

ABRAZIVNÍ OPOTŘEBENÍ IZOTERMICKY ZUŠLECHTĚNÉ LITINY S KULIČKOVÝM GRAFITEM V LABORATORNÍCH A PROVOZNÍCH PODMÍNKÁCH

R. Březina, J. Filípek, J. Šenberger

Došlo: 28. února 2005

Abstract

BŘEZINA, R., FILÍPEK, J., ŠENBERGER, J.: *The abrasion of austempered cast iron in laboratory and work conditions*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2005, LIII, No. 4, pp. 15-22

Austempered ductile iron (ADI) is nowadays used for machine parts, which used to be made of steel. It is suitable for abrasive conditions and cast irons exhibit sufficient strength and toughness. The paper deals with the possibility of manufacturing machine parts working in soil of austempered ductile iron. The authors find out the influence of heat treatment mode of ADI on wear resistance and compare it with formed steel.

abrasion, cast iron, austempering, ADI, steel

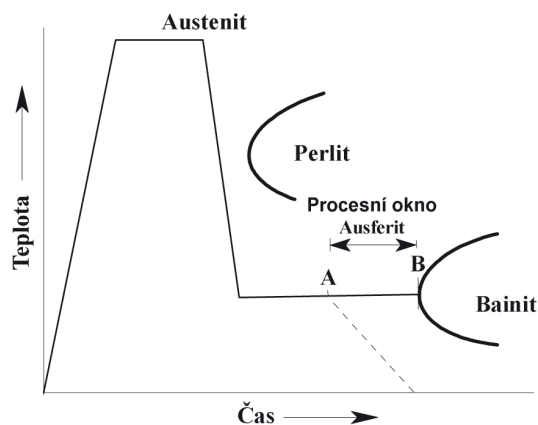
Slévárenství v našich zemích má velkou tradici. V minulých desetiletích se v bývalém Československu vyrábělo přes 1,5 milionu tun odlitků ročně (Plachý et. al., 2002). To činilo 100 kg odlitků na jednoho obyvatele, což bylo nejvíce na světě. Přitom se odlitky prakticky nevyvážely, spotřeboval je náš průmysl. Po roce 1989 se snížila výrobní kapacita sléváren, zlepšila se jakost odlitků a změnila se struktura používaných materiálů. Poklesla výroba šedé litiny (LLG), temperované litiny a oceli na odlitky, ale výroba tvárné litiny (LKG) se zvýšila.

Optimální kombinací pevnosti, houževnatosti a odolnosti proti opotřebení dosahují litiny ADI. Setkáváme se u nich i s českým označením bainitická litina, které pochází pravděpodobně z FSI VUT v Brně, kde byl užít název izotermicky kalená bainitická litina (Dorazil et. al., 1970). Česká norma EN ČSN 1564 je označuje termínem izotermicky kalená litina s kuličkovým grafitem. Anglicky psaná literatura používá přesnější název Austempered Ductile Iron (ADI),

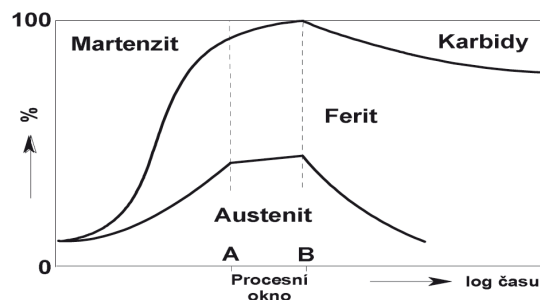
volně přeloženo izotermicky zušlechtěná tvárná litina. Tento název je technicky nejpřesnější.

Na Obr. 1 je schematicky uveden postup tepelného zpracování při výrobě ADI. Litina s kuličkovým grafitem se ohřívá (nejlépe v solné lázni) na teplotu 850 až 950 °C. Po austenitizaci je součást rychle přenesena do druhé solné lázně s teplotou 250 až 450 °C. Výdrž na teplotě musí odpovídat tzv. „procesnímu oknu“. Obsah feritu a austenitu lze analyzovat metodami RTG strukturní analýzy (Šenberger et. al., 2004).

Přeměna austenitu při teplotě izotermické výdrže na austeniticko-feritickou strukturu je schematicky znázorněna na Obr. 2 (Röring et. al., 2001). Při krátké době výdrže je výsledná struktura martenzitická. S rostoucím časem se zvyšuje podíl feritu a austenitu. Výsledná struktura má být austeniticko-feritická (austferit) s malým množstvím martenzitu nebo karbidů. Další prodlužování doby výdrže vede k vylučování karbidů a tím k tvorbě bainitu.



1: Postup tepelného zpracování ADI



2: Změna struktury během izotermické výdrže

Litiny

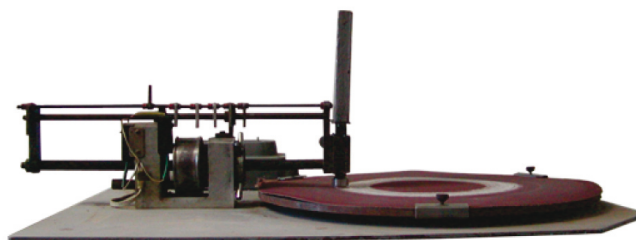
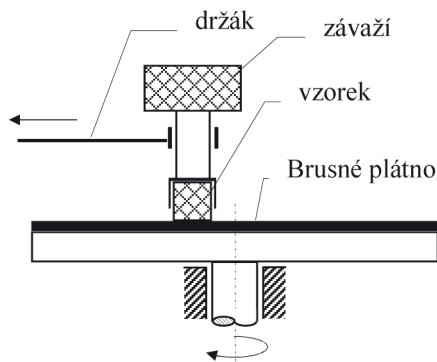
Litiny ADI mají vlastnosti srovnatelné s vysokopevnostními oceli a konkurují cenou výkovkům. Litiny ADI jsou normovány od pevností 800 (EN-GJS-800-8) do 1 400 MPa (EN-GJS-1400-1). Z ADI se vyrábějí v současné době odlitky v hmotnosti od desítek gramů do několika set kilogramů. Nejčastěji jsou z ADI vyráběny menší odlitky pro automobilový průmysl, ale také armatury, části pancéřových pokladen a díly strojů na úpravu surovin v těžebním průmyslu, u kterých se požaduje vysoká odolnost proti otěru.

MATERÁL A METODY

Odolnost zkušebních vzorků proti abrazivnímu opotřebení byla porovnávána s nízkouhlíkovou ocelí. Opotřebení bylo vyhodnoceno na základě hmotnostních úbytků dvěma laboratorními a jednou provozní zkouškou.

Zkušební zařízení

Zkouška opotřebení na brusném plátně vychází

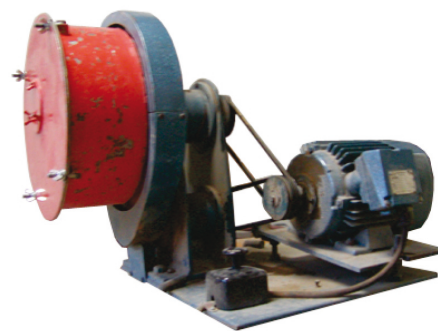
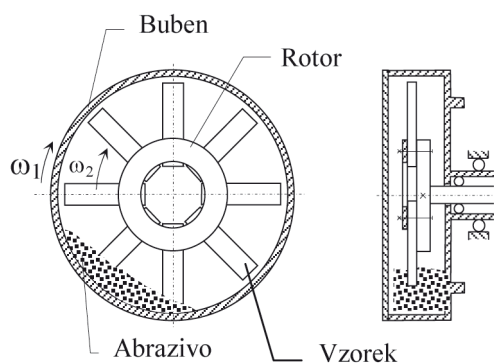


3: Přístroj s brusným plátnem

z ČSN 01 5084 (Obr 3). Zkušební těleso je přitlačováno k brusnému plátnu tlakem 0,32 MPa. Porovnávaly se hmotnostní úbytky vzorků na třecí dráze 50 a 150 m.

V **Bondově bubnovém přístroji** (Obr. 4) se osm zkušebních těles uchyty v rotoru ($\omega_2 = 64,4 \text{ s}^{-1}$) uloženém v bubnu, který se otáčí ve stejném smyslu jako rotor ($\omega_1 = 7,3 \text{ s}^{-1}$). Jako abrazivo bylo použito 1 000 cm³ dioritu o zrnitosti 8 až 16 mm. Velikost opotřebení byla vyhodnocována v intervalech 15, 30, 45, 60 minut při současné výměně abraziva.

K **orební zkoušce** byla použita souprava – traktor JOHN DEERE 6620 a nesený oboustranný pluh Kverneland ES 95 4r. Zkoušky proběhly v podzimním období roku 2003 na dvou půdních lokalitách v oblasti Českomoravské vysočiny. Zkušební vzorky byly připevněny na přechod mezi čepel a odhrnovačku u každého orebního tělesa (Obr. 5). Délka zorané brázdy se stanovila pomocí radaru traktoru.



4: Bubnový přístroj podle Bonda



5: Orební souprava

Zkušební tělesa

Ke zkoušce odolnosti proti abrazi byla použita následující zkušební tělesa:

- zkouška na brusném plátně: hranolky 10 x 10 x 10 mm.
- zkouška v Bondově přístroji: hranolky 80 x 40 x 8 mm.
- orební zkoušky: porovnávací destičky 80 x 40 x 8 mm s otvorem \varnothing 10 mm se zahloubením pro šroub se zapuštěnou kuželovou hlavou.

Zkušební tělesa byla vyrobena z následujících materiálů:

- tvářená ocel 11 373 (S 235 JRG1)
- tvářená ocel originálních pracovních nástrojů Kverneland (kromě vzorků do Bondova přístroje)
- čtyři varianty izotermicky zušlechtěné litiny s kuličkovým grafitem (ADI)
 - 880/380/2h.
 - 880/300/2h.
 - 880/250/2h.
 - 880/200/2h.

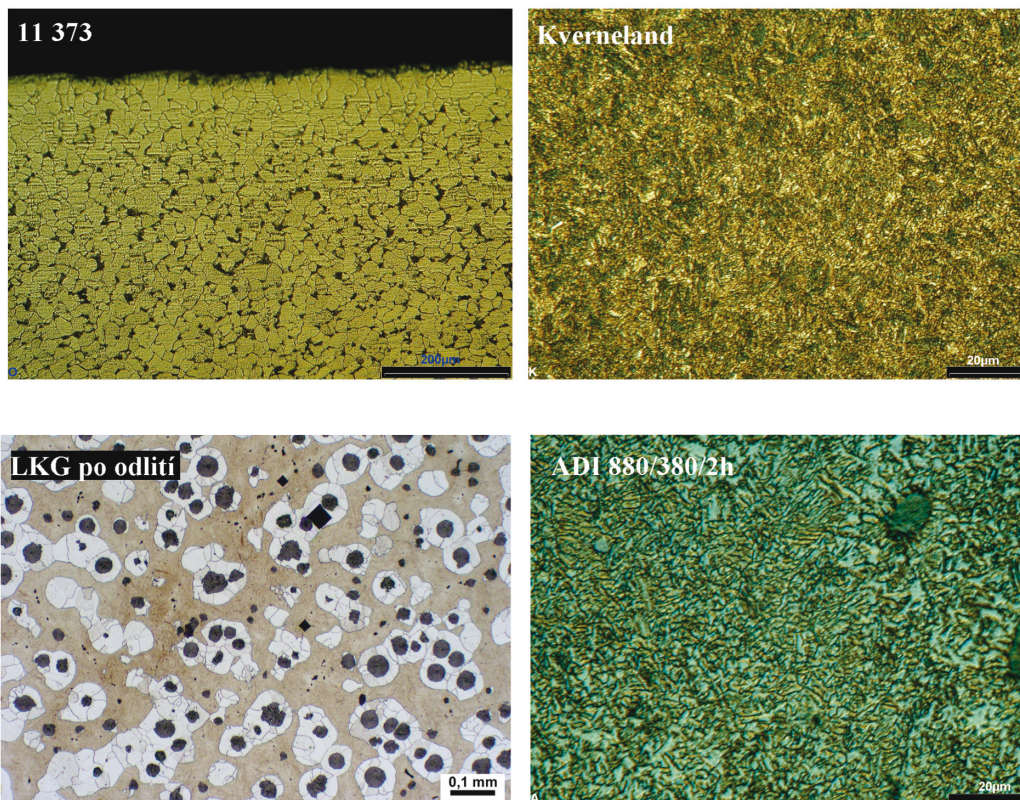
Zkušební tělesa z oceli 11 373 (S 235 JRG1) byla odřezána z hutního polotovaru ČSN 42 5340, u oceli „Kverneland“ z plužního dláta.

Z tvárné litiny byly nejprve odlity litinové desky o tloušťce 8 mm. Jako vsázky bylo použito surové železo „nodulár“ s nízkým obsahem manganu, fosforu a síry a ocelový odpad. Litina byla roztavena v elektrické indukční peci, očkována v pánvi předslutinou FeSiMg, na filtru ferosiliciem a gravitačně odlita do bentonitových forem. Získaná tvárná litina s obsahem 3,5 % C a 2,5 % Si měla feritickoperlitickou matici s kuličkovým grafitem. Z litinových desek se rozřezáním a frézováním vyrobily destičky pro orební zkoušky a do Bondova přístroje, do kterých se vyvrtaly upevňovací otvory. Opracované destičky byly následně izotermicky zušlechtěny v roztavených solných lázních (austenitizace – 880 °C, transformace austenitu v jednotlivých lázních s teplotami 200, 250, 300 a 380 °C s výdrží 2 h a dochlazením na vzduchu). Z tepelně zpracovaných destiček se rozbroušením odebraly vzorky pro zkoušku na brusném plátně.

Mikrostruktura kovových vzorků je znázorněna na Obr. 6, tvrdost udává Tab. I.

I: Tvrdost kovových materiálů

Materiál	ocel 11 373	ocel „Kverneland“	Izotermicky zušlechťená tvárná litina			
			880/380/2h	880/300/2h	880/250/2h	880/200/2h
HV 10	124	521	290	375	439	509



6: Mikrostruktury kovových vzorků

VÝSLEDKY A DISKUSE

Laboratorní zkoušky abrazivního opotřebení

Velikost abrazivního opotřebení je přímo úměrná testovací dráze (Obr. 7, Obr. 8). Odolnost ADI korespondovala s tvrdostí zkušební vzorku. U laboratorních zkoušek lze podmínky přesně definovat a za daných podmínek je možné jednoznačně stanovit odolnost materiálu proti opotřebení v relativním i absolutním vyjádření.

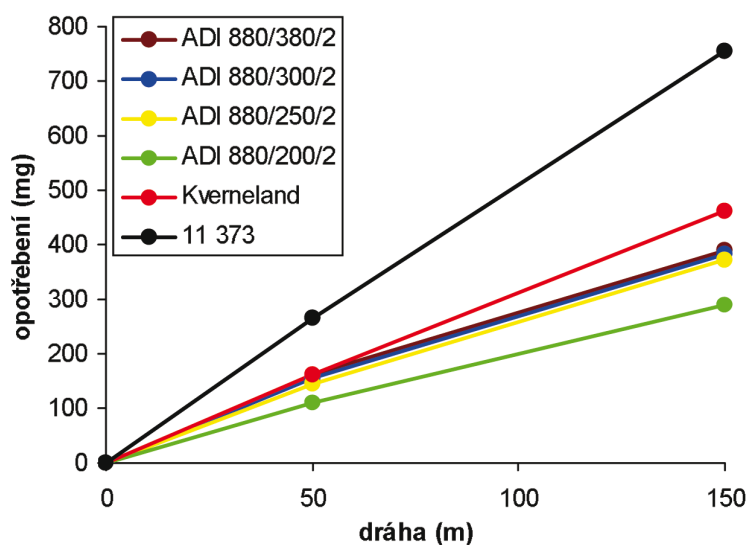
Při zkoušce opotřebení na brusném plátně jsou podmínky normovány (ČSN 01 5084), ale dají se i modifikovat (*měrný tlak, brusné plátno – tvrdost, velikost, tvar zrn a pojivo, rychlost, délka brusné dráhy atd.*). Relativní opotřebení (*tj. vzhledem ke zvolenému etalonu*) se tím příliš nezmění, ale u absolutního opotřebení (mm^3 , mg) nastane výrazná změna.

V Bondově přístroji dochází k drcení a zaoblování hran abraziva, proto rychlost opotřebení s dobou zkoušky klesá. Pokud provádíme v pravidelných in-

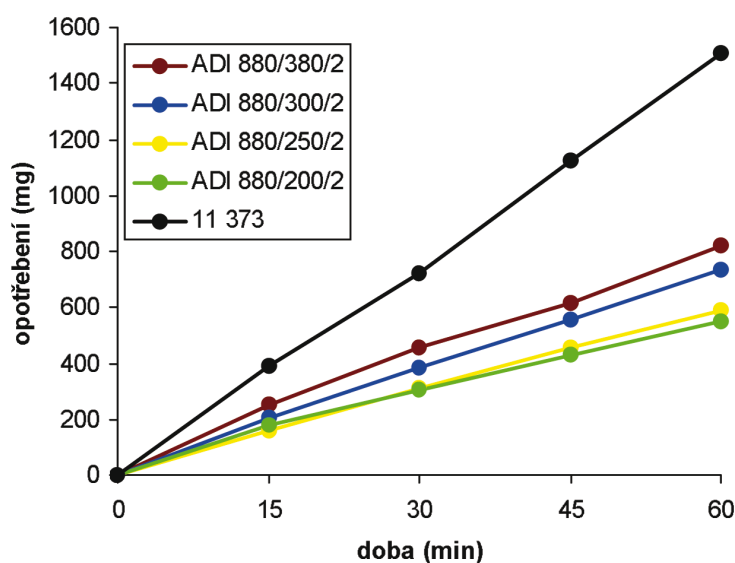
tervalech výměnu abraziva a současně vážíme zkušební vzorky, pak je opotřebení rovněž přímo úměrné testovací dráze. Podmínky zkoušek v Bondově přístroji nejsou dány normou a mohou se v širokém rozsahu pozměňovat (*velikost, tvar, tvrdost, křehkost abraziva, množství náplně, počet zkušebních vzorků v přístroji, úhlová rychlost unašeče a bubnu, doba zkoušky apod.*). Změnou podmínek se velikost absolutního opotřebení může měnit i o několik řádů.

Provozní zkoušky abrazivního opotřebení

Hlavní výhodou orebních zkoušek je, že zjistíme odolnost materiálu proti opotřebení v reálných podmínkách. Nejvyšší odolnost prokázala ADI 880/200/2h (Obr. 9). U vzorků ADI s jinými režimy tepelného zpracování bylo opotřebení o 25 % vyšší. Rozdíly v odolnosti proti abrazi u vzorků izotermicky zušlechťovaných při 250, 300, 380 °C jsou statisticky nevýznamné.



7: Opotřebení zkušebních vzorků na brusném plátně

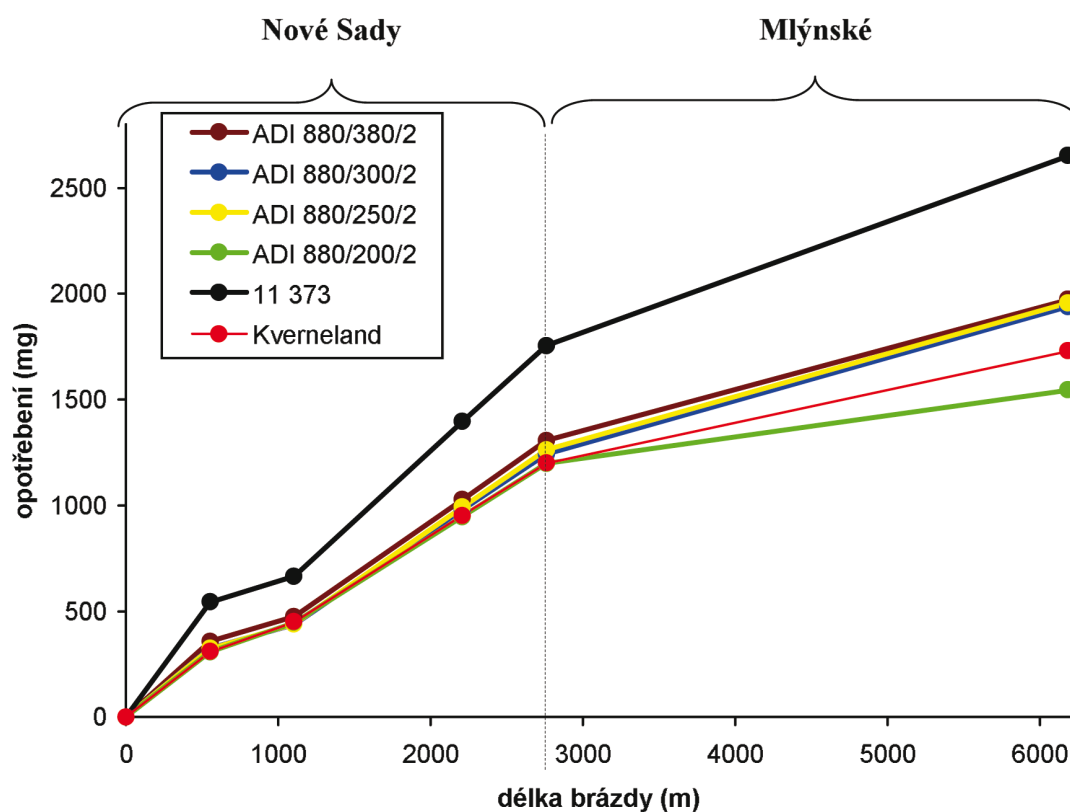


8: Opotřebení zkušebních vzorků v Bondově přístroji

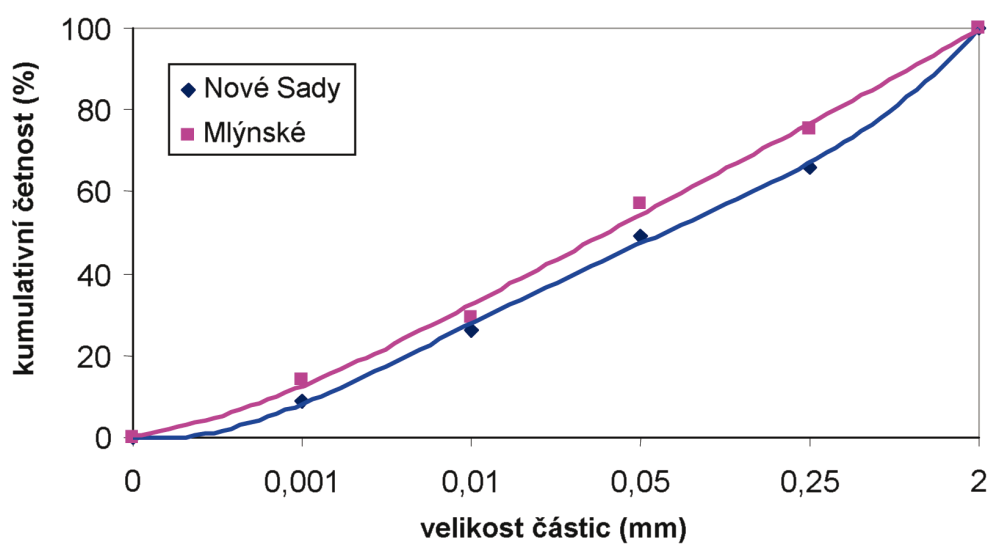
Nevýhodou orebních zkoušek je, že hmotnostní úbytky jsou ovlivněny rozdílnými půdními podmínkami (Obr. 9). V první etapě orebních zkoušek (tj. do 2 760 m) orba probíhala v lokalitě „Nové Sady“, v druhé části testování (od 2 760 do 6 185 m) na pozemku „Mlýnské“. V obou případech se jedná o hlinitopísčitou půdu, zrnitostní třída hlína. Vlivem vyššího obsahu hrubších částic v první lokalitě (Obr. 10) byla intenzita opotřebení vzorků 2,5 x větší, než v lo-

kalitě druhé (vyjádřeno v $\text{mg} \cdot \text{m}^{-1}$). Z Obr. 9 je zřejmé, že i v rámci lokality „Nové Sady“ nebyly podmínky konstantní.

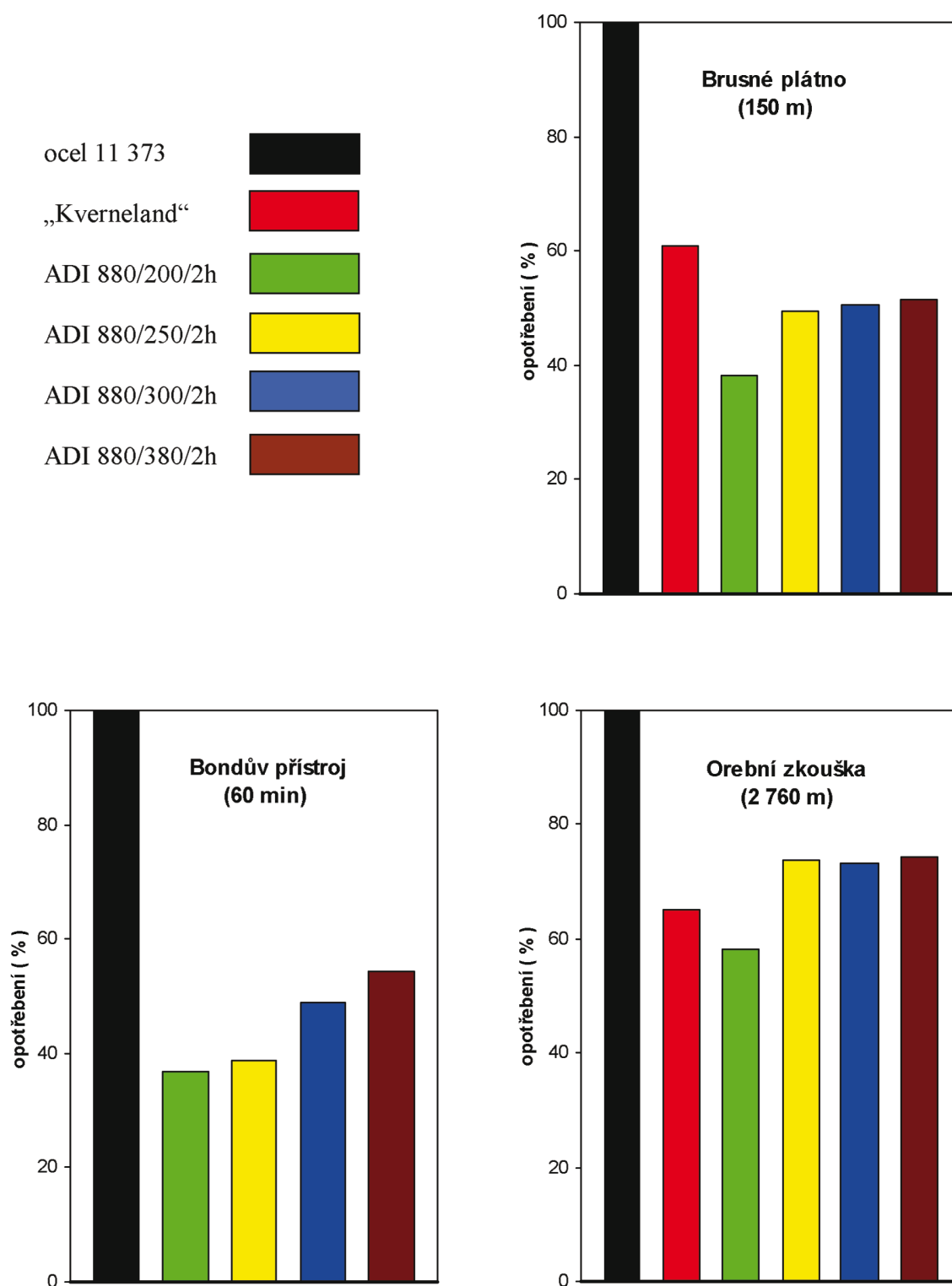
U zjišťování absolutního opotřebení ($\text{mg} \cdot \text{mm}^3$) musí být doloženo, za jakých předpokladů proběhlo testování, protože podmínky zkoušky významně ovlivňují získané výsledky. Relativní opotřebení (vzhledem k etalonu) je už méně ovlivněno zkušebními podmínkami.



9: Opotřebení zkušebních destiček při orební zkoušce



10: Zastoupení velikosti půdních částic



11: Relativní opotřebení zkušebních vzorků

SOUHRN

Izotermicky zušlechtěná tvárná litina (ADI) se v současnosti používá na součásti, které se dříve vyráběly z oceli. Je vhodná do abrazivního prostředí a vyznačuje se dostatečnou pevností a houževnatostí. Příspěvek se zabývá možností využití ADI pro výrobu částí strojů pracujících v půdě. Autoři zjišťují vliv režimu tepelného zpracování ADI na odolnost proti abrazi v laboratorních i provozních podmínkách a srovnávají ji s tvářenou ocelí.

Tvárná litina byla tepelně zpracována izotermickým zušlechtováním při různých teplotách (200, 250, 300, 380 °C) s dobou výdrže 2 h. Podle předpokladů se s klesající teplotou zvyšovala tvrdost výsledné struktury. Odolnost proti opotřebení na brusném plátně (ČSN 01 5084) i v Bondově přístroji korespondovala s tvrdostí struktury (Obr. 11).

Při orebních zkouškách nejvyšší odolnost prokázala ADI 880/200/2h. U ostatních vzorků ADI bylo opotřebení o 25 % vyšší. Obecně odolnost izotermicky zušlechtěné tvárné litiny byla srovnatelná s otěruvzdorností vzorků z tvářené oceli odebraných z dláta pluhu Kverneland ES 95 4r. ADI je ekonomicky výhodné použít pro odlévání složitějších tvarů půdních nástrojů při malých výrobních sériích.

abrazivní opotřebení, litina, izotermické zušlechtování, ADI, ocel

LITERATURA

PLACHÝ, J., NĚMEC, M., BEDNÁŘ, B.: Teorie slévání. ČVUT Praha 2002, s. 164, ISBN 80-01-02471-7.

DORAZIL, E., MÜNSTEROVÁ, E., BÁRTA, B.: Výzk. zpráva NoM IV-1-6/53 FS VUT Brno (1970).

ŠENBERGER, J., BUCHAL, A., FILÍPEK, J., BŘEZINA, R., KOUŘIL, M.: Použití izotermicky zu-

šlechtěné litiny s kuličkovým grafitem pro výrobu odlitků se zvýšenou odolností proti abrazi zejména na náhradní díly zemědělských strojů. Slévárnictví, LII, listopad, prosinec 2004, s. 456-460, ISSN 0037-6825.

RÖRING, K.: Giesserei Praxis 2001, N.4, S. 153-162.

BŘEZINA, R., FILÍPEK, J., ŠENBERGER, J.: Application of ductile iron in the manufacture of ploughshares. Res. Agr. Eng., 50, 2004 (4): 75-80.

Adresa

Ing. Roman Březina, Doc. Ing. Josef Filípek, CSc., Ústav techniky a automobilové dopravy, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, Doc. Ing. Jaroslav Šenberger, CSc., Ústav strojírenské technologie, Vysoké učení technické, Technická 2, 616 00 Brno, Česká republika