



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH NA ZEFEKTIVNĚNÍ TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ PRŮNIKU OTVORŮ

EFFICIENCY IMPROVEMENT PROPOSAL OF THE HOLES INTERSECTION MACHINING
TECHNOLOGY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lubomír Čaňo

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Lubomír Čaňo
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.
Akademický rok:	2018/19

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 diplomové práce:

Návrh na zefektivnění technologie obrábění prúniku otvorů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce bude návrh efektivnějšího procesu odjehlení plynového kanálku uvnitř hlavní pro firmu CZUB a.s. Práce bude obsahovat rozbor stávajícího stavu výroby a návrh možných řešení pro zefektivnění stávajícího stavu. Práce bude ukončena technicko–ekonomickým zhodnocením spolu s analýzou navrhovaného řešení a srovnáním se stávajícím stavem výroby.

Cíle diplomové práce:

- Charakteristika součásti z hlediska funkce.
- Rozbor stávajícího stavu výroby.
- Zefektivnění stávajícího stavu – návrh možných metod začištění.
- Technicko–ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

KOCMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.

Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZM, s.r.o. Praha: Scientia. s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

LEINVEBER, J. Strojnické tabulky. 2. uprav. a dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999. 911 s. ISBN 80-718-3164-6.

PROCHÁZKA, S. a kol.: Automatické zbraně. Učebnice. FMO Praha. 1991. RDV-51-1.

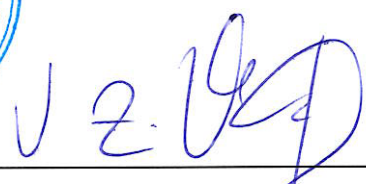
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 26. 10. 2018





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu



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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem na zefektivnění technologie odjehlení hrany průniku otvorů uvnitř dané součásti. V úvodní kapitole se věnuje představení společnosti Česká zbrojovka a.s., kde tvorba práce probíhala. Následuje definice palných zbraní, některé speciální produkty společnosti CZUB a.s. a rovněž popis dané součásti. Třetí kapitola obsahuje popis současného stavu výroby. Ve druhé části práce jsou uvedeny návrhy možných technologií a stav, v jakém se právě nachází. Nakonec je uvedeno technicko-ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova

zbraň, průnik otvorů, odjehlení, elektrochemické obrábění, ECM, technologie

ABSTRACT

This master thesis deals with the efficiency improvement proposal of the deburring technology of the edge of the holes intersection inside of the given part. In the introductory chapter it deals with the introduction of Česká zbrojovka a.s. company, where the creation of this thesis took place. The definition of the fire guns, some of the special products of the CZUB a.s. company and the description of the given part are following. The third chapter contains the description of the current manufacturing process. In the second part the proposals of the possible technologies are listed along with their current state. In the end a technical-economic evaluation is accomplished.

Key words

gun, holes intersection, deburring, electrochemical machining, ECM, technology

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČAŇO, Lubomír. *Návrh na zefektivnění technologie obrábění průniku otvorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 59 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh na zefektivnění technologie obrábění průniku otvorů vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Lubomír Čaňo

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval doc. Ing. Josefu Sedlákoví, Ph.D. za vedení mé diplomové práce a za jeho čas, ochotu a rady, které mi poskytnul při jejím vypracování. Dále chci poděkovat firmě Česká zbrojovka a.s., především divizi vojenských zbraní, za možnost vypracovat diplomovou práci v jejích podmínkách. Také bych rád poděkoval mé rodině a přátelům za podporu v mém studiu.

OBSAH

ABSTRAKT	4
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI ČESKÁ ZBROJOVKA A.S.	10
2 PALNÉ ZBRANĚ.....	14
2.1 Klasifikace palných zbraní.....	14
2.2 Konstrukce dlouhých automatických palných zbraní společnosti CZUB a.s.	15
2.3 Charakteristika součásti – HLAVENĚ.....	20
2.3.1 Nábojová komora.....	21
2.3.2 Přechodový kužel.....	22
2.3.3 Drážkovaný vývrt hlavně.....	22
2.3.4 Ústí hlavně	22
3 SOUČASNÝ STAV VÝROBY HLAVNÍ.....	23
3.1 Příprava polotovaru.....	23
3.2 Vrtání otvoru vývrtu	24
3.3 Vystružování otvoru	26
3.4 Kování součásti.....	27
3.5 Výroba plynového kanálku.....	30
4 NÁVRH MOŽNÝCH METOD ZAČIŠTĚNÍ KANÁLKU	36
4.1 Metoda s použitím brousící pasty	36
4.2 Metoda mechanického srážení přes větší otvor	37
4.3 Metoda s využitím elektrochemického obrábění	38
4.3.1 Elektrochemické obrábění a jeho princip	38
4.3.2 Používané elektrolyty a jejich úkoly.....	39
4.3.3 Vybavení zařízení pro elektrochemické obrábění	40
4.3.4 Nástroje pro elektrochemické obrábění a jejich materiály	41
4.3.5 Elektrochemické obrábění v proudícím elektrolytu.....	43
4.3.6 Elektrochemické obrábění rotující elektrodou.....	44
4.3.7 Technologie využívající princip elektrochemického obrábění.....	45
4.3.8 Výhody a nevýhody technologie elektrochemického obrábění.....	45
4.3.9 Odjehlování plynového kanálku pomocí technologie ECM.....	46

5	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	49
5.1	Vzhled výsledné hrany.....	49
5.2	Životnost zbraně	51
5.3	Nástřel zbraně	52
5.4	Cena technologie.....	54
	ZÁVĚR	55
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	56
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	58

ÚVOD

Zbraně a lidi jsou provázáni již od pravěku. První známou zbraní je pazourek neboli pěstní klín. Sloužil hlavně k opracování ulovené zvěře, pouze zřídka byl použit proti jiným lidem. Spojením pazourku s dřevěnou tyčí vznikl oštěp a sekera. Za první palné zbraně je možno považovat zmenšené vrhací oštěpy a později luky. Rozvoj zbraní ovlivňovala především doba a účel jejich použití.

Po objevení střelného prachu nastala doba tzv. ručních palných zbraní. S rozvojem techniky se tyto zbraně neustále zdokonalovaly až do podoby, jak je známe dnes. Dnešními moderními trendy ve vývoji automatických palných zbraní jsou snižování hmotnosti a rozměrů, zvyšování přesnosti, životnosti či dostřelu a možnost použití dalších přídatných zařízení jako jsou kolimátory, granátomety, lasery, svítilny atd.

Těmto trendům musí jít napřed každá společnost specializující se na výrobu zbraní. Musí splňovat požadavky zákazníků, ale zároveň udržet cenu na přijatelné hranici, aby si zachovala svoji konkurenceschopnost. Proto mají téměř všechny společnosti z této oblasti svá vlastní výzkumná a vývojová centra, ve kterých se těmto problémům věnují specializované týmy konstruktérů ve spolupráci s celými technickými úseky.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem na zefektivnění technologie obrábění průniku otvorů. Konkrétně se jedná o otvor hlavně, ze kterého v případě automatických zbraní, které používají výkonnější náboje (tzv. útočné pušky), vychází otvor pro vedení plynů, které pohání vratné ústrojí. Návrh této technologie probíhá ve firmě Česká zbrojovka a.s., která se nachází v Uherském Brodě. CZUB a.s. souhlasila s tím, že diplomová práce nebude podléhat žádnému utajení. Z tohoto důvodu je její název co nejvíce zobecněn.

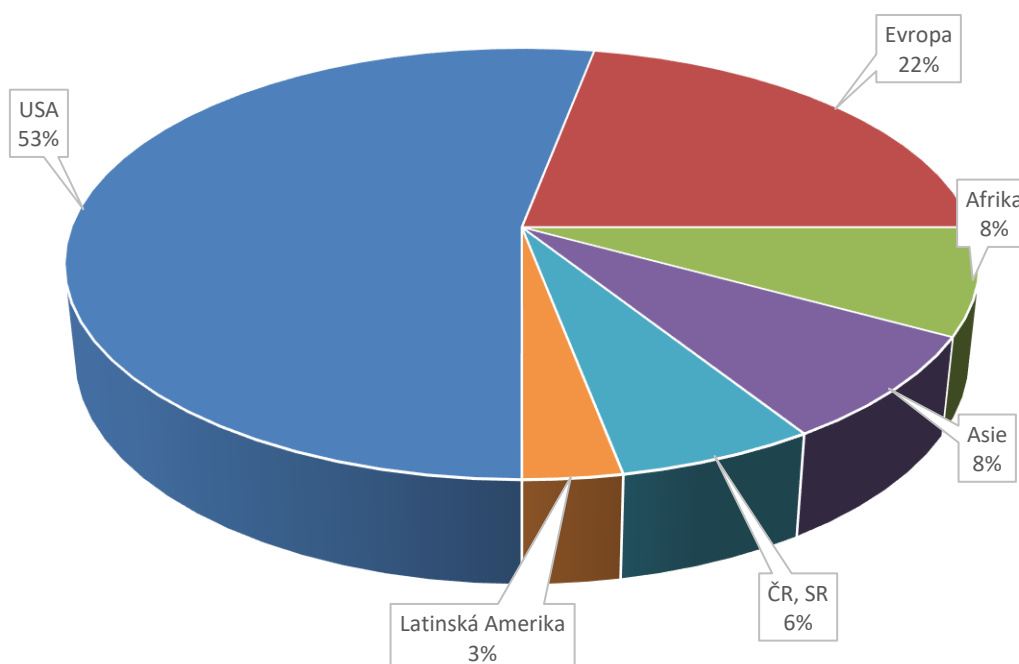
Mechanismus útočných pušek je poháněn tlakem plynů, které vznikají při výstřelu. Jeden z pohonů je založen na odebírání těchto plynů přímo z hlavně pomocí tzv. plynového kanálku. Ten vychází z hlavně, kterou prochází střela. Při špatné technologii výroby může docházet k tomu, že otřep, který na této hraně vzniká, může strouhat procházející střelu. To se negativně projevuje zejména na životnosti zbraně. Životnost zbraně je jedním z klíčových parametrů. Z tohoto důvodu je potřeba, aby hrana těchto dvou otvorů měla co nejmenší dopad na zbraňový systém. To lze zajistit zejména odjehlením této hrany.

1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI ČESKÁ ZBROJOVKA A.S.

Založení České zbrojovky v Uherském Brodě proběhlo v roce 1936. O jejím umístění v Uherském Brodě bylo rozhodnuto ze strategických důvodů. Těmi bylo umístění továrny co nejdál do vnitrozemí od hranic s Německem. Zároveň však bylo nutné tento podnik chránit, aby nedošlo k jeho bombardování, čímž by nepřátelé mohli ochromit obrannou sílu tehdejšího Československa. Proto byla celá továrna rozdělena do několika budov, které z pohledu shora vypadají jako vesnice, nikoliv jako továrna. Tato infrastruktura podniku přežila dodnes a v minulosti zajistila, že továrna nikdy nebyla odhalena nepříteli [1].

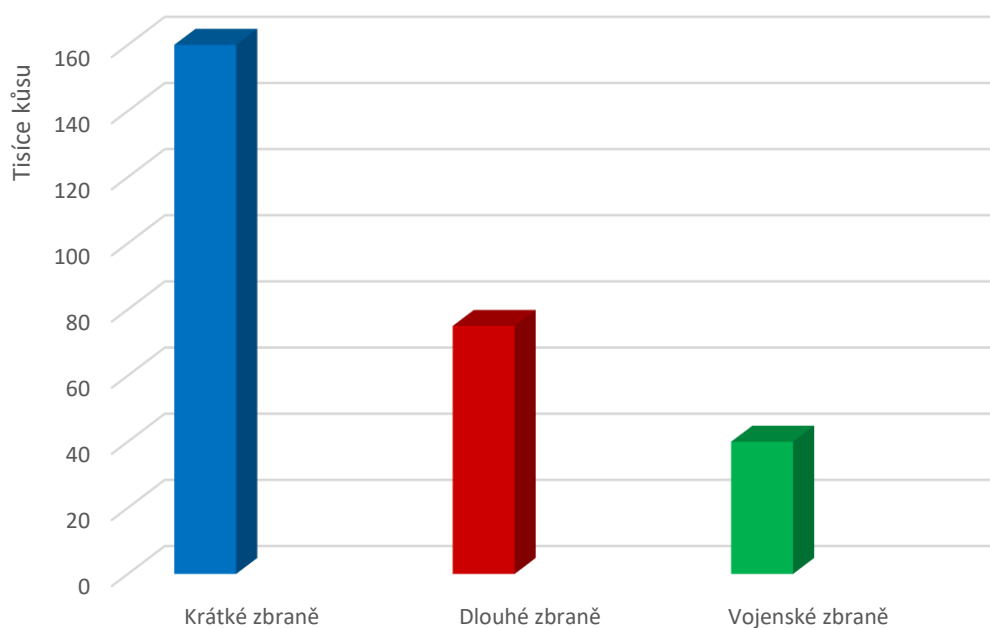
Výroba zbraní v CZUB a.s. probíhá již více než 80 let. Zpočátku byla společnost zaměřena na výrobu ručních vojenských zbraní. Jejimi prvními výrobky byly letecké kulometry vz.30 a pistole vz.24. Později se zde vyráběly některé pověstné samopaly a pistole, jako jsou CZ BREN 805, CZ 75, CZ 85 nebo samopal vz.58. Postupem času se výroba rozšířila o výrobky pro civilní, sportovní či lovecké použití [1].

CZUB a.s. se řadí mezi 10 nejvýznamnějších výrobců zbraní na světě. To potvrzuje mimo jiné i fakt, že společnost prodala v roce 2017 okolo 300 000 kusů zbraní. Drtivá většina zbraní se exportuje, přes 50 % výrobků připadá na USA. Podrobnější destinace exportu zbraní zobrazuje obr. 1.1. CZUB a.s. se neustále snaží zvyšovat počty prodaných kusů a díky tomu, že zažívá úspěšné roky, roste i množství investic do nových strojů, technologií a dalšího vybavení [1].



Obr. 1.1 Export zbraní do jednotlivých zemí v roce 2017 [1].

V současnosti se CZUB a.s. dělí na 3 tzv. divize. Jedná se o divizi krátkých zbraní, dlouhých zbraní a vojenských zbraní. Každá divize funguje jako samostatná jednotka, má svůj vlastní výzkum, vývoj, konstrukci, technologii i produkty. Podíl produktů jednotlivých divizí na prodeji je zobrazen na obr. 1.2.



Obr. 1.2 Prodej zbraní jednotlivých divízií za rok 2017 [1].

CZUB a.s. exportuje zbraně téměř do celého světa. Některé z nejdůležitějších cílových destinací zobrazuje obr. 1.3 [1].



Obr. 1.3 Mapa exportu zbraní společnosti CZUB a.s. [1].

Na obr. 1.4 a obr. 1.5 jsou zachyceny nejdůležitější milníky v historii CZUB a.s., jak sama společnost uvádí na svých internetových stránkách.



Obr. 1.4 Historické milníky CZUB a.s. [2].



Obr. 1.5 Historické milníky CZUB a.s. [2].

2 PALNÉ ZBRANĚ

Palná zbraň je definována v zákoně o střelných zbraních a střelivu (část 1 zákona č. 119/2002 Sb.) jako zbraň, u které je funkce odvozena od okamžitého uvolnění chemické energie při výstřelu, zkonstruovaná pro požadovaný účinek na definovanou vzdálenost [3].

Tato diplomová práce se zabývá návrhem na zefektivnění technologie výroby součástky pro dlouhé palné samonabíjecí či samočinné zbraně. Dlouhé zbraně jsou, podle stejného zákona, zbraně, jejichž délka hlavně přesahuje 300 mm, nebo jejichž celková délka přesahuje 600 mm. Tyto zbraně se často konstruují jako samočinné i samonabíjecí zároveň. Rozdíl je podle zákona č. 119/2002 Sb. v tom, že v případě samočinné zbraně konstrukce umožňuje více výstřelů na jedno stisknutí spouště, přičemž v případě samonabíjecí nikoliv. Povahu takových zbraní lze často měnit pomocí ovládacích prvků zbraně.

2.1 Klasifikace palných zbraní

Klasifikace palných zbraní je složitá. Existuje totiž mnoho přístupů, podle kterých se dají tyto zbraně rozdělit. Například podle [4] je možné zbraně klasifikovat:

- podle druhu:
 - pistole (krátké zbraně), revolvery, pušky (dlouhé zbraně s drážkovaným vývrtem), brokovnice, samopaly, kulomety, granátomety, minomety, děla atd.,
- podle způsobu držení zbraně při střelbě:
 - krátké zbraně – jejich konstrukce předpokládá střelbu z jedné ruky,
 - dlouhé zbraně – předpoklad střelby za použití obou rukou,
- podle ráže – používá se zejména v armádách, kdy za hranici mezi střeleckými a dělostřeleckými zbraněmi se považuje ráže 20 mm,
- podle stupně automatizace:
 - jednoranové a opakovací – střelec ručně zasouvá náboj do nábojové komory a uzamyká závěr,
 - částečně automatizované – pouze některé úkony jsou ovládaný přivedenou energií,
 - samonabíjecí – mají automatizovaný celý cyklus, kromě spuštění. Střelec musí pro každý výstřel zmáčknout spoušť,
 - automatické – mají automatizovaný celý cyklus a zbraň střílí, dokud střelec neuvolní spoušť,
- podle způsobu uzamčení nábojové komory:
 - s neuzamčeným závěrem – od začátku pohybu střely v hlavni se začne pohybovat opačným směrem i závěr,
 - s uzamčeným závěrem – uzavírá a uzamyká nábojovou komoru po celou dobu jejího pohybu v hlavni.

2.2 Konstrukce dlouhých automatických palných zbraní společnosti CZUB a.s.

Tato diplomová práce vzniká v divizi vojenských zbraní ve společnosti CZUB a.s. Z toho plyne, že se zabývá dlouhými automatickými zbraněmi především pro armádní použití. V CZUB a.s. vznikají 2 hlavní druhy těchto zbraní. Jedná se o samopal CZ SCORPION EVO 3 (obr. 2.1) a rodinu útočných pušek CZ BREN 2 (obr. 2.2) s různými rážemi a délkami hlavní.



Obr. 2.1 Samopal CZ SCORPION EVO 3 [5].



Obr. 2.2 Rodina útočných pušek CZ BREN 2 [5].

Rozdíl mezi samopalem a útočnou puškou je v použitých nábojích (v případě vojenských zbraní se používá výraz munice), zejména pak v jejich výkonech. Samopal je zkonstruován k používání klasických pistolových nábojů (např. 9 mm Luger), kdežto útočná puška používá náboje střední balistické výkonnosti, jako jsou například 5,56x45 mm NATO, 7,62x39 mm nebo 7,62x51 mm NATO. Seznam nejpoužívanějších ráží je zobrazen na obr. 2.3.

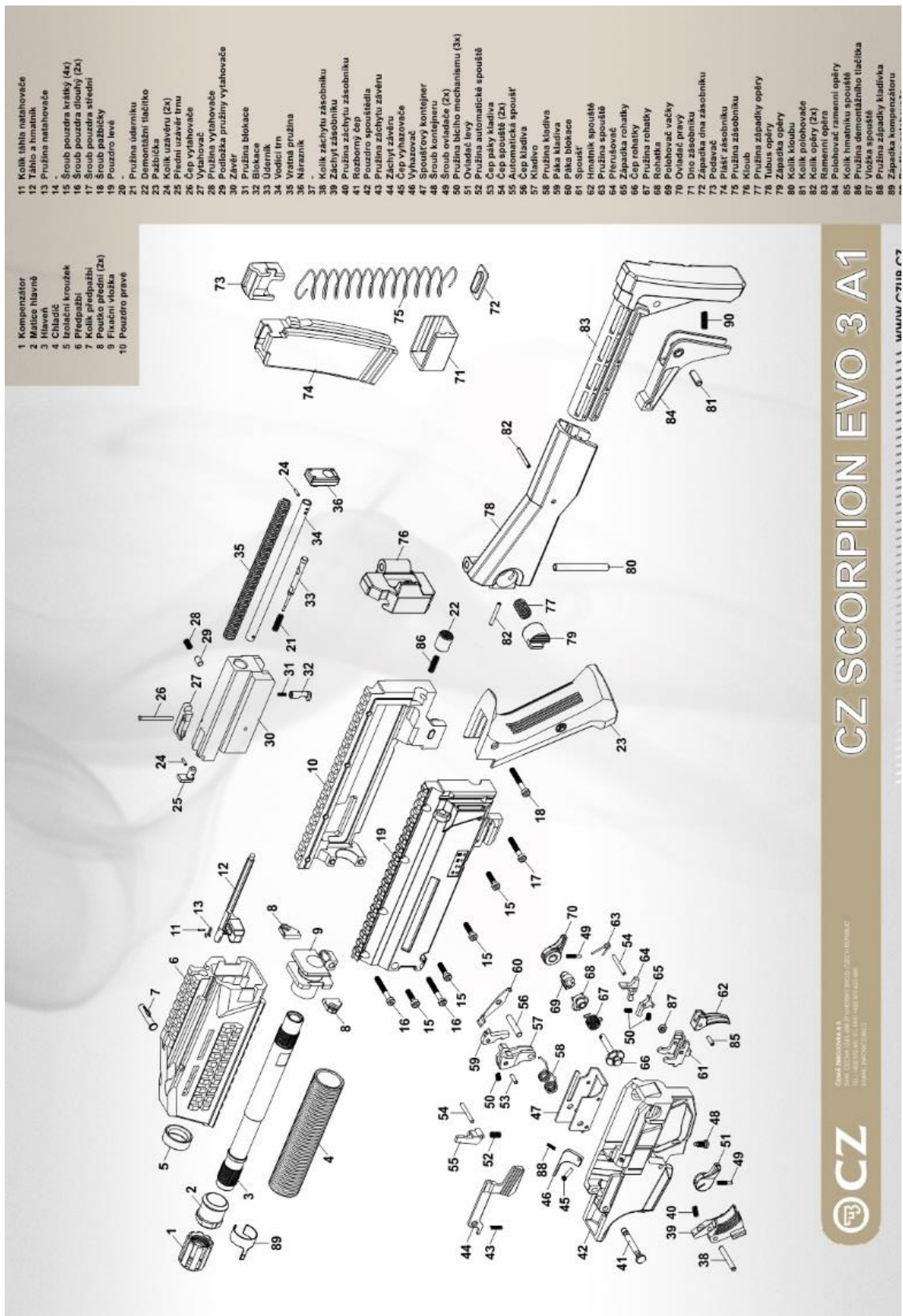


Obr. 2.3 Nejčastější ráže nábojů [6].

Méně výkonné náboje, které se používají u samopalu CZ SCORPION EVO 3, dovolují této zbraní pracovat s tzv. neuzamčeným závěrem. Jak již bylo zmíněno dříve, to je mechanismus, který funguje tak, že prachové plyny, které vznikají při výstřelu v hlavni, způsobí pohyb střely v hlavni směrem ven a současně s tím i pohyb závěru opačným směrem. Jinými slovy se u této zbraně nepoužívá systém s plynovým kanálkem.

Útočné pušky CZ BREN 2 používají náboje o vyšších výkonech, které vyžadují, aby byla nábojová komora uzamčená, dokud náboj neopustí hlavěň. Jelikož je závěr uzamčený, není možné jeho otevření jako v případě CZ SCORPION EVO 3. Proto se zde používá systém odběru prachových plynů tzv. plynovým kanálkem, který vyhází z hlavěně. Ten po průchodu náboje tímto místem odebírá prachové plyny, které odemykají závěr, otevírají nábojovou komoru a umožňují podání dalšího náboje. Poté je náboj vsunován a závěr uzavírán vratným ústrojím. Závěr se opět uzamčce a celý proces se opakuje. Odemykání a uzamykání závěru se uskutečňuje rotačním pohybem závorníku.

Na obr. 2.4 a obr. 2.5 jsou zobrazeny nejdůležitější části automatických zbraní CZUB a.s. a obr. 2.6 a obr. 2.7 zobrazují podrobný rozkres těchto zbraní.



Obr. 2.6 Rozkres CZ SCORPION EVO 3 [1].



CZ BREN 2

ČESKÁ ZBRŮDOVÁ KLASIKA
Ustředí: Brno, Česká Republika
tel.: +420 572 651 111; fax: +420 572 653 665
e-mail: info@czbrn.cz

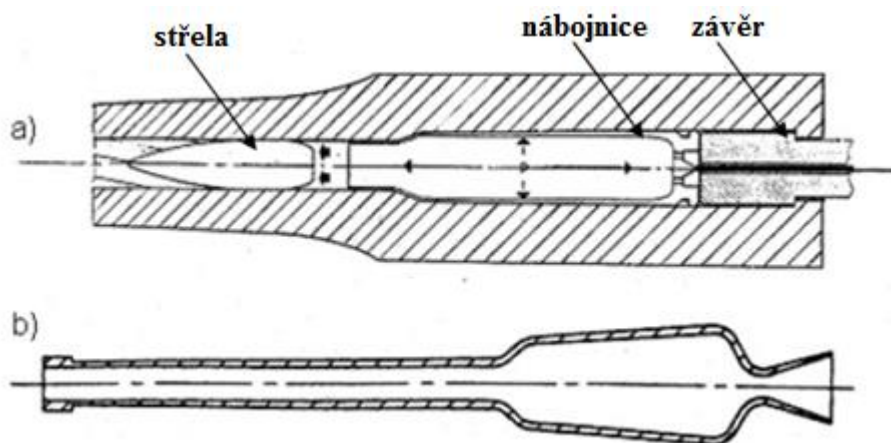


Obr. 2.7 Rozkres CZ BREN 2 [1].

2.3 Charakteristika součástí – HLAVEŇ

U všech hlavnových zbraní je jejich nejdůležitější částí hlaveň. Zde totiž dochází k přeměně tepelné energie hoření střeliviny na kinetickou energii střely. Hlaveň slouží k vedení střely v daném směru a k udělení počáteční rychlosti a rotace střele. Hlaveň má tvar tlustostěnné trubky a musí odolat tlaku plynů, jenž vznikají uvnitř při výstřelu [4].

Podle provedení hlavně se zbraně dělí na zákluzové a bezzákluzové. U zákluzové zbraně je hlaveň v zadní části uzavřena závěrem a v přední části je otevřená. Hlaveň bezzákluzové zbraně je otevřená na obou koncích [7]. Srovnání variant je na obr. 2.8.



Obr. 2.8 Schéma variant hlavní – a) zákluzová, b) bezzákluzová [4].

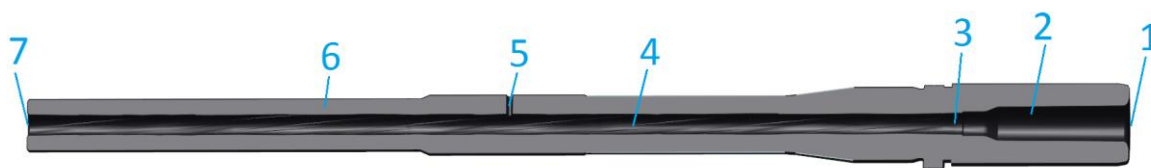
Předmětem této diplomové práce je zbraň CZ BREN 2, která se řadí do zbraní zákluzových, proto se dále budu věnovat pouze této variantě hlavní (viz obr. 2.9).

Základní rozměry, kterými lze charakterizovat zbraň, pro kterou je daná hlaveň určena, jsou ráže a délka. Podle normy ČSN 39 5002-1 je ráže hlavně definována jako smluvní velikost průměru vodící části vývrtu hlavně. Délkou hlavně se rozumí vzdálenost mezi zadním čelem a ústím hlavně [4].



Obr. 2.9 Hlaveň zbraně CZ BREN 2.

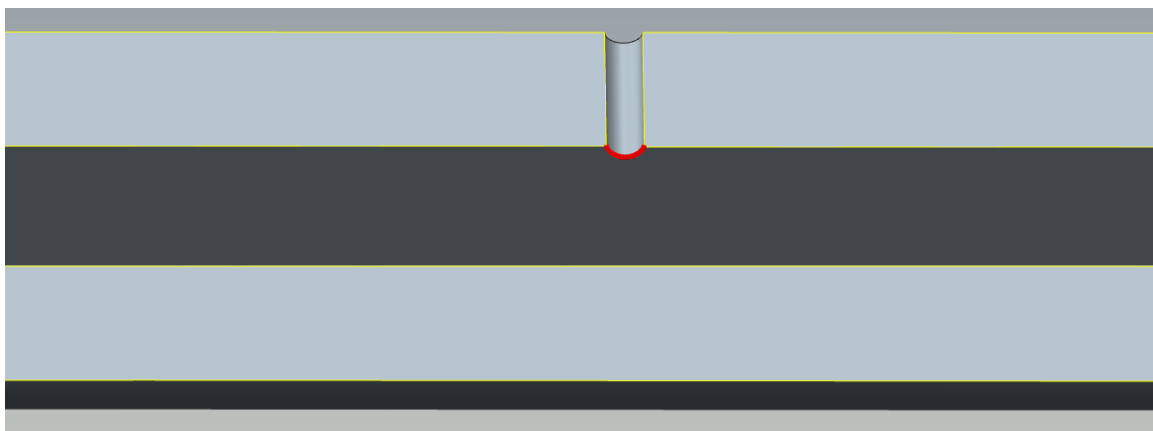
Hlaveň se skládá ze tří hlavních částí. Jedná se o nábojovou komoru, přechodový kužel a drážkovaný vývrt hlavně. Jednotlivé části hlavní CZ BREN 2 jsou zobrazeny v řezu na obr. 2.10.



1 – zadní čelo, 2 – nábojová komora, 3 – přechodový kužel, 4 – drážkovaný vývrt,
5 – plynový kanálek, 6 – stěna hlavně, 7 – ústí hlavně

Obr. 2.10 Řez hlavní zbraně CZ BREN 2.

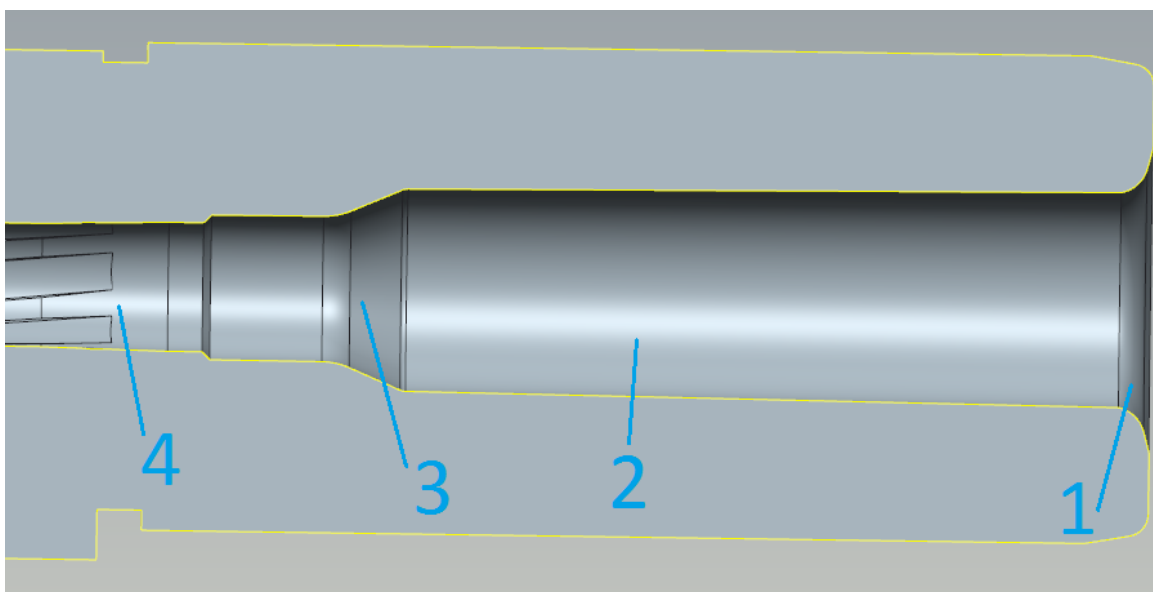
Na obr. 2.11 je detail obráběného průniku otvorů s červeně vyznačenou hranou. Návrh na zefektivnění technologie obrábění této hrany je předmětem této diplomové práce.



Obr. 2.11 Detail obráběné hrany průniku otvorů.

2.3.1 Nábojová komora

Nábojová komora odpovídá svým tvarem náboji, pro který je určena. Skládá se z náběhového kužele, komory hlavně a dosedacího kužele. Náběhový kužel zaručuje nejen snadné zasunutí náboje do osy hlavně, ale také snadné vytažení nábojnice, přičemž nesmí dojít k jejímu prasknutí. Do komory hlavně se vkládá náboj. Současně komora hlavně zajišťuje utěsnění vývrtnu proti unikání tlakových plynů do závěru. Dosedací kužel je jedním z nejdůležitějších rozměrů celého systému zbraně. Slouží k dosednutí náboje a spolu s čelem závěru vytváří uzamykací rozměr [8, 9]. Jednotlivé části nábojové komory a přechodový kužel jsou zobrazeny na obr. 2.12.



1 – náběhový kužel, 2 – komora hlavně, 3 – dosedací kužel, 4 – přechodový kužel.

Obr. 2.12 Detail nábojové komory a přechodového kužele.

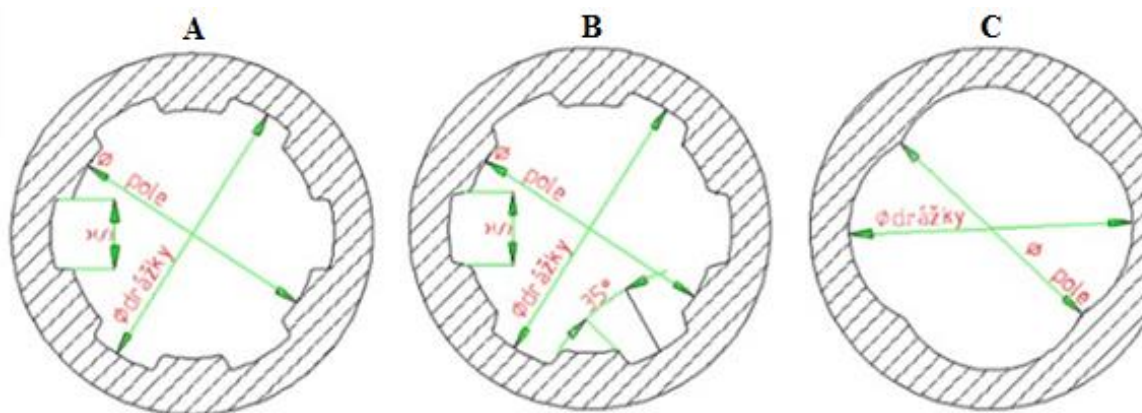
2.3.2 Přejímový kužel

Přejímový kužel zabezpečuje snadnější zaříznutí střely do drážek vývrtnu. Menší ráže mají menší kuželovitost a naopak. Přejímový kužel musí navazovat na nábojovou komoru tak, aby se střela zařízla do drážek co nejdříve a nedocházelo k předbíhání střely prachovými plyny a k rázovému zaříznutí střely do drážek. To totiž může způsobit stržení střely v drážkách a špatnou stabilizaci rotací [10, 11].

2.3.3 Drážkovaný vývrt hlavně

Drážkovaný vývrt hlavně udává střele počáteční rychlost v daném směru a zajišťuje roztočení střely okolo jeho podélné osy. Jedná se o skupinu vodicích ploch, která má tvar šroubovice. Vystouplé části se nazývají pole a zapuštěné se nazývají drážky. Střela se při průchodu zařezává do polí, čímž je jí udělena rotace. Ta zajišťuje stabilnější let vzduchem. Vývrt je možné charakterizovat jeho stoupáním. To udává délku, na které střela vykoná jednu otáčku. Stoupání je u většiny zbraní konstantní [8, 9, 10].

Existují různé tvary drážek (viz obr. 2.13). Mezi nejpoužívanější patří pravoúhlý, lichoběžníkový a polygonální. Mezi základní kontrolované rozměry vývrtnu patří průměr v drážkách a polích, šířka a hloubka drážky a šířka pole. Tvar drážek bývá nejčastěji pravoúhlý a jejich počet je nejčastěji sudý (např. 4, 6) [12, 13]. Pravoúhlý tvar drážek je výhodný pro třískové obrábění. Polygonální profil však zvyšuje životnost hlavně, dobře těsní střelu a je méně náročný na údržbu [4].



A – pravoúhlý, B – lichoběžníkový, C – polygonální.

Obr. 2.13 Nejčastější tvary drážkování hlavně [8].

2.3.4 Ústí hlavně

V případě pádu zbraně na hlaveň nesmí dojít k deformaci ústí. Ústí hlavně má totiž zásadní vliv na přesnost střelby. V případě deformace by mohlo dojít ke zhoršení rozptylu střelby nebo k úplnému znemožnění střelby [11, 13].

3 SOUČASNÝ STAV VÝROBY HLAVNÍ

V této kapitole je zjednodušeně popsán současný stav výroby hlavní útočné pušky CZ BREN 2 pro divizi vojenských zbraní v CZUB a.s. Z důvodu ochrany výrobního tajemství společnosti zde nejsou popsány podrobnější informace o rozměrech, pracovních parametrech a dalších citlivých informacích, ale pouze obecné informace o hlavních technologických operacích.

3.1 Příprava polotovaru

Materiál polotovaru pro výrobu hlavní je konstrukční chrom-molybdenová ocel vhodná pro vysoce namáhané součásti, která je dodávána ve formě tyčí o určitém průměru a délce. Tyto tyče se nařezou na danou délku (obr. 3.1) a poté se vhodnými úpravami přichystají k vrtání (obr. 3.2). Materiál musí zaručit vysokou pevnost a houževnatost za vysokých teplot.



Obr. 3.1 Nařezané tyčové polotovary.



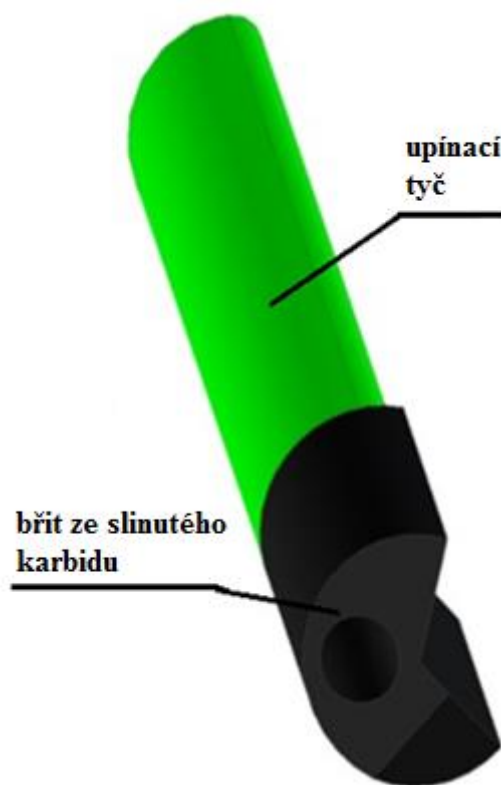
Obr. 3.2 Polotovary připravené k dalšímu zpracování.

3.2 Vrtání otvoru vývrtu

Vrtačkou se provrtá díra skrz celý připravený polotovar. Pro tuto operaci se z důvodu její velké časové náročnosti používá šesti vřetenová vrtačka, kdy se vrtá 6 kusů najednou. K vrtání se používají tzv. hlavňové vrtáky (viz obr. 3.3 a obr. 3.4).

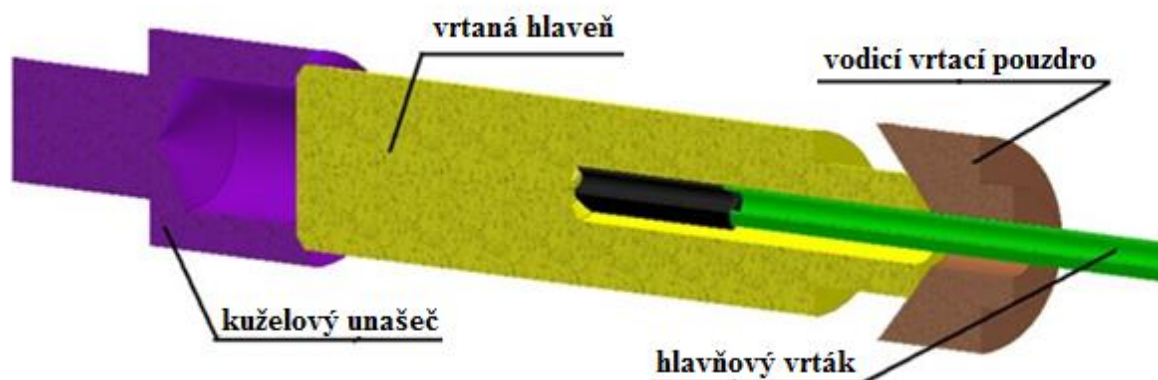


Obr. 3.3 Hlavňové vrtáky.

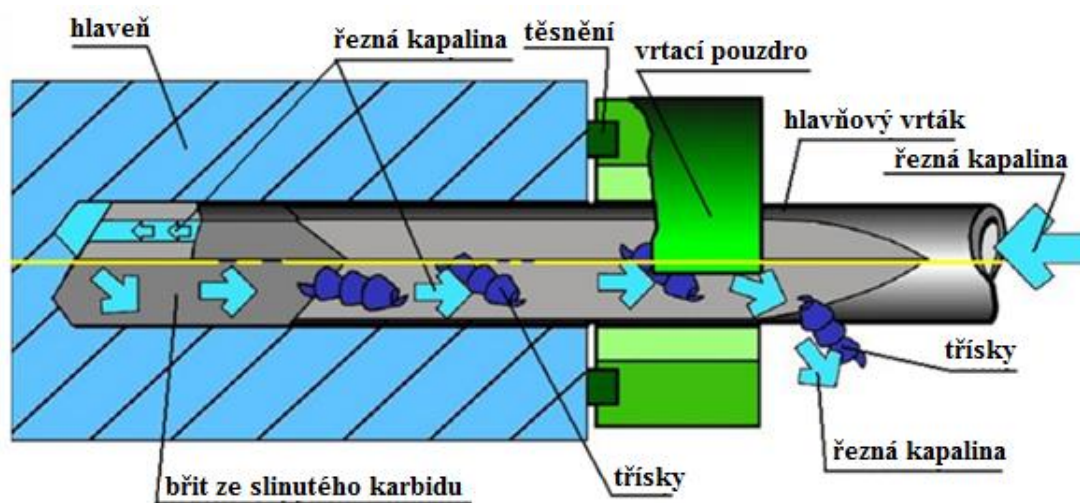


Obr. 3.4 Části vrtáku – podle [8].

Kuželový unašeč otáčí obrobkem a koná hlavní řezný pohyb. Hlavňový vrták se neotáčí, ale pouze se posouvá do místa řezu na polotovaru a koná vedlejší pohyb. Přesné vedení vrtáku zajišťuje kuželové vrtací pouzdro. V průběhu celého procesu je nutné důkladné chlazení a proplachování místa řezu. Základní části vrtací sestavy jsou na obr. 3.5, podrobnější princip této operace zachycuje obr. 3.6.



Obr. 3.5 Základní části vrtací sestavy – podle [8].



Obr. 3.6 Princip vrtání hlavní – podle [8].

Na obr. 3.7 je šesti vřetenová vrtačka pro vrtání hlubokých otvorů.



Obr. 3.7 Vrtačka ML300.

3.3 Vystružování otvoru

Pro metodu výroby vývrtu kováním je důležitým parametrem drsnost připraveného povrchu před kováním. Z toho důvodu se před samotné kování zařazuje operace vystružování [15]. Drsnost povrchu se před samotným kováním pohybuje pod $1,6 \mu\text{m}$.

Před vystružováním je důležité zkontrolovat samotné výstružníky. Prodlužovací tyče nesmí být prohnuté a fazety břitu musí být očištěny od ostřin. Vystružování probíhá ve 2 fázích a vzniká tak povrch o vysoké jakosti. Výstružník musí být pevně upnut tak, aby neházel. Stroj, na kterém se vystružování provádí, je vidět na obr. 3.8. Výstružníky jsou zobrazeny na obr. 3.9.



Obr. 3.8 Vystružovací stroj s šesti vřeteny.

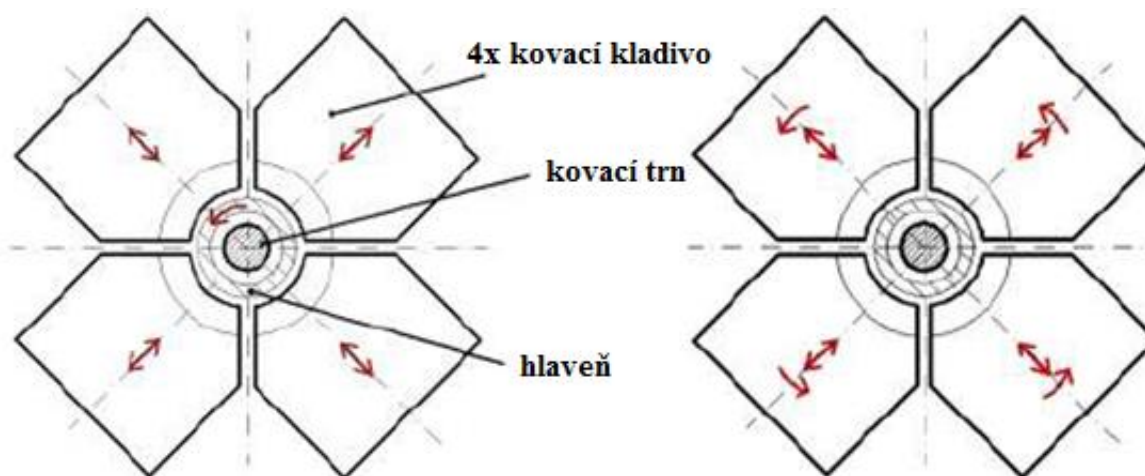


Obr. 3.9 Výstružníky vývrtů hlavní.

3.4 Kování součástí

Součást s přesně vyvrtaným otvorem a s požadovanou kvalitou povrchu po honování je připravena ke kování. Takto připravená součást má větší průměr, než jaká bude finální hlavěň. Kování se uskutečňuje na speciálních rotačně kovacíh strojích [7].

Existují dva druhy kování – radiální a rotační (obr. 3.10). Kovací nástroje jsou v obou případech stejné a oba – kovací trn i kovací kladiva jsou vyrobeny ze slinutého karbidu (obr. 3.11 a obr. 3.12). U radiálního kování kovací kladiva pouze dostředivě kmitají a kovací trn i součást konají rotační a posuvný pohyb. V případě rotačního kování kovací kladiva dostředivě kmitají a navíc konají i rotační pohyb a kovací trn se součástí konají pouze pohyb posuvný [12].



Obr. 3.10 Kování hlavěň – vlevo radiální, vpravo rotační [7].

Kovací trn má negativní tvar drážkovaného vývrtu hlavěň. Kováním se tedy zhotovuje vývrt hlavěň. Materiál je nakován na kovací trn, přičemž se vytvářejí v otvoru hlavěň drážky a součást se prodlužuje.



Obr. 3.11 Kovací kladivo [17].



Obr. 3.12 Kovací trn [15].

Velkými [16] výhodami metody kování vývrtu hlavěň jsou výborná jakost povrchu, přesnost, dobré využití materiálu a zpevnění hlavěň. Nevýhodou je, že se musí hlavěň po kování tepelně zpracovávat [7].

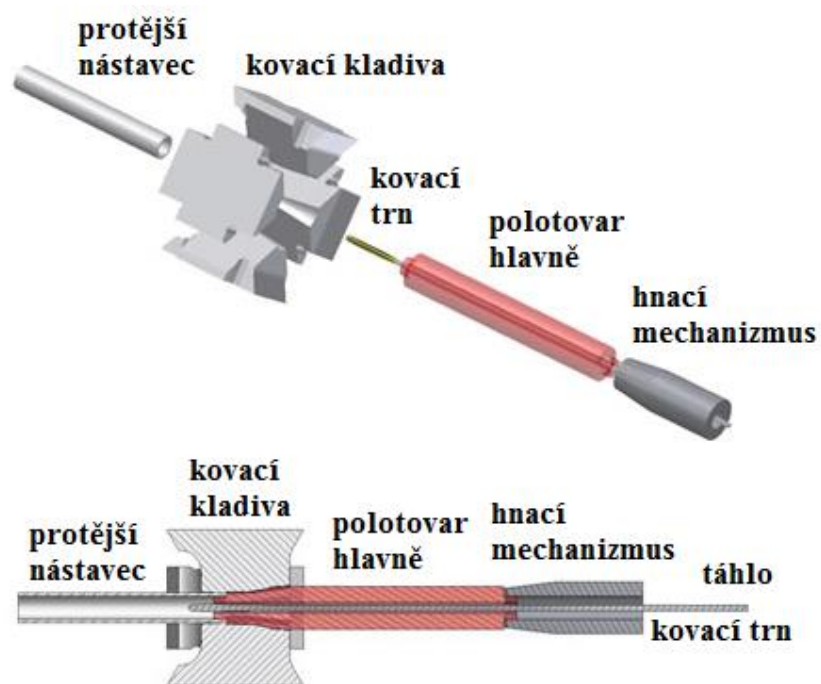
Kovací stroj je zobrazen na obr. 3.13 na následující straně, stejně tak, jako srovnání součástí před vykováním a po vykování na obr. 3.14. Princip kování potom na obr. 3.15.



Obr. 3.13 Kovací stroj SHK 10 s robotem.



Obr. 3.14 Srovnání součástí před a po vykování.



Obr. 3.15 Princip kování hlavni – podle [18].

Hlaveň, zejména potom její drážkovaný vývrt, je jednou z nejdůležitějších částí zbraňového systému. Proto je důležitá kontrola vyrobených kusů. Správná výroba drážkovaného vývrtu se kontroluje pomocí kalibrů. Těmi se měří hloubka drážek, výška políček, a šířka obou těchto prvků. Používané kalibry jsou na obr. 3.16.



Obr. 3.16 Kalibry pro kontrolu drážkovaného vývrtu hlavni.

3.5 Výroba plynového kanálku

Po kování vývrtu následují další technologické operace, kterými hlavěň získává konečný tvar i vlastnosti (obr. 3.17). Hlavěň postupně prochází různými strojními (obr. 3.18) i ručními pracovišti, kde se postupně soustruží, frézuje, vrtá, brousí, leští a podstupuje další úpravy. Hlavěň se nesčetněkrát kontroluje, třídí, opravuje a prochází tepelným zpracováním a povrchovými úpravami. Nakonec se chromuje, čímž získá konečné požadované vlastnosti. Až poté nastává výroba plynového kanálku.



Obr. 3.17 Hlavěň bez plynového kanálku.



Obr. 3.18 CNC obráběcí centrum hlavni.

Pojmem tepelné zpracování hlavní se rozumí kalení a popouštění. Kalení se provádí stupňovitě, vždy s určitou dobou výdrže na dané teplotě předehřevu. Hlavním důvodem stupňovitého kalení je dobré a rovnoměrné prohřátí hlavní a následně menší zbytkové vnitřní napětí či deformace hlavní. Průběh kalení hlavní je zaznamenán v tab. 3.1.

Tab. 3.1 Průběh vakuového kalení hlavní.

	Teplota [°C]
Náběh na teplotu	440–560
Předehřev	440–560
Náběh na teplotu	740–860
Předehřev	740–860
Náběh na teplotu	865–975
Kalit	Chladit pod 40 °C

Po kalení nastává popouštění, čímž se snižuje zbytkové vnitřní napětí materiálu a křehkost hlavní. Popouštění se v případě potřeby může několikrát zopakovat. Průběh popouštění hlavní je zaznamenán v tab. 3.2.

Tab. 3.2 Průběh popouštění hlavní.

	Teplota [°C]
Náběh na teplotu	130–250
Předehřev	130–250
Náběh na teplotu	470–610
Pozvolné ochlazování	Chladit pod 40 °C

Ke kalení i popouštění se používá pec, ve které je možno ohřívat až 120 kusů hlavní najednou. Materiál hlavní po tepelném zpracování dosahuje pevnosti až 1600 MPa a tvrdosti nad 40 HRC.

Celý proces výroby hlavní je zakončen vyvrtáním a pročištěním plynového kanálku. To probíhá na tříosém CNC obráběcím stroji (viz obr. 3.19). Pomocí upínače (obr. 3.20) se hlaveň upne a zajistí se její poloha.



Obr. 3.19 Tříosý CNC frézovací stroj.



Obr. 3.20 Upínač hlavní pro obrábění plynového kanálku.

Do takto připravené hlavně se poté vrtá plynový kanálek. Jelikož se jedná o vrtání do rotační součásti, je potřeba nejprve pomocí frézy připravit rovinnou plošku. Poté se do stroje upne samotný vrták a vyvrtá se plynový kanálek. Bez vyfrézování plošky pro vrtání by při přitlačení vrtáku na rotační plochu hlavně docházelo ke sklouznutí vrtáku a k uhýbání z místa řezu. Nástroj pro vrtání plynového kanálku je na obr. 3.21.



Obr. 3.21 Vrták pro vrtání plynového kanálku.

Samotné vyvrtání plynového kanálku je velmi jednoduchá záležitost. Mnohem horší je to s odjehlením hrany, která vznikne uvnitř hlavně, a s odstraněním otřepu z této hrany. Tento otřep je potřeba odstranit, jelikož by mohl negativně ovlivňovat celkové parametry střely a výrazně snižuje životnost zbraně.

U hlavní menších ráží, kde se průměr plynového kanálku pohybuje kolem jednoho milimetru, se odstranění otřepu neřeší. Ten je totiž tak malý, že střela, která prochází vývrtem hlavně, tento otřep smete. U větších ráží má plynový kanálek větší průměry a otřep se tedy musí odstranit.

To se v současné době provádí mechanicky, pomocí speciálního nože (obr. 3.22). Ten je pružně upnut do upínací hlavy (obr. 3.23). Pružné upnutí zajišťuje, že se nůž může v upínací naklánět kolem jedné osy.



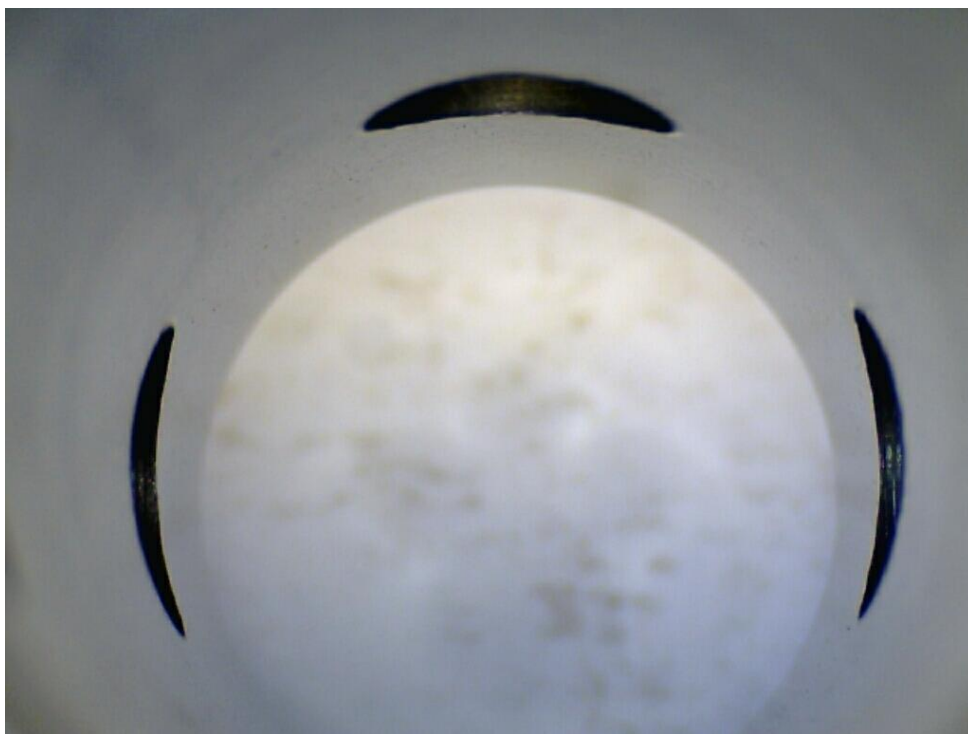
Obr. 3.22 Nůž na srážení hrany plynového kanálku uvnitř hlavně.



Obr. 3.23 Nůž upnutý v upínací hlavici.

Při této metodě odstraňování otřepu z hrany plynového kanálku se vyskytují dva zásadní problémy. Prvním problémem je to, že před samotnou výrobou plynového kanálku již hlaveň prošla zušlechtěním a povrchovými úpravami. Při výrobě plynového kanálku se tedy jedná o obrábění zušlechtěného materiálu s tvrdostí nad 40 HRC. S tím samozřejmě souvisí zvýšené opotřebovávání řezných nástrojů a tedy i výrazný růst nákladů na tyto nástroje. Z tohoto důvodu by bylo velmi výhodné pro výrobu plynového kanálku používat metodu, která není založena na používání řezných nástrojů.

Druhým zásadním problémem je to, že se jedná o obrábění průniku otvorů. To znamená, že hrana, kterou je potřeba odjehlit, není kruhovitěho tvaru (obr. 3.24). Jedná se spíše o jakousi trojrozměrnou křivku, což znamená, že při současné metodě třískového obrábění je zkosení této hrany nerovnoměrné. Složitý tvar této hrany v kombinaci s její obtížnou přístupností při současném stavu výroby prodlužuje výrobní čas součásti.



Obr. 3.24 Tvar průniku otvorů [19].

Po výrobě a odjehlení plynového kanálku dále následuje už jen jeho kontrola. Z hlediska funkčnosti je potřeba kontrolovat polohu kanálku, kolmost kanálku k technologickým částem dílu, velikost průměru kanálku a vnitřní hranu kanálku.

Poloha kanálku a kolmost k technologickým částem dílu se kontroluje pomocí měřidla, které je zobrazeno na obr. 3.25. Zde je v měřidle vidět i správně ustavenou hlaveň. Ta se položí na měřidlo plynovým kanálkem směrem nahoru. Do plynového kanálku se zasune hrot měřidla a poté se pomocí úchylkoměru s vedením měří vzdálenost od technologických částí dílu. Pro zjištění kolmosti plynového kanálku k technologickým částem dílu se používá úchylkoměr se základnou, kterým se přejeđe přes dané technologické části dílu a zjistí se jejich úchylka od kolmosti.



Obr. 3.25 Měřidlo pro kontrolu polohy a kolmosti plynového kanálku.

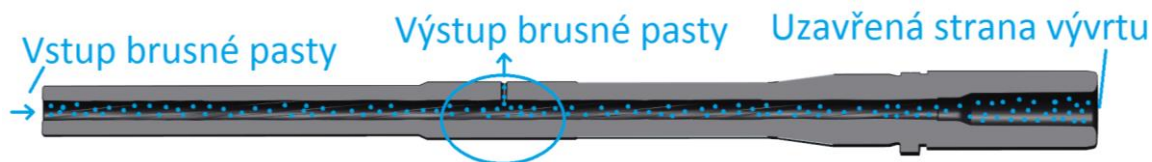
Velikost průměru plynového kanálku se kontroluje pomocí kalibrů pro dané ráže hlavní. Nakonec následuje kontrola endoskopem. Tím se kontroluje sražení vnitřní hrany, poloha kanálku a poškození protější stěny vývrtu od nástroje po odvrtání kanálku.

4 NÁVRH MOŽNÝCH METOD ZAČIŠTĚNÍ KANÁLKU

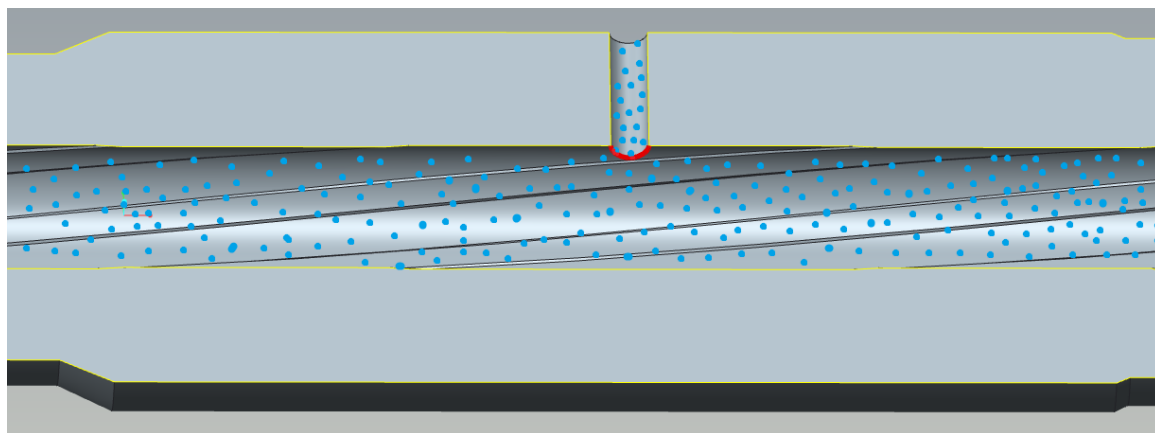
Tato kapitola pojednává o hlavních metodách, nad kterými se uvažuje při řešení problematiky začištění plynového kanálku. Tyto metody jsou celkem tři – metoda použití brousící pasty, metoda elektrochemického obrábění, nebo metoda mechanického sražení přes větší otvor.

4.1 Metoda s použitím brousící pasty

Jako jedna z možných metod odjehlení plynového kanálku se jeví varianta s použitím brousící pasty. Vývrt hlavně se z jedné strany utěsní tak, aby tímto místem brousící pasta nemohla unikat. Z druhé strany je pasta vháněna vysokým tlakem do vývrtu hlavně, odkud musí vycházet právě přes plynový kanálek. Při přechodu brousící pasty z vývrtu hlavně do plynového kanálku je brousicím účinkem zaručeno odjehlení požadované hrany. Myšlenku této metody zachycuje obr. 4.1, na obr. 4.2 je potom detail při pohledu na plynový kanálek.



Obr. 4.1 Metoda použití brousící pasty pro odjehlení plynového kanálku.



Obr. 4.2 Detail plynového kanálku s brusivem.

Problém této metody a vlastně i jeden z důvodů, proč doposud nebyly provedeny ani žádné vzorky, je v drážkování vývrtu hlavně. Vysoký tlak (desítky megapascalů), kterým je brousící pasta vháněna pomocí čerpadla do vývrtu by jej mohla poškodit. Dalším důvodem k zavržení této metody jsou příliš vysoké počáteční investice do jednoúčelového zařízení.

Drážkování vývrtu hlavní u zbraní hraje důležitou roli na výsledné parametry střely. Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.3.3 drážkovaný vývrt hlavně, střela se do polí vývrtu zařezává a udává střele rotaci, která ji stabilizuje při letu vzdušným prostředím. Z tohoto důvodu není možné, aby bylo drážkování vývrtu jakkoliv poškozené, a proto tato technologie nakonec nemohla být zrealizována.

4.2 Metoda mechanického srážení přes větší otvor

Další možností je i nadále používat metodu mechanického obrábění. Zdokonalením nemusí být přímo vylepšení aktuálního výrobního procesu, ale také jiná technologie, která však bude taktéž založena na principu mechanického obrábění.

Jednou takovou možností je mechanické odjehlení nikoliv přes plynový kanálek, ale přes vývrt hlavně, za použití speciálního přípravku, který je vidět na obr. 4.3.



Obr. 4.3 Přípravek pro odjehlení hrany ústí plynového kanálku.

Vnitřní tyčinka je uložena ve vodící trubičce. Tyčinkou lze uvnitř trubičky podélně pohybovat v ose tyčinky a také jí lze otáčet kolem své osy. V trubičce je vyvrtána vodící díra, kterou tyčinka prochází. Po správném upnutí hlavně a nastavení přípravku je koncová kulová část tyčinky přesně v místě ústí plynového kanálku do hlavně a je přitlačována dostatečným tlakem. Tomu je přizpůsoben i doraz délkového posunu tyčinky v trubičce. Trubičkou lze uvnitř přípravku rovněž posouvat v osovém směru, nikoliv však otáčet. Otáčet jí nelze z toho důvodu, aby nebylo nutné zajišťovat stejný úhel natočení hlavně a trubičky. Přípravek je totiž zkonstruován tak, aby se hlaveň upínala vždy stejně.

Příprava hlavně k procesu probíhá tak, že se nejdříve tyčinka přesune do zadní pozice uvnitř trubičky, aby jí bylo možné uvnitř hlavně pohybovat. Poté se vsune hlaveň nadoraz do předního čela přípravku. Hlaveň se vsunuje do přípravku nábojovou komorou. Nyní je hlaveň správně ustavena a stačí ji zajistit pomocí horního šroubu, aby se zabránilo jejímu pohybu. Poté se trubička i s tyčinkou posouvá dopředu, až se kulička objeví v otvoru plynového kanálku. Tyčinka se připevní, aby zůstala v tomto místě. Poté se trubička přesune nadoraz dozadu. Vzdálenost po tomto dorazu zaručuje dostatečné přitlačení kuličky k hraně plynového kanálku. Nakonec se trubička v této pozici zajistí šroubem a hlaveň i přípravek jsou připraveny k obráběcímu procesu.

Samotný obráběcí proces probíhá tak, že na zadním konci tyčinky je připevněn akušroubovák. Ten tyčinkou otáčí a koncová brousící kulová část tyčinky tímto rotačním pohybem odstraní otřep z hrany ústí plynového kanálku. Jednou z hlavních nevýhod této technologie je fakt, že odebraný otřep by mohl poškodit okolní stěny vývrtu.

4.3 Metoda s využitím elektrochemického obrábění

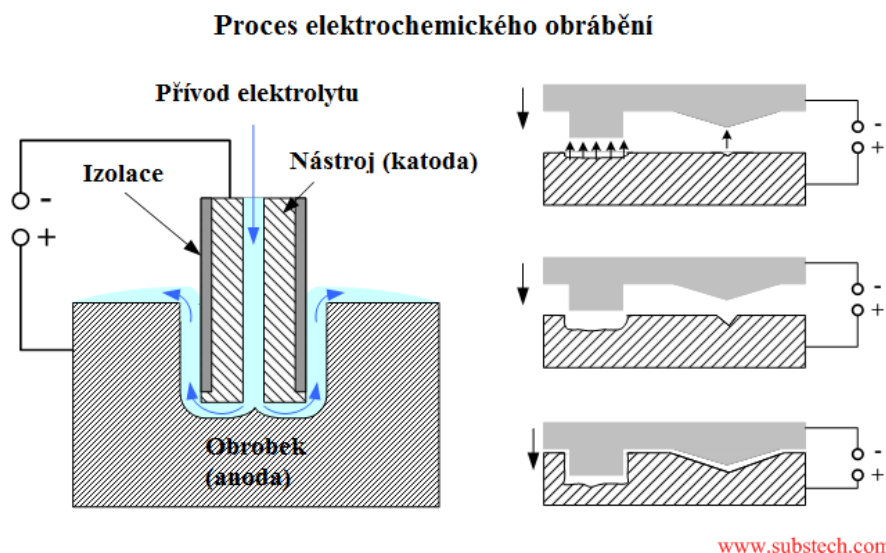
Další možnou variantou je metoda elektrochemického obrábění. Využití této technologie by mohlo být produktivní, a to nejen při odjehlování plynového kanálku, ale také při mnohých dalších operacích na různých součástech. Použití metody ECM pro odjehlení plynového kanálku by mohlo odstranit vysoké náklady na řezné nástroje pro obrábění tvrdého materiálu i obrábění složitého tvaru na těžce přístupném místě.

4.3.1 Elektrochemické obrábění a jeho princip

Elektrochemické obrábění je nekonvenční metoda obrábění elektricky vodivých materiálů. Jedná se o řízený proces oddělování materiálu, přičemž v jeho průběhu nedochází k tvorbě třísek. Jeho podstatou je fyzikální jev zvaný elektrolyza. Hlavní zákonitosti této metody jsou dány Faradayovými zákony, teorií elektrolytů a termodynamikou galvanických článků. Z těchto důvodů je možné touto metodou obrábět pouze elektricky vodivé materiály [20, 21]. Náhled na proces elektrochemického obrábění je na obr. 4.4.

Mezi materiály, které jsou špatně obrobitelné pomocí elektrochemického obrábění, patří například [20, 21]:

- šedá litina (téměř neobrobitelná),
- slitiny s velkým obsahem uhlíku,
- duraly obsahující křemík.

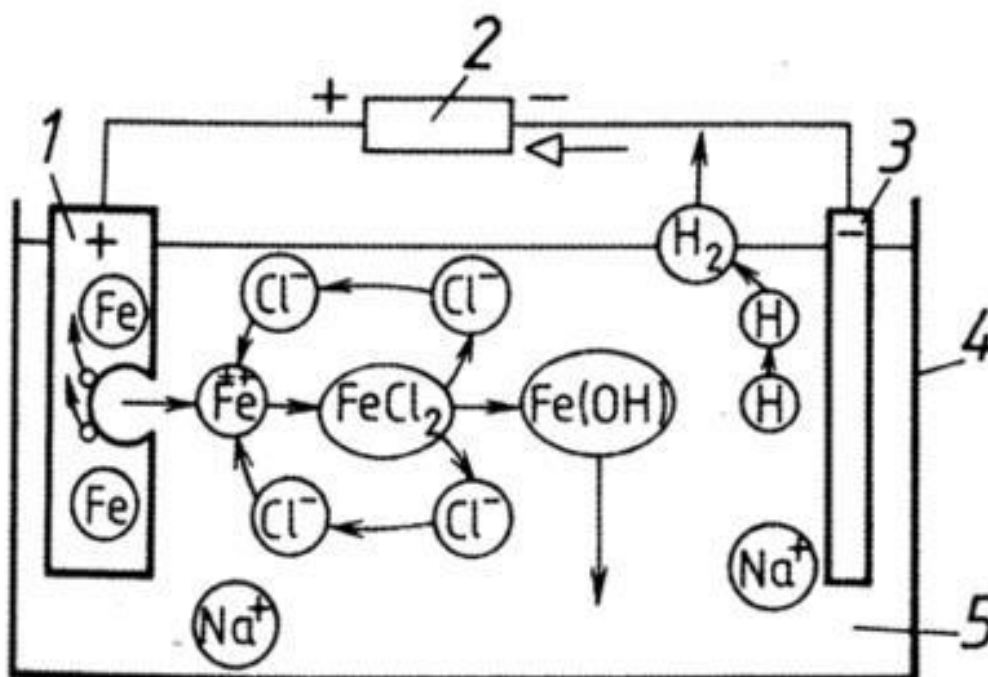


Obr. 4.4 Proces elektrochemického obrábění – podle [22].

Obrobek představuje anodu, která je ponořena do elektrolytu, přičemž na ní dochází k reakci, při které se kationty elektrolytu slučují s anionty kovu na povrchu obrobku a postupně z něj ubírají materiál. Anoda kopíruje tvar katody, kterou zastupuje nástrojová elektroda [20, 21]. Princip metody je zobrazen na obr. 4.5.

Oddělování materiálu se tudíž uskutečňuje tzv. anodickým rozpouštěním v elektrolytu. Ten proudí rychlostí 10 až 50 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ mezerou o velikosti 0,025 až 1,3 mm mezi elektrodami. Tyto elektrody jsou napájeny stejnosměrným zdrojem nízkého napětí 4 až 30 V a vysokou hodnotou proudu 50 až 2000 A [23].

Rychlost rozpouštění je závislá na hustotě elektrického proudu, cca 0,2 až 3 $\text{A}\cdot\text{mm}^{-3}$. Zvyšování intenzity rozpouštění nepříznivě ovlivňuje úběr obráběného materiálu. Důvodem je usazování oxidů vytvářející pasivační vrstvu, která zabraňuje dalšímu rozpouštění obrobku na povrchu elektrod. Pro odstraňování této vrstvy se využívá přívod elektrolytu pod tlakem cca 70 až 2800 kPa, nebo rotace elektrody [23].



Obr. 4.5 Princip elektrochemického obrábění [20].

1 – obrobek (anoda), 2 – napájecí zdroj, 3 – nástroj (katoda), 4 – pracovní vana, 5 – elektrolyt.

4.3.2 Používané elektrolyty a jejich úkoly

Mezi hlavní úkoly elektrolytu patří [21]:

- zajistit vedení elektrického proudu,
- určovat podmínky rozpouštění anody,
- odvádět z pracovního prostoru teplo,
- odvádět produkty vzniklé chemickými reakcemi.

Důležitá je správná volba složení elektrolytu a podmínek obrábění. Jejich nevhodná volba může mít za následek mezikrystalickou korozi obráběného materiálu. S tím souvisí nežádoucí snížení únavové pevnosti obráběné součásti. Negativní vliv zpravidla mívá i nevhodné vyústění děr a štěrbin, které přivádí elektrolyt do pracovní mezery. To má za následek nevhodné víření elektrolytu, což způsobuje nerovnoměrné rozpouštění obráběného materiálu. Z toho vyplývá nižší rozměrová přesnost vyrobené součásti [23].

Při procesu elektrochemického obrábění dochází k tvorbě velkého množství kalů, které se skládají zejména z oxidů a hydroxidů rozpouštěných kovů. Z tohoto důvodu je potřeba elektrolyt od těchto kalů vyčistit, aby si zachoval konstantní kvalitu v průběhu celého procesu. Čištění většinou probíhá kontinuálně filtrací, usazováním a odstředivým způsobem [23].

Potíže však vznikají při ekologickém odstraňování odpadů elektrochemického obrábění. Ty jsou tvořeny zejména kaly odstraněnými z elektrolytu, přičemž tyto kaly obsahují značné množství látek, které mohou způsobovat tvorbu jedů [23]. Nejčastější typy elektrolytů jsou uvedeny v tab. 4.1.

Tab. 4.1 Typy elektrolytů – podle [23].

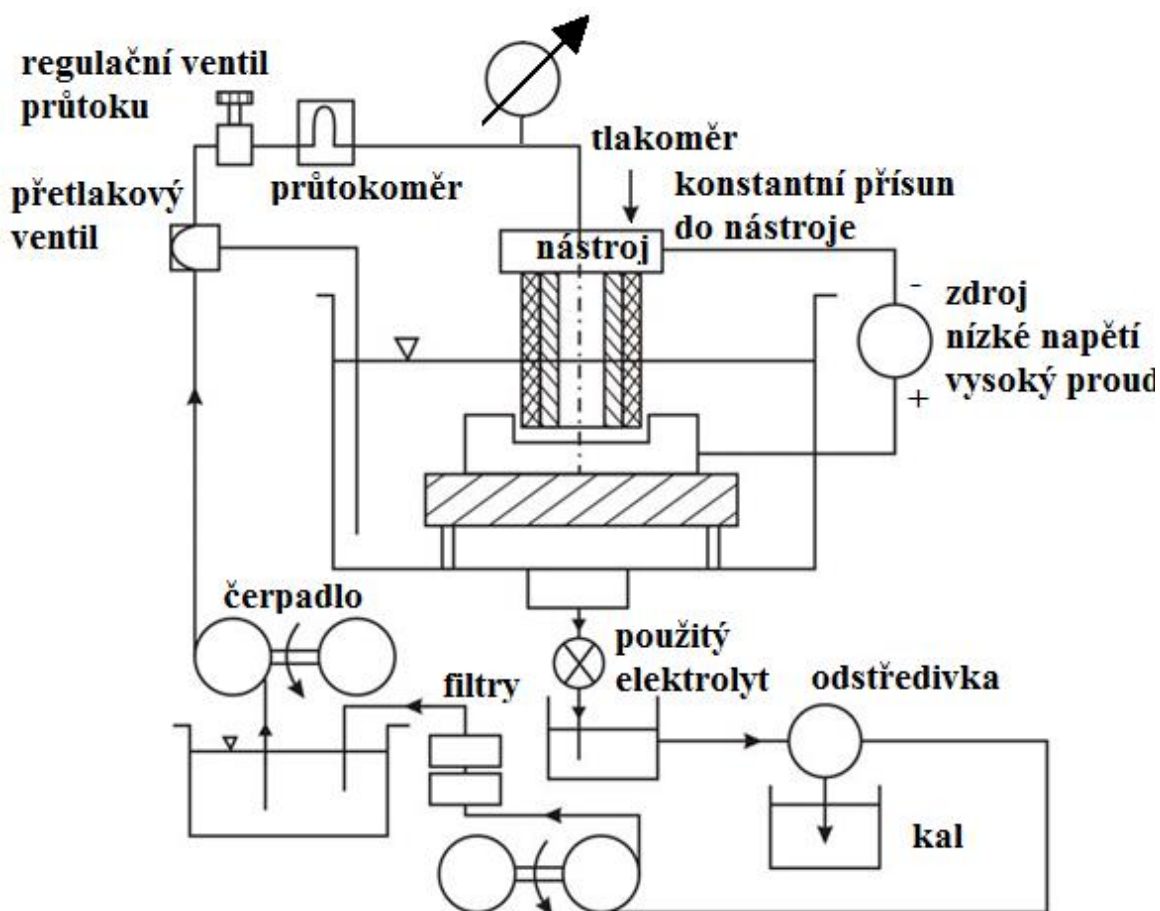
Elektrolyt	Koncentrace [% hm.]	Obráběný materiál	Poznámka
NaCl	5–20	Slitiny na bázi Fe, Ni, Cu, Al, Mg, Ti	Silně korozivní, malý vliv na pasivaci, levný, nejedovatý.
NaNO ₃	10–20	Slitiny na bázi Fe, Al, Cu, Zn	Univerzální, výrazný pasivační účinek.
NaNO ₂ +inhibitory	do 12	Slitiny na bázi Fe, Ni, Cu, Al, Ti, W, karbidy	Jedovatý, jen pro zvláštní účely.
Na ₂ SO ₄	10	Slitiny Cu	Jen výjimečně.
NaClO ₃	20–45	Oceli	Velký úběr a přesnost obrábění, nebezpečná manipulace.
NaOH	do 10	W, Mo, slinuté karbidy	Leptací účinek, obtížná manipulace.
HCl H ₂ SO ₄	do 10	Slitiny na bázi Ni, Cr, Co	Agresivní, náročný na dodržení bezpečnosti, spotřebovává se.

4.3.3 Vybavení zařízení pro elektrochemické obrábění

Zařízení pro ECM obrábění se skládá z jednotlivých částí – podle [24]:

- zdroj elektrického proudu,
- filtrační a dodávací systém elektrolytu,
- systém dodávání elektrolytu do nástroje,
- pracovní nádrž.

Schéma takového zařízení je na obr. 4.6.



Obr. 4.6 Schéma zařízení pro ECM obrábění – podle [24].

4.3.4 Nástroje pro elektrochemické obrábění a jejich materiály

Tvar a materiál nástroje jsou jedny z kritických faktorů při procesu elektrochemického obrábění. Materiál nástroje pro uplatnění této technologie musí splňovat mnoho různých požadavků [23].

Mezi tyto požadavky patří zejména [23]:

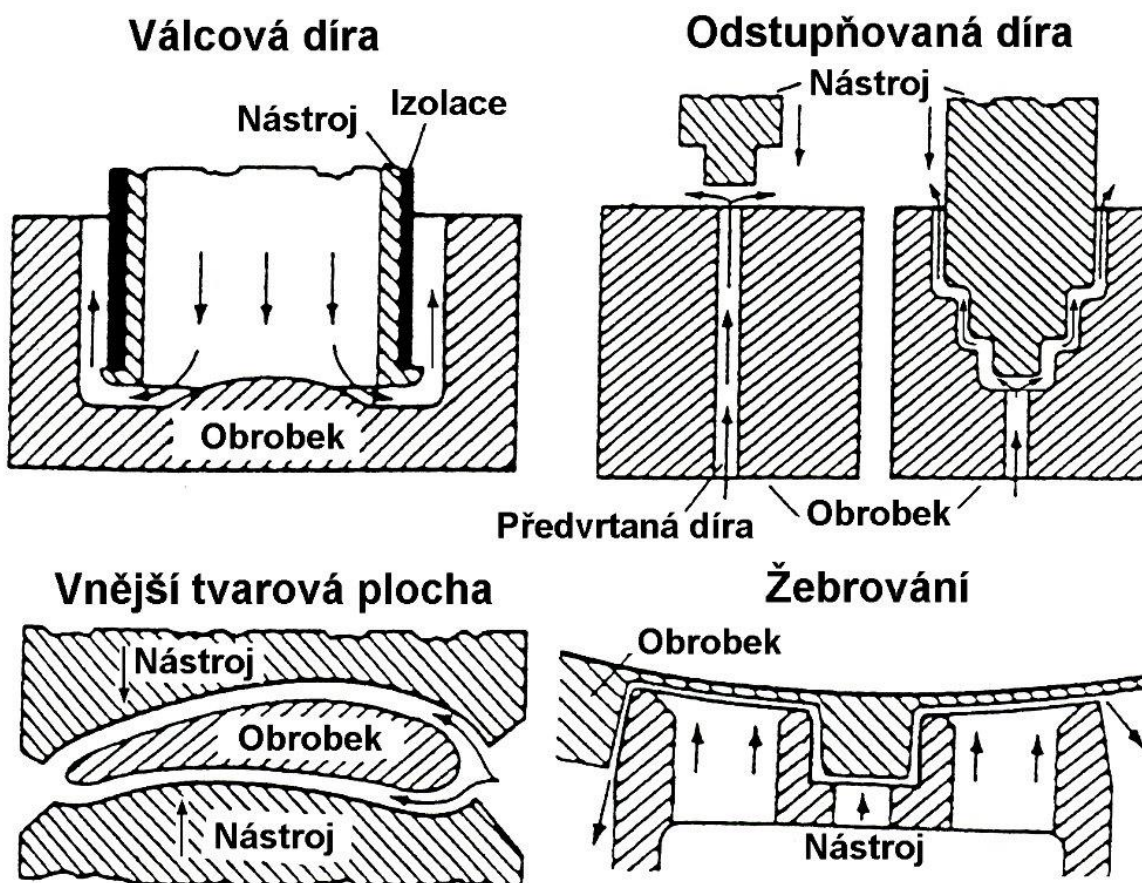
- dostatečná pevnost,
- dobrá elektrická vodivost,
- dobrá tepelná vodivost,
- snadná obrobitelnost,
- odolnost vůči chemickému působení elektrolytu.

Nejčastěji používané materiály jsou [23]:

- měď,
- mosazi,
- bronzy,
- korozivzdorné oceli,
- titan,
- slinuté karbidy.

Jako optimální se doporučují bronzy či mosazi [23].

Tvar nástroje je negativ obrobene plochy hotové součásti, konkrétní rozměry jsou po celé jeho funkční ploše upraveny tak, že je zachována požadovaná konstantní mezera mezi nástrojem a obrobkem v každé fázi procesu obrábění. Na obr. 4.7 jsou zobrazena schémata různých tvarů nástrojů. Pro cílené řízení průchodu elektrického proudu se někdy používá opatření potřebných ploch na nástroji izolační vrstvou. Mezi nejčastější izolační materiály patří např. teflon či epoxidové pryskyřice, které jsou nejčastěji nanášeny stříkáním [23].

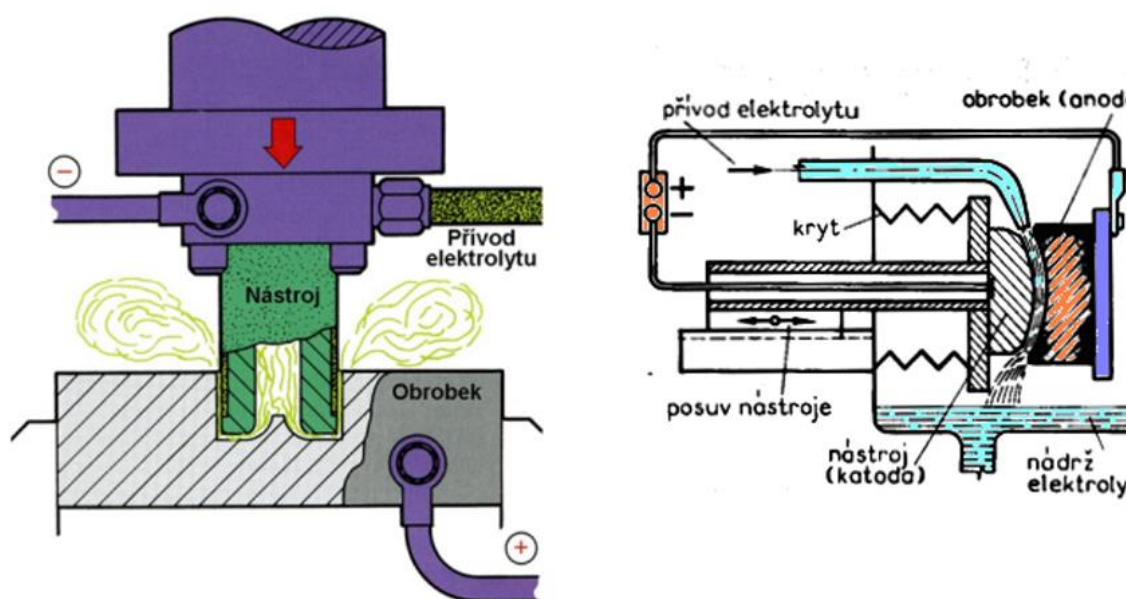


Obr. 4.7 Schémata různých tvarů nástrojů [23].

4.3.5 Elektrochemické obrábění v proudícím elektrolytu

Podle způsobu odstraňování pasivační vrstvy, která se usazuje na povrchu elektrod v důsledku spojování částic, které se uvolňují při rozpouštění elektrod, se ECM dělí na dvě základní metody. Jedná se o elektrochemické obrábění v proudícím elektrolytu a elektrochemické obrábění rotující elektrodou (s mechanickým odstraňováním).

V případě elektrochemického obrábění v proudícím elektrolytu se jedná o jednu z nejrozšířenějších technologií při hloubení dutin složitých tvarů v těžkoobrobitelných materiálech. Speciální aplikační oblastí je obrábění vnějších tvarových ploch, např. výroba turbínových lopatek. K obrábění se používá vysoká hustota proudu [23]. K odstranění pasivní vrstvy se používá elektrolyt proudící mezi elektrodami [21]. Princip elektrochemického obrábění v proudícím elektrolytu je zobrazen na obr. 4.8.



Obr. 4.8 Elektrochemické obrábění proudícím elektrolytem [21].

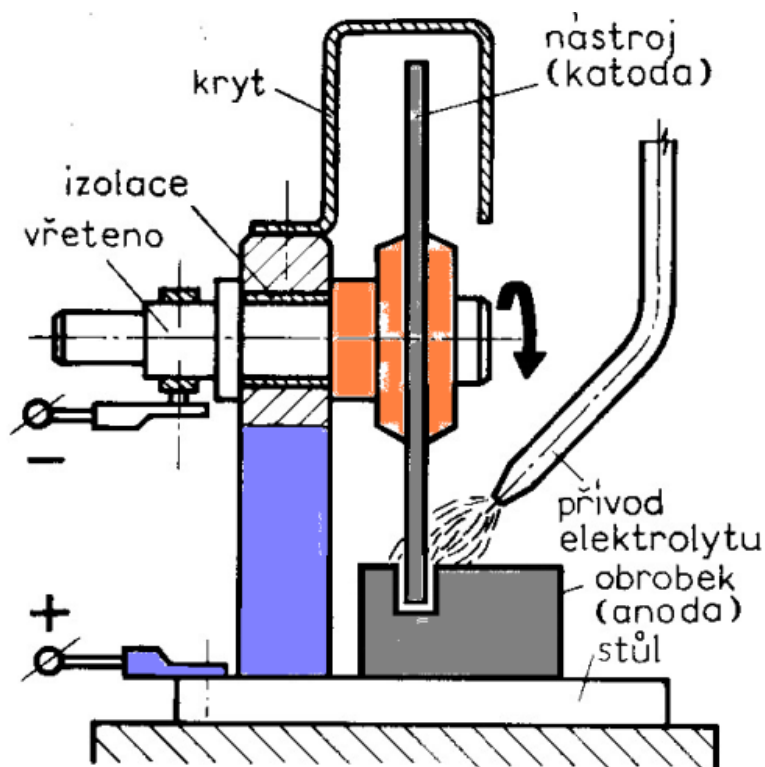
Pracovní mezera mezi nástrojem a obrobkem má velikost 0,05 až 2 mm. Touto mezerou protéká elektrolyt rychlostí 10 až 50 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ pod tlakem až 2,5 MPa. Přísuvová rychlost nástrojové elektrody je závislá na pracovním proudu a obráběné ploše. V závislosti na jejich velikosti, složitosti tvaru atd. se pohybuje v rozsahu 0,5 až 10 $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ [23].

Obrobená plocha nevzniká jako ekvidistanta k funkční ploše nástroje. Proto se musí provést buďto speciální korekce tvaru nástroje, nebo se na boční plochy musí nanést izolace, která zabrání zvýšenému úběru obráběného materiálu na přilehlých plochách. Funkční povrch nástroje bývá leštěný [23].

Existuje také možnost použití technologie s tzv. směsným elektrolytem. Ta umožňuje obrábění při velmi malých mezielektrodových vzdálenostech – pod 0,1 mm. Při této technologii dochází k téměř věrnému kopírování nástrojové elektrody do obrobku. Díky tomu je zde možnost použití nekorigovaného nástroje. Technologie se směsným elektrolytem se často využívá zejména při hloubení dutin [23].

4.3.6 Elektrochemické obrábění rotující elektrodou

Při elektrochemickém obrábění rotující elektrodou dochází k soustavnému odstraňování pasivní vrstvy z obrobku pomocí otáčejícího se nástroje. Jedná se o diamantový brousicí kotouč, který představuje katodu. Mezi nástroj a obrobek je navíc přiváděn proud elektrolytu s rozptýleným brusivem [21]. Princip metody je na obr. 4.9.



Obr. 4.9 Elektrochemické obrábění otáčející se elektrodou [21].

Jedná se tedy o kombinaci klasického broušení a elektrochemického účinku. Samotným broušením se však odstraňuje pouze méně než 10 % materiálu. Hlavní výhoda metody spočívá v zachování vysoké přesnosti obrábění i při velkém úběru materiálu [23].

Obráběná součást se připojí ke kladnému pólu zdroje stejnosměrného napětí, brousicí kotouč k zápornému pólu. Pracovní mezeru tvoří zrna brusiva vystupující z elektricky vodivého pojiva (slitiny mědi). Oxidová vrstva, která vzniká na povrchu obrobku kvůli tzv. pasivačním jevům při elektrolytickém rozpouštění, je odstraňována vystupujícími zrny brusiva [23].

Tato metoda se používá především při obrábění [23]:

- nástrojů ze slinutých karbidů,
- materiálů s vysokou tvrdostí,
- křehkých materiálů,
- materiálů náchylných k tepelnému poškození, které se nedají brousit klasickými metodami.

Při obrábění ocelí se jako brusivo používá nejčastěji oxid hlinitý, pro obrábění slinutých karbidů a kalených ocelí je vhodné použít diamant [23].

4.3.7 Technologie využívající princip elektrochemického obrábění

Princip elektrochemického obrábění využívají různé technologie obrábění [20, 21]:

- obrábění s nuceným odstraňováním produktů vzniklých chemick. reakcemi:
 - obrábění proudícím elektrolytem:
 - hloubení tvarů dutin zápustek a forem,
 - hloubení otvorů malých průměrů,
 - odstraňování otřepů,
 - dělení materiálů,
 - s mechanickým odstraňováním (anodomechanické obrábění):
 - broušení,
 - lapování,
 - honování,
- povrchové obrábění bez odstraňování produktů vzniklých chemick. reakcemi:
 - leštění,
 - povrchové značení kovů.

4.3.8 Výhody a nevýhody technologie elektrochemického obrábění

Největšími výhodami technologie ECM jsou:

- snadná výroba složitých tvarů obrobku,
- snadné obrábění tvrdých materiálů,
- velmi vhodná metoda pro odjehlování,
- téměř nulové opotřebení nástroje,
- žádný kontakt mezi nástrojem a obrobkem – nulové zatížení silami,
- výborná kvalita obrobeného povrchu,
- téměř nulové tepelné ovlivnění obrobku.

Mezi hlavní nevýhody patří:

- nebezpečí vzniku koroze na nástroji, obrobku a zařízení,
- obrobitelnost pouze vodivých materiálů,
- vysoká spotřeba energie,
- vyšší počáteční investice.

4.3.9 Odjehlování plynového kanálku pomocí technologie ECM

Pokud je řeč o využití technologie ECM, velký smysl má právě při odjehlování hrany plynového kanálku, vzhledem k jeho špatné přístupnosti a tvrdému obráběnému materiálu.

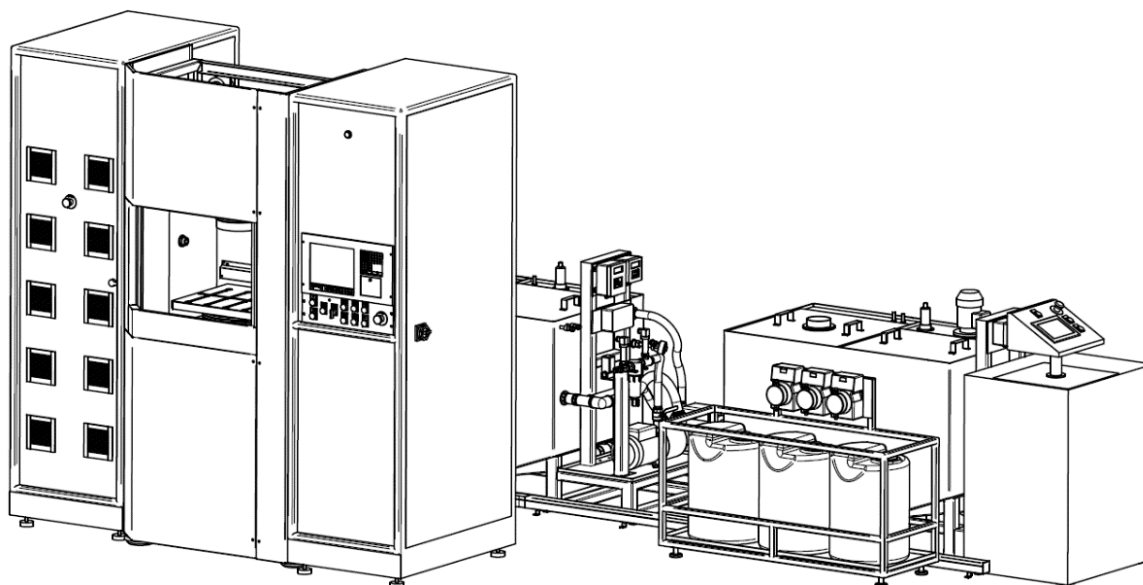
Technologie použitá pro odjehlení této hrany je, vzhledem ke tvaru součásti a obtížné přístupnosti do místa obrábění, elektrochemické obrábění v proudícím elektrolytu. Princip této technologie již byl popsán v předchozích kapitolách, proto zde pouze nastíním navrhovaný postup při výrobě hlavní.

V případě odjehlování hrany plynového kanálku nemá technologie ECM žádné zvláštní požadavky. Jediné požadavky jsou ty, které jsou požadovány na finálním výrobku. Čili plynový kanálek musí mít požadovanou přesnost polohy, kolmosti a velikosti průměru (viz kapitola 3.5 Výroba plynového kanálku). To je ovšem vyžadováno při každé technologii výroby tohoto prvku, ne jen v případě použití metody ECM.

Příklad stroje, který pracuje na principu technologie elektrochemického obrábění, je na obr. 4.10. Jedná se o modulární stroj, který pro různé aplikace mění pouze pracovní prostor. Za strojem jsou umístěny nádrže elektrolytu s filtry. Návrh celého zařízení je na obr. 4.11.



Obr. 4.10 Příklad stroje pro elektrochemické obrábění – podle [25].



Obr. 4.11 Nákres stroje pro elektrochemické obrábění – podle [26].

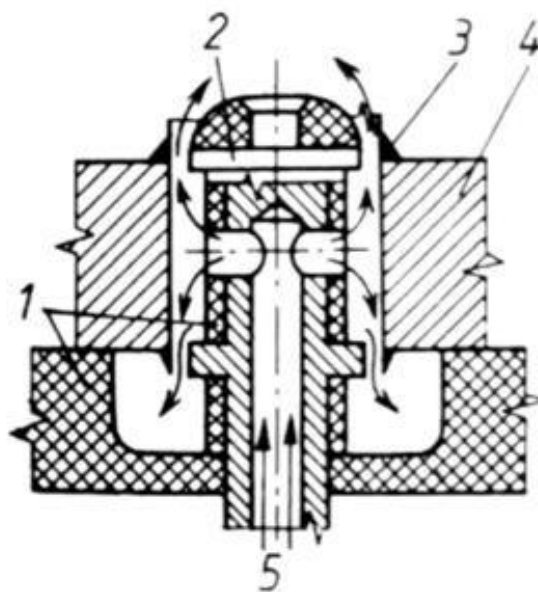
Příklad zkoušených parametrů procesu vystihuje tab. 4.2. Přesné hodnoty napětí a proudu a další parametry však závisí na obráběné součásti. Zejména pak na množství materiálu, který chceme odebrat.

Tab. 4.2 Parametry procesu.

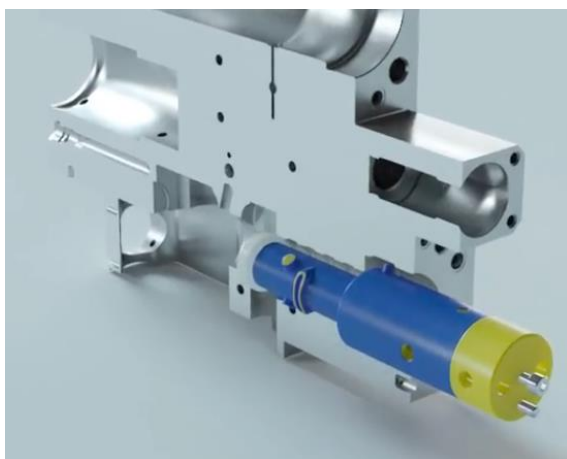
Parametry		Elektrolyt	
Typ	Stejnoseměrný	Materiál	NaCl
Materiál nástroje	Slitina mědi	Teplota	Cca 20 °C
Materiál izolace	Plast		

Pro odstranění otřepu z hrany plynového kanálku byla zvolena metoda odstraňování otřepů tvarovou elektrodou. Ta je velmi vhodná právě pro odstraňování menších otřepů v průchozích dírách a jejich průnicích. Tvar nástrojové elektrody je závislý na tvaru díry či na tvaru průniku daných děr. Schéma této metody odstraňování otřepu je na obr. 4.12.

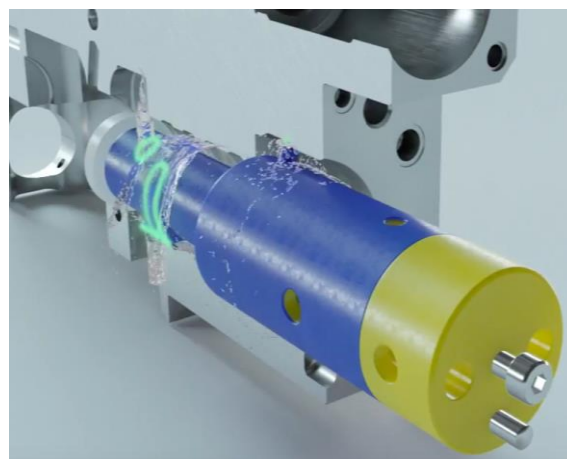
Elektrolyt proudí do místa obrábění dutinou uvnitř nástrojové elektrody a nedochází tak ke zbytečnému kontaktu elektrolytu a obrobku. Vizualizaci elektrochemického obrábění plynového kanálku vystihují následující obrázky – obr. 4.13, obr. 4.14, obr. 4.15 a obr. 4.16. Znázorněná součást sice není hlaveň, nicméně se jedná o stejný problém – o kruhovou díru ústící do válcového otvoru. Modré plochy na nástroji značí izolační vrstvu, žluté jsou neodizolované plochy. Zeleně zvýrazněné části nástroje se aktivně účastní procesu obrábění. Zeleně zvýrazněná část obrobku je právě obráběna.



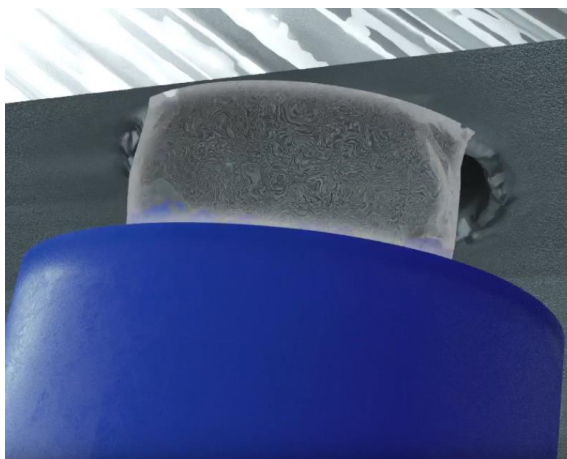
Obr. 4.12 Schéma elektrochemického odstraňování otřepů tvarovou elektrodou [20].
1 – izolace, 2 – nástroj, 3 – otřep, 4 – obrobek, 5 – přívod elektrolytu



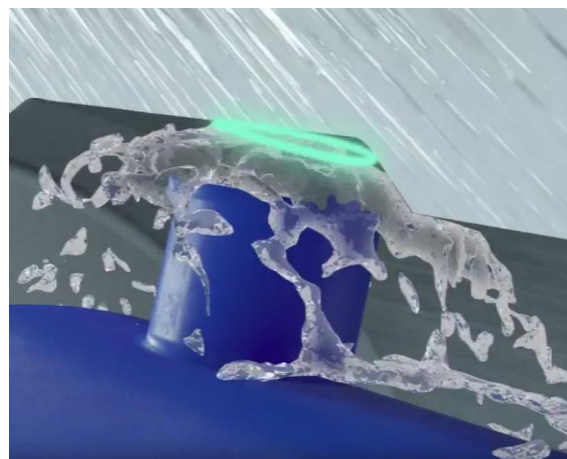
Obr. 4.13 Sestava před procesem [27].



Obr. 4.14 Sestava v průběhu procesu [27].



Obr. 4.15 Proces obrábění [27].



Obr. 4.16 Znárodnění obráběné hrany [27].

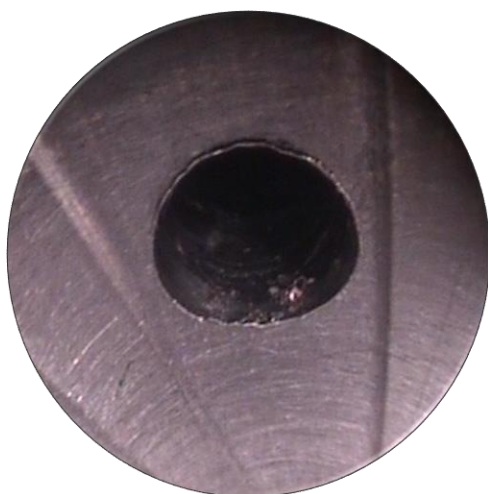
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole věnuji pozornost zhodnocení dosavadních zkoušek výroby odjehlení plynového kanálku pomocí navrhované technologie ECM. Kapitola je zaměřena na zkoumání některých důležitých parametrů z hlediska funkce zbraně. Jedná se o přesnost zbraně a především její životnost. Dále je zde zhodnocena také vizuální podoba všech vyzkoušených technologií.

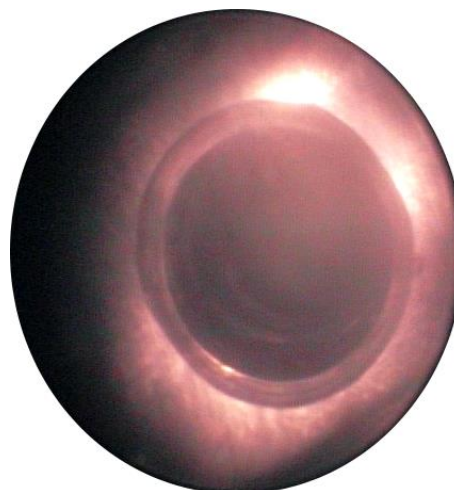
V poslední části je uvedena jednoduchá rozvaha nad cenou a časem výroby při navrhované technologii ECM. V současné době je tato technologie ve zkušebním provozu, proto zatím není možné určit přesné ekonomické vyhodnocení.

5.1 Vzhled výsledné hrany

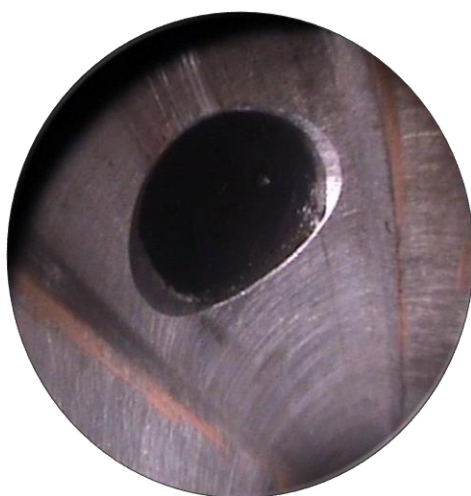
První hodnocený parametr je vizuální vzhled výsledné odjehlené hrany po daných technologiích. Obr. 5.1, obr. 5.2, obr. 5.3 a obr. 5.4 jsou fotky hrany plynového kanálku pořízené endoskopem.



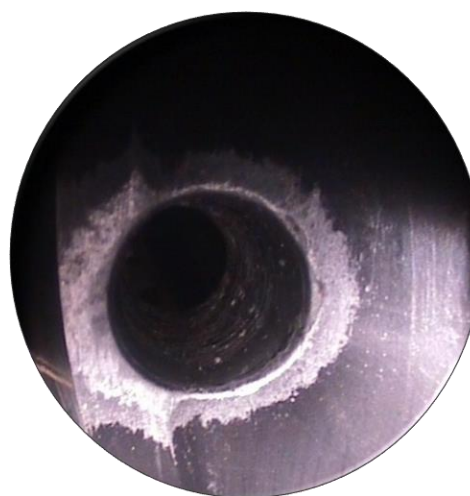
Obr. 5.1 Neodjehlená hrana.



Obr. 5.2 Hrana odjehlená současnou metodou.



Obr. 5.3 Hrana odjehlená kuličkou.



Obr. 5.4 Hrana odjehlená pomocí ECM.

Na obr. 5.1 je fotka hrany plynového kanálku bez odjehlení. Lze si na ní všimnout drobného otřepu. Ten by mohl negativně ovlivňovat přesnost zbraně. Zejména však má obrovský vliv na její životnost – viz kapitola 5.2 životnost zbraně.

Na obr. 5.2 je hrana plynového kanálku odjehlená pomocí současné metody mechanického obrábění. Lze si zde všimnout celkem velkého sražení celé této hrany. To by opět mohlo mít určitý vliv na přesnost zbraně. Hlavním důvodem pro změnu této technologie je však to, že je ekonomicky velmi nevýhodná.

Obr. 5.3 a obr. 5.4 jsou fotky odjehleného kanálku po zkouškách navrhovaných technologií. Konkrétně se jedná o metodu mechanického srážení kuličkou přes větší otvor – viz kapitola 4.2 Metoda mechanického srážení přes větší otvor a o metodu odjehlení pomocí technologie ECM – viz kapitola 4.3 Metoda s využitím elektrochemického obrábění.

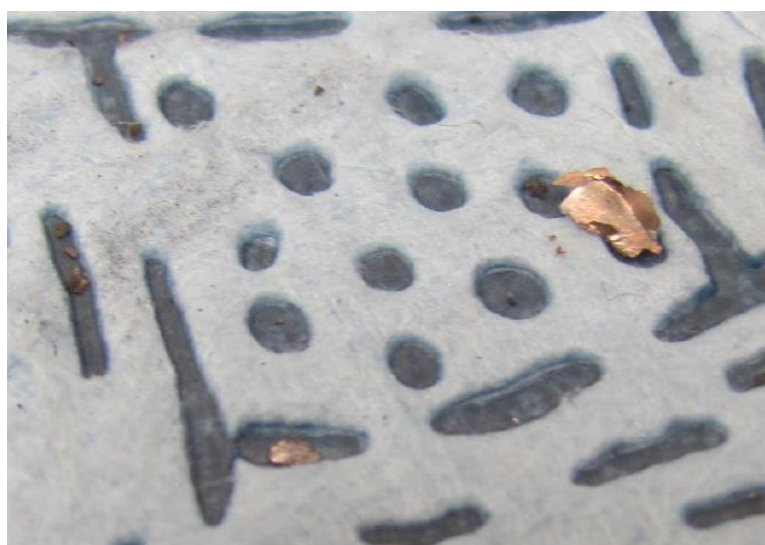
Na obr. 5.3 si lze opět všimnout sražení hrany. Toto sražení je navíc velmi nerovnoměrné. Nicméně hrana plynového kanálku je odjehlena velmi spolehlivě a tudíž tato metoda může být bez obav používána.

Obr. 5.4 zobrazuje hranu plynového kanálku odjehlenou pomocí technologie ECM. Lze si všimnout, že i v tomto případě je tato hrana odjehlena velmi spolehlivě. Navíc zde až na drobné lokální části není hrana plynového kanálku nějak více srážena. Zda se tato skutečnost projeví na přesnosti zbraně bylo také zkoumáno a výsledek je popsán v kapitole 5.3 Nástřel zbraně. Technologie ECM navíc nemá žádný problém s obráběním vysoce tvrdých materiálů, tudíž zde nevznikají žádné přehnané nároky na drahé řezné nástroje.

5.2 Životnost zbraně

Neodstranění ostřin z hrany plynového kanálku má výrazně negativní vliv zejména na životnost zbraně. Při neodstranění těchto ostřin dochází při průchodu střely hlavní ke strouhání drobných částecek materiálu z této střely (obr. 5.5). Ty jsou poté unášeny zároveň s prachovými plyny a jsou rozneseny po celém systému zbraně. Ten se tak zanáší a výrazně se snižuje životnost celé zbraně.

Nejvíce zanášeným místem je pochopitelně systém plynové trubice zbraně. Ta totiž následuje ihned za plynovým kanálkem. Při zkouškách se v extrémních případech dokonce stalo, že už po vystřelení 5 zásobníků (150 ran) nebylo možné plynovou trubici vůbec rozebrat a vyčistit. K zanášení však nedochází pouze v plynové trubici, ale v celém systému zbraně. Dalšími kritickými místy jsou např. závorník či spoušťový mechanismus.



Obr. 5.5 Odříznutý kousek materiálu střely.

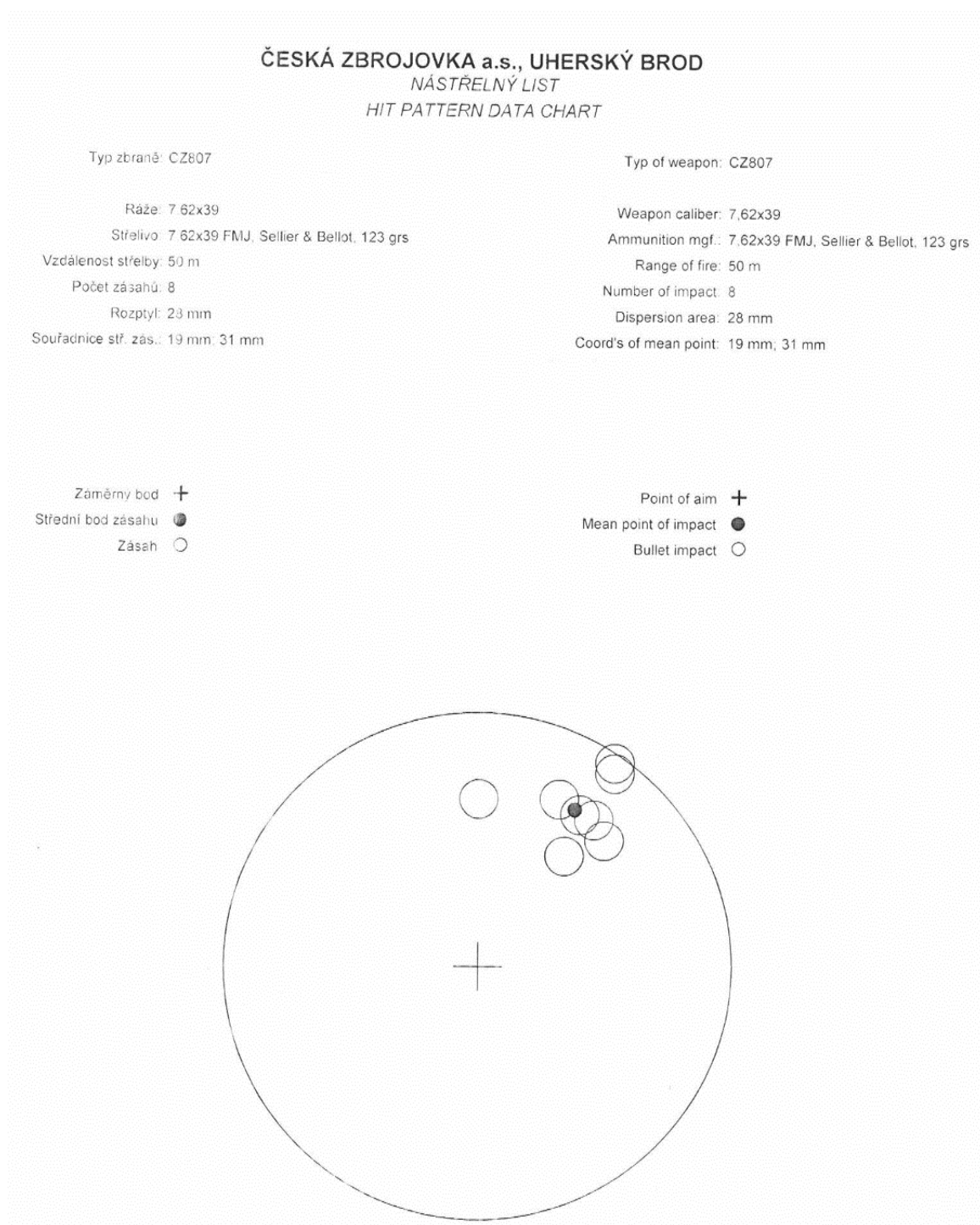
Zanášení systému zbraně těmito částeckami může mít za následek i závadu nevyhození nábojnice – viz obr. 5.6.



Obr. 5.6 Závada nevyhození nábojnice.

5.3 Nástřel zbraně

Dále byl zkoumán také vliv zvolené technologie pro odjehlení plynového kanálku na nástřel zbraně. Při mechanickém odjehlování vzniká sražení hrany plynového kanálku, čímž se mění jeho tvar. To by teoreticky mohlo nějakým způsobem ovlivňovat parametry střely, což by mohlo mít dopad právě na přesnost zbraně. Protokoly s výsledky těchto zkoušek jsou na obr. 5.7 a obr. 5.8.



Obr. 5.7 Nástřel hlavně s mechanicky odjehleným plynovým kanálkem současnou metodou.

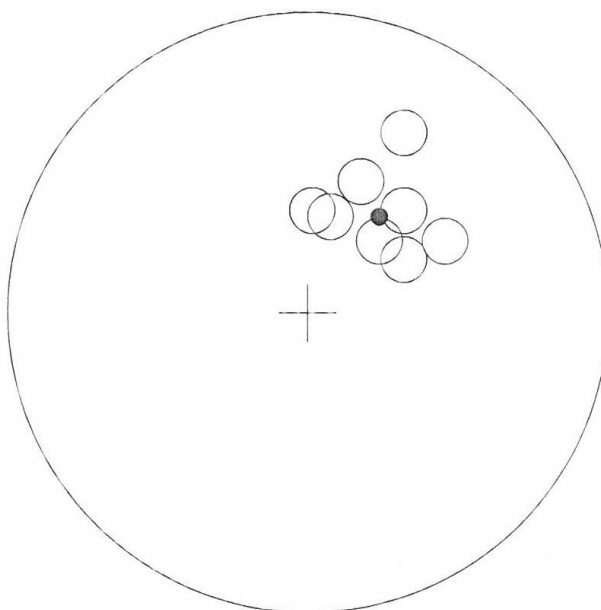
ČESKÁ ZBROJOVKA a.s., UHERSKÝ BROD
NÁSTŘELNÝ LIST
HIT PATTERN DATA CHART

Typ zbraně: CZ807
Raže: 7.62x39
Střeivo: 7.62x39 FMJ, Sellier & Bellot, 123 grs
Vzdálenost střelky: 50 m
Počet zásahů: 8
Rozptyl: 24 mm
Souřadnice stř. zás.: 12 mm; 16 mm

Typ of weapon: CZ807
Weapon caliber: 7.62x39
Ammunition mgf.: 7.62x39 FMJ, Sellier & Bellot, 123 grs
Range of fire: 50 m
Number of impact: 8
Dispersion area: 24 mm
Coord's of mean point: 12 mm; 16 mm

Záměrný bod +
Střední bod zásahu ●
Zásah ○

Point of aim +
Mean point of impact ●
Bullet impact ○



Obr. 5.8 Nástřel hlavně s elektrochemicky odjehleným plynovým kanálkem.

Z těchto protokolů však plyne, že rozdíl rozptylu mezi těmito nástřely, které byly prováděny na 50m vzdálenost, je pouze 4 mm. Každá hlaveň je však svým způsobem jedinečná. Nástřel jednotlivých hlavní vyrobených přesně stejným postupem se pohybuje v určité toleranci. Po této zkoušce lze tedy říct, že technologie, kterou se plynový kanálek odjehluje, a tedy i sražení samotné hrany plynového kanálku, nemá z hlediska přesnosti zbraní žádný význam.

5.4 Cena technologie

Provést podrobné ekonomické zhodnocení technologie, která je prozatím pouze ve zkušebním provozu, je složité. Navíc by se na pořízeném stroji pro elektrochemické obrábění zcela jistě provádělo více technologických operací na více součástech, než jen odjehlování plynového kanálku. Jedná se např. o odjehlování dalších složitějších součástí. Ani sama společnost CZUB a.s. zatím netuší, kde všude by se dala tato technologie uplatnit. Z tohoto důvodu nebudu detailně rozebírat ekonomické zhodnocení současné technologie výroby, jelikož ji není s čím porovnat. Proto zde uvedu spíše jednoduchou úvahu.

Cena dvou strojů pro technologii ECM se pohybuje kolem 20 mil. Kč. Tyto stroje disponují vyměnitelným pracovním stolem a tudíž je zde možné odjehlovat jak plynové kanálky, tak např. i závěry zbraní a mnoho dalších dílů.

V případě odjehlování plynového kanálku současnou technologií je potřeba CNC frézovací centrum. To samo o sobě není žádný problém. Problém však je v obrábění vysoce tvrdého, zušlechtného materiálu. Cena nástroje pro odjehlování mechanickým způsobem se pohybuje kolem 1 700 Kč. Tento nástroj má reálnou životnost kolem 12 kusů. Tato skutečnost v případě sériové výroby velmi prodražuje výrobu, a tedy i zvyšuje cenu finálního výrobku.

V případě odjehlování pomocí elektrochemického obrábění je životnost nástrojové elektrody téměř neomezená. Navíc doba odjehlení plynového kanálku je zhruba 5 sekund. Z ekonomického hlediska je tedy tato varianta mnohem perspektivnější.

Ekonomické zhodnocení technologie odjehlování hrany plynového kanálku kuličkou přes větší otvor také není známo. Výroba touto technologií není nijak zautomatizována a v současné době se občas používá ve specifických případech spíše pro ruční servis menšího počtu kusů.

ZÁVĚR

Cílem mojí diplomové práce bylo provedení návrhu na zefektivnění technologie obrábění průniku otvorů ve společnosti CZUB a.s.

První část jsem věnoval představení společnosti CZUB a.s. a popisu palných zbraní se zaměřením na hlavní produkty divize vojenských zbraní společnosti CZUB a.s., kterých se tento návrh na zefektivnění týká. Zjednodušeně jsem zmínil funkci a hlavní rozdíl mezi samopalem a útočnou puškou. Je zde uvedena také charakteristika součásti hlaveň a popsány její hlavní části.

Praktická část práce začíná stručným popisem procesu výroby hlaveň. Podrobněji se zde věnuji procesu výroby a odjehlení plynového kanálku, kterým se práce zabývá. Taktéž jsou zde zmíněny problémy spojené se současnou technologií jeho výroby.

Dále následují návrhy možných řešení, od kterých si společnost CZUB a.s. slibuje snížení výrobních časů a nákladů a tím pádem i zvýšení efektivity. Zvýšená pozornost byla věnována metodě elektrochemického obrábění, které je v této části nejprve obecně popsáno a poté je zde popsán návrh aplikace této technologie na odjehlení plynového kanálku.

Poslední kapitola technicko-ekonomické zhodnocení obsahuje zhodnocení dosavadních zkoušek navrhované technologie ECM a porovnání se současnou technologií výroby. Je zde také popsán problém, který se vyskytuje při špatném odstranění ostřin z hrany plynového kanálku, což je také hlavní důvod, proč je tuto hranu potřeba odjehlit. Dále je zde uveden také vliv použité technologie pro odjehlení hrany plynového kanálku na přesnost zbraně. V poslední řadě je zde uvedena cena za pořízení strojů pro technologii ECM.

Navrhovanou technologii ECM je nutno brát v úvahu i z důvodu její široké využitelnosti a tzv. transferu výroby. V současné době je zcela běžné, že země, které se chystají investovat do zbrojního vybavení, požadují, aby byly zbraně z určitého podílu vyrobeny právě v jejich zemi. Z ekonomického hlediska je mnohem výhodnější v takto nově vznikajících výrobních podnicích pořídit stroj pro ECM technologii, který je schopen provádět různé úkony na různých součástech, než jednoúčelové konvenčnější stroje – např. drahý kovací stroj.

Od změny technologie výroby si Česká zbrojovka a.s. slibuje především zvýšení efektivity výroby, a to snížením výrobních časů. Taktéž si slibuje podstatně nižší náklady na nástroje, procesní kapaliny, energie a investice do oprav strojů a předpokládá využití u celé řady dalších technologických operací.

Všechny body diplomové práce byly splněny.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] CZUB a.s. Presentace firmy CZUB a.s. Presentace. [cit. 2018-11-23]
- [2] CZUB a.s. [online]. [cit. 2018-11-23]. Dostupné z www.czub.cz/
- [3] Zákon č. 119/2002 Sb., o střelných zbraních a střelivu (zákon o zbraních). In: Sbírka zákonů. [cit. 2019-1-30]. Dostupné z: www.mvcr.cz/soubor/zbrane-6-8-2016-pdf.aspx/
- [4] JANKOVÝCH, R. *Hlavňové zbraně a střelivo*. Brno: Vysoké učení technické, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5.
- [5] Military and law enforcement weapon systems. CZUB a.s. [online]. 2018 [cit. 2019-01-30]. Dostupné z: <https://www.czub.cz/media/military.pdf/>
- [6] Nejčastější ráže nábojů. In: *Týdeník Prostějovska* [online]. Prostějov, 2017 [cit. 2019-01-30]. Dostupné z: <https://www.itydenik.cz/sites/default/files/field/image/naboje.jpg/>
- [7] LOUTOCKÝ, P. *Analýza konstrukce a funkce stroje na drážkování hlavní*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 121 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.
- [8] ŠTURSA, Petr. 18. Hlavně. In: *SlidePlayer* [online]. 2012 [cit. 2019-01-31]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/11585529/>
- [9] FIŠER, Miloslav. *Konstrukce loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1021-2.
- [10] FAKTOR, Zdeněk. *Střelné zbraně: konstrukce a funkce*. Praha: Magnet-Press, 1995. Magnet hobby. ISBN 80-858-4746-9.
- [11] KLUSÁČEK, Jan. *Výroba hlavní pro lovecké zbraně*. Brno 2018. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 34 s. 12 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.
- [12] ZEMÁNEK, P. *Návrh na zefektivnění výroby polotovarů pro hlavní*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 60 s, 1 příloha. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.
- [13] KOVÁRNÍK, Libor a Miroslav ROUČ. *Zbraně a střelivo*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2007. ISBN 978-80-7380-030-7.
- [14] 1.7765, DIN 32CrMoV12-10 [online]. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <http://www.upsteel.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=20&id=9566/>
- [15] MEDŮSEK, M. *Technologie při výrobě ručních palných zbraní*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 132 s, 17 příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Osička, Ph.D.
- [16] Honování. *Mlgeardesigns* [online]. [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1503/honovani/>
- [17] Presentace hlavňové zbraně. JANKOVÝCH, R [online]. [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studis/student.phtml?gm=gm_detail_predmetu&apid=186801/
- [18] FIREARMS HISTORY, TECHNOLOGY & DEVELOPMENT. *Rifling: Manufacturing: Hammer Forged Rifling* [online]. [vid. 2019-03-13]. Dostupné na World <http://firearmshistory.blogspot.cz/2010/05/rifling-manufacturing-hammer-forged.html>
- [19] BRIDGES, Martin. Steel blocks and deburring cross holes. *Deburring Centre Ltd* [online]. 2011 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://thermaldeburring.wordpress.com/2011/11/24/steel-blocks-and-deburring-cross-holes/>

- [20] RAŠA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonvenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007 [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-2-2.html/>
- [21] BEZDĚK, Stanislav. Elektrochemické obrábění. *Elektronická učebnice* [online]. 2015 [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1406/>
- [22] Proces elektrochemického obrábění. In: *Subtech* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: http://substech.com/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?w=&h=&cache=cache&media=elektrochemical_machining_process.png
- [23] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 3. část* [online]. Brno, 2005 [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf/
- [24] IIT KHARADPUR. Non conventional machining: Electro chemical machining. *NPTel* [online]. 2009 [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <https://www.nptel.ac.in/courses/112105127/pdf/LM-38.pdf/>
- [25] ECM Machine. In: *Direct Industry* [online]. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/19736-9635363.jpg
- [26] Nákres stroje pro elektrochemické obrábění. In: *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/43/ET3000.png>
- [27] *Extrude Hone* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://extrudehone.com/>
- [28] TODD, Robert H., Dell K. ALLEN a Leo ALTING. *Manufacturing processes reference guide*. New York: Industrial Press, 1994. ISBN 08-311-3049-0.
- [29] Historie palných zbraní [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <http://www.fsps.muni.cz/inovace-SEBS-ASEBS/elearning/strelba/historie/>
- [30] CZUB. Produkty firmy CZUB. [online]. [vid. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.czub.cz/cz/produkty/pistole.html/>
- [31] CZ_USA [online]. [vid. 2018-12-10]. Dostupné z: www.cz-usa.com/
- [32] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [33] PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
- [34] KOČMAN, Karel. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
- [35] Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. AB Sandvik Coromant. Praha: Scientia. s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cutting – A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [36] LEINVEBER, J. *Strojnické tabulky*. 2. uprav. a dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999. 911 s. ISBN 80-718-3164-6.
- [37] PROCHÁZKA, S. a kol.: *Automatické zbraně*. Učebnice. FMO Praha, 1991. RDV-51-1.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
Al	Hliník
a.s.	akciová společnost
atd.	a tak dále
Cl	Chlor
Co	Kobalt
Cr	Chrom
Cu	Měď
CZ	Česká zbrojovka
CZUB	Česká zbrojovka Uherský Brod
cca	cirka
ČR	Česká republika
ČSN	Československá norma
č.	číslo
ECM	Electrochemical machining
Fe	Železo
FeCl₂	Chlorid železnatý
H	Vodík
H₂SO₄	Kyselina sírová
HCl	Kyselina chlorovodíková
Mg	Hořčík
Mo	Molybden
max.	maximálně
Na	Sodík
Na₂SO₄	Síran sodný
NaCl	Chlorid sodný
NaClO₃	Chlorečnan sodný
NaNO₂	Dusitan sodný
NaNO₃	Dusičnan sodný
NaOH	Hydroxid sodný
NATO	Severoatlantická aliance

Ni	Nikl
např.	například
obr.	obrázek
Sb.	Sbírka zákonů
SR	Slovensko
ss	stejnoseměrný
Ti	Titan
tab.	tabulka
tzv.	tak zvaný
USA	Spojené státy americké
vz.	vzor
W	Wolfram
Zn	Zinek

Symbol	Jednotka	Popis
I	[A]	Proud
R_a	[μ m]	Střední aritmetická hodnota drsnosti
U	[V]	Napětí