

# Aplikace návarového materiálu na nástroje zpracovávající půdu za účelem zvýšení jejich odolnosti vůči abrazivnímu opotřebení

APPLICATION OF OVERLAY MATERIAL ON SOIL PROCESSING TOOLS FOR PURPOSE OF INCREASING THEIR ABRASIVE WEAR RESISTANCE

Miroslav Müller, Rostislav Chotěborský, Petr Hrabě – Česká zemědělská univerzita v Praze

Vlivem aktivního hospodaření v rostlinné výrobě se zemědělci musejí potýkat s utužením půdy a současně minimalizovat negativní vliv pesticidů určených k eliminaci plevelů a škůdců. Z toho vyplývá zvýšení potřeby konvenčního zpracování půdy. Nejrozšířenějším nástrojem pro zpracování půdy je radličný pluh, který se vyznačuje vysokou spotřebou energie (1). Další významnou skupinou intenzivně opotřebovávaných dílů jsou různá vyorávací ústrojí, např. vyorávací radlice cukrové řepy (2).

Půda představuje pro pracovní nástroje abrazivní prostředí působící změnu objemu, tvaru a rozměru nástroje. Opotřebované nástroje jsou obvykle méně efektivní (3). Půda je z velké části tvořena křemenem, jehož tvrdost se pohybuje v intervalu 900–1 300 HV. Slitiny železa s jejich tepelným zpracováním mají tvrdost HV mnohdy nižší, což se negativně projevuje na odolnosti vůči abrazivnímu opotřebení (4).

Vysoká míra opotřebení nástrojů zpracovávajících půdu a následná potřeba jejich výměny současně zvyšuje náklady i délku prostojů (3). Tyto nežádoucí faktory při zpracování půdy je možné snižovat na přijatelnou míru vhodnými technologiemi, případně výběrem materiálu na výrobu celého nástroje nebo na jeho část v oblasti největšího opotřebení (5).

Při zpracování půdy představují nástroje zpracovávající půdu jednu z nejvíce namáhaných částí vůči abrazivnímu opotřebení. Přístupů ke zvyšování životnosti těchto opotřebitelných součástí strojů existuje celá řada. Jedná se např. o nové materiály, povlaky, technickou keramiku atd. (6, 7, 8). Další možností je využití tvrdonávarů, které jsou efektivní zejména v podmínkách intenzivní abraze (9). Je možné nejen vytvořit oteruvzdorný povrch např. návary, ale současně využít různého geometrického uspořádání návarové vrstvy, tj. housenky, s cílem kopírovat průběh odvodu zpracovávané půdy (10, 11). Toto řešení se ukázalo jako efektivní. Při vytváření nových povrchů je možno využívat tvary převzaté z přírody – tyto povrchy fungují v kapalinách i v pevných skupenstvích. Jedná se o funkční povrchy vzniklé staletým vývojem (12). Obdobnou povrchovou strukturu je možné vyrobit např. navařováním. HORVÁT ET AL. (13) při svém výzkumu zjistil, že lze dosahovat vyšší rychlost práce při zpracování půdy a současně nižší spotřeby paliva při použití tvrdonávarových materiálů, např. na pluhových čepelích.

Rozšířenou metodou zůstává navařování tvrdokovů, v poslední době se však stále více experimentuje s méně známými úpravami, např. s použitím technické keramiky (6).

Cílem naší práce bylo zhodnotit opotřebení pluhových čepelí, vyorávací radlice řepy a vybraných návarových materiálů navařených na pluhové čepel při laboratorních testech dle ASTM G65.

## Materiál a metody

Metodika hodnocení návarových materiálů vycházela ze vzájemného porovnání odolnosti vůči opotřebení dle normy ASTM G65 a tvrdosti HV. Cílovou skupinou je aplikace návarových materiálů v oblasti zvyšování životnosti pluhových čepelí určených ke zpracování půdy.

Výzkum byl zaměřen na využití návarového materiálu za účelem zvýšení odolnosti pluhových čepelí vůči abrazivnímu opotřebení. Byly použity návarové materiály karbidického (Soudokay A43-0, OK Tubrodur 14.70, OK Tubrodur 15.82) a martenzitického (Filarc PZ 6159) typu. Vhodnost návarových materiálů pro podmínky zpracování půdy byla prokázána výzkumem v polních testech (10, 11). Chemické složení elektrod návarových materiálů je uvedeno v tab. I.

Návarové elektrody vytvořily vrchní profil na konvenčním nástroji, tj. na pluhových čepelích. Navařování bylo provedeno navařovacím automatem ESAB A2mini. Návarový materiál byl trubičkový drát o průměru 1,6 mm. Navařovací proud byl 250 A, napětí bylo 28 V a rychlost navařování byla 20 cm.min<sup>-1</sup>. Energie při navařování byla 21 kJ.cm<sup>-1</sup>.

Návarový materiál, který byl navařen na pluhové čepel, byl následně obroušen s cílem získat zkušební tělesa tvarem a rozměry odpovídající požadavkům přístroje s pryžovým kotoučem. Zkušební tělesa byla připravena o rozměrech 51 × 25 × 7 mm.

Test odolnosti proti abrazivnímu opotřebení byl proveden dle normy ASTM G65, tj. na přístroji s pryžovým kotoučem (obr. 1.).

Tab. I. Chemické složení elektrod návarových materiálů, Fe je zbytkové množství

Elektrody	Prvek (%)								
	C	Mn	Si	Cr	Nb	Mo	V	W	Co
Soudokay A43-0	5,6	0,2	1,3	20,2	6,7				
OK Tubrodur 15.82	4,5	0,7	0,7	17,5	5	0,9	1	1	
OK Tubrodur 14.70	3,5	0,9	0,4	22		3,5	0,4		
Filarc PZ 6159	0,4	1,1	1,1	1,8		0,4	0,4	8	2

Tab. II. Funkční rovnice regresních funkcí a jejich index determinace – dráha (x), opotřebenění – hmotností úbytky (y)

Označení	Funkční rovnice	Index determinace
Etalon – plužní čepel	$y = 9 \cdot 10^{-5}x + 0,0056$	0,997
Soudokay A43-0	$y = 2 \cdot 10^{-5}x - 0,0002$	0,999
OK Tubrodur 15.82	$y = 3 \cdot 10^{-5}x + 0,0003$	0,999
OK Tubrodur 14.70	$y = 5 \cdot 10^{-5}x - 0,0003$	0,999
Filarc PZ 6159	$y = 1 \cdot 10^{-5}x + 0,0006$	0,999
Vyorávací radlice cukrové řepy	$y = 9 \cdot 10^{-5}x + 0,0026$	0,998

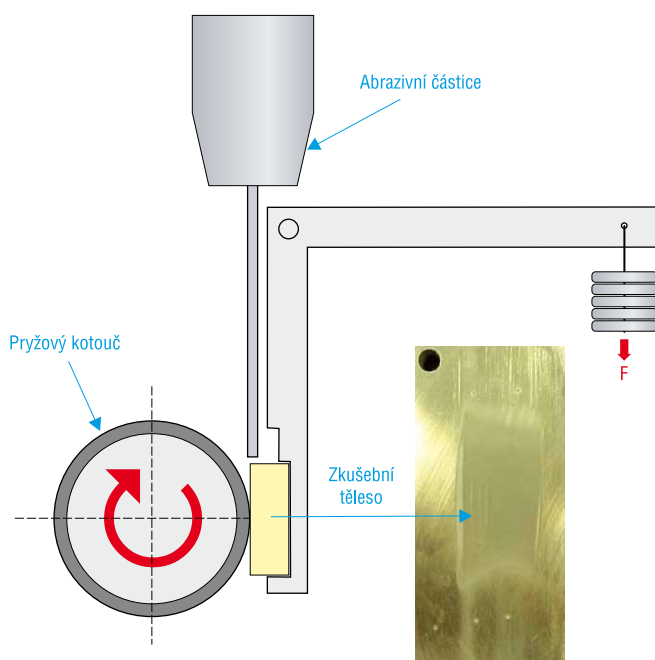
Mezi zkušební těleso a pryžový kotouč dopadaly částice písku o velikosti 0,2 až 0,315 mm. Zatížení vzorku bylo 100 N. Průměr pryžového kotouče byl 210 mm a šířka 12,5 mm. Před a po každé zkoušce byla zkušební tělesa očištěna v ultrazvukové vaně a osušena horkým vzduchem. Hmotnostní úbytky byly měřeny s rozlišením 0,1 mg.

Měření tvrdosti podle Vickerse bylo provedeno v souladu s normou ČSN EN ISO 6507-1. Zátěžná síla byla 294 N.

Výsledky

Z výsledků experimentů je zřejmé, že většina návarových materiálů (Soudokay A43-0, OK Tubrodur 14.70, OK Tubrodur 15.82) dosahovala lepších vlastností nežli etalon, tj. plužní čepel. Pouze martenzitický typ návaru Filarc PZ 6159 vykazoval horších vlastností nežli etalon. Vyorávací radlice cukrové řepy (hmotnostní úbytek  $0,0194 \pm 0,0015$  g) a plužní čepel pluhu ( $0,0192 \pm 0,0033$  g) vykazovaly téměř stejný průběh opotřebenění při laboratorních testech.

Obr. 1. Schématické znázornění přístroje s pryžovým kotoučem



Tab. III. Výsledky modelu závislosti opotřebenění ( $F_c$ ) různých variant experimentů ( $F_{krit} = 5,096$ )

Varianta experimentu	Soudokay A43-0	OK Tubrodur 15.82	OK Tubrodur 14.70	Filarc PZ 6159	Vyorávací radlice řepy
Etalon – plužní čepel	514	348	158	77	<b>0,416</b>
Soudokay A43-0		721	8 512	7 039	1 725
OK Tubrodur 15.82			1435	4 947	1 149
OK Tubrodur 14.70				3 190	551
Filarc PZ 6159					164

Z výsledků laboratorních testů vykazoval nejlepší odolnost vůči opotřebenění návarový materiál Soudokay A43-0 ( $0,0043 \pm 0,0004$  g). Průběh opotřebenění v závislosti na dráze je patrný z obr. 2. Z výsledků je zřejmý lineární nárůst hmotnostních úbytků testovaných materiálů.

Ke správnému vyhodnocení je rovněž důležité určit sílu (intenzitu) dané závislosti, což je úkolem korelační analýzy. Těsnost závislosti je měřena pomocí indexu determinace a nabývá hodnot od 0 do 1. Čím více se hodnoty blíží 1, tím je závislost silnější. Index determinace  $R^2_{yx}$  udává, z kolika procent je závisle proměnná ovlivněna uvažovanou nezávisle proměnnou.

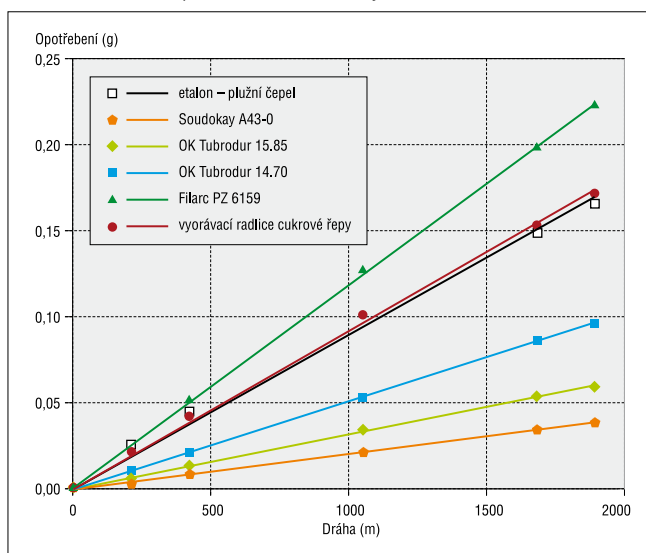
Funkční rovnice pro funkce uvedené na obr. 2. jsou uvedeny v tab. II. V tab. II. je rovněž uveden index determinace  $R^2_{yx}$ . Těsnost závislosti opotřebenění (hmotnostní úbytky) a dráhy je velmi velká.

V tab. III. jsou uvedeny hodnoty  $F_c$  (Fischer-Snedecorovo rozdělení ( $\alpha = 0,05$ )) vypočítané pro metodu shodnosti směrnice regresních přímk (14). Pokud  $F_c < F_{krit}$ , jsou přímky uvedené na obr. 2. statisticky závislé.

Z modelu je zřejmé, že shoda byla dosažena u párové varianty etalon a vyorávací radlice cukrové řepy. Ostatní varianty experimentu nejsou statisticky závislé, tj. je rozdíl v hladině významnosti 0,05.

Z výsledků měření tvrdosti HV je zřejmé (obr. 3.), že testované materiály, tj. plužní čepel, vyorávací radlice cukrovky

Obr. 2. Průběh opotřebenění testovaných materiálů



a návarové materiály OK Tubrodur 15.82 a Filarc PZ 6159 vykazovaly tvrdost v intervalu 550–577 HV. Nejvyšší hodnota tvrdosti byla stanovena u materiálu Soudokay A43-0, tj.  $738 \pm 42$  HV. Materiál Soudokay A43-0 byl současně vyhodnocen na základě laboratorních testů z hlediska odolnosti vůči opotřebení jako nejlepší.

U návarových materiálů byl zjištěn vyšší rozptyl hodnot tvrdosti HV vůči testovanému materiálu plužní čepel a vyorávací radlice cukrové řepy.

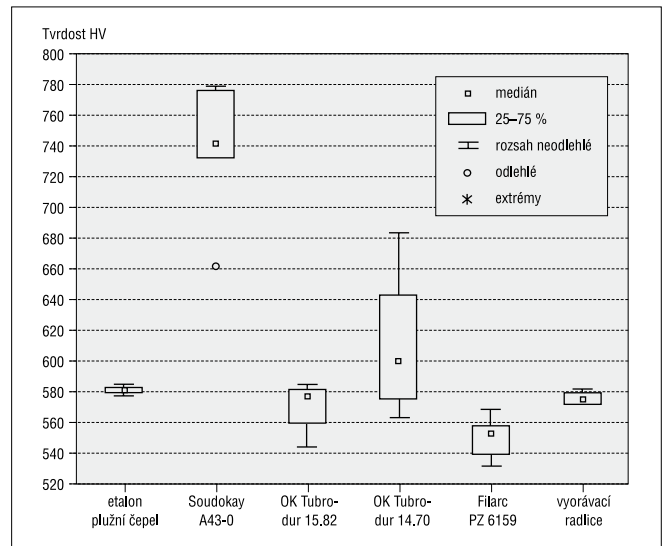
Z hlediska vlivu opotřebení a tvrdosti HV byly testované materiály mezi sebou vzájemně porovnány, a to využitím Anova F-testu. Za nulovou hypotézu  $H_0$  byl označen stav, kdy mezi jednotlivými porovnávanými soubory dat není z hlediska jejich středních hodnot statisticky významný rozdíl:  $p > 0,05$ . U opotřebení se nepotvrdila hypotéza  $H_0$ , tj. je rozdíl v hladině významnosti 0,05 mezi materiály ( $p = 0,000$ ). U tvrdosti HV se nepotvrdila hypotéza  $H_0$ , tj. je rozdíl v hladině významnosti 0,05 mezi materiály ( $p = 0,000$ ).

Chemické složení etalonu (plužní čepel, materiál, na který se navařovalo), vyorávací radlice cukrové řepy a návarových elektrod bylo stanoveno metodou GD-OES (Glow Discharge Optical Emission Spectroscopy). Výsledky jsou patrné z obr. 4. Z výsledků je zřejmé, že u návarových materiálů došlo k promísení se základním materiálem, tj. plužní čepelí.

Mikrostruktura etalonu – plužní čepel (obr. 5.) i vyorávací radlice cukrové řepy (obr. 6.) je shodná. Jedná se o popuštěný martenzit.

Mikrostruktura návaru OK Tubrodur 14.70 je tvořena austenitem, který je obklopen karbidickým eutektikem bohatým na chróm, karbidy v eutektiku jsou podle poměru chrómu a uhlíku typu  $M_7C_3$  (obr. 7.). Mikrostruktura návaru OK Tubrodur 15.82 (obr. 8.) obsahuje stejně jako návar OK Tubrodur 14.70 austenit a na chróm bohaté karbidické eutektikum s tím, že navíc obsahuje částice karbidu niobu. U návaru Soudokay A43-0 je obsah tohoto karbidu vyšší. Mikrostruktura návaru Soudokay A43-0 je nadeutektická a obsahuje primární karbidy  $M_7C_3$  a karbidy niobu umístěné v matici karbidického eutektika (obr. 9.). Mikrostruktura návaru Filarc PZ 6159 je tvořena martenzitem, bainitem a zbytkovým austenitem (obr. 10.). Podíl martenzitu a bainitu je přibližně 1:1.

Obr. 3. Výsledky tvrdosti HV testovaných materiálů

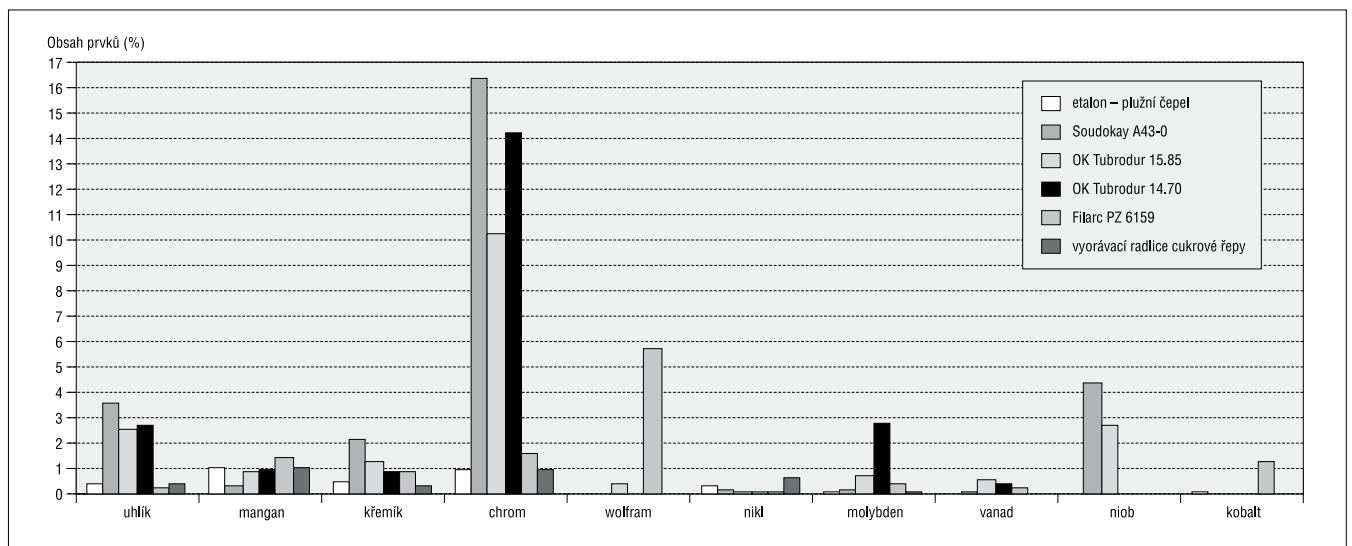


### Závěr

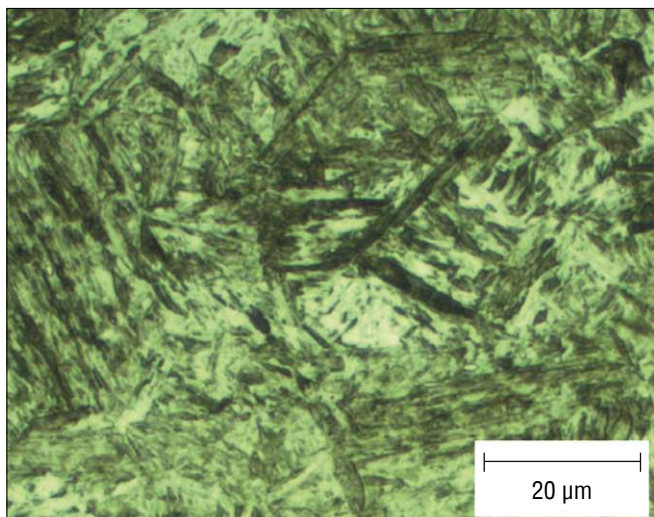
Vzhledem k vysokým nákladům na pořízení opotřebitelných dílů a prostroje strojů pro zpracování půdy v době prací na poli byl náš výzkum zaměřen na zvýšení životnosti opotřebitelných dílů pracujících s půdou. Z výsledků laboratorních testů je možné určit tyto závěry:

- Z výsledků experimentů je zřejmé, že plužní čepel a vyorávací radlice cukrové řepy má stejnou strukturu, tj. popuštěný martenzit. O shodnosti svědčí i výsledky opotřebení a tvrdosti HV.
- Z výsledků experimentů je zřejmé, že návarové materiály Soudokay A43-0, OK Tubrodur 14.70, OK Tubrodur 15.82 dosahovaly lepších vlastností nežli materiál plužní čepel a vyorávací radlice cukrové řepy. Jedná se o karbidické návarové materiály.
- Z výsledků laboratorních testů vykazoval nejlepší odolnost vůči opotřebení návarový materiál Soudokay A43-0 obsahující primární karbidy  $M_7C_3$  a karbidy niobu umístěné v matici karbidického eutektika.

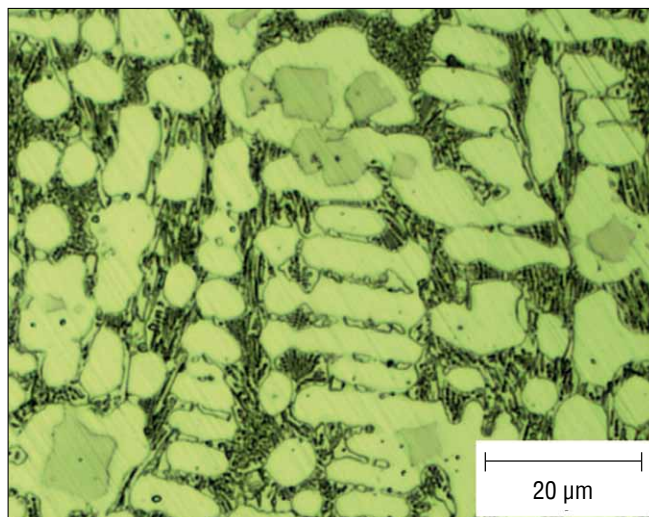
Obr. 4. Chemické složení testovaných materiálů



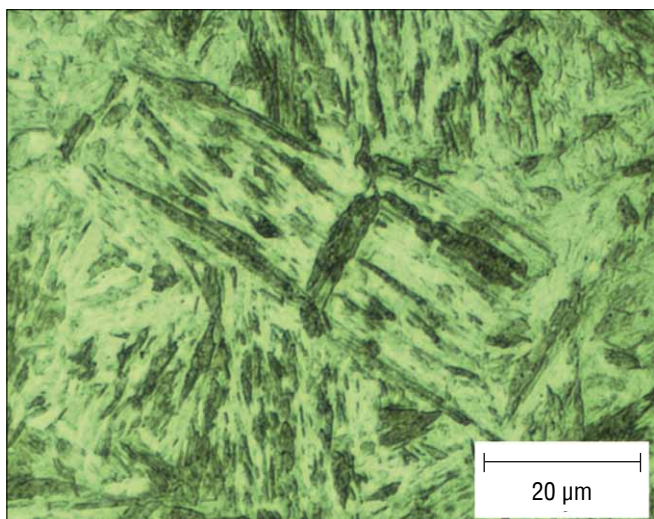
Obr. 5. Mikrostruktura plužní čepele (etalonu)



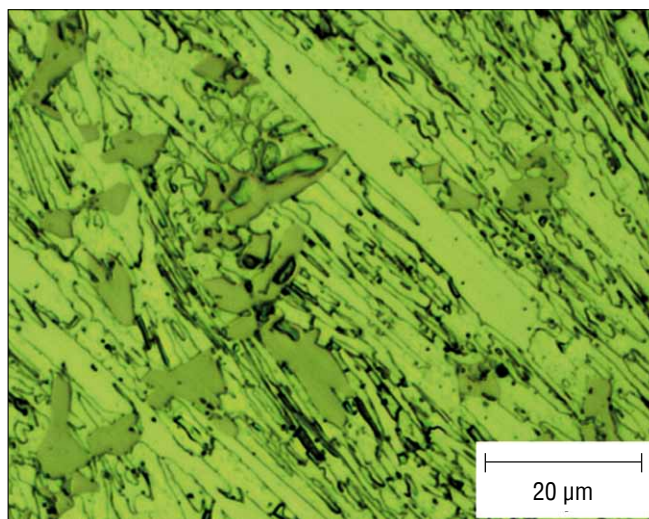
Obr. 8. Mikrostruktura návaru OK Tubrodur 15.82



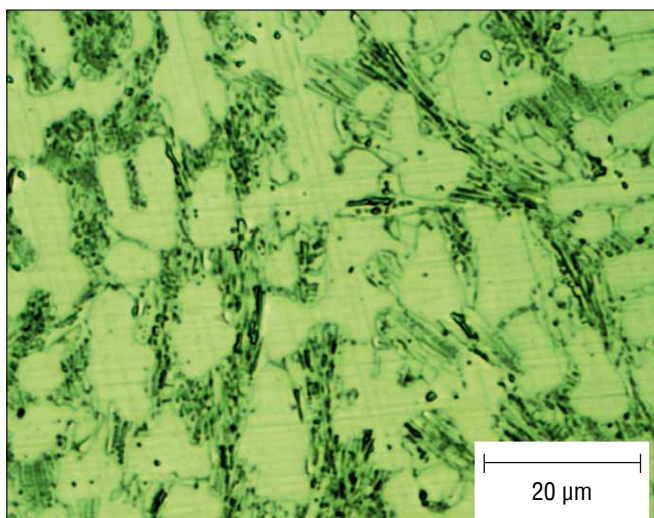
Obr. 6. Mikrostruktura vyorávací radlice cukrové řepy



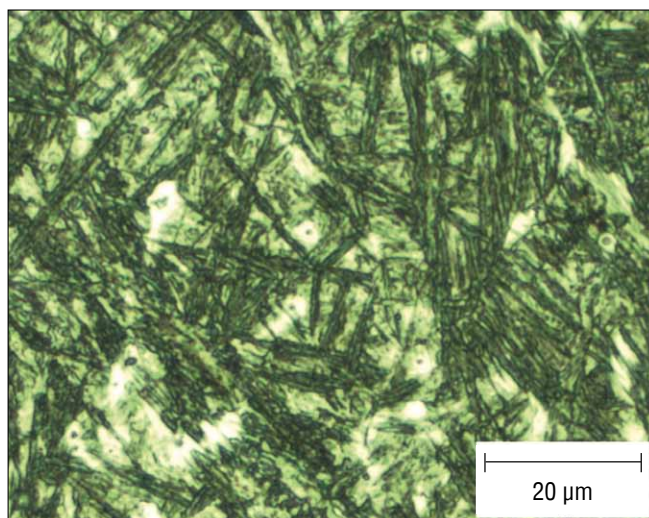
Obr. 9. Mikrostruktura návaru Soudokay A43-0



Obr. 7. Mikrostruktura návaru OK Tubrodur 14.70



Obr. 10. Mikrostruktura návaru Filarc PZ 6159



– Martenzitický návarový materiál Filarc PZ 6159 tvořený martenzitem, bainitem a zbytkovým austenitem vykazoval horší

vlastnosti nežli materiál plužní čepele a vyorávací radlice cukrové řepy.

## Souhrn

Zpracování půdy patří mezi základní úkony v oblasti rostlinné výroby. Při zpracování půdy dochází k intenzivnímu opotřebení výměnných opotřebitelných dílů nástrojů. Při konvenčním zpracování půdy je podstatná část opotřebení orebního tělesa soustředěna na plužní čepeli.

Výzkum byl zaměřen na využití návarového materiálu za účelem zvýšení odolnosti nástrojů zpracovávajících půdu vůči abrazivnímu opotřebení. Byly použity návarové materiály karbidického (Soudokay A43-0, OK Tubrodur 14.70, OK Tubrodur 15.82) a martenzitického (Filarc PZ 6159) typu.

Cílem výzkumu bylo zhodnotit opotřebení plužní čepel, vyorávací radlice cukrové řepy a vybraných návarových materiálů navařených na plužní čepel při laboratorních testech dle ASTM G65. Z výsledku experimentů je zřejmé, že plužní čepel a vyorávací radlice cukrové řepy má stejnou strukturu, tj. popuštěný martenzit. Z výsledků experimentů je také zřejmé, že návarové materiály Soudokay A43-0, OK Tubrodur 14.70 a OK Tubrodur 15.82 dosahovaly lepších vlastností nežli materiál plužní čepel a vyorávací radlice cukrové řepy. Jedná se o karbidické návarové materiály.

**Klíčová slova:** abrazivní opotřebení, cukrová řepa, návary, renovace, tvrdost.

## Literatura

1. HORVAT, Z. ET AL.: Reduction of mouldboard plough share wear by a combination technique of hardfacing. *Tribology International*, 41, 2008, s. 778–782.
2. ČIČO, P.; KOTUS, M.; VYSOČANSKÁ, M.: Renovácia vyorávacích radlic cukrovej repy – predĺženie životnosti. *Listy cukrov. řepář.*, 128, 2012 (9–10), s. 280–283.
3. BAYHAN, Y.: Reduction of wear via hardfacing of chisel ploughshare. *Tribology International*. 39, 2006 (6), s. 570–574.
4. MÜLLER, M.; HRABĚ, P.: Overlay materials used for increasing lifetime of machine parts working under conditions of intensive abrasion. *Research in Agricultural Engineering*, 59, 2013 (1), s. 16–22.
5. VOTAVA, J.; ČERNÝ, M.; FILÍPEK, J.: Abrasive wear of ploughshare blades made of Austempered Ductile Iron. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 55, 2007 (1), s. 173–182.
6. MÜLLER, M. ET AL.: Unusual possibility of wear resistance increase research in the sphere of soil cultivation. *Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette*, 20, 2013 (4), s. 641–646.
7. MORRE, M. A.: The abrasibe wear resistance of surfáře soating. *J. Agricult. Engineering Res.*, 20. 1975 (2), s. 167–179.
8. ER, U.; PAR, B.: Wear of plowshare components in SAE 950C steel surface hardened by powder boriding. *Wear*. 261. 2006, s. 251–255.
9. BUCHELY, J. C. ET AL.: The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys. *Wear*. 259. 2005, s. 52–61.
10. NOVÁK, P.; MÜLLER, M.; HRABĚ, P.: Research of material and constructional solution in area of conventional soil processing. *Agronomy Research*, 12, 2014 (1), s. 143–150.
11. MÜLLER, M.; NOVÁK, P.; HRABĚ, P.: Inovace materiálů konstrukčních řešení plužní čepel v oblasti konvenčního zpracování půdy při pěstování cukrové řepy. *Listy cukrov. řepář.*, 130, 2014 (3), s. 94–99.
12. NING ZHAO ET AL.: Bioinspired Materials: from Low to High Dimensional Structure. *Advanced materials*, 26, 2014, s. 6994–7017.
13. HORVAT, Z. ET AL.: Reduction of mouldboard plough share wear by a combination technique of hardfacing. *Tribology International*, 41, 2008, s. 778–782.
14. MELOUN, M.; MILITKÝ, J.: *Statistická analýza experimentálních dat*. Praha: Academia, 2004, 3. vydání, 953 s.

## Müller M., Chotěborský R., Hrabě P.: Application of Overlay Material on Soil Processing Tools for Purpose of Increasing their Abrasive Wear Resistance

Soil processing belongs among basic tasks in the field of plant production. An intensive wear of changeable wearable parts occurs during soil processing. Within conventional soil processing, significant part of the wear of the ploughing body is concentrated on the ploughshare.

The research focused on using overlay material for the purpose of increasing the abrasive wear resistance of soil processing tools. Overlay materials of carbide type (Soudokay A43-0, OK Tubrodur 14.70, OK Tubrodur 15.82) and of martensitic type (Filarc PZ 6159) were used.

The aim of the research was to evaluate the wear of the ploughshare, sugar beet ploughshare and chosen overlay materials used on the ploughshare in laboratory tests according to ASTM G65. It is obvious from the experiment results that the ploughshare and the sugar beet ploughshare are of the same structure, i.e. tempered martensite; it is also obvious that the overlay materials Soudokay A43-0, OK Tubrodur 14.70, OK Tubrodur 15.82 demonstrate better qualities than the material of the ploughshare and the sugar beet ploughshare. They are the carbidic overlay materials.

**Key words:** abrasive wear, sugar beet, overlays, renovation, hardness.

## Kontaktní adresa – Contact address:

doc. Ing. Miroslav Müller, Ph. D., Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Katedra materiálu a strojírenské technologie, Kamýčká 129, 165 21 Praha 6 Suchbátka, Česká republika, e-mail: muller@tf.czu.cz

