

VLIV STRUKTURY A PODMÍNEK ZKOUŠKY NA VELIKOST ABRAZIVNÍHO OPOTŘEBENÍ

J. Filípek, R. Březina

Došlo: 30. října 2006

Abstract

FILÍPEK, J., BŘEZINA, R.: *The structure and the test conditions influence to the abrasive wear*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2007, LV, No. 1, pp. 45–54

The paper concerns about the comparison of abrasive wear of testing samples made of various metal materials (steels, isothermally heat-treated cast iron with spheroidal graphite, weld deposit) during both laboratory and operational tests.

abrasive wear, steels, ADI cast iron, weld deposit, laboratory, operational tests

Životnost a spolehlivost řady strojních částí je značně ovlivněna abrazivním opotřebením. Zvláště intenzivně jsou opotřebovávány činné části strojů pro zpracování půdy, např. čepele plužních těles, botky secích strojů, rozhrnovací radlice sazečů brambor, nože rotačních kypřičů, plazy žacích adaptérů, vyorávací radlice, prsty obrabečů a shrnovačů atd.

Opotřebení má za následek nejen nevratnou ztrátu materiálu, ale také zvyšování energetické náročnosti operací. Sedlák a Bauer (1998) zjistili, že průměrný měrný odpor pluhu u ostrých čepelí se pohybuje okolo 49,4 kPa, u tupých 58,8 kPa, což představuje nárůst o 19 %. Vezmeme-li v úvahu komplexní soubor operací pro zpracování půdy od podmětky přes orbu až po mechanické ošetření porostu během vegetace, zjistíme, že celková obdělávaná plocha v ČR představuje rozlohu větší než 23 mil. ha.

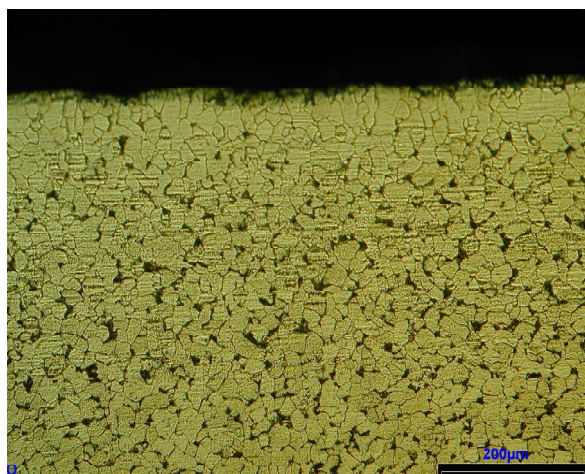
Správná volba materiálů, které mají odolávat opotřebení, je jedním ze základních prvků bezporuchového a ekonomického provozu strojů. Zkušenosti z praxe ukazují, že existují určité závislosti odolnosti kovů proti opotřebení na mechanických vlastnostech (zejména tvrdosti) a struktuře materiálu. Březina, Filípek (2005) zjišťovali korelační vztah mezi abrazivním opotřebením v laboratorních i provozních podmínkách a mezi tvrdostí podle Vickerse. Hodnota korelačního koeficientu R se pohybovala v rozsahu

0,659–0,901. Tenenbaum a Guterman (1960) konstatují, že nejnižší opotřebení v laboratorních podmínkách dosáhli u strukturních kombinací austenit-karbidy, martenzit-karbidy, martenzit. Nejmenší odolnost vykazovaly struktury ferit-perlit, perlit-sorbit a jejich kombinace.

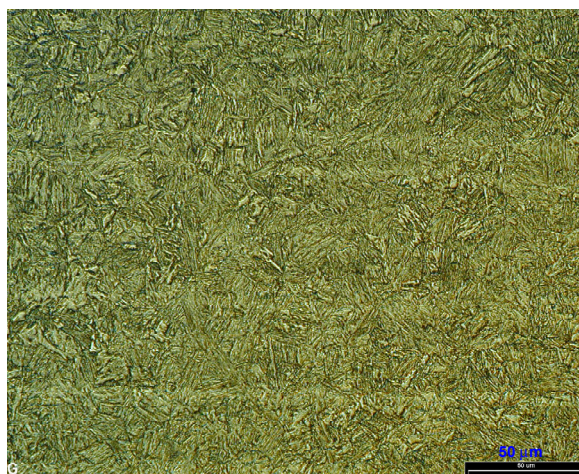
Pro prodloužení technického života exponovaných částí strojů či pro jejich renovaci se v zemědělské praxi používá navařování. V současné době nabízí trh celou řadu návarových materiálů z tuzemské i zahraniční produkce, např. EB 518, EB 519, OK 84.84, OK 84.78, HARD FRO 500, HARD FRO V-1000, HARDFACE HC-0, EutecTrode – XHD-6710, Ultimium 8811, WOKA Durit NiA a další. U návarových materiálů byla v laboratorních podmínkách zjištěna výrazně vyšší odolnost proti abrazivnímu opotřebení. Brožek (1996) uvádí na brusném plátně až 50krát větší odolnost proti opotřebení u návaru OK 84.84 vůči etalonu z oceli 12 014.20.

MATERIÁL A METODY

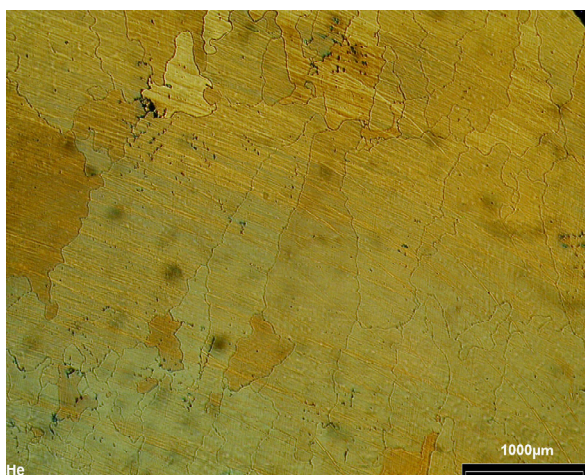
Odolnost proti abrazivnímu opotřebení zkušebních vzorků (oceli, ADI litiny, návary) je vztažena k nízkouhlíkové oceli. Opotřebení bylo vyhodnoceno na základě hmotnostních úbytků při laboratorní a provozní zkoušce.



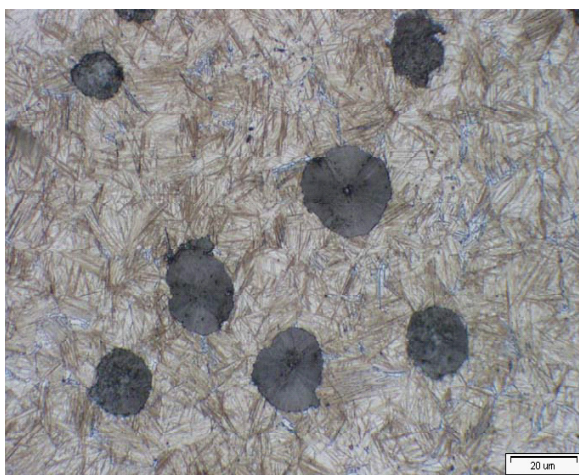
a) ocel 11 373



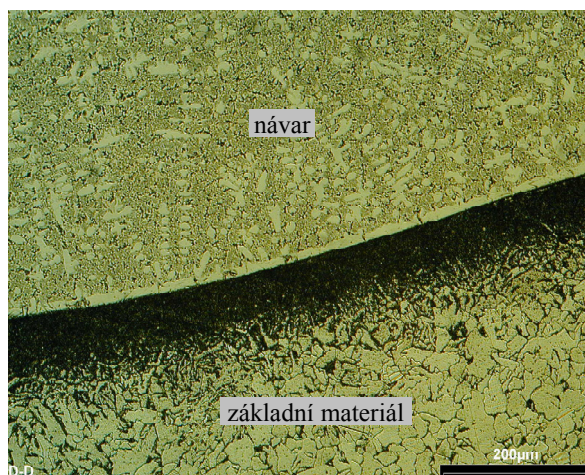
b) Brinar 400



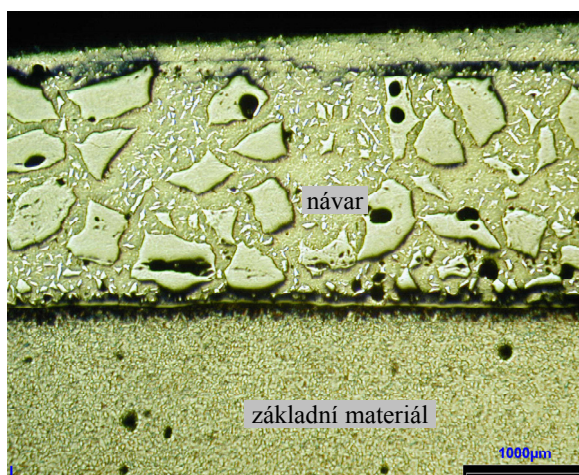
c) Hadfieldova ocel



d) ADI litina 880/250/2



e) CDP 4666



f) WOKA Durit NiA

1: Mikrostruktura vybraných materiálů

Zkoušené materiály

Odolnost proti opotřebení byla testována na 16 druzích kovových materiálů, jejichž charakteristika a tvrdost je uvedena v tab. I.

Soubor zkoušených materiálů je po strukturní stránce velmi pestrý. Na obr. 1 je znázorněna mikrostruktura vybraných materiálů:

a) ocel 11 373 – ferit s nízkým podílem perlitu

b) Brinar 400 – martenzit a zbytkový austenit

c) Hadfieldova ocel – legovaný austenit

d) ADI litina 880/250/2 – grafit + dolní bainit a zbytkový austenit

e) CDP 4666 – ledeburit + karbidy chromu, niobu a další

f) WOKA Durit NiA – karbidy WC, W₂C v matrici na bázi niklu.

I: Charakteristika a tvrdost zkoušených materiálů

Označení materiálu	Charakteristika	Tvrdost HV
ocel 11 373	nízkouhlíková feriticko-perlitická ocel	124
BRINAR 400	nízkolegované ocelové ořevuvzdorné plechy	364
DILLIDUR 500		458
XAR 400		286
XAR 400 W		386
Hadfieldova ocel	austenitická manganová ocel na odlitky	214
ADI 880/200/2	izotermicky zušlechťená litina s kuličkovým grafitem	509
ADI 880/250/2		439
ADI 880/300/2		375
ADI 880/380/2		290
WOKA Durit NiA	návarové materiály odolné abrazivnímu opotřebení	702
HARDFACE HC-0		742
XHD-6710		876
Ultimum 8811		565
CDP 4666		754
Teromatec 4630		886

Laboratorní zkouška opotřebení

Laboratorní zkouška opotřebení na brusném plátně vychází z ČSN 01 5084 (Obr. 2). Zkušební vzorek je uchycen v držáku a je přitlačován závažím k brusnému plátnu. Během zkoušky se horizontální kotouč s brusným plátnem otáčí, přitom se testované těleso posunuje od středu k okraji brusného plátna. Po stanovené délce třecí dráhy koncový spínač stroj zastaví. Vzorky jsou očištěny a zvážením je stanoven hmotnostní úbytek.

Podmínky laboratorní zkoušky:

- tvar zkušební vzorku: hranol 10 × 10 × 10 mm
- počet vzorků každého testovaného materiálu: 4
- porovnávací etalon: ocel 11 373 (S 235 JRG1) o tvrdosti 124 HV
- délka třecí dráhy: 50 m
- průměr otáčející se desky: 480 mm
- max. kluzná rychlost zkušební tělesa: 0,5 m.s⁻¹
- měrný tlak: 0,32 N.mm⁻²
- radiální posuv zkušební tělesa: 3 mm.ot⁻¹
- brusné plátno: korundové, zrnitost 120.

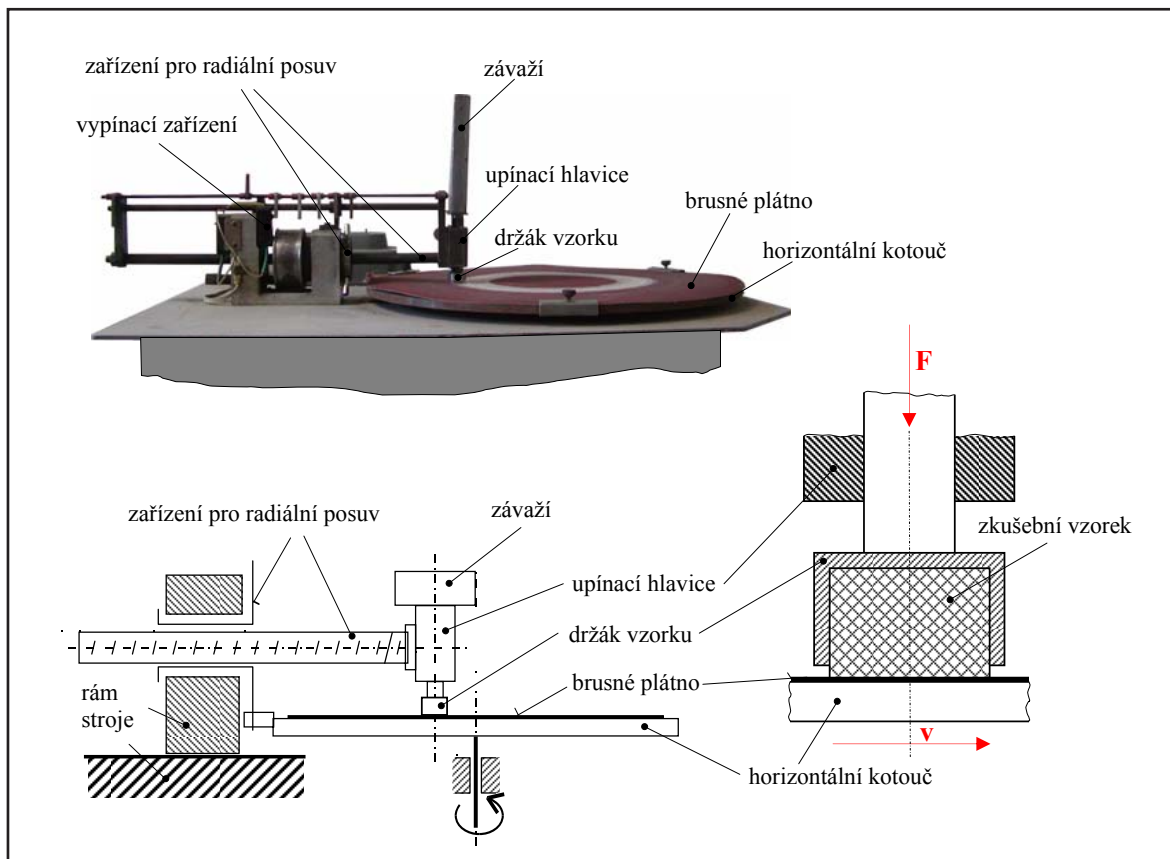
Provozní zkouška

Provozní orební zkouška probíhala přímo na pozemcích (Obr. 3a). Zkušební vzorky se připevní na exponované místo přechodu mezi čepelí a odhrnováčkou u každého orebního tělesa pluhu (Obr. 3b). V průběhu orby jsou vzorky ve vymezených intervalech opakovaně demontovány, očištěny od zbytků zeminy a zváženy. Pozice vzorků na jednotlivých orebních tělesech se měnila podle předem stanoveného harmonogramu. Protože podmínky v průběhu orby nejsou konstantní, vždy se na jednom z orebních těles nacházel etalonový vzorek.

Podmínky provozní zkoušky:

- orební souprava: traktor JOHN DEERE 6620 + nesený čtyřradličný oboustranný pluh Kverneland ES 4r
- tvar zkušební vzorku: hranol 80 × 40 × 8 mm s otvorem Ø 10 mm se zahlučením pro šroub se zapuštěnou kuželovou hlavou
- počet vzorků každého testovaného materiálu: 4

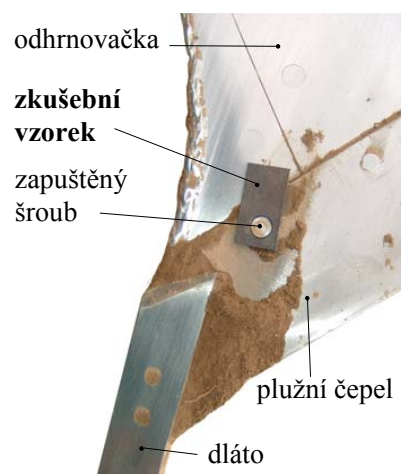
- porovnávací etalon: ocel 11 373 (S 235 JRG1) o tvrdosti 124 HV
- celková délka brázdy: 9 157 m
- půda: půdní druh dle Nováka písčitohlinitý, zrnitostní třída – hlína.



2: Laboratorní zkouška opotřebení na brusném plátně



a) orební souprava



b) orební těleso

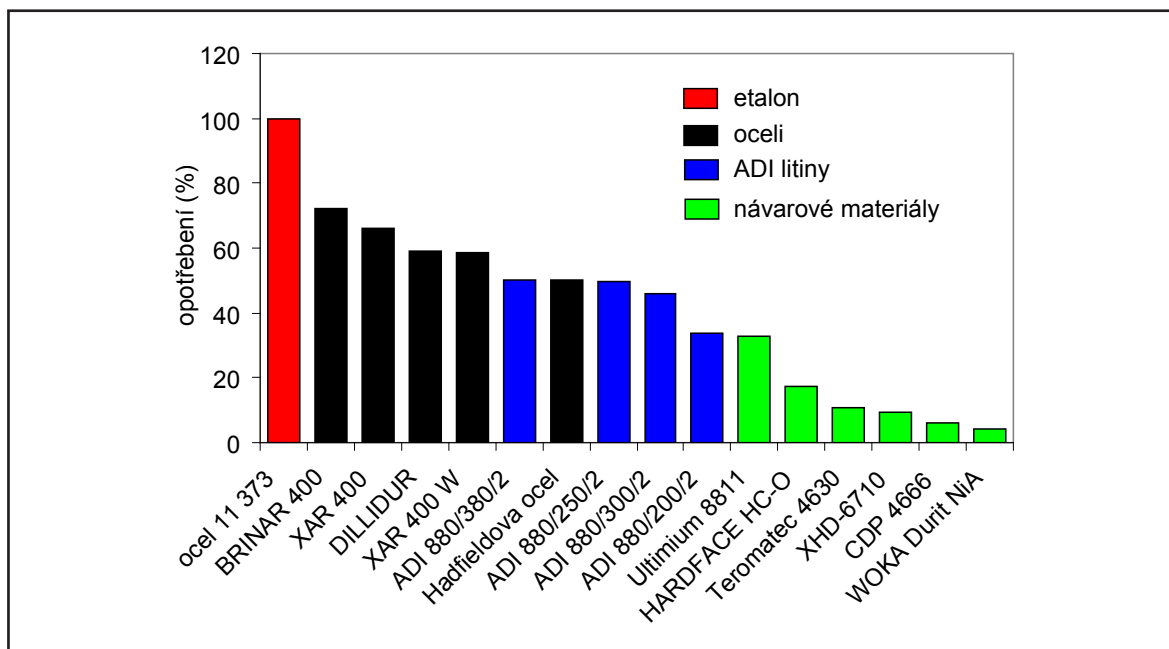
3: Provozní zkouška orbou

VÝSLEDKY A DISKUSE

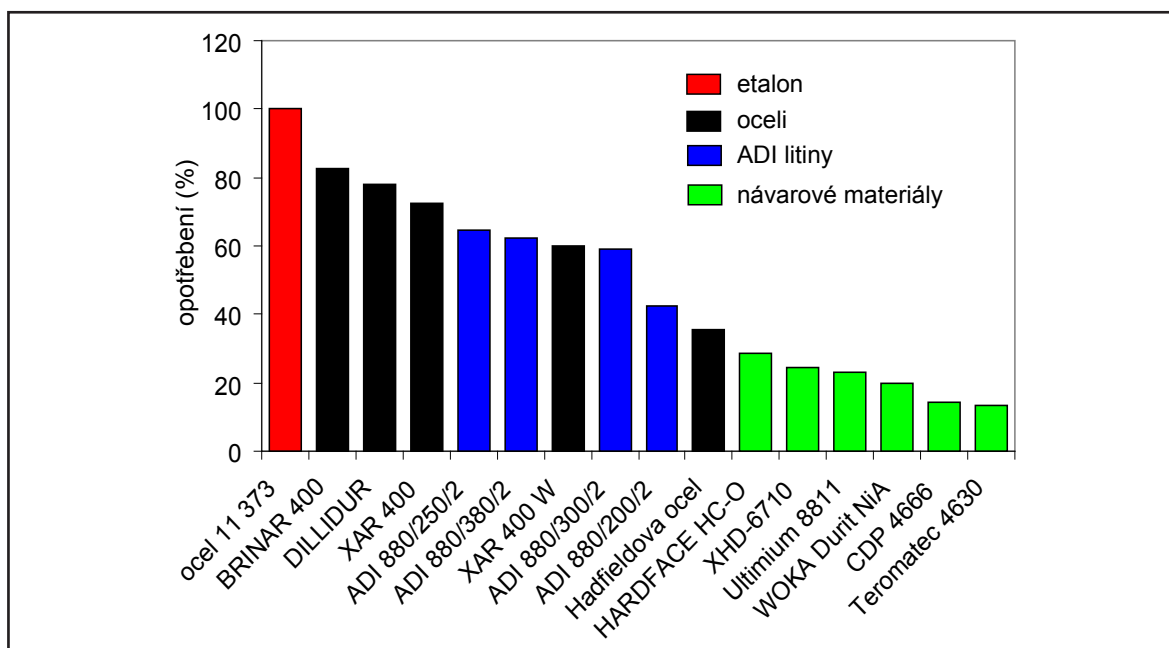
Průměrný úbytek hmotnosti oceli 11 373 na brusném plátně na třecí dráze 50 m činil 0,254 g. Při orební zkoušce po zorání brázdy dlouhé 9 157 m se snížila hmotnost vzorku z téže oceli v průměru o 5,609 g. Tyto hodnoty opotřebení jsou považovány za 100 % (Obr. 4).

Hmotnostní úbytky všech testovaných materiálů

byly nižší než u etalonu, tj. nízkouhlíkové oceli 11 373. Obzvlášť vysokou odolnost proti opotřebení vykazovaly návarové materiály na brusném plátně (až $25 \times$ větší než etalon – Obr. 4a). Při orební zkoušce je mechanismus opotřebení odlišný od brusného plátna, působí zde velké měrné tlaky, které způsobují rýhování materiálu. Odolnost návarů proti opotřebení při orbě už tak výrazná není (max. $7 \times$ vzhledem k etalonu – Obr. 4b).

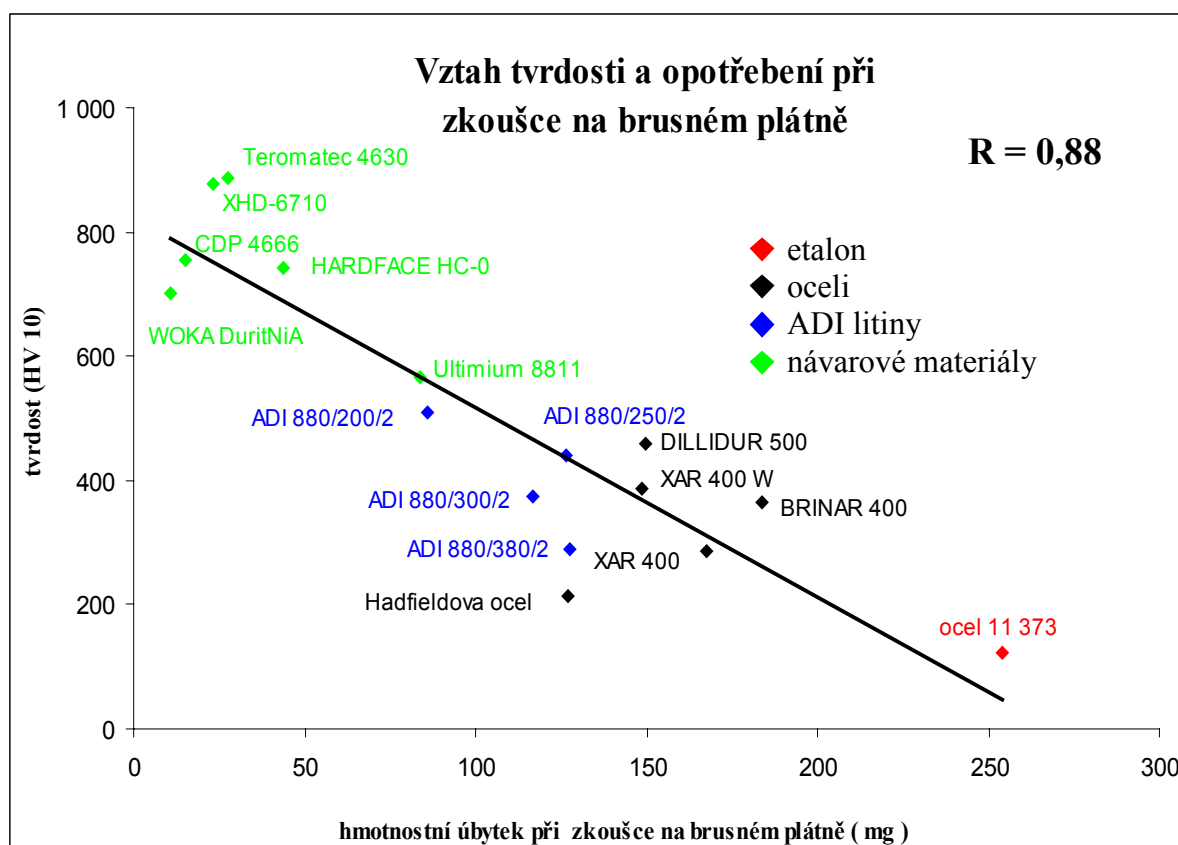


a) relativní opotřebení na brusném plátně



b) relativní opotřebení při orební zkoušce

4: Abrazivní opotřebení zkušebních vzorků (etalon ocel 11 373)



5: Korelační závislost mezi tvrdostí a odolností proti opotřebení na brusném plátně

Struktura kovových testovaných materiálů je velmi rozdílná (Obr. 1), proto odolnost proti opotřebení jen částečně koresponduje s naměřenou tvrdostí. Korelační koeficient, vyjadřující těsnost mezi tvrdostí HV a opotřebením na brusném plátně, je $R = 0,88$ (Obr. 5, 6a). Na brusném plátně jsou podmínky abrazivního opotřebení konstantní. Hmotnostní úbytky je proto možné udávat v absolutních jednotkách (mg/50 m). Náznornější je však srovnání s vhodně zvoleným etalonem. ČSN 01 5084 stanovuje jako porovnávací etalon ocel 12 014.20 o tvrdosti 100 HV. V našem případě se jedná o ocel 11 373. U souboru porovnávaných materiálů hodnota korelačního koeficientu R zůstává stejná, i kdybychom zvolili etalon jiný (např. Hadfieldovu ocel apod). Při orební zkoušce má korelační závislost mezi tvrdostí a opotřebením nižší těsnost než při zkoušce na brusném plátně ($R = 0,79$, Obr. 6b).

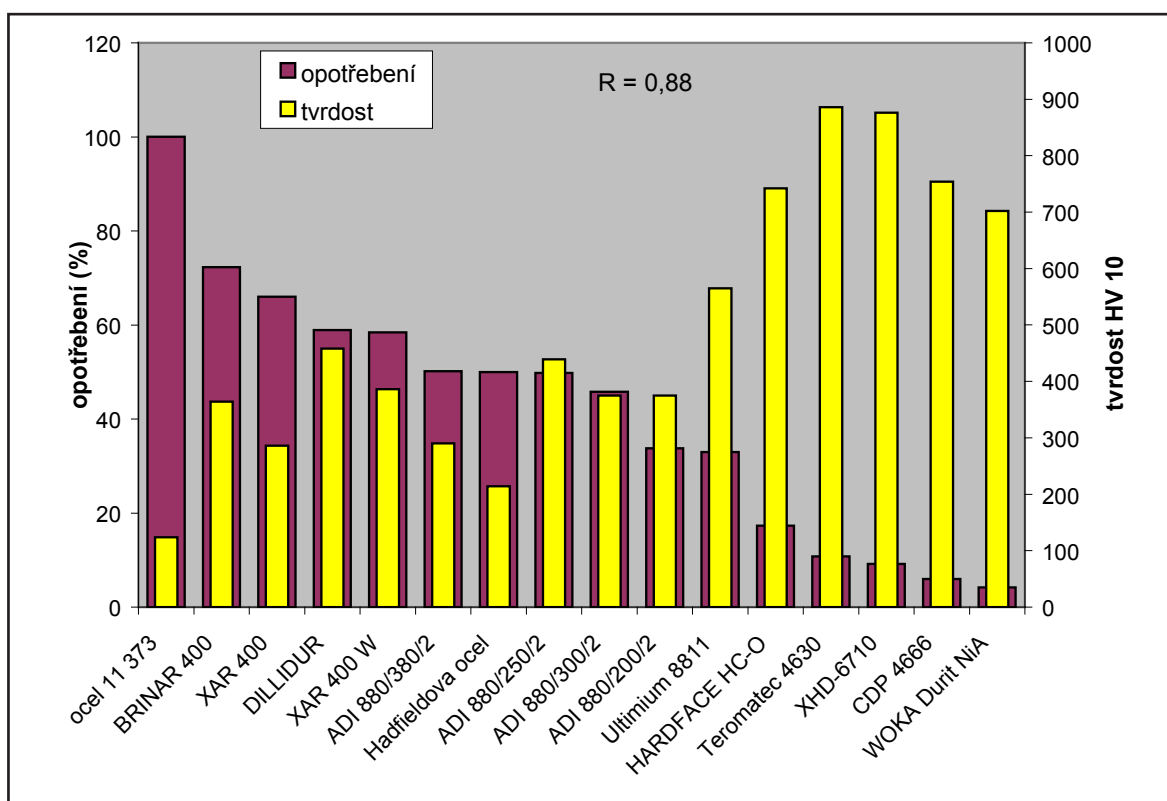
Porovnáme-li vztah mezi opotřebením na brusném plátně a při orební zkoušce, pak korelační závislost je velmi těsná ($R = 0,94$, Obr. 7a). Na brusném plátně i při orbě byl použit stejný etalon (ocel 11 373), přesto je relativní opotřebení pro jednotlivé materiály rozdílné. Ve většině případů je na brusném plátně relativní opotřebení menší než při orbě. Výjimkou je Hadfieldova ocel a návar Ultimum 8811.

Hadfieldova manganová austenitická ocel (ČSN 42 2760, Obr. 1c) může tvářením za studena dosáhnout

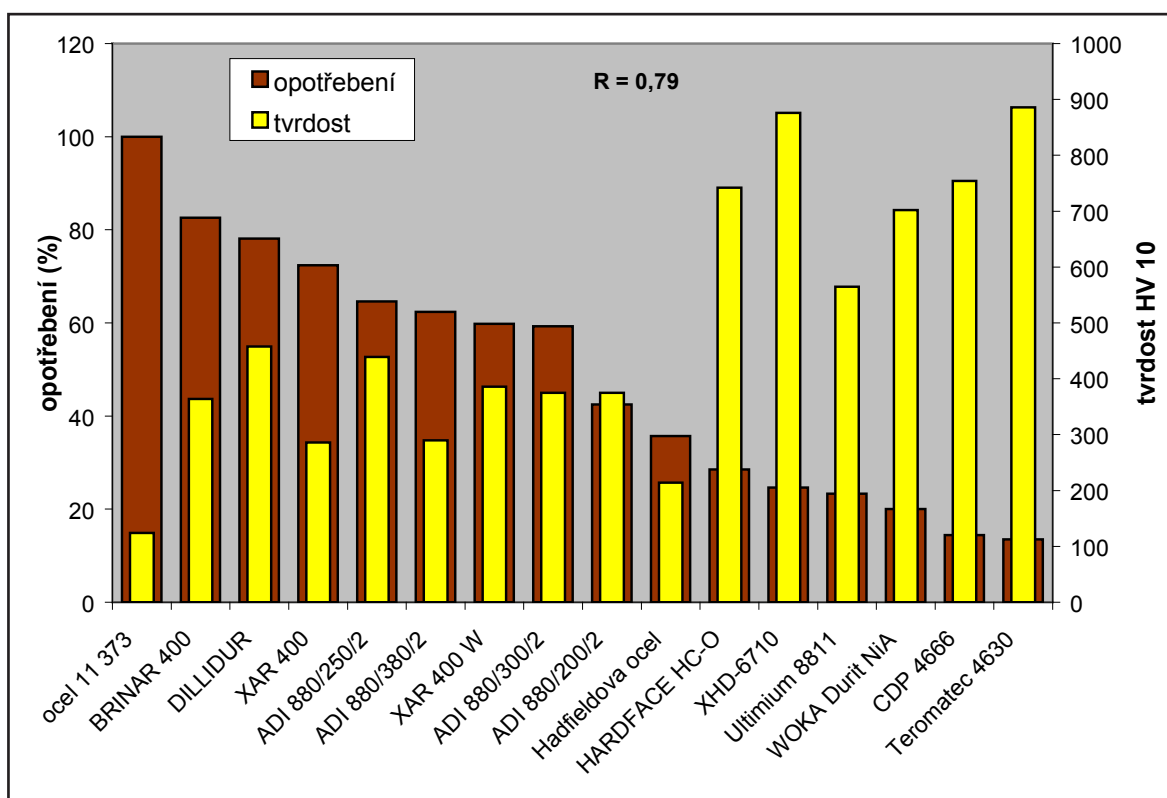
podstatného zpevnění. Značné zvýšení tvrdosti se také přisuzuje přeměně metastabilního austenitu na martenzit v průběhu plastické deformace. Ocel proto vykazuje dobrou odolnost proti opotřebení jen při velkých měrných tlacích, které se vyskytují při orbě. Návar Ultimum 8811 obsahuje zrna karbidů wolframu uložená v matici bohaté na nikl. Houževnatá matrice napomáhá absorbovat nárazy, zatímco ostrý tvar tvrdých karbidů zabraňuje jejich vylamování. U obou materiálů je na brusném plátně relativní opotřebení větší než při orbě.

Zkouška na brusném plátně (ČSN 01 5084) obecně lépe odráží odolnost proti opotřebení v půdních podmínkách než pouhý údaj tvrdosti. Poměrná odolnost proti opotřebení ϕ u konkrétního materiálu však závisí na zvoleném etalonu (Obr. 7a, Tab. II). Např. pro ocel XAR 400 W je odolnost proti opotřebení na plátně ϕ_1 a při orbě ϕ_2 vzhledem k etalonu oceli 11 373 téměř stejná ($k = 0,98$). Tzn., že z výsledků získaných na brusném plátně bychom docela přesně stanovili odolnost proti opotřebení při orbě.

Rozhodneme-li se pro etalon z Hadfieldovy oceli (Obr. 7b, Tab. II), je relativní odolnost proti opotřebení oceli XAR 400 W u obou zkoušek velmi rozdílná ($\phi_1 = 0,86$, $\phi_2 = 0,60$, $k = 1,43$). Kdybychom v tomto případě usuzovali na odolnost proti opotřebení z laboratorní zkoušky, dopustili bychom se značné nepřesnosti.

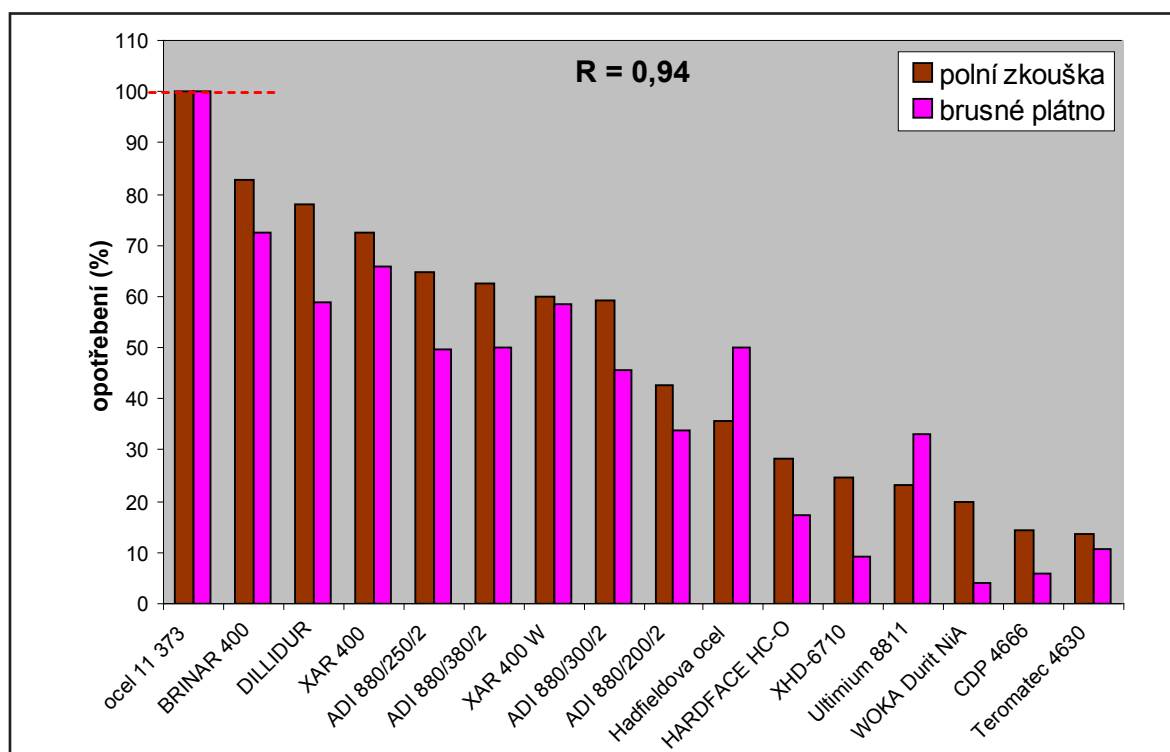


a) zkouška na brusném plátně

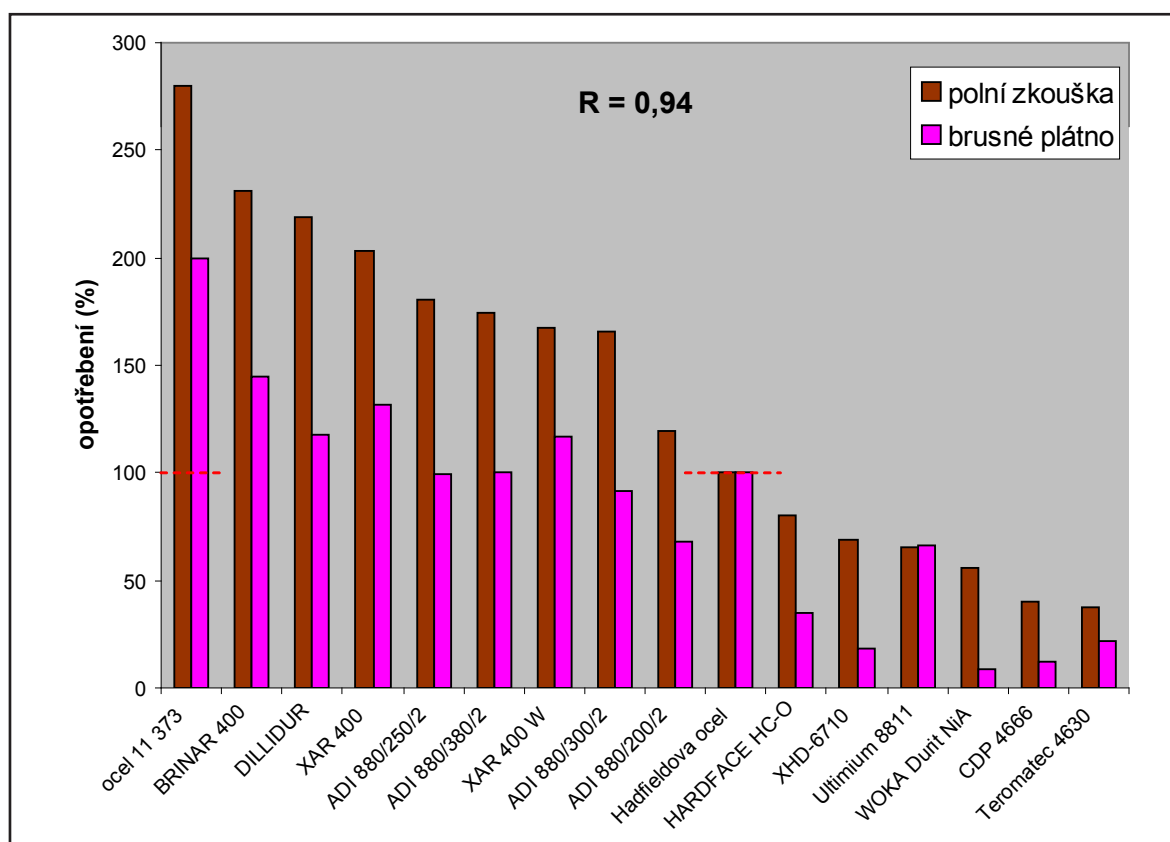


b) polní zkouška orbou

6: Vztah mezi tvrdostí a odolností proti opotřebení



a) porovnávací etalon – ocel 11 373



b) porovnávací etalon – Hadfieldova ocel

7: Vliv volby etalonu na velikost relativního opotřebení

II: Vliv volby etalonu na poměrnou odolnost proti abrazivnímu opotřebení

materiál	etalon	zkouška opotřebení		poměr
		na brusném plátně	orbou	
ocel XAR 400 W	ocel 11 373	$\varphi_1 = \frac{m_{et}}{m_{mat}} = \frac{100}{59,8} = 1,67$	$\varphi_2 = \frac{m_{et}}{m_{mat}} = \frac{100}{58,4} = 1,71$	$k = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{1,67}{1,71} = 0,98$
	Hadfieldova ocel	$\varphi_1 = \frac{m_{et}}{m_{mat}} = \frac{100}{116,8} = 0,86$	$\varphi_2 = \frac{m_{et}}{m_{mat}} = \frac{100}{167,4} = 0,60$	$k = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{0,86}{0,60} = 1,43$

SOUHRN

Pracovní orgány zemědělských strojů, které přicházejí do kontaktu s půdou, podléhají abrazivnímu opotřebení. To vede nejen k nutnosti výměny či renovace strojní součásti, ale také ke zvýšení energetické náročnosti operací.

Otěruvzdornost kovových materiálů závisí na mechanických vlastnostech a struktuře materiálu. Velikost opotřebení v absolutních jednotkách (např. v gramech) je zpravidla velmi variabilní a závisí na podmínkách zkoušky. Proto se v praxi často používá termín relativní opotřebení, které je vztaženo ke zvolenému referenčnímu vzorku (etalonu).

Nejrozšířenější laboratorní zkouškou abrazivního opotřebení je zkouška na brusném plátně (ČSN 01 5084). Výsledky této zkoušky v globále velmi dobře korespondují s provozní orební zkouškou (korelační koeficient $R = 0,94$). U konkrétního materiálu však těsnost shody závisí na volbě etalonu. Např. nízkolegovaná otěruvzdorná ocel XAR 400 W má vzhledem k oceli 11 373 téměř shodnou poměrnou odolnost proti opotřebení φ na brusném plátně i při orbě. V případě etalonu Hadfieldova ocel je poměrná odolnost proti opotřebení φ rozdílná. Pokud mechanicky aplikujeme výsledky z laboratorní zkoušky na provozní podmínky, dopustíme se značné chyby. Odolnost proti opotřebení oceli XAR 400 W bude při orbě 1,43krát menší, než odpovídá výsledku z brusného plátna.

abrazivní opotřebení, oceli, ADI litiny, návary, laboratorní, provozní zkoušky

LITERATURA

- BROŽEK, M.: Vrstvy odolné proti opotřebení. Mezinárodní sympóziu „Kvalita a spolehlivost strojů“, Nitra, 1996, s. 126–129.
- BŘEZINA, R.: Abrazivní opotřebení konstrukčních materiálů a návarů. Disertační práce, MZLU Brno 2005.
- BŘEZINA, R., FILÍPEK, J.: Porovnání laboratorních a provozních zkoušek abrazivního opotřebení. Mezinárodní vědecké sympóziu „Kvalita

a spolehlivost technických systémů“, Nitra 2005, s. 110–114, ISBN 80-8069-518-0.

TENENBAUM, M. M., GUTERMAN, V. M.: Vlijanie ostatocnogo austenita na soprotivlenije cementirovanoj stali abrazivnomu iznašivaniju, Povyšenie iznosostojnosti i sroka mašin, Kyjev, 1960, s. 386–395.

SEDLÁK, P., BAUER, F.: The effect of blunting of shares on energy requirements of ploughing, Zemědělská technika, 44, 1998, s. 127–133.

Adresa

Doc. Ing. Josef Filípek, CSc., Ing. Roman Březina, Ph.D., Ústav techniky a automobilové dopravy, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika

