

Minimalizace abrazivně-erozivního opotřebení u sklízečů cukrové řepy

MINIMIZING ABRASIVE-EROSIVE WEAR OF SUGAR BEET HARVESTERS

Jiří Votava¹, Natália Luptáková², Vojtěch Kumbár¹, Adam Polcar¹

¹Mendelova univerzita Brno, ²Ústav fyziky materiálů Akademie věd ČR

Sklizeň cukrové řepy je jednou z posledních operací v procesu pěstování této plodiny. Při daném procesu může ovšem dojít ke značným ztrátám, což vede k podstatnému snížení zisku z této komodity. Jelikož pořizovací náklady sklízecích strojů mnohdy přesahují částku 10 mil. Kč, drtivá většina pěstitelů řeší sklizeň smluvní dohodou a službou specializovaných firem. Z důvodu rentability jsou následně stroje nasazeny i v nepřetržitém provozu a jejich výkonnost se za sezonu často pohybuje i přes 1 000 ha. Při průměrném výnosu 65 t.ha⁻¹ se tedy jedná o 65 tis. t materiálu, který musí daný stroj zpracovat. Tuto hodnotu je nutné ještě minimálně navýšit o 5–8 % v důsledku znečištění řepných bulev (1). Proto je zcela zřejmé, že je třeba minimalizovat abrazivní a erozivní opotřebení strojních součástí, které musí daný objem materiálu zpracovat.

Při opravách nejen zemědělských strojů se poměrně často používá jak strojního, tak i ručního navařování. Současným trendem z důvodu malého ovlivnění základního materiálu je navařování za pomoci laserových automatů (2). Velice dobrých výsledků pro použití v zemědělské praxi bylo dosaženo navařovacími materiály UTP DUR 600 a UTP LEDEBURIT 65 (3). Navařování je možno použít i preventivně ke zvýšení odolnosti funkčních ploch proti opotřebení, a tím prodloužit technický život součástí. Technologie nanášení tvrdokovových materiálů na originální nové náhradní díly je u sklízečů cukrové řepy běžnou praxí. Tam, kde přidaný kov nenaruší změnu geometrie a funkčnost zařízení, ale naopak chrání nadměrnému opotřebení strojní součástí, je třeba aplikovat tvrdokovové materiály, které mají o 20–105 % vyšší životnost než základní materiál (4). Klasickým příkladem jsou šnekové dopravníky v zásobníku na řepné bulvy (obr. 1.) či pro dopravu chrástu k rozmetači.

Na rozdíl od spojovacích svarů se při navařování požaduje co nejmenší hloubka provaření, tj. co nejmenší promísení

přídavného materiálu se základním materiálem. U navařů se obvykle nekladou příliš vysoké nároky na pevnost, ale především na odolnost proti opotřebení. Nadměrným promísením základního materiálu s navařem by se snížila kvalita přídavného materiálu, který bývá obvykle vysoce legovaný (5, 6).

Z důvodu vyšší pořizovací ceny tvrdokovových materiálů jsou prováděny testy s možností usměrnění pohybu daného materiálu v důsledku navaření pouze určité části abrazivně opotřebeného dílu. Využití tohoto způsobu prodloužení životnosti bylo prokázáno na břitě plužního tělesa, kde byl tvrdokov aplikován pouze v určité rozteči na břitě. Podstata technického řešení spočívala ve využití směru a sklonu kopírujícího odvod zpracované půdy. Snahou technologií je rovněž minimalizovat vstupní náklady na použitý materiál plužní čepel. Vyplývá to z výsledku ořebních zkoušek (7), kdy byla testována ADI litina jako alternativní materiál na výrobu plužních čepelí. Jednoznačně byl rovněž prokázán vliv umístění kypřících radliček na jejich abrazivní odolnost. V důsledku utužení půdního profilu pod nápravou nastává zvýšení tření půdních částic po povrchu nástroje, které je spojeno s vyšším hmotnostním úbytkem základního materiálu (8).

Nejvýznamnějším kritériem hodnocení navařovacích slitin bývá jejich tvrdost. Toto hodnocení není však z hlediska odolnosti proti opotřebení jednoznačné, tj. neplatí vždy, že vyšší tvrdost znamená i vyšší odolnost proti opotřebení. Velice důležitou úlohu zde zastává typ struktury návaru (9). Veškeré návary s velkou odolností proti opotřebení nemají stejnorodou strukturu. Jejich podstatou je nerovnoměrné rozložení tvrdých částic (nejčastěji karbidů) v měkké kovové matici. Velmi dobrých výsledků dosahují martenzitické návary s vysokým podílem C a Cr. Tyto materiály se s výhodou používají pro zvýšení abrazivní odolnosti celé soustavy. Důležitým kritériem je plynulý tok materiálů bez zvýšených dynamických rázů. Klasickým příkladem jsou tvrdokovové návary u paprskových kol pro čištění bulev, viz obr. 2.

Jestliže je třeba zajistit odolnost funkčních ploch bez navýšení tahového odporu soustavy, lze na tyto části aplikovat práškové přídavné materiály kyslíko-acetylenovým plamenem se speciálním hořákem. Při této aplikaci lze vytvořit vysoce odolnou vrstvu, které je tvořena jemnými karbidy Cr nebo W, které jsou uloženy v houževnaté matici (10). Výhoda této technologie spočívá

Tab. 1. Testované materiály

Testované materiály	Chemické složení testovaných materiálů (%)						Strukturální fáze	Tvrdost (HRC)
	C	Si	Mn	Cr	W	Mo		
Wearrode 30	0,10	0,70	0,70	3,20	–	–	martenzit	31
Wearrode 50T	0,25	0,50	0,30	13,00	–	–	martenzit + karbidy	48
OK 8608	0,90	0,80	13,00	0,10	–	–	austenit	36
OK 8353	0,50	0,80	1,40	7,50	–	1,30	martenzit + karbidy	58
Toolrode 60	0,90	1,50	1,30	4,50	1,80	7,50	martenzit + karbidy	62
Etalon	0,50	1,30	0,80	0,50	–	–	sorbit	33

i v minimalizaci změny řezných úhlů. Z tohoto důvodu jsou práškové tvrdokovy aplikovány na nože pro ořez skrojku chrástu.

U vyorávacího ústrojí lze rovněž aplikovat celé segmenty, které jsou vyrobeny z vysoce abrazivně odolných materiálů. Nevýhodou je ovšem značná křehkost, která zabraňuje použití těchto materiálů v půdních podmínkách s vyšším podílem skeletu. Tyto segmenty jsou většinou vyráběny ze slinutých karbidů. Tento materiál je ovšem možné nahradit materiálem méně finančně náročným s obdobnými vlastnostmi (11, 12).

Materiál a metody

Předložený experiment je zaměřen na testování tvrdonávarových elektrod určených především pro zvýšení životnosti abrazivně namáhaných strojních součástí, které nejsou vystaveny nadměrným dynamickým rázům. Jedná se tedy o šnekové dopravníky, ústrojí na čištění a dopravu bulev, hmatací ústrojí atd. Byly zvoleny návary typu martenzitického a austenitického.

Materiály martenzitického typu

Jedná se o materiály, které jsou po aplikaci na danou součást schopny ve svarové housence vytvořit přesycený tuhý roztok uhlíku v železe α , který se nazývá martenzit. Dosažitelná tvrdost těchto materiálů závisí především na obsahu uhlíku.

Od návarových materiálů se vyžaduje, aby dosahovaná přirozená tvrdost závisela co nejméně na rychlosti ochlazování a parametrech navařování, aniž by se podstatně měnily vlastnosti návaru. Zejména proto se martenzitické návarové materiály mírně legují převážně Cr. Legování zvyšuje prokalitelnost materiálu, takže i v méně příznivých případech navařování stačí daná rychlost ochlazování k dosažení dostatečně vysoké přirozené tvrdosti. Pro tento typ návaru lze využít elektrody OK 83; 84xx.

Materiály austenitického typu

Příznačnou vlastností je vysoká houževnatost při poměrně nízké tvrdosti. Typickým znakem je ovšem schopnost zpevnění svarové housenky silným tlakem nebo rázy.

Navařování se provádí krátkými housenkami na studený základní materiál, aby byla rychlost chladnutí návaru zajištěna odvodem tepla do materiálu. Proto se také pro jejich navařování nedoporučuje aplikace pomocí plamene z důvodu nízké rychlosti chladnutí svarového kovu. Tento typ návaru je charakterizován tvrdokovovými elektrodami OK 86xx.

Obr. 1. Šnekový dopravník opatřený tvrdokovovým návarem



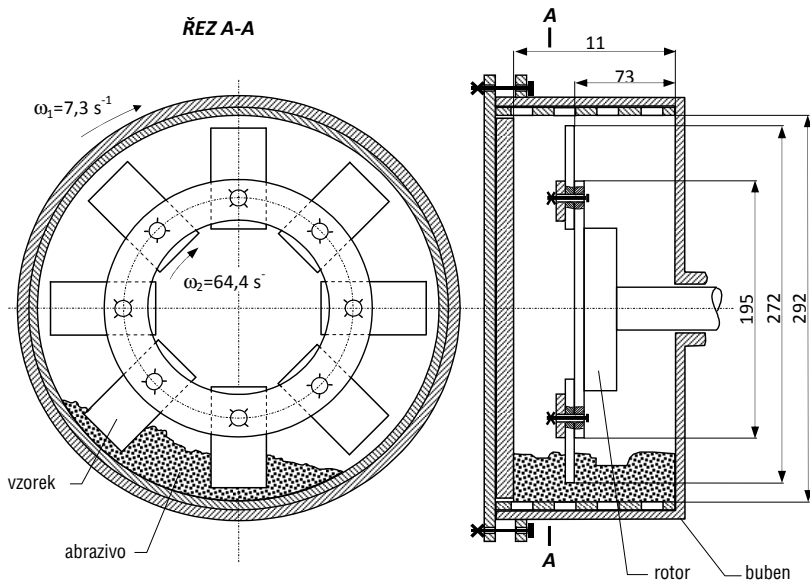
Obr. 2. Paprsková kola u sklízeče Holmer



Veškeré typy testovaných materiálů byly na základní vzorky nanášeny technologií MMA (Manual Metal ArcWelding). Svařovací parametry byly dodrženy dle pokynů výrobce.

K analýze odolnosti proti opotřebení ve volném abrazivu byl použit Bondův bubnový přístroj, viz obr. 3. Jedná se o zařízení

Obr. 3. Bondův bubnový přístroj



s volnými abrazivními částicemi. Značná výhoda tohoto zařízení spočívá v simulaci abrazivně erozivního opotřebení, které nastává i v technické praxi. Svarové housenky byly aplikovány na zušlechtnou ocel 14 260. Důvodem bylo využití obdobné struktury, která se používá u abrazivně namáhaných součástí. Aplikace svarového kovu byla provedena na celé ploše zkušební vzorku. Vždy po aplikaci svarového kovu následovalo broušení na rovinné brusce. Důvodem je rovnoměrná plocha bez vnitřních vad, dutin či zavalenin strusky. Testované materiály byly aplikovány na zkušební vzorek vždy ve dvou vrstvách.

Zkušební tělesa v počtu dvou, čtyř, či osmi kusů jsou uchycena v rotoru ($\omega_2 = 64,4 \text{ s}^{-1}$). Rotor je uložen ve zkušebním bubnu, který se otáčí ve stejném smyslu ($\omega_1 = 7,3 \text{ s}^{-1}$). Velikost opotřebení se vyhodnocovala v intervalech 30, 45, 60, 120 a 240 minut. Po jednotlivých intervalech bylo abrazivo nahrazeno novým. Pro analýzu opotřebení byly zvoleny dva druhy abraziva. Jednalo se o kamennou frakci se zrnitostí 8–16 mm. Ostré hrany tohoto média zaručují značné abrazivní namáhání. Druhým médiem byl zvolen křemičitý písek. Tvrdost jednotlivých frakcí dosahuje hodnoty přes 1 200 HV. Objem abraziva v bubnu činil 1 000 cm³.

Vážení očištěných vzorků se provádělo na elektronických vahách s přesností $\pm 0,001 \text{ g}$.

Výsledky

Jedním z faktorů ke snížení abrazivního opotřebení je správná volba technických materiálů určených pro výrobu aktivních či pasivních strojních zařízení, na které působí vzájemná interakce abrazivních částic při pracovním procesu.

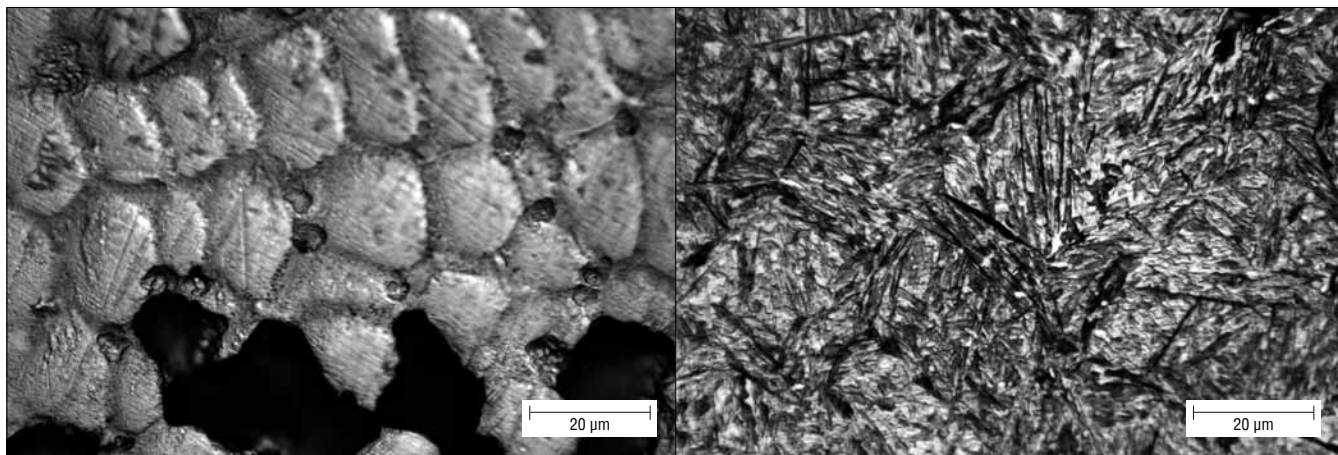
Předložený příspěvek analyzuje tvrdokovové návaru, které je možno aplikovat na pracovní části především v oblasti dopravy materiálu. Chemické složení i dosažená tvrdost testovaných návarů je uvedena v tab. I. Jako etalon byla zvolena zušlechtná ocel 14 260. Jedná se o materiál používaný na pracovní části stavebních a zemědělských strojů. Dle provedeného tepelného zpracování byla dosažena tvrdost u tohoto materiálu 33 HRC. Vyšší hodnoty tvrdosti v celém průřezu materiálu nejsou vhodné z důvodu snížení houževnatosti

a možnosti vzniku křehkého lomu. Obdobné hodnoty tvrdosti dosahoval i testovaný materiál Weartrade 30, jehož tvrdost základní struktury ve dvou vrstvách činila 31 HRC. Základní strukturu tohoto materiálu tvořily protáhlé jehlice martenzitu. Jelikož se jedná o materiál s nižším procentem uhlíku, je tvrdost svarové housenky adekvátní chemickému složení. Výhodou tohoto materiálu je houževnatost svarového kovu, bez vzniku trhlin.

U testovaného vzorku Weartrade 50T byly dle metalografického pozorování zaznamenány v základní kovové matici karbidy chromu. Tento materiál se vyznačuje již nižší houževnatostí. Výhodou je ovšem nízké promísení se základním materiálem. Strukturální fáze byly opět tvořeny jehlicemi martenzitu. Na základě metalografického pozorování byly ovšem zaznamenány drobné trhliny v základní kovové hmotě, viz obr. 4. vpravo. Při nadměrném zatížení může nastat riziko fragmentace celé svarové housenky.

Další materiály martenzitického typu OK8353 a Tooltrade 60 již vykazovaly homogenní struktury s vysokou disperzitou martenzitických jehlic. Tvrdost těchto návarů dosahovala cca 60 HRC.

Obr. 4. Austenitická struktura OK 8608 vlevo, martenzitická struktura Weartrade 50T vpravo



U testovaného materiálu OK 8608 svarový kov ve dvou vrstvách dosahoval hodnot 36 HRC. Jeho struktura je tvořena austenitem, jelikož základní materiál obsahuje až 13 % Mn. Výhoda tohoto materiálu spočívá především ve zpevnění základní struktury při zatížení v podobě rázů. Na základě metalografického pozorování ovšem bylo zaznamenáno značné množství dutin a pórů ve svarovém kovu, viz obr. 4. vlevo. Tyto dutiny mohou být ovšem způsobeny i nedokonalě vysušeným obalem elektrody.

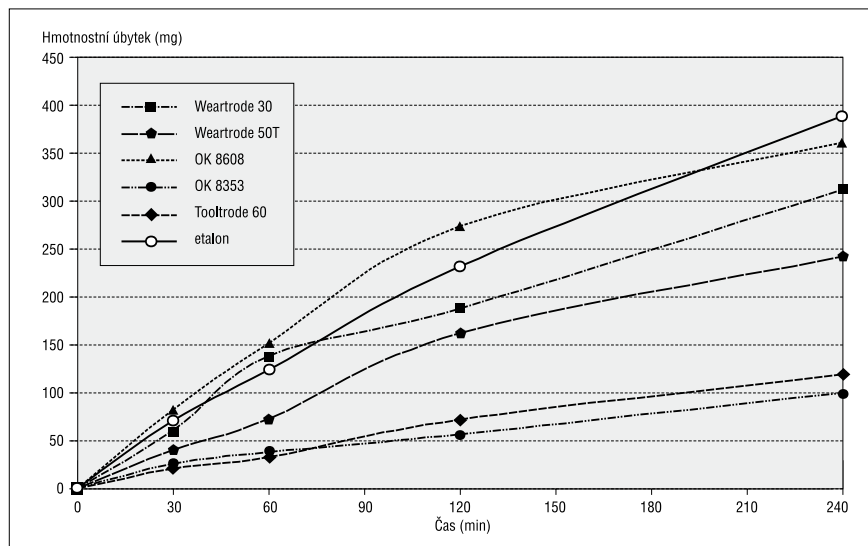
Testované materiály byly zatíženy zkouškou v Bondově přístroji. Jako abrazivo byla zvolena kamenná drť a křemičitý písek.

Kamenná drť byla použita z důvodu ostrých hran, které způsobují v materiálu značné rýhy. Je zde tedy simulován proces zvýšené abraze. Křemičitý písek byl zvolen z důvodu tvrdosti základní strukturní složky, která činí cca 1 200 HV (cca 75 HRC). Jelikož při zkoušce dochází k přímé interakci dvou těles za účelem opotřebení, bylo v jednotlivých intervalech záznamu hmotnostních úbytků testovaných vzorků (30, 60, 120 a 240 minut) nahrazeno opotřebované abrazivo za nové.

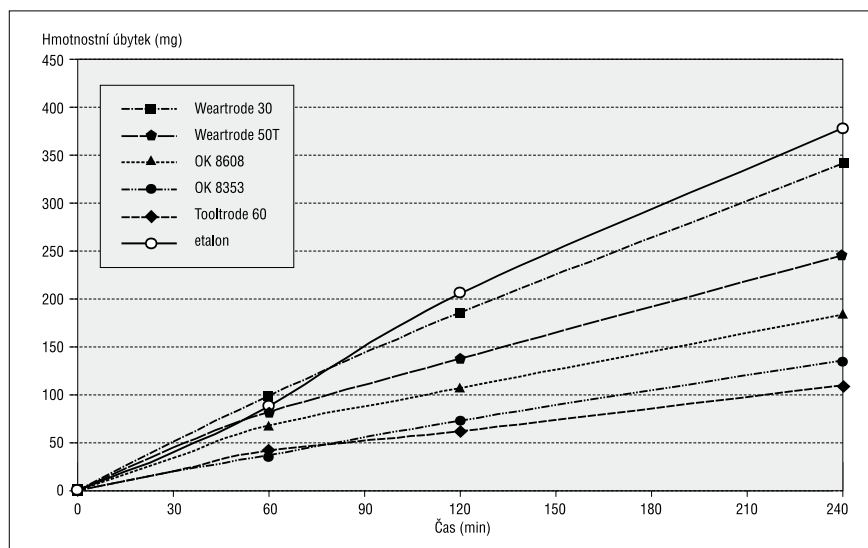
Na základě hmotnostních úbytků testovaných materiálů lze konstatovat značný vliv tvaru abrazivních částic na rychlost a proces opotřebení. U abrazivního opotřebení způsobeného kamennou drtí se potvrdil předpoklad zvýšeného úbytku v podobě tvorby rýh v základním materiálu. Průběh opotřebení testovaných materiálů je zaznamenán na obr. 5. Nejvyšší hmotnostní úbytky byly zaznamenány u oceli 14 260 (etalonu). V prvních dvou intervalech ovšem tento materiál vykazoval lepší výsledky než testované tvrdokovy Weartrode 30 a OK 8608. Návar OK 8608, jehož vnitřní struktura je tvořena austenitem, nedokáže odolávat mnohabřitým abrazivním částicím. Nebyl zde zaznamenán průběh zpevnění svarového kovu. Z důvodu nízkého měrného tlaku a malým rychlostem lze předpokládat nízkou abrazivní schopnost tohoto svarového kovu při aplikaci u šnekových dopravníků na přepravu materiálu. Nejmenších hmotnostních úbytků vykazoval materiál OK 8353. Tento svarový kov po celkové zkoušce, která činila 450 minut, vykazoval průměrný hmotnostní úbytek 219 mg. Jedná se tedy o 3,72× vyšší odolnost vůči etalonu.

Rozdílné hmotnostní úbytky i pořadí odolnosti testovaných materiálů byly zaznamenány při testu s křemičitým pískem, viz obr. 6. Obdobné hodnoty opotřebení vykazovala ocel 14 260 (etalon) a tvrdokov Weartrode 30. Průměrné

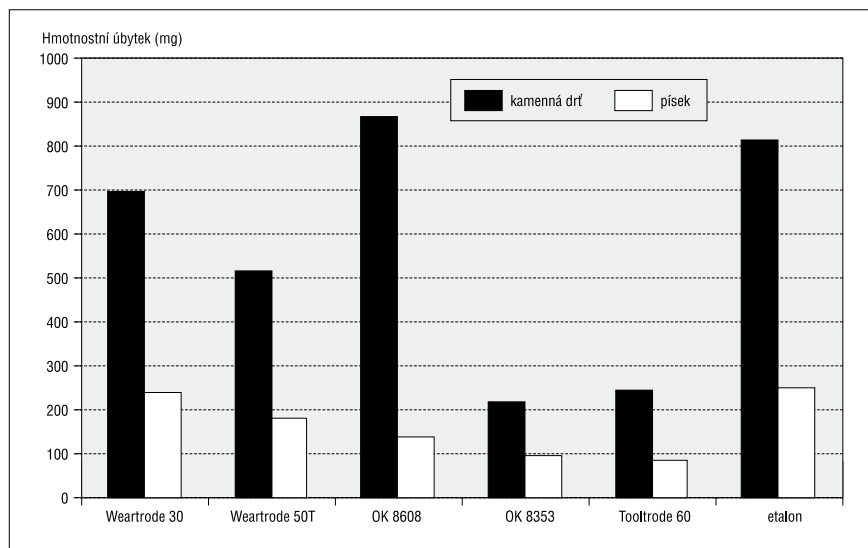
Obr. 5. Hmotnostní úbytky testovaných materiálů – substrát kamenná drť



Obr. 6. Hmotnostní úbytky testovaných materiálů – substrát křemičitý písek



Obr. 7. Celkové hmotnostní úbytky



hodnoty hmotnostních úbytků na konci zkoušky činily cca 250 mg. I když křemičitý písek dosahuje vyšších hodnot tvrdosti než kamenná drť, úbytky kovových materiálů byly v tomto médiu výrazně nižší. Nárazy na zaoblené hrany bez možnosti ostrých vrypů způsobují zpevnění povrchové vrstvy, což bylo potvrzeno u materiálu OK 8608. Austenitická struktura vykazovala 1,8× lepší abrazivní odolnost než etalon. U tohoto materiálu bylo dosaženo o 42 mg nižších hmotnostních úbytků než u tvrdokovu Weartrode 50T. Tvrdost martenzitické struktury Weartrode 50T je přitom o 12 jednotek HRC vyšší než tvrdost u materiálu OK 8608.

Nejnižší hmotnostní úbytky vykazoval materiál Tooltrode 60. Po ukončení zkoušky byl zaznamenán hmotnostní úbytek 83 mg. Jedná se tedy o cca 3× lepší abrazivní odolnost než u etalonu. Celkové hmotnostní úbytky v obou abrazivních prostředích jsou zaznamenány na obr. 7.

Závěr

Sklízec cukrové řepy patří do kategorie zařízení se značným abrazivním namáháním. Technologie vyorání, čištění a přeprava řepných bulev představuje značný nápor na použité technické materiály. Důležitým parametrem je ovšem také typ a skeletovitost půdy, ve kterém daný stoj či zařízení pracuje. Obecně je vhodné použití houževnatých materiálů do podmínek se zvýšenou abrazí. U šnekových dopravníků, paprskových kol či jiných čisticích a přepravních mechanismů je vhodné opatřit samotný materiál tvrdokovovým povlakem. Značnou výhodou zůstává houževnaté jádro a tvrdý abrazivně odolnější povrch součásti.

V článku jsme hodnotili možnosti využití tvrdokovových návarů austenitického a martenzitického typu pro prodloužení životnosti aktivních i pasivních prvků na sklízecí cukrové řepy.



Zvolené tvrdokovové materiály jsou běžně dostupné na tuzemském trhu. Cena testovaných materiálů se pohybovala od 300–1100 Kč.kg⁻¹. Aplikace na podkladový materiál byla provedena dle pokynů výrobce. Použitá metoda MMA je rozšířená nejen ve strojírenské výrobě, ale rovněž i v zemědělských provozech. V experimentální části byl prokázán výrazný vliv tvaru abrazivních částic na hmotnostní úbytky testovaných materiálů.

Materiály martenzitického typu, které jsou legovány karbidotvornými prvky, se vyznačují velice dobrou abrazivní odolností. Toto bylo potvrzeno v prostředí kamenné drti i křemičitého písku. Nejmenších hmotnostních úbytků dosahovaly materiály OK 8353 a Tooltrode 60. Jedná se o cca 3× vyšší abrazivní odolnost než u testovaného etalonu. V důsledku nižšího podílu C dosahoval tvrdokovový návar Weartrode 30, jehož základní strukturální fázi rovněž tvoří jehlice martenzitu, pouze 1,16× vyšší abrazivní odolnosti než ocel 14 260 (etalon). U testovaných materiálů martenzitického typu lze ovšem konstatovat rovnoměrné hmotnostní úbytky v kamenné drti i křemičitém písku. Tento závěr však nelze aplikovat na materiály austenitického typu. V prostředí kamenné drti vykazoval tvrdokovový návar OK 8608 stejné nebo i vyšší hmotnostní úbytky než etalon. Při změně abrazivního média (křemičitý písek) vzrostla abrazivní odolnost vůči etalonu na hodnotu 1,8×.

Intenzita abrazivního opotřebení je dána charakterem půdních částic, které působí na povrch strojního zařízení. Při aplikaci tvrdokovových návarů je nutné volit takové materiály, které odolávají nejen částicím křemičitého písku, ale jsou především schopny odolávat měkčím mnohábřítým půdním frakcím.

Příspěvek byl zpracován s podporou TP 4/2014 „Analýza degra-dačních procesů moderních materiálů používaných v zemědělské technice“.

Souhrn

Při sklizni cukrové řepy je třeba eliminovat nejen časové prodlevy na výměnu opotřebovaných dílů, ale především zajistit vyšší abrazivní odolnost namáhaných součástí. Jednoznačným řešením je použití tvrdokovových návarových materiálů. Při aplikaci tvrdokovu nedochází ke změně vnitřní struktury v celém průřezu, ale chemicko-tepelně ovlivněná oblast se nachází pouze pod svarovou housenkou. Vnitřní průřez strojní součásti si tedy ponechává svou původní houževnatost.

Článek je zaměřen na využití tvrdokovových návarů pro oblast nejen renovace, ale i k použití na nové náhradní díly. Účelem je zvýšení životnosti a odolnosti proti abrazivnímu opotřebení. Testované materiály lze rozdělit na dvě kategorie. Jedná se o návary s vnitřní strukturou tvořenou martenzitem a austenitem. Abrazivní odolnost testovaných materiálů byla sledována v Bondově přístroji. Jako abrazivní medium byly zvoleny kamenná drt a křemičitý písek. Na základě provedených testů lze konstatovat vyšší abrazivní odolnost martenzitických typů svarového kovu. Správná volba tvrdokovového návaru je ovšem podmíněna tvarem abrazivních částic, které působí v procesu opotřebení.

Klíčová slova: cukrová řepa, životnost, abrazivní opotřebení, návar, tvrdokov.

Literatura

- ŠAŘEC, P. ET AL.: Porovnání sklizečů cukrovky. *Listy cukrov. řepař.*, 125, 2009 (7–8), s. 212–216.

- PAULÍČEK, T. ET AL.: Resistance of hard-facing deposit created by laser surfacing technology. *Advanced Materials Research*, 801, 2013 (spec. iss.), s. 117–122.
- MÜLLER, M. ET AL.: Aplikace návarů a kompozitů v oblasti technologie pěstování a sklizně cukrové řepy. *Listy cukrov. řepař.*, 127, 2011 (9–10), s. 304–307.
- BLAŠKOVIC, P. ET AL.: *Tribologie*. Bratislava: Alfa, 1990, 360 s., ISBN 80-05-006330.
- SUCHÁNEK, J. ET AL.: *Abrazivní opotřebení materiálu*. Praha: ČVUT, 2007, 162 s., ISBN 978-80-01-03659-4.
- KOTUS, M. ET AL.: Odolnost vybraných návarových materiálů proti abrazivnímu opotřebení na brúsom plátne. *Acta Facultatis Technicae*, 18, 2013 (1), s. 93–98.
- VOTAVA, J.; ČERNÝ, M.; FILÍPEK, J.: Abrazivní opotřebení plužních čepelí z ADI litiny. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 55, 2007 (1), s. 173–182.
- PAULÍČEK, T.; DAŇKO, M.; KOTUS, M.: Vplyv umiestnenia radličky kompaktora na veľkosť abrazívneho opotrebenia. In *Bezpečnosť-kvalita – spoľahlivosť: 5. medzinárodná vedecká konferencia, Košice 2011*, s. 215–220, ISBN 978-80-553-0612-4.
- KOTUS, M.; PAULÍČEK, T.; HOLOTA, T.: Resistance of coated electrodes suitable for renovation of tillage tools. *J. Central European Agriculture*, 14, 2013 (4), s. 1295–1302.
- ŠOŠKA, R.; ČIČO, P.; MIKUŠ, R.: Prevádzkové skúšky pôdospracujúcich nástrojov s dvojvrstvou. *Listy cukrov. řepař.*, 130, 2014 (9–10), s. 289–291.
- VOTAVA, J.: Usage of abrasion-resistant materials in agriculture. *J. Central European Agriculture*, 15, 2014 (2), s. 119–128.
- BEDNÁŘ, R. ET AL.: Suitability of technical materials for machinery subsoilers for soil tillage. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 61, 2013 (1), s. 9–16.

Votava J., Luptáková N., Kumbár V., Polcar A.: Minimizing Abrasive-erosive Wear of Sugar Beet Harvesters

During the process of sugar beet harvesting, it is necessary to eliminate time delays caused by replacing worn-out parts, but also to guarantee higher abrasive resistance of stressed parts. A clear solution is to use hard metal weld deposit materials. The application of hard metal does not cause changes in the inner microstructure in the whole profile, but only in the chemically and heat affected area just under the weld bead. The inner profile of the machine part preserves its original tenacity.

This paper focuses on using hard metal weld deposits not only for renovations but also for new spare parts. The purpose is to prolong the service life and to increase abrasive wear resistance. Depending on the inner microstructure, the tested materials can be divided into two categories: martensite and austenite. The abrasive wear was tested on Bond's device. Abrading agents were broken stone and silica sand. The tests have proved a higher abrasive wear resistance of the martensite type of weld metal. However, the choice of hard metal is also influenced by the shape of abrading agents which interact in the wearing process.

Key words: sugar beet, service life, abrasive wear, weld deposit, hard metal.

Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. Jiří Votava, Ph. D., Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: jiri.votava@mendelu.cz

Ing. Natália Luptáková, Ph. D., Akademie věd ČR, Ústav fyziky materiálů, Žitkova 22, 616 62 Brno, Česká republika, e-mail: luptakova@ipm.cz