

Bohumír H a a s, VÚHU

Dosavadní výsledky prací na výbuchovém zpevňování zubů velkostrojů

Bisherige Ergebnisse der Entwicklungsarbeiten am Explosionsverfahren der Zähneverfestigung von Großgeräten

Der Beitrag faßt bisherige, meistens Laborergebnisse, der Untersuchung über die Verfestigung der Schneidorgane von Gewinnungsgeräten durch das Explosionsverfahren zusammen. Aus den Ergebnissen von metallographischen Proben ergeben sich die Anwendungsgrenzen der entwickelten Methode zur Stahlverfestigung, die durch die Zusammensetzung- und Materialstruktur bestimmt sind.

Results of the works, done until now, on blasting hardness of teeth of giant machines

The article summarizes the results of the works, done until now, essentially laboratory, in the connection with blasting hardness of cut organs of excavating machines. From the results of metallographical test then follow the limits of use ability of proposed method of hardness of the steel, given by the composition and structure of material.

1. Úvod

V souvislosti s těžbou ve složitých geologických podmínkách skryvkových partií hnědouhelných lomů vyvstávají mnohé problémy, spojené s rozpojováním pelokarbonátových proplátek, abrazivních materiálů apod. Tyto problémy se promítají u rýpadel nejen do výkonových parametrů v důsledku rypných odporů, ale současně ovlivňují životnost některých uzlů strojů. V první řadě jsou to elementy, vystavené přímým účinkům sil, tj. vlastní rypné orgány. Účinek rozpojování pelokarbonátových horizontů se projevuje nadměrným opotřebením až destrukcí zubů. Laboratorní měření prokázala, že pokud abrazivnímu opotřebení předchází deformace ostří rozpěchováním, je výsledný úbytek zubů značně vyšší. Pro zvýšení výkonů rýpadel a snížení měrné spotřeby elektrické energie je proto důležité dodržet optimální (výchozí) geometrii rypných orgánů po celou dobu jejich životnosti. Prakticky to znamená zvýšení rozhodujících parametrů (tvrdost, houževnatost, otěruvzdornost) na činných plochách řezných orgánů.

Имеющиеся результаты работ по взрывному упрочнению зубьев крупных добычных механизмов

Статья обобщает достигнутые до сих пор, в сущности лабораторные результаты работ, связанных со взрывным упрочнением режущих органов добычных механизмов. Из результатов металлографических испытаний вытекают пределы применимости предлагаемого метода упрочнения стали, определение составом и структурой материала.

Dosavadní výsledky prací na výbuchovém zpevňování zubů velkostrojů

Článek shrnuje dosavadní, v podstatě laboratorní výsledky prací, v souvislosti s výbuchovým zpevňováním řezných orgánů dobývacích strojů. Z výsledků metalografických zkoušek pak vyplývají hranice použitelnosti navržené metody zpevňování ocelí, dané složením a strukturou materiálu.

2. Průběh řešení

Práce byly zahájeny v souladu s projektem úkolu v lednu 1992. Věcný obsah projektu úkolu byl konzultován s odborníky VÚPCH Pardubice, kteří mají v aplikaci výbušnin při tváření a plátování kovů dlouhodobou praxi. Výsledkem bylo zjištění, že zkušenosti s výbuchovou úpravou druhů ocelí, z nichž jsou zuby velkostrojů vyrobeny, neexistují. Rovněž literaturní údaje se týkají pouze vysokolegovaných ocelí, např. Hatfieldova ocel s obsahem cca 14 % Mn. Při nedostatku výchozích informací byly nejprve stanoveny základní parametry použitých ocelí, identifikace vhodné trhaviny apod.

Problém volby vhodné trhaviny byl konzultován s odborníky fy Explosia Pardubice, VÚPCH a VŠCHT Pardubice. Vycházeli jsme přitom ze shodného názoru, že trhavina musí splňovat tato kritéria:

- vysokou detonační rychlost
- vysoký detonační tlak (cca 20 GPa)
- nízký spodní kritický průměr (cca 2 - 3 mm)
- vysokou přilnavost (plasticita) trhaviny.

Ze sortimentu vyráběných trhavin všem uvedeným podmínkám vyhovuje speciální plastická trhavina SEMTEX 10.

Možnost dodávky této trhaviny byla projednána s výrobcem VCHZ Synthesia Pardubice s tím, že VÚPCH je schopen dodat SEMTEX 10 ve foliích o tloušťce 3 mm, vyrobených v tamějším poloprovozním zařízení. Bohužel, 10. 2. 1992 byla rozhodnutím FMV a FMNO zakázána distribuce trhavin, pokud nejsou značkovány (zjistitelnost detektory apod.). Protože technologie značkování je v současné době vyvinuta a schválena pouze pro velkopřůměrové náložky, možnost dodávek tím byla vyloučena. Navazujícím jednáním bylo rozhodnuto, že do doby, než bude schválena technologie značkování trhavin ve foliích, lze výbuchovou úpravu zubů provést buď pouze na střelnici VÚPCH jejich pracovníky nebo i v SHR, ale opět pouze pracovníky VÚPCH. V dubnu 1992 bylo dovezeno 10 ks zubů na střeliště VÚPCH a po jejich nastřelení pak byly zuby dodány k metalografickým zkouškám do zkušebny materiálů Chemopetrol Litvínov.

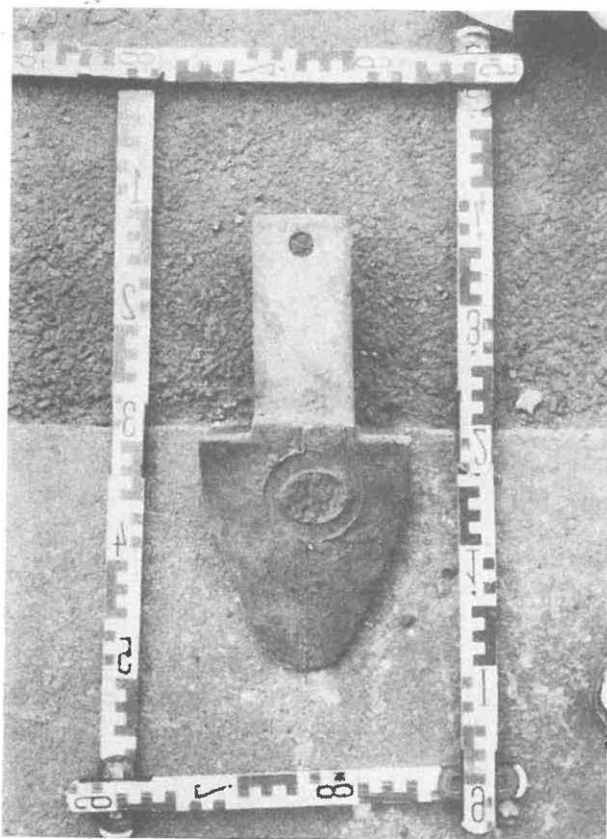
Paralelně s problémem zajištění vhodné trhaviny byla řešena otázka současné (mžikové) iniciace obou protilehlých náloží, adjustovaných na tvářených plochách zubu. V této souvislosti byly pomocí univerzálního čítače BM - 641 ověřovány reakční časy a jejich rozptyl u nulových stupňů rozbušek, které jsou v ČSFR k dispozici. Z ověřovaných typů DeM, DeD, ReT a O - N lze jako nejvhodnější označit rozbušky ReT, u nichž při 10 stanoveních nepřesáhl rozptyl hodnotu 2 ms. Nevýhodou je ovšem fakt, že detonující slož rozbušky může v některých případech negativně ovlivnit hloubku dosahu pracovní nálože, nejvýrazněji pak u trhavinové fólie. Ze stejných důvodů nelze použít ani bleskovici NP - V. Po konzultacích s odborníky fy Selier - Bellot Vlašim byla pro daný účel úspěšně odzkoušena mikrobleskovice roznětného systému NOMIDET. V únoru 1992 bylo pro zkušební účely dovezeno 30 m této bleskovice.

2.1 Práce na střelišti VÚPCH Pardubice

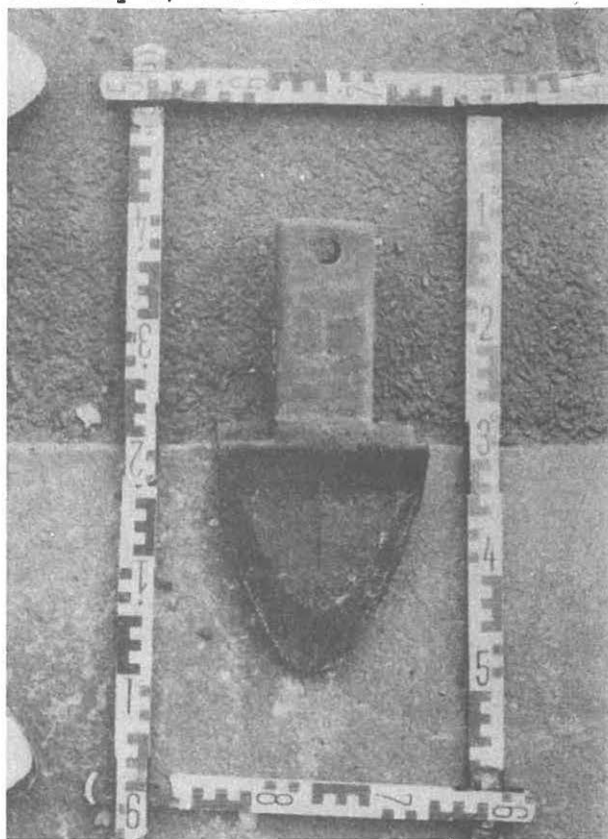
Po vyřešení problémů s trhavinou bylo dopraveno 10 ks zubů v provedení č.v. 5559, 5560 (ocel VPH) a 1 ks zubu pro RK - 5000 (ocel Škoda 100) na střelnici fy Explosia Pardubice. Ve dnech 9. - 10. 4. 1992 pak pracovníci VÚPCH provedli nastřelení dovezených vzorků (viz. fotodokumentace):

- zub č.v. 5559 - tloušťka trhaviny 3 mm jednostranně
- zub č.v. 5559 - dtto, střeleno 2 x na jednom zubu
- zub č.v. 5559 - tloušťka 6 mm jednostranně

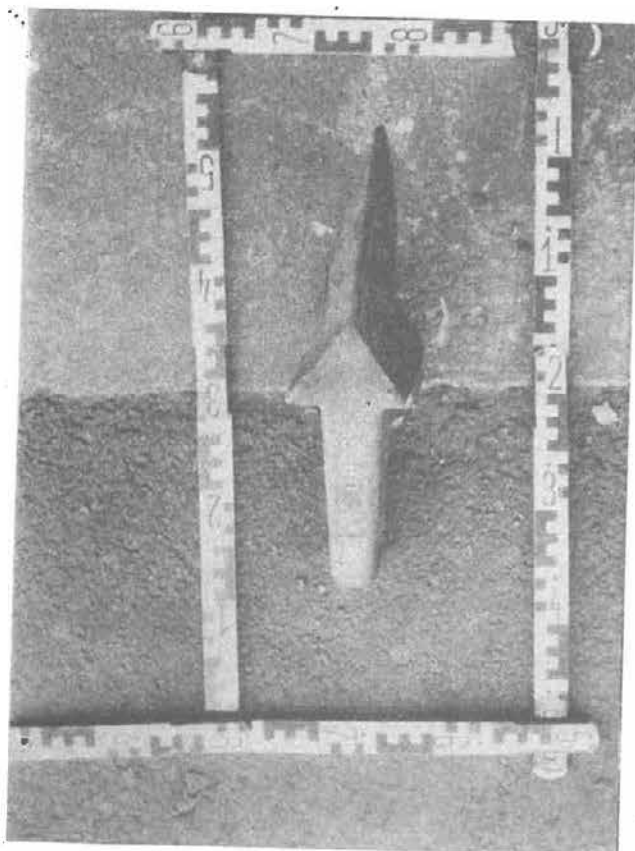
- zub č.v. 5559 - tloušťka trhaviny 3 mm jednostranně
- zub č.v. 5559 - dtto, stříleno 2 x na jednom zubu
- zub č.v. 5559 - tloušťka 6 mm jednostranně
- zub č.v. 5560 - tloušťka 3 mm oboustranně
- zub RK - 5000 - stříleno v tloušťkách trhaviny 3, 6 a 9 mm



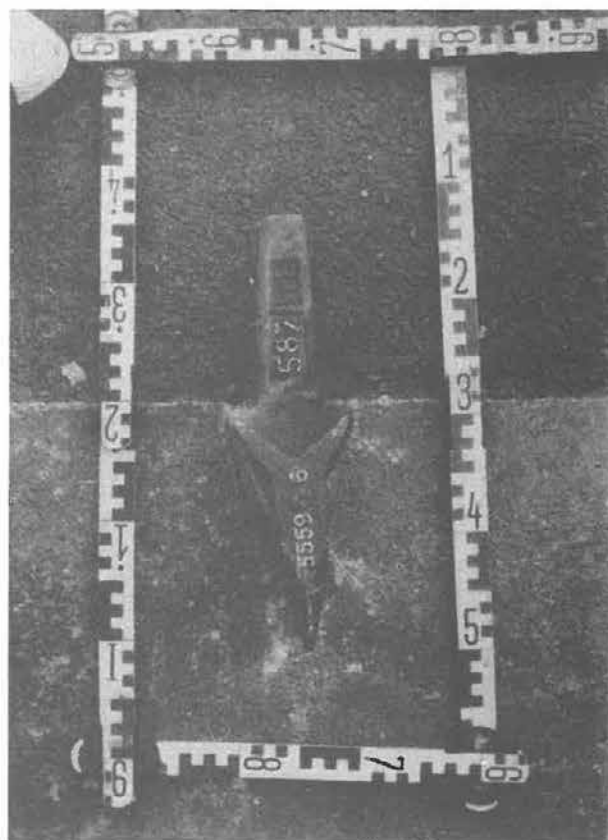
obr. 1 Zub v.č. 5560



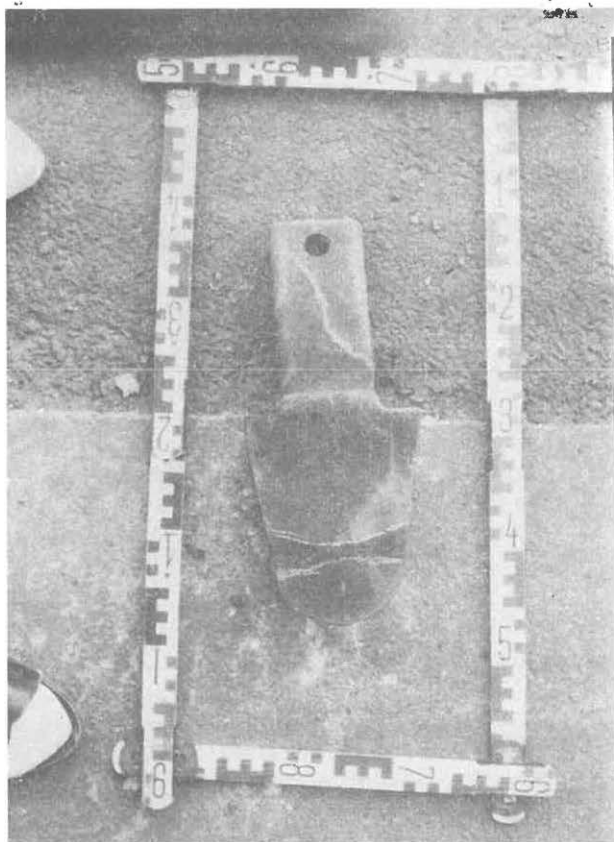
obr. 2 Zub v.č. 5560



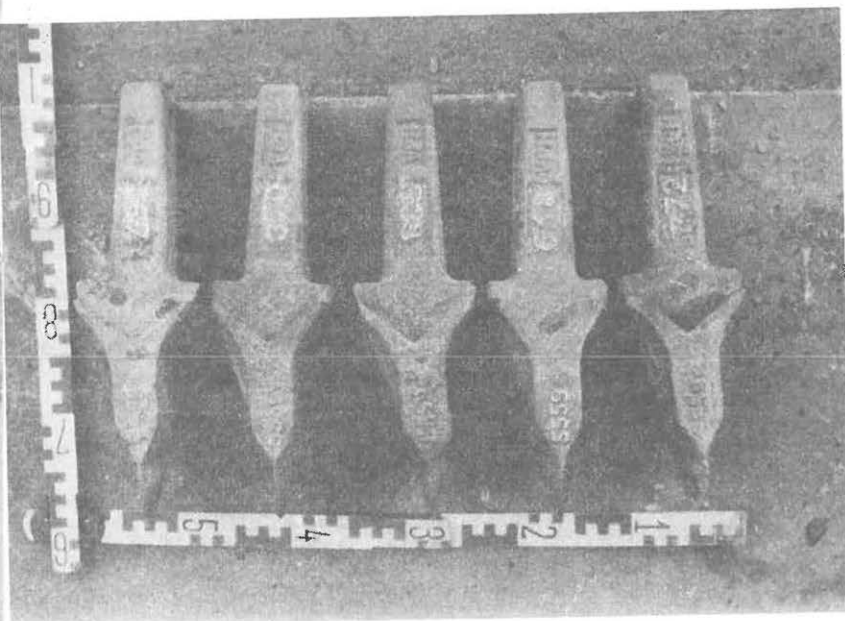
obr. 3 Zub v.č. 5560



obr. 4 Zub v.č. 5559



obr.5 Zub v.č. 5559



obr.6 Zuby v.č.5559-různé tavby

Pro doplnění spektra zkoušek byla v květnu 1992 odzkoušena v areálu pokusné štol VÚHU, a.s. i funkce trhavin SEMTEX 1 A a SEMTEX 2 PN na zubech č.v. 2671, tavby Unex a VTŽ (ocel VP - 7).

- zub č.v. 2671 (Unex) - 3 mm SEMTEX 1 A oboustranně
- zub č.v. 2671 (Unex) - 6 mm SEMTEX 1 A oboustranně
- zub č.v. 2671 (Unex) - 7 mm SEMTEX 2 PN jednostranně
- zub č.v. 2671 (Unex) - 15 mm SEMTEX 2 PN jednostranně
- zub č.v. 2671 (VTŽ) - 3 mm SEMTEX 1 A jednostranně
- zub č.v. 2671 (VTŽ) - 6 mm SEMTEX 1 A jednostranně
- zub č.v. 2671 (VTŽ) - 7 mm SEMTEX 2 PN jednostranně
- zub č.v. 2671 (VTŽ) - 15 mm SEMTEX 2 PN jednostranně

Do zkušebny byly dovezeny 2 opticky neporušené vzorky. Ve všech ostatních případech došlo k totální destrukci materiálu zubu.

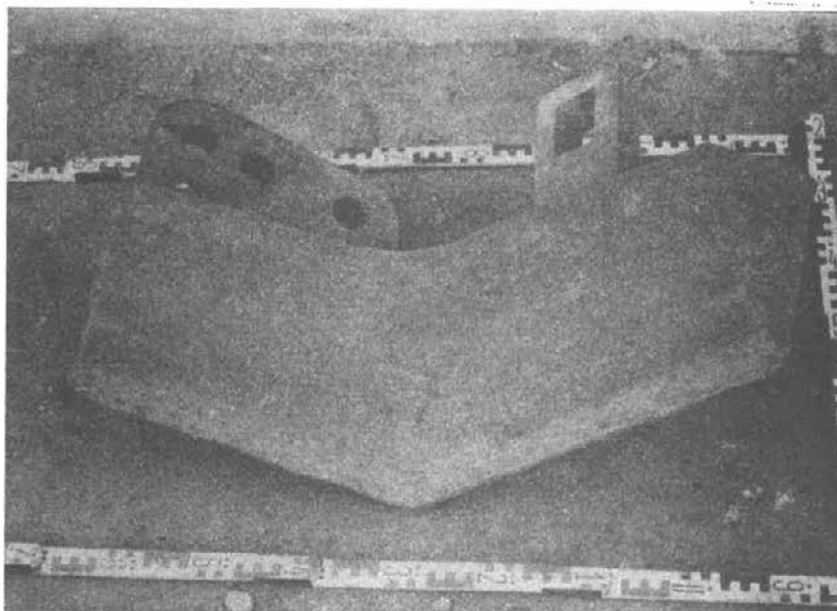
2.2 Výsledky metalografických zkoušek

Metalografické zkoušky byly provedeny materiálovou zkušebnou Chemopetrol Litvínov, která je v tomto oboru autorizovanou zkušebnou. Protokol z první série byl k dispozici 30. 5. 1992, výsledky dodatečných dvou zkoušek pak 24. 6. 1992.

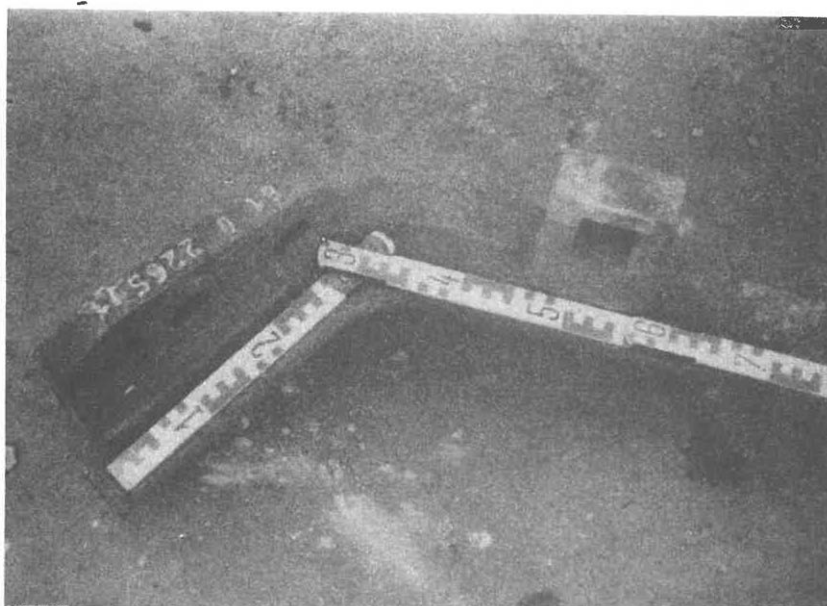
Ke zkouškám byly dopraveny tyto zuby (značení dle zkušebny):

- vzorek 0 - nenastřelený zub č.v. 5560 (VPH)
- vzorek 1 - zub 5560 - nastřelený oboustranně - tl. trhaviny 3 mm
- vzorek 2 - zub 5559 - nastřelený jednostranně - tl. trhaviny 3 mm

- vzorek 3 - zub 5559 - nastřelený jednostranně - tl. trhavy 3 mm
stříleno 2 x
- vzorek 4 - zub 5559 - nastřelený jednostranně - tl. trhavy 6 mm
- vzorek 6 - zub RK-5000 - nastřelený jednostranně - tloušťka trhavy 3 mm
- vzorek 7 - zub RK-5000 - nastřelený jednostranně - tloušťka trhavy 6 mm
- vzorek 8 - zub RK-5000 - nastřelený jednostranně - tloušťka trhavy 9 mm
- vzorek 5 - zub 2671 (VTŽ) - nastřelený jednostranně - tloušťka 3 mm SEMTEX 1 A
- vzorek 9 - zub 2671 (Unex) - nastřelený jednostranně - tloušťka 3 mm
SEMTEX 1 A



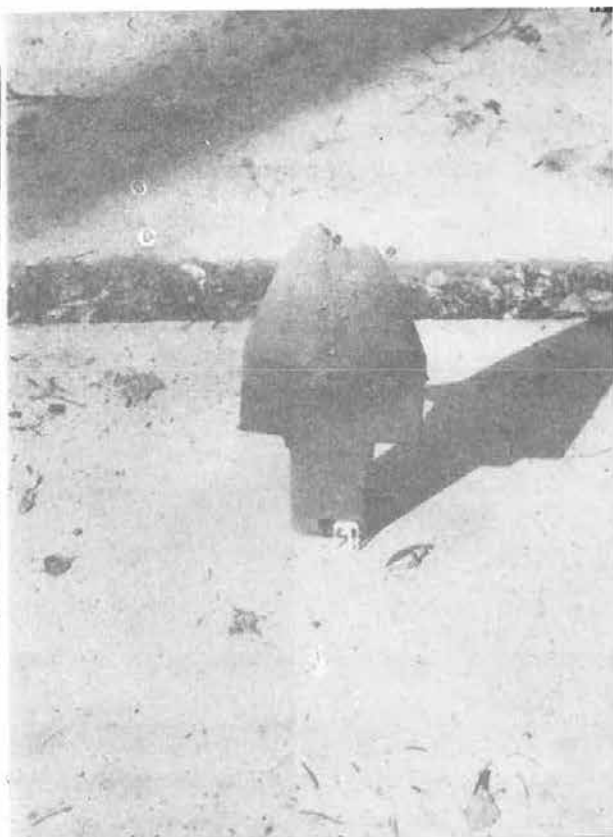
obr. 7 Zub RK 5000



obr. 8 Zub RK 5000



obr. 9
Zub v.č. 5560 - adjustace trhavínové fólie



obr.10 Zub v.č.5560-po odstřelu



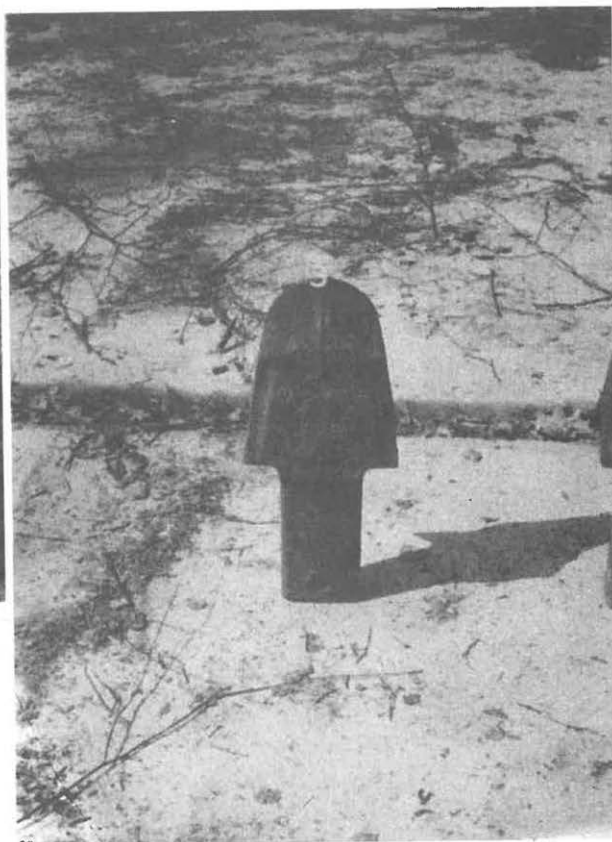
obr.11 Zub v.č. 5559 - adjustace trhavínové fólie uložená jednostranně, způsob iniciace rozbuškou



obr.13 dtto 11 - po odstřelu



obr.12 dtto 11 - pohled z opačné strany



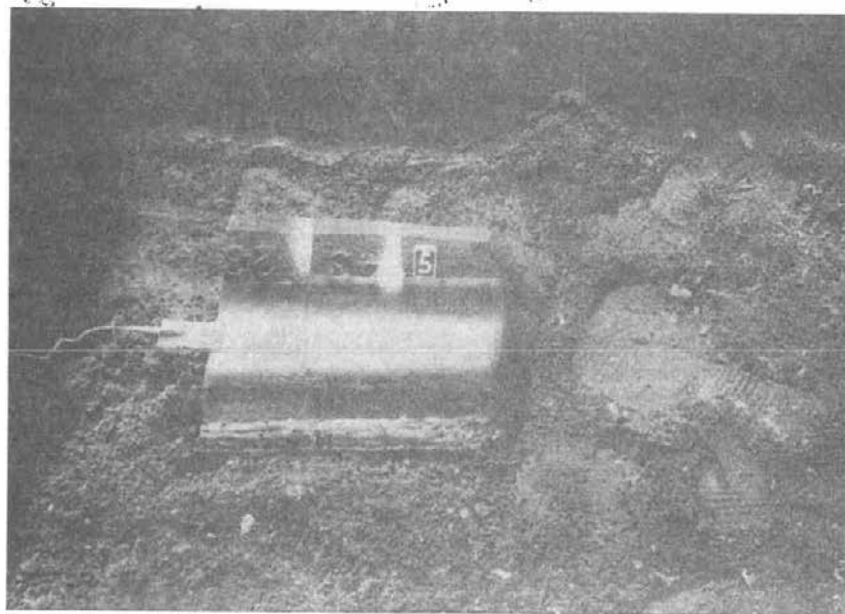
obr.14 Zub v.č. 5559 - po opakovaném odstřelu



obr.15 Zub v.č.5559 - po odstřelu vrstvy 6 mm - povrchová licí vada



obr.16 Zub RK 5000 - po odstřelu



obr.17 Zub RK 500 - před odstřelem -
způsob iniciace rozbuškou. Zleva
doprava vrstva trhavin 3,6,9 mm

Materiál, dodaný ke zkouškám, je výrobcem charakterizován takto:

Ocel VPH (Metaz Týnec):

Složení:

C	-	0,25	-	0,5	%
Mn	-	1,0	-	1,8	%
Si	-	0,30	-	1,0	%
Cr	-	0,50	-	1,5	%
Mo	-	0,1	-	0,06	%
V	-	0,05	-	0,2	%
Ti	-	0,01	-	0,15	%
Al	-	0,13	-	0,1	%
Ni	-	0,05	-	1,0	%
W	-	0,05	-	0,5	%
Cu	-	0,05	-	0,3	%

Tvrdost: 380 - 460 HV

Ocel Škoda 100:

Složení:

C	-	0,23	-	0,31	%
Mn	-	0,7	-	1,7	%
Si	-	0,2	-	0,5	%
P	-	0,030			%
S	-	0,030			%
Cr	-	1,2	-	1,6	%
Ni	-	2,0	-	2,4	%
Mo	-	0,20	-	0,3	%

Tvrdost: 400 HV

Výsledky chemického rozboru

Vzorek	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	V	W	Co
0	0,47	0,74	1,32	0,82	0,47	0,17	0,14	0,003	0,071	0,006
1	0,44	0,78	1,36	0,85	0,56	0,17	0,12	0,002	0,085	0,006
2	0,28	0,66	1,17	0,57	0,44	0,14	0,12	0,002	0,10	0,006
3	0,30	0,70	1,37	0,65	0,68	0,15	0,32	0,007	0,12	0,006
4	0,31	0,76	1,38	0,76	0,53	0,16	0,10	0,002	0,13	0,006
6,7,8	0,41	0,43	0,63	0,88	0,18	0,29	0,14	0,003	0,009	0,006
5	0,32	0,54	1,06	0,57	0,26	0,55	0,09	0,12	0,009	0,006
9	0,25	0,36	1,39	0,69	0,06	0,52	0,14	0,26	0,009	0,006

Výsledky tvrdostního měření

Na vyleštěných příčných řezech vzorků, odebraných z činných částí zubů, byly prováděny tvrdostní průběhy metodou podle Vickerse při zatížení 98 N. Pro přesné zachycení průběhu tvrdosti, zejména v blízkosti povrchu, bylo měření vedeno šikmo, pod ostrým úhlem vzhledem k rovině povrchu zubů. Počátek měření je u povrchu zubu.

Vzorek 1 - 442, 463, 548, 566, 599, 673, 681, 707, 715, 707, 715, 734, 707, 688. Jádru zubu 707.
 Vzorek 2 - 446, 473, 468, 473, 480, 483, 493, 503, 508, 514, 525, 530, 536, 530, 530, 538, 536. Jádru zubu 536.
 Vzorek 3 - 536, 530, 530, 536, 566, 536, 548, 542, 554, 560, 560, 584, 584, 566. Jádru zubu 554.
 Vzorek 4 - 466, 459, 455, 455, 493, 488, 503, 508, 508, 503, 530, 566, 560, 530. Jádru zubu 536.
 Vzorek 5 - 421, 433, 437, 450, 463, 480, 488, 503, 480, 480, 468, 437, 397. Jádru zubu 473 - 480.
 Vzorek 6 - 163, 177, 189, 219, 210, 210, 228, 230, 227, 230, 228, 227, 232. Jádru zubu 236.
 Vzorek 7 - 205, 202, 202, 222, 224, 228, 228, 227, 227, 225, 228, 225, 230, 228, 228. Jádru zubu 235.
 Vzorek 8 - 207, 205, 206, 221, 228, 236, 235, 235, 236, 235, 235, 238, 235, 235, 238. Jádru zubu 232.
 Vzorek 9 - 421, 429, 429, 455, 459, 459, 473, 480, 473, 473, 473, 480, 480, 473, 473, 468. Jádru zubu 480 - 483.
 Netvářený povrch zubu 8 - 175, 187, 203, 209, 212, 221, 221, 224, 224, 227, 230, 216, 216

Výsledek provedené kvantitativní analýzy u zubů 0 - 4 přibližně odpovídá uvedené oceli VPH, avšak obsahy hlavních legujících prvků jsou vesměs na spodní hranici rozsahu. U vzorků 6 - 8, zhotovených z oceli Škoda 100, byl zjištěn výrazně nižší obsah legujících prvků, především niklu, a to o 1,8 %,

chromu cca o 0,4 %. Naopak zjištěný obsah uhlíku je vyšší o 0,15 %.

Při hodnocení průběhu tvrdostí je zřejmé, že tvrdost v povrchové vrstvě nedosahuje předpokládaných hodnot. Příčinou této skutečnosti je oduhličení povrchu zubů, způsobené již při výrobě respektive tepelném zpracování zubů. Z metalografického šetření dále vyplývá, že k výraznějšímu zpevnění povrchů a vytvoření souvislých protvářených vrstev u zubů 1 až 4, 5, 9, jejichž struktura je převážně martenzitická, nedošlo. Vytvořily se zde pouze četné trhliny, iniciované z povrchových necelistvostí, vzniklých při lití zubů, trhliny v oblasti výskytu licích vad i rozsáhlé interkrystalické trhliny v základním materiálu zubů. U vzorků 6 až 8 (zub RK-5000), jejichž struktura je feriticko-perlitická, je již patrné částečné protváření do hloubky cca 3 mm, což se projevilo i nárůstem povrchové tvrdosti o 18 - 20 %.

3. Závěr

- 1/ Byla zpracována technologická část postupu při výbuchovém zpevňování kovů, včetně ověření vhodné trhaviny a způsobu roznětu. Jako optimální se jeví speciální trhavina SEMTEX 10 ve tvaru fólie o tloušťce 3 mm. Konstantní tloušťku trhavinové fólie lze na poloprovodním zařízení zaručit v přijatelných mezích. Roznět spolehlivě zaručuje mikrobleskovice NOMIDET, u jednotlivých náložích pak po úpravě geometrie nálože i nulový stupeň rozbušek.
- 2/ Z výsledků metalografických zkoušek vyplývají hranice použitelnosti navržené metody zpevňování ocelí, dané složením a strukturou materiálu. S vysokou pravděpodobností lze dovodit, že u martenzitických struktur, obtížně tvářitelných a náchylných ke křehkému porušení (ocel VPH, VP - 7), je výsledný efekt výbuchového zhutnění nepatrný. Existující nehomogenity a četné licí vady přirozenou křehkost materiálu zřetelně zvyšují. Feriticko-perlitická struktura oceli Škoda - 100 zhutnění výbuchem v jistých mezích umožňuje. Prokázané zvýšení tvrdosti povrchu zubu RK-5000 se pohybovalo v rozmezí 18 - 20 %. Nejvhodnější pro výbuchové zpevňování jsou oceli s austenitickou strukturou a vyšším obsahem legujících prvků (Mn).
- 3/ Na základě výsledků metalografických zkoušek bylo na kontrolním dnu úkolu v červnu 1992 rozhodnuto ukončit práce na výbuchovém zpevňování ocelí typu VPH, ale pokračovat dále ve sledu prací, stanoveném projektem úkolu pro zuby RK-5000.
- 4/ V září 1992 nastřelili pracovníci VÚPCH v dobývacím prostoru závodu Jan Šverma (DÚK s.p.) celkem 8 zubů pro RK-5000, z nichž 6 ks bylo v rámci preventivní kontroly stroje RK-5000 v říjnu 1992 namontováno na korečkový řetěz stroje.
- 5/ Eventuální rozdíl v životnosti nastřelených a nenastřelených zubů je v současné době průběžně sledován. Použitelné výsledky provozního nasazení budou patrně k dispozici koncem roku 1992.

Literatura

- 1/ Chládek, Němeček, Vacek: Výbuchové svařování kovů a příbuzné procesy. SNTL, Praha. 1979.
- 2/ Heinz, Janíček : Návrh optimálních typů rypných orgánů pro rýpadlo KU 800. Výzkumná zpráva VÚHU. 1988.
- 3/ Jirásek, Kott, Štembera: Ověření vlastností nových materiálů na rypných orgánech. Výzkumná zpráva VÚHU. 1989.
- 4/ Firemní literatura fy Explosia Pardubice - Semtín.