

ABRAZIVNÍ OPOTŘEBENÍ PLUŽNÍCH ČEPELÍ Z ADI LITINY

J. Votava, M. Černý, J. Filípek

Došlo: 30. července 2006

Abstract

VOTAVA, J., ČERNÝ M., FILÍPEK, J.: *Abrasive wear of ploughshare blades made of Austempered Ductile Iron*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2007, LV, No. 1, pp. 173–182

The objective of this article consists in exhaustive monitoring of abrasive wear and subsequent evaluation of nodular cast iron with spheroidal graphite used as the base material for production of ploughshare blades. Nodular cast iron has a lot of convenient properties for production of these components. We have tested this material in field tests.

For these tests there were manufactured ploughshare blades (directly according to original). These ploughshare blades were tested in practical conditions of agricultural company Farma Nedvězí Ltd. Three ploughshare blades were used in natural cast state and the others were heat-treated. During the test there were measured decreases of weights of the ploughshare blades and subsequently compared with decreases of original ploughshare blades, produced by company Opall Agri which are ordinarily available at our market.

ploughshare blade, malleable iron, abrasive wear

Převládajícím druhem opotřebení v zemědělství, dopravě, stavebnictví, ale i ve výrobních procesech, je opotřebení abrazivní. Je to složitý proces, u kterého je obtížné vypracovat obecný model, podle něhož by bylo možné spolehlivě stanovit velikost opotřebení. Abrazivní opotřebení má přímý vliv na celkovou dobu prostojů (poruchy, výměna opotřebovaných dílů...) a kvalitu provedené práce. Hlavní příčinou vysokého opotřebení nástrojů pro zpracování půdy jsou především tvrdé částice SiO_2 , jejichž tvrdost dosahuje 900 až 1 280 HV.

MATERIÁL A METODY

Plužní čepele odlité z ADI litiny byly porovnávány se sériově vyráběnými kovanými ocelovými čepelemi. Odolnost proti abrazivnímu opotřebení byla stanovena na základě hmotnostních úbytků během orební zkoušky.

Orební souprava

Pro zkoušky opotřebení plužních čepelí byl použit šestiradličný polonesený pluh B-201 Forschrite s hydraulickým jištěním orebních těles. Pluh pracoval v soupravě s traktorem Zetor 162-45. Měření bylo realizováno v zemědělském podniku Farma Nedvězí, spol. s r. o., v době od 15. 11. do 21. 11. 2005.

Plužní čepele

Originální sériově vyráběné ocelové plužní čepele Opall Agri byly zakoupeny u autorizovaného prodejce náhradních dílů této značky.

Testované plužní čepele jsou odlitky z litiny s kuličkovým grafitem. Litina byla roztavena v indukční peci, očkovaná předslutinou hořčíku a gravitačně odlita do bentonitových forem. Jako modely byly použity originální plužní čepele pro pluh B-201 Forschrite, otvory pro upevňovací šrouby byly předlité pomocí jader. Chemické složení je uvedeno v Tab. I.

I: Chemické složení tavby pro odlitky plužních čepelí [hm%]

C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	Cu [%]	Ti [%]	Al [%]	Mg [%]	Ca [%]	Sn [%]
3,48	0,08	2,37	0,038	0,006	0,72	0,001	0,0130	0,0390	0,0205	0,0140

Odlité plužní čepel byly následně tepelně zpracovány izotermickým zušlechťením při různých tepel-

ných režimech. Jedna sada plužních čepelí zůstala v přírodním litém stavu (Tab. II).

II: Tepelné zpracování odlitků plužních čepelí

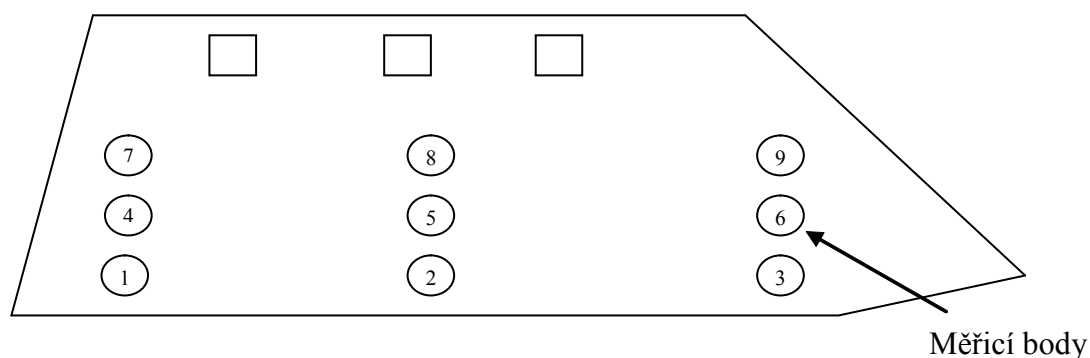
číslo plužní čepele	počet vzorků	austenitizace	transformace austenitu	název tepelného zpracování
1	3	880 °C/60 min solná lázeň	250 °C/30 min solná lázeň	izotermické zušlechťování
2				
3				
4	4		300 °C/30 min solná lázeň	
5				
6				
7				
8	4		380 °C/30 min solná lázeň	
9				
10				
11				
12	3	x	x	tepelně nezpracováno
13				
14				

Ocelové i litinové plužní čepel byly před vlastní zkouškou označeny a následovalo stanovení tvrdosti a metalografický rozbor.

Měření tvrdosti plužních čepelí

Měření bylo provedeno metodou HRC. Na pluž-

ních čepelích bylo stanoveno devět měřicích bodů (Obr. 1). Z výsledných hodnot byl vypočten aritmetický průměr (Tab. III). U originálních plužních čepelí je zřejmé, že tepelné zpracování je pouze ve spodní části bříty, proto v tab. III nejsou uvedeny hodnoty aritmetického průměru.



1: Rozložení měřicích bodů

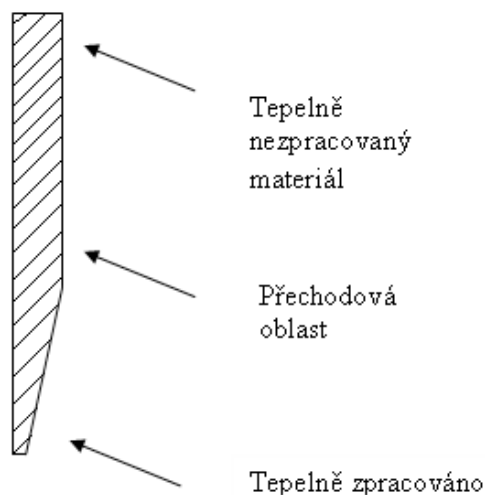
III: Tvrdost plužních čepelí

čepel	tepelné zpracování		číslo vzorku	HRC									průměrná tvrdost [HRC]
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
z litiny s kuličkovým grafitem	izotermické zušlechťování v solné lázni	880/250/30'	1	51	53	52	53	54	53	53	52	51	52
			2	52	52	51	53	52	54	52	53	53	52
			3	53	53	52	53	53	53	52	52	53	53
		880/300/30'	4	37	38	38	37	38	38	37	37	38	38
			5	38	38	37	38	37	39	38	37	39	38
			6	39	38	39	39	38	38	39	39	39	39
			7	38	37	38	38	39	37	38	39	37	38
		880/380/30'	8	34	35	34	36	35	34	35	35	36	35
			9	36	36	35	36	35	35	36	36	34	35
			10	35	35	35	36	35	34	35	36	36	35
	bez tepelného zpracování		11	34	35	36	35	34	35	36	34	35	35
			12	18	19	18	20	21	20	19	18	18	19
			13	19	20	21	20	18	17	19	17	18	19
			14	18	21	21	21	20	19	18	18	17	19
ocelová	tepelně zpracováno výrobcem		org 1	48	48	50	32	30	28	29	30	31	X
			org 2	50	51	50	28	29	32	28	30	27	
			org 3	51	48	49	32	29	31	32	30	28	
			org 4	50	52	50	33	30	29	28	28	27	

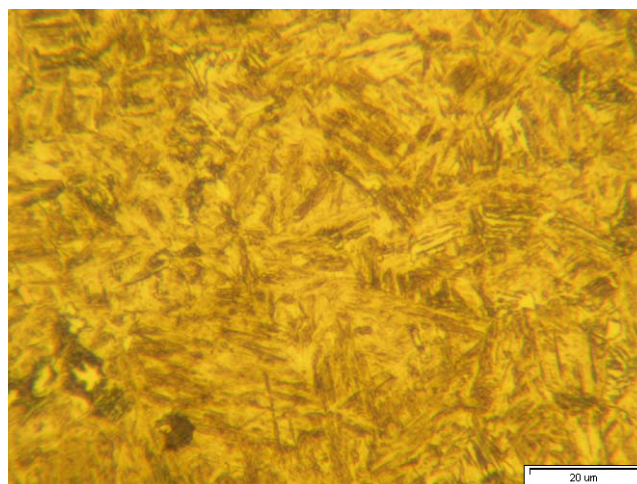
Metalografické výbrusy plužních čepelí

U originální čepel, která je vyrobená z oceli, se provádí tepelné zpracování pouze ve spodní pracovní části (Obr. 2). Pro daný experiment byly použity liti-

nové plužní čepel se třemi druhy izotermického zušlechťování a také sada čepelí ponechaná v přírodním litém stavu. Strukturní stav čepelí z litiny s kuličkovým grafitem byl v celém průřezu stejný, protože se jednalo o objemové tepelné zpracování (Obr. 3).

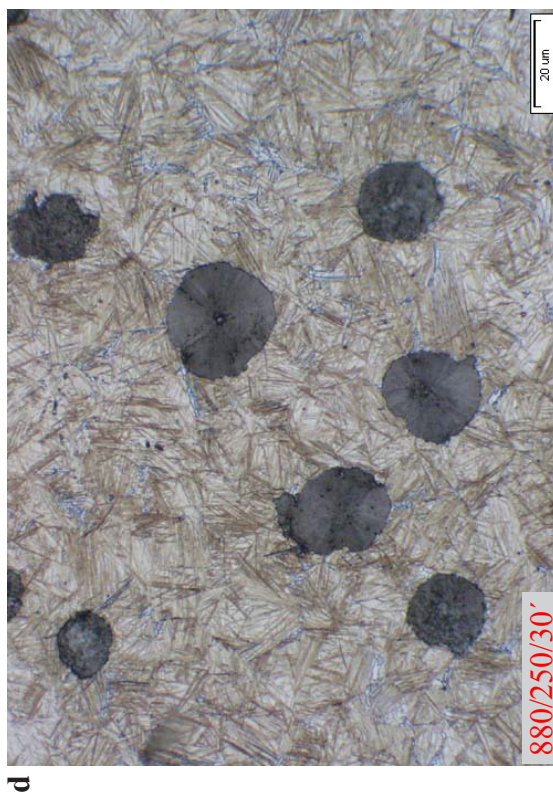
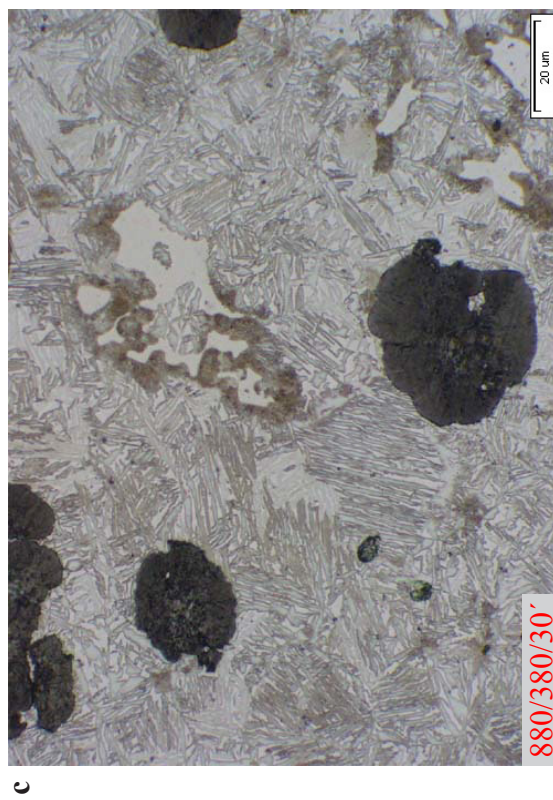
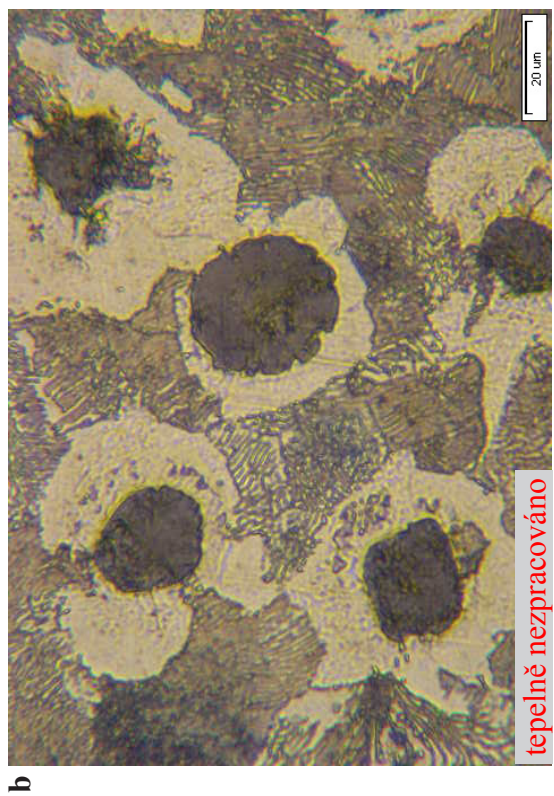
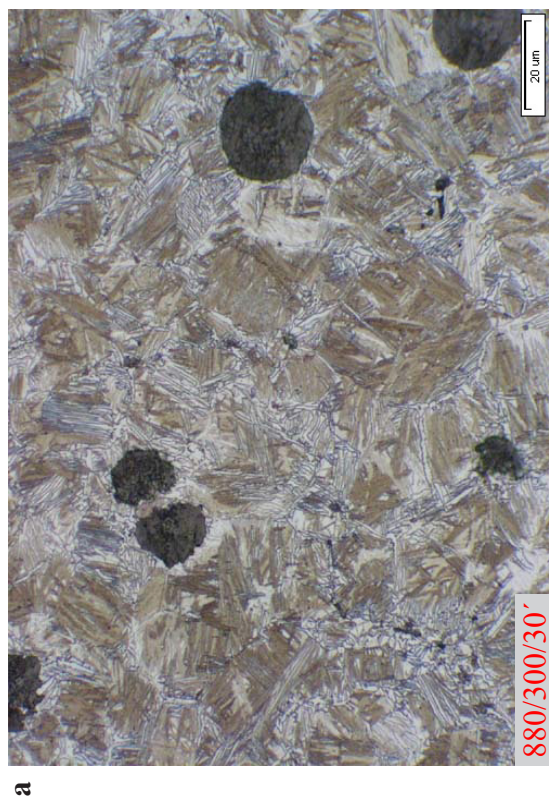


a – příčný řez čepelí



b – martenzit v pracovní části čepel

2: Originální ocelová plužní čepel



3: Vliv tepelného zpracování na strukturu litiny s kuličkovým grafitem

Struktura tepelně nezpracované litiny s kuličkovým grafitem je tvořena feritem, perlitem a globulárním grafitem. Izotermickým zušlechtním je ferit a perlit nahrazen bainitem a zbytkovým austenitem. Při nižších teplotách rozpadu austenitu (250 °C) odpovídá morfologie dolnímu bainitu, při vyšších teplotách (300 °C, 380 °C) se jedná o horní bainit.

Půdní podmínky

Veškeré orební zkoušky byly prováděny na pozemcích Farmy Nedvězí, která se nachází na Českomoravské vrchovině. Z geologického hlediska se jedná o kambizem modální na deluviu ruly. Pomocí

půdní analýzy bylo definováno prostředí, ve kterém se daná plužní čepel pohybuje.

Výskyt balvanů

Balvan je považován z geologického hlediska za horninu větší než 300 mm. Výskyt je hodnocen třemi stupni:

1. bez výskytu nebo s ojedinělým výskytem
2. střední intenzita výskytu (5 až 20 lokalit na ha)
3. výrazná intenzita výskytu (více než 20 lokalit na 1 ha).

Prostředí, ve kterém se konaly provozní zkoušky, můžeme hodnotit jako oblast s výraznou intenzitou výskytu balvanů (Obr. 4).



4: Dno brázdy při orbě

Podmínky a metodika měření

Obsah skeletu

Množství skeletu v půdě je jedním z limitních faktorů abrazivního opotřebení. Bylo provedeno hmotnostní stanovení skeletu, kdy jsme oddělili částice hrubší než 2 mm. Z této frakce se odebrali dále ještě částice nad 30 mm (kameny). Celkový skelet činil 25,34 %. Podle Taxonomického klasifikačního systému půd můžeme říci, že se jedná o slabě až středně šterkovité půdy. Objem částic šterku rovněž převládá nad objemem kamení.

Stanovení zrnitosti

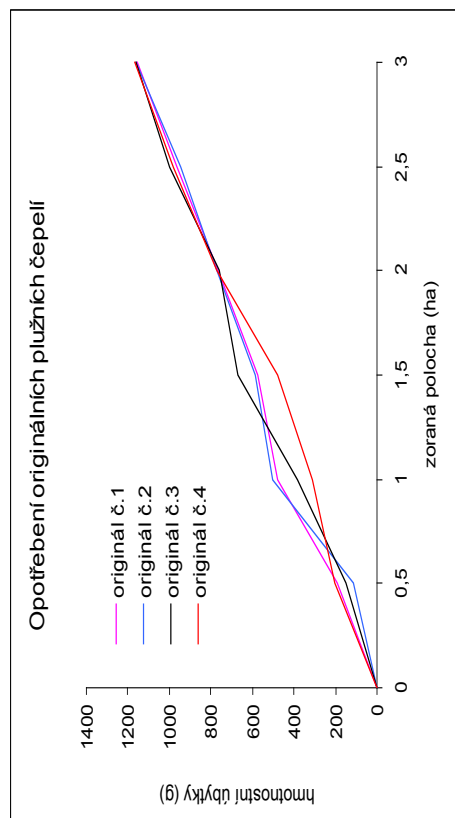
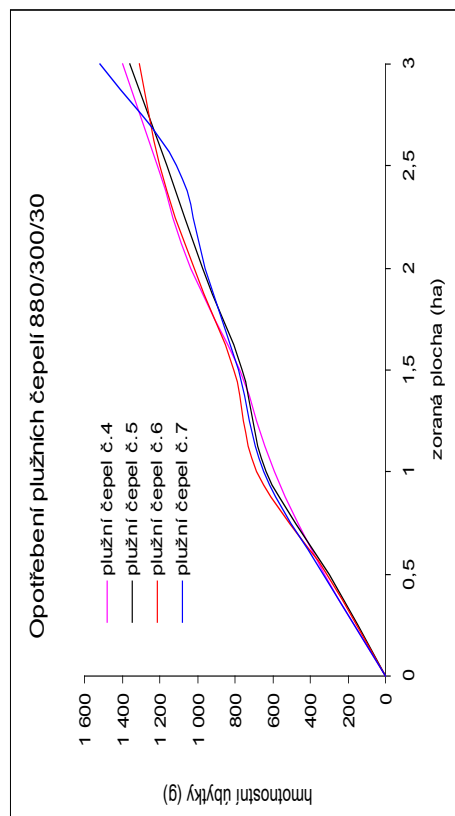
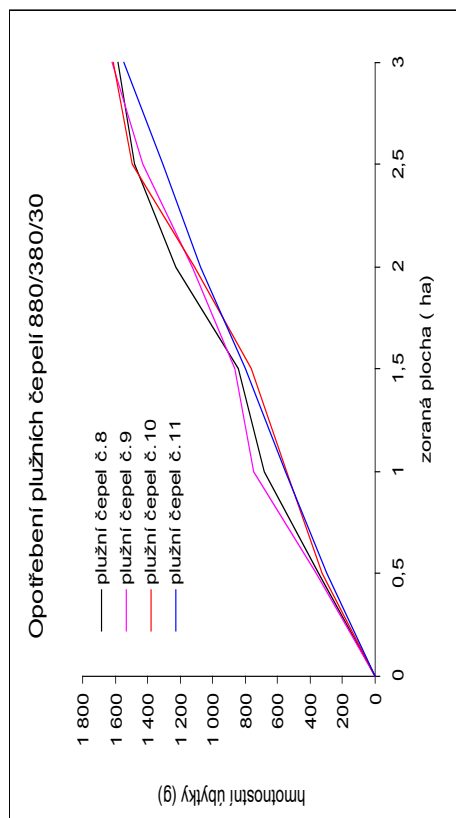
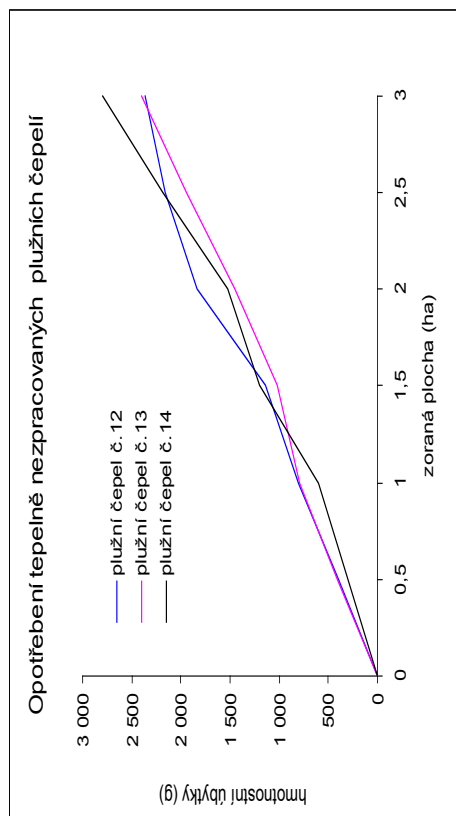
Zrnitostní klasifikace, na jejímž základě získáme půdní druh, byla provedena dle Nováka. Obsahuje-li půda méně než 50 % skeletu, hodnotíme zrnitost v sedmi klasifikačních stupních (písek, písčítá, hlinitopísčítá, písčitohlinitá, hlína, jílovitohlinitá, jílovitá, jíl). Na základě zrnitostní klasifikace můžeme říci, že se jedná o půdní druh písčitohlinitý (střední půda).

Zrnitostní třída dle Taxonomického klasifikačního systému půd ČR je písčítá hlína.

Objemová redukovaná hmotnost, pórovitost a okamžitá vlhkost

Objemová hmotnost zeminy po vysušení je parciální (dílčí) hustota tuhé fáze. Vystihuje stav nakypření či zhutnění půdy daného horizontu za předpokladu konstantní měrné hmotnosti tuhé fáze. Objemová hmotnost redukovaná kritická činí 1 550 kg.m⁻³. V našem případě se hodnoty vzorků pohybují okolo 1 350 kg. m⁻³. Z tohoto výsledku je patrné, že se jedná o velmi dobře provzdušněnou a nakypřenou půdu bez známek utužení.

Pórovitost podává obraz o okamžitém zastoupení objemu pórů v celkovém objemu půdy. Celková pórovitost však neudává největší hodnotu objemu vody, která by mohla vyplnit půdní prostor. Jednotlivé hodnoty pórovitosti značně přesahují kritické hodnoty podle Lhotského, který pro tento typ půd udává kritickou pórovitost menší než 42 %.



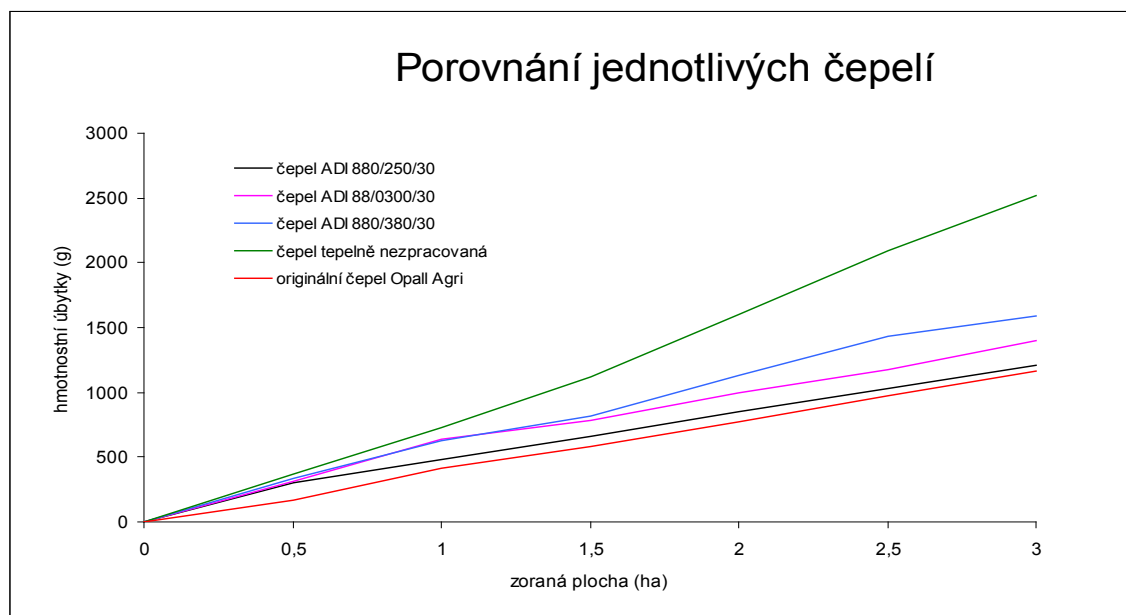
5: Hmotnostní úbytky čepelí opotřebením při orební zkoušce

Okamžitá vlhkost je momentální obsah vody v půdě. Vlhkost půdy se pohybuje okolo 30 %. Tato hodnota odpovídá rovněž charakteru počasí v době měření, kdy bylo zaznamenáno větší množství srážek.

Orební zkoušky

Pro porovnání abrazivního opotřebení mezi ocelí a ADI litinou byla odlita sada čtrnácti kopií plužních čepelí. Tři odlitky byly ponechány bez tepelného zpracování a na dalších jedenácti se provedlo izotermické zušlechťení (teploty 250 °C, 300 °C a 380 °C). Tyto odlité plužní čepule spolu s originálními ocelovými čepulemi byly zváženy a přišroubovány k orebním tělesům pluhu. Bylo dbáno na to, aby podmínkám klasické orby byly vystaveno všech pět testovaných variant čepelí současně.

Po zorání 3 ha byly čepule demontovány, důkladně očištěny od zbytků půdy a zváženy s přesností 0,1 g. Při použití šestiradličního pluhu tedy na každé orební těleso připadá 0,5 ha. Po zaznamenání hodnot do tabulky se jednotlivé čepule umístily na následující orební těleso, aby se eliminovala variabilita podmínek, která by mohla vzniknout např. utužením půdy koly traktoru. Pro měření jsme zvolili celkem šest intervalů po 0,5 ha, což znamená, že každá plužní čepel zorala 3 ha. Tato plocha byla stanovena z délky brázdy a pracovního záběru pluhu. Průměrná hloubka orby, která byla odečtena z deseti měření, činila 21,5 cm. Uvážíme-li, že plocha zoraná jedním orebním tělesem je 3 ha, průměrné množství obrácené zeminy připadající na jednu čepel činí 2 150 m³.



6: Průměrné hmotnostní úbytky plužních čepelí

VÝSLEDKY A DISKUSE

Vyhodnocení abrazivního opotřebení

Průběh opotřebení jednotlivých souborů testovaných čepelí je zřejmý z obr. 5. Hmotnostní úbytky čepelí rostou přímo úměrně se zoranou plochou.

Největší hmotnostní úbytky byly zaznamenány u plužních čepelí z litiny s kuličkovým grafitem, které nebyly tepelně zpracovány. Průměrná hmotnostní ztráta byla 2522 g po zorání 3 ha (Obr. 6). To znamená, že původní průměrná hmotnost plužních čepelí 4216 g se orbou snížila na 1694 g. Tato hmotnost je již na hranici funkční použitelnosti čepule. Struktura tvořená feritem, perlitem a globulární grafitem je nejměkčí (19 HRC) a do půdních podmínek, kde se projevuje značné abrazivní opotřebení, zcela nevhodná.

Plužní čepule izotermicky zušlechťené při 380 °C se strukturou horní bainit, zbytkový austenit a globulární grafit jsou tvrdší (35 HRC). Tato struktura rovněž není schopna odolávat v dostatečné míře enormnímu působení abrazivního opotřebení. Její odolnost v porovnání s tepelně nezpracovanou čepelí je 1,58krát vyšší. Velice podobně je na tom i izotermické zušlechťení při teplotě 300 °C. Struktura je o něco tvrdší (38 HRC) a abrazivní odolnost 1,80krát vyšší než u tepelně nezpracovaného vzorku.

Plužní čepule izotermicky zušlechťené při teplotě 250 °C jsou podstatně tvrdší (52 HRC). Strukturu tvoří dolní bainit, zbytkový austenit a globulární grafit. S tímto tepelným zpracováním byly vyrobeny tři plužní čepule. První z této série plužních čepelí praskla okamžitě při střetu s překážkou (kámen).

S druhou bylo zoráno cca 1,5 ha a rovněž došlo k ulomení přední části čepele (nosu čepele). Třetí vzorek z této série nebyl zlomen. Odolnost proti abrazivnímu opotřebení je 2,35krát vyšší než u čepele tepelně nezpracované.

Hlavním kritériem posuzování jsou však hmotnostní úbytky originálních plužních čepelí dodávané na náš trh firmou Opall Agri. Jedná se o ocelový výkovek, který je zakalen a popuštěn pouze ve spodní části čepele, kde tvrdost dosahuje max. 51 HRC. Průměrný hmotnostní úbytek těchto čepelí činil po zorání 3 ha celkově 1 160 g. To znamená, že v porovnání s tepelně nezpracovanou plužní čepelí z litiny s kuličkovým grafitem má 2,17krát vyšší odolnost. Tento výsledek je srovnatelný s izotermickým zušlechťením při 250 °C, ale z hlediska houževnatosti materi-

álu a náchylnosti k lomu je ocelový výkovek do takto skeletovitých půd mnohem spolehlivější.

Vyhodnocení lomu plužní čepele 880/250/30

Celý experiment byl realizován ve vysoce abrazivní půdě se zvýšeným množstvím kamenů a balvanů. Z tohoto důvodu nebyly testovány plužní čepele zakalené v celém průřezu. Izotermické zušlechťení při 250 °C se však jevilo jako dostatečně houževnaté i do těchto extrémních podmínek. Tento předpoklad se však nepotvrdil. Dvě plužní čepele byly zlomeny. Příčinou ovšem mohla být rovněž technologická vada plužní čepele, kterou odhalilo pozorování lomové plochy. Jedná se o mikropóry a řediny vzniklé při odlévání.



a – vzorek 1

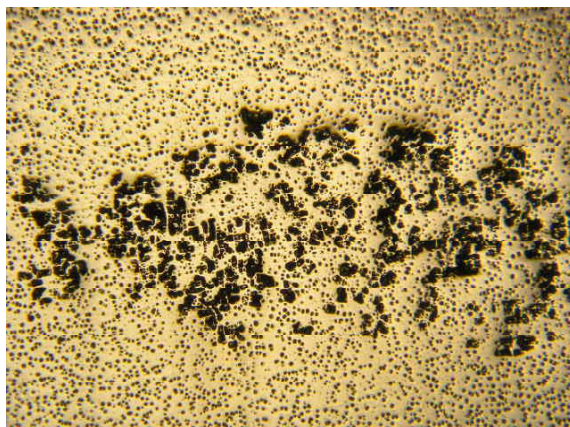


b – vzorek 2

7: Lomy plužních čepelí

Obr. 7 dokumentuje celkovou destrukci plužní čepele označené číslem 1, která nastala okamžitě při srážce s cizím tělesem (kámen) po 5 m orby. Se vzorkem 2 bylo zoráno 1,5 ha, potom rovněž nastal lom. Struktura lomu je do značné míry totožná s lomem plužní čepele č. 1. Na lomové ploše se můžeme setkat jednak s křehkým lomem a zároveň na koncích lomové plochy s lomem pseudoštěpným, který zde vznikl v důsledku dolomení celé součásti.

Iniciátorem lomu byly u obou plužních čepelí řediny skryté v materiálu, které jsou charakterizovány nahromaděním malých dutin mezi dendrity (Obr. 8). Jde tu vlastně o systém malých staženin, projevující se jako nehomogenity, které zvyšují riziko lomu. Malé dutiny souvisejí často s povrchem velmi jemnými kanálky, které nejsou pouhým okem viditelné. Právě tento fakt má rozhodující vliv na vznik lomu.



8: Ředina (12×)

Tato technologická vada materiálu rapidně snižuje pevnost a houževnatost materiálu. Iniciační lom je soustředěn do míst, kde je zvýšený výskyt ředin. Dále již dochází ke vzniku nestabilního štěpného lomu, který je charakterizován morfologií interkrystalického štěpení struktury. Při pozorování se vyznačuje

vysokou reflexní schopností jednotlivých faset, které jsou výsledkem štěpení zrna tzv. říčkovým lomem a kvazikřehkým dolomením můstků, jež jsou orientovány přibližně kolmo ke směru šíření magistralní trhliny (Obr. 9).



9: Křehký lom



10: Smíšený lom

Na koncích lomové plochy se můžeme setkat s lomem, který je charakterizován hrubou polyedrickou strukturou. Na lomu jsou vidět různé plošky, které odrážejí světlo jedním směrem. Protože tyto plošky jsou nesterilně orientovány ke směru dopadajících paprsků, je jejich osvětlení různé (Obr. 10).

Závěrem můžeme konstatovat, že i když dvě třetiny plužních čepelí byly zlomeny, nemusí se jednat o špatně zvolenou technologii tepelného zpracování. Tato struktura, kterou tvoří globulární grafit, dolní bainit a zbytkový austenit, by svojí houževnatostí mohla vyhovovat i v takto náročných podmínkách. Vznik lomu byl iniciován ředinami vzniklými při výrobě. To lze následně ovlivnit nejen zvýšenou technologickou kázní, ale zřejmě i vhodnějším umístěním náličky, sítky a vtoku při odlévání.

DISKUSE A ZÁVĚR

Degradační proces jednotlivých strojních součástí výrazně omezuje funkčnost a životnost celého strojního komplexu. V zemědělském provozu, zejména

pak při zpracování půdy, má i změna tvaru pracovních částí v důsledku nadměrného úbytku materiálu negativní vliv na kvalitu práce a ekonomickou náročnost celého pracovního procesu.

Výhodou plužních čepelí z litiny s kuličkovým grafitem tepelně zpracovaných izotermickým zušlechťením zůstává jejich nízká pořizovací cena (cca 250 Kč). Osvědčily se v méně náročných podmínkách (půdní druh písčitohlinitý, zrnitostní třída – hlína, s menším množstvím skeletu, bez výskytu balvanů). Vyplyvá to z výsledků orebních zkoušek (Březina, 2004), kdy plužní čepel vyrobená z ADI litiny měly srovnatelné opotřebení s originálními čepelími firmy Kverneland. Pro zemědělské oblasti s těmito půdními vlastnostmi je izotermicky zušlechťená litina s kuličkovým grafitem (ADI) jednou z cest snižování nákladů na náhradní opotřebitelné díly v orebních podmínkách.

Pro pozemky s vysokou intenzitou výskytu balvanů (více než 20 lokalit na ha) a se střední až vysokou šterkovitostí je nutné zvolit jiný materiál než námi zkoušenou ADI litinu.

SOUHRN

Základní zpracování půdy je nedílnou součástí rostlinné výroby v zemědělském provozu. Každoročně se v ČR zpracovává orbou více než 3,5 mil. ha půdy.

Cílem tohoto příspěvku je porovnat abrazivní odolnost plužních čepelí odlitých z ADI litiny vůči originálním ocelovým plužním čepelím dodávaných na náš trh firmou Opall Agri pro polonesený pluh B-201.

abrazivní odolnost, půda, čepel

LITERATURA

- AMBROŽ, O. a kol.: Technologie slévání, tváření a spojování. Brno: VUT, 1989. 92 s.
- BALLA, J.: Zemědělská technika. 33. vydání, 1987, 501 s.
- BLAŠKOVIČ, P., BALLA, J., DZIMKO, M.: Tribolória. Bratislava: Alfa, 1990. 360 s.
- BŘEZINA, R.: Disertační práce. Brno: MZLU, 2005. 147 s.
- JECH, J.: Tepelné zpracování oceli. Praha: SNTL, 1977. 400 s.
- KOUTSKÝ, J., JANDOŠ, F., KAREL, V.: Lomy ocelových částí. Praha: SNTL, 1976.
- ŠENBERGER, J., BUCHAL, A., FILÍPEK, J., BŘEZINA, R., KOUŘIL, M.: Použití izotermicky zušlechtěné litiny s kuličkovým grafitem pro výrobu odlitků se zvýšenou odolností proti abrazi zejména na náhradní díly zemědělských strojů. Slévárství, LII, listopad, prosinec 2004. s. 456–460, ISSN 0037-6825.

Adresa

Ing. Jiří Votava, Ph.D., Doc. Ing. Michal Černý, CSc., Ústav techniky a automobilové dopravy, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: j.votava@seznam.cz