



# Studium faktorů ovlivňujících odolnost proti opotřebení kovových materiálů

Assessment of Factors Influencing Wear  
Resistance of Metallic Materials  
autoreferát disertační práce

AUTOR: Ing. Jiří Cieslar  
Katedra: Materiálu a strojírenské  
technologie  
Školitel: prof. Ing. Milan Brožek, CSc.  
Obor: Jakost a spolehlivost strojů a zařízení

TECHNICKÁ FAKULTA



## Obsah

1	Úvod .....	1
2	Cíle disertační práce .....	2
3	Metodika disertační práce .....	3
4	Výsledky a diskuse .....	7
5	Závěr.....	11
6	Výběr z použité literatury .....	13
7	Seznam publikovaných prací .....	13
8	Summary .....	14

# 1 Úvod

Současná technická zařízení jsou charakteristická velmi rychlým vývojem a rozvojem. To se týká prakticky všech technických odvětví. Původně mechanická zařízení byla upravována tak, aby poskytovala na jedné straně větší výkon, a na straně druhé vyžadovaly menší ekonomické výdaje. Tím jsou myšleny nejen výrobní, ale také provozní náklady. Téměř vždy se jedná o určitý kompromis mezi cenou, výkonem a celkovou životností zařízení.

Tato práce se zabývá abrazivním opotřebením zemědělských součástí zařízení a jejich funkčních částí. Zemědělské pluhu obecně nejsou řazeny mezi ty strojní celky, kterým je věnována zvýšená pozornost (tak jako například automobilům nebo letadlům). Na druhé straně je zemědělství odvětví, které se denně potýká s ekonomickou stránkou – snaha snížit náklady je vynucované tlakem na snížení cen zemědělské produkce.

Ostří a dláta orebních těles jsou při práci vystaveny vysoce abrazivním podmínkám a vyžadují velmi časté výměny, popřípadě renovace. Při tom oba případy vyžadují odstávku stroje a náklady vynaložené na údržbu. Současný stav techniky sice popisuje perspektivní metody renovací, ale ucelená studie, která by se zabývala touto problematikou komplexně v návaznosti současný stav techniky (po roce 2013) i v souvislosti s finanční stránkou a vlivem na životnost, v posledních letech chybí.

Disertační práce se zabývá možnostmi renovace ostří a dlát orebních těles. Klade si za cíl definovat vhodný kovový materiál, který by měl potenciál zvýšení životnosti nejvíce exponovaných komponentů zejména s ohledem ostří radlic.

Zároveň má ambici prozkoumat možnosti renovace těchto dílů a určit, který z možných způsobů bude z pohledu ekonomiky a životnosti nejlepší.

## 2 Cíle disertační práce

### **Hlavní cíl disertační práce:**

Studium faktorů ovlivňujících abrazivní opotřebení kovových materiálů.

Dosažení tohoto cíle bylo realizováno skrze následující kroky a dílčí cíle:

### Příprava experimentální části:

Příprava vzorků litin se zvýšenou odolností proti abrazivnímu opotřebení.

Na základě teoretických znalostí je možné odhadnout, které chemické prvky podpoří vznik mikrostruktury s vyšší odolností proti abrazivnímu opotřebení. Experimentální měření bylo navrženo s ohledem na tyto chemické prvky C, Si, Ni, Cu, Mn a Cr. Cílem bylo připravit vzorky grafitických litin se zvýšenou odolností proti abrazivnímu opotřebení a ty následně podrobit laboratorním zkouškám.

### Dílčí cíl 1:

Laboratorní zkoušky kovových materiálů různého chemického složení, podrobených abrazivnímu opotřebení.

- stanovení vlivu mikrostruktury materiálu na jeho odolnost proti abrazivnímu opotřebení;
- stanovení vlivu velikosti abrazivní částice na změnu velikosti abrazivního opotřebení;
- stanovení odolnosti proti abrazivnímu opotřebení, tvrdosti, hustoty a návarů pomocí laboratorních zkoušek.

### Dílčí cíl 2:

Experimentální zkoušky plužních ostří a různých druhů návarů.

- stanovení odolnosti proti abrazivnímu opotřebení vybraných návarových materiálů, materiálů dlát a ostří orebních soustav v provozních podmínkách;
- porovnání vlastností chování návarových materiálů v laboratorních podmínkách vůči provozním podmínkám.

Na základě výše uvedených zkoušek byly formulovány závěry definující možné praktické využití výsledků provedených laboratorních zkoušek a přínos nových poznatků.

### 3 Metodika disertační práce

V disertační práci je předložena studie faktorů ovlivňujících abrazivní opotřebení kovových materiálů. Teoretická část práce poukázala na skutečnost, že abrazivní opotřebení je velice komplikovaný problém, který si vzhledem ke svým ekonomickým důsledkům žádá velkou pozornost.

Ačkoliv se abrazivním opotřebením dlouhodobě zabývá celá řada autorů, komplexní popis všech aspektů a širších souvislostí na abrazivní opotřebení zatím není k dispozici. Proto přesná predikce vzniku tohoto druhu poškození, natož jeho redukce není možná, a je třeba stále čelit jeho důsledkům. Klíčová je volba materiálu za účelem snížení abrazivního opotřebení. Materiál by měl splňovat následující podmínky:

- potřebné vlastnosti, aby v provozních podmínkách odolal co možná nejdelší dobu;
- snadná výroba (za příznivých ekonomických podmínek);
- snadná renovace – možnost plošné i lokální opravy.

V rámci této disertační práce byly zkoumány vzorky litin s jedinečným chemickým složením. Vlastnosti těchto litin byly porovnávány s vlastnostmi komerčně dostupných návarových materiálů. A dále s vlastnostmi ocelí, ze kterých jsou vyrobeny ostří a dláta orebních těles. Z důvodu porovnání byl posuzován také referenční vzorek uhlíkové oceli.

Příprava a výroba litin se zvýšenou odolností proti abrazivnímu opotřebení probíhala na pracovišti Ústavu strojírenské technologie FS ČVUT v Praze. V rámci spolupráce s Ing. Bohumírem Bednářem, CSc. (Ústav strojírenské technologie FS ČVUT v Praze), byly tyto vzorky získány a použity ke studiu vlivu chemického složení na změnu abrazivního opotřebení.

#### 3.1 Zkoumané materiály

Za tímto účelem (pro laboratorní experimenty) bylo na Katedře materiálu a strojírenské technologie na Technické fakultě ČZU ze získaného materiálu vybráno a vyrobeno šest sad vzorků litin s různým chemickým složením. V jednotlivých souborech se vždy měnila jedna významná složka chemického složení, přičemž množství ostatních prvků bylo konstantní (v rámci výrobních tolerancí). Celkem bylo připraveno 108 vzorků, ze

kterých byla následně vyrobena jednotlivá zkušební tělesa. Průměrné chemické složení připravených vzorků v jednotlivých sadách uvádí tabulka 3.1.

Tabulka 3.1: Průměrné chemické složení vzorků v sadě.

Označení sady	Průměrné chemické složení [hmotn. %]								
	C	Si	Ni	Cu	Mn	Cr	P	Mo	Fe
A	<b>1,75-3,95</b>	1,59	3,74	0,13	0,72	2,21	0,01	0,01	88,75
B	3,7	<b>0,79-2,16</b>	3,76	0,14	0,5	2,19	0,01	0,01	88,29
C	3,45	0,71	<b>0,14-4,81</b>	0,13	0,56	2,48	0,01	0,02	90,1
D	3,44	0,99	0,11	<b>0,11-4,74</b>	0,65	2,36	0,01	0,01	90,00
E	3,44	1,8	3,73	0,13	<b>0,13-2,01</b>	2,31	0,01	0,01	87,8
F	3,78	1,72	2,12	0,14	0,52	<b>0,72-4,50</b>	0,01	0,01	89,33

Z hlediska zadání se jako vhodné materiály zdají být přídatné materiály určené přímo pro renovace dílů poškozených opotřebením. Produkty společností ESAB a WELCO jsou v této oblasti považovány za nejkvalitnější. Proto byly obě společnosti osloveny, s žádostí, zda by pro účely plánovaných experimentů nedoporučili vzorky návarových materiálů.

V obou případech společnosti vyhověly, jejich technologové po prostudování zadání laboratorních a provozních zkoušek navrhli ty návarové materiály, o kterých se domnívali, že jsou pro danou aplikaci nejvhodnější. Vždy se jednalo o návarové materiály se zvýšeným obsahem uhlíku, chromu a manganu.

Společnost ESAB doporučila materiály ESAB OK 84.52 a ESAB OK 74.78. Společnost WELCO pak doporučila materiály, WELCO 1702 S, WELCOLLOY 1745 S, WELCOLLOY 1750 S a WELCO 1701 S.

Tyto materiály všechny výše uvedené byly porovnávány také s originálními materiály ostří a čepelý.

Jako referenční vzorek (etalon) byla použita ocel S235JR. Vzorek byl používán při stanovení hodnot poměrné odolnosti proti opotřebením ostatních materiálů (na základě této hodnoty bylo možné jednotlivé materiály porovnávat).

Příprava a výroba směsi a odlévání probíhalo ve spolupráci na pracovišti Ústavu strojírenské technologie FS ČVUT v Praze. Praktická příprava zkušebních vzorků probíhala na Katedře materiálu a strojírenské technologie na Technické fakultě ČZU.

Navařování materiálů bylo provedeno ve spolupráci se společností ATG s.r.o., a bylo provedeno dle písemných svařovacích postupů. Ty byly před použitím posouzeny a schváleny třetí stranou (Ing. A. Mlích, Ph.D., EWF, ze společnosti STROJON, spol. s.r.o.). Mechanické zpracování zkušebních těles bylo provedeno na Katedře materiálu a strojírenské technologie Technické fakulty ČZU.

### 3.1.1 Měření v provozních podmínkách

Provozní měření bylo provedeno na šestiradličném dvouramenném otočném pluhu Lemken Vari Diamant 160, viz obrázek 3.1.



Obrázek 3.1: Pluh Lemken vari diamant 160.

Ostří a dláta těles na pravé straně pluhu byla opatřena různými druhy návarů. Každé těleso bylo navařeno jiným navařovacím materiálem. Levá strana pluhu byla celá osazena novými ostřími a dláty, které sloužily pro následné porovnání naměřených údajů.

## 3.2 Metody měření

### 3.2.1 Určení dosaženého chemického složení

Měření chemického složení bylo prováděno ve spolupráci se Škodou Plzeň s.r.o. Určení mikrostruktury probíhalo na Katedře materiálu a strojírenské technologie Technické fakulty ČZU ve spolupráci s doc. Ing. Chotěborským, Ph.D. Hodnocení procentuálního obsahu složek materiálu bylo prováděno s pomocí programu QuickPHOTO Industrial 2.3, ve spolupráci se společností GE Aviation Czech, s.r.o.

### 3.2.2 Určení hustoty zkušebních vzorků

Měření hustoty látek bylo provedeno pomocí hydrostatické metody. Měření probíhalo na Katedře materiálu a strojírenské technologie Technické fakulty ČZU

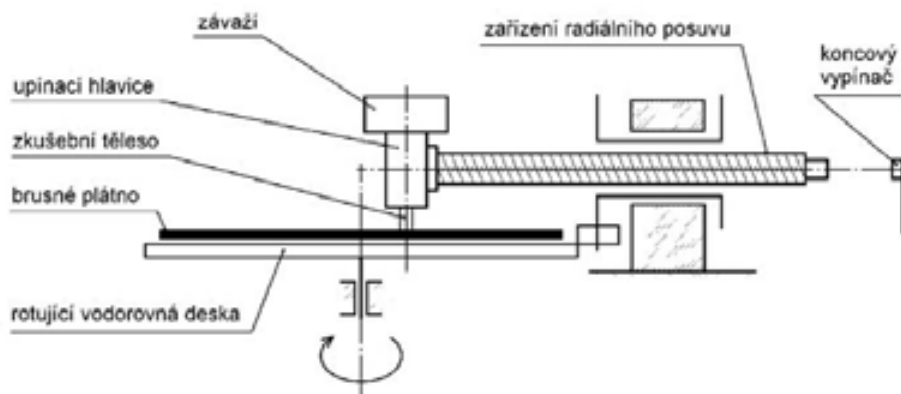
Přehled zkoušek, kterým byly podrobeny připravené vzorky, uvádí tabulka 3.2.

Tabulka 3.2: Přehled měření provedených na jednotlivých vzorcích.

	Hustota vzorku	Chemické složení	Mikrostruktura	Tvrdost dle Vickerse	Odolnost proti opotřebení (laboratorní zkoušky)	Provozní zkoušky	RTG kontrola homogenity	MT kontrola povrchových vad	Rozložení teplotního pole
Litiny	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓
Návary (lab. zkoušky)		✓	✓	✓	✓		✓		
Návary (provozní zkoušky)		✓	✓	✓		✓	✓	✓	
Dláta a ostří		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Referenční materiál	✓	✓	✓	✓	✓				

### 3.2.3 Hodnocení odolnosti materiálu proti abrazivnímu opotřebení

Odolnost materiálu proti abrazivnímu opotřebení byla hodnocena pro všechny druhy materiálů měřené v rámci disertační práce. Experimentální hodnocení bylo provedeno na přístroji (obr. 3.2) s vázanými abrazivními částicemi s rotačním pohybem, který byl vyroben na Katedře materiálu a strojírenské technologie.



Obrázek 3.2: Schéma přístroje s vázanými abrazivními částicemi s rotačním pohybem.



Technické fakulty ČZU (vlastní konstrukce), dle požadavků. V rámci zkoušky byla realizována tzv. dvoutělesová abraze. Schéma přístroje s vázanými abrazivními částicemi s rotačním pohybem je zobrazeno na obrázku 3.2. Zkušební tělesa byla na plátno přitlačována tlakem 0,32 MPa. Vzorek byl v průběhu zkoušky posouván od kraje ke středu brusného plátna.

Zkušební podmínky vycházely z normy ČSN 01 5084. Při zkouškách byla kromě brusného plátna s předepsanou zrnitostí P120 (střední velikost částic 115,5  $\mu\text{m}$ ) použita ještě plátna se zrnitostí P240 (střední velikost částic 44,5  $\mu\text{m}$ ) a P60 (střední velikost částic 275  $\mu\text{m}$ ).

### 3.2.4 Hodnocení topografie opotřebovaného povrchu

U vybraných materiálů byla posuzována také topografie opotřebovaného povrchu. Snímky na elektronovém mikroskopu byly pořízeny ve spolupráci se společností HVM Plasma spol. s.r.o. na přístroji FE-SEM SU5000.

### 3.2.5 Provozní zkoušky

Návarové materiály byly podrobeny provozním zkouškám. Měření bylo prováděno ve spolupráci se zemědělským podnikem sídlícím ve Středočeském kraji. Orba probíhala na celkové ploše 52 ha v rámci šesti dnů po úsecích 0 – 11 – 25 – 31 – 39 – 46 – 52 ha. Hmotnostních úbytky byly měřeny pomocí digitálních vah s označením CITIZEN CG 6102. Provozní měření bylo provedeno na šestiradličném dvouramenném otočném pluhu Lemken Vari Diamant 160. Hmotnostní úbytky byly přepočítány na jednotlivé plužní ostří a dláto, tedy na 1/12 z celkových 52 ha. Během provozních zkoušek byly také odebrány čtyři vzorky půdy (rovnoměrně v průběhu celého experimentu), ze kterých byla následně v laboratoři environmentální geochemie na ČZU vyhodnocena zrnitost půdy.

## 4 Výsledky a diskuse

Před provedením hlavních experimentů byly vzorky vždy kontrolovány pomocí metod nedestruktivního zkoušení s cílem vyloučit z experimentu defektní kusy, které by díky výskytu nehomogenit zkreslily soubor naměřených hodnot.

Část disertační práce byla věnována zjištění vlivu chemického složení litin na jejich odolnost proti abrazivnímu opotřebení. Pro každý vzorek byly určeny hodnoty hustoty, tvrdosti a poměrné odolnosti proti opotřebení. Poměrná odolnost proti opotřebení byla

stanovována vždy pro tři různé zrnitosti abrazivních částic. Dílčí naměřených výsledků experimentů provedených na sade A uvádí tabulka 4.3.

Z naměřených údajů vyplývá, že s klesajícím obsahem uhlíku se zvyšuje hustota. Nejvyšší hustota byla naměřena u zkušební vzorku 5A a to  $7872 \pm 20 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Z experimentálního měření tvrdosti vyplývá, že se zvyšujícím se procentuálním zastoupení uhlíku naměřená tvrdost roste. Nejvyšší hodnota tvrdosti byla naměřena na zkušebním vzorku s označením 2A a to  $753 \pm 40 \text{ HV}$ . Nejnižší naměřenou hodnotu ze souboru zkušebních vzorků vykazoval vzorek s označením 5A a to  $372 \pm 20 \text{ HV}$ . Pro porovnání experimentálních hodnot byl použit etalon s označením S235JR, který dosahoval hodnot  $161 \pm 25 \text{ HV}$ .

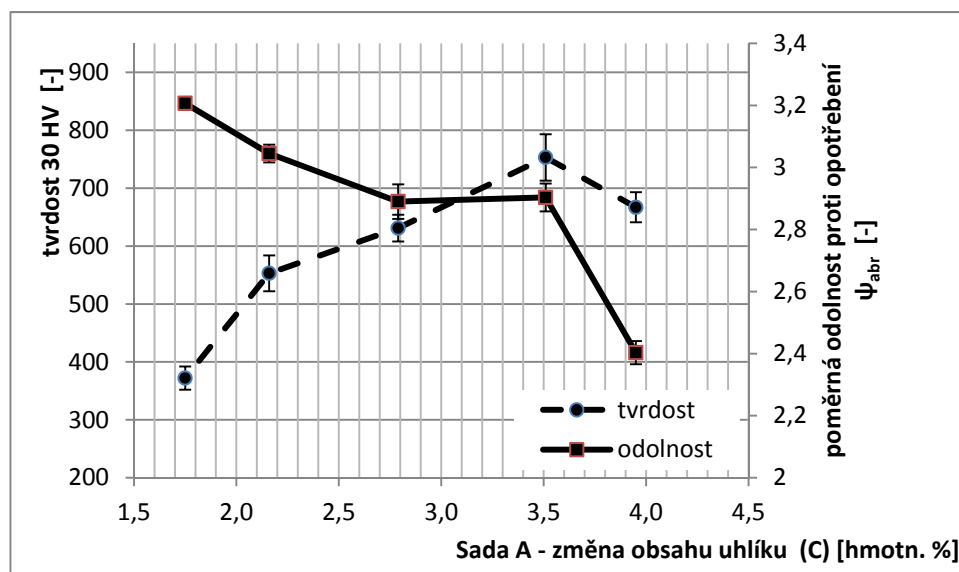
Tabulka 4.3: Vzorky sady A – tvrdost, hustota a odolnost proti opotřebení.

Materiál	Tvrdost HV 30 [-]	Hustota [kg.m <sup>-3</sup> ]	Poměrná odolnost proti abrazivnímu opotřebení $\psi_{abr}$ [-]			
			Střední velikost částic	Střední velikost částic	Střední velikost částic	Průměrná hodnota $\psi_{abr}$ [-]
			44,5 $\mu\text{m}$ (P240)	115,5 $\mu\text{m}$ (P120)	275 $\mu\text{m}$ (P60)	
1A	$667 \pm 26$	$7324 \pm 36$	$2,52 \pm 0,021$	$2,42 \pm 0,050$	$2,27 \pm 0,041$	2,40
2A	<b><math>753 \pm 40</math></b>	$7615 \pm 17$	$3,16 \pm 0,013$	$2,76 \pm 0,035$	$2,79 \pm 0,087$	2,90
3A	$631 \pm 23$	$7663 \pm 36$	$2,99 \pm 0,030$	$2,83 \pm 0,076$	$2,85 \pm 0,061$	2,89
4A	$553 \pm 31$	$7717 \pm 33$	$3,26 \pm 0,045$	<b><math>3,20 \pm 0,018</math></b>	$2,83 \pm 0,023$	3,05
5A	$372 \pm 20$	$7872 \pm 20$	<b><math>3,38 \pm 0,016</math></b>	$3,17 \pm 0,019$	<b><math>3,07 \pm 0,026</math></b>	3,21
S235JR	$161 \pm 25$	$7857 \pm 13$	1,00	1,00	1,00	1,00

Naměřené hodnoty odolnosti proti abrazivnímu opotřebení ukazují, že opotřebení je závislé na struktuře materiálu a velikosti abrazivních částic. Nejvyšší poměrná odolnost proti opotřebení  $\psi_{abr}$ . tj. nejvyšší hmotnostní úbytek byl naměřen na zkušebním vzorku s označením 1A na všech zkušebních plátnech z celého souboru měřených zkušebních vzorků ze sady A. Z výsledků zjištěných u všech vzorků je patrný klesající trend poměrné odolnosti proti opotřebení  $\psi_{abr}$ . tj. nárůst hmotnostního úbytku se zvyšující se velikostí abrazivních částic. Výsledky pro jednotlivé velikosti částic se značně liší. Zkušební vzorek s označením 5A vykazuje pro brusné plátno s označením P240 (střední velikost částic 44,5  $\mu\text{m}$ ) poměrnou odolnost proti opotřebení  $\psi_{abr}$   $3,38 \pm 0,016$  a na brusné plátno s označením P60 (střední velikost částic 275  $\mu\text{m}$ ) poměrnou odolnost proti opotřebení  $\psi_{abr}$   $3,07 \pm 0,026$ .

Na grafu obr. 4.3 je zobrazena závislost průměrné hodnoty poměrné odolnosti proti opotřebení  $\psi_{abr}$  a tvrdosti 30 HV na množství uhlíku v litině. Z naměřených výsledků vyplývá, že průměrná poměrná odolnost proti opotřebení klesá se zvyšujícím se obsahem uhlíku. Naopak tvrdost se zvyšuje se vzrůstajícím obsahem uhlíku.

Z výsledků je také patrné, že nejméně odolným materiálem byla ocel s označením S235JR (etalon), která vykazovala přibližně třetinovou poměrnou odolnost proti opotřebení  $\psi_{abr}$ , tj. cca trojnásobný hmotnostní úbytek než vzorek s označením 5A.



Obrázek 4.3: Graf zobrazující vzorky sady A – závislost průměrné hodnoty poměrné odolnosti proti opotřebení  $\psi_{abr}$  a tvrdosti 30 HV na množství uhlíku v litině.

Graf na obrázku s označením 4.3 zobrazuje vzorky sady A, v grafu je zobrazena závislost průměrné hodnoty poměrné odolnosti proti opotřebení  $\psi_{abr}$  a tvrdosti 30 HV na množství uhlíku v litině.

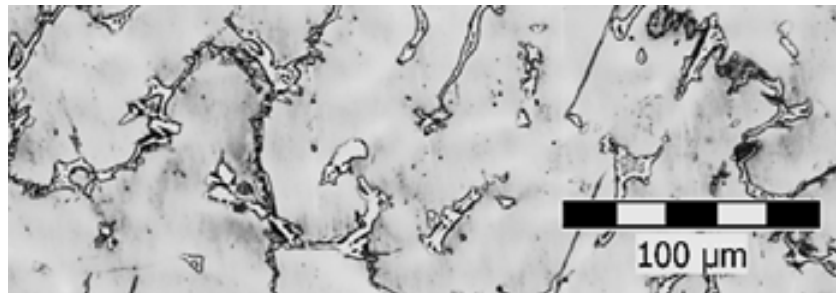
Vzorky mikrostruktury jsou z hlediska výsledků této práce nejdůležitější. Proto byly podrobeny ještě dalším laboratorním zkouškám. Topografie opotřebovaného povrchu byla z důvodu vysoké ceny zkoumána pouze na třech zkušebních vzorcích. Na těchto vzorcích bylo provedeno:

- posouzení procentuálního obsahu jednotlivých strukturálních složek;
- měření mikrotvrdosti jednotlivých strukturálních složek;
- snímkování opotřebovaného povrchu na transmitním elektronovém mikroskopu.

## Litina 5A

U litiny 5A byla určena nejvyšší celková tvrdost:  $372 \pm 20$  HV 30 a průměrná poměrná odolnosti proti opotřebení 3,21. Strukturu litiny 5A popisuje obrázek 4.4. Podeutektická struktura obsahuje:

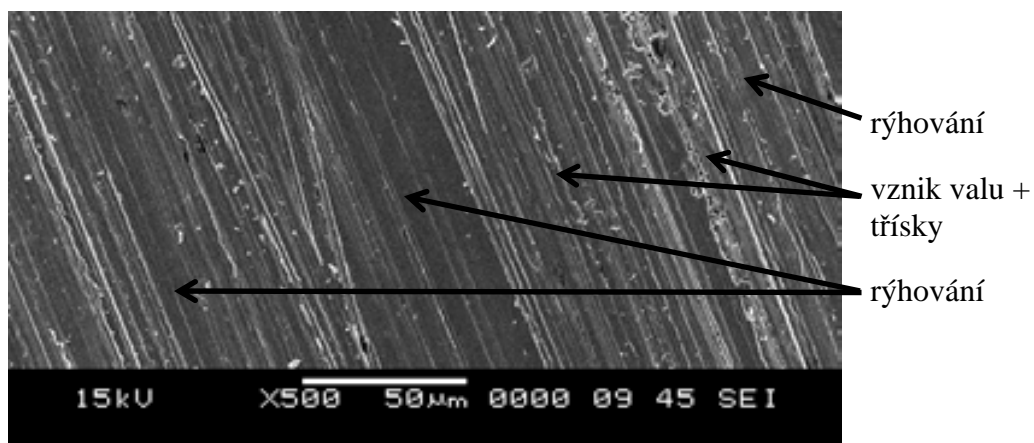
karbidické eutektikum	8 %	$514 \pm 59$ HV 0,02
martenzit	1,5 %	$648 \pm 51$ HV 0,02
zbytkový austenit	90,5 %	$465 \pm 63$ HV 0,02



Obrázek 4.4: Vzorek 5A - Posouzení struktury a tvrdosti.

Na obrázku 4.4 je patrná mikrostruktura litiny. Struktura zahrnuje fáze karbidického eutektika, martenzitu a zbytkového austenitu. Z naměřených výsledků je patrné, že největší podíl měl zbytkový austenit a to 90,5 % s naměřenou mikrotvrdostí  $465 \pm 63$  HV 0,02. Nejvyšší naměřená mikrotvrdost byla u martenzitu a to  $648 \pm 51$  HV 0,02, který byl obsažen v 1,5 %.

Na vzorku litiny 5A byla zkoumána také topografie opotřebovaného povrchu (viz obrázek 4.5).



Obrázek 4.5: Vzorek 5A - Posouzení topografie opotřebovaného povrchu.

Na obr. 4.5 je zobrazena topografie opotřebovaného povrchu zkušební vzorku s označením 5A po abrazivní zkoušce na brusném plátně s označením P120 (střední velikost částic 115,5  $\mu\text{m}$ ). Na povrchu po zkoušce je patrné viditelné poškození rýhováním, které vzniklo za pomoci abrazivních částic spolu se vzniklým valem a třískami, které vznikly během procesu abrazivního procesu.

## 5 Závěr

Experimentální část disertační práce se zabývá studiem faktorů ovlivňující odolnost proti opotřebení kovových materiálů zejména s ohledem na litiny, návarové materiály a provozní zkoušky. Experimenty jsou zaměřeny na studium vlivu chemického složení na abrazivní opotřebení, hustotu a tvrdost materiálů.

V návaznosti na znalosti byly definovány a následně vyrobeny unikátní sady slitin s přesně odstupňovanými změnami vybraných chemických prvků.

Tyto sady byly podrobeny sérii laboratorních zkoušek – měření tvrdosti a odolnosti proti abrazivnímu opotřebení na přístroji s vázanými částicemi, měření rozložení teplotního pole při abrazi. Jednotlivé cíle práce byly naplněny následovně:

### **Laboratorní zkoušky kovových materiálu různého chemického složení, podrobených abrazivnímu opotřebení.**

Naměřená data byla analyzována za účelem pochopení vlivu jednotlivých chemických prvků na odolnost materiálu. Údaje byly klíčem ke stanovení optimálního chemického složení. Z analýzy vyplývá, že chemické složení jako takové není jediným faktorem, který má vliv na odolnost proti abrazivnímu opotřebení. V úvahu je třeba vzít také mikrostrukturu materiálu a jeho tvrdost. Stěžejním výsledkem práce je navržené následující chemické složení slitiny, které je uvedeno v tab. 5.4.

Tabulka 5.4: Doporučené chemické složení slitiny železa.

Chemické složení [ hmotn. % ]								
C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	P	Mo	Fe
1,75 – 2,00	1,40	0,73	2,18	3,75	0,13	0,01	0,01	---

Nově vzniklá (navržená) slitina má tvrdost  $372 \pm 20$  HV a podeutektickou struktura litiny obsahující karbidické eutektikum, martenzit a zbytkový austenit. Svou odolností proti

abrazivnímu opotřebení předčí většinu doporučovaných návarových materiálů uvedených v disertační práci.

Šebatinov a Boldyrev zkoušeli vlastnosti bílých otěruvzdorných litin podobným vlastností, které jsou řešeny v disertační práci. Chemické složení a následné ochlazování byly zvoleny tak, aby výsledná matrice byla martenzitická s malým obsahem zbytkového austenitu. Výsledky zkoušek kombinovaného působení abrazivního opotřebení jsou, že litina s 2,5 % C, 2 % Mn, 12,3 % Cr, 3 % V, 0,2 % Ti, 1,2 % Cu a 0,5 % Ni má vysokou odolnost proti abrazivnímu opotřebení a tvrdost. Nejvyšší poměrnou odolnost proti abrazivnímu opotřebení ze souboru zkušebních vzorků uvedených v disertační práci měla litina s 1,75 % C, 0,71 % Mn, 2,16 % Cr, 0,12 % Cu a 3,74 % Ni. Litina s označením 5A v porovnání s materiály zkoušenými Šebatinovem a Boldyrevem, měla o 20 % nižší poměrnou odolnost proti abrazivnímu opotřebení, ale výrobní cena je nižší díky nižším hmotnostním procentům vanadu, chromu a mědi. Výsledné chemické složení je vždy nutné volit podle konkrétních požadovaných mechanických vlastností s ohledem na požadovanou aplikaci.

Experimentální část práce prokázala, že přestože několik návarových materiálů může skutečně přispět k prodloužení životnosti plužních ostří (a to až o 60 %) tak jejich využití není z ekonomického hlediska přínosem.

V práci je dále definován nově vzniklý materiál, který nabízí životnost vyšší o 1,44 násobku více než původní materiál dodávaný od výrobce (zvýšení životnosti o 44 % v porovnání se základním materiálem originální ostří). Ostří z něj vyrobená je cenově levnější než originální ostří. To lze považovat za přínos pro technickou praxi. Jednotlivé dílčí výsledky práce byly pravidelně publikovány v odborných publikacích SCOPUS a i na mezinárodních konferencích.

## 6 Výběr z použité literatury

BROŽEK, M. NOVÁKOVÁ, A, 2008. Evaluation of sintered carbides wear resistance. In.: 7<sup>th</sup> International Scientific Conference Engineering for rural development. Jelgava, Latvia University of Agriculture, Faculty of Engineering, pp. 209 - 213. ISBN 1691-3043.

BROŽEK, M. NOVÁKOVÁ, A. MIKUŠ, R, 2010. Study of wear resistance of hard facings using welding powders on the NiCrBSi basis. In.: Trends in Agricultural Engineering (TAE). Praha, Česká zemědělská univerzita. Technická fakulta. pp. 115-118. ISSN 978-80-213-2088-8.

MÜLLER, M. CHOTĚBORSKÝ, R. HRABĚ, P. 2015. Application of Overlay Material on Soil Processing Tools for Purpose of Increasing their Abrasive Wear Resistance. Listy cukrovarnické a řepařské, roč. 131, č. 9-10, s. 279-283. ISSN: 1210-3306.

CHOTĚBORSKÝ, R. et al, 2008. Abrasive wear of high chromium Fe-Cr-C hardfacing alloys, Research of Agriculture Engineering, 2008, vol. 54, no. 4, s. 192-198.

CHOTĚBORSKÝ, R. et al, 2009. Effect of abrasive particle size on abrasive wear of hardfacing alloys, Research of Agriculture Engineering, 2009, vol. 55, no. 3, s. 1-13.

ŠEBATINOV, M. P. BOLDYREV, J. V, 1987. Vlijanije termoobrabotki na strukturu i svojstva belogo čuguna. Litej. Proizvodstvo, number. 2, pp. 8-10

## 7 Seznam publikovaných prací

CIESLAR, J. BROŽEK, M, 2012. Experimentální posouzení vlastností litin se zvýšenou odolností proti abrazivnímu opotřebení. Strojírenská technologie, roč. 17, č. 5-6, s. 290-296. ISSN: 1211-4162.

CIESLAR, J. BROŽEK, M. BEDNÁŘ, B, 2013. An Experimental Assessment of Special Metal Castings in Reducing Abrasive Wear. Manufacturing Technology, roč. 13, č. 4, s. 423-428. ISSN: 1213-2489.

CIESLAR, J. BROŽEK, M, 2015. APPLICATION OF OVERLAY MATERIALS FOR REDUCING ABRASIVE WEAR. In 14th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development 2015 20.05.2015, Jelgava, Latvia. Jelgava, Latvia: Latvia University of Agriculture, pp. 835-840.

VALÁŠEK, P. CIESLAR, J, 2013. Dvoutělesová abraze polymerního kompozitu na bázi třísek železných kovů. Strojírenská technologie, roč. 18, č. 4, s. 285-290. ISSN: 1211-4162.

VALÁŠEK, P. KEJVAL, J. MÜLLER M, CIESLAR, J, 2015. Influence of two-body abrasion and heat intensity on metal and non-metal materials used in agriculture. Research in Agricultural Engineering (Zemědělská technika), roč. 61, č. 1, s. 40-46. ISSN: 1212-9151.

## 8 Summary

This thesis investigates the suitable chemical composition of an iron alloy with improved wear resistance. A unique set of alloys with a specifically designated chemical composition was manufactured for experiments. Their properties in defined abrasive conditions were studied in laboratory conditions. Wear resistance was determined on an experimental bench with bound particles. Material properties description was always complemented with information gained during material metallographic structure investigations. All the results were compared with results achieved for commercially available weld deposition materials (specifically designated for abrasion conditions). These (weld deposition) materials were subjected to an identical set of laboratory experiments and additionally to a set of experiments under in-service conditions.

This thesis offers new knowledge about the relationship between material hardness, material structure and wear resistance. The outlined results also give evidence about the correlation between results gained under laboratory conditions and those gained under in-service conditions (in relation to material structure and hardness).

At the end of the thesis the knowledge gained from these experiments is applied to a specific application – the service life extension of plough blade segments. On this basis a new material is designed which will extend service life without additional demands on the costs, and the approach to the renovation of worn plough blade segments is justified.

**Key words:** Wear resistance, hardness, chemical composition, iron alloy, hard facing.