

Využití Impact testu při studiu integrity povrchu

Kříž Antonín Doc. Dr. Ing. Katedra materiálu a strojírenské metalurgie ZČU Plzeň
 Šimeček Jiří Ing. Katedra materiálu a strojírenské metalurgie ZČU Plzeň

Anotace: Tento článek pojednává o poměrně nové metodě studia vlastností povrchů pomocí nekonvenční metody impact test. Při zkoušení touto metodou se jedná o cyklické rázové zatížení povrchu definovanou energií úderu. Princip metody spočívá ve zkoumání vzniklých morfologií povrchu. Výhoda tohoto testu je, že se jedná o poměrně reálnou simulaci skutečného provozního zatížení skutečných součástí. V příspěvku bude představen princip, přístrojové vybavení a některé výsledky řešených projektů.

Klíčová slova: impact test, integrita povrchu, rázové zatížení

1. Integrita povrchu

Finální vlastnosti výrobky jsou do značné míry ovlivňovány vlastnostmi povrchových a podpovrchových vrstev. Objem provozních lomů v současnosti tvoří více než 90% lomy způsobené únavou materiálu. Únava materiálu má nejčastěji své iniciační místo na povrchu součásti, pokud se nejedná o vadný výrobek (vměstky, trhliny aj.), lze s velkou pravděpodobností předpokládat, že iniciace začala na povrchu součásti. Z tohoto důvodu je nutno věnovat povrchu značnou pozornost. Stav povrchu je třeba řešit komplexně a to řeší nový obor, který se nazývá integrita povrchu. Integritou povrchu se komplexně zabývá druhý článek, který je presentován pod názvem „Vliv povrchu na užité vlastnosti výrobku“.

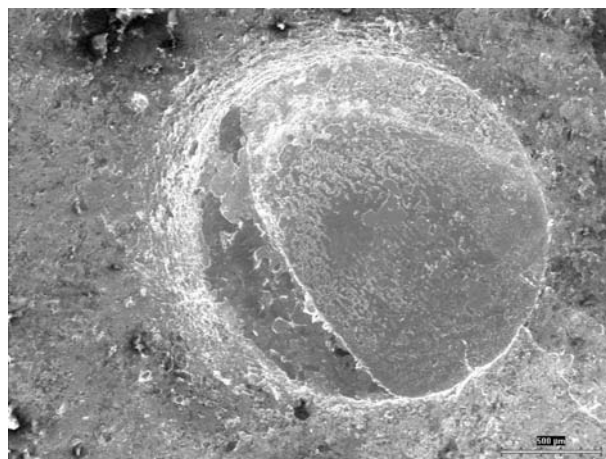
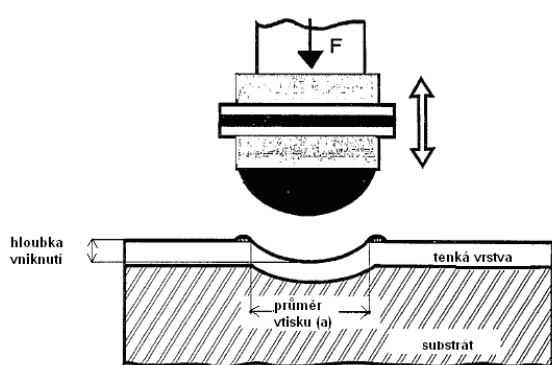
V tomto příspěvku je věnována pozornost chování povrchu následkem cyklického kontaktního namáhání. Toto namáhání vyvolá na povrchu celou řadu defektních procesů, jejichž studiem a vyhodnocením lze rovněž postihnout komplexní vlastnosti, které jsou vyjádřeny integritou povrchu.

2. Impact test

2.1 Historie a základní myšlenka impact testu

Impact test pochází z Velké Británie z Univerzity v Hull někdy okolo roku okolo 2000. V současné době se této metodě věnují taktéž na řecké univerzitě v Soluni.

Princip metody spočívá v cyklickém rázovém zatěžování povrchových vrstev materiálu indentorem, který většinou tvoří karbidová kulička. Její údery jsou v rychlém sledu definovanou energií, při němž je nejdříve vyvolána plastická deformace povrchu a zpevnění povrchových vrstev.



Obr. 1 a) uspořádání impact testu
 b) příklad vytvořeného impact kráteru SEM
 Fig. 1 a) Impact test arrangement
 b) example of impact crater created by the SEM

2.2 Impact kráter

Vzniká tzv. impact kráter. Po vyčerpání plastických vlastností dochází ke tvorbě různých degradačních jevů, jako jsou trhliny, nebo se zpevněné fragmenty materiálu postupně odlamují po vrstvách viz. dále. Předmětem zkoumání je zejména morfologie vzniklé v kráteru, jakož je možné z charakteru zjistit chování materiálu při skutečném provozním zatížení.

Postup tvoření impact kráteru je možno rozdělit zhruba na 3 fáze, kdy při prvních úderech dochází k masivní plastické deformaci, při níž se energie díky charakteru indentoru, který tvoří karbidová kulička může působit na relativně malou plochu a velikost kráteru roste vysokou rychlostí. Při druhé fázi se rychlost zvětšování kráteru zastaví zejména z důvodu vyšší stykové plochy mezi kráterem a kuličkou, v této fázi dochází zejména k vyčerpávání plasticity v nejbližším okolí stěn vzniklého kráteru. Ve třetí fázi dochází ke tvorbě trhlin a vylamování zpevněných částí. Další rozšiřování kráteru je už možné jen díky tomuto mechanismu.

V praxi jsou materiály zkoušeny na jednoosou napjatost, nebo na rázovou pevnost, ale v praxi se obvykle vyskytuje na součástech víceosá napjatost, impactový kráter může poměrně věrně simulovat skutečné provozní zatížení, jelikož v kráteru vzniká jak tahová, tak tlaková oblast.

2.3.2 Elektronicky řízený impact tester

Ke konstrukci tohoto přístroje bylo přikročeno zejména z důvodu zvýšení frekvence úderů a kvůli jejich přímé regulaci. Tento přístroj byl zhotovován na několik etap, při kterých bylo řešeno několik různých problémů zejména s elektronicky řízeným pohonem.

Indentor je upevněn na otočném rameni, které je z jedné strany přitahované pomocí indukční cívky. Mezi ramenem a jádrem cívky je nutno vždy ponechat minimální vzduchovou mezeru, jinak by indentor nebyl schopen předat nárazovou energii do vzorku. Na druhé straně ramena jsou zavěšeny pružiny, které při přerušení proudu a ztráty magnetického pole cívky vytáhne rameno zpět do horní úvrati. Pro odstranění uvolněných fragmentů materiálu byl pořízen přívod stlačeného vzduchu do místa dopadu.

3.2 Výsledky impact testu

Jedním z nejdůležitějších výsledků získatelných z impact testu je hloubka a také plošný obsah kráteru. Pokud je provedeno na jednom vzorku několik testů s různým počtem úderů při stejné síle, je možno dostat představu chování materiálu při porušení povrchu. Každý materiál se vyznačuje různou mírou tvrdosti, houževnatosti, které se při porušení povrchu jinak projevuje. Předpokladem je samozřejmě že bude povrch s podobným stavem reagovat na rázové zatížení stejně, nebo alespoň velmi podobně.

Hloubka impact kráterů se pohybuje v řádu μm , proto je měření nutné provést na laserovém scanovacím konfokálním mikroskopu.

Přesnost měření je ovlivňována zejména tzv. „naváženinami“ na okraji kráterů, jelikož vytlačený materiál teče směrem ven z kráteru.

Dalším výsledkem vyplyne ze studia vytvořených morfologií v kráteru, zejména trhlin, prasklin, odlupování vrstev a jejich charakteru.

4. Příklady experimentů

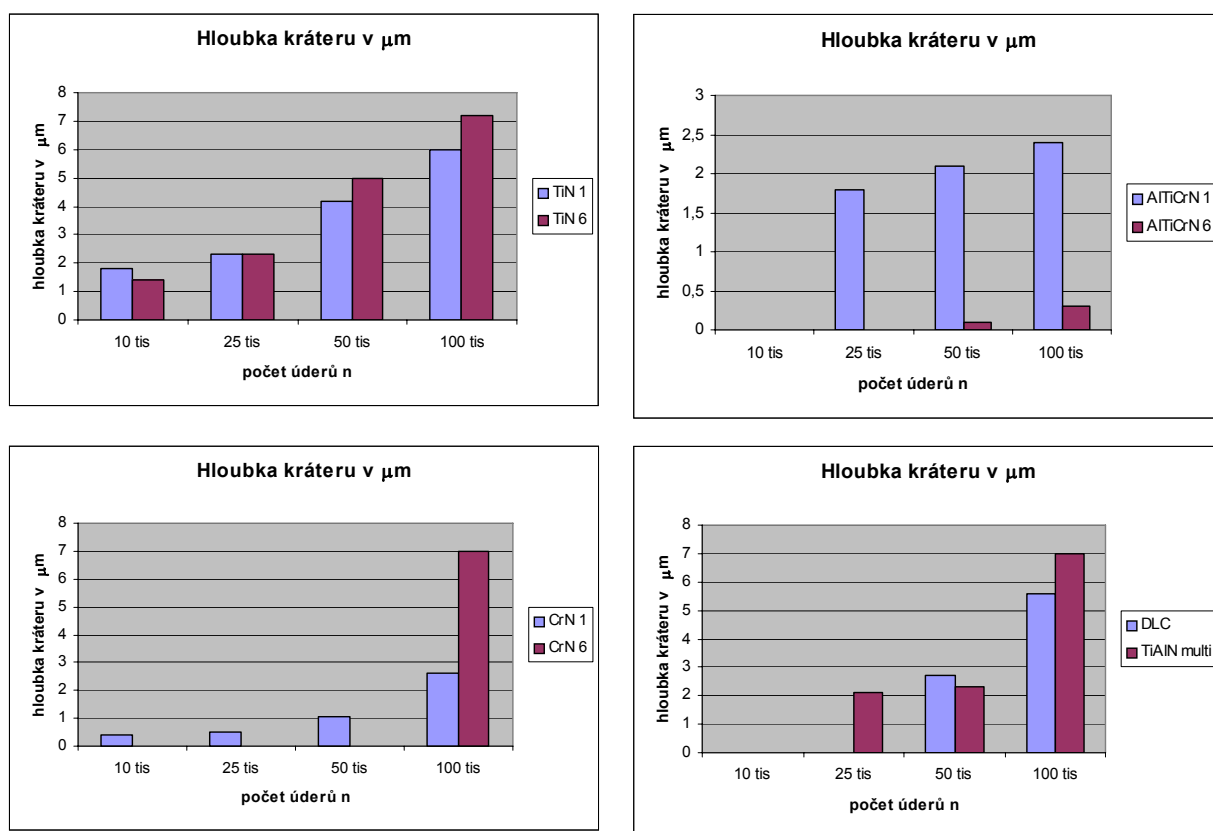
4.1 Měření impact kráterů

Následující příklad měření rozměrů impact kráterů vychází z reálného experimentu. Pro test bylo zvoleno 8 vzorků z nástrojové rychlořezné oceli 19 830. Ocelové vzorky byly deponovány PVD vrstvou viz následující tabulka.

Vrstva	Tloušťka z kalotestu (μm)
TiN I.	1,1
TiN II.	6
CrN I.	0,8
CrN II.	6,9
TiAlCrN I.	2,4
TiAlCrN II.	3,2
TiAlN multivrstva	1,4
DLC	1,7

Tab. 1 Použité vzorky při testu
Tab. 1 Used samples in test

Vzorky byly podrobeny impact testu o energii úderu 0,17 J. Řada byla volena v počtu 10-25-50-100 úderů. Vzorky byly proměřeny na konfokálním mikroskopu s následujícími výsledky.[4]



Obr. 2 Hloubka impact kráterů měřena konfokálním mikroskopem
Fig. 2 The depth of impact craters measured by confocal microscope

Ze získaných výsledků zvětšování kráterů v závislosti na počtu úderů lze usoudit, k jaké aplikaci bude konkrétní vrstva ideální. Dále lze posoudit trend rozvoje poškození povrchových vrstev, což je u PVD vrstev velmi důležité.

4.2 Degradace povrchu kolejnice při provozu na železnici

Tato část příspěvku je věnována testům nového druhu oceli. Výsledkem testů bylo posoudit, zda tento materiál lze použít na kolejové svršky. Principem testu bylo sledování vývoje a morfologie povrchových poškození při impact testu.

4.2.1 Namáhání kolejnice

Kolejnice patří mezi nejdražší a nejintenzivněji namáhané části kolejového svršku. Její funkce spočívá v nesení a zároveň vedení kolejového vozidla. Celý tento proces probíhá ve velmi omezeném místě, kde se odvaluje kolo po kolejnici. Tento styk je teoreticky čárový, ale ve skutečnosti díky elastickým vlastnostem materiálu je spíše eliptický. Velikost zasažené oblasti závisí od váhy vozidla (v ČR max. 25 tun na nápravu) a od průměru a konstrukčního uspořádání železničního kola.

Největší nebezpečí pro kolejnice je únava, ta vzniká zejména z povrchových vad, které je nutno považovat za počáteční riziko, které přeroste v objemovou únavu.

Vzhledem k tomu že při únavové vadě na kolejnicovém svršku hrozí prasknutí kolejnice, v nejhorším případě při projíždění vlaku, což může mít za následek značné ekonomické ztráty, nebo dokonce ohrožení lidských životů.

Rozdělení vad kolejnic lze možno nalézt ve zdrojích[4], které jsou normovány a jsou většinou charakteristické pro daný způsob namáhání.

Nejčastější způsob revize je vizuální kontrola. Nejčastější způsob odstranění těchto problémů je broušení jezdové plochy kolejnice. Je to záležitost velmi drahá a náročná, nicméně ne vždy lze potenciální hrozbu únavového poškození objevit včas.

4.2.2 Charakteristika zkoumaného materiálu a provedení experimentu

Ve spolupráci s UPA byl vyvinut nový materiál pro srdcovky a jiné více namáhané součásti kolejového svršku. Tyto součásti jsou namáhány zejména na ořez při přejíždění kolejových vozidel a rázy, jelikož zde dochází ke změnám směru jízdy vozidla. Jedná se o mikrolegovanou bainitickou ocel.

Myšlenka experimentu je pokusit se pomocí impact testu vytvořit porušení integrity povrchu a sledovat jak se s postupným zvyšováním počtu úderů v sekvenci bude rozvíjet jeho velikost a jaké budou nalezeny na dně kráteru degradační jevy.

Pro test byl použit vzorek experimentální oceli o tloušťce 10 mm. Vzorek byl postupně vybroušen na metalografických do drsnosti 1200, posléze byl vzorek vyleštěn. Tato úprava je nutná zejména z důvodu snadné měřitelnosti kráteru a vzájemné porovnatelnosti mezi vzorky.

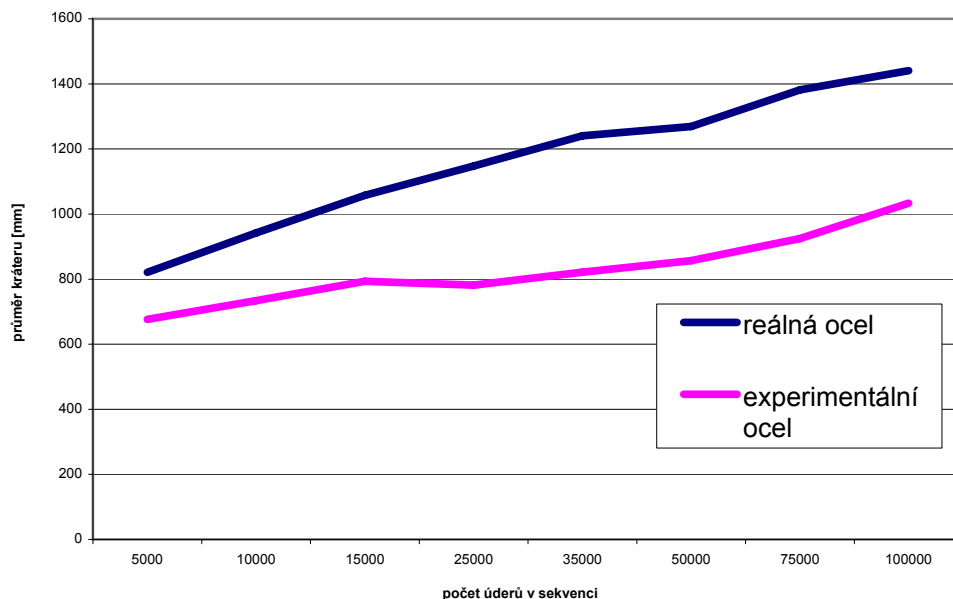
Jako etalon byl použit vzorek vyříznutý z vyřazené kolejnice o téže tloušťce 10 mm, aby byla co nejvíce eliminováno ovlivnění výsledků konstantou přístroje.

Vzorky byly podrobeny 2 řadám úderů o sekvenci 5-10-15-25-35-50-75-100 tis. úderů. Získané hodnoty byly posléze zprůměrovány. Frekvence úderů byla stanovena 7Hz což by mělo přibližně odpovídat přejíždění jednotlivých kol v podvozku rychlostí 50 km/h, při jeho rozvoru 2 m.

4.2.3 Výsledky velikosti kráteru

Vzorky byly posléze vyčištěny a na kráterech změřen průměr ve 2 na sobě kolmých směrech, výsledek byl poté zprůměrován. Výsledky jsou v následujícím grafu.

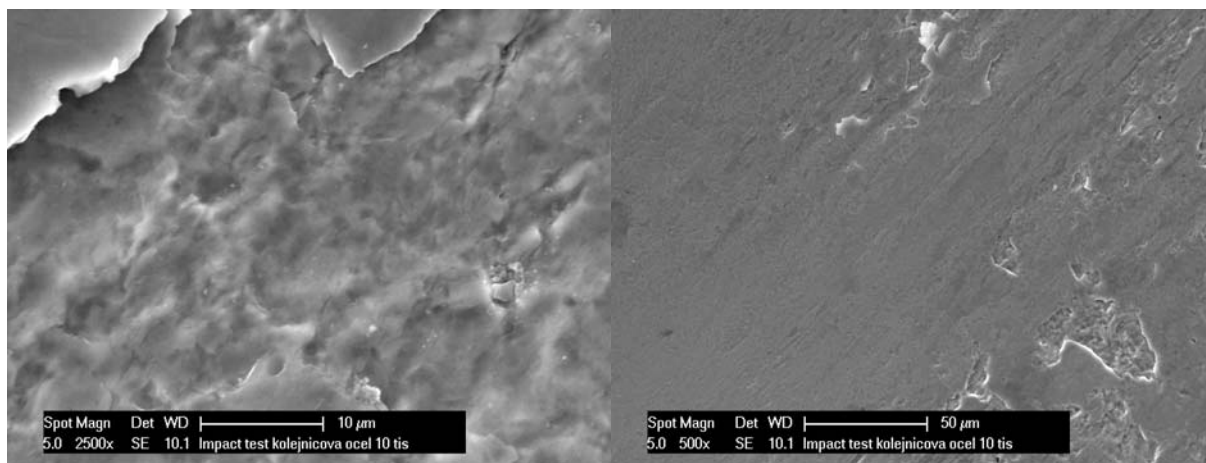
Trend vývoje růstu impact kráteru



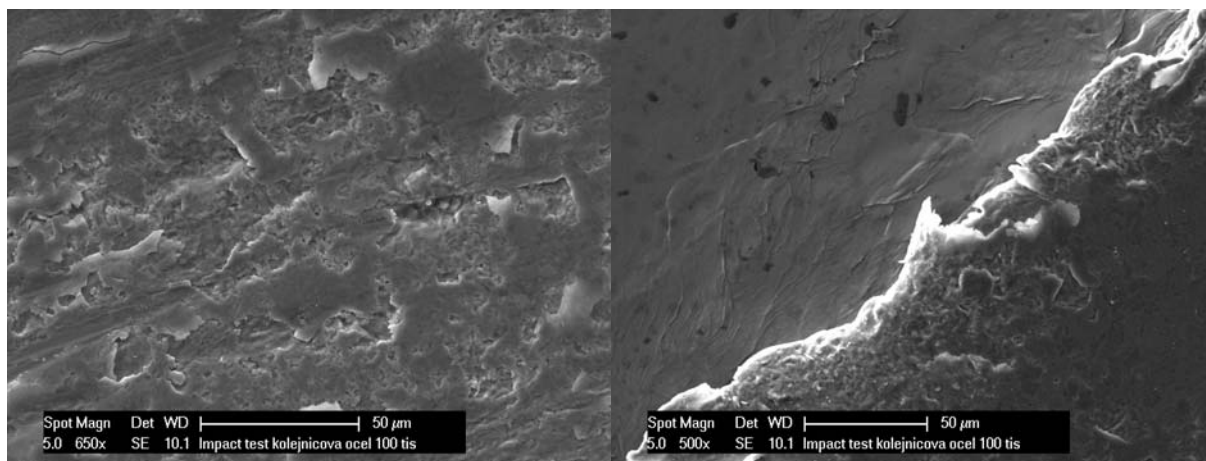
Obr.3 Vývoj rozvoje impact kráteru v závislosti na počtu úderů[5]
Fig 3 Development impact crater development in relation to par

4.2.3 Zkoumání vytvořených kráterů pomocí ŘEM

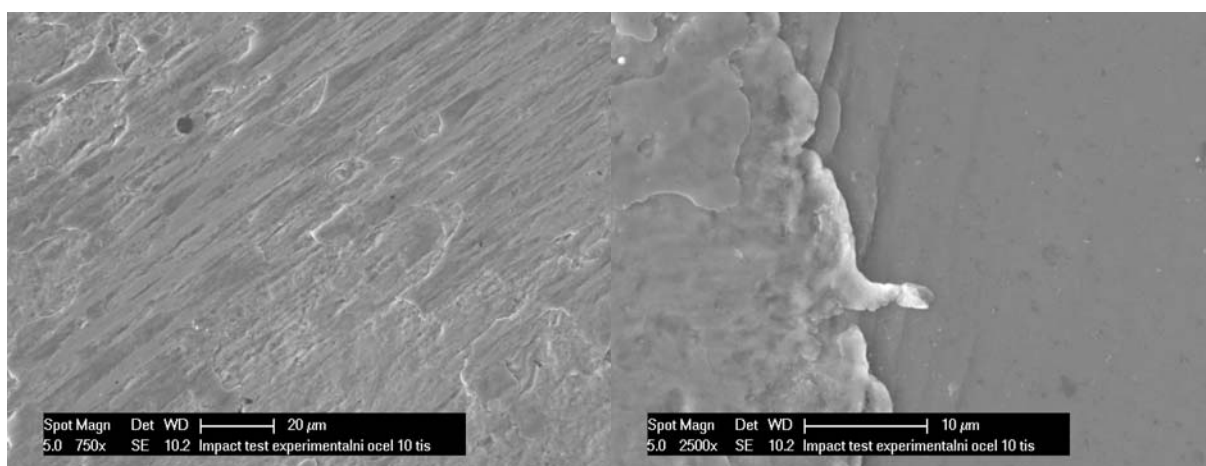
Zkoumání kráterů pomocí ŘEM je nedílnou součástí vyhodnocení impact testu, jelikož z charakteru stěn kráteru lze usoudit jaký charakter bude mít plocha namáhaná kontaktním zatížením. Pomocí ŘEM byly zdokumentovány krátery, které vznikly při úderech impaktivního tělíska po celkové množství - 10 a 100 tis. Následující snímky dokumentují stav kráteru.



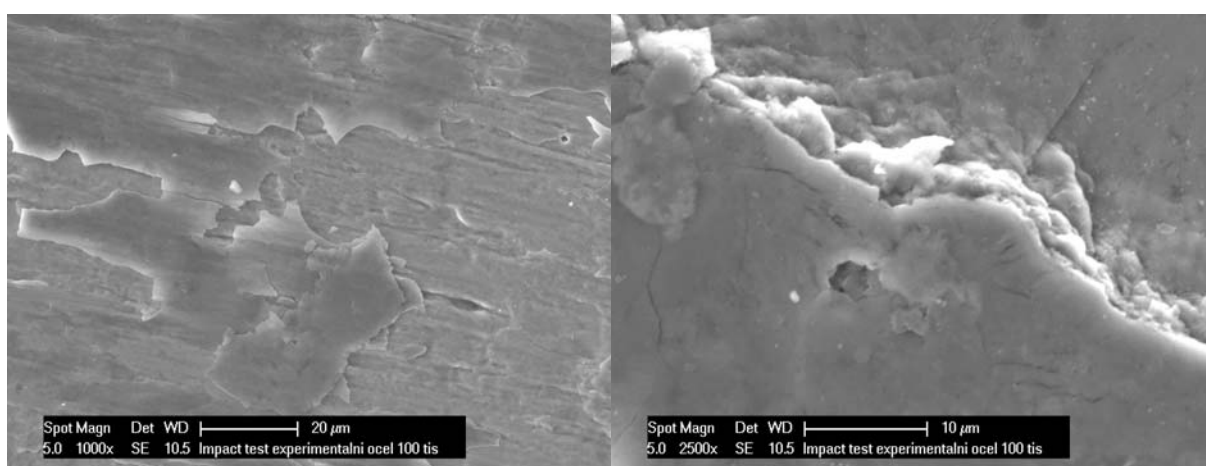
Obr.4 Impactový kráter kolejnicové oceli 10 tis úderů
Fig. 4 Impact crater bottom rail steel of 10 thousand hits



Obr.5 Dno a okraj kráteru, kolejnicová ocel 100 tis úderů
 Fig. 5 Crater bottom rail steel of 100 thousand hits



Obr. 6 Dno a okraj kráteru, experimentální ocel 10 tis úderů
 Fig. 6 Crater bottom experimental rail steel of 10 thousand hits



Obr. 7 Dno a okraj kráteru, experimentální ocel 100 tis úderů
 Fig. 7 Crater bottom experimental rail steel of 100 thousand hits

Odkoušení nová ocel je určena zejména na více namáhané součásti kolejového svršku. Výsledky velikosti kráteru naznačují, že experimentální ocel má poněkud vyšší odolnost proti kontaktnímu namáhání. Křivka rozvoje tohoto poškození u reálně použité oceli vykazuje menší strmost, z čehož lze

usoudit, že růst poškození bude postupně stagnovat. V případě nové oceli se strmost křivky naopak s přibývajícím počtem úderů v sekvenci zvyšuje.

Při zkoumání okrajů kráteru pomocí ŘEM byly u experimentální oceli zjištěny navaleniny viz obr. 16-18, které u původní oceli chybí. Tyto navaleniny jsou zřejmě způsobeny vyšší plasticitou u experimentální oceli.

V případě kolejnicové oceli nebyly zjištěny žádné navaleniny v kraji kráteru. Zjištěné deformace byly až v bezprostředním okolí kráteru.

V případě kolejnicové oceli byly první trhliny viditelné již při 10 tis úderů a byly soustředěny především ve středu kráteru.

U experimentální oceli byly trhliny patrné později a byly soustředěny u kraje kráteru.[5]

5. Závěr

Metoda „Impact testu“ umožňuje získat velmi cenné informace o chování materiálu při dynamickém kontaktním namáhání, které jsou při jiných metodách testování jen těžko dosažitelné. Pro získání výsledků a jejich vyhodnocení nejsou zapotřebí znalosti žádných materiálových konstant. Výsledky jsou široce využitelné zejména při stanovení odolnosti strojních součástí a nástrojů proti lokálnímu únavovému poškození. Jelikož lze předpokládat, že nároky na odolnost proti povrchovému kontaktnímu poškození u výrobků bude stoupat, lze očekávat že tato metoda testování se rychle rozšíří do průmyslové praxe.

Tento článek vznikl na základě řešení projektu „Progresivní metody obrábění a integrita povrchu těžkoobrobitelných materiálů v energetice“ SGS-2010-083.

Literatura

[1] Kraus V.: Povrchy a jejich úpravy, Západočeská Univerzita v Plzni 2000

[2] OLLENDORF, H., SCHNEIDER, D.: A comparative study of adhesion test methods for hard coatings, in Surface and Coating tribology. Elsevier Science, 2003
[online] dostupné na <www.science-direct.com>

[3] Heinke W. Leyland A.: Evaluation of PVD nitride coatings using impact, scratch and Rockwell-C adhesions test. [online] dostupné na na <www.science-direct.com> 2002

[4] Šimeček J.: Projevy povrchových vlastností při rázovém zatěžování, diplomová práce, Západočeská Univerzita v Plzni, 06.2008

[5] Kříž A. Šimeček J.: Zkoumání povrchové odolnosti ocelí pro kolejnice metodou impact test, konference Vrstvy a povlaky 2010, Rožnov pod Radhoštěm 10/2010 ISBN 978-80-970514-2-6

Using Impact Test in the study of surface integrity

Doc. Dr. Ing. Antonín Kříž, KMM ZČU Plzeň
Ing. Jiří Šimeček, KMM ZČU Plzeň

Abstract. This article discusses a relatively new method of studying of the surface using an unconventional method impact test. An idea of this method is a cyclic impact-loading surface by defined impact energy. Outcome of the test is to investigate the resulting surface morphologies. The advantage of this test is that it is a fairly realistic simulation of actual operating loads the real part. This paper presents the principle, instrumentation and results of some solved projects.

Keywords: impact test, surface integrity, impact-loading

