ŠTÚDIUM EROZÍVNEHO OPOTREBENIA TVRDONÁVAROV

Jankura D., Brezinová J.,
Katedra technológií a materiálov, Strojnícka fakulta, Technická univerzita Košice, Slovensko

STUDY OF EROSIVE WEAR OF HARD FACING METALS

Jankura D., Brezinová J.
Department of Technologies and Materials, Faculty of Mechanical Engineering, Technical Univerzity of Košice, Slovakia

Abstract

The contribution presents the results of the research of resistance of hard facing metals in conditions of erosive wear. Two types of hard - surfacing electrodes with different chemical composition were used on creation of three layers hard facing metals. Chemical composition of electrodes determined difference in structure of surface deposit. We investigated the influence of angle incidence of abrasive particles on magnitude wear of hard facing metals. Results of the experiments showed that intensity of wear is very depended on parameters of wear as well as structure morphology of hard facing metals.

Key words: tribological properties , structure morphology, hard facing metals, erosive wear

Abstrakt

Príspevok prezentuje výsledky výskumu odolnosti trojvrstvových tvrdonávarov na rôznej štruktúrnej báze v podmienkach erozívneho opotrebenia. Experimentálne výsledky ukázali, že intenzita opotrebenia skúmaných materiálov závisí od skúšobných podmienok a štruktúry návarov.

Úvod

Pri vytváraní povrchových vrstiev pre tribologické použitie sa často stretávame s technológiou navárania, ktorá umožňuje nielen obnovu geometrie opotrebovaných povrchov, ale udeľuje im nové, často krát lepšie vlastností ako mal pôvodný materiál.

Základné vedecké poznatky z tribológie návarov sú rozpracované v (1,2) a ďalších prácach. Z nich vyplýva, že jedným z rozhodujúcich činiteľov pre intenzitu opotrebenia pri abrazívnom a erozívnom opotrebení návarov je ich tvrdosť. Tvrdosť návarov je funkciou chemického zloženia návaru a jeho tepelného režimu pri navárani a po ňom. Tieto faktory priamo ovplyvňujú štruktúru návarov. V súčasných rozboroch oteruvzdornosti práve problematika štruktúry a subštruktúry návarov a ich vplyv na oteruvzdornosť nie je detailne analyzovaná.

V príspevku sú uvedené čiastkové výsledky experimentov, pri ktorých boli skúmané tribologické vlastnosti dvoch typov tvrdonávarových elektród. Ich výber bol zvolený tak, aby dávali návary na rôznej štruktúrnej báze. Návary boli realizované ako trojvrstvové. Ako etalón boli použité vzorky z materiálu 11 375.10 so zaručenou zvariteľnosťou. Jednotlivé návary boli podrobené skúškam odolnosti proti erozívnemu opotrebeniu, metalografickej analýze, skúškam

tvrdosti a mikrotvrdosti. Cieľom výskumu bolo zistiť vplyv uhlu dopadu častíc a štruktúrnej stavby návarov na ich oteruvzdornosť.

Experimentálne podmienky

Ako základný materiál pre výrobu vzoriek tvrdonávarov bola použitá oceľ 11 373 o rozmeroch 35x20x8 mm. Jedná sa o konštrukčnú uhlíkovú oceľ obvyklých vlastností s 0,17% C a zaručenou zvariteľnosťou. Aby sa eliminoval vplyv premiešania základného a prídavného materiálu boli návary realizované ako trojvrstvové. Povrch návarov bol brúsený na rovinnej brúske (Ra = 0,6 μm) (3).

Ako návarový materiál boli použité tvrdonávarové elektródy E 508 B a E 518 B, ktorých chemické zloženie spĺňa podmienky pre heterogenitu štruktúrnej stavby návarov. Chemické zloženie návarových elektród je uvedené v tab. č.1.

Skúšky oteruvzdornosti boli realizované na laboratórnom mechanickom tryskacom zariadení KP-1 (4). Princíp skúšky spočíva vo vrhaní abraziva (tryskacieho prostriedku) veľkou rýchlosťou na povrch vzoriek. Abrazivo je pomocou obežného dopravníka privádzané do stredu rotujúceho metacieho kolesa s lopatkami. Na výstupe z lopatiek abrazivo získava vysokú kinetickú energiu, ktorou je vrhané na povrch skúšaných vzoriek, umiestnených po obvode tryskacej komory.

Skúšobné podmienky:

- abrazivo – oceľová drvina G_B 8 - STN 42 9823 d_{zD} = 0,71 mm a tvrdosťou 600 - 700 HV
- otáčky metacieho kolesa n = 7000 ot.min^{-1}
- rýchlosť tryskacieho prostriedku v_{TP} = 70,98 m.s^{-1}
- uhly dopadu abraziva α = 30, 45, 75, 90 [°]
- vyhodnocovanie hmotnostných úbytkov: po 25, 50, 100, 300, 500 a 1000 obehoch.

Veľkosť opotrebenia sa určovala zmenou hmotnosti vzoriek v jednotlivých fázach skúšky. Hmotnostné úbytky sa zisťovali vážením vzoriek na citlivých analytických váhach poľskej produkcie typu WA-31 s presnosťou merania 10^{-4} g.

Pre stanovenie tvrdosti jednotlivých štruktúrnych fáz bola meraná mikrotvrdosť HV 0,05 na základe normy ISO 4516. Merania boli realizované pomocou Hannemannovej hlavy. Mikrotvrdosť vrstvy ovplyvnenej tryskaním bola meraná na prístroji SHIMADZU – DUH 202. Priebeh tvrdosti v priečnom priereze návarov bol realizovaný metódou merania podľa Vickersa na tvrdomeri HPO 250 pri zaťažení 30 N.

Metalografické štúdium a fotodokumentácia bola vykonaná na svetelnom mikroskope ZEISS NEOPHOT II a na elektrónovom rastrovacom mikroskope TESLA BS-301.

Table 1 Hard facing materials chemical composition

Fy označenie	Chemické zloženie [%]					Tvrdosť HV	Teplota predohrevu
	C	Mn	Si	Cr	Mo		
E 508 B	0,4	0,7	0,4	6,0	0,6	650	bez
E 518 B	3,5	0,8	0,8	27,5	-	660	400°C

Dosiahnuté výsledky:

Meranie tvrdosti návarov elektródou E 508 B ukázalo na silný vplyv premiešania návarového a základného kovu. Tvrdosť v prvej vrstve návaru v oblasti natavenia prudko stúpa a

dosahuje maximálnu hodnotu 550 HV. Priemerná hodnota tvrdosti v druhej vrstve bola 615 HV, v tretej vrstve návaru dosahovala okolo 648 jednotiek. Potvrdili sa tu teoretické a praktické predpoklady, že vplyv premiešania základného materiálu a návarového kovu sa stráca až v tretej vrstve (3). Prechod kriviek tvrdosti z minimálnych hodnôt základného materiálu na maximálne tvrdosti v návare je skokovitý.

Obdobný priebeh tvrdosti vykazovali aj návary E 518 B, s tým rozdielom, že už v prvej vrstve sa tu dosiahli výrobcom udávané tvrdosti, t.j. 660 HV. Namerané hodnoty tvrdosti sa v jednotlivých vrstvách výrazne nelíšia a v tretej vrstve dosiahli až 770 HV. Vzhľadom na vysoký obsah C a Cr sa premiešanie so základným materiálom prejavilo menej výrazne. Priebeh tvrdosti trojvrstvových návarov je znázornený na obr.1. Z hľadiska dosiahnutej tvrdosti môžeme predpokladať vyššiu odolnosť proti opotrebeniu u návarov realizovaných elektródou E 518 B. Priemerná hodnota tvrdosti etalónu bola 120 HV.

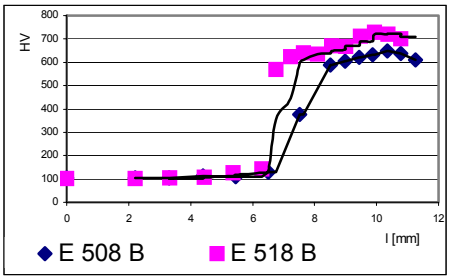

Fig.1 Course of three-layers hardfaced materials hardness

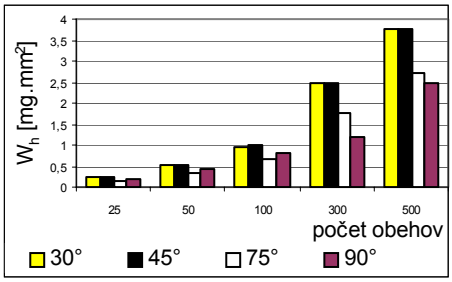

Fig.2 Course of wear for etalon

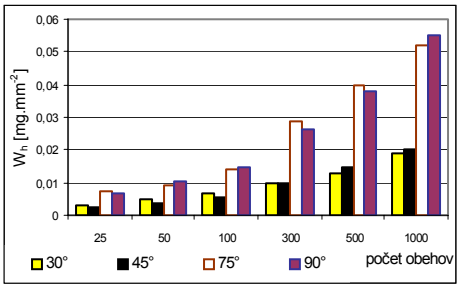

Fig.3 Course of wear for hard facing material E 518 B

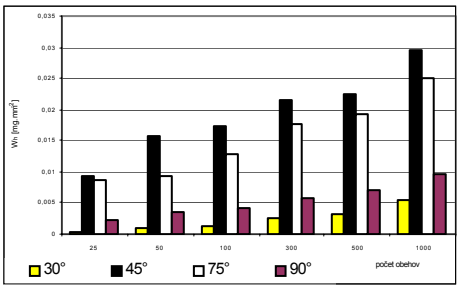

Fig.4 Course of wear for hard facing material E 508 B

Výsledky skúšok opotrebenia etalónu a skúmaných tvrdonávarov sú grafický spracované na obr.2, 3 a 4. Grafy prezentujú značnú závislosť veľkosti hmotnostného opotrebenia od uhlu dopadu častíc. Intenzita opotrebenia etalónu klesala so vzrastajúcim uhlom dopadu častíc. V prípade návarov E 508 B bolo minimálne opotrebenie pri uhloch dopadu 30° a 45°. Pri uhloch 75° a 90° dosiahlo hmotnostné opotrebenie takmer trojnásobné hodnoty. Opotrebenie návarov E 518 B vykázalo ešte väčšiu citlivosť na uhle dopadu častíc. Minimálne hodnoty opotrebenia sa dosiahli pri uhle 30°, maximálne pri uhle 45°. Celkove však pri návaroch E 508 B sa dosiahli podstatne vyššie hodnoty opotrebenia ako u návarov E 518 B s výnimkou uhlu 45°. Vplyv uhlu dopadu častíc na priebeh opotrebenia etalónu a skúmaných tvrdonávarov po 500 obehoch je znázornený na obr.5 a 6.

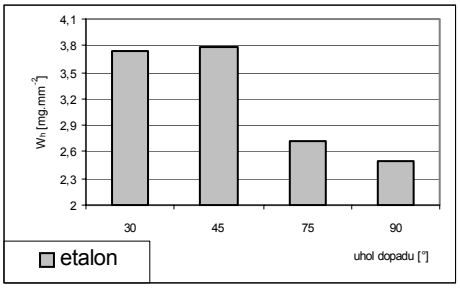

Fig.5 Wear intensity of etalon after 500 cycles

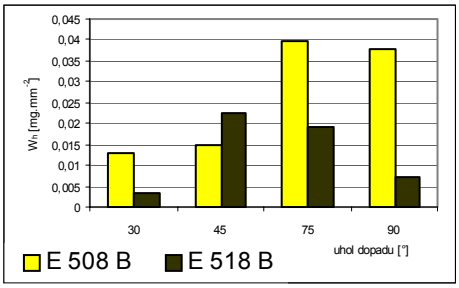

Fig.6 Wear intensity of investigated hard faced materials after 500 cycles

Dosiahnuté výsledky odolnosti skúmaných materiálov v podmienkach erozívneho opotrebenia môžeme interpretovať nasledovne. Vysoká intenzita opotrebenia etalónu pri nízkych uhloch dopadu častíc vyššej tvrdosti je spôsobená úberom materiálu vo forme mikrotriesok (4). Pri väčších uhloch dopadu dochádza vplyvom kovacieho účinku dopadajúcich častíc k spevňovaniu povrchu materiálu, čo sa prejaví nižšími hodnotami opotrebenia.

Skúmané návary sa medzi sebou výrazne líšia štruktúrnou stavbou. Elektróda E 508 B reprezentuje návar na báze stredne legovanej ocele s obsahom C do 0,4%. Štruktúra návaru E 508 B bola bainitická disperzne vystužená karbidickou fázou - obr.7. Najvyššie hodnoty opotrebenia sa u tohto návaru dosiahli pri uhloch dopadu abraziva 75° a 90°. Pri týchto uhloch je rázová energia dopadajúcich častíc najvyššia a spôsobuje spevnenie matrice a vylupovanie karbidických častíc. Pri uhle 30° je dopadová energia častíc malá a tieto môžu povrch zaťažiť iba v medziach pružných deformácií. Vysoká kinetická energia dopadajúcich častíc sa prejavila na povrchovom spevnení návarov. Výsledky merania mikrotvrdosti po 500 obehoch ukázali, že maximálne spevnenie skúmaných materiálov bolo dosiahnuté pri uhle dopadu 90°, kde sa v najväčšej miere prejavuje kovací účinok dopadajúcich častíc. U návarov E 508 B sa dosiahol nárast mikrotvrdosti o 12 % u návarov E 518 B o 18 %. Smerom od povrchu do materiálu hodnota mikrotvrdosti prudko klesá. Najvýraznejšie sa spevnenie prejavilo do hĺbky 0,25 mm pod povrchom materiálu. S klesúcim uhlom dopadu častíc hodnota spevnenia klesala.

Dosiahnuté výsledky opotrebenia etalónu a návaru E 508 B sú v súlade s literárnymi údajmi. Mäkké a húževnaté materiály dosahujú maximálne opotrebenie pri uhloch dopadu 10 až 45°, pri veľkých uhloch je opotrebenie menšie. U tvrdých a krehkých materiáloch je intenzívne opotrebenie eróziou pri veľkých uhloch dopadu (5).

Aj napriek tomu, že tvrdosť návarov E 518 B sa výrazne neodlišuje od návaru E 508 B, priebeh opotrebenia pri vyšších uhloch nie je v súlade s literárnymi údajmi a poukazuje na zložitosť procesu opotrebenia. Z uvedeného vyplýva, že okrem tvrdosti v procese opotrebenia zohráva dôležitú úlohu aj ďalší faktor a tým je štruktúra návarov (6,7). Štruktúra návarou E 518 B je v dôsledku vysokého obsahu uhlíka ledeburická a vzhľadom na vysoký obsah chrómu sa v štruktúre nachádzajú ako primárne tak aj sekundárne karbidy, morfologicky vylúčené masívne aj disperzne - obr.8. Tvrdosť matrice a karbidov dosahuje vysokých hodnôt, čo sa prejavilo nízkymi hodnotami hmotnostného opotrebenia pri uhle 90°. Materiál je síce vysokopevný (tvrdý), ale s malou zásobou plastickej deformácie, teda je krehký. K týmto vlastnostiam pristupuje aj nízka pevnosť hraníc zŕn. To znamená, že kohézna pevnosť hraníc a subhraníc je

podstatne nižšia ako pevnosť matrice. Oddeľovanie materiálu pri uhloch dopadu abrazíva 45° a 75° je realizované dekohéziou častíc a oddeľovaním štiepnym mechanizmom (3). Výsledkom sú vysoké hodnoty opotrebenia pri skúmaných uhloch dopadu častíc. Uvedenú interpretáciu je nutné overiť výskumom mechanizmu opotrebenia návarov v daných podmienkach.

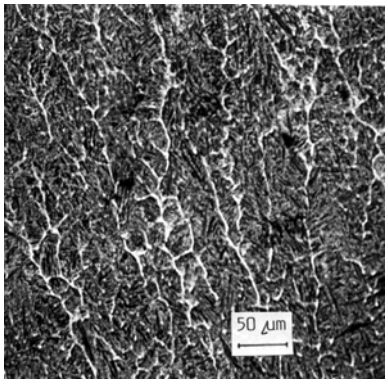

Fig.7 Structure of hard facing material E 508 B

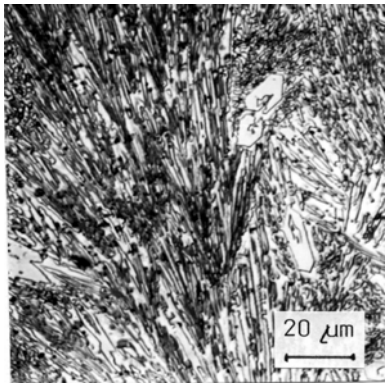

Fig.8 Structure detail of hard facing material E 518 B

Záver

Na základe dosiahnutých výsledkov výskumu priebehu opotrebenia materiálov rôznej tvrdosti a štruktúrnej stavby realizovaného pri rôznych uhloch dopadu častíc môžeme konštatovať nasledovné závery.

- Skúmané návary vykázali v daných podmienkach erozívneho opotrebenia značnú závislosť na uhle dopadu abrazívnych častíc. Intenzita opotrebenia návarov E 508 B a etalónu v závislosti od uhlu dopadu častíc je v súlade s literárnymi poznatkami. U návaru E 518 B sú dosiahnuté výsledky opotrebenia pri vyšších uhloch dopadu v protiklade s literárnymi údajmi. Rozdielne hodnoty opotrebenia tvrdonávarov, ktoré sa výrazne nelíšia tvrdosťou súvisia s ich rôznou štruktúrnou stavbou.
- Pri vzájomnom porovnaní môžeme konštatovať, že pri návaroch E 508 B sa dosiahli podstatne vyššie hodnoty opotrebenia ako u návarov E 518 B s výnimkou uhlu 45°.
- Pri všetkých skúmaných materiáloch a uhloch dopadu častíc sa dosiahlo podstatné spevnenie povrchu materiálu do hĺbky cca 0,25 mm. Najvyššie hodnoty spevnenia boli dosiahnuté pri uhle 90°.
- Na základe dosiahnutých výsledkov je možné konštatovať, že tvrdosť materiálu je jedným z významných faktorov oteruvzdornosti v podmienkach erozívneho opotrebenia, čo sa prejavilo v rozdielnych hodnotách veľkosti opotrebenia etalónu a tvrdonávarov. Potvrdil sa výrazný vplyv uhlu dopadu abraziva na veľkosť opotrebenia. Zníženie intenzity opotrebenia pri kolmom uhle nárazu je možné vysvetliť vplyvom interakcie dopadajúcich a odrazených častíc s povrchom skúšobných vzoriek. Na povrch dopadá iba časť abraziva a zvyšok ovplyvňujú parametre prúdu abraziva. Preto pri tvrdých návaroch s martenzitickou matricou a vysokým podielom tvrdých karbidov je maximálne opotrebenie pri uhle 75° (8).
- Odolnosť proti erozívnemu opotrebeniu okrem tvrdosti je značne závislá od druhu, rozloženia a vzájomnej väzby štruktúrnych zložiek. Vysoká pevnosť matrice a podiel

komplexných karbidov chrómu v štruktúre návaru (E 518 B – C 3,5%, Cr 27,5%) bráni vnikaniu hrán dopadajúcich častíc do povrchových vrstiev návaru a ich reznému účinku (9). Štruktúra materiálov je teda ďalším faktorom, ktorý výrazne ovplyvňuje ich tribologické vlastnosti.

Literatúra

[1] Blaškovitš, P., Čomaj, M.: Renovácia naváraním a žiarovým striekaním. Alfa, Bratislava, 1991
[2] Blaškovitš, P. et al.: Návarové materiály pre abrazívne a erozívne opotrebenie. Zváranie – Svařování, 11-12/2001, s.258-261, ISSN 044-5525
[3] Jankura, D. : Príspevok k vlastnostiam renovačných vrstiev na báze tvrdonávarov a keramických povlakov. Habilitačná práca. Košice, jún 2000
[4] Brezinová, J.: Štúdium zákonitostí procesu tryskania z aspektu degradačných javov. Doktorandská dizertačná práca, SjF TU Košice, 2002
[5] Vocel, M.: Trení a opotrebení strojních součástí. Praha,SNTL,1976
[6] Adamka, J., Petríková, G.: Vplyv štruktúry návarov na odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu. In.: Intertribo 93, Bratislava, 1993, s. 70
[7] Hammer, P.: Some metallurgical aspects of wear. In.: Eurotrib 89, I, Warszawa, 1989, s.197
[8] Sorokin, G.M.: Vestnik mašinostrojenija, 1996,4., s.150-158
[9] Stevenson, A.N.J., Hutchings, I.M.: Wear, 186-187, 1995, s.150-158