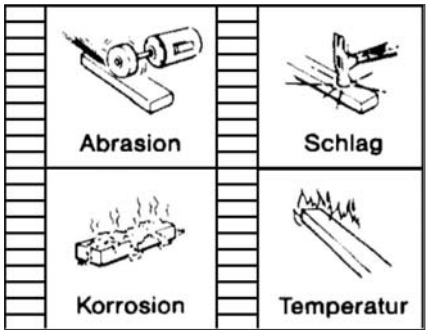
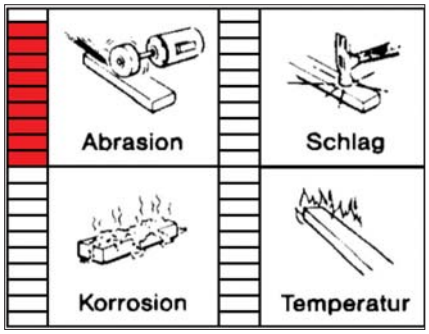
Kombinace namáhání dílů podléhajících otěru a jejich metalurgické řešení

Protože vlastnosti otěru materiálu nejsou materiálními, ale systémovými vlastnostmi, spočívá správný výběr materiálu pro boj s otěrem nejen ve srovnání tvrdosti mezi namáhanou součástí stroje a obráběným minerálním materiálem, nýbrž také v předběžném posouzení kombinace namáhání. Proto pro nauku o materiálech nepředstavuje tak často problém vývoj nových materiálů, ale spíše správný výběr nejhospodárnějšího materiálu s ohledem na existující speciální úkoly, při nichž dochází k otěru.

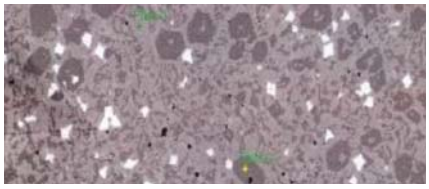


Obr. 1 – Čtyři možnosti namáhání (Abrasion = Abraze, Schlag = Úder, Korrosion = Koroze, Temperatur = Teplota)



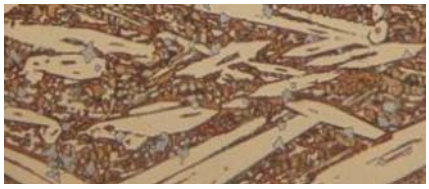
Obr. 2 – Jednoduchá abraze bez dalšího namáhání ve statických součástech (zvýrazněné zobrazení)

Obr. 3 – Díly kaskády třídiče v cementářském průmyslu. Na tomto obrázku má účinný materiál Vickersovu tvrdost mezi 450 a 580 HV [1]

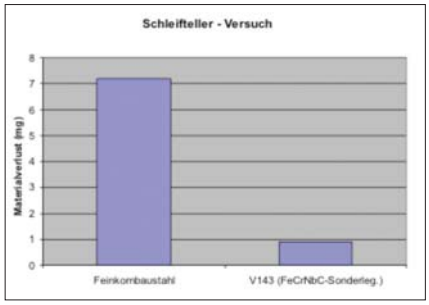


Obr. 4 – Karbidy niobu v Fe-Cr-C legování (analýza výbrusu EDAX)

Obr. 5 – Snímky klasického materiálu proti čistému abrazivnímu otěru pořízené světelným mikroskopem, slitina FeCrC



Obr. 6 – Snímky často používaného materiálu proti abrazivnímu otěru a mírnému nárazu pořízené světelným mikroskopem, slitina FeCrNbC



Obr. 7 – Srovnání pokusů s brusným talířem na jemnozrnné stavební oceli a slitině FeCrNbC

1. ÚVOD

V článku jsou diskutovány čtyři různé úkoly spojené s otěrem, které jsou definovány a diskutovány se čtyřmi různými kombinacemi namáhání, k nimž je doplněno odpovídající metalurgické řešení:

a) „Čistý" abrazivní otěr podle kaskády třídiče v cementářském průmyslu.
b) Kombinace abrazivního zatížení a nárazového zatížení, ke kterému dochází při drcení granitu kuželovými drtiči.
c) Abrazivní otěr v kombinaci namáhání s vyššími teplotami, což se děje v ocelárnách v případě roštových nosníků nebo žlabů vysokých pecí.
d) Kombinace abrazivního namáhání a koroze, kterou je možné zaznamenat jako převládající kombinaci namáhání u šnekových dopravníků při recyklaci odpadu.

Ve všech čtyřech případech je nutná předběžná zkouška rozdílů tvrdostí: Uvnitř systémů s otěrem by měl být obráběný nebo transportovaný materiál s otěrem významně méně tvrdý než součást stroje [1-5]. Toto ověření věrohodnosti se ukazuje jako nutné, ale není dostačující pro úspěch v rámci jmenovaných kombinací namáhání.

2. OTĚR JEDNODUCHOU ABRAZÍ

2.1 Stanovené úkoly

Při výrobě cementu se na různých místech procesu objevují známky otěru. Velice často mají tyto jevy otěru výlučně abrazivní charakter:

a) v případě získávání surovin na korunkách vrtáků, korbách nákladních vozů, otočných násypkách, lopatkách na směsi a dopravnících;
b) při spalování slinku na přepravních zařízeních;
c) při zpracování slinku v třídičích, cyklónech a ventilátorech;
d) při dopravě cementu ve skluzech a pytlovacích strojích.

Pokud je zasažený materiál během procesu výroby cementu měkčí než kovový materiál stroje, dochází jen k malému otěru. Nacházíme se v tzv. dolní poloze systému otěru. Pokud je naopak zasažený minerál tvrdší než vybrané základní kovové tělo, dochází k výraznému otěru. V tomto případě mluvíme o tzv. vysoké poloze [1, 6].

V oblastech, kde jsou tvrdosti základního těla a protilátky přibližně stejné velké, dochází k prudkému přírůstku. V této oblasti způsobují už drobné změny uvnitř systému otěru, např. metalurgické zlepšení základního tělesa, značné prodloužení životnosti [5] . V případě kaskády třídiče při výrobě cementu nezávisí nutně na absolutní tvrdosti materiálu pro základní těleso ohrožené otěrem, spíše záleží na rozdílu tvrdosti vůči zasaženému materiálu.

2.2 Metalurgické řešení

V těchto případech je už desetiletí používáno obvykle nadeuktické legování s vysokým obsahem uhlíku/chromu. Obsahuje primární chromkarbidy s mikrotvrdostí 2400 vickerů [1], zalité do eutektické struktury, která se skládá z austenitu a sekundárních chromkarbidů. Tyto sekundární chromkarbidy přispívají rovněž k odolnosti celého systému vůči otěru. Velice často jsou vedle těchto velmi účinných chromkarbidů také ještě dodatečně použity karbidy niobu. Tyto „hvězdice karbidu niobu", které jsou zřetelně viditelné v metalurgické analýze, přispívají k životnosti součásti, protože díky ještě vyšší mikrotvrdosti 2500 vickerů zvyšují rozdíl tvrdosti zpracovávaného cementového materiálu.

Kromě toho zkracují karbidy niobu na základě jemného rozdělení trhliny této slitiny, která je jinak odolná vůči trhlinám, takže tento klasický abrazivní materiál může rovněž snést mírné nárazové zatížení [7]. Na obrázcích 5 a 6

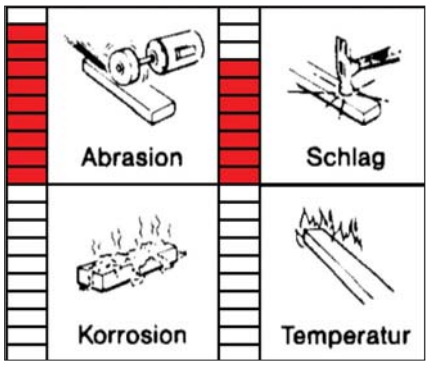
je vidět metalurgická struktura obou známých řešení ve světelném mikroskopu: v prvním případě čistá slitina železa, chromu a uhlíku s celkovou tvrdostí cca 61 HRC (obrázek 5), v druhém případě slitina železa, chromu, niobu a uhlíku s celkovou tvrdostí 64 dle Rockwella. Karbidy niobu zesilují klasický materiál složený z železa, chromu a uhlíku, který má už hodnotu 60 podle Rockwella.

Oba materiály jsou po desetiletí používány s velkým úspěchem v mnoha aplikacích, nejen v cementářském průmyslu.

Na rozdíl od použití jemnozrnné konstrukční oceli nabízí oba materiály 7 až 8krát delší životnost při stejné tloušťce nebo konstrukci dílu podléhajícího otěru.

3. ABRAZIVNÍ OTĚR VE SPOJENÍ S NÁRAZEM

3.1 Zadání úlohy



Obr. 8 – Zvýrazněné zobrazení kombinace namáhání abrazí a nárazem, které je využíváno v prodejních příručkách

Obr. 9 – Řez konstrukcí kuželového drtiče

Obr. 10 – Zobrazení kuželového drtiče v hrubém provozu

Kombinace namáhání nárazem a abrazí se vyskytuje zvláště při drcení středně tvrdých až těch nejtvrdších materiálů pomocí kuželového drtiče. Jako vsázka pro kuželový drtič přicházejí v úvahu: horniny všeho druhu, štěrk, rudy, šamot, struska i další tvrdé horniny jako živec (tvrdost podle [1]): 600–750 HV10 a pazourek (tvrdost dle [1]): 800 – 1 000 HV10.

Kuželové drtiče obvyklé konstrukce jsou převážně z tvrdé manganové oceli, která se při zatížení nárazem a otěrem sama vytvrzuje, a chová se tak odolně vůči tlaku a otěru v rámci určitého rozsahu životnosti. Na obrázcích 9 a 10 je znázorněno zadání úlohy. Materiál určitého kamenolomu nebo skrývky je drcen na požadovanou velikost zrna.

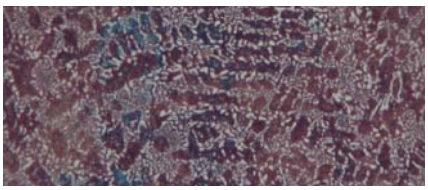
3.2 Metalurgické řešení

Zásadní změna konstrukce kuželovitých drtičů spočívá v nanášení houževnatých navařovaných materiálů na kuželové drtiče z tvrdé manganové oceli nebo ocelové litiny.

Navařený materiál je nanášen v tloušťce více než 50 mm a chová se vůči otěru ve spojení se silnými nárazy několikanásobně lépe než tvrdá manganová ocel a je na základě svého složení odolný vůči úderu a tlaku. Navařený materiál obsahuje podeutektický svarový kov odolný vůči otěru a nárazu, srovnatelný s bílým litým železem.

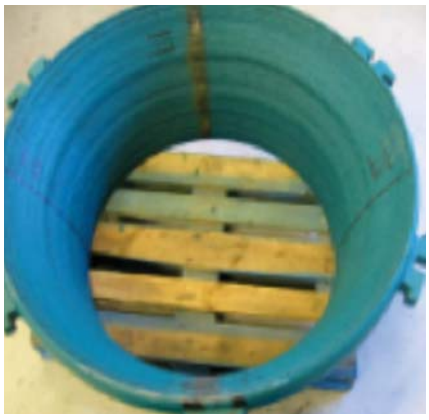
Svarový kov není už ve stavu svařování přesoustružitelný. Pokud je to nutné, mělo by být proto třískové obrábění provedeno v popuštěném stavu, Svarový kov je na základě své

Obr. 11 – Nástroj kuželového drtiče s navařenou vrstvou



Obr. 12 – Analýza podeutektického opancéřovaného materiálu pro nástroje kuželového drtiče s pomocí světelného mikroskopu

tvrdosti 55 HRC stále ještě lehce s trhlinami. Obrázky 13 a 14 ukazují stojící a rotující části kuželového drtiče, přičemž na oba nástroje byl nanesen navařený materiál. Oproti již velice úspěšné tvrdé manganové oceli bylo při předložené změně konstrukce, kterou je možné pro-



Obr. 13 – Opancéřovaný díl kuželového drtiče před vsazením

Obr. 14 – Opancéřovaný díl kuželového drtiče po nasazení v kamenolomu

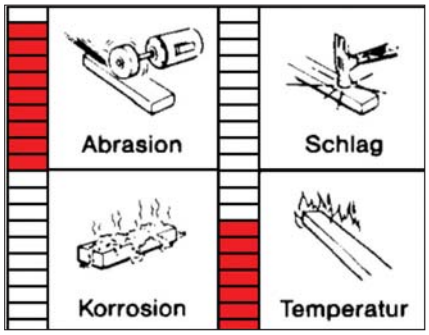
vést u nových dílů i v rámci regenerace, pozorováno prodloužení životnosti o 2 až 5násobek.

Použití tvrdé manganové oceli jako hlavního materiálu vyžaduje vhodné vedení teploty při navařování. Pokud je použita běžná konstrukční ocel, nemá navařování na rotujícím otočném stole žádné zvláštní požadavky na svařovací techniku. I v tomto případě je rozdíl tvrdosti mezi drceným kamenem a tvrdonavařováním na kuželový drtič rozhodující pro prodloužení životnosti.

4. OTĚR DÍKY ABRAZI VE SPOJENÍ SE ZVÝŠENOU TEPLOTOU

4.1 Zadání úlohy

Zavážení vysoké pece rudou, uhlím a přísadami probíhá na různých konstrukcích. Nejčastěji se používají zvony vysoké pece a kanály nebo žlábky, přes které klouže celá vsázka. V každém případě podléhají tyto konstrukce silnému abrazivnímu zatížení, které probíhá prostřednictvím sálavého tepla nebo teplého kychtového plynu při vyšších teplotách mezi 500 a 850°C.



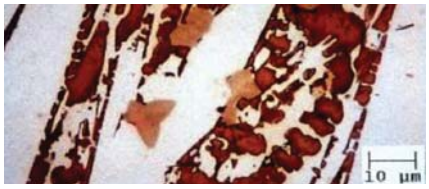
Obr. 15 – Zvýrazněné zobrazení kombinace namáhání abrazí a teplotou, které je využíváno v prodejních příručkách

Obr. 16 – Žlab vysoké pece

Klasické navařování v jednovrstvém provedení přitom vedla k nedostatečně vysoké trvanlivosti. Jsou proto vyžadována tvrdá pancéřování s podstatně vyšší tvrdostí při vyšších teplotách a s vícevrstvými navařeními. Konstrukčně byla tato řešení natolik vylepšena, že je požíváno více navařených tvářených plechů nad sebou, které se překrývají jako šindele tak, že je využitelná tloušťka otěru podstatně větší. K tomu navíc zavedli konstruktéři hrboly pro autogenní ochranu proti otěru, které musí být rovněž opatřeny navařovaným materiálem s vysokou odolností vůči vysoké teplotě.

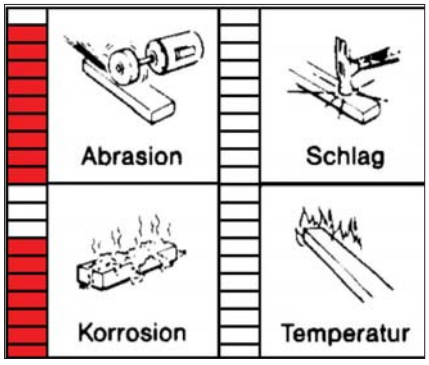
4.2 Metalurgické řešení

Již delší dobu známé metalurgické řešení spočívá v použití wolframu, vanadu, molybdenu a karbidu niobu v již známé eutektické



Obr. 17 – Analýza navařovaných materiálů s W-, V- a Nb speciálními karbidy pro použití při zvýšené teplotě

Obr. 18 – Analýza ternárního materiálu s 5 % C a 40 % Cr s použitím světelného mikroskopu



Obr. 19 – Zvýrazněné zobrazení kombinace namáhání abraze a koroze, které je využíváno v prodejní příručce

struktuře z austenitu a karbidu chromu. Tyto karbidy vedou k vyšší tvrdosti při vysokých teplotách tak, že použití těchto vysoce kvalitních navařovaných materiálů umožnilo efektivní zvony a žlábky vysokých pecí.

Na základě inovativní slévárenské slitiny [8] je ale možné vyvíjet značně nákladově výhodnější navařovaný materiál s odolností vůči vysoké teplotě. Tento navařovaný materiál obsahuje až 40 % chromu a více než 5 % uhlíku [9]. Tyto přísady vedou k podstatně tvrdším karbidům chromu, protože železo ve smíšených karbidech z chromu, železa a uhlíku je potlačeno [9]. Kromě toho vzniká vyšší objem těchto tvrdých, primárně vylučovaných a relativně čistých karbidů chromu. Ternární stavový diagram železo-chrom-uhlík probíhá v tomto místě příkře směrem k vyšším teplotám, což dodatečně vysvětluje také vyšší tvrdost při vysokých teplotách.

Použití tohoto navařovaného materiálu, který je rovněž odvozen ze slévárenské slitiny, vedlo ke stejné životnosti jako navařovaný materiál odolný vůči vysokým teplotám s wolframem a speciálními karbidy, má ale značně nižší náklady. To je důležitým aspektem, zvláště když v posledních letech dramaticky vzrostly ceny surovin téměř všech součástí, které se podílí na tomto navařovaném materiálu. Nahrazeny jsou materiály molybden, wolfram, niob a vanad; je ale více využíván chrom. I když i tato součást slitiny v posledních měsících zaznamenala dramatický nárůst cen, vychází kalkulace stále ještě cenově výhodněji. Doby životnosti jsou podle dosavadních pozorování stejně dlouhé.

5. OTĚR DÍKY ABRAZI VE SPOJENÍ S KOROZÍ

5.1 Zadání úlohy

14 m dlouhý šnekový dopravník pro přepravu zbytkového odpadu podléhá v provozu silné abrazi a dodatečnému korozivnímu zatížení.

Obr. 20 – Příklad transportního šneku

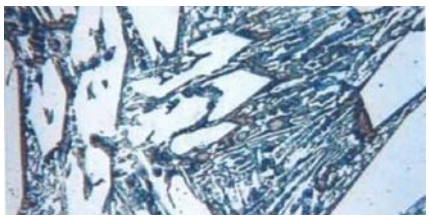
Opad je nedefinovatelný; skládá se z textilu, papíru, plastů a organických zbytků. Obsahuje také tvrdší části jako sklo a kovový šrot; usazeniny zbytkového odpadu mají hodnotu PH 4,5. Analýza potvrdila vysokou koncentraci octové kyseliny a mravenčí kyseliny i vyvolanou chloridaci a sulfataci.

Jednoduché řešení s pomocí austentického materiálu s odolností vůči rzi je pro tyto účely nedostatečně odolné vůči abrazi a také řešení s jemnozrnnými konstrukčními ocelemi s relativní odolnosti vůči otěru neposkytují dostatečnou odolnost vůči korozi pro tuto složitou kombinaci namáhání. Byl proto vyvinut šnek z duplexní oceli jako základní materiál s navařenou látkou, která je odolná vůči otěru i korozi.

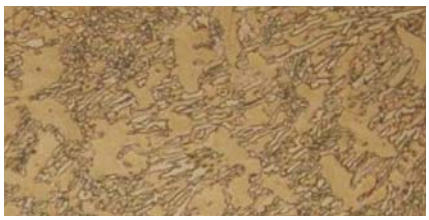
5.2 Metalurgické řešení

Je známo, že klasický materiál proti otěru z železa-chromu-uhlíku nevykazuje odolnost vůči korozi. Přítomnost primárních karbidů chromu způsobuje oslabení obvyklé struktury chromu. Korozní zásah nastává proto už při PH7 a při běžných povětrnostních podmínkách.

Tato struktura náchylná ke korozi se ovšem může stát odolnější díky přísadám niklu



Obr. 21 – Známá slitina FeCrC, která není vhodná pro napadení korozí



Obr. 22 – Struktura materiálu odolného vůči korozi a otěru na základě FeCrNiMoC

VAUTID®

VAUTID / SP

Firma UnionOcel je specialistou na technická opatření pro ochranu výrobních zařízení před jejich rychlým opotřebením abrazí a nabízí komplexní řešení prodloužení jejich životnosti. Požadavky zákazníků na snižování nákladů ve výrobě jsme připraveni řešit nabídkou otěruvzdorných kompozitních tvrdonávarových plechů značky VAUTID.

www.unionocel.cz

UnionOcel

PÁLENÍ PLECHŮ

- Pálení tvarových výpalků
- Pálení úkosů, resp. příprava svarových hran
- Pálení autogenním pálícím strojem ESAB SUPRAREX SXE - P6000
- Pálení plazmovým strojem ESAB EAGLE 3500
- Pálení plazmovým strojem PIERCE RUM 3500
- Pálení úkosů, resp. příprava svarových hran na pálícím strojku MESSER PORTACUT

DALŠÍ ZPRACOVÁNÍ PLECHŮ

- Stříhání
- Ohýbání
- Obrábění

UnionOcel s.r.o.
Radlická 740/113c
158 00 PRAHA 5 - Nové Butovice
Telefon +420 251 013 048
Telefax +420 251 013 050
e-mail: info@unionocel.cz

Panská 1444/14
724 21 KOPŘIVNICE
Telefon +420 556 209 913
Telefax +420 556 209 956

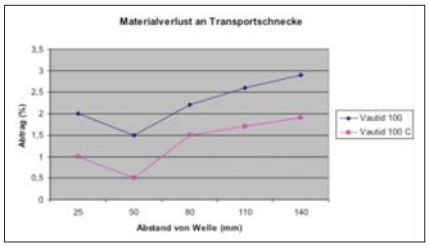
Obr. 23 – Transportní šnek s různými zkušebními materiály

Obr. 24 – Deska vystavená opotřebení po více než 1 000 hodinách nasazení

a molybdenu. Použití navařovaných materiálů umožňuje flexibilitu ve výběru slitiny tak, že je možné vložit požadované součásti slitiny z chromu, niklu a molybdenu do prášku plněného drátu nebo procesu navařování. V předloženém případě to bylo úspěšně provedeno. Skrze primárně se objevující austenity vznikla látka odolná vůči korozi, která spočívá ve struktuře z chromu, niklu, molybdenu, austenitu a karbidů chromu, která je odolná vůči otěru.

V předkládaném případě byly segmenty z různých materiálů přizpůsobeny a přivařeny do jednoho transportního šneku. K různým materiálům patří jemnozrnné konstrukční oceli, duplexní oceli, tvrdonávary FeCrC a dokonce pancéřovaný materiál FeCrNiMoC zesílený proti korozi. Na obrázku 23 je zobrazeno schéma zkoušky transportního šneku.

Výsledky byly velice přesvědčivé: Zatímco v případě běžných navařovaných látek z železa, chromu a uhlíku klesla míra opotřebení povrchu materiálu na 1/5 odebraného materiálu jemnozrnné konstrukční oceli, nevzniká v případě navařovaných látek odolných proti korozi skoro žádné opotřebení povrchu na výše popsaných konstrukcích přepravního šneku. Tvrdonávary pouze ztrácí barvu; nevykázaly jako v případě navařených plechů ve vozidlech pro



Obr. 25 – Srovnání materiálů s odolností vůči korozi a bez ní

Obr. 26 – Shrnutí metalurgických řešení

svoz odpadů žádný otěr, který by vyžadoval zmínku.

Na rozdíl od předešlé kombinace namáhání otěrem a teplotou vzniklo při kombinaci namáhání otěrem a korozí dražší řešení. Popsané řešení je více než dvakrát dražší než navařovaný materiál proti jednoduchému otěru, nevykazuje ale i přes korozivní médium žádné zásadní opotřebení povrchu při použití. Díky tomuto materiálu se nacházíme ve spodní poloze opotřebení ve spojení s korozí.

6. SHRNUTÍ

Za pomoci portfolia pro namáhání otěrem je na 4 příkladech ukázáno, že pro kombinaci namáhání dle zadaného portfolia existují odpovídající metalurgická řešení, která mohou být vyrobena jako navařovaný materiál a mohou být použita pro jednotlivé aplikace.

a) Pro abrazivní otěr se doporučuje materiál FeCrC s příměsí niobu nebo bez ní.
b) Pro abrazivní otěr s dodatečným nárazovým namáháním je podle materiálů z tvrdé litiny navržena podeutektická slitina FeCrC.
c) Pokud musí být namáhání otěrem provedeno při vyšších teplotách, je použita známá ternární slitina FeCrC s vyšším obsahem chromu.
d) V případě dodatečné koroze by měla být austentická struktura zesílena pomocí Ni a Mo.

Flexibilita plněných drátů nebo elektrod je přitom použita pro výrobu slitiny. Navržená řešení poskytují jednak nákladově výhodný materiál nebo zvýšenou životnost součásti vystavené otěru, což vede také k nižším nákladům, když se započítá údržba a doby odstávky.

ZDROJE INFORMACÍ:

1. H. Uetz (Hrsg.) et al.; Abrasion und Erosion; Carl Hanser Verlag, München (1986) 1-59
2. H. Riegger, W. Wahl; Verschleißschutz in der Ziegelindustrie; Ziegelindustrie International 5 (2005)
3. H. Wahl, G. Kantenwein, L. Rzepka; Hartzerkleinerung und Verschleiß; Aufbereitungstechnik 4 (1963) 47-58 und 91-111
4. W. Wahl; Verbesserung des Verschleißschutzes der Mahlwalzen von Walzenschüsselmühlen; Zement-Kalk-Gips 47 (1994) 206-210
5. W. Wahl; Verschleißschutz bei Abrasivschäden, VDI-Bericht-Nr. 1231 (1995) 15-39
6. W. Wahl; Neue Möglichkeiten des Verschleißschutzes in der Zementindustrie, Zement-Kalk-Gips 40 (1987) 41-43
7. H. Riegger, W. Wahl; Die Verschleißverbundplatte – das Halbzeug zum erfolgreichen Einsatz gegen Abrasion, Aufbereitungstechnik 47 (2006) 6-16
8. M. Feltz; Verwendung eines legierten Gusseisens als Werkstoff für verschleißfeste Bauelemente; Patentschrift 2230864, Deutsches Patentamt, Ausgabetag: 14. 12. 1978
9. P. Villars et al.; Handbook of ternary alloy phase diagrams; Materials Park, Ohio, ASM International, Volume 5

Dr. rer. nat. Helmut Riegger,
Dipl.-Ing. Dirk Wolf, VAUTID GmbH,
Ostfildern u Stuttgartu (Německo)
UnionOcel - výhradní zastoupení VAUTID
(více na www.unionocel.cz)

A combination of components stress subject to abrasion, and their metallurgical solutions
Because the properties of abrasion of material are not material, but system properties, a correct selection in the fight against abrasion lays not only in comparison of the hardness between the strained component of the machine and machined mineral material, but also in the preliminary assessment of the combination of stress. Therefore, the development of new materials do not represent such a problem but it is rather a correct selection of the most economical material with respect to existing special tasks which involve the abrasion.

Комбинация нагрузок на части оборудования, подвергающиеся износу, и металлургическое решение этой проблемы
Поскольку характер износа является системным для многих частей оборудования, подвергающихся нагрузке, правильный выбор материала для успешной борьбы с износом заключается не только в сравнении твёрдости между частями оборудования и обрабатываемым минеральным материалом, но и предварительной оценке комбинации нагрузок. Поэтому для науки о материалах проблема заключается не столько в создании новых материалов, сколько в правильном выборе самого экономичного материала с точки зрения существующих специальных задач, при которых происходит износ частей оборудования.