



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

MATERIÁLY PRO VÝROBU RUČNÍCH PALNÝCH ZBRANÍ

MATERIALS FOR PRODUCTION OF SMALL FIREARMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Neužil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav materiálových věd a inženýrství
Student: **Tomáš Neužil**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Materiály pro výrobu ručních palných zbraní

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Ve své závěrečné práci se student zmíní o historii vývoje palných zbraní a zaměří se na popis materiálů používaných pro výrobu moderních palných zbraní, jejich charakteristiky a technologii výroby jednotlivých zbraňových součástí.

Cíle bakalářské práce:

Ve své závěrečné práci se student zaměří na:

- krátký průřez historií vývoje palných zbraní
- moderní palné zbraně (období 2. poloviny 20. století)
- popis mechanismů konkrétních palných zbraní
- materiály pro výrobu moderních zbraní a jejich charakteristiky
- technologie výroby zbraňových součástek z daných materiálů

Seznam literatury:

Frenzl, J.: Ruční palné zbraně. 3. vyd. Zlín: Print Centrum, a.s., 1996. 223 s.

Kříbek, J.: Střelné zbraně I.část. 2. vyd. Brno: PC-DIR spol. s.r.o., 1995. 147 s. ISBN 80-85895-08-0.

Kříbek, J.: Střelné zbraně II.část. 2. vyd. Brno: PC-DIR spol. s.r.o., 1995. 147 s. ISBN 80-85895-09-9.

Jankových, R.: Hlavnové zbraně a střelivo. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012. 115 s. ISBN 978-80-260-2384-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

BRNO 2016

ABSTRAKT

Tomáš Neužil: Materiály pro výrobu ručních palných zbraní.

Cílem této práce je shrnutí informací o ručních palných zbraních jak z pohledu jejich historického vývoje a to od počátků vzniku puškařského řemesla přes vývoj zámků a historický průřez zbraněmi, které byli během tohoto vývoje vynalezeny, až po vznik jednotného náboje, které se používají dodnes, tak i z pohledu dnešní doby se zaměřením na volbu hlavnových materiálů, problematiku zatěžování a únavy hlavně a vývrtu při výstřelu a konvenční technologie výroby vývrtů hlavní.

Klíčová slova: Vývoj, Zámek, Hlaveň, Materiál, Vývrt, Technologie výroby

ABSTRACT

Tomáš Neužil: Materials for production of small firearms

The aim of this thesis is to summarize information of small firearms, both in terms of their historical development and the origins of the crafting firearms, through the development of locks and a history of the weapons, which were during this development invented, to the emergence of a single bullet, which is still used today, so from the perspective of our time focusing on the choice of barrel materials, the issue of loading and fatigue barrel and bore when fired and conventional production technologies barrel bore.

Keywords: Development, Lock, Barrel, Material, Bore, Production technology

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NEUŽIL, T. *Materiály pro výrobu ručních palných zbraní*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 32 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 27. 5. 2016

.....
Tomáš Neužil

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Evě Mollikové, Ph.D., Paed IGIP za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Také bych chtěl poděkovat své rodině za umožnění studia na vysoké škole.

OBSAH

ÚVOD	9
1 HISTORIE	10
1.1 Počátky vývoje palných zbraní	10
1.1.1 Cechy	11
1.2 Zámky	11
1.2.1 Doutnákový zámek	11
1.2.2 Kolečkový zámek	12
1.2.3 Křesadlový zámek	14
1.2.4 Chemické zámky	15
1.3 Vývoj palných zbraní	16
1.3.1 Revolverové zbraně	18
1.3.2 Epsignoly	18
1.3.3 Modernizace zámků	19
1.3.4 Trombony	20
1.3.5 Granátometry	21
1.3.6 Hlavně	21
2 MATERIÁLY A TECHNOLOGIE VÝROBY HLAVNÍ	22
2.1 Materiály hlavní	22
2.1.1 Hlavňové oceli	22
2.1.2 Slitiny lehkých kovů a vyztužené plasty	25
2.1.3 Materiály vložek hlavní a povrchová úprava vývrtu	27
2.2 Konvenční technologie výroby	28
2.2.1 Třískové drážkování vývrtu	29
2.2.2 Drážkování vývrtu protlačováním	29
2.2.3 Výroba vývrtu rotačním kování	30
3 ZÁVĚR	31

ÚVOD

Zbraně a počátek jejich využívání by se dal srovnat s počátkem vývoje člověka. Už tehdy se totiž používali k boji o přežití, obstarání potravy nebo zastrasování nepřátel. A ačkoli do zbraní, které známe dnes, měli daleko, i tak tyto zbraně představovali symbol převahy a spolu s člověkem si prošli vlastním vývojem od obyčejného kamene, přes kyj, pazourek, oštěp až po luky a šípy, které byli dlouhou dobu považovány za nejlepší zbraň a měli převahu i poté, co se podařilo vyrobit první palné zbraně, které tehdejší společnost považovala spíše za dílo ďábla, než za revoluční změnu ať už ve vedení válek, možnosti se účinně bránit nebo jiných činností, lepších či horších, ke kterým se palné zbraně používají dnes.

Tato práce je rozdělena do dvou kapitol. První kapitola pojednává o historickém vývoji ručních palných zbraní od objevení střelného prachu a počátků cechovní výroby, která ve svých počátcích nebyla vůbec jednoduchá už jen proto, protože samotné nástroje pro výrobu palných zbraní si museli nejdříve kováři a první puškaři sami vyrobit. Rovněž fakt, že u prvních zbraní neexistovali žádné výkresy ani dokumentace k jejich výrobě nepřidal řemeslníkům snažícím se vyrobit palnout zbraň na bezpečnosti a díky výrobě založené na metodě pokus – omyl se stávalo, že vynálezci mnohdy nikdy neviděli svoji zbraň ve finální podobě, protože je zabila dříve, než ji stihli dokončit. Druhá kapitola je zaměřena na zbraně používané v dnešní době, zejména na materiály používané pro výrobu hlavní, vývrtů a technologie jejich zhotovování.

1. HISTORIE

1.1 Počátky vývoje palných zbraní

Palné zbraně prošly za dobu své existence dlouhým a složitým vývojem. Každá doba měla vliv na výrobu palných zbraní, čímž se postupně měnila i technologie výroby. Technický rozvoj a dokonce i umělecké slohy přinášeli nové pohledy na palné zbraně. To vedlo ke změnám tvaru, použitého materiálu, funkce i dekoru a to až v takových detailech, jaké u výrobků dalších uměleckých řemesel nenalezneme. Tyto změny velice podléhali služebnosti i funkci zbraně. Žádány začali být kuriózní a skryté zbraně, které byli skryty do jiných předmětů, ve kterých by asi nikdo palné zbraně nečekal. Byli to například knihy, kapesní hodinky, vycházkové hole, dýmky nebo dokonce i prsteny. K velké oblibě patřili i střílející klíče ke dveřím zámekům, které nahrazovali kapesní zbraně pro osobní obranu. Jeden takový klíč znázorňuje obr. 1.1.



Obr. 1.1 Střílející klíč s křesadlovým zámkem [2]

Jako další kuriozitou by se dali označit hodiny, které výstřelem z hlavně oznamovali poledne. Nejdříve fungovali na způsob slunečních hodin, kde čočka zapálila ve vhodný čas hromádku střelného prachu. Později byl tento způsob zapalování nahrazen jiným, ve kterém se vy užívalo mechanické funkce hodinového stroje.

Důležité je si uvědomit, že od samého začátku bylo puškařské řemeslo pod dohledem církve a panovníka. 15. století byla doba pověřivého středověku. Proto výstřel, který provázel výšleh ohně z hlavně, velká rána, oblak kouře a silný zápach síry byl mnohými

považován za dílo ďábla. Díky tomu vznikla přísná pravidla jak pro držitele zbraní, tak i pro samotné výrobce. Proto se žádný puškař neobešel bez církevního požehnání.

1.1.1 Cechy

15. století bylo v Evropě obdobím pilné tvůrčí práce a byla to také doba upevňování profesních společenstev řemeslníků, takzvaných cechů. Ty hájily sociální, společenské a hospodářské zájmy řemeslníků. Do jednoho cechu se sdružovali řemeslníci ze stejného nebo úzce příbuzného oboru, ovšem se začínající dělbou práce a především díky rozvíjejícím se technologiím začala vznikat nová řemesla, která se po čase odloučila od původního cechu a vytvořila cech nový.

V této době bylo základem všech oborů, které zpracovávali kovy (zejména železo), kovářství. Mezi nezbytné vybavení každé dílny patřila výheň a kovadlina. Na začátku vzniku puškařských řemesel si museli puškaři (u nás zvaní *ručníkáři*) nejprve sami vykovat a opracovat jak veškeré součásti zbraně, tak i samotné nástroje a pomůcky, které byli pro výrobu zbraně potřebné. Takovým způsobem pracovali i zámečníci a hodináři velkých hodin (takzvaní *orlojníci*), kteří spolu s puškaři tvořili po velice dlouho dobu jeden cech.

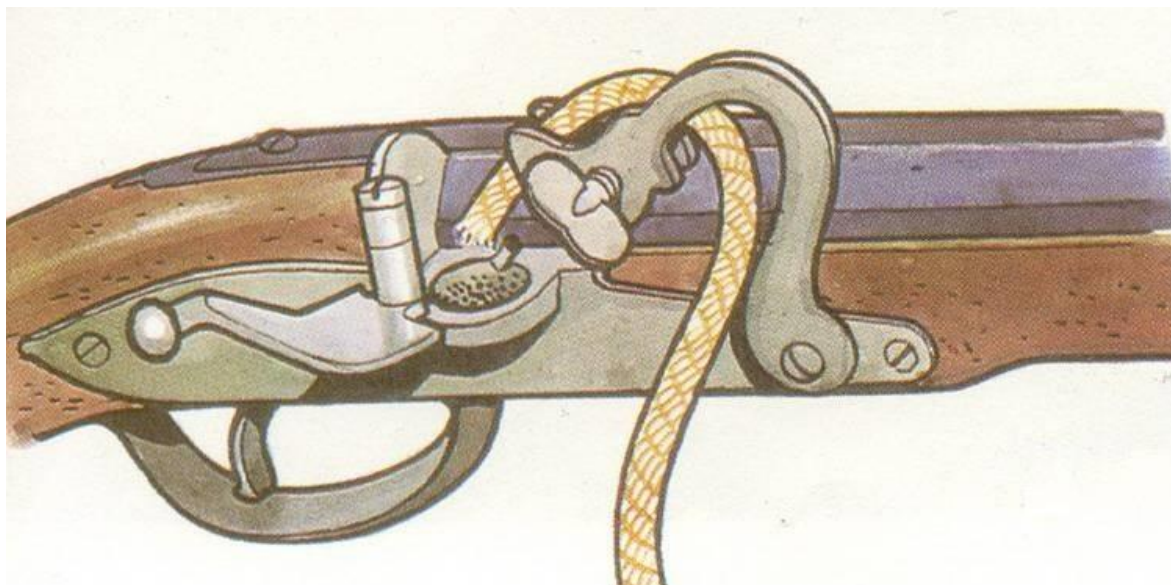
V tomto století kovali puškaři i hlavně nebo je odlévali z bronzu. Až koncem století se kovářství hlavní oddělilo a stalo se samostatnou profesí. Kováři, puškaři, zámečníci a později i hodináři se díky vzájemné spolupráci technologicky obohacovali, což vedlo k rychlému rozvoji a zdokonalování řemesel.

1.2 Zámky

1.2.1 Doutňákový zámek

„Nikdy už nezjistíme, kdo z puškařů jako první připevnil k hlavní píšťaly pánvičku – později s víčkem – ke snazšímu a bezpečnějšímu odpálení rány hořícím doutňákem druhou rukou. Ani kdo zhotovil první jednoduchý doutňákový zámek a připevnil jej ke zřejmě velmi jednoduché, ale přece již pažbě. Hořící doutňák byl upevněn ve skřípci – kohoutku – a zbraň již mohl ovládat jeden člověk a odpálit ji jednou rukou. Kohout byl upevněn na odpružené dvojzvrtné páce, na jejíž jednu část působila velmi jednoduchá spoušť. Pánvička, pevně uchycená na hlavni, byla krytá ručně otočným víčkem. Toto

jednoduché, ale geniální zařízení se udrželo přes pět set let. V Indii, Číně, Japonsku i Africe se používalo až do konce 19. století.“¹

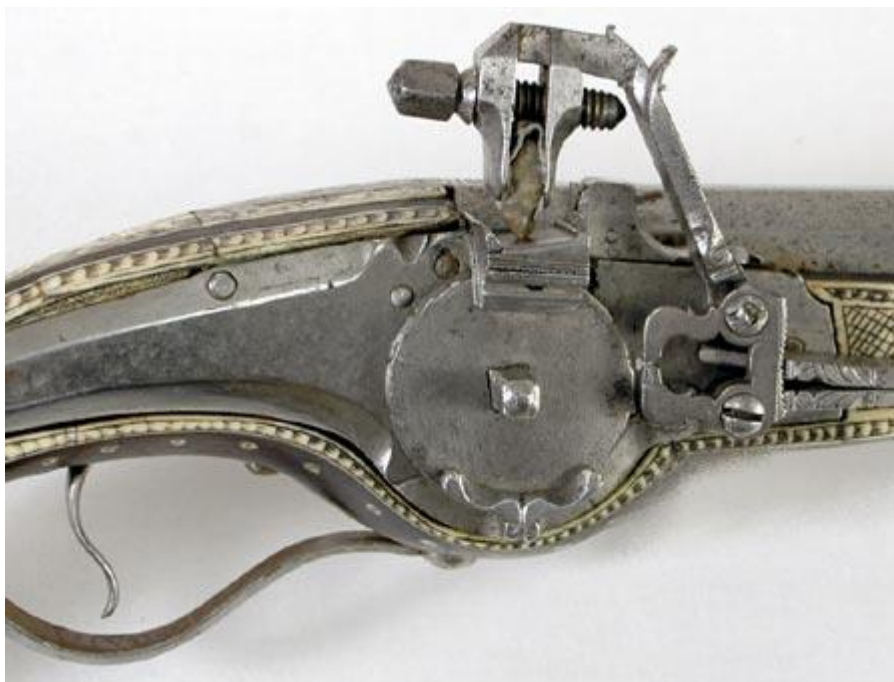


Obr. 1.2 Doutnákový zámek [7]

V následujícím 16. století se tento zámek, zobrazen na obr. 1.2, velice rozšířil, především díky válce třicetileté i řadě dalších válek (včetně koloniálních), které umožnily masovou výrobu a nasazení zbraní s doutnákovým zámkem. Oblibu si získal díky své jednoduchosti a i jeho výroba byla levná. Měl však i své nevýhody. Bylo potřeba mít stále dostupný zdroj ohně k připálení doutnáku. Ten bylo třeba neustále ručně ve skřipci posouvat. Před výstřelem bylo potřeba také odfoukávat neustále se tvořící popel a za deště bylo prakticky nemožné vystřelit. Ale i tento jednoduchý zámek se vyvíjel a ještě v 17. století se používal v kombinaci s kolečkovým zámkem, kde sloužil jako záložní zdroj zážehu.

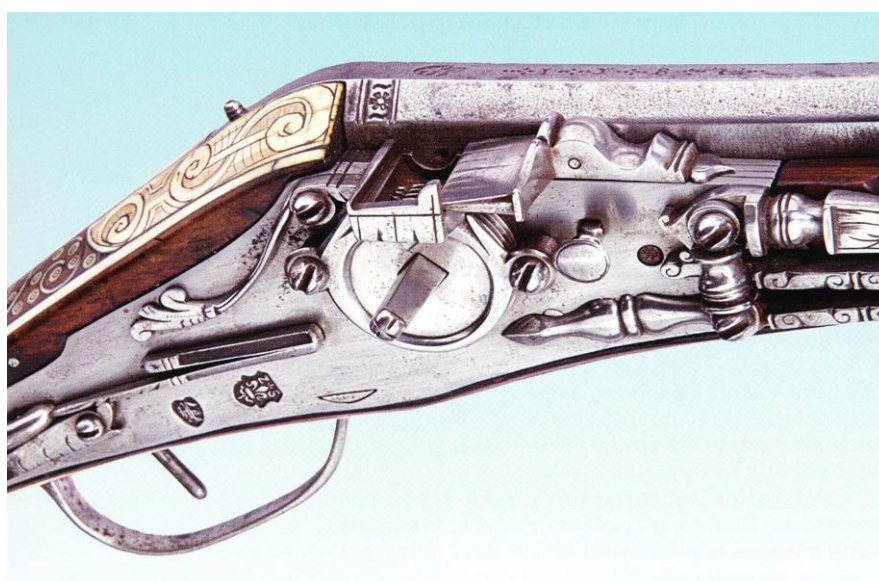
1.2.2 Kolečkový zámek

Na počátku 16. století došlo za spolupráce puškařů, zámečníků a hodinářů ke vzniku zámku kolečkového (zobrazeného na obr. 1.3 a 1.4). Ten již nebyl závislý na počasí, byl plně mechanický, bezpečný a spolehlivý. Ve své době se jednalo o dokonalý mechanismus vyrobený těmi nejdokonalejšími technologiemi.



Obr. 1.3 Kolečkový zámek [8]

„Zážeh prachu probíhal přímo v pánvičce, v jejíž drážce se kolečko pohybovalo, v jemném pánvičkovém prachu. V čelistech kohoutku byl upevněn kousek pyritu, zpruhou přitlačený k ocelovému rýhovanému kolečku. Na jeho obvodě v okamžiku spuštění – prudkým otočením kolečka silnou bicí zpruhou – došlo k zážehu. Prach na pánvičce byl až do okamžiku spuštění chráněn téměř vodotěsným odsuvným víčkem. Pyrit vykřesal bohatý snop jisker po poměrně dlouho dobu, zážeh byl celkem spolehlivý i v prudkém větru či dešti. Otočení kolečka asi o 2/3 obvodu zajišťovala silná bicí zpruha pomocí převodového řetízku.“¹



Obr. 1.4 Detail kolečkového zámku [2]

1.2.3 Křesadlový zámek

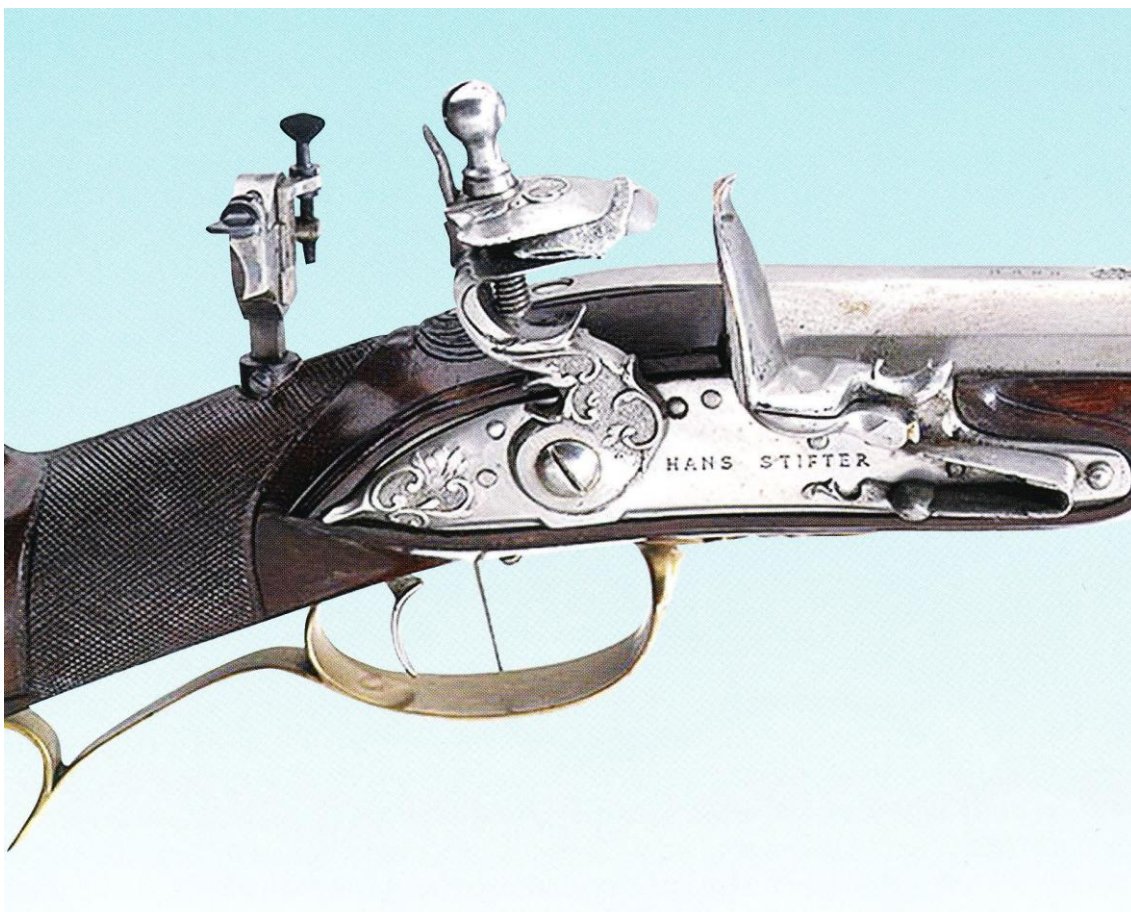
Pravděpodobně již na konci 15. století společně se zámkem kolečkovým začaly vznikat i první konstrukce křesadlového zámku (obr. 1.5). Zážeh byl způsoben úderem pyritu, který byl upevněn v čelistech kohoutku o kalenou ocílku, umístěnou nad páňvičkou zámku. Úderem pyritu vznikly jiskry, které dopadli do páňvičky, a zažehly prach.



Obr. 1.5 Pistole s křesadlovým zámkem [9]

Nevýhodou tohoto zámku bylo, že jiskry, které vznikali nad páňvičkou ve vzduchu, byli často odváty větrem ještě předtím, než se dostali do páňvičky, nebo ocílku, do které narážel pyrit, smácel déšť, což rovněž znemožnilo ze zbraně vystřelit. Ačkoli nebyl tento zámek z počátku moc spolehlivý, byl jednoduchý, levný a zhotovit jej dokázal i méně zručný řemeslník.

Brzy byl pyrit nahrazen pazourkem a postupně se vyvíjel v dokonalý křesadlový zámek. Jeho nejdokonalejší forma, známá jako zámek francouzský, zobrazen na obr. 1.6, u kterého tvořila ocílka s páňvičkou a víčkem jeden celek – baterii – a mechanismus byl skrytý v pažbě pod zámkovou deskou a tím chráněn před poškozením a nečistotami, se rozšířila po celém světě a převažoval u naprosté většině zbraní celých tři sta let.



Obr. 1.6 Kulovnice s francouzským křesadlovým zámkem [2]

1.2.4 Chemické zámky

Další etapu ve vývoji palných zbraní umožnil v 80. letech 18. století objev třaskavin (třaskavé rtuti). Střelný prach tak nahradila třaskavina. Nejdříve se třaskavina používala ve formě prášku, později ve formě kuliček nebo válečků a ještě později v odměřených kotoučích uvnitř papírového pásku, které v dnešní době známe jako dětské kapslovky. Při výstřelu se třaskavina iniciovala úderem hlavy kohoutku. Proto tento zámek dostal název nárazní, perkusní (obr 1.7). Chemické zámky byli však zpočátku velmi nebezpečné jak pro střelce, tak pro jeho okolí, protože při výstřelu docházelo poměrně často k prošlehnutí plamene i do zásobníčku a tím došlo k jeho explozi.



Obr. 1.7 Perkusní pistole [10]

Vývoj tohoto zámku pokračoval poměrně rychle. V polovině 19. století byly vyvinuty zápalky ve tvaru kalíšku vyráběny z mědi či tombaku, které měli na dně vlisovanou třaskavinu. „Zápalka se nasadila na piston (komínek) našroubovaný přímo do komory hlavně a úderem vyhloubené hlavy kohoutku došlo k zážehu prachu ve zcela uzavřeném prostoru. To znamenalo vrchol ve vývoji chemických, perkusních zámků a současně vrchol zbraní nabíjených zepředu, tedy ústím hlavně. Tato forma zápalky je také předchůdcem zápalky jednotných nábojů s vlastním těsněním, jaké používáme dodnes.“¹

Objev třaskaviny, která byla schopna zažehnout prachovou nálož, způsobil převrat ve vývoji palných zbraní. Téměř ve stejnou dobu přišli i první pokusy o výrobu jednotného náboje a nabíjení odzadu. Zbraně, které se dali nabíjet tímto způsobem, se však vyráběli již v éře zámků doutnákových, kolečkových, křesadlových i perkusních. Tehdy se ovšem jednalo o vložené nábojnice, které obsahovali pouze prach a střelu. Nyní to byl princip jednotného náboje s vlastním těsněním, obsahující nábojnici, střelu, dávku prachu a zápalku. Jednalo se tedy o náboj, jak jej známe dnes. První takový náboj byl zkonstruován již na počátku 19. století. Ten však příliš předběhl svou dobu, protože tehdejší technologie nebyly schopny takový náboj vyrábět hromadně a proto nedošlo k jeho rozšíření.

1.3 Vývoj palných zbraní

Během 16. století dochází k největšímu rozvoji ručních palných zbraní, zejména zbraní s kolečkovým zámkem, který byl neustále modernizován. Zámky ale nebyly jediná věc, která se zdokonalovala. V 16. století byli hlavně zbraní poprvé opatřeny drážkovaným vývrtem. Zpočátku se jednalo o zbraně s rovnými drážkami, které sloužili zřejmě k zachycování zbytků střelného prachu. Poměrně brzy však bylo na základě zkušeností

zjištěno, že pokud jsou drážky ve šroubovici, dojde k rotaci střely za letu a tím se velmi zvýší dostřel, přesnost i průbojnost zbraně. Proto začali být hlavně opatřovány vývrtem ve šroubovici. V dnešní době používaný moderní polygonální vývrt pochází rovněž z tohoto období. Zbraně byli rovněž vybaveny již dokonalými mířidly, až tříplátkovým hledím i dioptrům. Spoušť byla vylepšena napínáčkem, který zjemnil spouštění a tím velice zvýšil přesnost střelby. O kulovnicích, které již tehdy byli vybaveny pojistkami a jinými vymoženostmi, které používáme i v dnešní době, se dá bez přehánění říct, že v závěru 16. století byli i s tehdejšími střelnými prachy v lovu na dnešní mysliveckou vzdálenost plně srovnatelné s dnešními zbraněmi.

Již za éry prvních palných zbraní vyvstala potřeba vystřelit více jak jednu ránu. Druhá rána představovala nespornou výhodu, třetí téměř jistotu přežití. V 16. a 17. století se proto začaly objevovat dvoj či trojhlavňové zbraně (převážně pistole). Z pokusů vyvinout zbraň s otočnými hlavními vznikl klasický revolver.

Problém, jak vystřelit z jedné hlavně více ran měl několik řešení. Tím prvním byla zbraň s více hlavními, přičemž každá hlaveň měla svůj vlastní zámek (obr. 1.8). Zbraň se tím však stala velice těžkou a neskladnou. Dalším řešením byly zbraně s hlavními otočnými. Tyto zbraně se stali velmi oblíbenými. Pistole s otočným svazkem hlavní se v perkusní, křesadlové verzi, později i s jednotnými náboji, vyráběly až do 20. století.



Obr. 1.8 Pistole s křesadlovými zámky a třemi otáčivými hlavními [11]

Jako další řešení byla zkonstruována zbraň se svazkem pevných hlavní. Hlavně byli přidělány ke zbrani napevno a odpalovali se všechny naráz jako hromadná střela. Ačkoli byl tento mechanismus bezpečný, kvůli svým nevýhodám se neujal. Váha zbraně však byla příliš vysoká a zpětný ráz při střelbě z několika hlavní naráz příliš silný.

1.3.1 Revolverové zbraně

Naprosto přelomovým řešením se staly revolverové zbraně. Ty měli zpočátku doutnákový zámek, kde se v zadní části zbraně otáčel blok (válec) skládající se z několika komor, který se musel pro každou ránu otáčet ručně (obr. 1.9). Avšak již v 17. století došlo k modernizaci, při které se blok otáčel samočinně mechanismem, obvykle při natahování kohoutku, kde se pro každý výstřel otočí oproti hlavní jedna nabitá komora. U zbraní s pevnými svazky hlavní se v 19. století objevovali často i kuriózní systémy, jako byli zbraně s otočnými úderníky nebo posuvy hlavní ve svislém, příčném i podélném směru.



Obr. 1.9 8-ranný revolver s doutnákovým zámkem [12]

1.3.2 Epsignoly

Velice nebezpečnou a zároveň zvláštní zbraní byly tzv. Epsignoly (obr. 1.10). Jednalo se o pistole, kde se do hlavní těchto pistolí nabilo až 7 nábojů za sebou. Kulka, prach, kulka, prach... Samotné střely byli provrtány, aby první výstřel dírkou v kulce zažehl následující a tím se postupně vystřelili všechny náboje v hlavní. Často se však stávalo, že místo postupného zážehu se vznítilo více nebo všechny náboje najednou, což způsobilo roztrhání hlavní. Proto se vynálezci těchto systémů často nedožili úspěchů svých vynálezů.



Obr. 1.10 Dvouhlavňová šestiranná pistole s křesadlovým zámkem [13]

1.3.3 Modernizace zámků

Velice úspěšná byla konstrukce otočné pánvičky. Ta umožňovala pomocí vyvrtaných kanálků z jedné pánvičky postupně odpálit všechny hlavně jednoho svazku. Šlo o velice oblíbený a rozšířený systém, především v Anglii. Nevýhodou bylo, že pro každý další výstřel bylo potřeba doplnit prach na pánvičce.

Ještě lepším řešením se ukázala být pánvička posuvná, která byla sestrojena ve dvou patrech nad sebou, jako výškově zdvojená. V obou patrech byl nasypán střelný prach. Po odpálení první hlavně se při natahování kohoutku pomocí táhla automaticky odsunulo dno vrchní pánvičky a tím se odkryla pánvička spodní připravena k druhému výstřelu.

Jako velice sofistikované se ukázali být opakovací křesadlové zbraně, které vznikali od konce 17. století. „Princip spočíval v tom, že v komorové, značně rozšířené části byl osazen příčně, nebo svisle otočný válec nebo samosvorný kužel, přesně zabroušený, uzavírající těsně komoru, která měla větší průměr než vývrt hlavně. Po nabití se otočením válce náboj v komoře bezpečně uzavřel a mohlo dojít k výstřelu. Střely i prach byli uloženy v trubicových zásobnících v hlavišti pažby. Při nabíjení se zbraň sklonila k zemi, postranní pákou se otočný válec pootočil do příslušné polohy, kdy se do komory vysypala střela. Poté se válec opět pootočil k zásobníku prachu, ze kterého se komora doplnila

prachem. Dalším pootočením válce do uzavírací polohy se komora těsně uzavřela a zároveň se vytlačil prach na pánvičku. Natáhl se kohout a zbraň byla připravena k výstřelu.“¹

Není potřeba zdůrazňovat, že nabíjení zbraní zepředu bylo poněkud nepohodlné. Proto už od nejstarších existují snahy o konstrukci zbraní nabíjených odzadu. Nejstarším takovým systémem byl způsob nabíjení děl v 15. století, kde se do zadní části děla za vložnou kouli vkládala samotná, předem nabitá komora, která se uklínována zatlučením klínu. Ruční plané zbraně se nabíjeli tak, že se do zadních částí hlavní vkládaly samostatné komory s úplnými náboji, u křesadlových zbraní i s kompletní pánvičkou a ocílkou.

1.3.4 Trombony

Velice atraktivní zbraní byli trombony (obr. 1.11). Většinou se jednalo o zbraně s masivní hlavní, která měla kruhovitě nebo oválně trychtýřovitě rozšířené ústní. Zbraň byla nabíjena hromadnou střelou, skládající se z několika menších kulí, sekaného olova nebo i sekaného železa. Účelem při výstřelu bylo docílit velkého rozptylu a tím pokrýt co největší plochu nástřelu a způsobit maximální zranění jen s přibližným zaměřením. Vyráběli se ve formách pistolí, pušek nebo i jako kozlice. Jednalo se o zbraně střelející na krátkou vzdálenost. Hlavně byly vyrobeny většinou z bronzu nebo mosazi a často byli vybaveny sklopným bodákem.



Obr. 1.11 Trombon [14]

1.3.5 Granátomety

Další zajímavou zbraní, zobrazenou na obr. 1.12, která se používala již během třicetileté války, je granátomet. Jednalo se o krátkou pušku, karabinu či pistoli používající křesadlový nebo kolečkový zámek. Hlaveň byla převážně odlévaná z bronzu a opatřena velkým vývrtem (40 – 50 mm i více). Granáty, kterými se tyto zbraně nabíjeli, byli duté koule naplněné obvykle prachem a sekaným olovem, nebo zápalnou směsí a opatřené doutnákem, který zajišťoval, že granát vybuchne až v objektu.



Obr. 1.12 Granátomety z 18. Století [15]

1.3.6 Hlavně

Zámky a střelivo však nebyli jediné části zbraní, které prošly vývojem a neustálým zdokonalováním, které trvá dodnes. Stejně tak si vývojem prošli i hlavně zbraní, které museli ujít dlouhou cestu, aby se z nich stali hlavně, jaké se používají v dnešní době.

První malorážové palné zbraně měli ráži 50 až 100mm. Rozpětí ráží se začalo zvětšovat od poloviny 14. stol, což vedlo k rozdělení palných zbraní na malorážové (ruční, střelecké) a velkorážové (dělostřelecké). Tento významný pokrok upevnil postavení palných zbraní ve středověké výzbroji.

Hlavně prvních malorážových palných zbraní byly opatřeny pouze hladkým vývrtem a byly kovány ze železa nebo odlévány z bronzu. Od konce 15. století se hlavně vyráběli pouze ze železa. Na začátku 16. století se objevují hlavně s drážkovaným vývrtem a to převážně u dělostřeleckých zbraní.

Dlouhou dobu musela konstrukce hlavní vycházet pouze ze zkušeností a předchozího vývoje osvědčených vzorů z důvodů řady obtížně zvládnutelných matematických faktorů spojených s výstřelem, jako tepelné zatížení, vibrace, napětí ve stěně hlavně, hoření prachové náplně, tlak prachových plynů a řada dalších.

2. MATERIÁLY A TECHNOLOGIE VÝROBY HLAVNÍ

2.1 Materiály hlavní

Většina hlavní dnešních palných zbraní se zhotovuje z oceli. V určitých případech se však můžeme setkat i s hlavními zhotovenými z hliníkových slitin nebo z titanu. U hlavní ručních protitankových zbraní je možné jako výrobní materiál použít i vyztužené plasty.

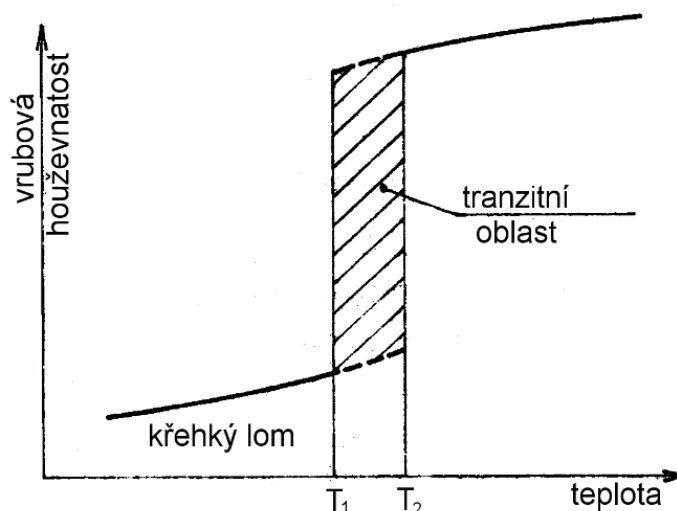
Na materiály pro výrobu hlavní jsou kladeny vysoké nároky. Aby odolávaly tlakům prachových plynů, musí mít hlavňové materiály vysokou pevnost. Kvůli rychlým a opakovaným zatěžování při výstřelu musí být houževnaté, aby především za nižších teplot nedocházelo ke křehkému lomu. Bez odpovídající tvrdosti se mohou hlavně deformovat a omačkávat od nárazů pohybující se střely. Důležitá je i žáruvzdornost a chemická odolnost vůči působení prachových plynů i atmosférických vlivů. Všechny tyto vlastnosti si musí materiál zachovat při různých teplotách v rozmezí od -50°C do 600°C . Při teplotních rázech dosahuje teplota vnitřního povrchu vývrtu až do 1200°C .

Dále je důležité, aby byli hlavňové materiály dobře obrobitelné a vhodné pro danou technologii výroby hlavně svými mechanickými vlastnostmi a chemickým složením. Také je za potřebí najít vhodný kompromis mezi přijatelnou obrobitelností a životností, protože se ukazuje, že při tepelném zpracování, které zlepšuje obrobitelnost a ekonomii výroby, dochází ke snížení výkonu a životnosti hlavně při střelbě.

2.1.1 Hlavňové oceli

Existuje hned několik druhů ocelí, ze kterých se hlavně zbraní mohou vyrábět. Ideálnímu hlavňovému materiálu se nejvíce přibližují legované oceli. Setkat se však můžeme rovněž i s hlavními vyrobenými z nerezavějících ocelí, které se používají u loveckých zbraní. Ačkoli jsou však tyto oceli velice odolné proti korozi, těžko se povrchově upravují a jsou drahé.

Mechanické vlastnosti materiálů určených pro výrobu hlavní jsou zpravidla normalizovány a převážně se určují destruktivními zkouškami. Mezi tyto základní pevnostní charakteristiky patří mez kluzu, mez pevnosti v tahu, tažnost, kontrakce, vrubová houževnatost a dynamická lomová houževnatost. Vrubová houževnatost u ocelí velmi výrazně závisí na teplotě. S klesající teplotou dochází k poklesu hodnoty vrubové houževnatosti, což se projevuje přechodem od houževnatého ke křehkému porušení, jak ukazuje obrázek 2.1.

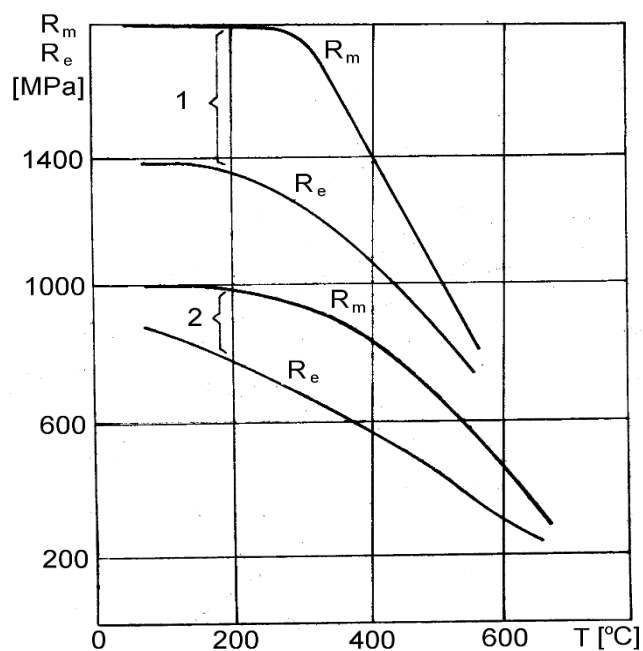


Obr. 2.1 Přechod ke křehkému lomu [3]

Mez pevnosti u ocelí určených k výrobě hlavní má široké rozmezí. V dnešní době je možné dosáhnout i značně vysoké pevnosti oceli. Omezujícím faktorem se však stává snaha o zachování dobré obrobitelnosti a plasticity. Z hlediska bezpečnosti je důležitou podmínkou zachovat dostatečný odstup meze kluzu od meze pevnosti. Při přibližování meze kluzu k mezi pevnosti dochází k přiblížení horní a dolní hranice porušení a tím klesá potřebná plastická rezerva.

Z důvodů zvyšujících se balistických výkonů dochází k volbě bohatě legovaných ocelí o vysoké pevnosti. S tím však souvisí i jejich zvýšená citlivost k nízkocyklové únavě. To může vést vlivem působení teplotních rázů, které vznikají při výstřelu, k iniciaci a šíření trhlin na vnitřním povrchu hlavní.

Stejně jako většina materiálů, i ocel mění svoji pevnost při zvýšených teplotách. Obrázek 2.2 ukazuje závislost meze kluzu a meze pevnosti na teplotě u dvou typických hlavnových ocelí, 1 – ORD4330V, 2 – Cr-Mo-V.



Obr. 2.2 Závislost mechanických vlastností na teplotě [3]

U nás se pro výrobu hlavní používají oceli 13 242 a 15 230. Aby se dosáhlo požadovaných mechanických vlastností, jsou do těchto ocelí přidávány přísadové prvky, kterými jsou vanad, mangan, křemík a chrom. Pro hlavně, které jsou méně namáhané, můžeme při zaručené prokalitelnosti použít i uhlíkovou konstrukční ocel 12 061.

Za účelem zlepšení vlastností materiálu dochází k úpravám struktury ocelí různými způsoby. Pro výrobu hlavní jsou zkoušeny některé oceli s jednorázovým řízeným podchlazením. Díky tomuto ošetření dochází především k zvýšení mechanických vlastností oceli a k prodloužení životnosti. Pro hlavně malých ráží je nabízen materiál, u kterého je mimo hlubokého podchlazení ovlivněna i mikrostruktura oceli v kombinaci s ultrazvukovými vlnami o velké amplitudě. Poté dochází nejen ke zvýšení životnosti, ale údajně i ke zlepšení rozptylu vlivem snížení vnitřních pnutí a strukturálních změn.

Pro výrobu hlavní velkorážních kulometů, leteckých vysokokadenčních kulometů a kanónů, ale i na hlavně dělové se dají použít legované oceli 38ChN3MFA, OChN3M a OChN3MFA. U dělových hlavní se převážně používají oceli legované niklem, chromem a molybdenem, popř. vanadem. Příkladem jsou oceli uvedené na obrázku 2.2.

Při volbě hlavnového materiálu je potřeba přesně specifikovat, co nesmí ocel obsahovat. Nežádoucí jsou všechny prvky a příměsi, které mají nežádoucí vliv na strukturu a vlastnosti materiálu, jakými je např. nitrid titanu, kombinovaný obsah hliníku, mědi, cínu apod. Dodržení minimálního množství nežádoucích prvků, fosforu a síry je důležitým požadavkem na kvalitu hlavnových ocelí. Stejně důležitá je i složení mikrostruktury. Ta musí být jemnozrnná, tvořená homogenním sorbitem bez přítomnosti volného feritu. Kolísání tvrdosti ocelí by nemělo být větší než 10%.

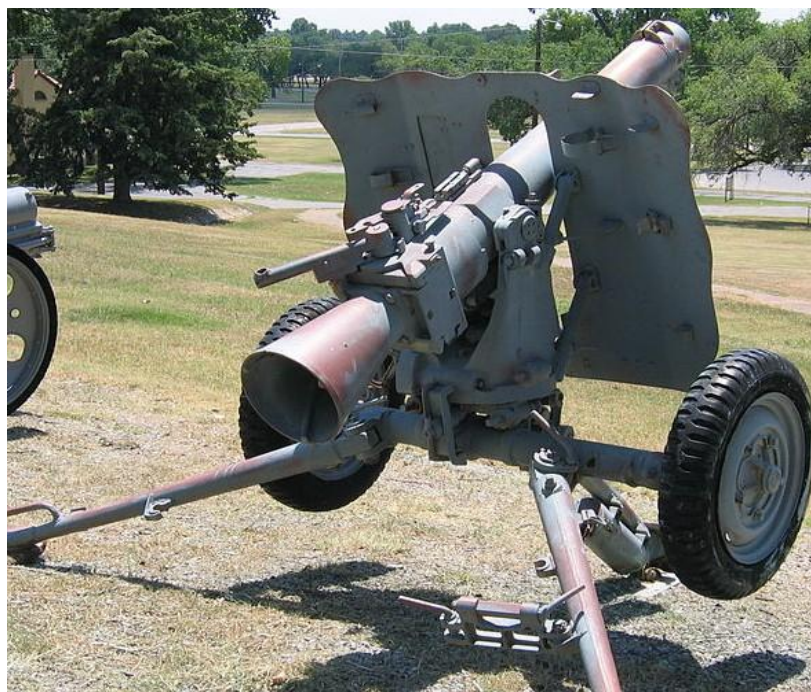
2.1.2 Slitiny lehkých kovů a vyztužené plasty

Hliníkové slitiny mají v dnešní době široké využití. Hliník jako kov byl poprvé vyroben v první polovině 19. století. Čistý hliník je pro technické účely skoro nepoužitelný, neboť zejména jeho mechanické vlastnosti jsou nevyhovující. Jeho slitiny s jinými prvky ovšem mohou mít značně odlišné vlastnosti. Slitiny hliníku našli mimo jiné široké uplatnění v 30. a 40. letech 20. století, kdy se z těchto slitin vyráběly podstatné části leteckých motorů. V dnešní době se hliníkové slitiny používají u ručních protitankových prostředků. Hliníkové slitiny mají hned několik výhod. Jsou poměrně lehké, čímž se zvyšuje mobilita zbraně. Měrná hmotnost slitin používaných pro tyto účely je $2,7 \text{ g.cm}^{-3}$. Slitiny jsou rovněž dobře obrobitelné a odolné vůči korozi. Příkladem využití hliníkové slitiny je 40mm granátomet M79, zobrazen na obr. 2.3. Materiál je vytvrzen na HB 185 a svým chemickým složením odpovídá slitině AlZn6Mg2Cu . Hlaveň je také opatřena vrstvou tvrdé anodické oxidace.



Obr. 2.3 Granátomet M79 s různými typy munice [16]

Titanové slitiny mají oproti hliníkovým vyšší pevnost a to i za zvýšených teplot a rovněž dobře odolávají korozi. Mají ale vyšší měrnou hmotnost, u slitin používaných na výrobu zbraní je tato hodnota zhruba $4,5 \text{ g.cm}^{-3}$, která je však stále relativně nízká. Za hlavní nevýhodu titanu se dá považovat náročnost jeho výroby, která se negativně promítne do ceny výsledného produktu. I přesto tuto nevýhodu převyšuje množství výhod, která titan a jeho slitiny mají. Mezi další výhody můžeme zahrnout jeho tepelnou odolnost nebo odolnost vůči únavovému porušení. Vhodný je, stejně jako hliníkové slitiny, pro výrobu hlavní bezzákluzových zbraní (obr. 2.4), tedy zbraní, u kterých je část prachových plynů vzniklých při výstřelu vypuštěna směrem vzad, takže se (podle třetího Newtonova zákona) utváří vpřed působící síla, jež částečně eliminuje zpětný ráz výstřelu.



Obr. 2.4 Bezzákluzové dělo 10,5cm Leichtgeschütz 42 (LG-42) [17]

Vyztužené plasty (kompozity) mají řadu předností, což z nich činí vhodné materiály pro některé druhy hlavních. Mají nízkou měrnou hmotnost, relativně vysokou pevnost, odolnost proti korozi a nárazu, nízkou teplotní vodivost, nízká cena jednotlivých složek a snadná je i jejich technologie výroby.

Kompozity je možné dále upravovat. Pokud je matrice kompozitu vyztužena skleněnou tkaninou, může kompozit dosahovat pevností srovnatelných s pevností oceli. Nedostatkem, který způsobuje nízký modul pružnosti, je malá tuhost. Tento nedostatek může vyústit ve

velké deformace a ztrátu nosné stability. To se dá však potlačit vhodným vyztužením kovovou výztuží. Uvedené nedostatky je možné kompenzovat různými typy vláken, jako např. vlákna uhlíkovými, bórovými, grafitovými, kevlarovými nebo se může použít drát ocelový Mo, W, Al. Tímto se dá podstatně zvýšit modul pružnosti, ale za cenu zvýšení nákladů na výrobu.

Pokud dojde u kompozitního materiálu k neočekávanému přetížení, nemůžeme počítat, že se kompozit přizpůsobí, protože kompozitní materiály postrádají charakteristickou mez kluzu a po ní dostatečnou pružně-plastickou oblast.

2.1.3 Materiály vložek hlavní a povrchová úprava vývrtu

Vývrt hlavně, jako například u tankové hlavně na obr. 2.5, má veliký význam. Jedná se o skupinu vodících ploch ve tvaru šroubovice, díky které dochází při průchodu projektilu hlavní k jeho roztočení okolo jeho podélné osy, což způsobuje stabilizaci projektilu a tím dochází ke zvýšení dostřelu a zlepšení přesnosti. Vývrt se povrchově upravuje žárupevnými materiály, nebo se z nich přímo zhotovuje. To má za následek zvýšení životnosti hlavní, především u vysokokadenčních zbraní.



Obr. 2.5 Řez tankovým kanónem ráže 105 mm [18]

Jako vložky do hlavní prokázali z řady žáruvzdorných materiálů nejlepší vlastnosti slitiny na bázi kobaltu a chrómu, zvané stellity. Do teploty 600°C si podstatněji udržují

svoji tvrdost, mají dobrou odolnost vůči erozi, vysoký bod tání a jejich tažnost se zlepšuje s růstem teploty. Příliš velkému roztažení a tím i následnému lomu vložky zabraňuje ocelová hlaveň sloužící jako plášť. Jako další příklady žáruvzdorných slitiny by se dali použít vysoce legované oceli. Problém u těchto ocelí je obtížné obrábění konvenčními způsoby, jelikož každá z nich vyžaduje specifický výrobní postup.

Nejvýhodnějším materiálem určeným k povrchové úpravě vývrtu je chrom a to především kvůli jeho vlastnostem. Je přednostmi jsou vysoká teplota tání (1863°C), lze jej nanášet na povrch tzv. tvrdým chromováním (galvanickou cestou), za vysokých teplot si udržuje vysokou pevnost i tvrdost, vysoká tažnost za vysokých i nízkých teplot a odolnost jak proti erozi tak i korozi k chemickým účinkům prachových plynů.

Tvrdé chromování vývrtu je běžné u malorážových zbraní. Umožňuje zhotovovat hlavně z nenákladných slitinových ocelí a podstatně zvyšuje jejich životnost. Vliv na tloušťku chromové vrstvy má ráže hlavně a požadovaná životnost. Rozmezí tloušťky této vrstvy je od 0,005mm v nábojové komoře až do 0,3mm i více v drážkované části vývrtu. Při výrobě se pak musí zvětšit rozměry vývrtu právě o tuto tloušťku. Možnosti použití tvrdého chromování omezuje rostoucí ráže zbraně. Používá se jen do ráže 30 až 40mm, protože s rostoucí ráží klesá přilnavost chromové vrstvy k vývrtu.

Vývrt má však omezenou odolnost, kterou je možné zvýšit iontovou nitridací nebo karbonitridací. Nejlepší tepelné odstínění zajišťuje oxid zirkoničitý ZrO_2 , který snižuje ohřev hlavně snížením přestupu tepla. Jeho tenká vrstva se aplikuje na vnější povrch vložky z žáruvzdorné oceli.

2.2 Konvenční technologie výroby

Pro výrobu dělových hlavních se jako polotovary používají buď hrubované výkovky, nebo odstředivě lité odlitky. U malorážových hlavních jsou polotovary výkovky nebo tyčové oceli. Aby se dosáhlo požadovaných mechanických vlastností, jsou polotovary tepelně zpracovány podle předepsaných technických podmínek.

Pokud se při výrobě aplikuje tepelně odolný, vysoce legovaný materiál, využívají se k výrobě hlavně i vývrtu nekonvenční výrobní způsoby, jako jsou elektrochemické vrtání, protlačování za tepla nebo spékání a protlačování.

2.2.1 Třískové drážkování vývrtu

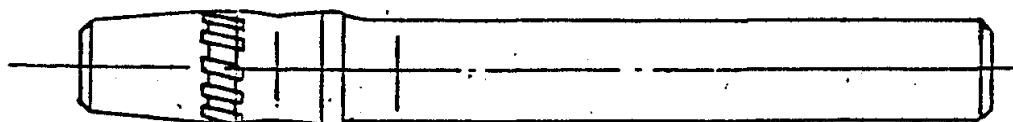
Ještě předtím, než dojde k drážkování, vrtá se hlaveň na strojích pro hloubkové vrtání. Aby se u vrtání takto dlouhých otvorů dosáhlo co největší přesnosti, osvědčila se metoda vrtání, při níž speciální vrtací tyč stojí, zatímco hlaveň se otáčí. Na začátku vrtání musí být vrtací hlava bezpečně vedena v objímce. Důležité je také vymezit vhodnou vůli, aby byl zajištěn odvod třísky z vnitřku hlavně, odkud je tříska odváděna pod vysokým tlakem chladicí kapalinou. Tato výroba vývrtu je považována za nejstarší výrobní způsob.

U malorážových zbraní (výjimkou jsou hlavně balistické) je tato metoda výroby vývrtu poměrně málo používána. Ačkoli se docílí poměrně kvalitního vývrtu, jedná se o zdoluhavý způsob, při kterém, jako při jiných třískových způsobech výroby, může dojít k vytržení nebo zatření třísky. Tím se značně zvyšuje procento výroby neopravitelných zmetků.

2.2.2 Drážkování vývrtu protlačováním

Drážkování protlačováním se začalo používat na počátku 2. světové války. Výhodou této metody je, že odstraňuje některé nevýhody třískového drážkování.

Drážky se vyrobí pomocí trnu ze slinutého karbidu (obr. 2.6), který je opatřen výstupky a drážkami. Ty mají sklon, který odpovídá stoupání, a při protlačování vytvářejí potřebný profil. Trn je protlačován tlakem a to volně, bez vedení. Na konci je vývrt kalibrován kuličkou ze slinutého karbidu, kterou je však možné nahradit nákrůžkem na protlačovacím trnu.



Obr. 2.6 Protlačovací trn [3]

Výhodou oproti třiskovému drážkování je snížení operačního času a menší výroba zmetků. Protlačování má ale i svoje nevýhody, mezi které patří závislost kvality vývrtu na pravidelnosti stoupání a zbytkové vnitřní pnutí v hlavni po protlačení. Toto pnutí, pokud není odstraněno tepelným zpracováním, může způsobit při opracování povrchu změnu průměru vývrtu (otevření ústí).

2.2.3 Výroba vývrtu rotačním kováním

Tento způsob výroby hlavní patří mezi nejehospodárnější procesy. Výhoda spočívá v tom, že během jedné operace je zhotoven dokonalý vnitřní povrch, který (kromě povrchových úprav) už nemusí být nadále dohotovován.

Dnešní technologie navíc dovoluje plynule přestavovat kuželový kovací trn v podélném směru, což umožňuje kovat kuželové tvary vývrtu v rozmezí 0,01 – 0,03mm. Díky tomu dochází k výraznému prodloužení životnosti hlavně a rovněž se zvyšuje i přesnost střelby. Celý tento proces není závislý na zručnosti pracovníků, protože je zcela automatizován. Kovací trn je vyroben ze slinutého karbidu a je opatřen negativem vývrtu, případně zúžením na ústí nebo tvarem nábojové komory.

Při kování hlavní zastudena dochází k vysokému namáhání polotovaru jak z deformačního hlediska, tak i z hlediska napjatosti. Deformace jsou maximální na vnitřním povrchu hlavně v místech, kde dochází ke styku hlavně s trnem. V četných zrnech dochází vlivem interakce radiálních a axiálních sil ke složitému přetváření, což může způsobovat nežádoucí poruchy na vnitřním povrchu hlavně. Je tedy důležité zvolit vhodný materiál, který nebude při kování znehodnocen a kterému po kování zůstane dostatečná rezerva pro pevnost hlavně za provozu zbraně.

Výrobu vývrtu rotačním kováním provází zajímavý jev, a tím je skutečnost, že po opracování vnějšího povrchu se mírně zmenšuje průměr vývrtu vykované hlavně. Hodnotu zmenšení určuje vstupní pevnost materiálu polotovaru. Problémem je zřejmě porušení rovnováhy vnitřního pnutí. To se dá však zmírnit následným žíháním – stabilizací, díky kterému dochází k prokazatelnému snížení vnitřního pnutí, zvýšení plastických charakteristik materiálu a příznivý vliv má tedy i na stabilitu rozměrů hlavně. Toto žíhání se provádí ve vakuové peci na vnitřním povrchu vývrtu bez vzniku kyslíčků.

3. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo nastínit vývoj a rozmach palých zbraní a problematiku volby materiálu pro výrobu hlavních. Vývoj palných zbraní se však nezastavuje ani v dnešní době a je jen otázkou času, kdy někdo vynalezne nové slitiny pro výrobu zbraňových součástí, nové technologie jejich výroby nebo nové mechanismy odpálení projektilu a na zbraň, které známe dnes, se začne pohlízet jen jako na součást historie jejich dlouhého a komplikovaného vývoje. Zvolit ideální hlavnový materiál je rovněž poměrně komplikované. Nároky kvůli namáhání hlavně jsou značné. Musí mít požadovanou tvrdost, houževnatost, pevnost a další vlastnosti, aby při zatížení hlavně při výstřelu nedošlo k jejímu porušení. Nestačí však jen vybrat materiál s nejlepšími mechanickými vlastnostmi. Vždy je třeba najít vhodný kompromis mezi mechanickými vlastnostmi, dobrou obrobitelností, přijatelnou cenou a dalšími aspekty.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. POKORNÝ, Karel a Jiří MATOUŠEK. *Mistři uměleckých řemesel*. 1. vyd. v českém jazyce. Praha: BB art, 2014. ISBN 978-80-7461-457-6.
2. SLANINA, Miroslav. *Puškařství: z historie puškařského řemesla v Čechách*. 1. vyd. Říčany u Prahy: Arms Studio, c2012. ISBN 978-80-260-2503-0.
3. FIŠER, Miloslav, Stanislav PROCHÁZKA a Jozef ŠKVAREK. *Hlavně palných zbraní*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2006. ISBN 80-7231-157-3.
4. KOVÁRNÍK, Libor a Miroslav ROUČ. *Zbraně a střelivo*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2007. ISBN 978-80-7380-030-7.
5. LIDMILA, Zdeněk, Jan LUKEŠ a Emil SVOBODA. *Strojírenská technologie II*. Brno, Vojenská akademie 1999, S-995 (skripta)
6. KRÍBEK, Jan. *Střelné zbraně*. Vyd. 2. Brno: PC-DIR, 1995. ISBN 80-85895-08-0.
7. <http://www.detektorweb.cz/index.4me?s=show&i=11429&mm=1&vd=1&PHPSSIDW=90374151b234840f6ae124a7c9323cc2>
8. <http://www.papilio.cz/cz/archiv.php?aukce=a21&pol=6485&PHPSESSID=0d47072c6ece48dc00b637dc0f4108b8>
9. <http://www.lors.cz/pistole/2242-pistole-s-kresadlovym-zamkem-18-stol>
10. <http://www.kanony.cz/clanky/kresadlovy-zamek-koleckovy-zamek-a-perkusni-zapalovani/>
11. http://www.outfit4events.cz/runtime/cache/images/productFull/hs64145-03_01.JPG
12. <https://redfox222.blogspot.cz/2015/10/mezi-nama-liskama-zbrane-palne-aneb.html>
13. <http://www.vhu.cz/exhibit/dvouhlavnova-sestiranna-pistole-s-kresadlovym-zamkem-1650/>
14. <http://rpgforum.cz/forum/viewtopic.php?f=262&t=8590&start=1365>
15. <https://cs.wikipedia.org/wiki/Gran%C3%A1tomety>
16. <http://army.svetu.cz/59-granatomet-m79.html>
17. <http://www.militarybox.cz/news/bezzakluzova-dela/>
18. https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDvrt_hlavn%C4%9B