

# Zmena mechanických vlastností vybraných materiálov aplikáciou povrchového kalenia

## Peter Fabian, doc. Ing., PhD.\*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,  
Žilinská univerzita v Žiline,  
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.  
E-mail: peter.fabian@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2767

## Martin Jaško, Ing.

HS Technik, spol. s r. o.  
Žilinská cesta 84, 013 11 Lietavská Lúčka.  
E-mail: jasso.martin@hstechnik.sk, Tel.: + 421 902 394 938

## Richard Pastirčák, doc. Ing., PhD.\*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,  
Žilinská univerzita v Žiline,  
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.  
E-mail: richard.pastircak@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2797, Fax.: + 421 41 525 2541

## Change of mechanical properties of selected materials by application of surface hardening

**Abstract:** Comparing the mechanical characteristics of steel used in the weapons sector to make barrels for short, small arms is the study's goal. The heat treatment of representative samples resulted in their hardening, surface hardening to a specific layer thickness, and tempering. It has not yet been thoroughly examined how the thickness of the hardened layer affects the modification of the mechanical characteristics of the chosen materials. Surface hardening is widely regarded as one of the methods for producing a resistant core and a hard surface on a component. Nonetheless, the overall material's mechanical characteristics alter in tandem with the layer's thickness. The outcomes of this study will also be useful for the induction heat treatment of other similar material components.

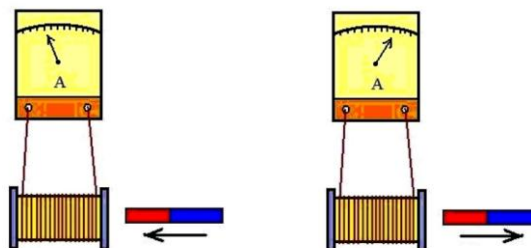
**Keywords:** surface hardening, mechanical properties, selected materials.

## ÚVOD

Zmena mechanických vlastností materiálu použitím „ohňa a vody“, resp. kvapaliny, bola alchymistami skúmaná a využívaná už od čias doby bronzovej. Za ten čas tepelné spracovanie kovových materiálov prešlo podstatnou evolúciou a v súčasnosti sa tento proces používa pri cca 90% súčiastkach, vyrobených zo zliatiny železa. Pokiaľ ide o zvyšovanie tvrdosti súčiastok vyrobených z ocelí, najčastejšie používanou technológiou je kalenie. V praxi sa využívajú rôzne formy kalenia, ako napríklad termálne kalenie, kalenie so zmrazovaním, kalenie vo vákuu alebo povrchové kalenie. Cieľom tejto práce je zistiť a porovnať charakteristiky práve poslednej spomenutej technológie - povrchového kalenia [5].

Povrchové kalenie je často aplikované na súčiastky ako ložiskové krúžky, ozubené kolesá, ozubené a drážkované hriadele, vretená, pinoly a nožové hlavy pre sústruhy, resp. iné obrábacie stroje, ale taktiež sa

využíva aj v zbrojárskom priemysle, napríklad pri kalení hlavni ručných strelných zbraní. Hlaveň pri výstrele musí odolávať rôznym tlakom a napätiam, či už vo vývrte hlavne alebo na jej povrchu, kde dochádza najmä k treniu. Tvrdosť povrchovej vrstvy pri zachovaní húževnatosti jadra je teda jedným zo základných faktorov, ktoré ovplyvňujú životnosť hlavne a teda aj zbrane ako celku [6].



Obr. 1. Vznik elektromagnetickej indukcie [1]

Medzi technológiami povrchového kalenia patrí indukčné kalenie, ktorého základy položil anglický

fyzik *M. Faraday* sformulovaním zákona o elektromagnetickej indukčii (obr. 1). Pri tomto type kalenia je možné dosiahnuť hrúbku kalenej vrstvy (*Rht*) cca  $0,4 \div 4$  mm, v závislosti od frekvencie použitého generátora. Principiálne je možné generátory rozdeliť na stredno-frekvenčné ( $< 1,105$  Hz) alebo vysokofrekvenčné ( $> 1,105$  Hz). Kaliača teplota je rádovo o niekoľko desiatok stupňov vyššia ako pri ostatných technológiách kalenia, avšak jadro súčiastky ostáva neovplyvnené, bez štrukturálnych zmien. Hrúbka a tvrdosť kalenej vrstvy je taktiež ovplyvnená použitím kaliaceho média, konkrétne jeho prúdom a koncentráciou. Najčastejšie sa používa zmes oleja a kvapaliny, napríklad 8 % roztok aquatensidu v čistej vode. Pri kalení do čistej vody vzniká, pri určitých materiáloch, vysoké riziko vzniku povrchových prasklín, z dôvodu vzniku veľkých napätí, spôsobených pri rýchlom prechode z kaliacej teploty

technológiou bude hlavne vyrobená a či je nutné zahrnúť aj proces tepelného spracovania - povrchového kalenia. Preto výrobcovia hlavni v súčasnosti najčastejšie používajú ako vstupný materiál legované ocele triedy 15, konkrétne ocel 15 230.7, 15 330.7 a 15 142.7.



Obr. 2. Vzorky vyrobené pre potreby experimentu [3]

Rozdiel v týchto materiáloch je v percentuálnom

Tab. 1. Chemické zloženie vybraných materiálov [5]

Chem. zloženie	C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	V [%]	P [%]	S [%]
15 142 (Cr-Mo)	$0,38 \div 0,45$	$0,50 \div 0,80$	$0,17 \div 0,37$	$0,19 \div 1,20$	$0,15 \div 0,30$	max. 0,50	-	max. 0,035	max. 0,035
15 230 (Cr-V)	$0,24 \div 0,34$	$0,40 \div 0,80$	$0,17 \div 0,37$	$2,20 \div 2,50$	-	-	$0,10 \div 0,20$	max. 0,036	max. 0,036

na teplotu chladiaceho média [1].

V prípade, že sa použije kalenie iba do oleja, tak rýchlosť ochladzovania z kaliacej teploty prebieha značne pomalšie, ako v prípade použitia čistej vody, čo má za následok nižšie hodnoty povrchovej tvrdosti. Na druhej strane, olej má dobré konzervačné vlastnosti a ak sa na ochladzovanie použije iba čistá voda, súčiastky sú omnoho viac vystavené vplyvom korózie, ako v prípade zmesi týchto dvoch kvapalín. Pri popúšťaní ide o popúšťanie v peci a to z dôvodu, že pri indukčnom popúšťaní nie je možné presne kontrolovať rozloženie teploty na súčiastke. Avšak pece, ktoré sa používajú na popúšťanie, sú v mnohých prípadoch taktiež skonštruované na princípe indukčného ohrevu. Najväčšou nevýhodou pri popúšťaní, či už v peci, alebo priamo použitím nástroja (induktora) je, že dochádza aj k ovplyvňovaniu základného materiálu (jadra súčiastky), čo môže byť v určitých prípadoch zušľachtenia materiálu nežiaducim faktorom [4].

Najčastejšie používaným materiálom na výrobu hlavni krátkych ručných strelných zbraní je v súčasnosti ocel, z dôvodu jej dobrej obrobiteľnosti v kombinácii s vhodnými mechanickými vlastnosťami. V určitých špeciálnych prípadoch sa používajú aj zliatiny ľahkých kovov (protitankové zbrane), prípadne kompozitné materiály (plasty vystužené skleným vláknom). Na výber vstupného materiálu pre výrobu hlavni ma takisto vplyv, akou

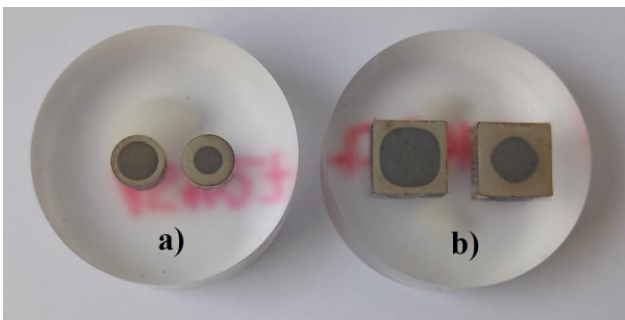
obsahu uhlíka (C) a legujúcich prvkov, čo sa v končnom dôsledku prejavuje najmä po tepelnom spracovaní a to hlavne rozdielnou hodnotou povrchovej tvrdosti. Vývoj v oblasti výroby a ďalšieho spracovania hlavni ručných strelných zbraní z kovových materiálov sa v súčasnosti zameriava na začlenenie postupov chemicko-tepelného spracovania do procesu výroby a to z dôvodu získania lepších mechanických vlastností oproti povrchovému kaleniu. Tento článok však pojednáva o klasickom spôsobe spracovania hlavni vyrobených práve z oceli triedy 15 [7].

## 1 METODIKA EXPERIMENTU

Základnými vlastnosťami ocelí, používaných pre výrobu hlavni krátkych ručných strelných zbraní, sú materiálové charakteristiky, kde patrí povrchová tvrdosť, pevnosť v ťahu ( $R_m$ ), ťažnosť (A), kontrakcia (Z) a vrubová húževnatosť ( $K_{cu}$ ). Vstupný materiál, použitý na výrobu vzoriek, sa v strojárkej výrobe používa na výrobu súčiastok pracujúcich v podmienkach vysokého namáhania. Ide konkrétne o chróm-molybdénovú ocel 15 142, ktorá sa používa na výrobu namáhaných strojných (motorových) súčastí, najmä v tých prípadoch, kde je vyžadovaná vysoká pevnosť a húževnatosť materiálu. Druhým skúmaným materiálom je chróm-vanádiová ocel 15 230, ktorá sa používa na výrobu veľmi namáhaných strojných súčastí a taktiež je tento materiál vhodný pre vytváranie difúzných vrstiev

procesom nitridovania, resp. nitrokarbonovania. V oboch prípadoch bol vstupný materiál po výrobe ešte zušľachtený na strednú hodnotu pevnosti. Z hľadiska obrobiteľnosti patria oba typy materiálu do kategórie s dobrou (vhodnou) obrobiteľnosťou. Rozdiel v chemickom zložení týchto ocelí je najmä v obsahu uhlíka (C), ktorý má vplyv na prekaliteľnosť materiálu a výslednú povrchovú tvrdosť po kalení (tab. 1). Ďalší rozdiel je v obsahu chrómu (Cr), ktorý má vplyv, okrem zlepšenia antikoročných vlastností a odolnosti proti opotrebeniu, aj na výšku kaliacej teploty. Prísady ako Mo a Ni, ktoré zvyšujú napríklad prekaliteľnosť, sa pri oceli 15 230 nevyskytujú vôbec, rovnako ako sa prísada vanádu, ktorý sa do materiálu pridáva aj kvôli zvýšeniu pevnosti a húževnatosti, nevyskytuje v oceli 15 142. Rozdiel v chemickom zložení materiálov je uvedený v tab. 1 [5].

Princíp experimentu spočíval v zistení a porovnaní vyššie spomenutých mechanických vlastností oboch materiálov. Pre vykonanie experimentu bolo potrebné vykonať viacero operácií, ako zušľachtovanie polotovarov, výrobu vzoriek pre skúšky ťahom a rázom v ohybe, výrobu vzoriek pre skúšky tvrdosti a metalografické skúšky. Po týchto operáciách nasledovalo aj vykonanie týchto skúšok. Skúšky boli vykonané v spolupráci kvalifikovaných pracovníkov Žilinskej univerzity v Žiline, ktorí tiež spolupracovali pri spracovaní a formulácii výsledkov týchto vybraných mechanických skúšok materiálov [3].



Obr. 3. Dosiadnutá hrúbka kalenej vrstvy pri vzorkách pre: a) skúšku ťahom, b) skúšku rázom v ohybe [3]

Polotovary pre výrobu vzoriek boli dodané v stave vyžíhanom na mätko. Prvým bodom experimentu bolo zušľachtovanie týchto materiálov na strednú hodnotu pevnosti. Polotovary prešli procesom objemového kalenia - ohrev v peci na teplotu 880°C s následným rýchlym ponorením do kaliaceho média. Po zakalení nasledovalo vysoké popúšťanie na teplotu 470°C, s nábehom dve hodiny a s dvojhodinovou výdržou na tejto teplote. Po uplynutí tohto času prebiehalo voľné ochladzovanie na teplotu prostredia. Polotovary po procese zušľachtovania vykazovali pevnosť približne 1100 MPa (prepočet z tvrdosti). Získaním potrebnej pevnosti v celom priereze polotovaru bolo možné

začať proces výroby vzoriek. Vzorky pre skúšku ťahom, pre skúšky tvrdosti a metalografické skúšky boli vyrobené na univerzálom sústruhu *Trens SN 50* v súlade s normou *ISO 6892-1* (obr. 2). Vzorky pre skúšku rázom v ohybe boli spracované na rovinnej brúske *TOS BRH 20 A*, kde bol zostrojený aj vrub v tvare „U“, v súlade s normou *ISO 148-1*. Taktiež boli vyrobené aj reprezentatívne vzorky hlavni (bez vývrtu), ktoré boli použité pre zobrazenie zmeny hrúbky kalenej vrstvy v pozdĺžnom a priečnom reze súčiastky, v závislosti na zmene priemeru hlavne. Tieto vzorky však v ďalšej časti experimentu neboli predmetom podrobnejšieho skúmania [3].

Nasledovalo indukčné povrchové kalenie vzoriek. Pre získanie informácií o zmene mechanických vlastností materiálu, v závislosti od zmeny hrúbky kalenej vrstvy, bol zvolený postup spracovania oboch typov ocelí na hrúbku kalenej vrstvy  $1 \pm 0,1$  mm a na hrúbku kalenej vrstvy  $2 \pm 0,1$  mm (obr. 3). Ako koniec kalenej vrstvy (*Rht*) bola uvažovaná tvrdosť 500 HV1. Pri nastavovaní procesu povrchového kalenia bola dosiahnutá rovinnosť kalenej vrstvy 0,1 mm. Rádiusy pri vzorkách zakalené neboli, pričom začiatok aj koniec kalenej vrstvy boli od priemeru  $\varnothing 12$ , určeného pre upnutie vzorky do čeľustí ťhacieho zariadenia, vzdialené v rozmedzí  $6 \pm 0,2$  mm. Vzorky po kalení ďalej prešli procesom popúšťania na teplotu 150°C, s nábehom a aj výdržou jednu hodinu, z dôvodu zníženia vnútorných napätí v novovzniknutej vrstve. Vplyv tohto popúšťania na výslednú povrchovú tvrdosť bol zanedbateľný [3].

Prvou zo skúšok bola skúška tvrdosti pri nízkom zaťažení. Meranie tvrdosti bolo vykonávané pomocou meracieho zariadenia *Qness Q10M*, ktoré ponúka možnosť vyhodnocovania výsledkov *Vickersovou metódou*. Diamantový hrot bol vtlačaný do vzorky silou 9,8 N (1 kg) po dobu 4 s. Vzorky bolo nutné pred meraním pripraviť, t.j. rezať, zalievať a leštiť. Leptanie nitalom na týchto vzorkách realizované nebolo, z dôvodu nepresnejších výsledkov meracieho zariadenia (optimálna je lesklá plocha) [3].

Statická skúška ťahom bola realizovaná na ťhacom zariadení *ZDM 30*. Pri tejto skúške boli zisťované veličiny ako max. sila, dosiahnutá pri prechode z pružného do plastického stavu materiálu ( $F_e$ ), ďalej max. sila, potrebná na pretrhnutie vzorky ( $F_m$ ), predĺženie vzorky ( $\Delta L_m$ ) a priemer vzorky pred a po roztrhnutí ( $d_o$ ,  $d_u$ ). Táto skúška bola pre vyhodnotenie experimentu najdôležitejšia, lebo na základe jej výsledkov bolo možné definovať viac ako 50 % všetkých zisťovaných materiálových charakteristík [5].

Poslednou mechanickou skúškou, vykonanou pre potreby experimentu, bola skúška rázom v ohybe. Pri tejto skúške boli zaznamenávané parametre ako

maximálna práca, ktorú vykoná *Charpyho kladivo* pri zlomení vzorky v oslabenom mieste (*K*) a rozmery vzorky v mieste vrubu pred začatím skúšky a po jej ukončení. Húževnatosť - charakteristika, skúmaná pri tejto skúške, je možné považovať za najpodstatnejšiu materiálovou vlastnosťou z hľadiska životnosti hlavne. Preto aj výsledky, získané pri tejto skúške, majú najväčší prínos pre dimenzovanie rovnakého typu výrobkov. Po vykonaní mechanických skúšok nasledoval posledný bod experimentu - pozorovanie a popisovanie mikroštruktúry všetkých fáz, vzniknutých po procesoch tepelného spracovania. Toto pozorovanie bolo vykonané na zariadení *Neophot 32* pri zväčšení 800x.

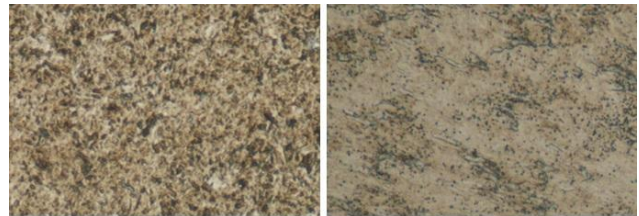
Pre toto pozorovanie boli použité rovnaké vzorky, ako pre skúšky tvrdosti. Tieto vzorky boli vyleštené na plstenom kotúči s pridaním brusiva - diamantovej pasty s veľkosťou zrna 1 μm. V tomto prípade nasledovalo aj leptanie vzoriek v 5% nitale. Kontrolovaná bola mikroštruktúra kalenej vrstvy, prechodovej vrstvy a kalením neovplyvneného, zušľachteného jadra vzorky [3].

## 2 VÝSLEDKY EXPERIMENTU A DISKUSIA

Merania tvrdosti a hrúbky kalenej vrstvy, v priečnom reze, boli realizované na vzorkách pre skúšku ťahom aj rázom v ohybe, pre oba režimy povrchového kalenia (tab. 2). Meranie bolo vo všetkých prípadoch vykonané v polovici dĺžky vzorky. Vzdialenosť medzi meracími bodmi bola 0,2 mm. V prípade vzoriek vyrobených z ocele 15 142.7 bola dosiahnutá povrchová tvrdosť priemerne 700 HV1 a tento nárast predstavoval zlepšenie tejto mechanickej vlastnosti, oproti základnému materiálu, približne o 94 %.

Tab. 2. Výsledky experimentu [3]

Oceľ	Tepelné spracovanie	Tvrdosť [HV1]	$R_e$ [MPa]	$R_m$ [MPa]	$A$ [%]	$Z$ [%]	$E$ [GPa]	$K_{cu}$ [J·cm <sup>-2</sup> ]
15142.7	Základný materiál	340 ÷ 380	1000 ÷ 1050	1080 ÷ 1240	12,9 ÷ 13,1	52 ÷ 56	147 ÷ 182	110 ÷ 135
	Povrchovo tvrdý materiál - vrstva 1 mm	700 ÷ 720	-	1240 ÷ 1300	3,2 ÷ 3,4	18 ÷ 25	178 ÷ 201	55 ÷ 56
	Povrchovo tvrdý materiál - vrstva 2 mm	680 ÷ 700	-	1340 ÷ 1390	3,8 ÷ 4,1	30 ÷ 37	164 ÷ 175	30 ÷ 34
15 230.7	Základný materiál	360 ÷ 400	1240 ÷ 1290	1240 ÷ 1290	9,2 ÷ 10,2	50 ÷ 51	219 ÷ 235	86 ÷ 95
	Povrchovo tvrdý materiál - vrstva 1 mm	595 ÷ 600	x	1360 ÷ 1410	5,7 ÷ 5,9	26 ÷ 33	114 ÷ 120	98 ÷ 102
	Povrchovo tvrdý materiál - vrstva 2 mm	590 ÷ 600	x	1440 ÷ 1470	3,3 ÷ 3,4	23 ÷ 24	208 ÷ 218	47 ÷ 49



a) b)

Obr. 4. Mikroštruktúra kalenej vrstvy (zväčšenie 800x): a) 15 142 - Martenzit-troostit, b) 15 230 - jemný martenzit [3]

Vzorky vyrobené z ocele 15 230.7 vykazovali oproti vzorkám, vyrobeným z *chróm-molybdénovej* ocele, nižšiu hodnotu povrchovej tvrdosti, priemerne 597 HV1. Táto hodnota povrchovej tvrdosti predstavuje zlepšenie, oproti vlastnostiam základného materiálu, približne o 57 %. Tento rozdiel v tvrdostiach je samozrejmy a jeho podstatou je rozdiel v percentuálnom obsahu uhlíka a legujúcich prvkov. Vplyv zmeny hrúbky vrstvy na hodnoty povrchovej tvrdosti bol minimálny, pri oboch typoch vybraných ocelí (cca 5 %) [5].

Statická skúška ťahom poskytla informácie o viacerých pevnostných charakteristikách. Ako sa dalo predpokladať, pri povrchovo kalených vzorkách nebol pozorovaný jav plastickej deformácie bez prírastku zaťaženia ( $R_e$ ). V prípade vzoriek, vyrobených iba zo základného materiálu, tento jav pozorovaný bol, avšak sila, odpísaná zo stupnice meracieho zariadenia, pri sledovaní tohto javu, sa v porovnaní so silou, potrebnou na pretrhnutie vzorky, nezvýšila vôbec alebo len minimálne [3].

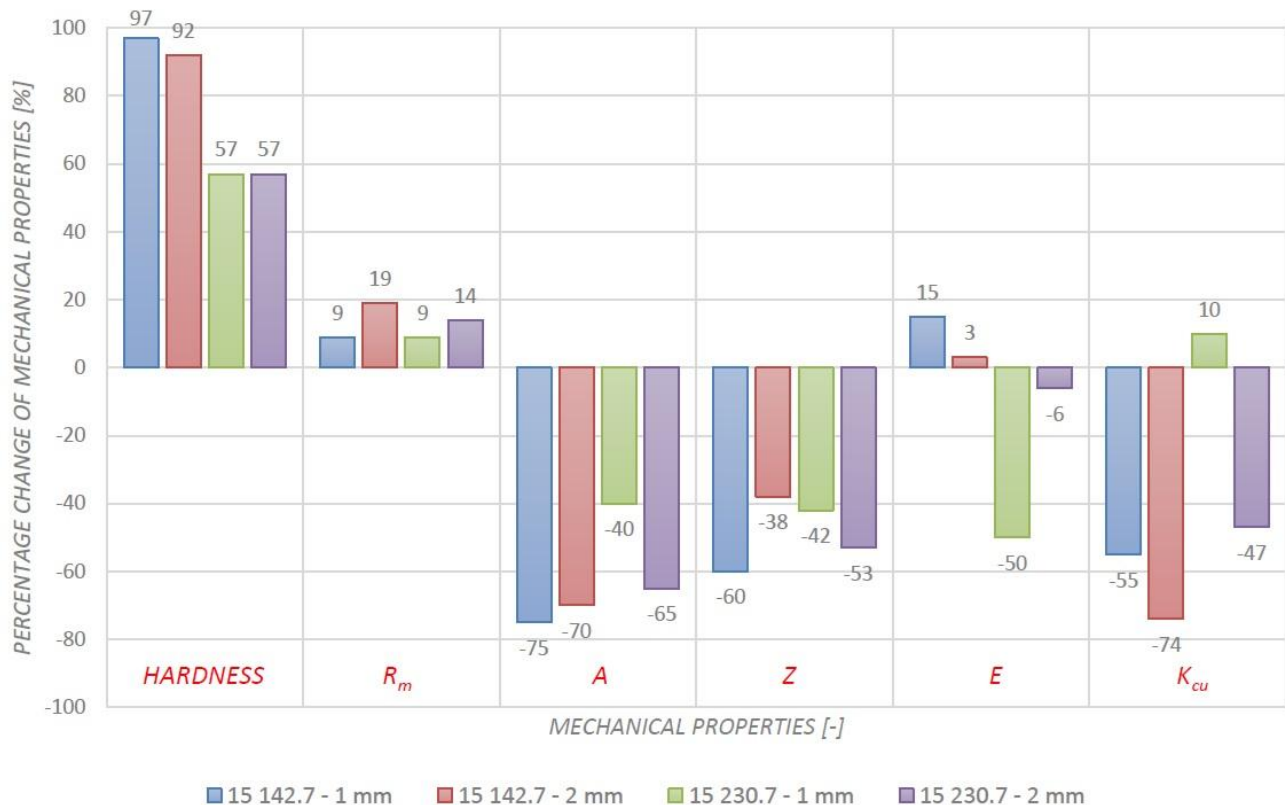
Pevnosť v ťahu ( $R_m$ ) sa zvyšovala zároveň so zväčšovaním hrúbky kalenej vrstvy ( $R_{ht}$ ) a to pri oboch typoch materiálu. V prípade ocele 15 142.7 sa pevnosť v ťahu, v porovnaní so základným materiálom, zvýšila maximálne o 19% a zmena

vlastnosti medzi zvolenými režimami kalenia predstavovala približne 10 %. V prípade vzoriek vyrobených z ocele 15 230.7 bolo zaznamenané zlepšenie tejto materiálovej charakteristiky, oproti základnému materiálu, maximálne o 14 % a pri zvyšovaní hrúbky vrstvy sa táto vlastnosť zvýšila o 6 %. Avšak vyššia hodnota pevnosti v ťahu bola zaznamenaná pri chróm-vanádiovej oceli 15 230.7, takmer 1500 MPa [3].

Ťažnosť (A) sa pri povrchovo kalených vzorkách rapídne znížila, v prípade materiálu 15 142.7 až o 75 %. Pri tomto type materiálu bol rozdiel v

vlastností, pri tomto type ocelí, bola oproti základnému materiálu až 60 % v negatívnom smere a pre vybrané režimy povrchového kalenia približne 20 %. V prípade materiálu 15 230.7 bola zistená zmena kontrakcie maximálne o 53 %, v porovnaní so základným materiálom a s rastúcou hrúbkou kalenej vrstvy sa táto charakteristika znižovala, pričom rozdiel medzi povrchovo kalenými vzorkami bol približne 10 % [3].

Po vykonaní statickej skúšky ťahom je teda možné konštatovať, že pri procese povrchového kalenia, okrem zvyšovania tvrdosti a pevnosti v ťahu,



Obr. 5. Zmena mechanických vlastností vyjadrená v %

mechanických vlastnostiach pri oboch režimoch kalenia minimálny (5 %). V prípade materiálu 15 230.7 sa ťažnosť zmenšovala s rastom hrúbky kalenej vrstvy, približne o 20 % a oproti základnému materiálu sa táto charakteristika znížila maximálne o 65 %. Vplyv zmeny hrúbky kalenej vrstvy na ťažnosť je teda celkom značný a vo svojej podstate aj logický. Podstatou je zmena typu mikroštruktúry v povrchovo kalenej vrstve, čo ma za následok tesnejšie a pevnejšie usporiadanie atómov. Zosilnením väzieb medzi atómami vzrastá aj napätie v materiáli, ktoré sa prejavuje stratou pružných vlastností (ale zlepšením pevnosti v ťahu) [5].

Pri pozorovaní mechanickej vlastnosti, známej ako kontrakcia (Z), bol pozorovaný jav, kedy pri vzorkách vyrobených z chróm-molybdénovej ocele vykazovali lepšie vlastnosti vzorky s väčšou hrúbkou kalenej vrstvy ( $2 \pm 0,1$  mm). Zmena mechanických

dochádza aj k rapídnej zmene pružno-plastických vlastností materiálu. Zmena mechanických vlastností vybraných materiálov, vplyvom zväčšovania hrúbky kalenej vrstvy, bola preukázaná pri všetkých skúmaných charakteristikách, v určitých prípadoch však bola táto zmena zanedbateľná. Celkovo je možné zhodnotiť, že v prípade vzoriek, vyrobených zo zúšľachtenej CrV ocele 15 230.7, boli pri statickej skúške ťahom zaznamenané menšie a menej podstatné zmeny mechanických vlastností, ako pri vzorkách vyrobených z CrMo ocele 15 142, rovnako zúšľachtenej na strednú hodnotu pevnosti [3].

Poslednou skúmanou vlastnosťou bola vrubová húževnatosť ( $K_{cu}$ ). Z fyzikálnej podstaty procesu kalenia je zrejmé, že pri zvyšovaní tvrdosti dochádza aj k zvyšovaniu krehkosti materiálu, resp. k znižovaniu jeho húževnatosti. Z toho vyplýva, že aj pri zvyšovaní hrúbky kalenej vrstvy by malo

dochádzať k zvyšovaniu krehkosti. Preto bolo zaujímavé pozorovať fakt, že vzorky vyrobené z ocele 15 230.7 s hrúbkou kalenej vrstvy  $1 \pm 0,1$  mm vykazovali približne o 10 % lepšie výsledky skúšok rázom v ohybe, ako vzorky, ktoré neprešli procesom povrchového kalenia. V prípade režimu kalenia na vrstvu  $2 \pm 0,1$  mm však už bola maximálna zmena vrubovej húževnatosti, oproti základnému materiálu, až o 47 % v negatívnom smere. Pri vzorkách, vyrobených z ocele 15 142.7 boli zistené väčšie zmeny už pri skúškach povrchovej tvrdosti, čo malo za následok aj zvyšovanie krehkosti. Húževnatosť sa pri tomto type materiálu a spôsobe jeho spracovania na hrúbku kalenej vrstvy  $2 \pm 0,1$  mm, zhoršila maximálne o 74 % a zmena tejto vlastnosti pri zvyšovaní hrúbky kalenej vrstvy predstavovala približne 20 %. Taktiež aj v prípade skúšky vrubovej húževnatosti je možné zhodnotiť, že lepšie vlastnosti po procese povrchového kalenia vykazovali vzorky vyrobené z chróm-vanádiovej ocele 15 230.7 [3].

Na záver experimentu boli vykonané mikroskopické pozorovania, ktoré už priamo nespádajú pod mechanické skúšky materiálov, ale typ mikroštruktúry priamo ovplyvňuje výsledné mechanické vlastnosti. Pozorované boli všetky fázy, vzniknuté po procesoch tepelného spracovania. V prípade ocele 15 142.7 bola pri základnom materiáli pozorovaná sorbitická štruktúra, teda zmes feritu, globulárnych útvarov cementitu a iných karbidických fáz a ktorá je dôsledkom procesu zušľachtovania. V oblasti zakalenej vrstvy bola pozorovaná martenziticko-troostitická štruktúra (obr. 4a). Taktiež pri oceli 15 230.7 bola pri základnom materiáli pozorovaná sorbitická štruktúra a v oblasti kalenej vrstvy maticu tvoril jemný martenzit (obr. 4b). Rozdiel medzi pozorovanými mikroštruktúrami je v tvrdosti, kedy pri martenziticko-troostitckej štruktúre je možné dosiahnuť vyššiu tvrdosť, ako pri jemnom martenzite. Ďalším rozdielom v mikroštruktúrach vybraných materiálov je veľkosť zŕn, ktorá je značne väčšia pri materiáli 15 142.7. Táto veľkosť zŕn má priamy vplyv na húževnatosť materiálu, pretože najväčšie vnútorné napätie v materiáli je práve na hraniciach zŕn (väčšie zrno = väčšia plocha). Zo získaných informácií je teda možné zhodnotiť, že práve typ mikroštruktúry pri materiáli 15 230.7 je podstatou lepších výsledkov pri skúškach vrubovej húževnatosti.

## ZÁVER

Hlaveň je historicky najstaršia časť každej strelnej zbrane, rovnako ako aj najpodstatnejšia. Počas výstrelu zo zbrane dochádza k zrýchleniu a usmerneniu streľiva, čo je spojené s výbuchom prachovej náložky. Tento výbuch je charakteristický vznikom tlakovej sily, ktorá má tendenciu „dostať

sa“ von z hlavne (tlmič je založený práve na princípe eliminácie tohto tlaku). Okrem toho je tento výbuch sprevádzaný aj prudkým nárastom tepelnej energie, ktorá ma zase vplyv na rozmerové zmeny materiálu hlavne. Tieto rozmerové zmeny majú zase priamy vplyv na kvalitu a funkciu zbrane. Taktiež v prípade znefunkčenia alebo poškodenia hlavne je zbraň prakticky nepoužiteľná, až kým nedôjde k jej výmene za nový kus. Požiadavky na čo najlepšie mechanické vlastnosti materiálu sú teda vysoké [2].

Cieľom príspevku bolo zhodnotiť, ako sa menia vybrané mechanické vlastnosti materiálov, používaných, okrem iného, aj na výrobu hlavni krátkych ručných strelných zbraní, v závislosti od spôsobu tepelného spracovania. Tieto materiály prešli procesmi zušľachtovania, povrchového kalenia a popúšťania, spôsobmi bežne používanými pri spracovávaní tohto typu súčiastok. Podstatou skúmania bolo zistiť, ako sa budú meniť mechanické vlastnosti vybraných ocelí, ktoré prejdú dvoma rozdielnymi režimami povrchového kalenia s dosiahnutím maximálnej povrchovej tvrdosti. V prípade prvého režimu bola dosiahnutá hrúbka kalenej vrstvy  $1 \pm 0,1$  mm, pri druhom režime bola dosiahnutá hrúbka kalenej vrstvy  $2 \pm 0,1$  mm [3].

Pre účely zistenia a porovnania potrebných mechanických vlastností vybraných materiálov, bol vykonaný uvedený experiment, popísaný v predošlom texte. Vplyv zmeny hrúbky kalenej vrstvy na výsledné mechanické vlastnosti bol preukázaný pri všetkých kontrolovaných charakteristikách (tab. 3). V určitých prípadoch bola táto zmena zanedbateľná, avšak v určitých prípadoch naopak veľmi podstatná. Dôležitým poznatkom celého experimentu je to, že pri *chróm-vanádiovej* oceli 15 230.7, s režimom tepelného spracovania na maximálnu povrchovú tvrdosť a hrúbku kalenej vrstvy  $1 \pm 0,1$  mm, bolo dosiahnuté, ako v jedinom prípade, zvýšenie koeficientu vrubovej húževnatosti ( $K_{cu}$ ) [3].

Bez vykonania ďalších skúšok sa nedá určiť, ktorý z porovnávaných materiálov je vhodnejší pre výrobu tohto typu súčiastky. Pri zhodnotení faktu, že najpodstatnejším činiteľom pôsobiacim na povrch hlavne je trenie, ktoré vzniká posuvom hlavne pri výstrele, odporúča sa používať pri tomto type súčiastok minimálnu hrúbku zakalenej vrstvy. Výsledky, získané pri tomto experimente sa dajú použiť aj v prípade dimenzovania iných typov súčiastok [3].

Z hľadiska vývoja hlavni strelných zbraní je dôležitým aspektom výskum v oblasti chemicko-tepelného spracovania tohto typu súčiastok. Takýmito procesmi je možné získať omnoho menšie hrúbky „vytvrdenej“ vrstvy. V týchto prípadoch však dochádza okrem zmeny kryštalografickej mriežky, aj k zmene chemického zloženia v tejto vrstve. Oproti

vrstvám, vytvoreným procesom kalenia, však tieto vrstvy vykazujú omnoho vyššiu tvrdosť. V prípade vytvárania difúzných vrstiev procesom boridovania by bolo možné pri rovnakých materiáloch, ako boli použité v experimente, dosiahnuť povrchovú tvrdosť až 2000 HV1, pri hrúbke difúznej vrstvy pohybujúcej sa v stotínach milimetra. Otázne je, ako tento proces ovplyvní celkové mechanické vlastnosti materiálu [7].

## LITERATÚRA

[1] BAAKE, E. - NACKE, B. (2016): *Induction heating*. Essen: Vulkan-Verlag, ISBN 3802723910.

[2] BENCÚR, M. (2020): <https://www.vojsko.net>. Vojsko. [Online]: <https://www.vojsko.net/vyzbroj-pechoty/76-pistole-a-revolvery/3801-uvaha-nad-zabidnutymi-poistkami-pistoli>.

[3] JAŠŠO, M. (2022): *Osobitosti indukčného tepelného spracovania vybraných materiálov pre výrobu hlavni*. Diplomová práca, Žilinská univerzita v Žiline, č. 28230120222019.

[4] PTÁČEK, L. et al. (2003): *Nauka o materiálu 2*. vyd. Brno: CERM, 516 s. ISBN 80-7204-283-1.

[5] SKOČOVSKÝ, P. (2014): *Nauka o materiáli*. Žilina: EDIS, ISBN 978-80-554-0871-2.

[6] LIDMILA, Z. et al. (1999): *Strojárska technológia II, Technologie ve výrobě zbraní a munice*. Brno: Univerzita obrany.

[7] ŽUK, A. B. (2015): *Revolvery a pistole*. Praha: Naše vojsko, ISBN 978-80-2061-549-7.