Využití nástrojových ocelí v oblasti zpracování půdy pro zlepšení pěstování cukrové řepy

USE OF TOOL STEELS IN SOIL PROCESSING TO INCREASE SUGAR BEET PRODUCTION

Jiří Votava, Vojtěch Kumbár – Mendelova univerzita Brno

Jedním z kritérií výnosu cukrové řepy je kvalitní podzimní příprava půdního substrátu. I když klasická orba je v současné době na ústupu a trendem pro přípravu půdy je pouze využití kypřicích strojů, je nutné si uvědomit, že posklizňové zpracování půdy do značné míry ovlivňuje výnosy v dalším cyklu. Důvodem masivního rozšíření redukovaného zpracování půdy je jednoznačně tlak na snížení vstupních nákladů na pěstovanou komoditu.

Pouhým kypřením půdy ovšem dochází k minimálnímu zapravení rostlinných zbytků. V nezapraveném biologickém materiálu je skrytý potenciál k masivnímu výskytu chorob i škůdců, kteří přežívají na rostlinných zbytcích (obr. 1.). Pro udržení kvalitní vegetace cukrové řepy je tedy nutné přistoupit k nadměrnému používání chemických přípravků na ochranu rostlin, což vede opět ke zvýšení finančních nákladů.

Pro technologii hlubokého kypření jsou většinou používány radličkové kypřiče. Stejně jako plužní čepele jsou i tyto kypřiče zatíženy značným abrazivním opotřebením v důsledku půdních částic SiO_2, jejichž tvrdost dosahuje až 1 280 HV (1, 2).

Jelikož tyto stroje vyžadují pro správnou funkci vyšší pojezdové rychlosti, než se používá u orby, jsou kypřicí tělesa vystaveny značnému rázovému zatížení. Z tohoto důvodu je nutné věnovat pozornost použitému materiálu. Tento materiál musí vykazovat některé vlastnosti, jedná se především o dobrou houževnatost i zvýšenou odolnost vůči abrazivnímu opotřebení. Jelikož hmotnostní úbytky kypřicího tělesa jsou vázány na jeho geometrii, lze tato tělesa s úspěchem renovovat tvrdokovovým návarem (3, 4, 5).

Při renovaci opotřebeného dílu je ovšem nutné zvolit nejen vhodný přídavný materiál, ale rovněž i technologii navařování a předúpravy samotné renovované součásti. Častým případem je značné promísení svarového kovu se základním materiálem a následná změna geometrie kypřicího tělesa (6). Tato nevhodně provedená renovace vede ke zvýšení tahového odporu celé soupravy, což znamená opět zvýšení nákladů v důsledku navýšení spotřeby pohonných hmot (7). Vhodně zvolený postup ovšem zaručuje 2–3× prodloužení životnosti celé součásti. Autoři Čičo, Kotus, Vysočanská (8) jednoznačně prokázali prodloužení životnosti vyorávacích radlic cukrové řepy za použití tvrdonávarových systémů.

Konstruktéři strojů na zpracování půdy se snaží o využití materiálů s maximální tvrdostí z důvodu minimalizace opotřebení. Jejich hlavním představitelem jsou slinuté karbidy využívané pro výrobu břitových destiček. Houževnatost tohoto materiálu je ovšem velmi nízká, a tak často dochází již v prvopočátku ke fragmentaci tohoto ostří (obr. 2.). Určitou možností renovace je opět využití aplikace tvrdonávaru. Důležitým parametrem naneseného materiálu je rozmístění karbidů v základní matrici. Vhodných mechanických parametrů lze dosáhnout i novými metodami chemicko-tepelného zpracování. Současným trendem je karbonitridace povrchové vrstvy (9, 10).

Houževnatost svarového kovu ovšem musí odpovídat pracovním podmínkám kypřicího tělesa. Dynamické či statické zatěžování svarového kovu pro získání relevantních výsledků k využití daného materiálu k renovacím půdozpracujících strojů je značně obtížné. Částečně lze využít metodiku testování svarových spojů a na základě lomových ploch analyzovat porušení svarového kovu (11).

Na kvalitě zpracování půdního profilu ovšem do značné míry závisí celkový vývoj pěstovaných rostlin. Z tohoto důvodu by koncepce vývoje nástrojů pro zpracování půdy měla směřovat k jednoduché výměně opotřebovaných dílů. U pájených břitových destiček ze slinutých karbidů (obr. 2.) je výměna značně problematická.

Tab. I. Přehled testovaných materiálů

Materiál	Kalení		Popouštění	Tvrdost	Orientační cena
	Teplota (°C)	Ochlazení	(°C)	(HRC)	(Kč.kg^{-1})
Ocel 19436 – etalon	bez tepelného zpracování			18	50
Ocel 19436	1 000	olej	200	54	50
Ocel 19572	1 020	olej	550	55	70
Ocel 19802	1 240	vzduch	560	62	100
Ocel 19830	1 220	vzduch	550	64	160
Slinutý karbid	bez tepelného zpracování			72	1 500

Materiál a metody

Předložený experiment je zaměřen na využití nástrojových ocelí pro výrobu břitových destiček radličkových podmítačů. Tyto stroje se v drtivé většině používají při technologii pěstování cukrové řepy jak pro přesné mělké podmítky, tak i pro hluboké zpracování půdního profilu až do 30 cm.

Testované materiály lze rozdělit do tří tříd. Jedná se o nástrojové oceli slitinové třídy 19 [3–7], jejich chemické složení se pohybuje v rozmezí: C 1,55–2,00 %, Mn 0,2–0,5 %, Cr 11–13 %, W 0,4–1,0 %. Nástrojové oceli rychlořezné

třídy 19 [8]. Tyto oceli jsou obohaceny o wolfram. Dle chemického složení je zřejmé, že se jedná o materiály určené pro vyšší namáhání. Jejich složení se pohybuje v rozmezí: C 0,8–0,9 %, Mn 0,45–0,50 %, Cr 3,4–4,6 %, W 7,0–11,0 %. Posledním materiálem, který byl testován, jsou slinuté karbidy. Tyto materiály se objevují nejen jako břitové destičky u podmítačů, ale dokonce i v podobě hrotů pro vibrační kultivátory. Výchozím materiálem jsou práškové karbidy kovů (WC, TiC) a Co 5–25 %, který tvoří matrici základního kovu. V tab. I. je uvedeno tepelné zpracování a dosažená tvrdost jednotlivých v experimentu testovaných vzorků.

Principem abrazivního opotřebení je interakce dvou nebo tří těles (12). Zkoušku na brusném plátně lze zařadit do interakcí dvou těles. Jedná se o analýzu s pevnými abrazivními částicemi oxidu hlinitého (Al_2O_3), které odebírají „třísku" z testovaného materiálu. Rotující pohyb kotouče a radiální posuv vzorku zajišťuje neustálý kontakt testovaného materiálu s ostrými částicemi korundu. Hmotnostní úbytky byly váženy na digitálních vahách s přesností 0,001 g. Pro statistický výpočet průměrné hodnoty byly provedeny opakovaně tři měření s každým testovaným materiálem.

Obr.1. Porost cukrové řepy po podzimní přípravě radličkovým kypřičem

U testovaných vzorků byla vypočítána poměrná objemová odolnost proti abrazivnímu opotřebení Ψ_{abr} podle vztahu:

$$\Psi_{abr.} = \frac{m_{et} \cdot \varrho_{vzo}}{m_{vzo} \cdot \varrho_{et}}$$

kde: m_{et} – hmotnostní úbytek etalonu (g),
m_{vzo} – hmotnostní úbytek vzorku (g),
ϱ_{et} – hustota etalonu (g.cm^{-3}),
ϱ_{vzo} – hustota vzorku (g.cm^{-3}).

Podmínky laboratorní zkoušky

Rozměr zkušebních vzorků pro abrazivní opotřebení na brusném plátně s pevnými částicemi byl zvolen 10×10×10 mm. Od každého testovaného materiálu byly vyrobeny tři vzorky. Jako porovnávací etalon byla vybrána tepelně nezpracovaná ocel 19436. Pro jeden testovaný cyklus byla zvolena délka třecí dráhy 250 m. Celkový průměr otáčející se desky byl 480 mm. Maximální kluzná rychlost zkušebního tělesa nesměl přesáhnout 0,5 m.s^{-1}. Přítlačný měrný tlak, který byl vyvozen na zkušební vzorek, nesměl přesáhnout 0,32 N.mm^{-2}. Radiální posuv zkušebního tělesa byl dimenzován na 3 mm.ot^{-1}. Abrazivní médium na brusném plátně tvořil korund. Dle normy ČSN 01 5084 (14) byla stanovena zrnitost na 120 jednotek.

Jednotlivé vzorky byly připraveny na metalografické pile metodou přesného dělení. Důležitým faktorem při přípravě vzorků je zajištění optimálního chlazení. Maximální odvod tepla z místa řezu eliminuje tepelně ovlivněnou oblast, která by mohla mít za následek zvýšení hmotnostních úbytků v prvním měření.

V průběhu pěstování cukrové řepy jsou prováděny minimálně ke 3–4 operace zaměřené na zpracování půdy. V závislosti na půdním profilu dochází ke značnému dynamickému zatěžování pracovních nástrojů, které přichází do přímého kontaktu s půdním skeletem. Pevný podíl půdního profilu je tvořen z cca 95 % minerálními částicemi a jen asi 5 % organickou hmotou (13). Z tohoto důvodu byla pro testované vzorky zařazena zkouška vrubové houževnatosti dle normy ČSN EN 10045-1.

Zkoušky rázem patří mezi krátkodobé zkoušky, které podávají informace o chování materiálů při rázu a rychlém zatížení. Pro tuto analýzu byla vyrobena zkušební tělesa o rozměrech 10×10×55 mm. Ta nebyla opatřena vrubem, jelikož bylo možné předpokládat nízkou vstupní energii pro přeražení vzorku. V provozu mají břitové destičky rovněž celistvý tvar bez vrubů.

Mezi důležité aspekty při abrazivním opotřebené technických materiálů patří jejich vnitřní mikrostruktura. Neplatí zde přímá úměrnost, kdy materiál s maximální dosaženou tvrdostí vykazuje minimální abrazivní opotřebení (1). Na základě provedených metalografických rozborů byly rovněž analyzovány jednotlivé strukturní fáze testovaných vzorků.

Výsledky

Abrazivní opotřebení nástrojů pro zpracování půdy má za následek nejen snížení kvality prováděné operace (hloubka či profil dna brázdy), ale rovněž značné navýšení spotřeby pohonných hmot energetického prostředku.

Z naměřených hodnot uvedených v tab. I. je zřejmé, že testované se vzorky ze slinutého karbidu vyznačují cca 1,2× vyšší tvrdostí než tepelně zpracované vzorky z nástrojových ocelí. Dle tohoto údaje lze konstatovat vhodné tepelné zpracování použitých ocelí, jelikož nedocházelo ke snížení tvrdosti v důsledku oduhličení povrchové vrstvy.

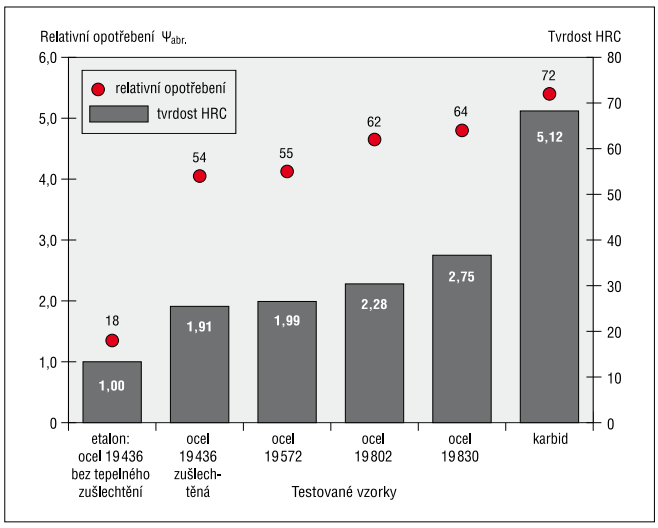
Laboratorní zkoušky abrazivního opotřebení technických materiálů jsou vhodné pro své konstantní podmínky, ve kterých jsou dané vzorky testovány. Výsledky testu jsou interpretovány na obr. 3. Pro různé provozní podmínky lze tyto zkoušky rozdělit na interakci dvou či více těles a na zkoušky s volnými nebo vázanými částicemi. Opotřebení v půdních podmínkách je nejlépe

Obr. 2. Počátek fragmentace břitové destičky ze slinutých karbidů

charakterizováno normou ČSN 01 5084 (14). Ta jednoznačně stanoví výpočet poměrové objemové odolnosti testovaných materiálů. Lze tedy objektivně srovnávat i materiály s rozdílnou hustotou. U ocelových vzorků byla experimentální zkouškou zjištěna hodnota 7,75 g.cm^{-3}. Tato hodnota byla použita pro výpočet u všech vzorků vyrobených z nástrojových ocelí. Hustota vzorků vyrobených z karbidu wolframu činila 14,61 g.cm^{-3}.

Etalonem, ke kterému jsou vztahovány jednotlivé hodnoty objemových úbytků testovaných vzorků, byla ocel 19 436 bez tepelného zpracování, viz obr. 3. Tento materiál má v základní kovové matrici rozprostřeny karbidy chromu. Ty zaručují dobrou abrazivní odolnost. Dle metalografického pozorování nebyla prokázána řádkovitost těchto karbidů. Rázová houževnatost testovaných vzorků se pohybovala v rozmezí 31–35 J.cm^{-2}. Vzorky oceli 19436, které již byly tepelně zpracovány dle materiálových

Obr. 3. Relativní abrazivní opotřebení testovaných vzorků



listů, vykazovaly hodnoty 18–21 J.cm^{-2}. S tepelným zpracováním testovaných materiálů klesá energie potřebná na destrukci vzorků. Jedná se tedy o snížení houževnatosti testovaného materiálu, což v praktickém provozu znamená vyšší pravděpodobnost destrukce celého nástroje (nebo jeho břitu) v půdních podmínkách.

Abrazivní odolnost těchto vzorků se ovšem vůči etalonu zvýšila 1,91×. Obdobné hodnoty vykazovala i ocel 19572. Rázová houževnatost činila 15–17 J.cm^{-2} a abrazivní odolnost vůči etalonu se zvýšila na 1,99×. Rostoucí trend vůči abrazivní odolnosti vykazovaly i další vzorky. Oceli třídy 19 [8] jsou legovány, až 11 % W. Část wolframu je vázána na uhlík jako karbid a část je rozpuštěna v základní kovové matrici. Tento aspekt má za následek nejen zlepšení abrazivnich vlastností, ale rovněž snižuje i tvorbu řádkovitosti karbidů po tepelném zpracování, což vede k lepší houževnatosti. Vzorky vyrobené z oceli 19802 vykazovaly 2,28× lepší odolnost vůči abrazi než etalony. Houževnatost těchto vzorků se pohybovala v rozmezí 13–14 J.cm^{-2}. Na základě metalografických výbrusů byl ovšem u tohoto materiálu pozorován zvýšený výskyt karbidových útvarů, které neodpovídaly standardům tohoto materiálu (viz obr. 4.). Z tohoto hlediska lze tedy usuzovat na nižší hodnoty rázové houževnatosti.

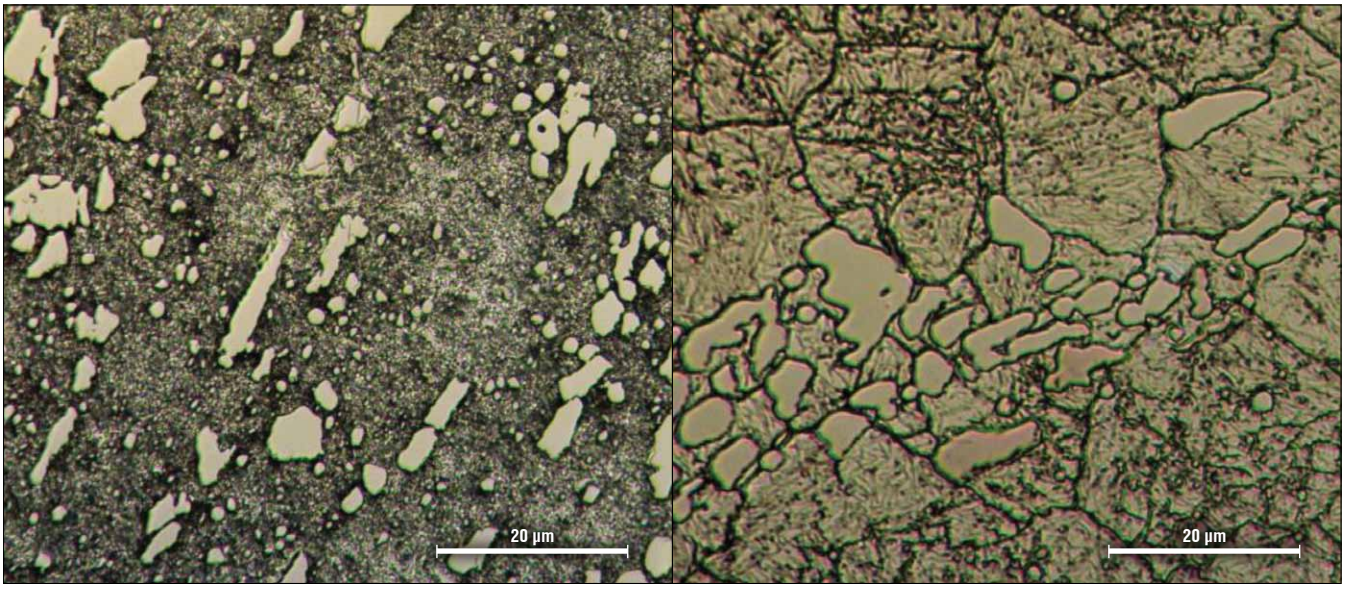
Velice dobré výsledky ovšem vykazovala ocel 19830. Abrazivní úbytky vůči etalonu byly 2,75× nižší. Houževnatost se ovšem pohybovala v rozmezí 24–26 J.cm^{-2}. Zvýšené hodnoty houževnatosti testovaných vzorků je možno přisuzovat kobaltu, jehož obsah se v tomto materiálu pohybuje okolo 5 %. Posledním testovaným materiálem, který se začíná objevovat na půdo-zpracujících strojích, byl slinutý karbid wolframu. Tento materiál jednoznačně vykazoval nejmenší abrazivní opotřebení s 5,12× menšími úbytky než u etalonu. U vzorků, které byly testovány na rázovou houževnatost se naměřené hodnoty ovšem pohybovaly v intervalu 5,5–6,5 J.cm^{-2}. V praxi to znamená, že tento materiál má 5,3× nižší houževnatost než etalon. Tyto nízké hodnoty houževnatosti se v konečném důsledku musí projevit ve zvýšené fraktografii nástrojů pro zpracování půdu. Průměrná houževnatost testovaných vzorků je znázorněna na obr. 5.

Kvalitní příprava půdního profilu je jednou z klíčových operací v pěstování nejen cukrové řepy. Zpracování půdy patří obecně k ekonomicky velice náročným. Je tedy zřejmé, že navýšení finančních prostředků v důsledku renovací lomových ploch čepelí nebo výměny celé součásti nepříznivě ovlivňuje celkovou bilanci v rostlinné výrobě.

Závěr

Kvalitní zpracování půdního substrátu je prvotním předpokladem k požadovanému výnosu všech zemědělských plodin. U cukrovky se za nejvhodnější operaci se stále považuje hluboká orba. Ta by měla dostatečně prokypřit půdní profil tak, aby kůlový kořen i další části kořenového systému řepy snadno pronikaly do půdy. Protože je však tato operace značně energeticky náročná a následně musí být většinou zařazena další příprava půdy pro setí, je současným trendem nahradit klasickou orbu

Obr. 4. Metalografické struktury oceli 19436 (vlevo) a 19802 (vpravo)



pouze hlubokým kypřením. V zemědělském provozu jsou pro tyto účely nejvíce využívány radličkové kypřiče, které pracují většinou s kypřicími nebo provzdušňovacími válci. Jelikož tyto stroje pracují v heterogenním prostředí půdního profilu, jsou zatěžovány nejen značným abrazivním opotřebením půdními částicemi, ale musí také odolávat dynamickým silám, které jsou odezvou na skeletovitost zpracovávaného prostředí. Technické materiály pro výrobu funkčních částí kypřičů proto musí splňovat dva parametry, a to o kombinaci houževnatosti a dobré abrazivní odolnosti. Současným trendem je použití slinutých karbidů pouze pro výrobu břitové destičky, které je pájena na těle kypřicí radličky. Dle provedených laboratorních testů lze konstatovat, že se jedná o materiál se značnou odolností vůči abrazivnímu opotřebení. Kritickým aspektem je ovšem jeho nízká houževnatost. To je v zemědělské praxi známo, a proto se nedoporučuje tento materiál používat v půdách s vyšší skeletovitostí. Renovace fragmentovaných radliček je řešena buď tvrdonávarem, nebo výměnou celého tělesa. Z toho je zřejmé finanční navýšení vstupních investic.

Náš článek hodnotí nástrojové oceli jako adekvátní materiál pro výrobu uvedených břitových destiček. Jedná se především o rychlořeznou ocel 19830. Tento materiál se vyznačuje rovněž výbornou odolností proti abrazivnímu opotřebení. Jeho objemové úbytky vztažené ke slinutému karbidu byly pouze 1,85× větší. Vyšší opotřebení je ovšem do značné míry vyváženo 4,17× lepší houževnatostí. V praxi tato hodnota znamená širší použitelnost těchto břitových destiček v půdách se zvýšeným skeletem i menší procento pravděpodobnosti fragmentace daného břitu. Jedním z dalších faktorů pro využití nástrojových ocelí u strojů na zpracování půdy je i jejich příznivější pořizovací cena.

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

Souhrn

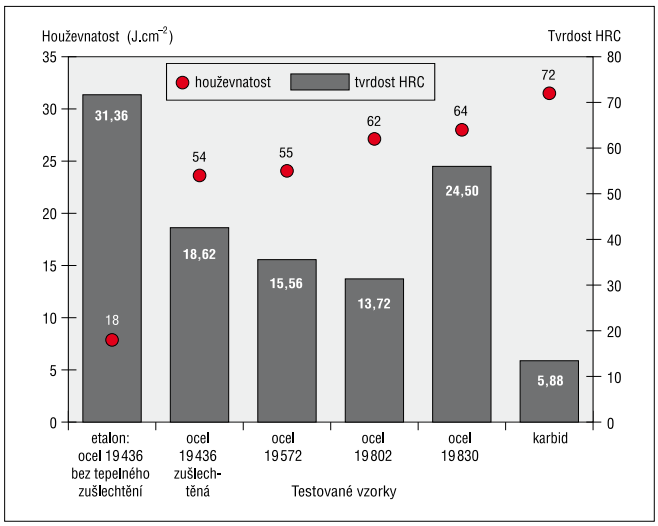
Cukrová řepa je tradiční komoditou a její pěstování má v České republice dlouholetou tradici. Jedná se o rostlinu, která vyžaduje kvalitní přípravu a zpracování zemědělské půdy. Důvodem je značná náročnost kořenového systému řepy na provzdušnění půdního substrátu. Předložený příspěvek je zaměřen na možnosti využití nástrojových ocelí pro výrobu čepelí radličkových kypřičů. Jelikož klasická hluboká orba je značně energeticky náročná, stále více se dostává do popředí technologie hluboké kypření. Značné abrazivní opotřebení ovšem nutí výrobce k použití vysoce odolných materiálů v podobě slinutých karbidů. Ty jsou umístěny na břitové části kypřiče. Závažnou nevýhodou je ovšem nízká houževnatost, která má za následek značnou fragmentaci tohoto materiálu. Výsledkem je nadměrné zvýšené tahového odporu i nerovnoměrné zpracování půdního profilu. Při využití vhodných nástrojových ocelí by částečně vzrostl hmotnostní úbytek břitové čepele, ale tento negativní aspekt je vyvážen zvýšené odolnosti rázovému zatížení během kypření.

Klíčová slova: cukrová řepa, nástrojové oceli, zpracování půdy, abrazivní opotřebení, kypření.

Literatura

1. Blaškovič, P. et al.: *Tribológia*. Bratislava: Alfa, 1990, 360 s., ISBN 80-05-006330.

Obr. 5. Průměrná houževnatost testovaných vzorků



2. Suchánek, J. et al.: *Abrazivní opotřebení materiálu*. Praha: ČVUT, 2007, 162 s., ISBN 978-80-01-03659-4.
3. 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.
4. Kotus, M.; Pouliček, T.; Holota, T.: Resistance of Coated Electrodes Applicable for the Renovation of Tillage Tools. *J. Central European Agriculture*, 14, 2013 (4), s. 1295–1302.
5. Čičo, P. et al.: Zlepšenie odolnosti vyorávacích radlíc cukrovej repy renováciou. *Acta technologica agricult*., 14, 2011 (2), s. 29–31.
6. Daňko, M. et al.: Odolnosť materiálov vytvorených laserovým naváraním proti abrazívnemu opotrebeniu. In *Kvalita a spoľahlivosť technických systémov*, Nitra: SPU, 2011. s. 101–105.
7. Vysočanská, M.; Čičo, P.: Analýza opotrebenia a renovácia krájadla rastlinných zvyškov v prevádzkových podmienkach. In *Kvalita a spoľahlivosť technických systémov*. Nitra: SPU, s. 176–180.
8. Čičo, P.; Kotus, M.; Vysočanská, M.: Renovácia vyorávacích radlíc cukrovej repy – predĺženie životnosti. *Listy cukrov. řepař*., 128, 2012 (9–10), s. 280–283.
9. Kazemipour, M.; Shokrollahi, H.; Sharafi S.: The influence of the matrix microstructure on abrasive wear resistance of heat-treated Fe-32Cr-4.5C wt% hardfacing alloy. *Tribology Letters*, 39, 2010, s 181–192.
10. Yazici, A.: Wear behavior of carbonitride-treated ploughshares produced from 30MnB5 steel for soil tillage applications. *Metal science and heat treatment*, 2011 (5), s. 248–253
11. Kotus, M. et al.: Hodnotenie vlastností zvarových spojov dynamickými skúškami. In *Nové trendy v prevádzke technických systémov '09*. Prešov, 2009, s .41–43.
12. Stachowiak, G. W.; Batchelor, A. W.: *Engineering tribology*. 3rd edition. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005, 775 s., ISBN 0-7506-7836-4.
13. Kotus, M.; Gyurica, L.: Stanovenie odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu v prevádzkových podmienkach. In *Kvalita a spoľahlivosť technických systémov*, Nitra SPU, 2010.
14. *ČSN 01 5084: Stanovení odolnosti kovových materiálů proti abrazivnímu opotřebení na brusném plátně*. Praha: Český normalizační institut, 1973, 4 s.

Votava J.: Use of Tool Steels in Soil Processing to Increase Sugar Beet Production

Sugar beet is a traditional commodity and growing of sugar beet has a long tradition in the Czech Republic. It is a plant which needs well-prepared and well-cultivated agricultural land. The reason is a considerable demand of sugar beet roots for soil substrate aeration. This paper focuses on the possibilities of using tool steels for production of blades of shovel cultivators. As classical subsoil ploughing is considerably energy intense, the technology of deep loosening is becoming more popular. However, high abrasive wear forces producers to use highly resistant materials, such as sintered carbide, which are placed on the blade parts of the cultivators. The disadvantage of this material is its low ductility, which results in fragmentation of the material. The result is not only excessive pull resistance but also unequal soil cultivation. When using appropriate tool steels, on one hand, the weight losses will increase, on the other, this material will be more resistant to shock loads during the loosening process.

Key words: sugar beet, tool steel, soil cultivation, abrasive wear, loosening.

Kontaktní adresa – Contact address:

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