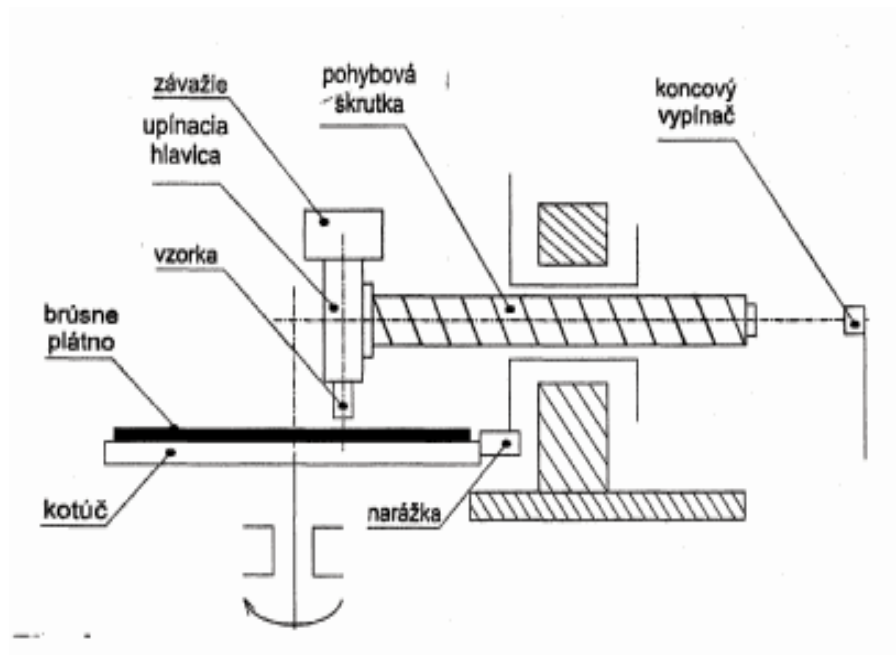
Normou definovaný etalón je z ocele 12 014.20, zhotovili sme tri vzorky.

3.6 Charakteristika skúšobného zariadenia

Skúšobné zariadenie (obrázok 8) je vyhotovené tak, aby skúšobná vzorka opisovala špirálovú dráhu a bola v neustálom kontakte s brúsny plátnom.

Prístroj sa skladá z oceľového taniera, na ktorý sa ukladá brúsne plátno. Jednoduchý mechanizmus umožňuje uchytiť brúsne plátno, ktorého zrnitosť je daná normou. To umožňuje simulovať rôzne podmienky opotrebenia. Skúšobné teleso sa upína do držiaka. Držiak so skúšobným telesom je vložený do posuvného mechanizmu a zaťažený závažím. Závažie zabezpečuje, že počas otáčania taniera bude vyvođený konštantný prítlak na skúšobné teleso.

Prístroj sa ďalej skladá z pohybovej skrutky, ktorá umožňuje radiálny pohyb vzorky. Skúšobné teleso sa pohybuje špirálovito od stredu ku okraju a po prejení predpísanej dráhy sa zastaví. Zastavenie mechanizmu je riešené pomocou koncového spínača. Vzorka sa pohybuje tak, že je v neustálom kontakte s nepoužitým plátnom. Na čelnej strane prístroja sú umiestnené ovládacie tlačidlá.



Obrázok 8 Schéma skúšobného zariadenia

Skúšobné zariadenie umožňuje simuláciu rôznych podmienok opotrebenia na základe zmeny trecej rýchlosti, zmeny priečného posuvu a voľby priemeru trecej dráhy.

Parametre skúšobného zariadenia použité pri simulácii podmienok opotrebenia:

- trečia rýchlosť: $0,15-0,48 \text{ m.s}^{-1}$,
- nastavenie priečného posuvu: 3 mm.ot^{-1} ,
- priemer trecej dráhy: 480 mm,
- dĺžka trecej dráhy, závisí od priečného posuvu vzorky: 50 m,
- prítláčny tlak: 0,25MPa
- brúsne plátno: korund alebo karborund, zrnitosť 100,
- priemer použitej vzorky: $\text{Ø } 10 \text{ mm}$.

3.7 Charakteristika pomocných zariadení

Laboratórna váha Precisa 205 A

Váhu sme používali pri zisťovaní hmotnosti vzoriek pri stanovení pomernej odolnosti. Test vyžaduje, aby sme hmotnosť vzoriek zisťovali pred a po experimente. Požadovaná presnosť hmotnosti skúšobnej vzorky sa dá odčítať s presnosťou 0,1 mg. Váha sa ovláda intuitívne, má prehľadne umiestnené ovládacie prvky a dobre čitateľný číslicový displejom.

Tvrdomer HPO 250

Tvrdomerom je možné merať tvrdosť materiálu metódou podľa Vickersa. Prístroj je riešený tak, že zmeriame hĺbka vtlačku. Hodnotu tvrdosti potom nájdeme v tabuľkách, na základe dĺžky uhlopriečok. Plocha meranej vzorky musí byť rovná a hladká, bez okují, cudzích teliesok a mazív. Meraná vzorka musí byť uložená na pevnej a nepoddajnej podložke, čo zaručuje pracovný stôl.

Tabuľka 11 Technické údaje HPO 250

Merací rozsah (N)	max. 2452,5
Meranie diamantom	Vickersov diamant, vrcholový uhol stien 136°
Priemer pracovného stola (mm)	max. 300
Prevedenie prístroja	liatinový stojan

3.8 Postup merania

Zhotovenie a príprava vzoriek

Skúšobné vzorky sme navárili invertorom Stel Miggy 160. Prípravu zdroja sme vykonali podľa návodu výrobcu. Zvárací vodič s elektródou sme zapojili na kladný pól a zemiaci vodič na záporný pól. Veľkosť prúdu pre naváranie (Tabuľka 14) sme nastavili pomocou ovládacích prvkov na prednom paneli.

Tabuľka 12 Veľkosť nastaveného prúdu

Poradie vzorky	Druh elektródy	Ø elektródy, (mm)	Prúd, (A)
1	Welco 1771	4,0	110
2	Welco 1701 S	3,2	110
3	Hard Fro 600	3,2	120
4	E 520 B VUZ	2,5	90

Skúšobné telieska sme upínali do prípravku, postupne navárili zvoleným typom prídavného materiálu, potrebný počet vrstiev. Po voľnom chladnutí a očistení od trosky

sme vzorky upravili. Za pomoci chladiacej emulzie, aby nedošlo k tepelnému ovplyvneniu povrchu vzorky, sme odstránili pretečený kov z okrajov. Zarovnali sme povrchu návaru pre meranie tvrdosti.

Postup merania pomernej odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu

Testované teliesko sme vložili do prístroja na meranie pomernej odolnosti. Prístroj sme spustili a nechali otáčať tanier s brúsny plátnom. Zistili sme hmotnosť vzorky na laboratórnej váhe Precisa 205A s presnosťou 10^{-4} g. Vzorku sme opätovne vložili do prípravku, na tanier umiestnili nový brúsny papier a spustili otáčanie. Norma stanovuje skúšobné zaťaženie 0,25 MPa. Kontrolovali sme správny chod prístroja. Dôležité je, aby bol dokonalý plošný kontakt s brúsny plátnom a radiálne posúvanie po čistom plátne. Pre každú vzorku sme použili nové brúsne plátno rovnakej zrnitosti. Vzorka sa pohybovala po tretej dráhe 480 mm a po prejdení 50m dráhy sa zastavila pomocou koncového spínača. Skúšobné teliesko sme vybrali, dokonale očistili a zistili jej hmotnosť s presnosťou 10^{-4} g. Namerané hmotnosti sme zapísali a usporiadali do tabuľky.

3.9 Vyhodnotenie nameraných hodnôt úbytkov materiálu

Vzorky sme testovali podľa počtu návarových vrstiev, každú zvlášť. Z rozdielov hmotností pred a po skúške sme vypočítali priemerné hmotnostné úbytky materiálu. Hodnoty pomernej odolnosti sme dostali vzájomným porovnaním priemernej hodnoty vzorky a etalónu. Pracovný postup a výpočet hodnôt pomernej odolnosti určuje norma STN 01 5084. Podľa vzťahu v uvedenej norme sme vypočítali pomernú odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu ψ_{abr} na brúsny plátne.

Upravený vzťah pre výpočet pomernej odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu:

$$\psi_{abr} = \frac{W_{oE}}{W_h} = \frac{W_{hE}}{W_h} \quad (3)$$

kde: ψ_{abr} - pomerná odolnosť proti opotrebeniu

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

W_o - priemerný objemový úbytok skúšobných telies skúšaného materiálu, mm^3

W_{hE} - priemerný hmotnostný úbytok etalónových skúšobných telies, g

W_h - priemerný hmotnostný úbytok skúšobných telies skúšaného materiálu, g

3.10 Príprava vzoriek pre metalografické pozorovanie

Príprava vzoriek a zhotovenie návaru

Pre zhotovenie návaru sme použili oceľ 12 050, pretože svojimi mechanickými a chemickými vlastnosťami zodpovedá materiálu, ktorý sa používa na časti orbových telies lemešov, radličiek a kypričov. Na zhotovenie vzoriek sme použili pásovú oceľ, ktorú sme narezali na príslušný rozmer strojnou pílou PR 20, s použitím chladiacej emulzie s vodou, v pomere 1 : 20, aby nedošlo k tepelnému ovplyvneniu štruktúry materiálu. Po odrezaní sme opracovali hrany vzorky plochým pilníkom na konečný rozmer 30x50x10 mm. Plochu vzorky sme uhlovou brúskou s upevneným brúsnym plátnom očistili do kovového lesku. Na očistenú stranu sme zhotovili súvislú jednovrstvovú húsenicu, z každého druhu prídavného materiálu. Po voľnom chladnutí sme vzorky očistili od trosky, rozstreku kovu a zadymenia. Vzorky sme viditeľne označili, aby nedošlo k zámene.

Delenie navarenej vzorky

Skúšobnú vzorku sme rozrezali, kolmo na návar, pomocou kotúčovej píly BUEHLER AbrasiMatic 300 s chladením emulziou reznej kvapaliny, aby nedošlo k štruktúrálnej zmene návarového kovu a základného materiálu.

Preparácia

Pre lepšiu manipuláciu so vzorkami sme ich zaliali do umelej hmoty. Na zalievanie vzoriek sme použili lis SIMPLIMET 2000. Po úvodnej príprave lisu sme otvorili prívod vzduchu a vody. Skontrolovali sme prednastavené parametre, pretože po spustení lisovacieho cyklu už nemožno program meniť a nastavovať parametre.

Parametre sme nastavili:

- čas zahrievania pre jednu vzorku 6 minút (pre dve 7 minút),
- tlak 290 Bar pri teplote 180°, s časom chladnutia 5 minút.

Vzorku sme položili tak, aby bola pri ďalšej práci brúsenou stranou dole, zasypali granulátom, podľa výšky vzorky (cca 1 naberačka). Zatvorili sme kryt, dotiahli v smere hodinových ručičiek a zeleným tlačidlom spustili cyklus lisovania (obrázok 9).



Obrázok 9 Predný ovládací panel automatického lisu Simplimet 2000

Brúsenie a leštenie

Pre brúsenie a leštenie sme zvolili automatizovaný postup na stroji PHOENIX BETA (obrázok 10). Po zapojení sieťového prívodu a zapnutí hlavného vypínača sme otvorili prívod vzduchu a vody. Potom sme nastavili hlavné parametre: čas, prítlak a prietok vody.

Parametre brúsenia:

- brúsny papier BUEHLER CarbiMet 240, čas 3 min, pod vodou, prítlak 5LB, 300 ot/min,
- brúsny papier BUEHLER CarbiMet 400, čas 2 min, pod vodou, prítlak 5LB, 300 ot/min,

Parametre leštenia:

- diamantový kotúč HERKULES H, čas 5 min, leštiaca suspenzia METADI 6 μ , prítlak 5LB, 150 ot/min,
- plátenný kotúč TRIDENT, čas 3 min, suspenzia METADI 3 μ , prítlak 5LB, 150 ot/min.

K diamantovej suspenzii sme počas leštenia prikvapávali zmáčadlo Metadi Fluid.

Leptanie

Pre makroskopické pozorovanie sme vybrali plošné leptanie. Zvolený typ leptadla je 5% roztok HNO₃ v benzínalkohole. Vzorky sme ponorili brúsenou stranou dolu

a nechali pôsobiť 10 sekúnd.. Vzorkou sme počas leptania mierne pohybovali, vybrali z roztoku, opláchli destilovanou vodou a osušili vzduchom.



Obrázok 10 Prístroj na brúsenie a leštenie vzoriek Phoenix Beta

Pozorovanie a digitalizácia

Pre makroskopické pozorovanie sme použili metalografický mikroskop MICROMETRICS. Snímky sú zhotovené s rozlíšením 1024x768 pixelov s 24 bitovou hĺbkou ostrosti.

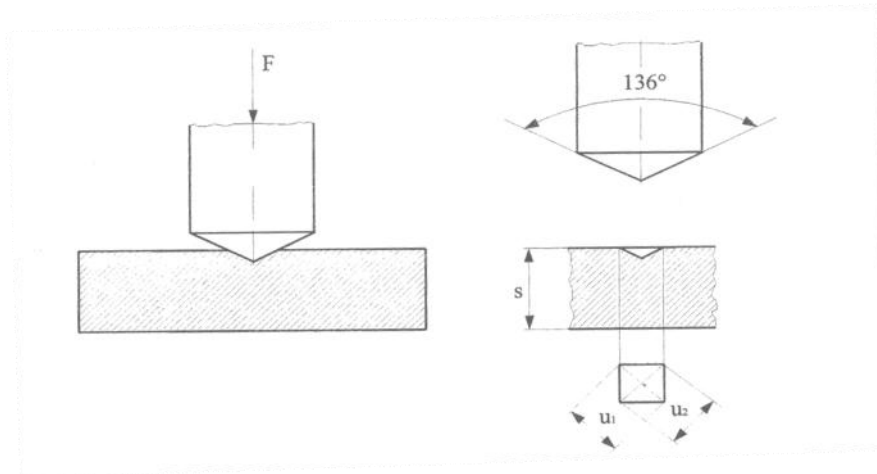
3.11 Meranie tvrdosti

Pre meranie tvrdosti sme zvolili pracovný postup, ktorý je normalizovaný podľa normy STN EN ISO 6507-1. Skúšobné vzorky sme testovali na prístroji VICKERS HPO 250, so skúšobným zaťažením HV 10. Na vzorky pôsobila zaťažujúca sila 98 N, ktorú sme nechali pôsobiť 15 sekúnd. Skúšobným telesom je diamantový ihlan s vrcholovým uhlom 136° (obrázok 11).

Vzťah pre výpočet tvrdosti :

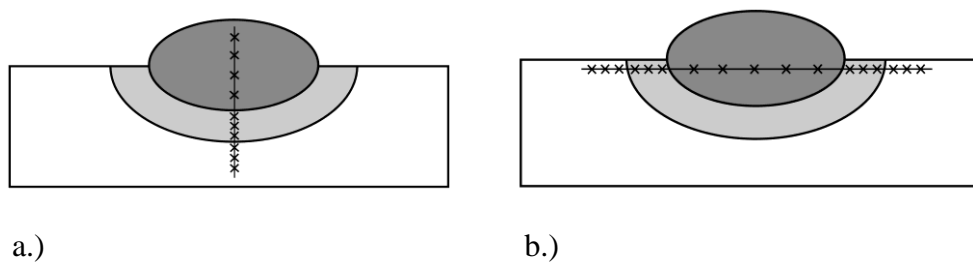
$$HV = \frac{F}{S} = \frac{0,189F}{d^2} \quad (4)$$

kde: F - veľkosť zaťaženia, N,
 S - plocha povrchu vtlačku, mm^2 ,
 d – aritmetický priemer meraných uhlopriečok u_1 a u_2 vtlačku, mm.



Obrázok 11 Schéma vnikacieho telesa

Skúšobné vpichy sme realizovali v priečnom reze návaru, podľa schémy, najskôr kolmo na základný materiál, s celkovým množstvom 10 vpichov (obrázok 12a). Tvrdosť sme merali postupne v návarovom kove, tepelne ovplyvnenej oblasti a základnom materiáli. Ďalšia séria meraní sa uskutočnila rovnobežne so základným materiálom s celkovým množstvom 17 vpichov. Tu sme merali tvrdosť postupne v základnom materiáli, tepelne ovplyvnenej oblasti, návarovom kove, tepelne ovplyvnenej oblasti a základnom materiáli (obrázok 12b). Plocha pre meranie musí byť čistá a rovná.



Obrázok 12 Schéma skúšobných vpichov pre meranie tvrdosti

4 Výsledky práce

4.1 Výsledky merania pomernej odolnosti

Zistené hodnoty etalónu a skúšobných vzoriek sme zaznamenali. Jednotlivé hodnoty sme potom zadávali do vzťahu pre matematický výpočet pomernej odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu. Pre ľahšiu orientáciu sme potom hodnoty meraní a výpočtov pomernej odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu vložili do nasledujúcich tabuliek.

Tabuľka 13 Hmotnostné úbytky a pomerná odolnosť materiálu pri prvej návarovej vrstve

Vzorka	Hmotnosť vzorky, g		Hmotnostný úbytok, g	Priemerný úbytok, g	Pomerná odolnosť ψ_{abr}
	Pred skúškou	Po skúške			
Etalón 12 014.20	31,8469	31,4948	0,3521	0,3641	1,000
	32,4948	31,1223	0,3724		
	31,1224	30,7547	0,3677		
Welco 1771	27,8535	27,7513	0,1022	0,0984	3,7002
	27,3547	27,2598	0,0949		
	27,2469	27,1487	0,0982		
Welco 1701 S	26,2313	26,0628	0,1685	0,1682	2,1647
	26,3154	26,1487	0,1667		
	26,3579	26,1886	0,1693		
Hard Fro 600	27,5889	27,4014	0,1875	0,1829	1,9907
	27,6547	27,4759	0,1788		
	27,8547	27,6724	0,1823		
E 520 B VUZ	27,0853	26,9084	0,1769	0,1770	2,0571
	27,1258	26,9424	0,1834		
	27,0953	26,9247	0,1706		

Tabuľka 14 Hmotnostné úbytky a pomerná odolnosť materiálu pri druhej návarovej vrstve

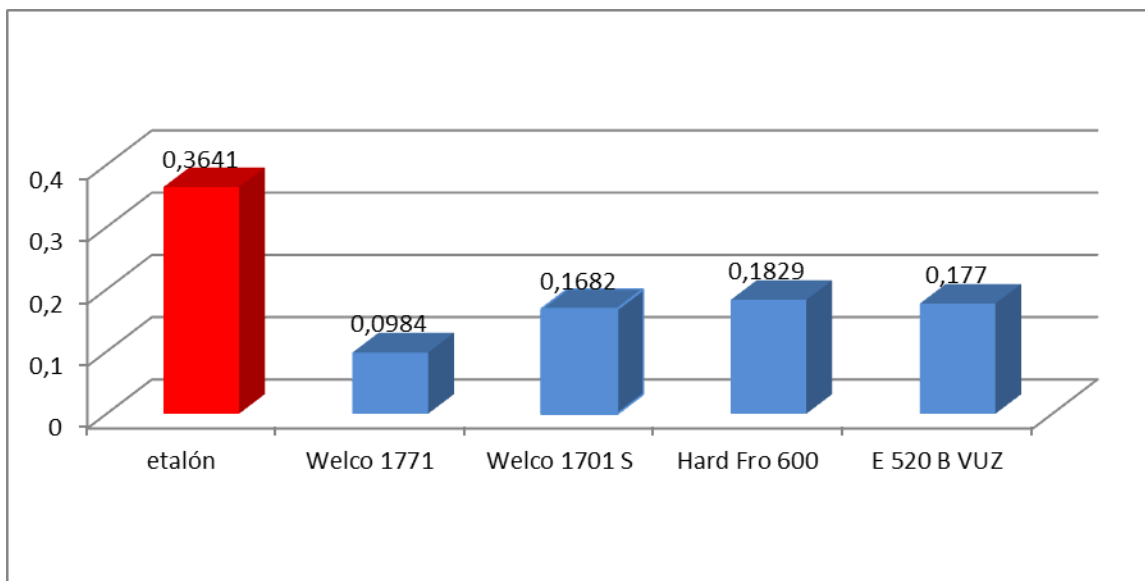
Vzorka	Hmotnosť vzorky, g		Hmotnostný úbytok, g	Priemerný úbytok, g	Pomerná odolnosť ψ_{abr}
	Pred skúškou	Po skúške			
Etalón 12 014.20	31,8469	31,4948	0,3521	0,3641	1,000
	31,4948	31,1224	0,3724		
	31,1224	30,7547	0,3677		
Welco 1701 S	27,1222	26,9784	0,1438	0,1404	2,5933
	27,2463	27,1055	0,1408		
	27,3657	27,2291	0,1366		
Hard Fro 600	27,4787	27,3438	0,1349	0,1402	2,5970
	27,4925	27,3498	0,1427		
	27,3698	27,2267	0,1431		
E 520 B VUZ	27,3076	27,1884	0,1192	0,1166	3,1226
	27,4576	27,3397	0,1179		
	27,6547	27,5421	0,1126		

Tabuľka 15 Hmotnostné úbytky a pomerná odolnosť materiálu pri tretej návarovej vrstve

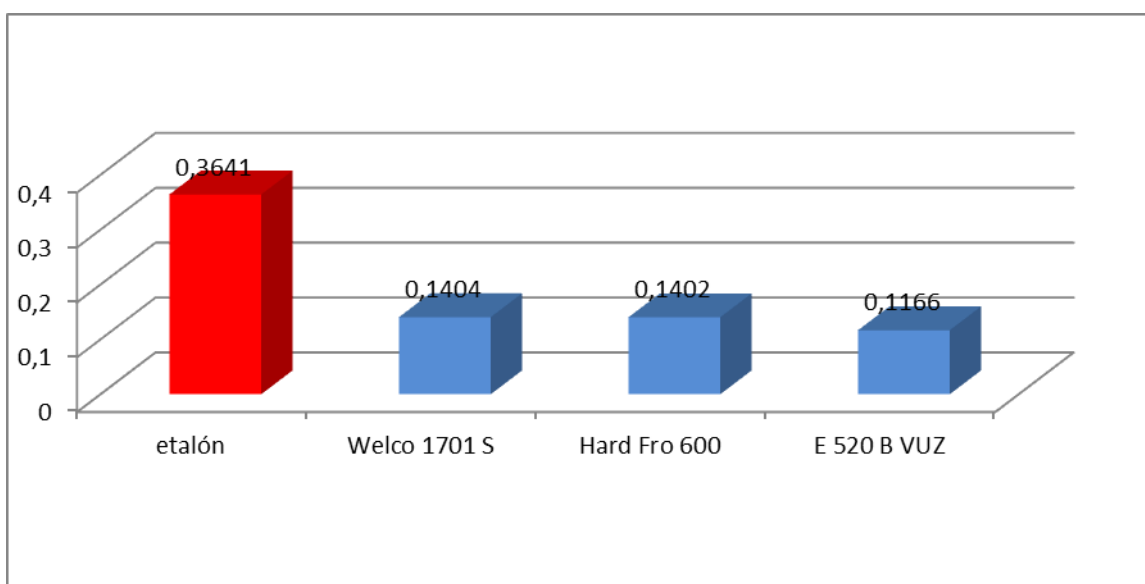
Vzorka	Hmotnosť vzorky, g		Hmotnostný úbytok, g	Priemerný úbytok, g	Pomerná odolnosť ψ_{abr}
	Pred skúškou	Po skúške			
Etalón 12 014.20	31,8469	31,4948	0,3521	0,3641	1,000
	31,4948	31,1224	0,3724		
	31,1224	30,7547	0,3677		
Welco 1701 S	27,8944	27,7861	0,1083	0,1069	3,4059
	27,2347	27,1269	0,1078		
	27,2589	27,1543	0,1046		
Hard Fro 600	26,9782	26,8638	0,1144	0,1121	3,2479
	26,8546	26,7424	0,1122		
	26,7423	26,6327	0,1096		
E 520 B VUZ	27,4716	27,3687	0,1029	0,1029	3,5384
	27,5124	27,4081	0,1043		
	27,4369	27,3354	0,1015		

Grafické zobrazenie hodnôt hmotnostných úbytkov návarových vrstiev

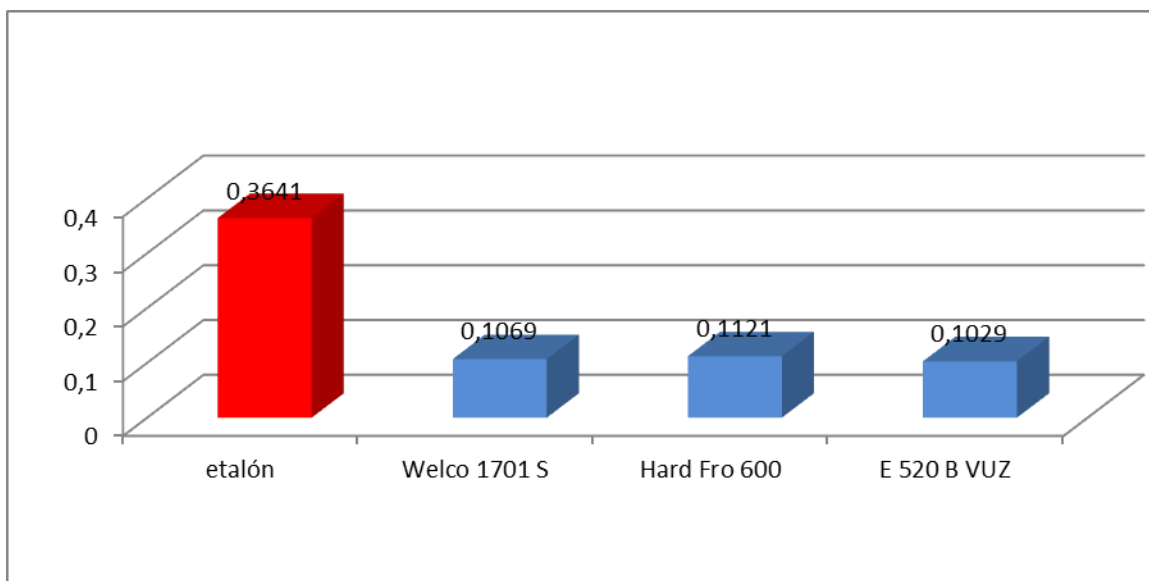
V nasledujúcich grafoch sú uvedené namerané hodnoty hmotnostných úbytkov návarových vrstiev.



Graf 2 Hodnoty hmotnostných úbytkov pri prvej návarovej vrstve



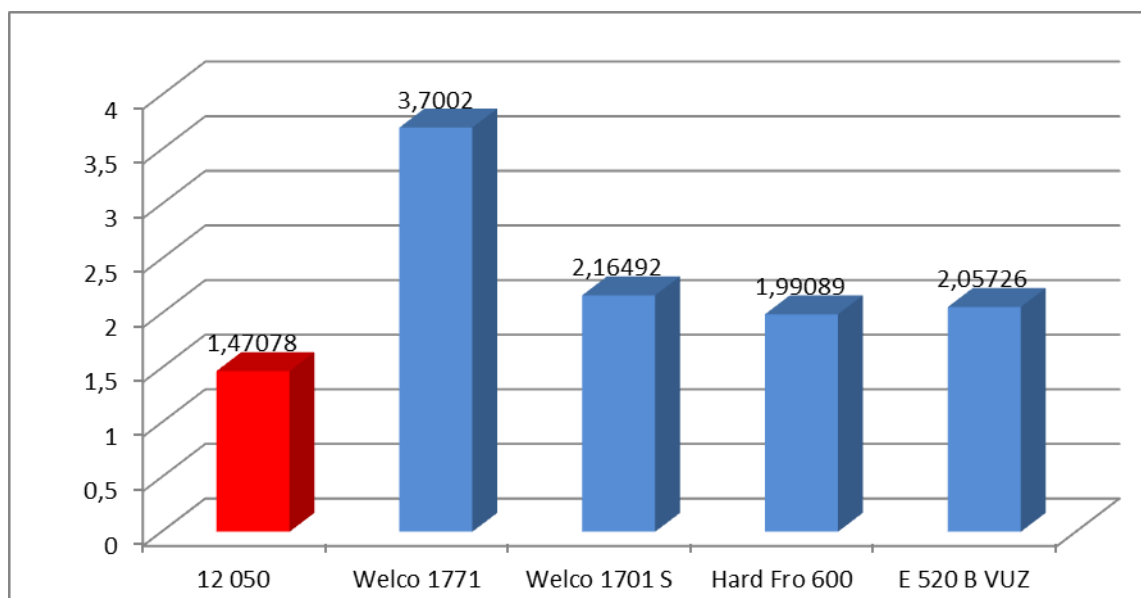
Graf 3 Hodnoty hmotnostných úbytkov pri druhej návarovej vrstve



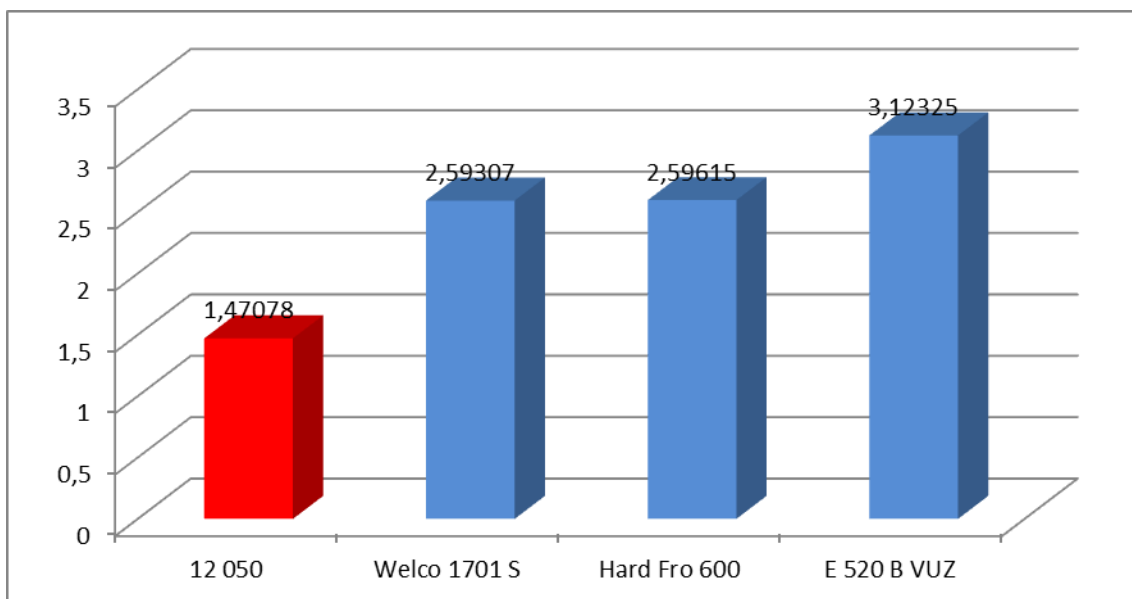
Graf 4 Hodnoty hmotnostných úbytkov pri tretej návarovej vrstve

Grafické zobrazenie hodnôt pomernej odolnosti

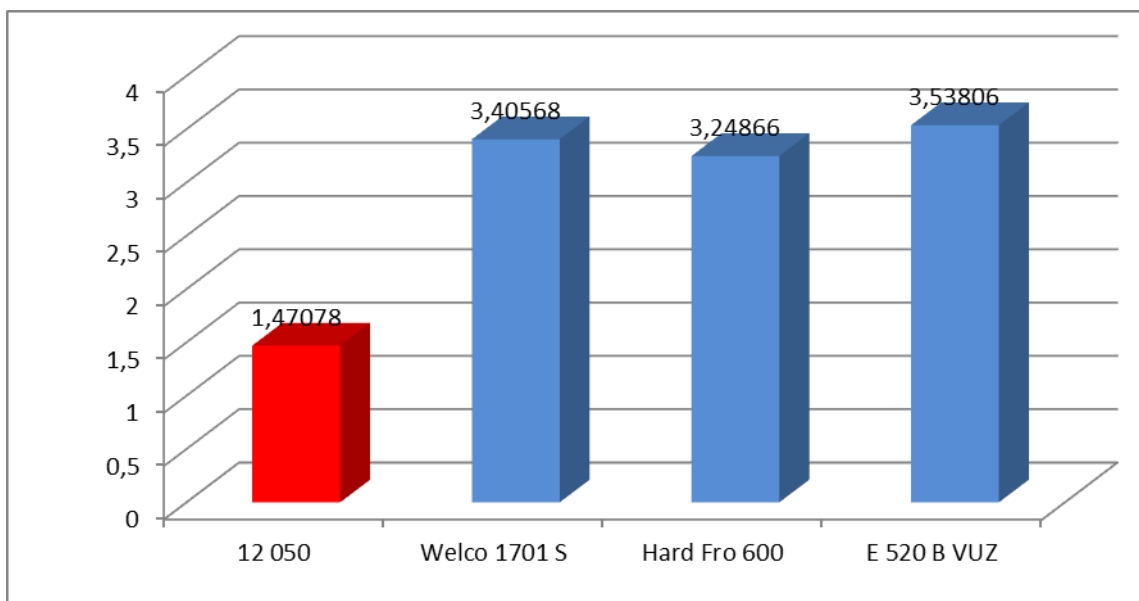
V nasledujúcich grafoch sú uvedené vypočítané hodnoty pomernej odolnosti proti abrazívnemu opotrebovaniu jednotlivých návarových vrstiev.



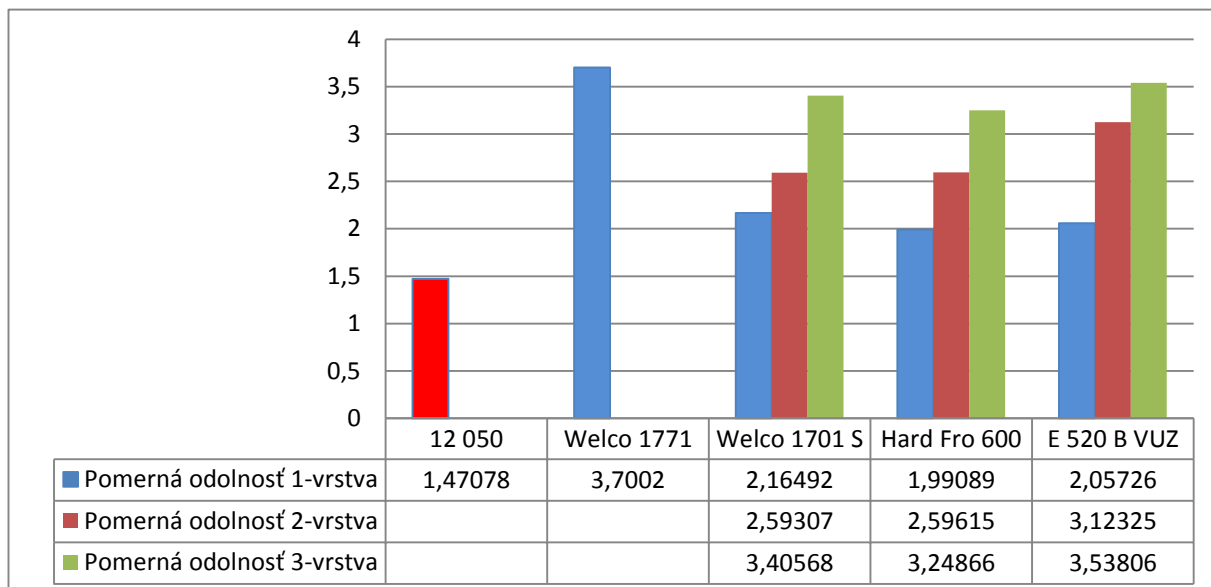
Graf 5 Hodnoty pomernej odolnosti pri prvej návarovej vrstve



Graf 6 Hodnoty pomernej odolnosti pri dvoch návarových vrstvách



Graf 7 Hodnoty pomernej odolnosti pri troch návarových vrstvách



Graf 8 Porovnanie priemerných hodnôt návarových vrstiev

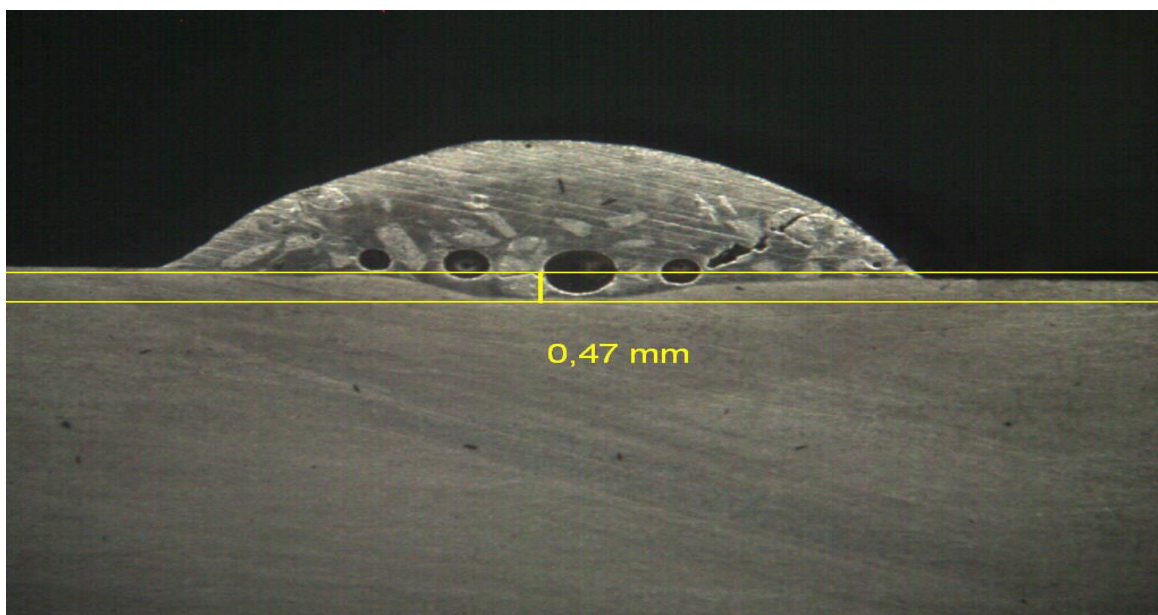
Vyhodnotenie výsledkov meraní pomernej odolnosti

Najlepšie namerané výsledky dosiahol materiál Welco 1771. Namerané hodnoty pri jednej navarenej vrstve dosahujú takmer dvojnásobné hodnoty pomernej odolnosti ako ostatné obalené elektródy, 2,5- krát prevyšuje hodnoty porovnávacej vzorky. Návary, Welco 1771, sme vyhodnotili ako vyhovujúce, pretože vzorky vykazovali aj pri jednej navarenej vrstve, preukázateľne najmenší úbytok materiálu pri skúške odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu. Hodnoty pomernej odolnosti ako dosiahol materiál Welco 1771 sa podarilo ostatným elektródam dosiahnuť až pri troch navarených vrstvách. Dôvod je ten, že pri návare prvej vrstvy, elektródami s oceľovým jadrom, došlo k výraznému premiešaniu základného materiálu s návarovým. Pri ďalších vrstvách už nedochádza k ochudobňovaniu o legujúce prvky a navarená vrstva získava požadované vlastnosti. Hodnoty priemerného úbytku materiálu pri dvoch navarených vrstvách dosahujú všetky elektródy na takmer rovnakej úrovni. Hodnoty pomernej odolnosti pri dvoch navarených vrstvách výrazne stúpili. Najväčší prírastok hodnôt pomernej odolnosti bol pri návare elektródou Hard Fro 600 a E 520 B VUZ. Tri navarené vrstvy poskytli zaujímavé zistenie. Priemerný úbytok materiálu sa priblížil k hodnotám úbytku návarovej vrstvy elektródou Welco 1771 s jednou navarenou vrstvou. Pomerná odolnosť materiálu najvýraznejšie stúpila pri materiály Welco 1701S a Hard Fro 600. Mierny nárast zaznamenal aj návar elektródou E 520 B VUZ.

4.2 Vyhodnotenie metalografického pozorovania

WELCO 1771

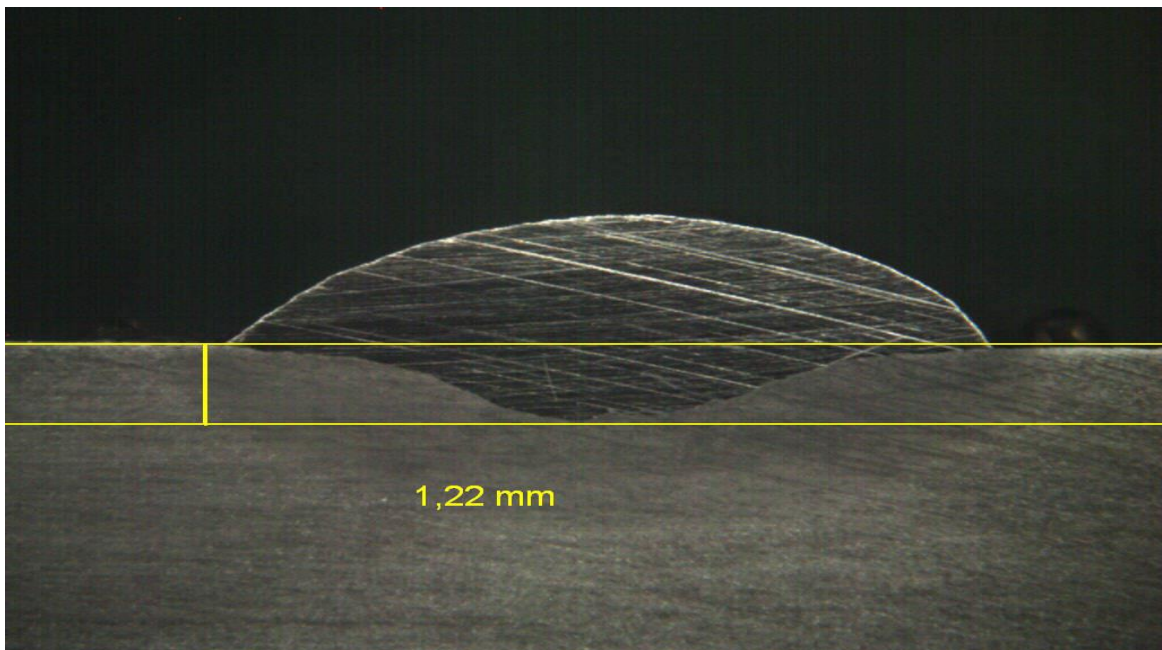
Povrch návaru elektródou Welco 1771, je rovnomerný. Návarová húsenica je rovnomerne vysoká a široká, bez priečnych vrubov. Tento druh prídavného materiálu nemá klasický obal, malá vrstva trosky sa dala ľahko odstrániť. Počas navárania dlhým oblúkom dochádzalo k rozstreku kovu. Húsenica je symetrická s plynulým prechodom do základného materiálu. V mieste prechodu do základného materiálu nedošlo k tvorbe okrajových zápalov. Vo vnútornej vrstve návaru je rad bublín a pórov (obrázok 13), ktoré takmer kopírujú rovinu základného materiálu. Keďže je táto chyba hlboko pod povrchom krycej vrstvy, pravdepodobne nebude mať výrazný vplyv na celkovú tvrdosť a odolnosť proti abrázii. Tvorbu pórov a bublín sme zaznamenali tiež na vzorkách pre meranie pomernej odolnosti. Je spôsobená asi tým, že tento druh prídavného materiálu je tvorený tenkou medenou trubičkou, naplnenou wolfrámkarbidmi v matrici a má iba tenkú vrstvu obalu, ktorý takmer netvorí trosku, tým nevytvára dostatočnú plynnú ochranu návarového kovu. Ďalším faktorom môže byť, že tenká vrstva trosky spôsobuje relatívne rýchle chladnutie návaru a pri tuhnutí návarového kovu bubliny plynov sa nestačia vyplaviť na povrch. Pri naváraní krátkym oblúkom je elektróda náchylná na zhasínanie oblúka. Hĺbka závaru do základného materiálu je minimálna 0,47 mm. Vo výbruse vidieť dostatočne veľké zrná wolfrámkarbidov, ktoré sa pôsobením tepla nerozpustili v tavenine.



Obrázok 13 Makroskopická snímka návaru Welco 1771

WELCO 1701 S

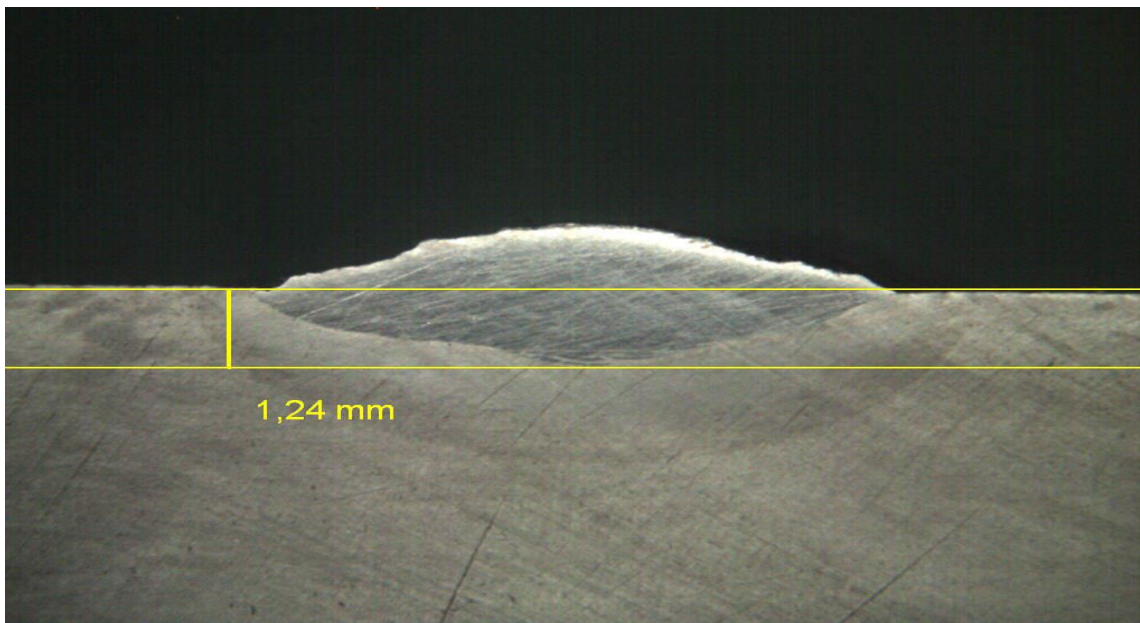
Welco 1701 S, je obalená elektróda, ktorá je legovaná 38 % chrómu a 4.3 % uhlíka, ktoré pri pôsobení oblúka tvoria karbidy chrómu. Povrch návaru je hladký s jemnou kresbou húsenice, bez priečnych vrubov. Troska sa odstraňovala ľahko. Povrch základného materiálu je bez rozstreku kovu. Prechod návarového kovu do základného materiálu je plynulý, bez okrajových zápalov. V návarovom kove nie sú žiadne viditeľné chyby. Hĺbka závaru do základného materiálu je v porovnaní s výškou návaru asi 1/3 z celkovej hrúbky návaru. Hĺbka závaru je 1,22 mm (Obrázok 14).



Obrázok 14 Makroskopická snímka návaru Welco 1701 S

HARD FRO 600

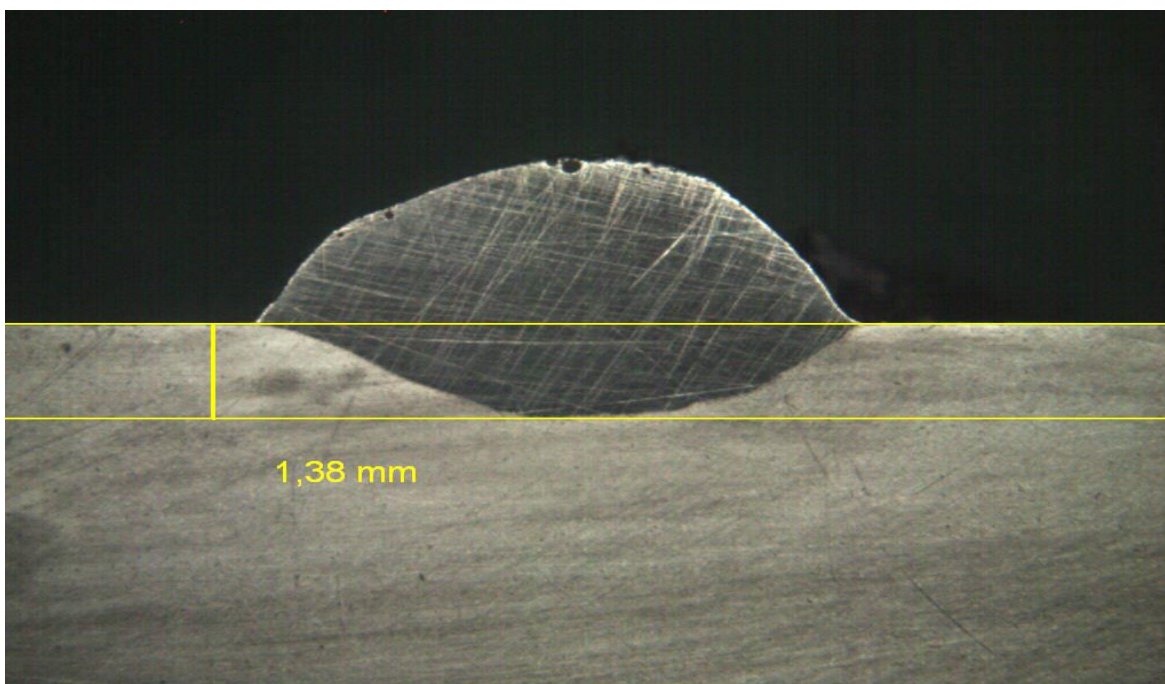
Návar elektródou Hard Fro 600 je rovnomerný s jemnou kresbou húsenice, bez priečnych vrubov. Návarový kov je riedko tekutý, čo spôsobilo, že návar je plochý. Prechod do základného materiálu je plynulý, bez tvorby okrajových zápalov. Troska sa odstraňovala ľahko. V návarovom kove nie sú viditeľné žiadne zhluky pórov, trhliny ani zatavená troska. Závar je takmer rovnako hlboký, ako je výška návaru. Väčšia hĺbka závaru spôsobuje veľké odmiešanie legujúcich prvkov, tým pokles tvrdosti a je potrebné naniesenie väčšieho počtu vrstiev na seba (obrázok 15). Hĺbka závaru je 1,24 mm.



Obrázok 15 Makroskopická snímka návaru Hard Fro 600

E 520 B VUZ

Návar realizovaný obalenou elektródou VUZ E 520 B je mierne asymetrický. Obal elektródy je bázický. Troska sa odstraňovala trochu ťažšie. Návar je vysoký, s mierne strmým prechodom do základného materiálu. Okraj návaru je bez zápalov a vrubov. V návarovom kove nie sú žiadne chyby, ale zhluky pórov sa objavujú na povrchu navarenej húsenice. Hĺbka návaru je asi 1/3 z celkovej hrúbky navarenej húsenice. Hĺbka závaru je 1.38 mm (obrázok 16).



Obrázok 16 Makroskopická snímka návaru E 520 B VUZ

4.3 Výsledky merania tvrdosti HV 10

Tvrdosť je jednou z rozhodujúcich vlastností pre odolnosť materiálu proti abrazívnemu opotrebeniu. Pôsobením tepla elektrického oblúka pri naváraní došlo k tvorbe oblastí s rôznou tvrdosťou, čo merania Vickersovou metódou HV 10, vo vertikálnej a horizontálnej rovine jasne dokázali. Pri meraniach vo vertikálnom smere najvyššie hodnoty tvrdosti sú v návarovom kove. Táto oblasť je ostro ohraničená. Najvyššie namerané hodnoty sú v povrchových vrstvách návaru, potom k tepelne ovplyvnenej oblasti a základnému materiálu, smerom dolu postupne mierne klesajú.

Prechodom z návarového kovu do tepelne ovplyvnenej oblasti tvrdosť skokovo rapídne klesá. Aj v tejto oblasti sme pozorovali rozdielne hodnoty tvrdosti a ich mierny pokles smerom k základnému materiálu. Kolísanie hodnôt tvrdosti pri použitých elektródach je zapríčinené rozdielnou hĺbkou závaru a premiešaním legujúcich prvkov spôsobujúcich tvrdosť so základným materiálom.

Najnižšie hodnoty tvrdosti sme zaznamenali v základnom materiály. Výsledná tvrdosť je tu iba minimálne ovplyvňovaná legúrami. Najvýraznejší vplyv má rýchlosť chladnutia a následná kryštalizácia spojená so zhrubnutím štruktúry, ktorá vzniká na prechode medzi tepelne ovplyvnenou zónou a základným materiálom. Najvyššie hodnoty tvrdosti v návarovom kove sme namerali pri materiály Welco 1771, 729 HV10. Najvyššie hodnoty tvrdosti v základnom materiály sme zaznamenali pri použití návarovej elektródy E 520 B, 219 HV10.

Tabuľka 16 Namerané hodnoty tvrdosti pri meraniach vo vertikálnom smere

Rozmiestnenie vpichov	Poradie	Prídavný materiál			
		Welco 1771	Welco 1701 S	Hard Fro 600	E 520 B
NK	1	729	703	667	689
	2	697	689	642	671
	3	675	673	621	653
	4	641	656	599	623
TOO	5	363	372	369	357
	6	351	361	345	342
	7	342	346	333	321
ZM	8	229	230	239	241
	9	224	333	234	221
	10	215	201	214	219

Pri meraniach tvrdosti v horizontálnom smere sme vpichy najskôr umiestnili do základného materiálu, potom do tepelne ovplyvnenej oblasti a následne do návarového

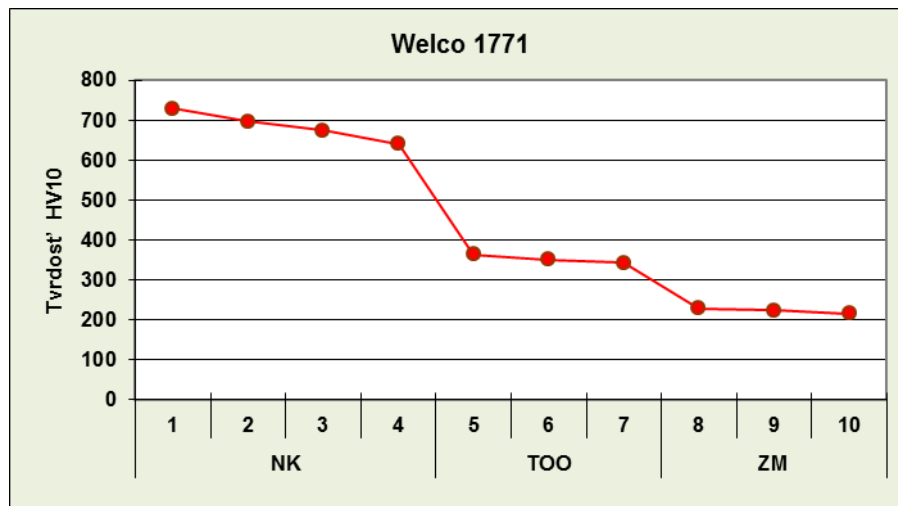
kovu, s prechodom cez tepelne ovplyvnenú oblasť s ukončením v základnom materiáli. Hodnoty tvrdosti v základnom materiály sú nízke, na úrovni približne 220 HV10. Prechodom cez teplom ovplyvnenú oblasť tvrdosť mierne rastie vplyvom rozdielneho chladnutia a následnej prekryštalizácie so zhrubnutím zrna. Mechanizmus zhrubnutia štruktúry v podhúsenicovej zóne je charakterizovaný nerovnováhou zrn vplyvom povrchového napätia na hraniciach zrn po transformácii železa α na železo γ , alebo rekryštalizáciou kovu bez polymorfnej premeny. Následkom je absorbcia malých zrn veľkými zrnami, dochádza k zvýšenej zrnitosti štruktúry kovu. Výrazné hodnoty tvrdosti sme zaznamenali v oblasti kde došlo k prievaru základného materiálu s návarovým kovom.

Tabuľka 17 Namerané hodnoty tvrdosti pri meraniach v horizontálnom smere

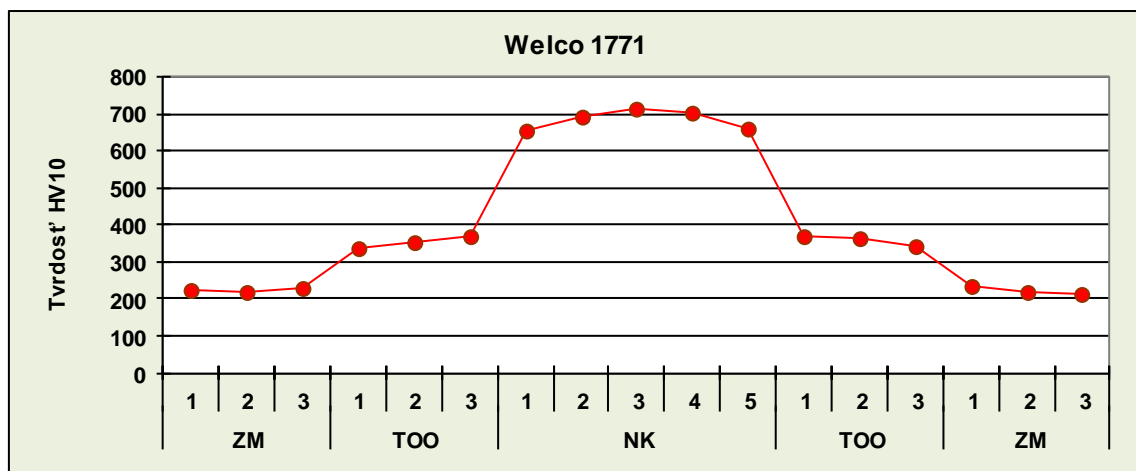
Rozmiestnenie vpichov	Poradie	Prídavný materiál			
		Welco 1771	Welco 1701 S	Hard Fro 600	E 520 B
ZM	1	222	202	207	222
	2	217	209	211	234
	3	229	211	221	241
TOO	4	339	361	349	357
	5	351	373	354	362
	6	368	384	362	371
NK	7	653	664	641	649
	8	692	671	649	669
	9	715	680	661	681
	10	701	677	643	673
	11	659	660	624	653
TOO	12	370	401	361	369
	13	361	384	354	354
	14	344	367	349	357
ZM	15	232	203	230	219
	16	220	207	224	224
	17	214	219	218	211

Welco 1771

Návarový materiál dosiahol najvyššie hodnoty tvrdosti. Štruktúra kovu obsahuje zrná wolfrám-karbidov, ktoré nekryštalizujú z taveniny. Hodnoty tvrdosti boli namerané vo vertikálnej rovine 721 HV10, resp. v horizontálnej rovine 715 HV10, čo približne zodpovedá 62-63 HRC. Znížená tvrdosť oproti hodnotám uvedeným v materiálovom liste je spôsobená pravdepodobne tým, že v horných vrstvách návaru sa zrná karbidov čiastočne natavili a rozpadli vplyvom pôsobenia horenia oblúka a v hranici základného materiálu sa vytvorili dutiny a póry. Svoju úlohu zohráva aj tvrdosť matrice. Tvrdosť základného materiálu sa vplyvom návaru nezmenila a pohybovala v rozsahu 214-232 HV10 (220HB). K štrukturálnej zmene základného materiálu nedošlo preto, lebo elektróda vykazuje veľmi plytkú hĺbku závaru, čo zvyrazňuje iba úzky pás tepelne ovplyvnenej oblasti.



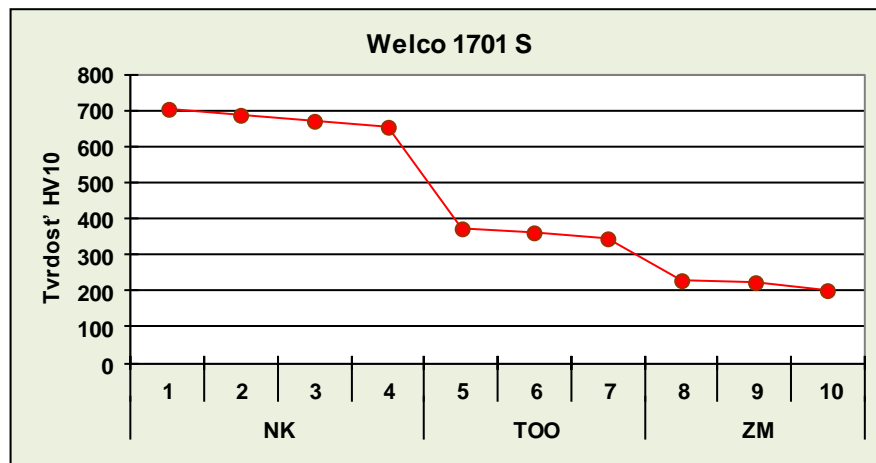
Graf 9 Priebeh hodnôt tvrdosti meraných vo vertikálnej rovine



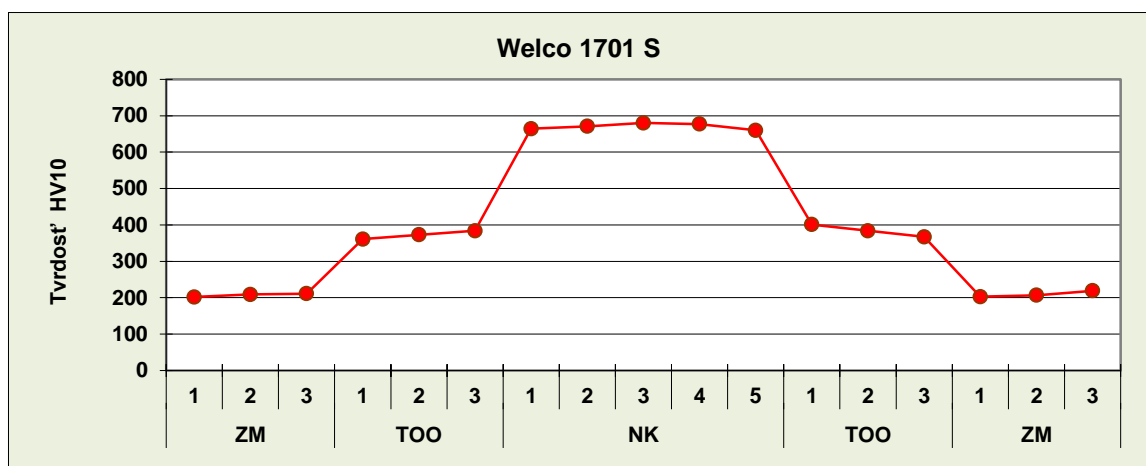
Graf 10 Priebeh hodnôt tvrdosti meraných v horizontálnej rovine

Welco 1701 S

Návarový kov je vytvorený základnou štruktúrou Fe-Cr-C, kde obsah uhlíka je 4,3 % a obsah chrómu 38%. Kov elektródy je dolegovaný molybdénom, niobom, volfrámom a vanádom. Tieto legúry výrazne ovplyvňujú kryštalizáciu taveniny návaru a tvorbu karbidických štruktúr. Vzniknuté primárne karbidické štruktúry v oblasti návaru sú extrémne tvrdé. Získané hodnoty poukazujú na zásadný vplyv primárnych karbidov na tvrdosť, čo zvyšuje odolnosť návaru proti abrazívnemu opotrebeniu. Namerané hodnoty tvrdosti návaru vo vertikálnom smere dosiahli 703 HV10 (60HRC) a v horizontálnom smere 680 HV10 (59HRC).



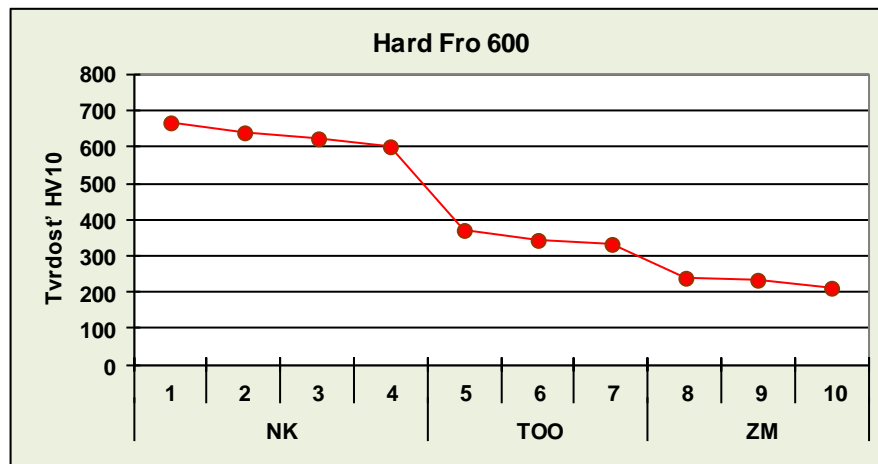
Graf 11 Priebeg hodnôt tvrdosti meraných vo vertikálnej rovine



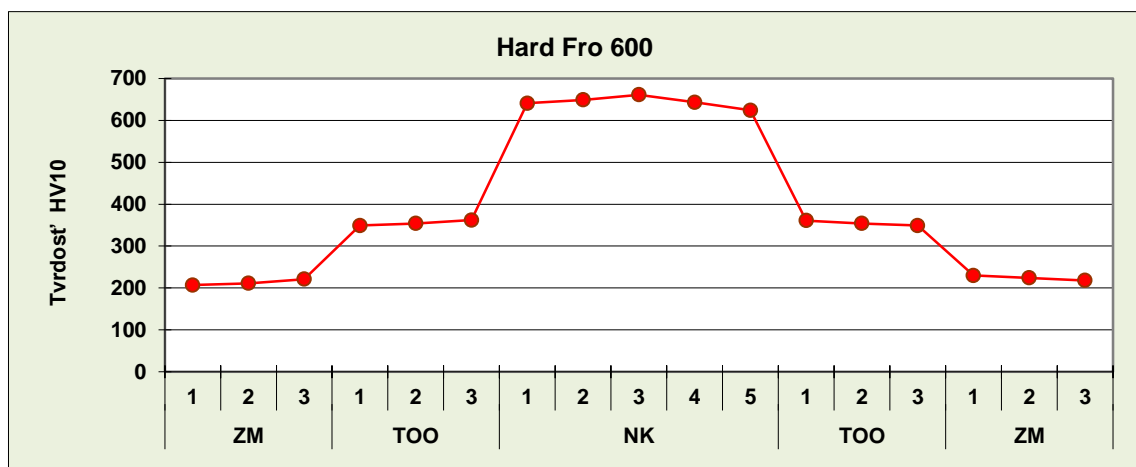
Graf 12 Priebeg hodnôt tvrdosti meraných v horizontálnej rovine

Hard Fro 600

Podľa percentuálneho obsahu uhlíka môžeme predpokladať, že štruktúra návaru je podeutektická a podielom austenitu, ktorý môže pri chladnutí pretransformovať na martenzit. Hard Fro 600 má zaručené chemické zloženie prvkov, ktoré tvoria feritické a martenzitické štruktúry vhodné na kalenie. Nalegovaním mangánom a niklom zostáva austenit v kove návaru aj za normálnych teplôt. Nízke obsahy karbidotvorných prvkov v návarovom kove spôsobili, že pri meraní tvrdosti tento materiál mal najnižšie hodnoty oproti ostatným prídavným materiálom. Napriek tomu tvrdosti 661-667 HV10 (57 HRC) sú na úrovni hodnôt, ktoré udáva výrobca. Výslednú tvrdosť možno ešte zdôrazniť navarením viacerých vrstiev a následným tepelným spracovaním. Najnižšie hodnoty tvrdosti sme zaznamenali v oblasti tepelne neovplyvneného materiálu.



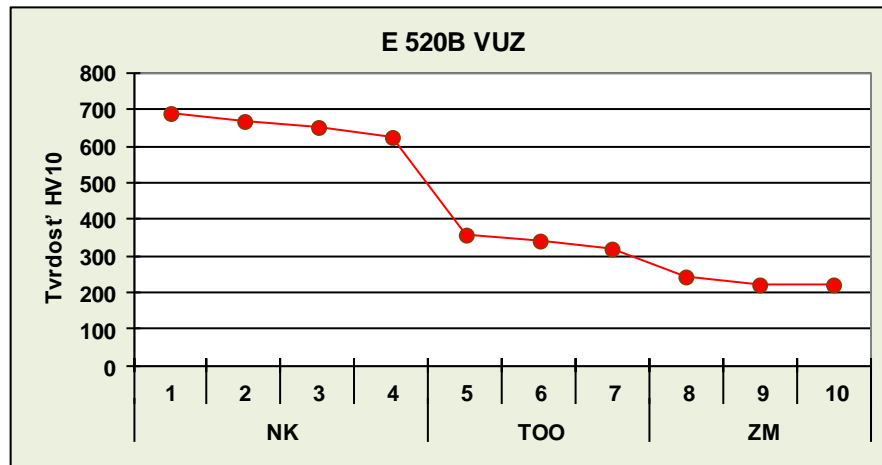
Graf 13 Priebeh hodnôt tvrdosti meraných vo vertikálnej rovine



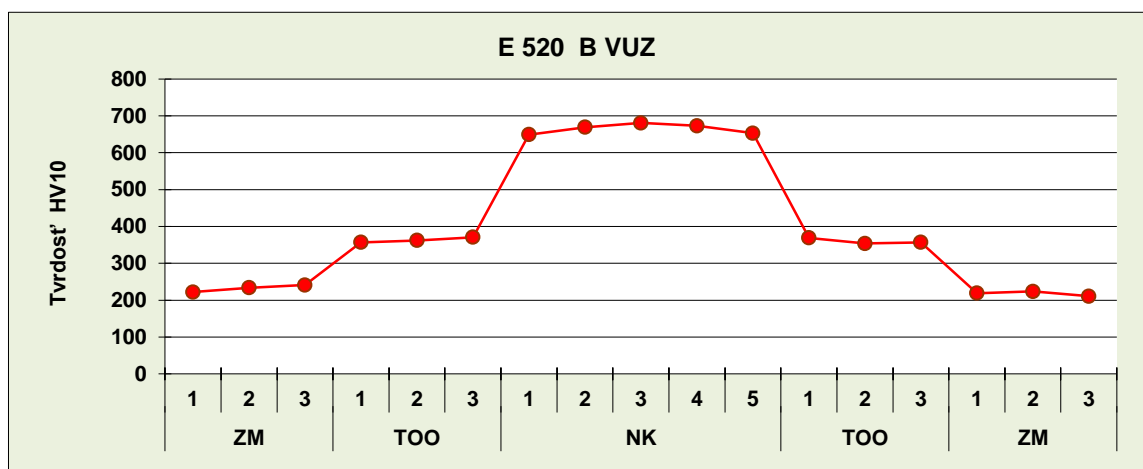
Graf 14 Priebeh hodnôt tvrdosti meraných v horizontálnej rovine

E 520 B VUZ

Pri obsahu 25% chrómu v návarovom kove vytvárajú sa karbidické štruktúry rozpustené v cementite, tým zvyšujú tvrdosť a odolnosť proti opotrebeniu. V návarovom kove sme namerali hodnoty tvrdosti udávané výrobcom, na úrovni 680 HV10 (59HRC). Mierny pokles tvrdosti spôsobuje odmiešanie legujúcich prvkov do základného materiálu. Vplyvom relatívne vysokého obsahu uhlíka má návarový kov ledeburitickú štruktúru. Obsah chrómu má priaznivý vplyv na tvorbu primárnych a sekundárnych karbidov, ktoré sa v tavenine morfológicky vylučujú masívnym aj disperzným spôsobom. Dolegovanie kremíkom má vplyv na zjemnenie štruktúry a veľkosť zŕn primárnych karbidov. Hodnota tvrdosti od povrchu návaru, smerom k základnému materiálu klesá a pri posledných vpichoch dosahuje hodnoty udávané výrobcom.



Graf 15 Pribeh hodnôt tvrdosti meraných vo vertikálnej rovine



Graf 16 Pribeh hodnôt tvrdosti meraných v horizontálnej rovine

5 Diskusia

Pre laboratórnu analýzu návarových materiálov bolo zvolených niekoľko testov a analýz. Vzorky s návarmi, jednej, dvoch a troch vrstiev, zhotovených z valcovanej ocele sme testovali na pomernú odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu.

Najvyššie hodnoty pomernej odolnosti sme vypočítali pre materiál Welco 1771. Ostatné materiály mali hodnoty pomernej odolnosti približne o polovicu menšie, o čom svedčia aj podobné hodnoty hmotnostných úbytkov. Dvomi navarenými vrstvami získali materiály zvýšenú odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu. Najlepšie hodnoty mal návar zhotovený materiálom E 520 B. Vysoký obsah chrómu (25%) spolu s uhlíkom tvorí tvrdé karbidické štruktúry. Tvrdonávarová elektróda Hard Fro 600 vyváženým obsahom legujúcich prvkov vytvára oteru-vzdorné vrstvy, ktoré možno tepelným spracovaním dodatočne zvýšiť. Pri troch navarených vrstvách vypočítaná pomerná odolnosť ešte vzrástla a svojimi hodnotami sa všetky priblížili k hodnotám materiálu, ktorý obsahuje zrná wolfrám-karbidov.

Pri makroskopickom pozorovaní sme zaznamenali, že väčšina návarových materiálov poskytuje dobré operatívne vlastnosti. Zhotovený návar jednotlivými elektródami je rovnomerný, bez okrajových zápalov. Závar má plynulý prechod do základného materiálu a jeho hĺbka je prijateľná s ohľadom na celkové prevýšenie húsenice. Pri zväčšení, ktoré sme mali k dispozícii, nie sú v okolí návaru a tepelne ovplyvnenej oblasti pozorovateľné štrukturálne zmeny ani viditeľný rast dendritov. V profile nie sú viditeľné žiadne trhliny, póry, bubliny ani vtrúseniny, až na jednu výnimku. Rad bublín sa objavil vo vzorke s tvrdonávarom Welco 1771, s obsahom acikulárnych wolfrám-karbidov v matici. Bubliny sú sústredené hlboko v návare, na úrovni základného materiálu. Chyba mohla byť spôsobená vplyvom zvarača, lebo výrobca predpisuje zvaranie stredne dlhým oblúkom, s prípadným predohrevom na 200-300 °C, pre zabránenie vzniku chýb pretavenia a praskavosti. Takýto typ defektov môže mať za následok zoslabenie vrstvy návaru a možné vylupovanie zrn karbidov, prípadne častí návaru.

Meraniami tvrdosti HV 10, sme zistili, že v oblasti návarového kovu je tvrdosť najvyššia a prechodom cez tepelne ovplyvnenú oblasť až do základného materiálu klesá. Vysokú odolnosť proti vnikaniu cudzieho telesa zaručujú štruktúry komplexných, primárnych aj sekundárnych karbidických štruktúr, ktoré sú obsiahnuté v návarovom kove. Dôležitým kritériom určenia vyhovujúcej celistvosti a akosti návaru je spôsob ako zaručiť potrebnú húževnatosť tepelne ovplyvnenej oblasti v základnom materiáli. Zvýšený prúd

počas navárania spravidla vedie k prepalu a odmiešaniu legujúcich prvkov. Prílišné odmiešanie legúr je spojené s hlbokým závarom, dochádza k premiešaniu návarového kovu so základným materiálom, čo závisí od nastavených parametrov počas procesu navárania, veľkosti prúdu, rýchlosti navárania, dĺžky oblúka a sklonu elektródy. Dôležitú úlohu pri prechode teplotným cyklom je maximálna teplota ohrevu a výdrž na vysokých teplotách, čo spôsobuje zhrubnutie zrna, zníženie vrubovej húževnatosti a pokles lomovej húževnatosti v tepelne ovplyvnenej oblasti. Príliš krátky čas chladnutia môže mať za následok vznik tvrdej nerovnovážnej martenzitickej štruktúry a možný vznik studených prasklín. Znížená tvrdosť v tepelne ovplyvnenej oblasti návarových vzoriek naznačuje, že nedošlo k zhrubnutiu štruktúry, neobsahuje tvrdé martenzitické zložky, ktoré môžu mať za následok skrehnutie a vytrhávanie častí návaru. Výrazný efekt rastu zrn v tepelne ovplyvnenej oblasti nastáva vtedy, ak je dostatočne široká, alebo pri naváraní jednou húsenicou, kde hranica natavenia je kolmá na rovinu základného materiálu. Pri naváraní viacerými húsenicami, každý ďalší návar zjemňuje hranicu teplotne ovplyvnenej oblasti predošlej húsenice. Možno z toho vyvodit' záver, že vlastnosti návaru nie sú založené iba na chemickom zložení a vzniknutej štruktúre, ale aj od geometrie návaru. Najnižšie hodnoty tvrdosti sme zaznamenali v oblasti tepelne neovplyvneného materiálu.

6 Záver

Vykonaním laboratórných skúšok sme dospeli k názoru, že všetky návarové materiály je možné doporučiť pre použitie tam, kde pôsobí abrazívne opotrebenie.

Ukazovateľom vhodnosti použitia je test pomernej odolnosti proti abrazívnemu opotrebovaniu. Najlepšie výsledky poskytli elektródy s karbidickými zložkami. Elektródou Welco 1771 stačí navariť iba jednu vrstvu hrubú asi 4 mm, zatiaľ čo ostatné materiály treba navárať vo viacerých vrstvách pre dosiahnutie vyššej tvrdosti a tým zaznamenať zvýšenú odolnosť voči abrázii. Produkty ostatných výrobcov dosiahli podobné vlastnosti, ale až pri troch návarových vrstvách. Najvyššie hodnoty abrazívnej pomernej odolnosti sme namerali pri elektróde Welco 1771, kde na jednej vrstve návaru $\psi_{abr} = 3,7002$. Ďalšia v poradí bola tvrdonávarová elektróda E 520B VUZ. Pri dvoch navarených vrstvách boli hodnoty $\psi_{abr} = 3,123$ a troch vrstvách návaru $\psi_{abr} = 3,538$.

Dôležitou charakteristikou sú poruchy celistvosti. Pri makroskopickom pozorovaní sme nezistili výrazné defekty návaru, ako sú pozdĺžne praskliny v návare a jeho okolí a troskové vtrúseniny. Póry, ktoré sa objavili pri návare prídavným materiálom Welco 1771 a E 520B môže ovplyvniť zväčša upravením parametrov.

Neoddeliteľným ukazovateľom vhodnosti použitia proti abrazívnemu opotrebovaniu je tvrdosť. Nižšie hodnoty tvrdosti, ako udáva výrobca, sme zaznamenali pri materiály Welco 1771, treba ale poznamenať, že významnú úlohu zohráva aj tvrdosť matrice, ktorá je nižšia, približne na úrovni 40HRC. Pri ostatných materiáloch sme nezaznamenali výraznejší odklon od tabuľkových údajov. Materiálový list konkrétnej elektródy je dôležitým ukazovateľom pri výbere prídavného materiálu na naváranie. Výrobcovia udávajú rôzne údaje pre dosahovanie tvrdostí. Hodnoty v materiálovom liste sú zaznamenané v určitom rozsahu a pri nanosení určitého počtu vrstiev, prípadne tvrdosť možno zvýrazniť dodatočným tepelným spracovaním. Karbidotvorné prvky (Cr, W, V, Mo) tiež menia tvar diagramu IRA tak, že posúvajú od seba perlitickú a bainitickú premenu.

Proces abrázie je komplexný problém, ak chceme analyzovať opotrebenie, musíme poznať prevádzkové podmienky. Preto možno uvažovať (Balla, 2003) o použití austeniticko-karbidickej štruktúre pri vysokých merných tlakoch, kým martenziticko-karbidická štruktúra je vhodná pri nízkonapäťovej abrázii.

7 Použitá literatúra

1. ALINOV, A.N. 2008. Rúrkové drôty na zváranie ocelí. roč. In Zvárač. 5, 2008, č.2, s.23-25.
2. BALLA, J. 2007. Náuka o materiáloch. 2.vyd. Nitra: SPU, 2007. 167 s. ISBN 978-80-8069-837-9.
3. BALLA, J. 2007. Náuka o materiáloch. Návody na cvičenia. 4.vyd. Nitra: SPU, 2007. 162 s. ISBN 978-80-8069-827-0.
4. BALLA, J. 1989. Tribológia a tribotechnika. 3.vyd. Nitra: SPÚ, 1989. 129 s. ISBN 80-85175-25-8.
5. BALOG, J. 1996. Údržba a diagnostika strojov. Nitra: SPU, 1996. 90 s. ISBN 80-7137-325-7.
6. BLAŠKOVIČ, P.- BALLA, J.- DZIMKO, M. 2000. Tribológia. Bratislava: Alfa, 2000. 360 s. ISBN 80-05-00630-0.
7. BLAŠKOVITŠ, P. - ČOMAJ, M. 2006. Renovácia naváraním a žiarovým striekaním. Bratislava: STU. 2006. 203 s. ISBN 80-227-2482-3
8. ČIČO, P. - KOTUS, M. - ŽITŇANSKÝ, J. – BERNÁT, R. 2004. Renovácia pracovných častí pôdu-spracujúcich strojov – lemeš pluhu. In VI. Medzinárodná vedecká konferencia mladých 2004. Nitra: SPU, 2004. ISBN 80-8069-422-2
9. ČIČO, P. 2009. Údržba a opravy strojov. Nitra: SPU, 2009. 178 s. ISBN 978-80-552-0171-9.
10. FIREMNÁ LITERATÚRA. Zváracie materiály pre údržbu, opravy a renovácie. Welco. Trenčín: Internova SK. s. r.o.
11. FIREMNÁ LITERATÚRA. Elektródy a tavivá na navarovanie. Nitra: FroKovoplast s.r.o.
12. FIREMNÁ LITERATÚRA. Zváracie materiály. Bratislava: VUZ, Divízia zvaracích materiálov.
13. HRIVŇÁK, I. 1989. Teória zvariteľnosti kovov a zliatin. Bratislava: Slovenská akadémia vied, 1989. 344 s. ISBN 80-224-0016-5.
14. KOLEKTÍV AUTOROV. 1984. Tribotechnika. Tribotechnik (Wissensspeicher). Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1984. 300 s.
15. KOLEKTÍV AUTOROV. 2003. Materiály a ich správanie pri zváraní. II doplnené a prepracované vydanie. Bratislava: VUZ - Priemyselny inštitút. 2003. 355 s. ISBN 80-88734-10-X.

16. KOLEKTÍV AUTOROV. 2000. Zváracie metódy a zariadenia. Bratislava: VUZ. 2000. 616 s. ISBN 80-85771-84-5.
17. KOLEKTÍV AUTOROV. 2001. Konštrukcia a navrhovanie. Bratislava: VUZ. 2001, 433 s. ISBN 80-85771-86-1
18. KOTUS, M. – BUJNA, M. 2007. Meranie veľkosti abrazívneho opotrebenia v prevádzke. In Bezpečnosť-Kvalita-Spoľahlivosť. Košice: TU, 2007. s 151-156. ISBN 978-80-8073-828-0.
19. POŠTA, J. – HAVLÍČEK, J. – ČERNOVOL, M.I.: 1998. Renovace strojních součástí. Vědecká monografie. Praha: SVÚM a.s. – ČTS, 1998. 160 s. ISBN 80-902015-6-3
20. RAJEC, Š.- RÁCZ, G. 1992. Prídavné materiály. Ostrava: Zeross, 1992. 164 s. ISBN 80-900665-9-3.
21. RUSNÁK, J. 2005. Štúdium tribologických vlastností materiálov nanesených na povrch nekonvenčnými metódami. Nitra: SPÚ, 2005. 67 s. ISBN 80-8069-485-0.
22. SKOČOVSKÝ, P. – PODRÁBSKÝ, T. 2001. Farebná metalografia zliatin železa. Žilina: Žilinská univerzita v EDIS,2001. 68 s. ISBN 80-7100-911-3.
23. TOLNAI, R. 2007. Strojárska technológia. 4.vyd. Nitra: SPU, 2007. 318 s. ISBN 978-80-8069- 842-3.
24. TURŇA, M. 1989. Špeciálne metódy zvárania. Bratislava: Alfa, 1989. 384 s. ISBN 80-05-00097-9.
25. VOJTĚCH, D. 2006. Kovové materiály. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. 112 s. ISBN 80-7080-600-1
26. [2009][online][DOMINIK,J.]
dostupné na internete :< [http:// www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22009/systemova-analyza-procesu-opotrebenia.html](http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22009/systemova-analyza-procesu-opotrebenia.html)
27. [s.a][online][JAMES, F. LINCOLN. The Procedure of Arc Welding]
dostupné na internete :< [http://www.scribd.com/doc/9328867/ The- Procedure-Handbook-Of-Arc-Welding.](http://www.scribd.com/doc/9328867/The-Procedure-Handbook-Of-Arc-Welding)
28. [2008][online][WOJCIECH, WIELEBA. Analýza tribologických procesov]
dostupné na internete:<<http://www.dbc.wroc.pl/content/1050/wieleba.pdf/2008>
29. [2.3.2006][online][HERMAN, P. Materiály pro navařování]
dostupné na internete:< [http:// www. Materiály pro navařování s obsahem wolframkarbidů.-Svařák_cz.aplikace a vývoj.htm.](http://www.Materiály pro navařování s obsahem wolframkarbidů.-Svařák_cz.aplikace a vývoj.htm)